



TMMOB
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI
İZMİR ŞUBESİ

Uçtan Uca

TELEKOMÜNİKASYON SİSTEMLERİ



Kullanıcı Ağı



Erişim
Şebekeleri



Ağ Anahtarlama
Teknikleri



Transmisyon
Sistemleri



Ağ Temelleri
(OSI, TCP/IP)



Ağ Topolojileri
ve İnternet



Kablosuz İletişim
Alt Yapıları

Dr. Suat Seçgin

Genişletilmiş ve
revize edilmiş 2. baskı

UÇTAN UCA TELEKOMÜNİKASYON SİSTEMLERİ

Yayına Hazırlayan

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi

1. Baskı, Aralık 2018

2. Baskı, Eylül 2026

ISBN: 978-605-01-1779-0

EMO Yayın No: GY/2026/791

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası

İhlamur Sokak No: 10 K:2 06420 Kızılay-Ankara

Tel : 0312 425 32 72 e-posta: emo@emo.org.tr

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi

Kazım Dirik Mah. Üniversite Cad. 374/1 Sokak No: 1 Bornova-İzmir

Tel : 0232 489 34 35 e-posta : izmir@emo.org.tr

Baskı

Pakman Matbaacılık Sayı ve Tic. Ltd. Şti.

Mersinli Mah. 2839 Sok. No: 30 Konak İzmir

Sertifika No: 52790

SUNUŞ

Elektrik Mühendisleri Odası (EMO) İzmir Şubesi olarak faaliyetlerimizi; mesleğimizin geliştirilmesi, genç meslektaşlarımızın geleceğe donanımlı bir şekilde hazırlanması ve mühendislik hizmetlerinin kalitesinin kamu yararı doğrultusunda yükseltilmesi hedefleriyle sürdürüyoruz. Bilginin eşi görülmemiş bir hızla üretildiği ve dönüştüğü günümüzde, salt teorik eğitimin ötesine geçerek, sahada yüksek uygulama deneyimi edinmiş meslektaşlarımızın kıymetli eserlerini mesleki kütüphanemize kazandırmayı, mesleki birikimimize yapılacak en kalıcı katkılardan biri olarak görüyoruz. Meslek İçi Sürekli Eğitim Merkezi (MİSEM) çalışmalarımız, düzenlediğimiz sempozyumlar, kongreler ve işte bu vizyonla hayata geçirdiğimiz nitelikli yayınlarla, meslektaşlarımız arasında güçlü bir bilgi ve deneyim köprüsü kurma gayretindeyiz.

Günümüzde telekomünikasyon ve bilişim altyapıları, yalnızca birbiriyle haberleşen cihazların oluşturduğu teknik bir ağ olmanın çok ötesine geçmiştir. Sağlam, güvenilir ve bağımsız bir iletişim altyapısı; bir ülkenin ekonomik, sosyal, bilimsel ve kültürel gelişiminin en temel dinamosudur. İçinde bulunduğumuz dijital çağda bilgiye ulaşmanın, onu üretmenin ve paylaşmanın yolu bu altyapılardan geçmektedir. Dolayısıyla, başta kesintisiz, hızlı ve özgür internet olmak üzere tüm iletişim teknolojilerine eşit ve adil erişim, günümüzde bir ayrıcalık veya lüks değil, evrensel ve temel bir insan hakkıdır. Bu hakkın teminat altına alınması ve altyapının ülkemizin ihtiyaçları doğrultusunda, mühendislik biliminin aydınlatıldığı yolda geliştirilmesi, hepimiz için yaşamsal bir sorumluluktur.

Bu sorumluluk ve vizyon doğrultusunda, değerli üyemiz Dr. Suat Seçgin'in uzun yıllara dayanan sektörel ve akademik deneyimini aktardığı "Uçtan Uca Telekomünikasyon Sistemleri" adlı eserinin, teknolojik gelişmelere paralel olarak hazırlanan genişletilmiş yeni baskısını okuyucularımıza sunmaktan büyük bir mutluluk duyuyoruz. İlk baskısından bu yana büyük ilgi gören bu değerli çalışma, telekomünikasyon mühendisliği faaliyetlerini teknik detaylara boğulmadan, bütüncül ve son derece yalın bir dille özetleme başarısını bu yeni baskısında da sürdürmektedir. Eser, hem mesleğe yeni adım atan meslektaşlarımıza rehberlik etmekte hem de iletişimin farklı alt dallarında uzmanlaşmış mühendislerin büyük resmi görmelerine ve alanın bütününe dair bir bakış açısı kazanmalarına olanak tanımaktadır.

Dr. Suat Seçgin'e mesleki birikimimize, ülkemiz telekomünikasyon alanının gelişimine sunduğu bu değerli katkı için teşekkür ediyor; kitabın, temel insan hakkı olan iletişimin toplumun tüm kesimlerine ulaşması yolundaki mühendislik çalışmalarına ışık tutmasını diliyoruz.

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası
İzmir Şubesi Yönetim Kurulu
 Eylül 2026

ÖNSÖZ

Bir kitap yazma fikri, 25 yılı aşan Bilişim, Bilgi İşlem ve Telekomünikasyon sektöründeki deneyimlerimi genç nesillerle paylaşmak isteğimden ortaya çıkmıştır. Mesleki deneyimin yanında, akademik deneyimim de bu kitabı yazmamda benim için itici güç olmuştur.

Kitabın amacı, yeni mezun ya da yakın zamanda mezun olacak meslektaşlarıma, teknik bir bölümden mezun olmayıp bu sektörde çalışanlara uçtan uca iletişim ve ağ sistemlerinin kuş bakışı bir görünümünü vermektir. Her bir bölümü bir kitap olabileceği için, mümkün olduğunda teknik detaylardan kaçınılmış, anlaşılır olması açısından da yalın bir dil kullanılmıştır.

Kitap genelden özele inerek iletişim sistemlerini anlatmayı amaçlamaktadır. Bu nedenle ilk olarak iletişim sistemlerinin üç temel bileşeni (kullanıcı ağı, erişim ağı ve çekirdek ağı) üzerinde durulmuştur. Daha sonra sırasıyla bu temel alt yapıların detayları verilmeye çalışılmıştır.

İletişim alanında nesiller şeklinde giden 1G, 2G, 3G, 4G ve 5G sistemleri konunun uzmanı olmayan kişilerin anlayacağı bir dille anlatılmıştır. İletişim ve bilgi ağları sektöründe çalışan meslektaşlarımız genelde, bu kitapta verilen bölümlerin bir ya da birkaçında uzmanlaşmış olduklarından, kendi uzmanlıkları dışındaki konularda da bütüncül bir bakış açısıyla bilgi sahibi olacaktır. Kitabımda değerli görüşlerini esirgemeyen meslektaşlarıma teşekkür ediyorum.

Kitabımı hedef kitleye faydalı olması dileğiyle kızım Saragül Seçgin'e ithaf ediyorum.

Dr. Suat Seçgin

Ocak 2018

İKİNCİ BASKIYA ÖNSÖZ

Kitabın ilk basımının üzerinden (2018) 8 yıl geçmiş bulunuyor. Her ne kadar temel teknolojiler değişmese de okuyuculardan gelen geri bildirimler ışığında kitap gözden geçirilmiş ve içeriği zenginleştirilmiştir. Erişim Şebekeleri başlığı altına WTTx (Wireless to the x) bölümü, Ağ topolojileri bölümü altına, internette kullanılan temel protokoller eklenmiştir.

İlaveten kablosuz iletişim alt yapılar bölümü gerek görsel ve gerekse açıklama ve anlatım olarak zenginleştirilmiştir.

Okuyuculara faydalı olması dileklerimle.

Dr. Suat Seçgin
Eylül 2026

YAZAR HAKKINDA

Yazar, 1971 yılında Sivas iline bağlı Yenikarahisar Köyünde dünyaya gelmiştir. 32 yılı aşan bir süre iletişim sektöründe, erişim şebekeleri, bilgi işlem, bilişim ağları, satış ve müşteri ilişkileri gibi bölümlerde aktif olarak çalışmıştır. Yazar halen Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde doktor öğretim üyesi olarak ağ ve iletişim içerikli dersler vermektedir.

İlk ve ortaokulu Sivas'ta, liseyi Kayseri Fen Lisesinde (1988) bitirdikten sonra sırasıyla Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik & Elektronik Mühendisliği (1992), Dokuz Eylül Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği (Yüksek Lisans- 1999) ve son olarak Dokuz Eylül Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği (Doktora-2016) bölümlerinden mezun olmuştur.

Yazarın veri madenciliği, karar destek sistemleri ve istatistiksel metotları kapsayan, uluslararası hakemli ve indeksli dergilerde yayınlanmış araştırmaları ve Tübitak Bilimsel Araştırma Teşvik Ödülü bulunmaktadır. Yazarın ayrıca “Evolution of Wireless Communication Ecosystems (IEEE-Wiley, 2023)” başlıklı kitabı bulunmaktadır.

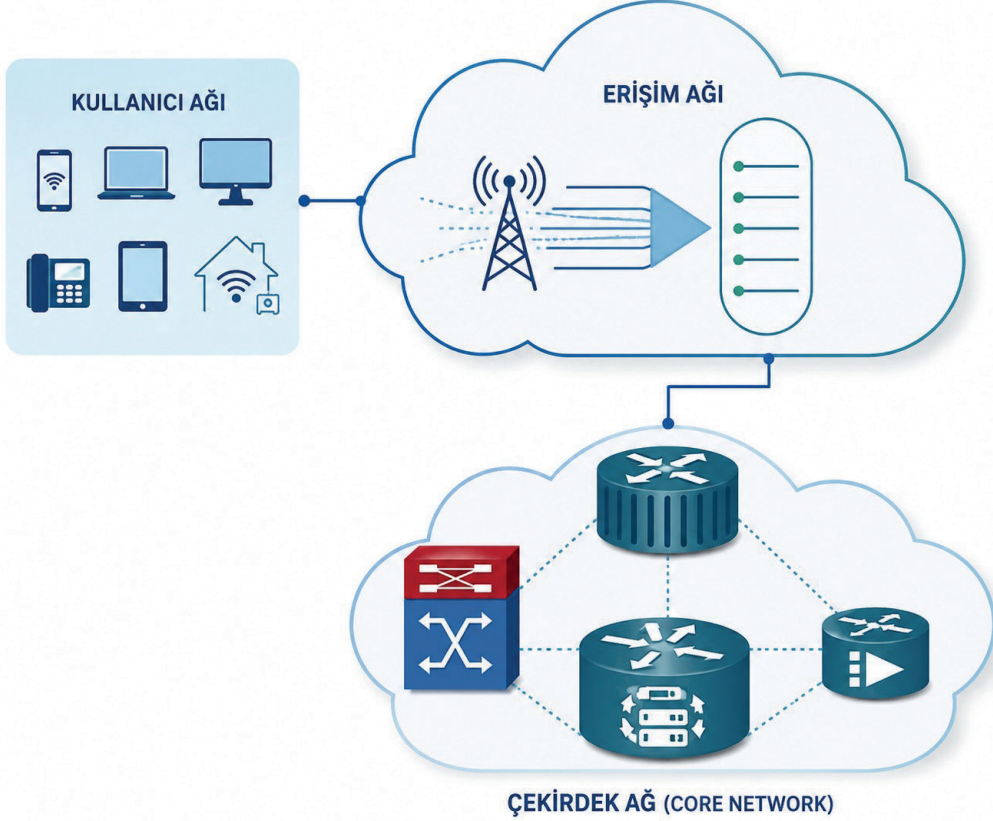
İÇİNDEKİLER

1. Giriş	9
2. Kullanıcı Ağı (User Network)	11
2.1 Giriş	11
2.2 Bakır Altyapı Bulunan Binalar	11
2.3 Fiber Altyapı Bulunan Binalar	14
3. Erişim Şebekeleri (Access Networks)	16
3.1 Komple Bakır Altyapı	16
3.2 Erişim Şebekelerinde Bakır Kablolama	17
3.3 Erişim Şebekelerinde Fiber Kablolama	19
3.4 FTTC/FTTB/FTTH Erişim Şebekeleri	20
3.5 GPON Ağlar (Gigabit Passive Optical Networks)	21
3.6 WTTx (Wireless to the x)	23
4. Ağ Anahtarlama Teknikleri	25
4.1 Devre (Circuit) Anahtarlama	25
4.2 Paket Anahtarlama	25
4.3 Hücre (Cell) Anahtarlama	26
4.4 Etiket (Label) Anahtarlama	27
5. Transmisyon (İletim) Sistemleri	28
5.1 Modülasyon-Demodülasyon	29
5.2 Transmisyon Ortamları	33
5.3 Sayısal Transmisyon Sistemleri	33
5.4 İletim Sistemlerinde Çoğullama (Multiplexing)	35
5.5 Frekans Bölmeli Çoğullama (FDM)	37
5.6 Dalga Boyu Bölmeli Çoğullama (WDM)	37
5.7 Zaman Bölmeli Çoğullama (TDM)	37
6. Ağ Temelleri	40
6.1 Open Systems Interconnection Model (OSI Model)	40
6.2 TCP/IP	42
6.2.1 Veri linki katmanı	42
6.2.2 TCP katmanı	43
6.2.3 IP katmanı	43
6.3 IP Adresleme	44
7. Ağ Topolojileri	47
7.1 Personal Area Networks (PANs)	48
7.2 Yerel Alan Ağları (Local Area Network-LAN)	48
7.3 Metropol Alan Ağı (Metropolitan Area Network -MAN)	49

7.4 Geniş Alan Ağı (Wide Area Network -WAN)	50
7.5 Internet	50
7.6 Internet Protokolleri	51
8. Geniş Alan Ağ Teknolojileri ve Uygulamaları	53
8.1 Multiprotocol Label Switching (MPLS)	53
8.2 MPLS Avantajları	54
8.3 ATM (Asynchronous Transfer Mode)	54
8.4 ISDN (Integrated Services Digital Network)	55
8.5 DOCSIS	56
8.6 DSL Geniş Bant Erişim	57
8.7 IPTV	57
9. Kablosuz İletişim Alt Yapıları	60
9.1 Hücresel İletişim	60
9.2 Birinci Nesil Hücresel Ağlar (1G)	61
9.3 İkinci Nesil Hücresel Ağlar (2G)	61
9.4 Üçüncü Nesil Hücresel Ağlar (3G)	62
9.5 Dördüncü Nesil Hücresel Ağlar (4G)	63
9.6 5. Nesil Hücresel Ağlar (5G)	65
9.7 Şeylerin İnterneti (Internet of things-IoT)	69
9.8 6. Nesil Hücresel Ağlar (6G)	70
9.9 7. Nesil Hücresel Ağlar (7G)	70
9.10 Uydu Ağları	71
9.11 802.11 Ailesi	72
9.12 LiFi	73
10. Voice over IP (VoIP)	75
10.1 Servis Kalitesi (Quality of Service-QoS)	75
10.2 Paket Ses Ağı (Packet Voice Network)	76
10.3 VoIP Sinyalleşme Protokolleri	76
10.4 Önemli Ağ Metrikleri	77
11. Kurumsal Ağ Uygulamaları	79
11.1 G.SHSDL	79
11.2 Frame Relay	80
11.3 Sanal Özel Ağ (Virtual Private Network-VPN)	81
11.4 Bulut Teknolojileri (Cloud Computing)	82
11.5 Metro Ethernet	84
11.6 GGAC	86
12. Referanslar	87

1. Giriş

Uçtan uca kablolu ya da kablosuz iletişim ağları, kullanıcı ağı (user network), erişim ağı (şebekesi-access network) ve çekirdek ağ (core network) olarak üç ayrı bölümde incelenebilir.



Şekil 1.1 İletişim ağı kuşbakışı görünüm

Gerek iletim ortamları gerek ağ yönetim özellikleri ve gerekse kullanılan protokoller açısından bu ayrıştırma/sınıflandırma elzemdir. Kullanıcı ağından başlamak üzere, sırasıyla erişim şebekeleri ve çekirdek ağ yapıları anlatılacaktır. Kuş bakışı görünümünden bir başka deyişle genel görünümünden özel görünüme doğru açıklamalı bir yöntem izlenecektir.

Kullanıcı ağı, isminden de anlaşılacağı üzere, bağımsız bölüm diye ifade edebileceğimiz, son kullanıcı lokasyonunda kurulu bulunan ağıdır. Bu ağ da kullanılacak cihazların bağlantı konfigürasyonu kullanıcı tarafından yapılır. Evimizde kullandığımız DSL bağlantılar bu ağ türüne örnek verilebilir.

Kullanıcı ağı ile asıl anahtarlamaların (devre/paket anahtarlama) yapıldığı çekirdek ağ arasındaki katman, erişim ağı (Access network) olarak adlandırılır. Erişim şebekesi, telekom operatörü ve servis sağlayıcıların sorumluluğundadır.

Çekirdek ađ (core network) gerek devre anahtarlama ve gerekse paket anahtarlamanın yapıldığı ana omurgayı temsil eder. Bu omurga yapıları, omurga sağlayıcılar ve telekom operatörleri tarafından kontrol edilen yapılardır.

Kitabımızı, bu ana kategori çerçevesinde kurguladık. Öncelikle kullanıcı ağları yalın ve basit bir şekilde açıklanacak, daha sonra ise erişim ve çekirdek ağlar çok fazla teknik detaya girilmeden verilecektir.

2. Kullanıcı Ağı (User Network)

Telekomünikasyon şebekesinde en uç noktada bulunan kullanıcı ağı olarak adlandırabileceğimiz nokta, iletişim ağının ev/iş yeri gibi lokasyonlarında bulunan kullanıcı yerel ağını ve bu ağa bağlı cihazları temsil eder.

2.1 Giriş

Yerleşim yerlerindeki binalarda bulunan konut ve iş yerlerine (bir başka deyişle bağımsız bölümlere) kablolu erişim, fiber ve bakır devre erişimi olarak iki farklı yoldan yapılabilmektedir. Operatör santralından itibaren bağımsız bölüme kadar bakır erişim olan ağlar (komple bakır ağ) mevcutken, bu ağlar günümüzde yerlerini yavaş yavaş fiber erişim sistemlerine bırakmaktadır. Kablosuz erişim sistemleri kitabın ilgi alanı dışında olduğu için değinilmeyecektir.

Günümüz modern erişim sistemlerinin yavaş yavaş Fiber optik kablolamaya dönüştüğünü söylemiştik. Fiber erişim sistemleri ise kendi arasında üç ayrı bölüme ayrılmaktadır (Bu konu erişim şebekeleri kısmında detaylı olarak anlatılacaktır):

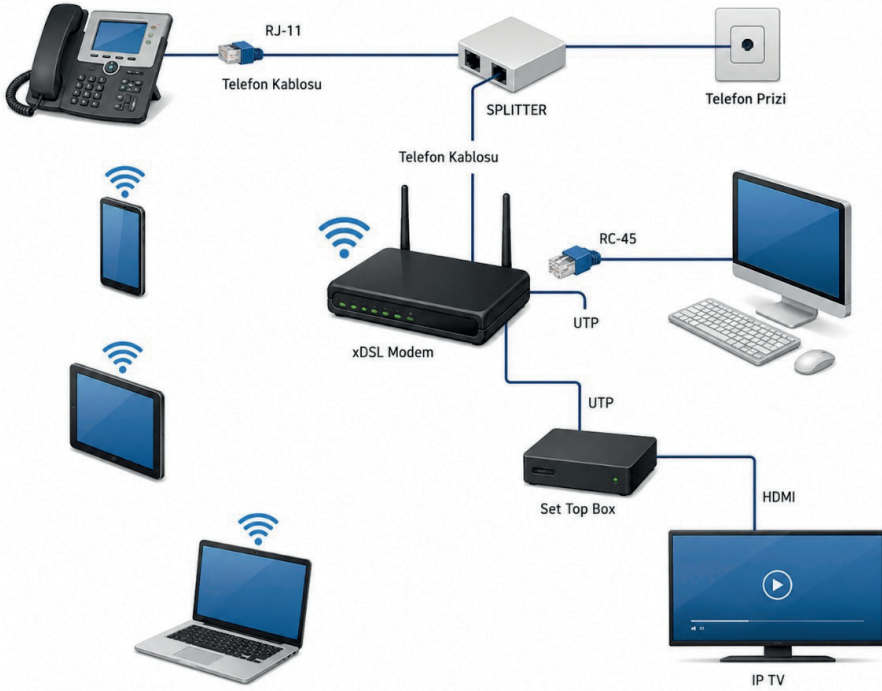
- Fiber to the curb (FTTC: Kampüs alanı girişine kadar fiber)
- Fiber to the building (FTTB: Bina girişine kadar fiber)
- Fiber to the home (FTTH: Bağımsız bölüme/son kullanıcıya kadar fiber).

Yukarıda anlatılan sistemler, genel tabirle FTTX erişim sistemleri olarak adlandırılır. Doğal olarak, erişim sistemindeki bakır devre mesafesi düştükçe ve fiber mesafesi arttıkça son kullanıcıya sunulan bant genişlikleri de yükselmektedir. Operatör açısından, özellikle dikey yapılaşmada gerek maliyet ve gerekse operasyon masrafları düştüğü için FTTx sistemleri erişim şebekelerinde ana alt yapı olarak tüm dünyada giderek yaygınlaşmaktadır. İşletim ve yatırım maliyetleri yanında her geçen yıl artan son kullanıcı hız ihtiyaçları da bu dönüşümü tetikleyen parametrelerden birisidir.

2.2 Bakır Altyapı Bulunan Binalar

Bina erişimlerinde, binalara erişim komple bakır ya da FTTC-FTTB olması (bina içi tesisat bakır 2 tel) durumunda oluşan topoloji Şekil 2.1'de verilmiştir.

Kablosuz lokal bağlantıları yanında category 5 veya 6 (Cat-5, Cat-6) Ethernet kabloları ile de lokalde bulunan cihazlar xDSL modem router üzerinden internete bağlanabilmektedir.



Şekil 2.1 Kullanıcı iletişim ağı

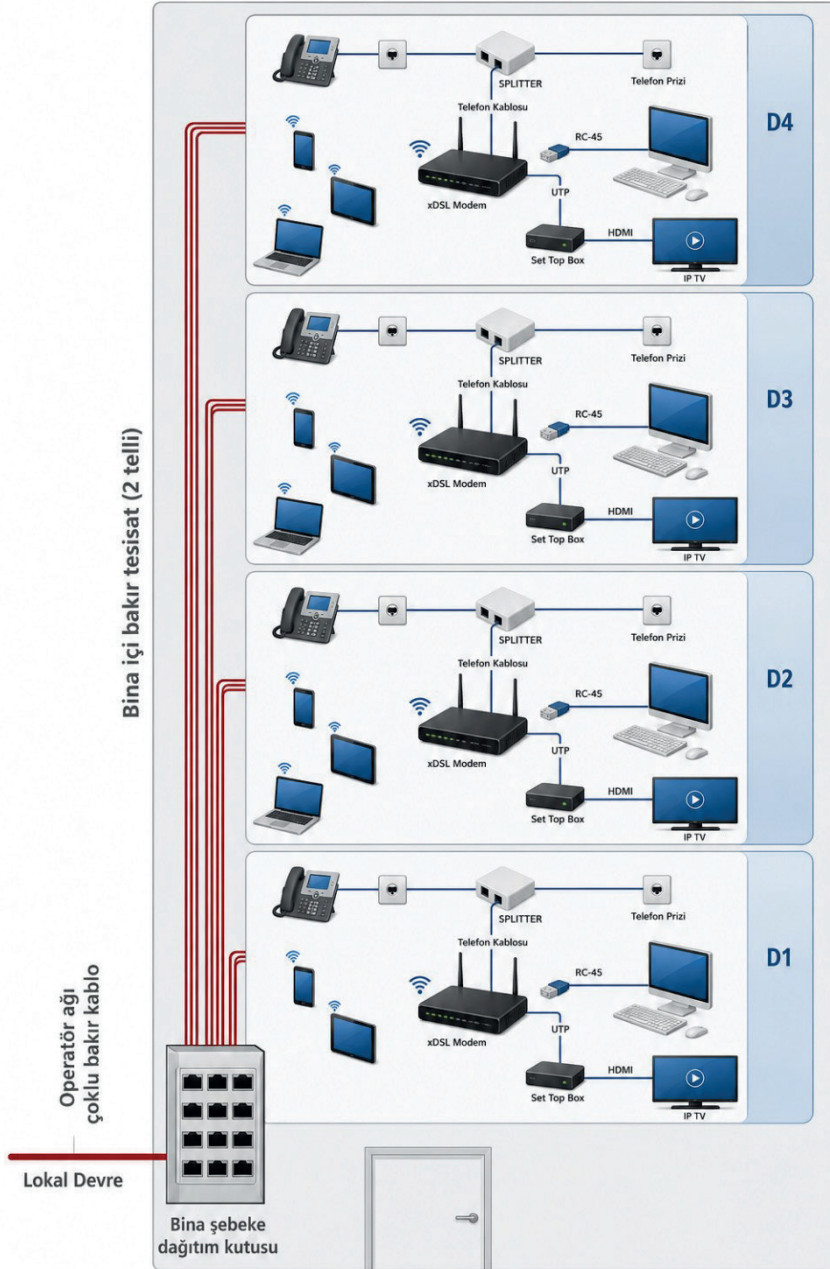
Şekil 2.1’den de görüleceği gibi, erişim ağını bina girişinde sonlandıran operatör bu noktada kullanıcı ağı (user network) ile kendi erişim ağını (access network) buluşturur. Kullanıcı ağında kullanıcı, alt yapının izin verdiği ölçüde cihazı kablolu ve/veya kablosuz olarak ağına ekleyebilir ya da çıkartabilir. Bina girişinden kullanıcının bulunduğu kata kadar olan kısım bina içi tesisat olarak adlandırılır bu kısım tamamıyla kullanıcı sorumluluğundadır. Buradaki uygulamada, operatör bina girişinden bağlantısını yaptıktan sonra ilgili kata/bölüme çıkarak modem kurulumunu gerçekleştirir.

Kullanıcı ağı telefon prizi olarak tasvir edilen noktadan başlar. Bu noktada, telefon ve DSL sinyalini aynı anda (farklı frekans bantlarında) taşıyan telefon kablosu, splitter olarak isimlendirilen ve bant geçiren filtre görevi gören pasif (enerji ile beslenmeyen) gerece girilir. Splitter (bant geçiren filtre), telefon ve DSL sinyallerini ayrıştırarak yine iki telli telefon kablosu üzerinden, DSL modem ve telefona iletir.

Kullanıcı ağında, IP TV bulunması durumunda, DSL modeme UTP Cat-5/Cat-6 kablo üzerinden RJ-45 konektörlerle IP TV Set-Top-Box bağlantısı yapılır. Televizyon ve Set-Top-Box bağlantısı ise HDMI kablo ile yapılır ve artık TV kumandası Set-Top-Box kumandası üzerinden işler. Kullanıcı ağında, IP TV bulunması durumunda, Set-Top-Box’ın IP TV ağına bağlanabilmesi için, DSL modem üzerinde ayrı bir sanal yol (virtual path) set etmek gerekecektir. Böylelikle internet paketleri ayrı bir sanal yol ve IP TV paketleri ise yine farklı bir sanal yol üzerinden servis sağlayıcıya ulaşır.

Şekil 2.2’de bağımsız bölümlerin, bina içi kablo sonlandırmaları şematik olarak gösterilmiştir.

Görüleceği gibi, her bir bağımsız bölüm, tek bir (iki telli) telefon hattı üzerinden bina dağıtım kutusuna irtibatlandırılır. Benzer şekilde kullanıcı ağlarının irtibatlandığı binalar lokal devreler üzerinden saha dolabı ismi verilen yapılarda birleştirilir. Son noktada saha dolapları ise santrale yüksek kapasiteli bakır kablolar ile irtibatlandırılır.



Şekil 2.2 Bina içi iletişim ağı

Bir santral sahasında bulunan binaların tamamının çekirdek ağ (core network) üzerine bağlanması konusu ilerleyen bölümlerde detaylı olarak verilecektir.

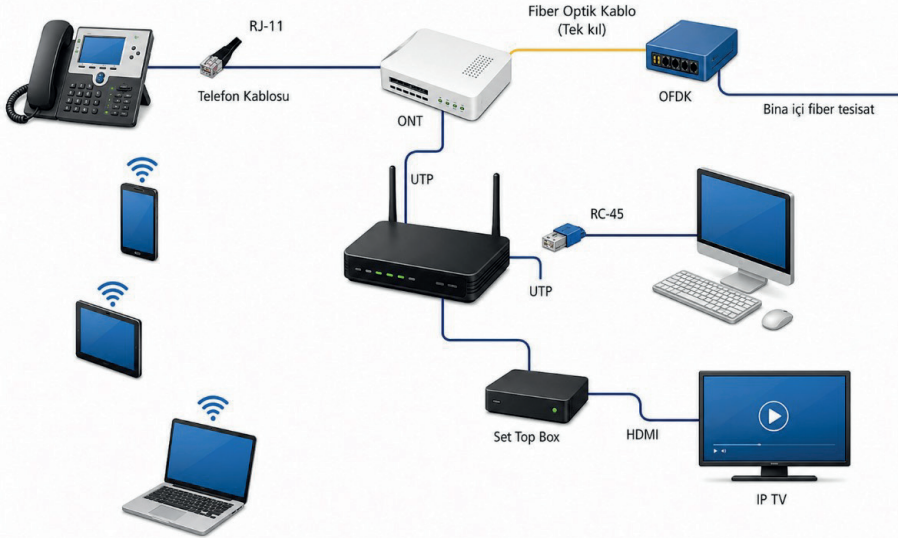
2.3 Fiber Altyapı Bulunan Binalar

Önceki bölümlerde, FTTH (eve kadar fiber) sistemlerden bahsetmiştik. Erişim şebekesi bu şekilde kurgulanmış iletişim alt yapılarının fiberden dolayı çok daha yüksek hızlara (100 Mbps örneğin) çıkacağı açıktır. Bu erişim sistemlerinde, fiber kablo evdeki ONT (optical network termination) cihazında sonlandırılır. ONT cihazı üzerinde bulunan RJ-11 port üzerinden telefon bağlantısı yapılır.

Yine ONT cihazı üzerinde bulunan fiber port aracılığıyla “fiber patch cord” ile DSL ve IP TV bağlantısını sağlayan ev geçidi (home gateway) bağlantısı yapılır. Home gateway cihazı, DSL modem ile aynı işlevi görür ve gerek kablolu gerek kablosuz bağlantılarda, DSL modemlerle aynı bağlantı protokollerini kullanır.

Bağımsız bölüm girişlerinde bakır altyapıda bulunan telefon bağlantı noktası yerini, OFDK (Optik Fiber Dağıtım) kutusuna bırakır. Bina girişinde bulunan fiber splitter’dan ayrılan fiber bina içi tesisat ile gelerek, OFDK kutusunda sonlanır.

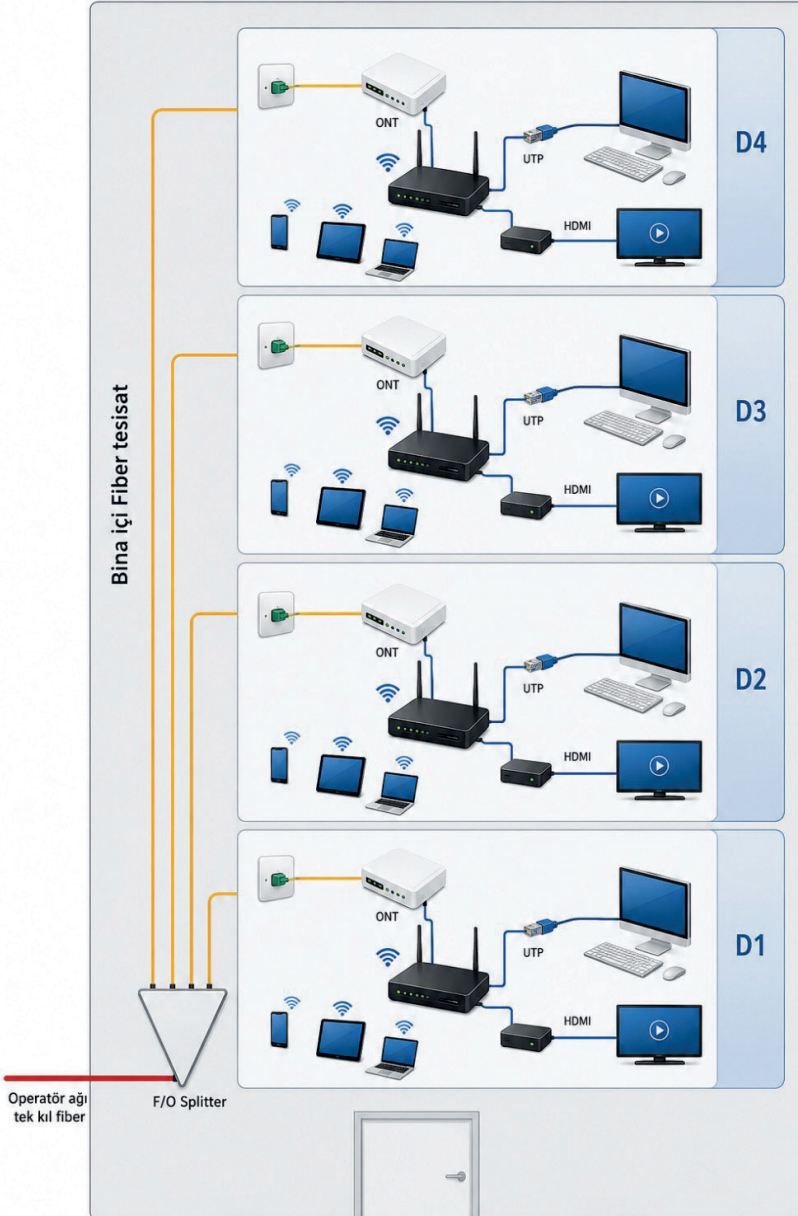
Lokal makinaların ağ bağlantıları, bakır devre alt yapılı kullanıcı ağlarında olduğu gibi, kablosuz (WiFi) veya kablolu (Cat-6) yapı üzerinden gerçekleştirilmektedir. Buradaki ana fark, evin içine kadar giren fiber kablonun ONT üzerinde sonlandırılacak, erişim şebekelerinde maksimum hızlara çıkmasıdır. Geleneksel yapılarda, son kullanıcı ile santral (operatör) arasında mesafe, kablo çaplarına bağlı olarak 4 ila 6 kilometrelere kadar çıkabilmektedir. Kablo mesafesi nedeniyle oluşan elektriksel kayıplar ise dramatik hız düşüşlerini tetikler.



Şekil 2.3 Fiber erişimli kullanıcı ağı

Operatör fiber erişim ağından gelen bir fiber kablo bina girişinde F/O ayırıcı (splitter) ile her bir bağımsız birime birer fiber kılı çıkılır. Bu fiber kablo bağımsız bölümde bulunan OFDK kutusuna gelir oradan da yukarıda bahsedildiği gibi ONT üzerinden, kullanıcı ağına bağlanır. FTTH (Eve kadar fiber) sistemleri GPON (Gigabit passive optical network) teknolojisini kullanır.

GPON (Gigabit Pasif Optik Ağ), fiber optik altyapı üzerinden yüksek hızlı internet, TV ve telefon hizmetlerini tek bir hat üzerinden sunan, santral ile kullanıcı arasındaki iletimde elektrik enerjisiyle çalışan aktif cihazlar yerine ışığı kıran pasif ayırıcılar (splitter) kullanan yüksek verimli bir erişim teknolojisidir. Tek bir fiber kılı üzerinden gelen ışık sinyalini çok sayıda aboneye bölüştürerek ciddi bir enerji ve donanım tasarrufu sağlayan bu yapı; indirme yönünde 2.5 Gbps, yükleme yönünde ise 1.25 Gbps'ye varan bant genişliği sunar. Böylece mesafe sınırlamalarını aşarak ev ve iş yerlerine kadar kesintisiz, düşük gecikmeli ve yüksek performanslı geniş bant bağlantısı ulaştırılmasını mümkün kılar.

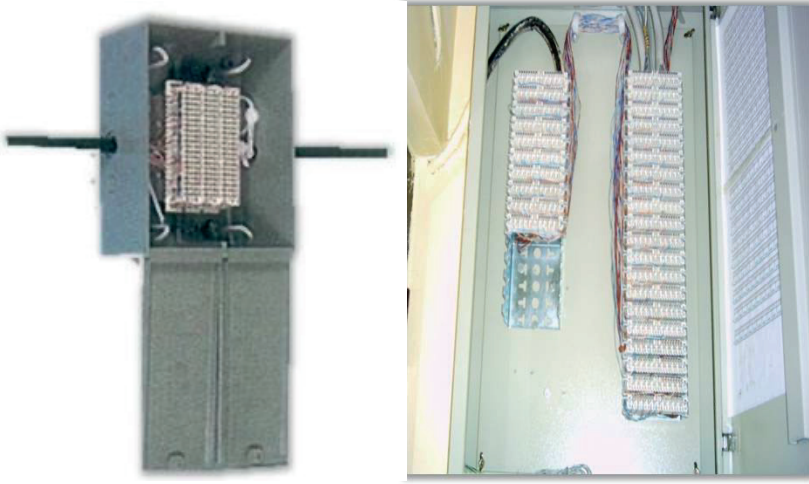


Şekil 2.4 FTTH Bina altyapısı

3.2 Erişim Şebekelerinde Bakır Kablolama

Bina içi dağıtım kablolarında 0,4-0,5 milimlik çift tel bakır kullanılmaktadır. Bina girişinden daireye kadar bu çifti barındıran çoklu kablolar (4, 6, 8 çiftlik kablolar). Eve kadar fiber olmayan uygulamalarda günümüzde, Cat-5 ve Cat-6 kablo diye tabir edilen Ethernet kablolama yöntemi kullanılmaktadır. Bu kablolanın nedeni esnekliğidir. Bu kabloların içerisinde bulunan bir çift kablo klasik telefon bağlantısında kullanıldığı gibi, eve kadar fiber (yada aktif Ethernet) uygulamalarında da RJ-45 konektörler ile ev yerel alan ağı oluşturmakta da kullanılabilir.

Şekil 3.2 ve 3.3'te, bina girişlerinde bulunan dağıtım kutularına örnekler verilmiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi, bu kutularda operatör bakır alt yapısı ile kullanıcı ağı altyapısı birleştirilir. Şekilden de görüleceği gibi, bina dışında bulunan dağıtım kutuları ekstradan suya ve diğer atmosfer koşullarına dayanıklı yapıda tasarlanmıştır.



Şekil 3.2 Bina içi dağıtım kutusu örnekleri



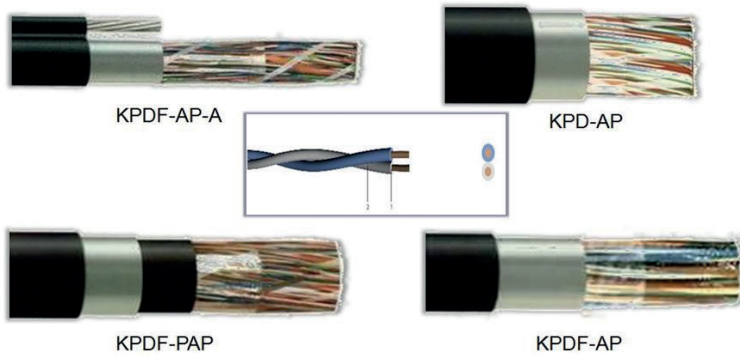
Şekil 3.3 Bina dışı dağıtım kutusu

Daha önce de söylediğimiz gibi, dağıtım kutuları uygun kapasitedeki kablolarla (10'luk, 20'lik, 50'lik ve yüzlük) saha dolabında birleştirilir. Saha dolabında temel olarak iki bölüm bulunur; Santral yönüne bakan prensipal kablo modülleri ve lokal tarafa bakan modüller. Bu iki modül arasında her bir müşterinin bağlı olduğu lokal ve prensipal kablolar belli olduğu için bu iki modül "jumper" teller ile kapıştırılır. Gerek yeni telefon tesisi gerekse arıza ıslah çalışmaları, bu geçiş noktaları kullanılır. Özellikle arıza yeri bulunurken, repartitörden başlanılarak, sırayla repartitör-saha dolabı, saha-dolabı-dağıtım kutusu, dağıtım kutusu-hane arası kontrol edilerek arızanın bulunduğu yer tespit edilmektedir.

Benzer şekilde, yeni bir hat tesisi yapılırken, her bir abonenin bağlı bulunduğu/bulunacağı prensipal kablo ve lokal kablolar belli olduğundan, bu kablolar önce saha dolabında akabinde bina dağıtım kutusunda kapıştırılır.



Şekil 3.4 Saha dolabı



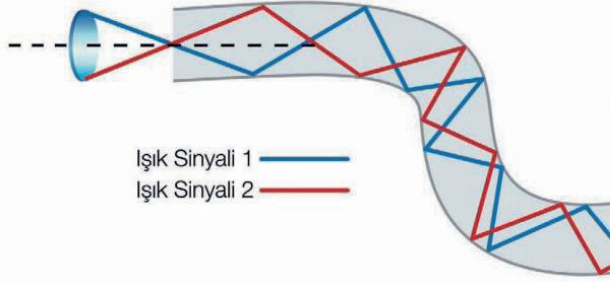
Şekil 3.5 Erişim Şebekelerinde kullanılan kablo örnekleri

Şekil 3.5'de erişim şebekelerinde kullanılan bakır kabloların örnekleri verilmiştir. Bu kabloların içerisinde bulunan çiftler, kendi içlerinde renk kodlarına göre gruplandırılmaktadır. Her bir çiftin ayrı bir renk kodu vardır. Her bir onluk grup farklı renkte şeritlerle ve her bir yüzlük yine farklı renkte şeritlerle sarılarak gruplandırılır. Bu gruplamalar yoluyla, örneğin 1800'lük bir kabloda, hangi çiftin

hangi müşteriye ait olduğu kolaylıklar bulunur. Buradan görüldüğü gibi, bakır kablolama kurulum ve bakım olarak maliyetli bir kablolama çeşidi olduğu gibi, uzak mesafelerde internet bağlantılarında, elektriksel kayıplardan dolayı hız düşümüne neden olabilmektedir. Kablo isimlerinde geçen kodlar kablonun cinsini ve kullandığı yerleri (izolasyon şeklini, büküm sayısını, havai ya da yer altı kablosu vb.) ifade etmektedir.

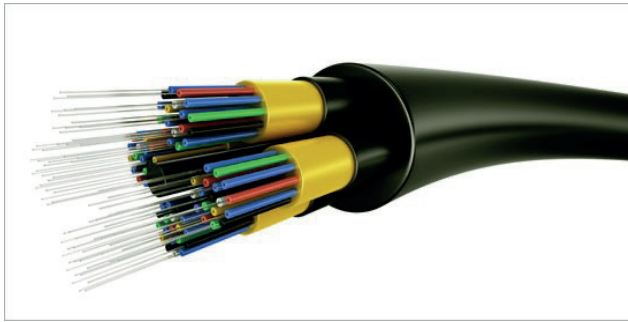
3.3 Erişim Şebekelerinde Fiber Kablolama

Fiber optik kablolar, saç teli kalınlığında camdan yapılmış “fiber kılı denilen” çok hassas kablolardan oluşmaktadır. Fiber kablolar üzerinde, ışık (lazer) yansiyarak hareket ettiği için, elektromanyetik parazitten, nemli ve rutubetli ortamlardan etkilenmez. Üzerinde gönderilen lazer ışığın dalga boyu nedeniyle yüksek yoğunlukta (10 Gbps’e kadar) veri taşıyabilen kablolardır.



Şekil 3-6 Fiber Optik üzerinde ışık iletimi [25]

Yüzlerce çift bakır telden iletilebilen ses/veri tek bir fiber kılı üzerinden iletilebilmektedir. Bu nedenle, santrallar arası bağlantı, iletişim omurgası üzerindeki kablolama fiberden yapılmaktadır. Son yıllarda istek duyulan yüksek hızlı internet bağlantısı nedeniyle, FTTx sistemleri ile birlikte fiber kablolama hem erişim şebekelerine hem de kullanıcı ağına girmiş durumdadır.



Şekil 3.7 Fiber optik kablo

Fiber optik kablolar cam esaslı iletken taşıdıklarından ekleme teknikleri ve ek kutuları yapıları bakır devrelerden farklıdır. Fiber kıl, özel kesicilerde belirli açılarla kesilerek yine özel yöntemlerle karşılıklı olarak kaynaştırılır. Kablo spiralleri belli açılardan daha küçük değerlerde bükülemez (bükülmesi durumunda kayıplar artmaktadır).

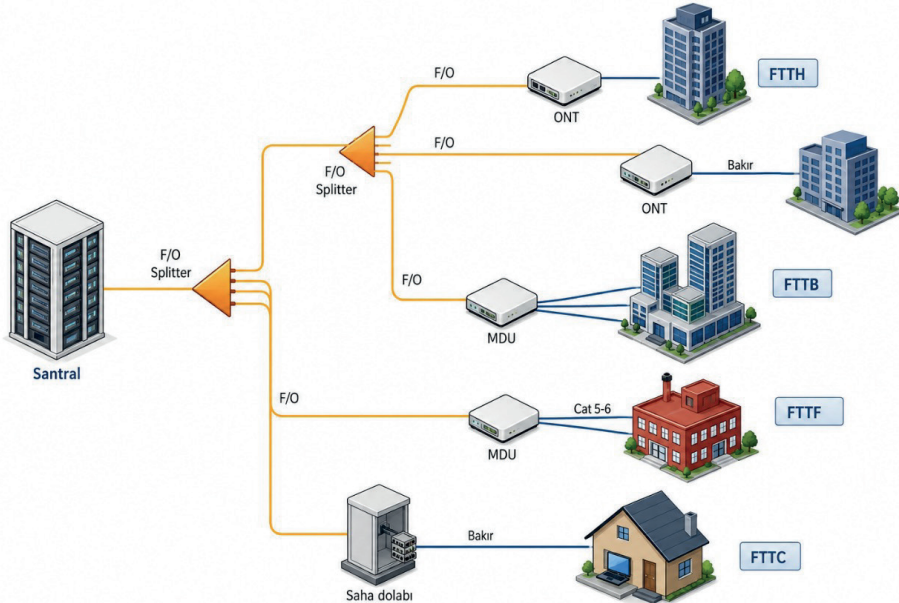


Şekil 3-8 Fiber Optik Ek kutusu (8 kasetli)

Fiber optik kablolarla single mode diye tabir edilen kablolar uzak mesafelerde, multimode çeşidi kablolarla kısa mesafelerde tercih edilen kablolardır. Fiber optik kablo uçlarına (patch cord'lara) MTRJ, LC, SC, ST tipi konektörler takılmaktadır. Bunlar kullanım yerlerine göre isimlendirilirler. Örneğin ST tipi konektör fiber patch panellerin çıkışlarında kullanılırken, SC tipi konektörler switch'lerde kullanılmaktadır.

3.4 FTTC/FTTB/FTTH Erişim Şebekeleri

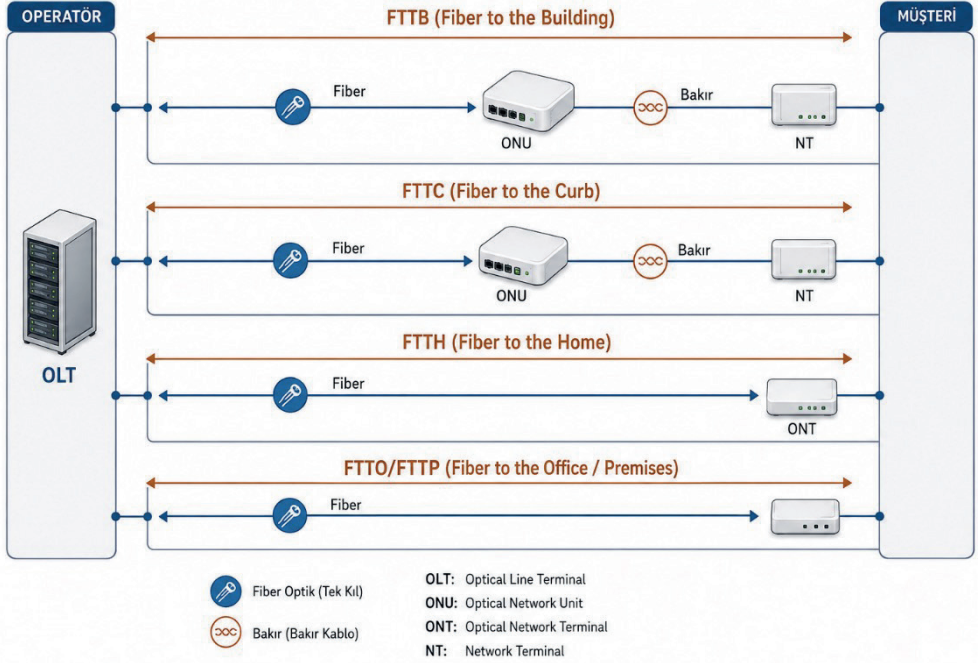
Kampüse/binaya/eve kadar fiber erişim sistemleri, santral merkezinin uygun kapasitedeki izdüşümlerinin kampüs ya da bina girişlerine kadar uzatılması olarak açıklanabilir. Bu sistemlerde, bina ya da kampüs girişine kadar fiberle gelinerek, fiber ucuna aktif sistemler kurulmaktadır. FTTC ve FTTB erişim şebekelerinde ana amaç, komple bakır alt yapıda bulunan prensipal ve lokal kabloların fiber ile ikamesinin yapılarak bakır devre mesafesinin düşürülmesidir.



Şekil 3.9 FTTx Alt yapı

Tahmin edileceği gibi, fiber mesafesinin uzatılarak bakır mesafesinin kısaltılması ile internet bağlantı hızları belirgin bir şekilde (100 Mbps'e kadar) artırılırken, bakım ve işletme maliyetleri de düşürülmektedir.

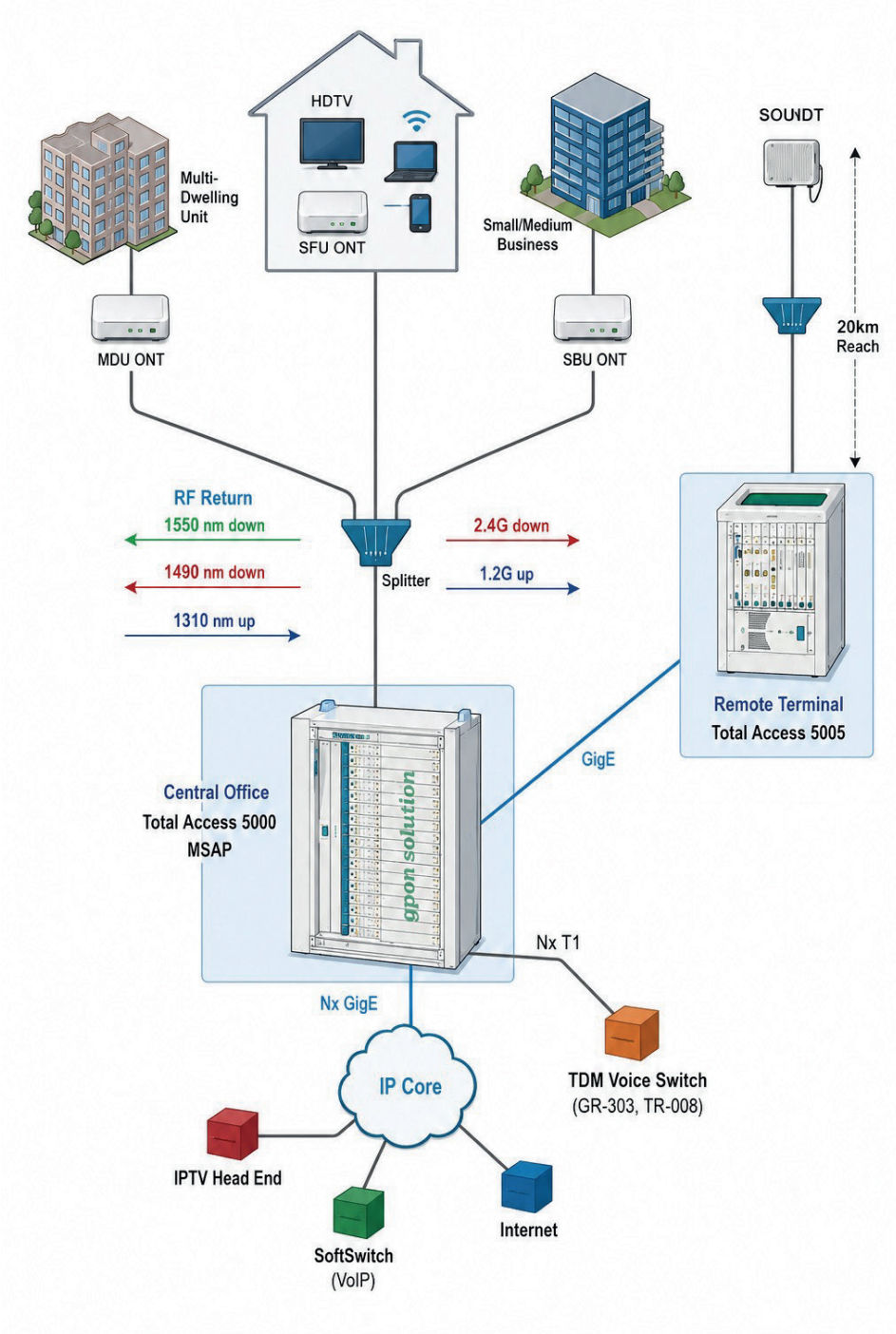
Tüm FTTx sistemleri kendi aralarında pasif ve aktif ağlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu ayrım sonrasında hem pasif hem de aktif ağlarda binaya kadar erişim (FTTB) ve eve kadar erişim (FTTH) alt yapı sistemleri kurgulanabilmektedir. Şekilden de görüleceği gibi eve kadar fiber çözümlerde, erişim şebekesi ya ONT cihazında ya da MDU (Multi-Dwelling Unit) olarak isimlendirilen Ethernet switchler'de sonlandırılır.



Şekil 3.10 FTTx Kavramsal yapı

3.5 GPON Ağlar (Gigabit Passive Optical Networks)

GPON, gigabit passive optical networks (gigabit pasif optik network) anlamına gelmektedir. GPON, ITU (International Telecommunication Union) tarafından G.984.1-G.984.6 standartları ile tanımlanmaktadır. GPON, teknolojisinde pasif fiber ağlar üzerinde, Ethernet, ATM ve TDM (E1/E1, ISDN ve PSTN) trafiği taşınabilmektedir. GPON ağ üzerinde, OLT (Optical Line Termination-Optik hat sonlandırma), ONU (Optical Network Unit – Optik Ağ ünitesi) veya ONT (Optical Network Termination-Optik Ağ Sonlandırma) aktif cihazları çalışmaktadır [26].



Şekil 3.11 GPON alt yapı [25]

GPON, triple-play (telefon, video ve geniş bant internet) servislerini 20 km mesafelere kadar desteklemektedir [7]. GPON sistemlerinin aktif sistemlerde kullanılan fiber sistemlerden temel farkı;

aktif sistemlerde gidiş ve dönüş için ayrı fiber kolları kullanılırken, GPON'da tek kıl üzerinde farklı dalga boyunda sinyaller gidiş ve dönüş için kullanılmaktadır. GPON sistemleri uç kullanıcıya kadar fiber erişimi verdiği için FTTH (Fiber to the home) alt yapıları içinde değerlendirilir. Pasif splitter cihazları üzerinden uç noktalara erişim sağlandığından, GPON sistemleri bir noktadan çok noktaya erişim (point to multi point) sistemleri olarak nitelendirilmektedir [25].

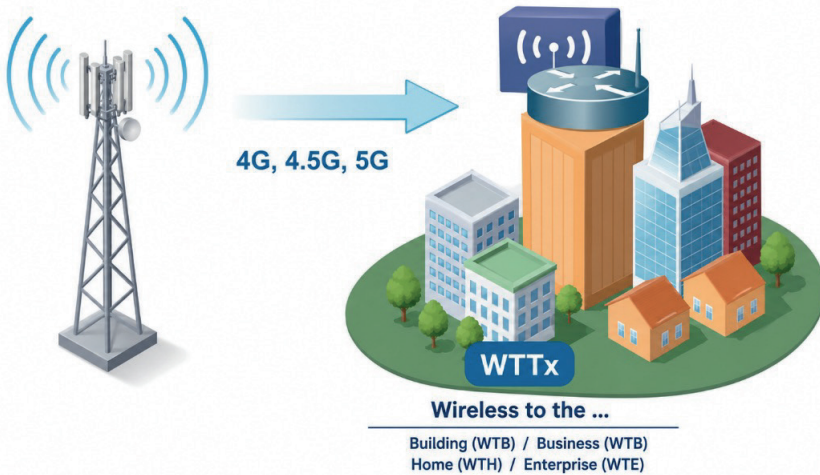
GPON teknolojisi ile 2.488 Gbps kullanıcıya doğru (downstream) ve 1.244 Gbps işletmeciye doğru (upstream) hızları kullanıcılar arasında paylaştırılır. Son yıllarda 10 Gbps hatta 40 Gbps kapasitelerini operatörler test etmektedir.

3.6 WTTx (Wireless to the x)

LTE/Wimax teknolojilerinin hayatımız girmesi ile, bu teknolojileri kullanan erişim sistemleri, özellikle kablo ile erişimin coğrafik olarak zor olduğu bölgelere kurulmaya başlanmış bulunmaktadır. 5G avantajları ile birlikte 2020'li yıllarda önemli bir müşteri bazına sahip olacak WTTx, gerek kolay ve hızlı kurulum gerekse yüksek hızları desteklemesi (1Gbps) açısından önemli bir alternatif erişim sistemi olarak ortaya çıkacaktır.

4G ile gelen WTTx 1.0, 4.5G ile gelen WTTx 2.0 ve nihayet 5G ile gelen WTTx 3.0 versiyonları bulunmaktadır. Araştırmalar göstermiştir ki, FTTx ve WTTx entegrasyonu ile operatörler kapsama alanlarını verimli bir şekilde artırmaktadır.

WTTx (Wireless to the X) çözümleri, fiber altyapı maliyetinin yüksek veya coğrafi engeller nedeniyle fiziksel kablolanmanın imkânsız olduğu bölgelerde, ev ve iş yerlerine geniş bant interneti havadan ulaştırarak "son mil" (last-mile) erişim sorununu ortadan kaldırır. Bu sayede operatörler, altyapı yatırımlarını kısıtlı tutarken kullanıcılarına yüksek hızlı ve düşük gecikmeli bağlantıyı pratik bir şekilde sunarak dijital dönüşümü hızlandırmaktadır.



Şekil 3.12 WTTx Erişim

Çok yeni bir teknoloji olan WTTx'in hedef alanı penetrasyon olarak %20'nin altında bulunan lokasyonlardır. WTTx ile bina girişlerine bağlanan bir LTE alıcı ile wireless ya da kablolu alt yapı olarak internet dağıtılır. Böylelikle, video on demand, VoWifi gibi servisler kolaylıkla verilebilir. İlk uygulaması 4x4 MIMO ve 4 taşıyıcı sistemler fiber alt yapı uygulanmadan 3.5 GHz bandında 400 Mbps'e kadar hızlar desteklenmektedir. Outdoor alıcılar olabildiği gibi indoor alıcılar da desteklenmektedir.

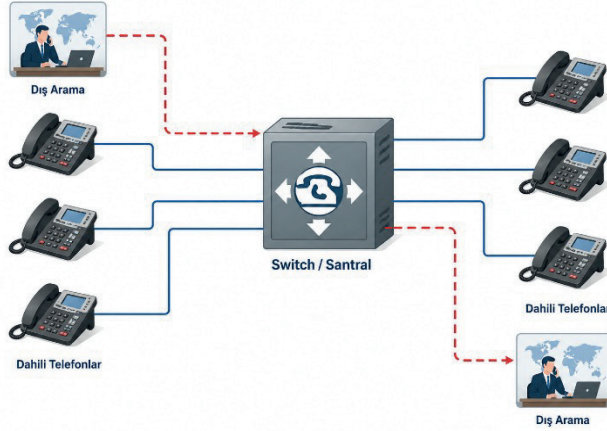
4. Ağ Anahtarlama Teknikleri

Yerel ve geniş alan ağ teknolojilerine geçmeden önce, bir ağ üzerinde bulunan karşılıklı terminaller arasında iletişim kanalını kuran anahtarlama tekniklerine girmekte fayda vardır. Bire-bir (one to one), bire-çok (one to many) ya da çok-açok (many to many) iletişim şekillerinde, karşılıklı uç birim terminallerinin birbiri ile haberleşmesine olanak sağlayan anahtarlama mekanizmaları vardır. İsminden de anlaşılacağı üzere bu anahtarlama işlemleri anahtarlama cihazları (Switching devices/ Switches) tarafından yürütülmektedir.

Uygulamada en fazla devre ve paket anahtarlama teknikleri kullanılmasına rağmen, ilgili taksonomiye tamamlamak adına hücre ve mesaj anahtarlama teknikleri de anlatılacaktır.

4.1 Devre (Circuit) Anahtarlama

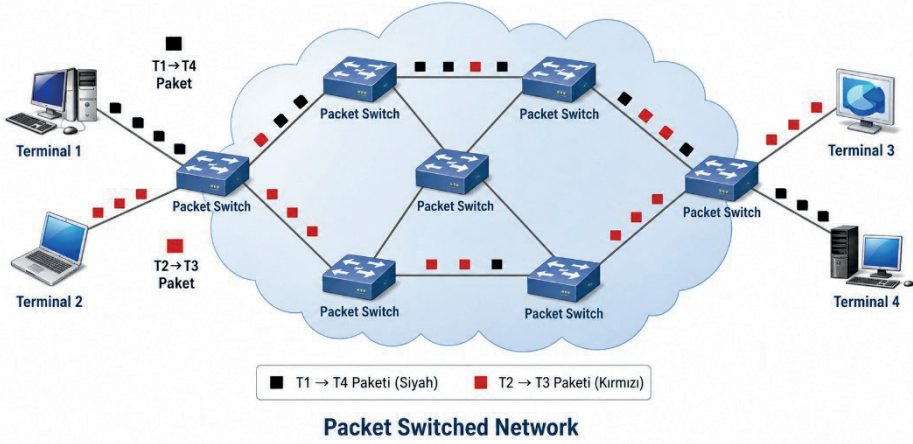
Devre anahtarlama bir ağda, her bir uç birim terminal için yalnızca ilgili terminale atanmış (bağlanmış, tahsis edilmiş) ayrı bir iletişim hattı vardır. Bu hat, iletişim sırasında yalnızca bu terminal tarafından kullanılabilir. Klasik sabit telefon hatlarını düşünecek olursak, evimizden ya da işyerimizden bir başka telefonu aradığımızda her iki telefonun bağlı bulunduğu santral ya da santraller, yalnızca bu iki telefon arasında kullanılacak bağlantıyı karşılıklı olarak kurar.



Şekil 4.1 Devre Anahtarlama

4.2 Paket Anahtarlama

Paket anahtarlama tekniğinde sayısal olarak kodlanan veri, belli boyuttaki paketlere bölünerek hedef terminale yönlendirilmek/anahtarlanmak üzere paket ağına bırakılır. Ağ üzerinde bulunan yönlendirici ve anahtarlar her bir paketin hedef adresine bakarak yönlendirmesini/anahtarlamasını yapar. Hedef adrese ulaşan bu paketler orijinaline uygun olarak hedef adresteki terminal üzerinde birleştirilerek asıl veri oluşturulur. Buradan da anlaşılacağı üzere paket anahtarlama tekniği sayısal bir ağ iletimi tekniğidir.



Şekil 4.2 Paket Anahtarlama

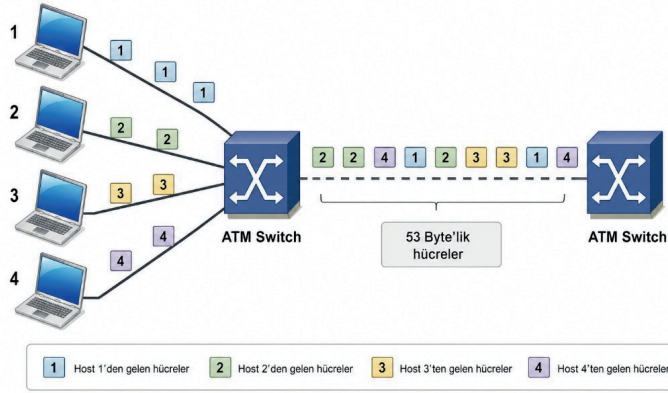
Paket anahtarlama her bir pakete kaynak ve hedef adresler (IP adresleri) işlenir. Böylece, paket havuzuna atılan paketler hedef adreslerine bakılarak ilgili yollara yönlendirilir. Aynı adrese hedeflenmiş paketler farklı yollardan ve farklı zamanlarda hedef adrese ulaşsa bile, burada paketler kaynaktan oluşturulma sıralarına göre yeniden sıralanarak orijinal veri elde edilir.

Paket anahtarlama bir otobana benzetecek olursak, otobanda giden her bir aracı bir paket gibi görebiliriz. Otobandaki araç (paket) sayısı arttığında ulaşım hızının da düşeceğini öngörebiliriz. Bu anlamda, ortak iletim ortamında birçok farklı terminale ait birçok farklı paketin aynı anda bulunabileceğini söyleyebiliriz. Elbette ki, bu paketlerin boyutlanması, geçiş noktalarında (anahtarlarda) önceliklendirilmesi, kaybolması durumunda kaynaktan tekrar gönderilmesinin sağlanması gibi karmaşık mekanizmalar bulunmaktadır ve bu mekanizmalar ağ trafik mühendisliği başlığı altında çalışılmaktadır. İnternet'in paket anahtarlama prensiplerine göre çalışan devasa bir ağ olduğunu konumuza örnek olarak verebiliriz.

Paket anahtarlama, bağlantısız (connectionless) bir iletişim ortamı sağlar. Bir başka deyişle, karşılıklı iki terminal arasında sanalda olsa birebir bir bağlantı ve sabit bir hız sağlamaz. Bu ihtiyaç nedeniyle hücre anahtarlama kavramı ortaya atılarak uygulanmıştır.

4.3 Hücre (Cell) Anahtarlama

Hücre anahtarlama ağların, bir paket anahtarlama ağ olduğunu söyleyebiliriz. Ancak, hücre anahtarlama, paketler 53 byte uzunluğundaki hücreler şeklinde organize edilir ve karşılıklı iki terminal arasında sanal bir devre (virtual circuit) kurulur. Bu sanal devre, tıpkı devre anahtarlama olduğu gibi her iki terminal arasında sadece onların kullanabileceği bir iletim ortamı sağlar. Bu anlamda, hücre anahtarlama bağlantıya dayalı (connection oriented) bir iletişim şeklidir.

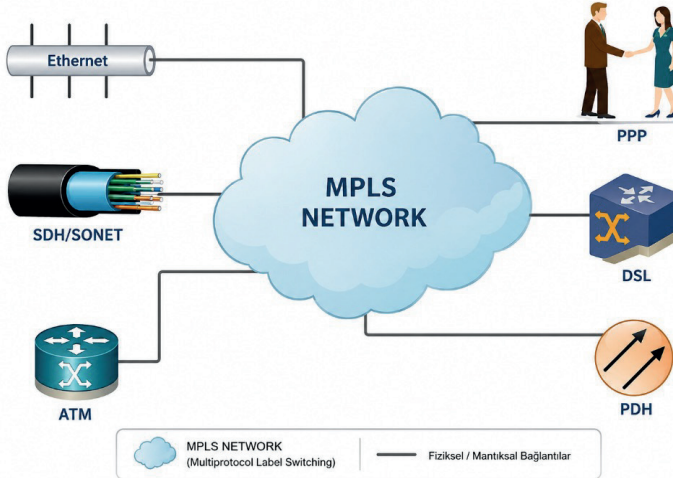


Şekil 4.3 Hücre Anahtarlama

Asenkron Transfer Mode (Asynchronous Transfer Mode-ATM) ağ olarak adlandırılan bu topoloji, sabit boyuttaki küçük paketler ve sanal yollar nedeniyle son derece hızlı, esnek ve güvenilir bir iletişim ortamı sağlamaktadır.

4.4 Etiket (Label) Anahtarlama

Paket anahtarlama ağırlarında kullanılan IP tabanlı yönlendirmelerden kaynaklanan hız sorunlarını ve farklı protokollerin geniş alan ağına ortak bir mekanizmayla taşınabilmesi için “etiket anahtarlama” kavramı ortaya atılmıştır. MPLS ağ üzerinde işleyen bu mekanizma ile hızlı, ölçeklenebilir geniş alan ağı kurularak, farklı protokoller ile çalışan iletişim teknikleri, MPLS ağ üzerinden şeffaf (transparent) bir şekilde koşturulmaktadır.



Şekil 4.4 Etiket Anahtarlama

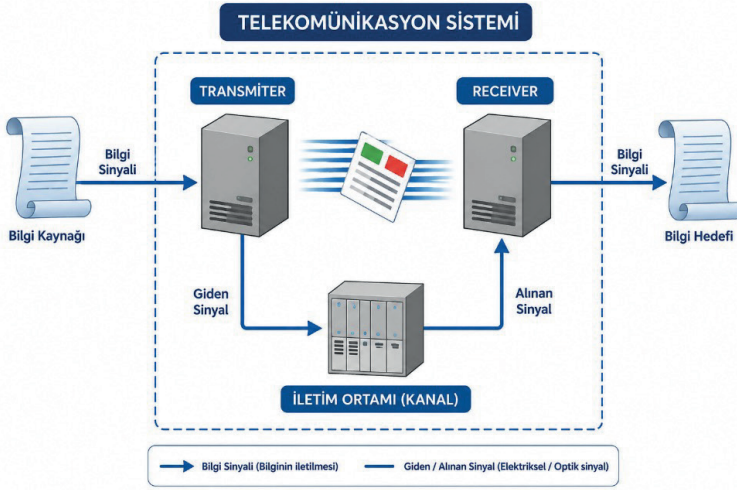
MPLS konusuna bölüm 8.1’de ayrıca detaylı olarak değinilecektir.

İsminden de anlaşılacağı gibi, farklı protokollerden gelen veri paketleri MPLS kıyı anahtarlarında gidecekleri adrese göre “etiketlenerek” MPLS ağına dahil edilir. MPLS ağıdaki anahtarlama ve yönlendirmeler bu etiketlere bakılarak yerine getirilir.

5. Transmisyon (İletim) Sistemleri

Telekomünikasyon sistemleri çekirdek ağlarını anlatmadan önce, kavram olarak iletişim sürecini anlatmakta fayda bulunmaktadır. En kısa tanımıyla telekomünikasyon, bir bilginin, bir kanal üzerinden hedef alıcıya/alıcılara iletimi süreci olarak ele alınabilir (Şekil 5.1). Görüldüğü gibi bir telekomünikasyon sisteminin, verici (transmitter), iletim ortamı (kanal) ve alıcı (receiver) üç temel bileşeni bulunmaktadır. Bu sistemin girdisi bilgi ve çıktısı (sayısal sistemlerde) bilginin bir örneğidir.

İlk bölümlerde telekomünikasyon sistemleri, kullanıcı ağı, erişim ağı ve çekirdek ağı olarak üç ayrı bölümde incelenmişti. Aslında her bir alt sistemin çıktısı (output) bir diğer üst iletişim sisteminin girdisi (input) olarak değerlendirilir. Örneğin, kullanıcı ağın çıktı bilgisi, erişim şebekesinin girdi bilgisi, benzer şekilde, erişim sisteminin çıktı bilgisi de çekirdek ağın girdi bilgisi olarak düşünülebilir.



Şekil 5.1 Telekomünikasyon sistemi

Burada bilgi kaynağı olarak, ses, resim, video veya veri dosyaları olarak tek tek ele alınabildiği gibi, bunların karışımından oluşan bir bilgi kaynağı olarak da ele alınabilir. Verici, bilgi kaynağını alarak, bunu iletim ortamında (bakır-koaksiyel-fiber kablo, atmosfer) iletilecek şekilde modüle eder. İletim hattından alıcıya ulaşan bilgi, burada de-modüle edilerek bilginin bir örneği oluşturulur ve hedef alıcıya ulaştırılmış olur.

Yukarıdaki şekildeki kavramları açacak olursak, telekomünikasyon sektöründe iletim kanalları, transmisyon sistemlerini (SONET, SDH, DWDM vb) ve verici ve alıcı sistemler ise asıl anahtarlamayı yapan geniş alan ağı teknolojilerini (MPLS, ATM, ISDN, TDM vb) sembolize etmektedir. Buradan hareketle çekirdek ağı olarak nitelendirdiğimiz bölümü transmisyon (iletim sistemleri) ve anahtarlamalı (paket, etiket ve devre anahtarlama) çekirdek ağı yapıları olarak ikiye ayırabiliriz.

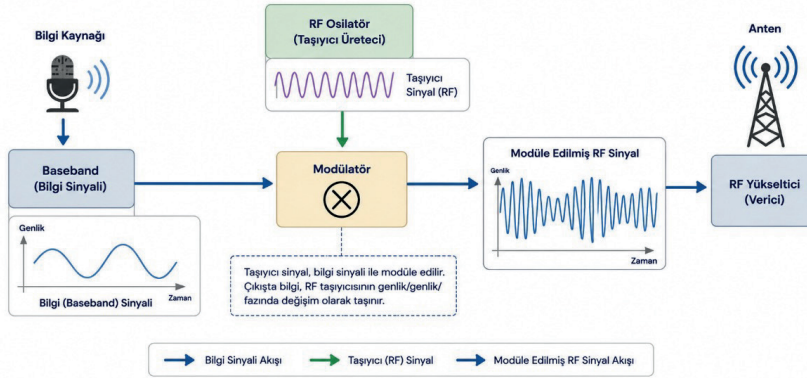
Transmisyon sistemlerine detaylı giriş yapmadan önce temel telekomünikasyon kavramları olan modülasyon teknikleri, tek yönlü çift yönlü iletişim gibi temel kavramlara girmek, okuyucunun kafasında oluşacak resmin belirginleşmesi açısından faydalı olacaktır.

5.1 Modülasyon-Demodülasyon

Ses, görüntü ya da bir başka bilginin kaynağından üretildiği halde uzak mesafelere iletilmesi iletim ortam kısıtları nedeniyle mümkün bulunmamaktadır. Örneğin mikrofondan aldığımız sinyali elektrik kabloları vasıtasıyla hoparlörlere vermek mümkünken, mesafe uzaklaştıkça bu iletim şekli ekonomik olmamakta ve birden fazla bilgiyi düşük frekanslarda bu şekilde iletmeye çalışmak teknik olarak imkânsız hale gelmektedir. Dip not olarak belirtmek gerekir ki, düşük frekanslardaki bilginin, örneğin hava yoluyla gönderilmeye çalışıldığında alıcı ve verici antenlerin, pratikte kullanım imkânı olmayacak kadar dev boyutlara ulaşmasına neden olmaktadır.

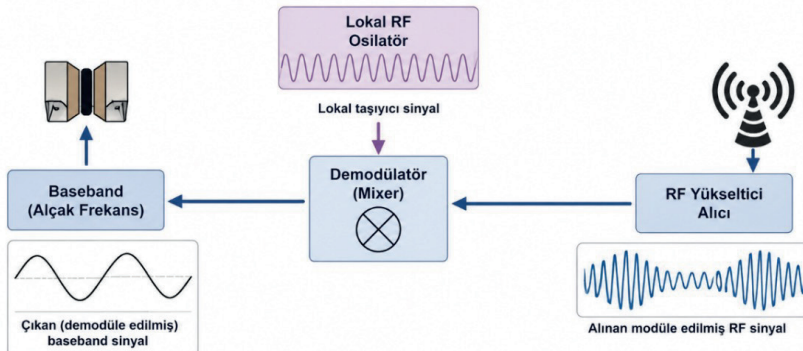
Modülasyon fikri ise buradan çıkmıştır. Düşük frekanslardaki bilgi sinyalini, çok daha yüksek frekanslardaki “taşıyıcı” (carrier) sinyallerin üzerine “bindirerek” göndermek, gerek alma-verme ve gerekse yüksek bant genişliklerindeki ihtiyaç nedeniyle kaçınılmaz olmuştur.

Şekil 5.2’de modülasyon işleminin blok şeması verilmiştir. Görüldüğü gibi temel bant işareti, bir radyo frekans osilatöründen üretilen taşıyıcı sinyal üzerine bindirilir.



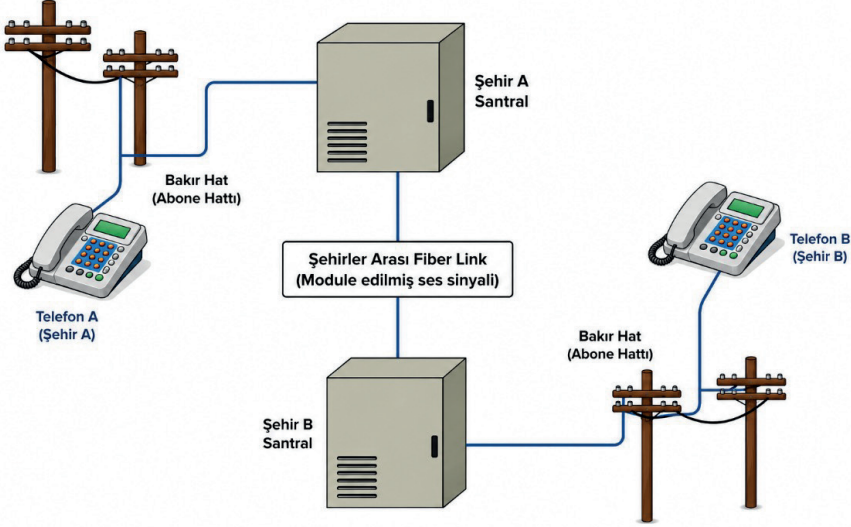
Şekil 5.2 Modülasyon İşlemi

Modülasyon işleminin ters işlemi ise demodülasyon olarak isimlendirilir. Taşıyıcı sinyal üzerine bindirilen temel bant işareti, demodülatör üzerinde ayrıştırılır



Şekil 5.3 Demodülasyon İşlemi

Şekil 5.4’de klasik bir telefon bağlantı şeması verilmiştir. Bakır alt yapı telefon devrelerinde kullanıcı ile santral arası mesafe (kablo çapına bağlı olmak üzere) 6 km’ler civarındır. Her iki santral arası mesafe ise yüzlerce kilometreye kadar çıkabilmektedir. Bu durumda, her iki santral arasındaki bağlantı üzerinde, tüm ses sinyalleri modüle edilerek santraller arasındaki link üzerinden taşınır. Modülasyon teknikleri işte tam burada karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 5.4 Klasik bir şehirlerarası telefon bağlantısı

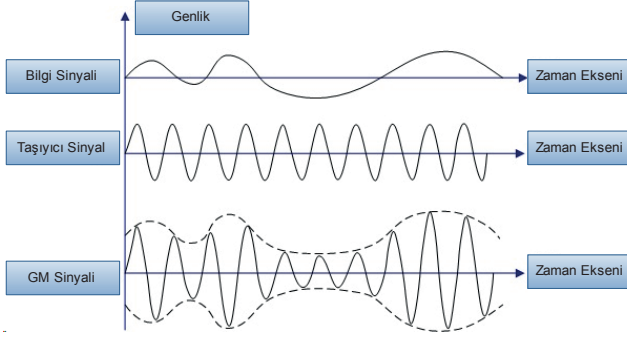
Basit bir deyişle, modülasyon, bilgi sinyalinin genlik, frekans ve faz gibi değişkenleri üzerine bindirilerek iletilmesidir. Sinyalin iletildiği karşı tarafta ise ters modülasyon işlemi (demodülasyon) yapılarak orijinal sinyal elde edilir. Modülasyon, demodülasyon işlemleri modem (modülatör-demodülatör) adı verilen cihazlarca yapılır.

Temel olarak modülasyon tekniklerini ikiye ayırılır;

- **Analog Modülasyon:** Analog giriş sinyalinin iletim ortamına gönderilmeden önce dönüştürülmesi
- **Sayısal Modülasyon:** Sayısal bit serilerinin (bit stream) analog taşıyıcılar üzerine bindirilerek iletim ortamına verilmesi.

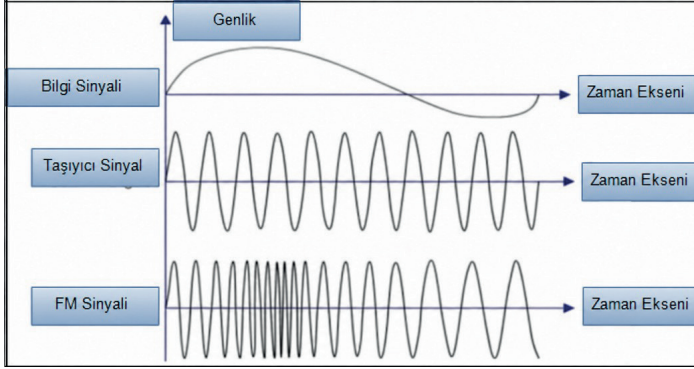
Analog modülasyon teknikleri kendi içlerine üçe ayrılır. Bu ayrım, taşıyıcı sinyalin değiştirilebilir parametreleri rol oynamaktadır. Bir taşıyıcı sinyalin üç parametresi bir başka deyişle büyüklüğü değiştirilebilmektedir; Genlik, frekans ve faz.

Açıklayacağımız birinci tipte taşıyıcı sinyalin genliği (amplitude) bilgi sinyalinin değişimine uygun olarak değiştirilir (Şekil 5.5).



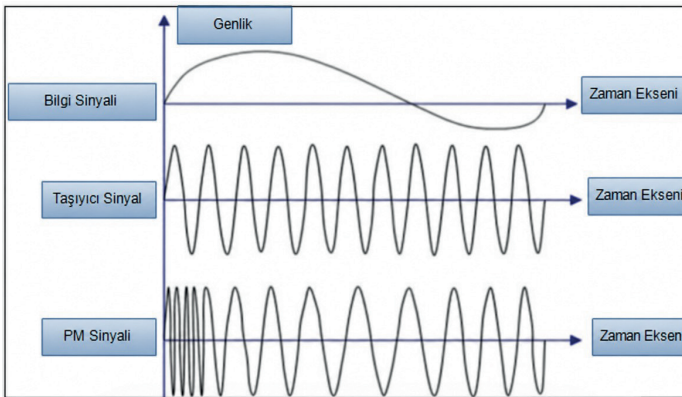
Şekil 5.5 Genlik Modülasyonu

Frekans modülasyonunda ise, taşıyıcı sinyalin frekansı, bilgi sinyalinin frekansına uygun olarak zaman ekseninde değişmektedir (Şekil 5.6).



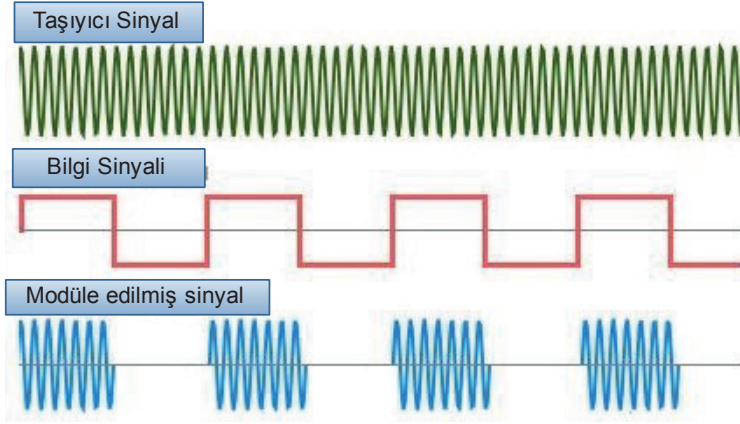
Şekil 5.6 Frekans Modülasyonu

Son olarak, taşıyıcı sinyalin faz değerlerinin, bilgi sinyalinin değişimine uygun olarak değiştirildiği modülasyon tipine faz modülasyonu denilmektedir (Şekil 5.7).



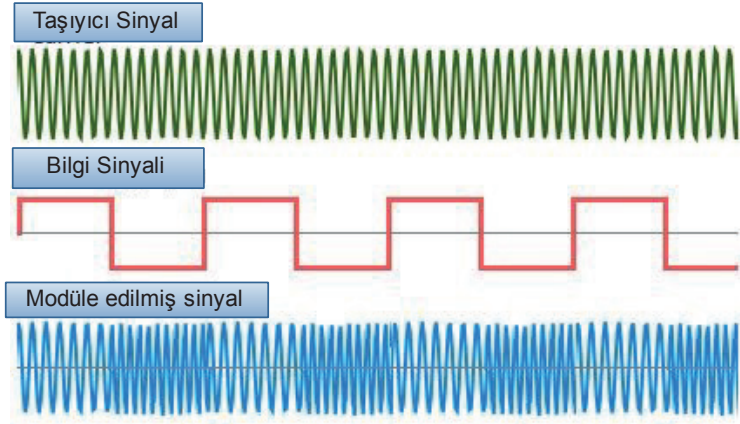
Şekil 5.7 Faz (phase) modülasyonu

Digital (sayısal) modülasyon tekniklerinde bilgi sinyali bit-dizileri şeklindedir. Bu ana kadar anlatılan genlik, frekans ve faz modülasyonları bu bilgi sinyallerine uygulanır. Şekil 5.8'de örnek olarak genlik modülasyonu verilmiştir.



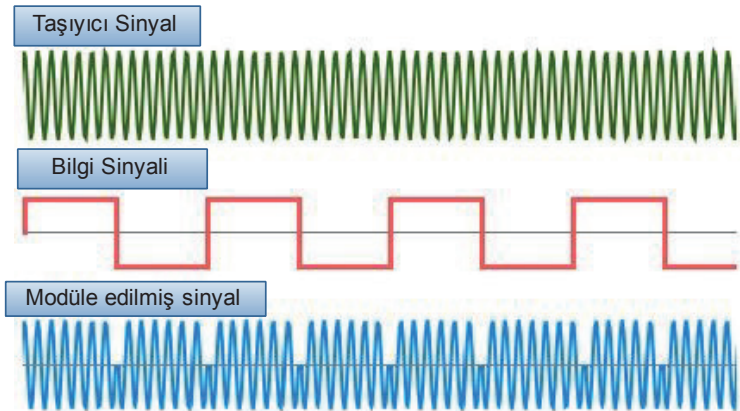
Şekil 5.8 Sayısal Genlik Modülasyonu (Amplitude Shift Keying)

Şekil 5.9’da sayısal frekans modülasyonu verilmiştir.



Şekil 5.9 Sayısal frekans modülasyonu (Frequency Shift Keying)

Şekil 5.10’da sayısal faz modülasyonu verilmiştir. Dikkat edilirse bit serilerinin değiştiği noktalarda taşıyıcı sinyalin fazında kaymalar olmaktadır.



Şekil 5.10 Sayısal faz modülasyonu (Phase Shift Keying)

5.2 Transmisyon Ortamları

İletim sistemleri (sektörel tabirle artık transmisyon sistemleri olarak söylenecektir) temel olarak iki ana başlığa ayrılır;

- Kablolı transmisyon sistemleri
 - ▶ Bakır kablo
 - ▶ Bükümlü çiftli kablo
 - ▶ Koaksiyel kablo
 - ▶ Fiber optik kablo
- Kablosuz transmisyon sistemleri
 - ▶ Mikro dalga (Alıcı, vericiyi fiziksel olarak görmek zorunda değil)
 - ▶ Uydu radyo dalgaları (Alıcı, vericiyi fiziksel olarak görmek zorunda)
 - ▶ Infrared
 - ▶ Işık (LiFi)
 - ▶

İletim ortamlarında temel olarak üç farklı haberleşme şekli bulunmaktadır;

- **Simplex (basit) bağlantı:** Bu iletişimde sadece gönderici terminal bilgi sinyali gönderir. Alıcı terminal ile herhangi bir etkileşim olmaz. Televizyon ve radyo yayınları bu iletişim türüne örnek verilebilir.
- **Half-Duplex (Yarı ikili) bağlantı:** Bu bağlantı türünde karşılıklı iletişim bulunur ancak belirli bir anda bir terminal hatta veri gönderebilir. Bir terminal bilgi gönderirken diğer terminal hatta bilgi sinyali veremez. Telsiz konuşmalarında half-duplex iletişim yöntemi kullanılmaktadır.
- **Full Duplex (Tam ikili) bağlantı:** Bu iletişim şeklinde, karşılıklı her iki terminal de aynı anda hatta bilgi yükleyebilmektedir. Karşılıklı telefon konuşmaları bu iletişim türüne örnek verilebilir.

5.3 Sayısal Transmisyon Sistemleri

Günümüz teknolojilerinde, artan bant genişliği ihtiyacı, uzak mesafelere erişim ihtiyacı ve maliyet-kurulum avantajları yönüyle fiber optik transmisyon sistemleri yoğunlukla kullanılmaktadır. Uygulamada iki farklı optik transmisyon standardı bulunmaktadır; SONET (Synchronous Optical Network) ve SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

SDH sistemleri Avrupa'da ve onun benzeri olan SONET sistemleri ise Kuzey Amerika'da standartlaşan transmisyon kavramlarıdır. Diğer tüm özellikleri (modülasyon tipleri vb) benzer olmasına karşın, SONET (Senkron Optik Network) başlangıç hat hızı 51.84 Mbps'ten başlarken bu hız (bant genişliği) SDH sistemlerinde 155.520 Mbps'dir. SDH ve SONET arasındaki bir başka farklılık ise temel dijital hat hızlarında görülmektedir (T1 ve E1 sistemleri).

SONET ANSI (American National Standards Institute) tarafından ve SDH ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) tarafından geliştirilmiş bir optik iletim sistemidir [4]. SONET ve SDH TDM çoğullama kullanan ve senkron çalışan bir transmisyon sistemidir. Bir başka deyişle, bu sistemler üzerinde çalışan saatlerin tamamı bir master saat'e kilitlenir.

SONET ve SDH benzer alt yapıları kullandığından topoloji olarak SONET'in yapısı verilecektir.

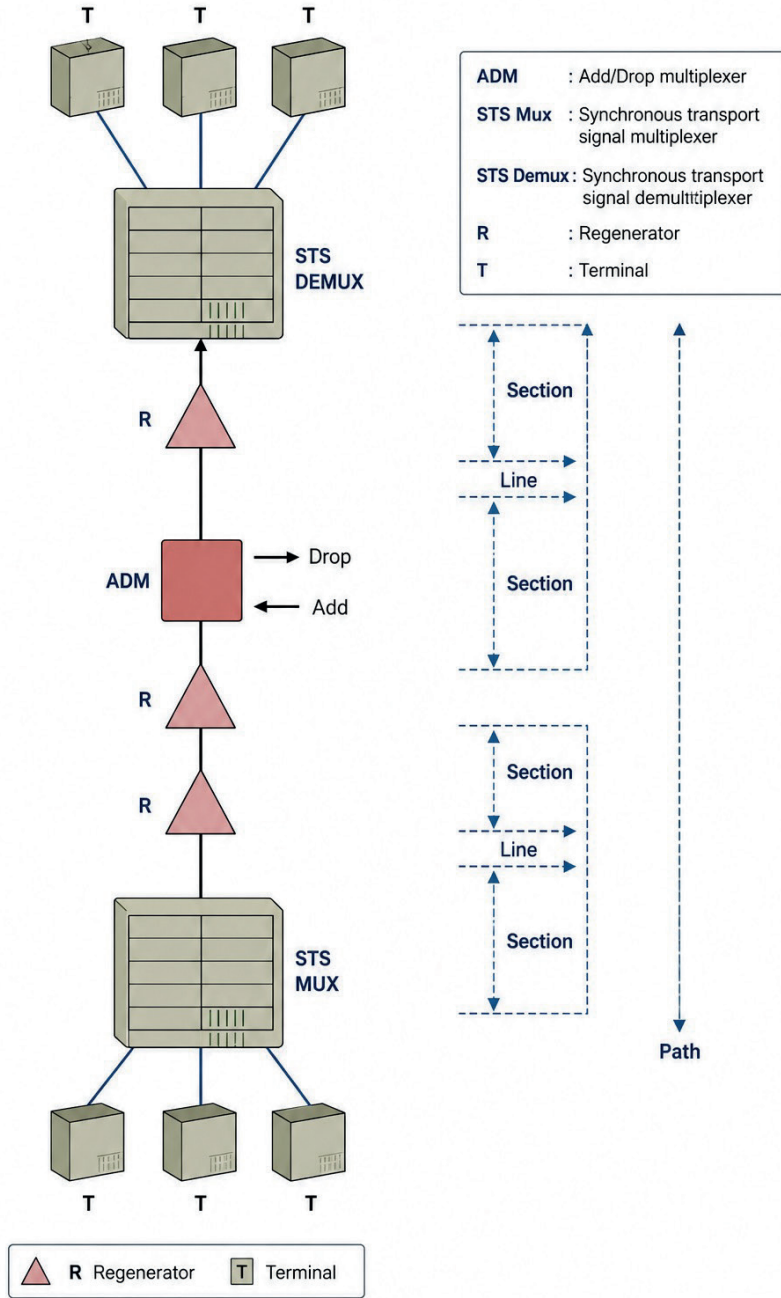
SONET/SDH hızları [4]

STS (Synchronous transport signals)	OC (Optical Carrier)	Rate (Mbps)	STM (Synchronous transport module)
STS-1	OC-1	51.840	
STS-3	OC-3	155.520	STM-1
STS-9	OC-9	466.560	STM-3
STS-12	OC-12	622.080	STM-4
STS-18	OC-18	933.120	STM-6
STS-24	OC-24	1244.160	STM-8
STS-36	OC-36	1866.230	STM-12
STS-48	OC-48	2488.320	STM-16
STS-96	OC-96	4976.640	STM-32
STS-192	OC-192	9953.280	STM-64

Şekil 5.11’de verilen kavramlara değinecek olursak;

- **STX Multiplexer/Demultiplexer:** SONET linklerinin başladığı sonlandığı noktalardır. Elektriksel çalışan hatlar ile optik network arasında çoğullama yapana ara yüzlerdir.
- **Regenerator:** Link mesafe ve uzunluklarını artırmak için kullanılan aktif cihazlardır. Bu cihazlar, optik sinyali demodüle ederek orijinal elektrik sinyaline dönüştürür ve son olarak da ilgili optik sinyale dönüştürür. Böylelikle sinyal gücü artırılarak uzak mesafelere transmisyon sağlanmış olur.
- **Add/Drop Multiplexer:** Add/Drop multiplexer bir başka kaynaktan gelen sinyali mevcut linke gömer, ya da çıkartılması gereken sinyali o linkten çıkartır. Böylelikle, tüm optik sinyalin modüle/ de modüle edilmesine gerek kalmaz.
- **Terminals:** Sonet tarafından verilen servisleri kullanan cihazlardır. Örneğin, Internet için düşünersek, bir terminal cihazı router (yönlendirici) olabilir.

Yukarıda bahsedilen aktif iletişim cihazları arasındaki bağlantılar fiber linkler üzerinden yapılmaktadır. Bu bağlantı linkleri, section, line (hat) ve path (yol) olarak yapılandırılır. Section’lar, birbirine komşu cihazlar arasındaki bağlantılardır. Örneğin multiplexer-regenerator, regenerator-regenerator arası bağlantılar bu tarz bağlantılardır. Line diye tabir edilen kısımlar ise STX Mux-ADM veya ADM-STX Demux’lar arası bağlantılardır. Son olarak, STX Multiplexer’lar arasındaki uçtan uca linkler ise path (yol) olarak adlandırılır [4].

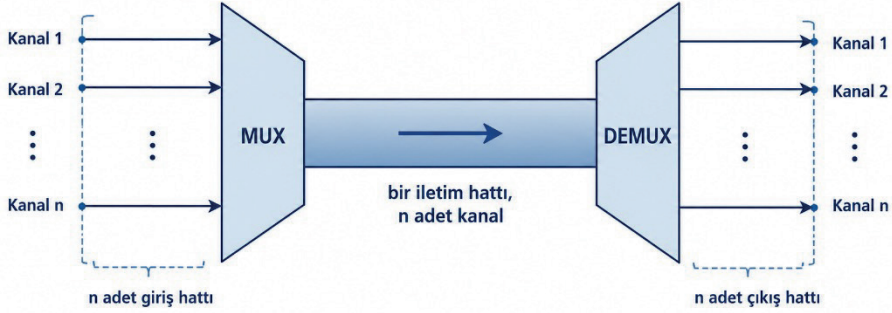


Şekil 5.11 SONET yapısı

5.4 İletim Sistemlerinde Çoğullama (Multiplexing)

İki transmisyon cihazı arasındaki bant genişliği yetmediğinde, aradaki link birçok cihaz arasında türlü tekniklerle paylaşılabilir. Bu, bölümde kısaca bu tekniklere değinilecektir. Çoğullama (terminolojik ismiyle multiplexing) tekil bir data hattı üzerinden eş zamanlı iletim sağlama yöntemlerinin bütününe

verilen isimdir. Yüksek kapasiteli hatlar üzerinde (Koaksiyel kablo, fiber veya radyo sistemi) sağlanan bant genişliğini çoklu kullanıcılar arasında paylaşmak, iletim hatlarının ekonomik olarak kullanılabilmesi için de bir anahtardır (Şekil 5.12).

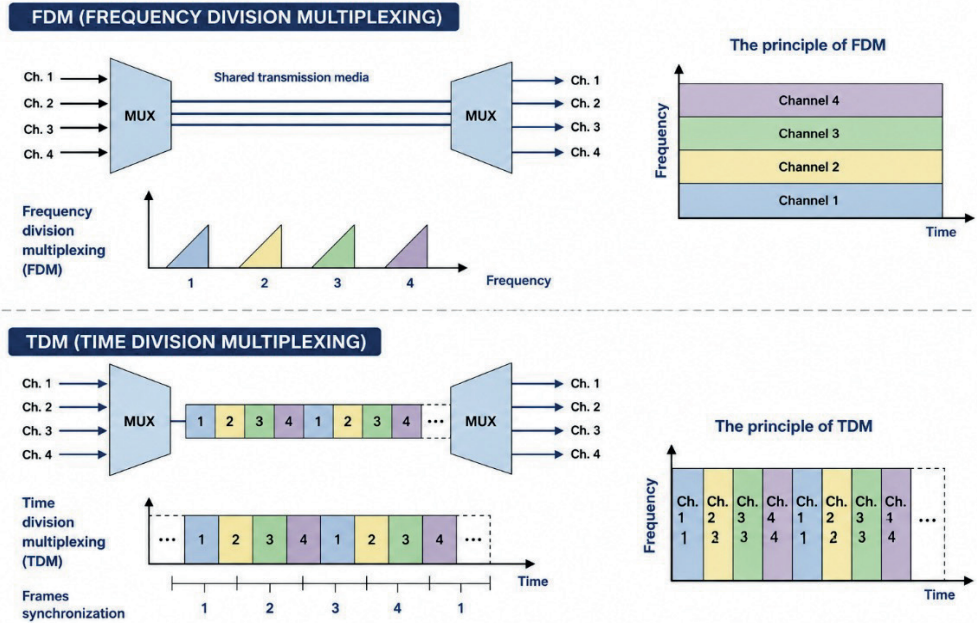


Şekil 5.12 Çoğullama prensibi

Çoğullama sistemleri kendi aralarında üç ayrı kategoride incelenebilmektedir:

- Frequency Division Multiplexing (FDM, Frekans Bölmeli Çoğullama)
- Wavelength Division Multiplexing (WDM, Dalgaboyu bölmeli çoğullama)
- Time Division Multiplexing (TDM, zaman bölmeli çoğullama)

Bunlardan, FDM ve WDM teknikleri analog çoğullama teknikleri ve TDM ise sayısal çoğullama yöntemi olarak karşımıza çıkar.

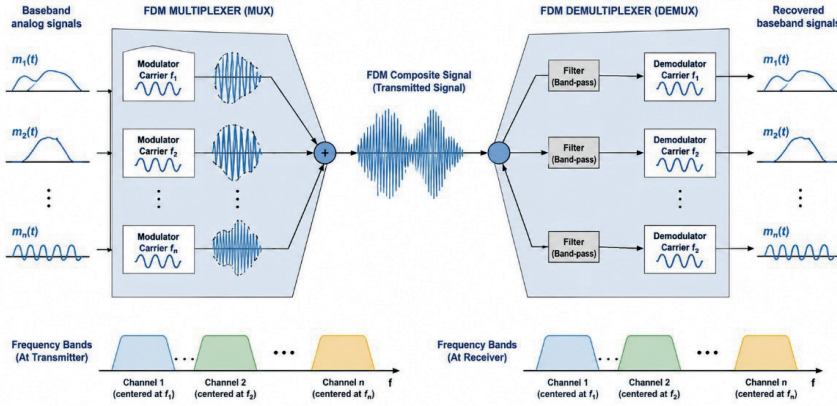


Şekil 5.13 FDM ve TDM [1]

5.5 Frekans Bölmeli Çoğullama (FDM)

Frekans bölmeli çoğullamada, farklı kanaldan gelen her bir sinyal, farklı bir taşıyıcı sinyal ile modüle edilir. Bu taşıyıcı sinyaller, her ne kadar zaman ortamında karışmış gibi görünsede frekans ortamı düşünüldüğünden, biri birinden ayırt edilebilir haldedir. Şekil 5.13'den görüleceği gibi, kanallar taşıyıcı bazlı olmak üzere frekans ortamında ayrıştırılır. Her bir frekans bandı (kanal) arasında koruyucu (guard) band denilen aralıklar bırakılır. Böylelikle, frekans ortamında bir kanal sinyalleşmesi bir diğeri ile karışmaz ve gürültü (noise) oluşmaz. FDM metodunda, aynı zaman aralığında, birden fazla kanal farklı frekanslarda olmak kaydıyla bulunabilmektedir.

Şekil 5.14'te ise FDM metodunda modülasyon, filtreleme ve demodülasyon işlemleri görülmektedir. Şekil'den de görüleceği gibi temel band (baseband) bilgi sinyali farklı taşıyıcılar ile modüle edilerek toplanıp iletim hattına verilir. Alıcı tarafta ise toplanmış ana sinyal "band geçiren" filtreler yolu ile ayrıştırılarak demodülasyon işlemine tabi tutulur. Demodülasyon işleminden sonra bilgi sinyali orijinal haliyle elde edilmiş olur.



Şekil 5.14 FDM Mux-Demux İşlemi [4]

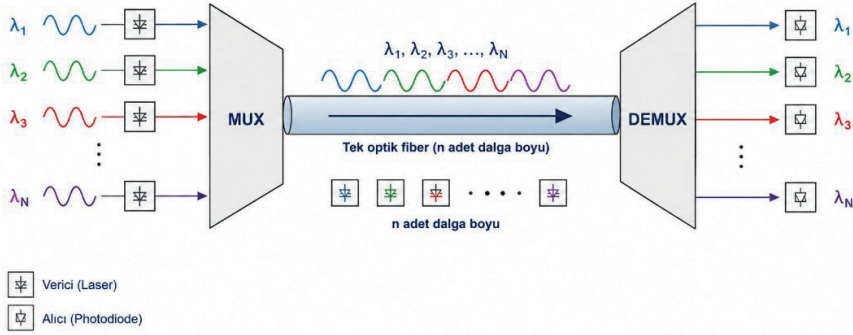
Telefon operatörleri analog taşıyıcı sistemlerini bir hiyerarşi içerisinde düzenleyerek birden fazla FDM Mux çıkışını bir başka FDM Mux'a ve bu işlemi de yine başka bir FDM Mux üzerine bindirerek kaskat bağlı çoğullama sistemleri kullanırlar. Kaskat seviyesi yükseldikçe taşıyıcı frekansta yükseltilerek, grup (12 ses kanalı 48 KHz), süper grup (5 grup, 60 ses kanalı, 240 KHz), master grup (10 Super grup, 600 ses kanalı, 2.52. Mhz) ve Jumbo grup (6 master grup, 3600 ses kanalı, 16.984 Mhz) sistemleri oluşturulur. Böylelikle tek bir iletim ortamında 3600 kanal taşınabilir hale gelmektedir. Bu sistemlere, analog taşıyıcı sistem denmektedir [4].

5.6 Dalga Boyu Bölmeli Çoğullama (WDM)

Şekil 5.15'te WDM (Wavelength Division Multiplexing) tekniği verilmiştir. Buna göre; farklı dalga boyundaki taşıyıcı ışık sinyalleri optik çoğullayıcılar ile tek bir ışık dalgası üzerinde birleştirilir. Böylelikle yüksek hızlı optik linkler oluşturulur.

WDM teknolojisi, tekil optik linkler üzerinde çoğullama yapan analog bir çoğullama teknolojisidir. İlk

bakışta karmaşık gibi görülse de altında yatan fikir oldukça basittir. Bilindiği gibi, ışık prizması kendisine gelen ışık huzmelerini (açı ve dalga boylarına göre) tek bir ışık huzmesinde toplayabilmektedir.



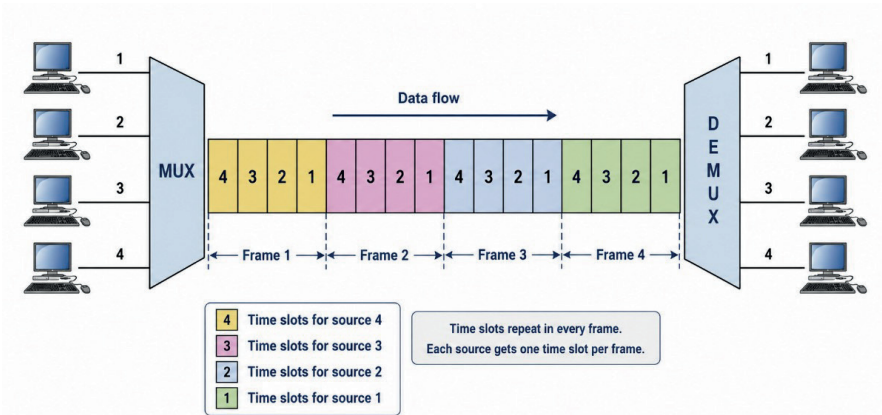
Şekil 5.15 WDM İşlemi

Tersi durumda ise, tekil bir ışık, ışık prizmasından geçirildiğinde, prizmanın diğer tarafında ışığın tayfı diye tabir edilen çoklu (çok renkli, farklı dalga boyunda) ışık huzmeleri oluşur. WDM çoğullama, tekilleme işlemleri işte bu prensip üzerinde yapılmaktadır. Bu şekilde, yüksek bant genişlikli iletim hatları oluşturulabilmektedir.

Yoğun (dense) WDM teknolojisi ile de çok büyük sayıda kanal tek bir fiber hat üzerinden gönderilebilmektedir. Buradaki ana mantık, her bir kanalın birbirine çok yakın dalga boylarında konuşlandırılarak bir bakıma ışık spektrumunu maksimum fayda sağlayacak şekilde etkin kullanımıdır.

5.7 Zaman Bölmeli Çoğullama (TDM)

Şekil 5.16'dan da görüleceği üzere, zaman bölmeli çoğullamada, kanallar farklı zaman dilimleri (time slot) üzerinde oluşturulur. Her bir zaman diliminde bir kanalın bilgileri alıcıya ulaştırılır. Buradaki en kritik nokta, kanallar arasındaki senkronizasyonu sağlamaktır. Bu ise, alıcı ve vericilerde ortak zaman işareti osilatörlerinin (master clock) kullanılması ile gerçekleştirilen bir mekanizma yoluyla sağlanmaktadır.



Şekil 5.16 TDM [8]

TDM teknolojisi, tek bir hat üzerinden, belirli zaman aralıklarında farklı sinyaller (girişler) göndererek çoğullama yapan bir sayısal çoğullama yöntemidir. Bir başka deyişle, zaman ortamı farklı zaman slotlarına ayrılır ve bu slotlar üzerinde bilgi sinyalleri gönderilir. Karşılıklı uçlarda bulunan çoğullayıcı ve ayrıştırıcılar (mux-demux) eş zamanlı anahtarlama yaparak zaman açısından senkron çalışırlar.

TDM, kendi içinde dört tipe ayrılır: senkron, asenkron, serpiştirmeli (interleaving) ve istatistiksel TDM. Bu konular detay bilgi barındırdığından kitabımızda verilmeyecektir.

6. Ağ Temelleri

Kurumsal iletişim uygulamalarına geçmeden önce yapısal bir şekilde ağ temellerini vermek konunun anlaşılır olması açısından uygun olacaktır.

6.1 Open Systems Interconnection Model (OSI Model)

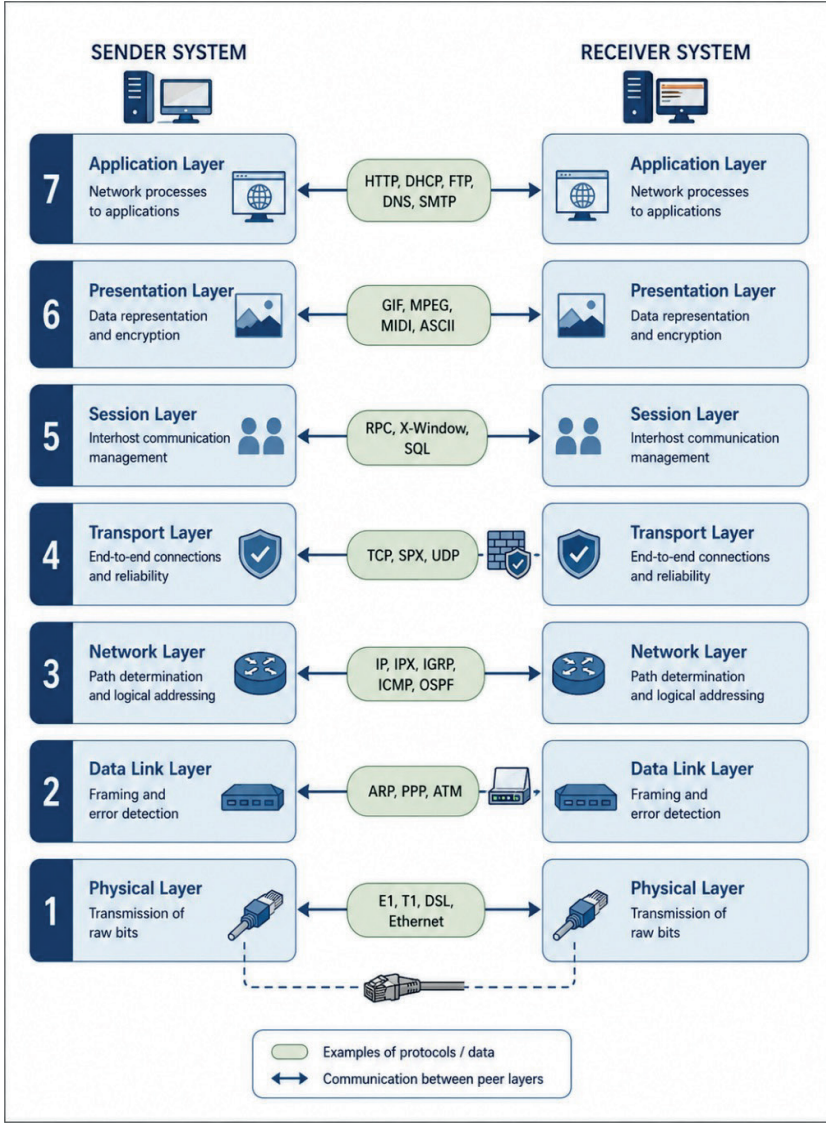
Paket anahtarlama ağı üzerinde iletişim konusunu iyi anlamak için International Organization for Standardization (ISO) kuruluşunun "Open Systems Interconnection (OSI) modelini iyi anlamak gerekir. OSI Modeli 7 katmanlı bir süreçten geçerek uçtan uca paket iletişimin nasıl yerine getireceğini tanımlayan bir referans modelidir. OSI modelinden önce her bilişim şirketinin kendi standartlarına göre kurguladığı ağ alt yapıları bulunuyordu. OSI modeli ile değişik ağ topolojileri ve farklı protokollerin ortak çalışabilmesi sağlanmıştır.

OSI modeli 7 katmanlı bir modeldir. Her bir katmanında o katmana has süreçler yürütülür. Kavramsal olarak karşılıklı haberleşen her bir katman birbirine sanal olarak bağlıdır.

Uygulama, veriyi ilk olarak katman 7'de üretir. Her bir katmanda oluşturulan veri o katmana has verilerle zarflanır (encapsulation) ve bir sonraki katmana atılır. Her bir katman kendi bilgilerini veriye giydirek bir alt katmana geçirir. En son fiziksel katmanda elektrik sinyallerine dönüştürülen veri karşı host'un fiziksel katmanına ulaşır. Veri yukarı doğru her bir katmanı geçtikçe, zarfı açılır (decapsulation) ve ilgili katman kendi anlayacağı veriyi alır.

Her bir katman kendi katmanı dışındaki veriyi okuyamaz. Bir başka deyişle kendi karşı eşteş (peer) katmanı dışındaki katman verileri o katman için anlamsızdır.

Her bir katmanda o katmana özel protokoller çalışır. Örneğin uygulama katmanında internete girdiğimizde kullanılan http (hyper text transfer protocol) protokolü iletişimi sağlar. Ya da e-mail istemci çalıştırdığımızda SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) protokolü mail transferini sağlar.



Şekil 6.1 ISO OSI Model

3 katman olan ağ katmanı paketlerin ağ üzerindeki yönlendirmelerini, hedefe ulaşmalarını sağlayan katmandır. Bu katmanda router cihazları çalışmaktadır. Benzer şekilde data link katmanında Ethernet switch cihazları çalışır. Şekil 6.1'de OSI katmanları ve bu katmanlarda çalışan protokollere örnekler verilmiştir.

OSI katmanlarını özetleyecek olursak;

- **Uygulama katmanı:** Uygulamaların (Internet Explorer, Outlook, FTP istemci vb) çalıştırıldığı katmandır.
- **Sunum katmanı:** Veri dönüşümü, sıkıştırma ve kod dönüşüm işlemlerinin yapıldığı katmandır.
- **Oturum katmanı:** Uygulamalar arasındaki koordinasyonu ve karşılıklı veri akışını yönetir ve senkronize eder. Oturum açma diyaloglarını kullanıcıya sağlar.
- **İletim katmanı:** Uçtan uca veri transferi ve transferin tutarlılığını sağlar.

- **Ağ katmanı:** Veri paketlerinin ağ üzerinde yönlendirilmesinden sorumludur.
- **Data Link katmanı:** Fiziksel adreslemenin çalıştığı katmandır.
- **Fiziksel katman:** Elektrik sinyallere ve ikili (binary) iletime dönüşüm.

6.2 TCP/IP

Paket tabanlı çalışan bir ağda TCP (Transmission control protocol), iletim katmanında ve IP (Internet Protokol) ise ağ katmanında çalışır. IP katmanından bakıldığında, IP ile iletişim bağlantısız (connectionless) bir iletişim ortamı sunar. Bir başka deyişle, karşılıklı iki node arasında birebir bir bağlantı kurulmaz. IP paketleri ağ ortamında ortak bir havuzda “yüzer”. TCP/IP protokol kümesini bağlantılı (connection oriented) kılan protokol TCP protokolüdür. Paketler iletim katmanında TCP portları ile kavramsal olarak karşılıklı eşleştirilir.

İletim ve internet protokolünün bir iletişimci ya da ağ uzmanı tarafından çok iyi anlaşılması gerekir. Ağ topolojilerinde bu iki kavram, güvenlik özelliklerinden tutun, ağda olabilecek tıkanmaların kontrolüne kadar birçok yerde kullanılır. İletim katmanı (4. Katman) üzerindeki katmanlar daha çok, sistem yöneticilerini ve uygulama geliştiricilerini ilgilendirmektedir. Bir ağ uzmanının odaklanması gereken en önemli 3 katman, 2 (Veri linki), 3 (IP) ve 4 (TCP) katmanıdır. Buradan hareketle, bu 3 katman ayrı birer konu başlığı altında işlenmeyi hak etmektedir.

6.2.1 Veri linki katmanı

Veri katmanı karşılıklı node'lar arasında en güvenilir veri paylaşımı sağlar. Ağ katmanından aldığı paketleri frame'ler haline getirerek elektrik sinyalleri haline dönüştürülüp iletim ortamına verilmek üzere fiziksel katmana (1. Katman) iletir. Veri Linki katmanı aşağıdaki fonksiyonları yerine getirir [21];

- **Frame'leme:** Frame'ler ağ katmanından alınan veri bitlerinin yönetilebilir veri birimlerine çevrildiği veri paketleri olarak nitelenebilir. Bu katman bu frame'lerin oluşturulmasından sorumludur.
- **Fiziksel Adresleme:** OSI'nin diğer katmanlarında olduğu gibi, bu katman da kendisine iletilen veri bütününe başına kendi başlığını (header) ekler. Bu başlık frame'i gönderen veya alan node'un fiziksel adresini kapsar.
- **Akış (Flow) kontrol:** Hızlı iletim yapan bir ucun karşısında bulunan, daha yavaş çalışan alıcı uç için uyumlu iletişimi sağlar. Böylesi durumlarda, akış kontrol mekanizması ekstra bitlerle tamponlama yaparak hız uyumunu sağlar. Bu mekanizma, alıcı taraftaki trafik sıkışmasını önlemek üzere kurgulanmıştır.
- **Hata kontrolü:** Hata kontrolü frame'in sonuna eklenen bir kuyruk bilgi (trailer) ile sağlanır. Ayrıca, bu mekanizma ile aynı frame'in birden fazla kopyasının oluşmasını önler.
- **Erişim kontrolü:** Bu katmandaki protokoller, verilen bir zamanda, iki ya da daha fazla cihazın aynı linke bağlanmak istediğinde hangi cihazın link üzerinde etkin olacağını belirler.

Yerel alan ağına bağlı cihazlar, birbirlerinin IP adresleri arasında bazı protokollerle (ARP, RARP vs.) haberleşerek birbirlerinin fiziksel adreslerini çözümledikten sonra kendi aralarında haberleşirken bu fiziksel adresleri kullanırlar. Aynı sürecin tekrar tekrar uygulanmasını önlemek içinde, herhangi bir host herhangi bir zamanda öğrendiği fiziksel adresi geçici (cache) belleğinde tutar. Böylelikle, IP adreslerinin altında fiziksel adreslerin sürekli sürekli öğrenilmesi önlenerek mesajları minimuma indirilerek ağ trafiği belli ölçüde rahatlatılmış olur.

Özellikle birden fazla katı bulunan binalarda, tek bir lokal ağ kurulduğunda oluşturulabilecek sanal ağlar (Virtual Private Network), ağ switch'leri üzerinde fiziksel adreslerin konfigürasyonu kullanılarak oluşturulur.

6.2.2 TCP katmanı

Bölüm girişinde, TCP protokolünün bağlantıya dayalı (connection oriented) bir protokol olduğunu ifade etmiştik. Bu açıdan, iletim katmanının ana amacının, tüm verinin bir bütün halinde kaynak ve hedef adresler arasında iletilmesi olduğunu söyleyebiliriz. Bu katman, iletilmekte olan mesajın, hata ve akış kontrolü yapılarak değiştirilmeden ve sıralı bir şekilde hedef adrese ulaştırılmasını garanti eder. Bu katmanda paketler bir önceki katmana oranla daha küçük parçalara bölünerek IP katmanına iletilir.

TCP katmanında yerine getirilen fonksiyonlar aşağıda özetlenmiştir;

- **Servis noktası adreslemesi:** Bu katmanın başlığı (header) servis noktası adresini (TCP portu) içerir. Bu adresler yoluyla hedef makinada bulunan uygulamalar gelen paketlerin kendilerine ait olup olmadığını kontrol eder. Örneğin, internet tarayıcılarımız 80 numaralı servis noktası adresinde (portunda) çalışır. Ağ katmanından alınan paketler, portuna bakılarak cihazda koşan uygulamanın portuyla eşleştirilerek ilgili uygulamaya yönlendirilir. Bir başka deyişle, IP ile hedef cihaz bulunur, TCP portuyla da bu hedef cihazda paketin hangi uygulamada servis alacağı tayin edilir. Böylece, örneğin bir FTP paketi, bir web sunucusuna gönderilmez.
- **Segmentasyon ve birleştirme:** Ağda akan mesaj segmentlere ayrılarak iletilmektedir. Bilgi iletme uygun küçük parçalara bölündüğünde her bir segmente bir sıra numarası (sequence number) verilir. Bu numaralar sayesinde, segmentler hedef cihazda doğru sırada birleştirilerek üst katmanlara iletilir.
- **Bağlantı kontrolü:** Bağlantı kontrolü mekanizması iki farklı şekilde görev yapar. İlkinde, karşı adrese gönderilen her bir segment birbirinden bağımsız paketlere çevrilir. Bu paketler karşılıklı bağlantı kontrolü yapılmadan ağa verilir. Yine bu paketler UDP (User datagram protocol) protokolü ile aktarılır. Paketlerin karşıya ulaşıp ulaşmadığı kontrol edilmez. İkinci yöntem ise bağlantıya dayalı (connection oriented) bir mekanizma sunar. Paketler hedef adrese gönderilmeden önce soket denilen adresleme ile (IP adresi+servis noktası adresi) hedef makinayla karşılıklı bağlantı kurulur. Burada, paketlerin karşıya doğru sırada ve eksiksiz gittiği garanti edilir.
- **Akış (Flow) kontrol:** Uçtan uca akış kontrolü sağlanır.
- **Hata kontrolü:** Gönderici katmandan gönderilen paketlerin, mesajın eksiksiz olarak alıcı katmana ulaşıp ulaşmadığı kontrol edilir. Burada, mesajın tamamı gönderilmezse, alıcı adres, gönderici adresten ilgili paketin tekrar gönderilmesini ister. Bir şekilde bu geri gönderim sağlanmazsa "bağlantı kopmuş" sayılır.

6.2.3 IP katmanı

Bu katmanın temel görevi, paketlerin çoklu linkler arasında hedef adrese gönderiminin sağlanmasıdır. Bir geniş alan ağında birçok lokal ağ bulunmaktadır. Yerel alan ağında paket yönlendirilmesine ihtiyaç bulunmazken, yönlendirici (router) cihazları ile birbirinden yalıtılan yerel alan ağları arasında duyulan paket yönlendirme ihtiyacı bu katmanı gerekli kılmaktadır. Bu katmanda gerçekleştirilen fonksiyonlar aşağıda özetlenmiştir;

Bir yerel alan ağında (bazı özel uygulamalar hariç) sanal IP adresleri kullanılır. Bu sanal IP adresleri, tüm IP adres blokları içerisinde bu amaç için rezerve edilmiş IP bloklarından alınır. Yukarıda örneği verilen IP adresleri aynı şekilde birden fazla yerel alan ağında kullanılabilir. Dış dünya ile iletişim ise router cihazının geniş alan ağına bakan ara yüzüne verilmiş gerçek IP adresi üzerinden gerçekleştirilir. Bu gerçek IP adresleri, internet servis sağlayıcı tarafından kullanıcıya verilir ve dünya üzerinde taktır. Birden fazla sanal IP'nin tek bir gerçek IP üzerinden iletişimi, router cihazı üzerinde kofigüre edilen NAT (Network Address Translation) protokolü yoluyla yerine getirilir.

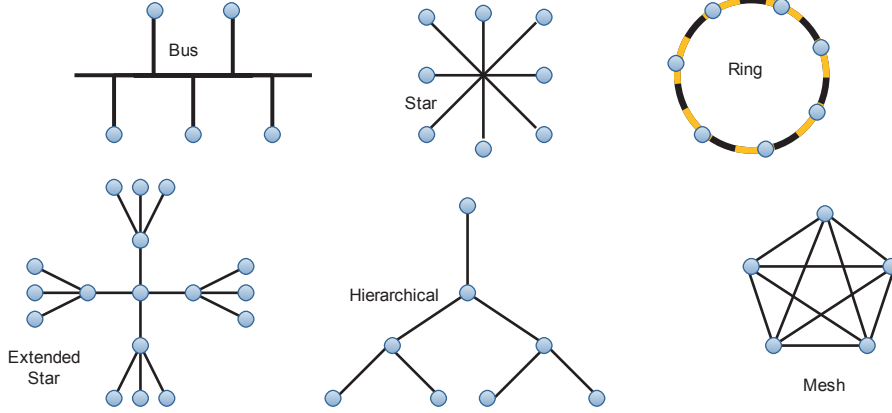
Yerel alan ağında bulunan her bir cihaz için IP adresi elle verilebildiği gibi (statik IP adresleme), ağ üzerinde bulunan bir DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) sunucu yoluyla (dinamik IP adresleme) da dağıtılabilir. Günümüzde, en çok tercih edilen metot dinamik IP adreslemedir. Ağ üzerinde her bir node'a verilmesi gereken diğer IP kavramları aşağıda özetlenmiştir.

- **Ağ maskesi (Subnet Mask):** IP iletişimde olmazsa olmaz kavramlardan birisidir. Ağlar arasındaki haberleşmede, ya da aynı ağ içerisinde bulunan iki cihazın, haberleşmesinde hedef adresin hangi ağda bulunduğu bu mekanizma ile sorgulanır. Şekilde verilen örnek ağ maskesi 255.255.255.0'dır. Dikkat edilirse bu sayının ikili (binary) karşılığı 1111 1111. 1111 1111. 1111 1111. 0000 0000'dır. Paket gönderici cihaz, hedef IP adresini bu ağ maskesi ile mantıksal "ve (and)" işlemine sokar. Çıkan sonuca bakarak hedef IP adresinin kendi ağında olup olmadığını anlar. Şekilde verilen her bir cihazın "ağ adresi" 192.168.2.0'dır. Burada, herhangi bir IP adresini 255.255.255.0 ağ maskesi ile "ve" işlemine soktuğumuzda çıkan sonuç 192.168.2.0'dır ve bu sonuç yerel alan ağı için değişmez. Özetle söylemek gerekirse, alt ağ maskesi hedef cihazın "ağ adresini" (hangi ağda bulunduğunu) tespit etmede kullanılmaktadır.
- **Ağ geçidi (Gateway):** Ağ maskesi konusunu anlatırken, gönderici adresin hedef IP adresinin kendi ağında olup olmadığını ağ maskesini kullanarak belirlediğini anlatmıştık. Kaynak cihazın, hedef cihazla aynı ağda bulunduğu durumda, doğrudan ağ cihazları üzerinden paket anahtarlama ile her iki cihaz haberleşmeye başlayıp sürdürebilir. Peki, hedef adres başka bir ağda bulunuyorsa? İşte burada, ağ geçidi kavramı devreye girer. Yani bir cihaza ağ geçidi IP numarasın tanımladığımızda, bir bakıma o cihaza "kendi ağına dışına gitmesi gereken paketleri, ağ geçidi adresine (buradaki örnekte, 192.168.2.1) gönder" demiş oluyoruz. Şekilden dikkat edilirse, ağ geçidi yönlendirici cihazın (router) yerel alan ağına bakan Ethernet bacağına tanımlanır. Dış dünyaya gitmesi gereken IP paketleri, yönlendirici cihazın gerçek IP adresi ile sarmalanarak (encapsulation) geniş alan ağına aktarılır. Yönlendirici cihazların, konfigürasyonu konusu kitabımız amacına göre detay olduğundan burada anlatılmayacaktır.
- **DHCP Server:** Önceki bölümlerde, yerel ağa IP adreslerinin statik veya dinamik bir şekilde dağıtıldığını söylemiştik. Özellikle kalabalık ağlarda, dinamik IP adresleme, yönetilebilirlik açısından tercih edilmektedir. Bir DHCP sunucu yerel alan ağına konumlandırıldığı gibi birden fazla yerel alan ağına hizmet verebilecek şekilde geniş alan ağında da tutulabilir. DHCP sunucu, kendisine gelecek IP taleplerini, IP adresi, ağ maskesi, ağ geçidi ve (istenilen durumlarda) DNS (Domain Name Server-Ortam isim sunucusu) bilgilerini vererek karşılar. Bu IP adresleri, belli süreler için ilgili cihazlara tahsis edilir ve cihazın kapatılıp açılması durumunda IP adresi (ağ geçidi, ağ maskesi değişmez) değişebilir.
- **DNS (Domain Name Server):** İnternet üzerindeki temel iletişimin IP adresleri üzerinden yapıldığını

daha önceden ifade etmiştik. İnternet üzerinde milyonlarca sunucu milyonlarca kullanıcıya hizmet veriyor. İnternet üzerinde bulunan www (World wide web) ile başlayan domain isimleri, servis sağlayıcıları tarafından sunuculara kayıt edilir. Bu sunucularda, her bir domain isminin karşısında IP adresi bulunur. Bir istemci bilgisayara, DNS sunucunun adresi girildiğinde, IP adresi verilmeyen bunu yerine domain ismi verilen sunucunun adresini, bu DNS sunucudan sorgula demiş oluruz. Bir domain ismi için sorgulama bir kere yapıldıktan sonra, DNS sunucudan alınan IP adresi bilgisayarın geçici (cache) belleğinde tutulur. Böylelikle her defasında DNS sorgusuna ihtiyaç kalmaz.

7. Ağ Topolojileri

Günümüzde kullanılan ağ topolojilerinin bir özeti bu bölümde verilecektir. Şu ana kadar bahsettiğimiz ve üzerinde IP temelli sistemlerin koştugu ağ yapıları etki gösterdikleri alanlara göre sınıflandırılabilir. Ağda kullanılan cihazlara ya da bağlantı şekillerine göre de ağlar sınıflandırılabilir. Kısaca belirtmek gerekirse bilgisayar ya da iletişim ağları bağlantı şekillerine göre, bus (ortak alt yapı), ring, star (yıldız), hiyerarşik, genişletilmiş yıldız ve mesh (karmaşık) yapıda kurulabilmektedir.



Şekil 7.1 Network topolojileri

Ağ topolojilerini eksiksiz bir şekilde kavrayabilmek için öncelikle ağ iletişiminin temelini oluşturan OSI (Open Systems Interconnection) referans modelini ve TCP/IP protokol mimarisini incelemek gerekir.

Ağ sınıflamaları her ne kadar bağlantı şekillerine göre yapılsa da, kullandıkları iletişim teknolojisi, bağlantı ortamları ya da uç cihazların fiziksel konumlarına göre de sınıflandırılabilir;

- **İletişim teknolojileri:** Burada devre anahtarlama (circuit switched) ve paket anahtarlama (packet switched) iki tür ağ çeşidinden bahsedilebilir. Geçmiş nesil telefon şebekeleri devre anahtarlama için iyi bir örnek verilebilir. Bu tarz bağlantıda, karşılıklı haberleşen node'lar arasında birebir bağlantı yolu kurulur. Günümüz paket anahtarlama ağları üzerinde kurulan özel sanal ağ devreleri bu açıdan bakıldığında devre anahtarlama ağlarına benzetilebilir. Paket anahtarlama ağları, günümüzde 4G de olmak üzere neredeyse tüm ağ alt yapılarında kullanılmaktadır. İnternet ortamı paket anahtarlama ağlarına örnek olarak verilebilir. Bu tarz iletişimde bilgi paketleri, diğer node'lardan gelen tüm paketler ile birlikte ortak bir iletim ortamına verilir.
- **İletim ortamı:** Adından da anlaşılacağı üzere iletim ortamı kablosuz (WiFi, 4G, Infrared, LiFi, Satellite, R/L vb.) ortamsa kablosuz ağ ya da kablo bağlantıları (F/O, Koaksiyel, çift bükümlü bakır vb.) ile yapılıyorsa kablolu ağ olarak isimlendirilir.
- **Fiziksel konum:** Aslında bu tür sınıflandırma daha çok uç kullanıcıların konum/konum değiştirme durumlarına göre yapılır; Mobil (mobile), göçebe (nomadic) ve sabit (fixed). Mobil ağlara örnek araç içerisinde giderken kullandığımız akıllı telefon bağlantıları verilebilir. Bu ağlarda uç birim sürekli olarak yer değiştirmekte ve "ilk bağlantı cihazları" arasında dolaşımda (roaming)

bulunmaktadır. Göçebe ağ uygulamasına ise büyük bir binada zaman zaman bir kattan, zaman zaman diğer bir kattan bağlantı örnek verilebilir. Bu bağlantı türünde uç cihaz farklı zamanlarda farklı lokasyonlardan ağa bağlanır. Sabit bağlantıda ise, uç cihaz gerek kablosuz ve gerekse kablolu ortamda, sürekli aynı lokasyondan bağlantı sağlamaktadır.

7.1 Personal Area Networks (PANs)

Şekil 7.2 de tipik bir PAN uygulaması verilmiştir. Cihazlar arasında, kısa mesafeli WiFi veya Bluetooth gibi kablosuz bağlantı teknikleri ile gerçekleştirilen uygulamaya PAN denilmektedir. PAN uygulamasının en belirgin özelliği, iletişimi lokalde anahtarlayacak bir cihazın bulunmaması, bunun yerine cihazların doğrudan birbiri ile eşleştirilmesi yoluyla iletişimin sağlanmasıdır.



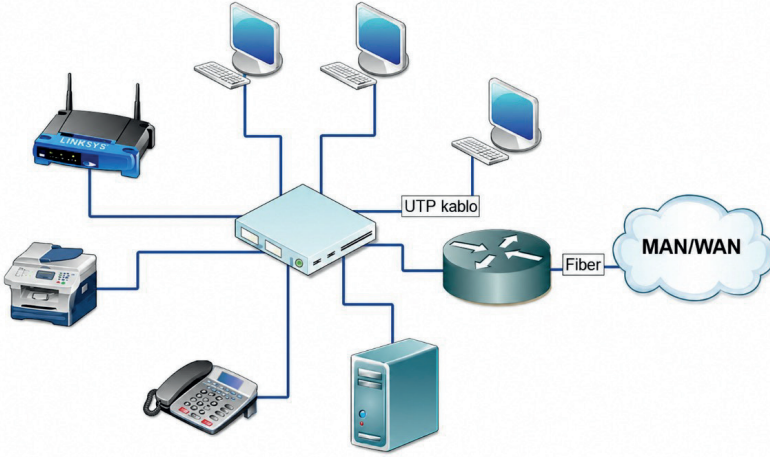
Şekil 7.2 Tipik PAN uygulaması

İki akıllı telefon arasında Bluetooth ile dosya transferi yaparken, ya da akıllı cihazımıza kablosuz kulaklıkla bağlandığımızda basit bir PAN oluşturmuş oluruz.

7.2 Yerel Alan Ağları (Local Area Network-LAN)

Duruma göre, bir bina, bir banka ofisi vb. lokasyonlarda kurulan, sınırlı sayıda uç noktanın (PC, switch, ağ yazıcısı vb.) bağlı bulunduğu ağlardır. Örneğin evimizde bulunan ve kablolu veya kablosuz olarak DSL switch/router ağ cihazlarına bağlanması ile oluşan ağ, bir yerel alan ağıdır. Literatürde bu ağlar Local Area Network (LAN olarak anılır).

Ağ sistemlerini katman katman düşünecek olursak LAN'lar bu katmanın en alt noktasında bulunur ve ortak IP havuzundan beslenirler. Bir başka deyişe, IP adresleri belli aralıklarda sırasıyla, bağlı cihazlara atanır. Yerel alan ağında kullanılan IP değerleri sanal olarak nitelendirilen IP numaralarıdır. Dış dünyadan yerel alan ağıma bakıldığında görülemeyecek IP numaralarıdır bunlar.

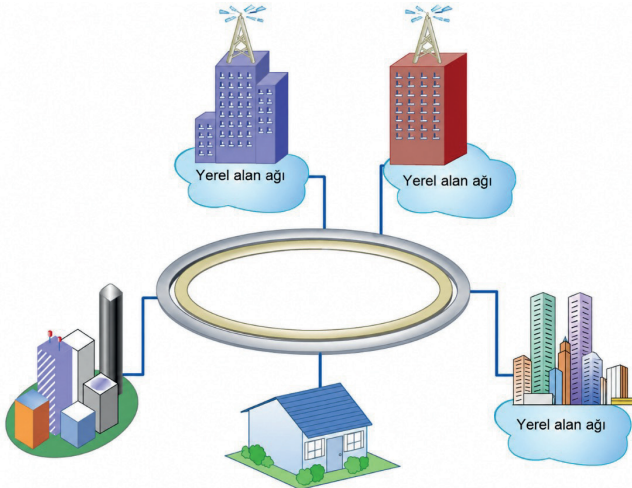


Şekil 7.3 Yerel alan ağı (LAN)

Basit anlamda açıklayacak olursak, evimizde bilgisayarlarımıza ya da cep telefonlarımıza atanan IP'ler ile yan komşumuzun kendi DSL modeminden aldığı IP'ler benzerdir. DSL modemimizin internete bakan yüzünde bulunan IP'ler gerçek IP'ler olup dış dünyadan bakınca görülebilir IP'lerdir. Servis sağlayıcıları bu IP'ler üzerinden modemimize ulaşarak gerekli ayarlama ve güncelleme işlemlerini yerine getirirler.

Yapısal olarak sıralayacak olursak, yerel alan ağlarının kenar yönlendirici cihazlar (edge routers) üzerinden birbirine bağlanmaları ile metropol alan ağları, metropol alan ağlarının çekirdek yönlendiriciler (core routers) ile birbirine bağlanmaları ile de geniş alan ağları oluşur. Geniş alan ağları da bir araya gelerek otonom ağ sistemlerini (örneğin internet) oluştururlar.

7.3 Metropol Alan Ağı (Metropolitan Area Network -MAN)

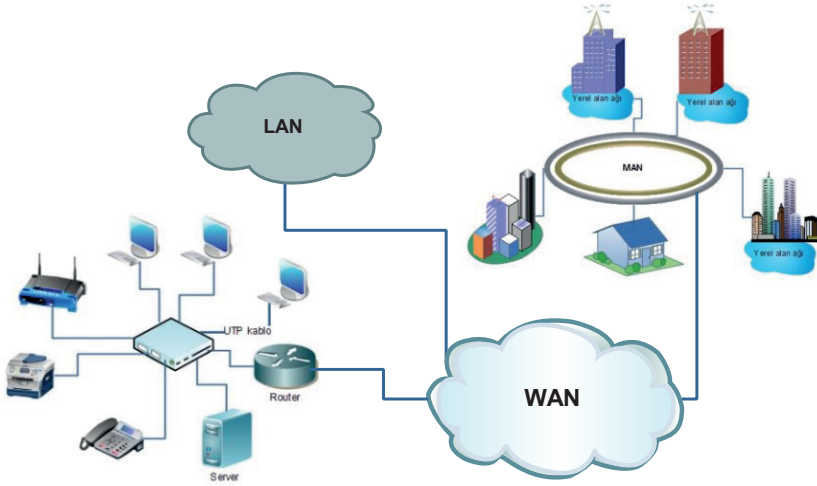


Şekil 7.4 Metropol Alan Ağı (MAN)

Bir önceki bölümde bahsettiğimiz gibi, metropol alan ağları (MAN) yerel alan ağlarının birleşmesi ile oluşan bir üst katman ağlardır. Bir bankacılık şirketi üzerinden örnek verecek olursak, bir şehrin her bir semtinde bulunan banka şubelerinin her birisi bir yerel alan ağını, bu şubelerin fiber ya da kablosuz bağlantı ile birbirlerine bağlanması ile o bankaya ilişkin metropol alan ağı oluşturulur. Tüm şehirlerde bulunan merkez ofislerin de birbirine bağlanması ile o şirkete ilişkin geniş alan ağı (WAN) oluşturulur.

7.4 Geniş Alan Ağı (Wide Area Network -WAN)

Metropol alan ağları (bazen yerel alan ağları ve metropol alan ağları ile birlikte) yüksek hızlı bağlantılarla birbirine bağlanarak geniş alan ağlarını oluştururlar.

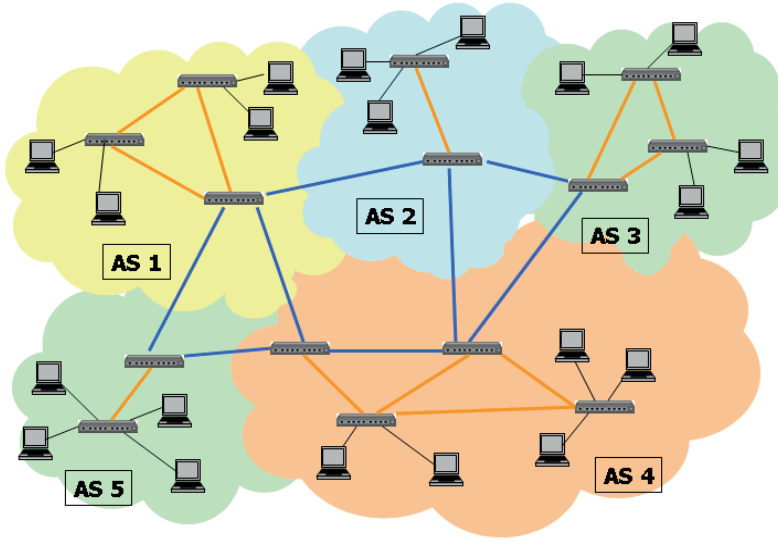


Şekil 7.5 Geniş Alan Ağı (WAN)

Geniş alan ağlarının tüm paket trafiği ağıın merkezinde ve metropol alan ağlarının bağlantı noktalarında bulunan yönlendiriciler üzerinden yürütülür. Bu yönlendiriciler (Router cihazları) kendi aralarında geniş alan ağı yönlendirme protokolleri ile konuşur. Bu protokollere RIP (Resource Information Protokol) ve OSPF (Open shortest path first) örnek olarak verilebilir. Her bir router cihazı üzerinde statik (manuel kontrol edilen) yönlendirme işlemleri yapıldığı gibi, OSPF ve RIP protokolleri kullanılarak dinamik bir yönlendirme mekanizması kurulabilir.

7.5 Internet

Günümüz dünyasının en geniş ağı Internet'tir. Internet milyonlarca cihazın bağlı bulunduğu devasa bir uluslararası ağıdır. Interneti oluşturan alt ağlar, bir ya da birkaç ülkeyi kapsayan otonom ağ (autonomous system-AS) sistemleridir. Her bir otonom sistem terminolojide tabir ettiği biçimiyle birbirlerine "trust" eder (güvenirler). Böylece belli geçit noktalarından birbirlerine bağlanırlar.



Şekil 7.6 Internet yapısı

Milyonlarca cihazın (her host ya da node olarak adlandırabiliriz) Internet üzerinde çeşitli bağlantı teknolojileri ile internete bağlandığını söylemiştik. Bu kadar geniş bir yapıyı sadece IP mekanizmalarını kullanarak yönetmek imkansız olduğundan DNS (domain name system) isimlendirme sistemi kurulmuştur. Bu isimlendirme sistemi sayesinde uç kullanıcılar, bağlanacakları host'un (www) IP numaralarını bilmeye gerek kalmaksızın istedikleri bağlantıları çeşitli protokoller üzerinden (http, https, telnet, ftp vb) gerçekleştirirler. Uç cihazlara DNS IP'leri ağ sistemi tarafından otomatik olarak girilir. Bu sistemi anlaşılması bakımından şu benzetme ile açıklayabiliriz. Telefon rehberimizde sadece isimlerin yazdığını ancak telefon numaralarının yazmadığını düşünelim. Bildiğimiz, tek telefon numarası santralin (çağrı merkezinin numarası) numarası. Bu durumda santrali ararız ve ona isim söyleriz. Santral bize karşı tarafın telefon numarasını (IP adresini) söylemeden bağlantıyı kurar ve devreden çıkar. Internet üzerindeki isimden IP çözümleme işlemi (name resolution) mantığı kabaca böyledir.

7.6 Internet Protokolleri

Bilgisayarımızla interneti kullanırken karşımıza sıklıkla çıkan ve uygulamalarımızın kullandığı protokollere değinecek olursak;

HTTP (Hyper Text Transfer Protocol): HTTP için internet üzerinde metin aktarma protokolü diyebiliriz. Internet kullanıcılarının istemci (örneğin bilgisayarınızda açtığınız bir Chrome uygulaması) üzerinden bir internet (web) sunucusuna (verinin gösterileceği/işleneceği sunucu) bağlanarak veri transferi etmesi mekanizmasını bu protokol yönetir. O yüzden bir internet tarayıcısının adres çubuğuna internet adresini yazdığımızda adresin başına "http" ifadesi yerleştirilir.

HTTP protokolünde veriler düz metin halinde aktarıldığı için ağa bağlı üçüncü kişiler tarafından içerik görüntülenebilir. Bu anlamda güvenilir/güvenlikli bir protokol değildir. E-ticaret gibi

uygulamalar geliştikçe, kişisel bilgilerin saklı kalması konusu çok daha önem kazanmıştır. İşte bu tür uygulamalarda kullanılmak üzere de güvenli http diyebileceğimiz https (secure hyper text transfer protocol) protokolü üretilmiştir. Bu protokol ile bağlandığımız web sayfalarında (örneğin bankacılık siteleri) kişisel bilgilerimiz (kredi kartı numarası vb.) güvenli bir şekilde karşı tarafa gönderilir.

HTTP varsayılan olarak 80 numaralı TCP (Transmisyon Control Protocol) portunu kullanır. Bu port standart olduğu için normal koşullarda bu portu internet adresinin sonuna yazmayız. Ancak bazı durumlarda, internet sunucu (web server) farklı portlardan servis verebilir. Bu durumda, <http://www.suatsecgin.com:8080> şeklinde port numarasını adresten sonra ekleriz. Böylelikle web tarayıcımız (client/istemci) web sayfasını alacağı sunucunun (server) hangi adres ve “port” üzerinden haberleşeceğini bilir. Buradaki örneğimizde TCP portu 8080 olarak kurgulandığından istemci programımız tüm http iletişimini 8080 portu üzerinden yapar. <http://www.suatsecgin.com> yazdığımızda (TCP portunu belirtmeksizin), istemci uygulamamız (örneğin Chrome) karşı taraf sunucu ile 80 numaralı TCP portu üzerinden haberleşeceğini bilir.

FTP (File Transfer Protocol): Dosya transfer protokolü olarak adlandıracağımız bu protokol ile FTP sunucu (verilerin bulunduğu makine) ile istemci (verileri kendisine transfer edecek makine) arasında dosya paylaşımı yapılabilmektedir. Bu protokol vasıtasıyla sunucuya veri (ses, görüntü, dosya) kaydedebildiğimiz gibi, sunucudan kendi bilgisayarımıza ver transferi de yapabiliriz. FTP protokolü standart olarak (aksini siz istemci uygulamada belirtmedikçe) 21 numaralı TCP portu üzerinde çalışır.

URL (Uniform Resource Locator): Standart Kaynak Bulucu olarak çevirebileceğimiz URL, aslında bir protokol olmayıp en basit anlamda internet adreslerinin ismidir. Bu sitenin URL adresi nedir dediğimizde, aslında bu sitenin internet adresini istediğimizi belirtmiş oluruz. Sık karşılaşılan bir kavram olduğu için burada kısaca değinilmiştir.

SMTP (Simple Mail Transfer Protocol): Basit posta transfer protokolü olarak adlandırabileceğimiz bu protokol ile posta istemcisi (e-mail client) üzerinden elektronik postalarımızı, e-posta sunucumuza (e-mail server) transfer ederiz. Kullandığı standart TCP portu ise 25’tir.

POP (Post Office Protocol): Posta ofisi protokolü olarak geçen bu protokol vasıtasıyla posta sunucusunda bulunan “posta kutumuzdan” e-postalarımızı bilgisayarımıza transfer ederiz. Kullandığı standart TCP portu ise 110 numaralı porttur.

IMAP (Internet Message Access Protocol): Internet mesaj erişim protokolünde, SMTP-POP protokollerinin aksine posta sunucunuza ulaştığınızda, iletilerin yerel makine üzerine kayıtlanmaz. Bu protokol vasıtasıyla posta alıp göndermede temel ayrıntı budur. IMAP protokolü 143 numaralı TCP portunu kullanır.

8. Geniş Alan Ağ Teknolojileri ve Uygulamaları

ISDN, Frame Relay, ATM gibi geniş alan ağ teknolojileri yerini günümüzde çoklu protokol etiket anahtarlama (Multiprotocol Label Switching-MPLS) teknolojilerine bırakmaktadır. Bu protokollerin yanında kablo TV alt yapısı üzerinde işleyen DOCSIS sistemi ve geniş bant erişiminde önemli bir yere sahip DSL teknolojisine de değinilecektir.

8.1 Multiprotocol Label Switching (MPLS)

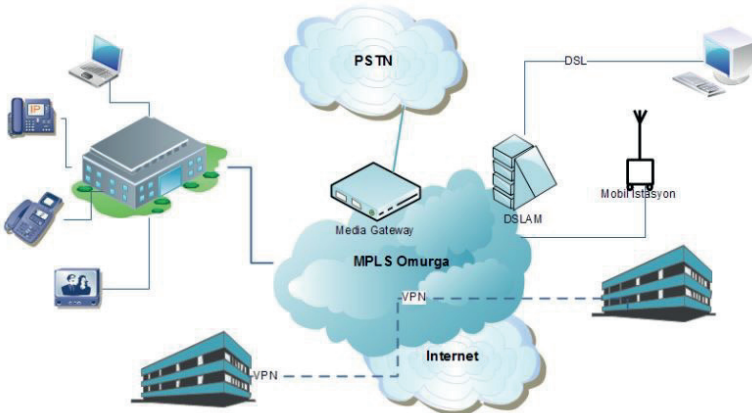
MPLS, ATM ağlarının donanım anahtarlama hızı ve IP katmanı esnekliğini bir araya getiren ve günümüzde artık bir WAN (Wide Area Network) standardı haline gelen bir teknolojidir. MPLS, paketlere eklenmiş etiketler (label) yoluyla haberleşmeyi sağlamaktadır.

MPLS etiketleri, router'lar arasında yayımlanarak etiket'ten etikete eşleştirme yapılır. Bu etiketler IP paketleri ile ilişkilendirilir, böylelikle IP hedef adreslerine değil, etiketlere bakılarak yönlendirme yapılır. Bir başka deyişle, paketler IP anahtarlama göre değil, etiket anahtarlama göre iletilir.

Aslında, etiket anahtarlama mekanizması yeni bir teknik olmayıp Frame Relay ve ATM teknolojileri de benzer mantıkları kullanmaktadır. ATM ve Frame Relay'de de hücreler ve frame'ler anahtarlama yapılmaktadır. Yeri gelmişken belirtmek gerekirse, Frame Relay teknolojisinde frame uzunlukları değişken olurken, ATM hücre'leri sabit uzunlukta (53 byte) bulunmaktadır. Frame Relay ve ATM'de etiket değeri diyebileceğimiz paket başlıkları router'dan router'a değişmektedir. Burada IP hedef adresi göz önüne alınmamaktadır. Bu bakımdan, etiketler ile yönlendirme kavramı MPLS ile ortaya çıkmamış bir kavram gibi düşünülebilir [14].

MPLS, farklı tipte bulunan verilerin, hız önceliklendirilmesi yapılarak, belirli yönlendirme algoritmaları ile dağıtımını esas alır. Bu dinamik yapı, geniş alan ağı üzerinde kurulu yönlendirme cihazlarının (router) veri paketlerinin gönderileceği hedeflerin kolay ve hızlı bir şekilde ayrıştırılarak doğrudan hedefe gönderilmesine imkân verir.

Basit anlamdan MPLS çekirdek ağ bağlantı diyagramı Şekil 8.1 de verilmiştir.



Şekil 8.1 MPLS çekirdek ağ

8.2 MPLS Avantajları

MPLS'i günümüz çekirdek ağ teknolojileri haline getiren başlıca avantajlar aşağıda sıralanmıştır [9]:

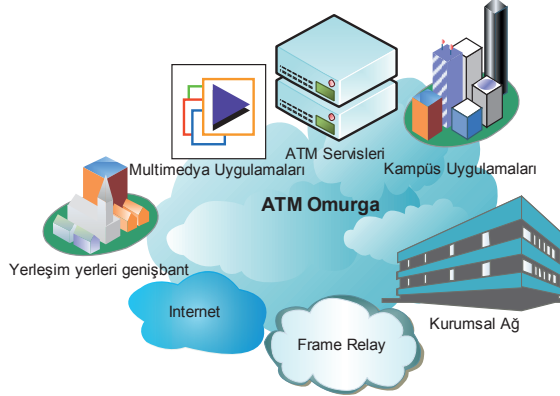
- **Maliyet:** Diğer geniş alan ağı teknolojilerine oranla MPLS %10 ila %25 arasında maliyet avantajı sunar. Bunun yanında MPLS kullanılarak, VoIP teknolojileri ile telefon görüşme maliyetleri %20 ila %30 arasında düşürülebilmektedir.
- **Servis Kalitesi (QoS):** Özellikle ses ve video verilerinin taşınmasında garanti edilmiş servisler sağlar. Bir başka deyişle ses ve video verileri MPLS network üzerinde garanti edilmiş güvenilirlik, hız ve kalitede taşınır.
- **Gelişmiş performans:** MPLS teknolojisi ile hızlı bağlantı kurma, yönetilebilir bir ağ ve trafik önceliklendirme yapılabilir. Günümüzde MPLS üzerinde kendi kendine ağı ve ağın durumunu anlayan ve buna göre iletişimi optimize eden akıllı uygulamalar geliştirilmektedir.
- **Felaket kurtarma:** MPLS bulutu üzerinde, farklı iki nokta arasında alternatif yollar hızlı bir şekilde kurulabildiğinden, uğranılabilecek herhangi bir fiziksel hasarda ağ kendini yeni duruma göre adapte edebilmektedir.
- **Tekilleştirilmiş Ağ:** MPLS yönetim araçları ile fiziksel olarak karmaşık gibi duran tüm ağ alt yapısı tekil bir kurumsal ağ gibi yönetilebilmektedir. Bu ise ağımızın, tek bir merkezden yönetilebilmesine olanak sağlar.
- **Güvenlikli:** MPLS yüksek güvenli veri akışı ve yolları sağlar. Şirket şubeleri arasında özel sanal ağ kurulması yoluyla, dış dünyadan erişilemez ağ alt yapısı imkanı vermektedir.
- **Ölçeklenebilirlik ve esneklik:** Gelişen iş ihtiyaçlarına göre hızlı uyum ve genişleme kabiliyet.

8.3 ATM (Asynchronous Transfer Mode)

ATM teknolojisi, bütün trafik 53 byte'lık paketler üzerinde taşınır. Bu paketler hücre (cell) olarak da isimlendirilir ve bu açıdan ATM, devre ya da paket anahtarlama alternatif olarak hücre anahtarlama kavramını ortaya koyar.

53 byte'lık sabit uzunluk anahtarlama ve çoğullama (multiplexing) işlemlerinin kolay ve hızlı yapıldığı dinamik bir ortam sağlar. ATM teknolojisi bağlantıya dayalı (connection oriented) bir iletişim ortamı sunar. ATM teknolojisi referans modelinde 3 katman bulunur: ATM Uyum (ATM Adoption Layer-AAL), ATM katmanı ve fiziksel katman.

ATM teknolojisinde karşılıklı uçlar arasında sanal bir kanal (Virtual Channel-VC) tanımlanır ve ATM hücreleri bu kanal üzerinden gönderilip alınır. Paket büyüklükleri sabit olduğu için, paket boyutları ile ilgili başlıklara ya da farklı boyuttaki paketlerin işlenmesine yönelik diğer süreçlere burada ihtiyaç duyulmaz. ATM teknolojisi günümüzde yerini MPLS teknolojisine bırakmaktadır.



Şekil 8.2 ATM Uygulamaları

Şekil 8.2'de sıkça kullanılan ATM uygulamaları özetlenmiştir. Bu şekilde geçen ATM omurganın yerini günümüzde MPLS omurga almaktadır.

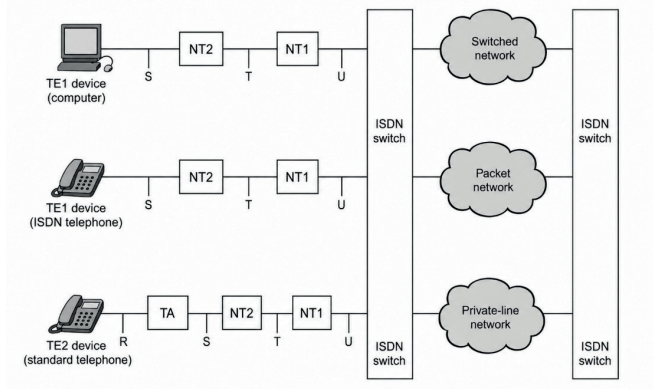
8.4 ISDN (Integrated Services Digital Network)

ISDN, klasik telefon bağlantılarının sayısal iletişimde kullanılmış hali diyebiliriz. Telefon iletişimi (literatürde geçen ismiyle PSTN-Plain Old Telephone System) çok uzun bir zaman süresince yalnız analog bağlantılar ile çalıştırılmıştır. ISDN teknolojisi ile birlikte, standart telefon hatları üzerinden ses, veri ve video'ların yüksek hızda sayısal teknoloji ile iletimi sağlanmıştır.

ISDN teknolojisi iki tip servis sağlamaktadır;

- **ISDN-BRI (Basic Rate Interface):** Bu ISDN servisinde, 2x64 kbps veri kanalı ve 16 kbps işaretleşme kanalı olmak üzere toplam 144 kbps band genişliği bulunmaktadır.
- **ISDN-PRI (Primary Rate Interface):** Daha yüksek kapasiteli kullanımlar için (örneğin çağrı merkezleri) bu servis önerilmektedir. PRI servisinde, 30 kanal 64 kbps haberleşme kanalı ve 2 kanal 64 kbps olmak üzere toplamda 2048 kbps (2 Mb) band genişliği sağlanır.

Yukarıda verilen ISDN servis tiplerinden başka, artan bant genişliği ihtiyacı nedeniyle ATM teknolojisinin kullanılarak 155 Mbps ile 622 Mbps aralığında hız sağlayan Broadband (Genişbant ISDN) teknolojisi de kullanımda yer bulmuştur. ATM teknolojisi SONET üzerinde koştuğu için bu kadar yüksek hızlara çıkılabilmektedir.



Şekil 8.3 Örnek ISDN Konfigürasyonu [23]

Şekil 8.3'ta tipik bir ISDN konfigürasyonu verilmiştir. Buradaki kavramlara kısaca değinecek olursak;

- **TA:** Terminal Adaptörü
- **TE1:** Terminal equipment type 1
- **TE2:** Terminal equipment type 2
- **NT1:** Network termination type 1
- **NT2:** Network termination type 2

ISDN, fonksiyonel gruplar arasında (yani TA ve NT'ler) R, S, T ve U diye isimlendirilen mantıksal arayüzler tanımlamıştır [23].

8.5 DOCSIS

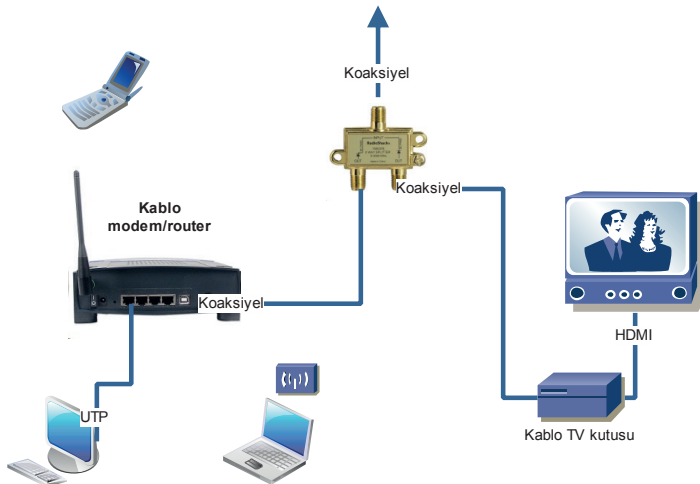
DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) ITU (International Telecommunication Union) tarafından onaylanmış, kablo TV altyapısı üzerinde, yüksek hızda veri transferine imkan sağlayan ara yüz spesifikasyonlarını tanımlayan bir standarttır. Bir DOCSIS mimarisinde iki temel bileşen bulunur; kablo modem ve kablo modem terminasyon sistemi (Cable modem termination system-CMTS). Kablo modem kullanıcı yerleşkesine kurulurken, CMTS servis sağlayıcı tarafında bulunur [22].

DOCSIS standardının 3 farklı sürümü bulunmaktadır;

- **DOCSIS 1.0:** Yüksek hızlı internet bağlantısı (36 Mbps)
- **DOCSIS 1.1:** Veri, Ses, Oyun ve veri akışı (streaming)
- **DOCSIS 2.0:** Simetrik veri akışı hizmeti (30 Mbps'a kadar upload hızı)

Kablolu internet erişiminin son tanımlı sürümü, cihaz yönetimi, konfigürasyon ve güvenlik üzerine yapılmış bulunmaktadır. Bu yeni geliştirilmiş sürüm gömülü DOCSIS (Embedded DOCSIS- eDOCSIS) olarak adlandırılır.

Şekil 8.4'ten de görüleceği gibi, haneye gelen koaksiyel kablo, splitter diye isimlendirilen bölücü/çoğullayıcı pasif cihazla ikiye ayrılır. Koaksiyel kablounun birisi kablo TV kutusu (TV Set top box) bağlanırken, diğeri kablo modem/router cihazına irtibatlanır. TV kutusu ise televizyona HDMI (High Definition Multimedia Interface) kabloları ile bağlanır.

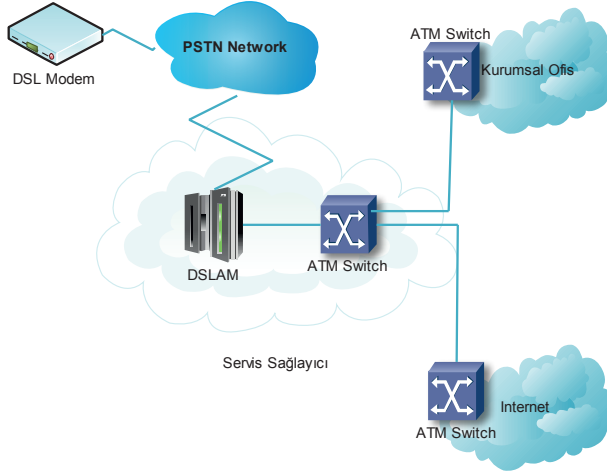


Şekil 8.4 Kablo modem bağlantısı

8.6 DSL Geniş Bant Erişim

DSL (Digital Subscriber Line-Digital Abone Hattı) eski nesil PSTN bakır hatlar üzerinden geniş bant internet erişimi sağlayan bir teknolojidir. DSL sistemlerinin yaygınlaşmasından önce dial up (çevirmeli bağlantı) modemler ile bakır devreler üzerinden servis sağlayıcı numaraları çevrilerek 56 kbps hızında dar bant internet erişimi sağlanırdı. Gelişen DSL teknolojileri ile dial on demand (ihtiyaç halinde bağlantı) sistemleri olarak da adlandırabileceğimiz bu bağlantı çeşidi tarih olmuştur.

xDSL diye gösterilen genel isimlendirme, HDSL, SDSL, IDSL, VDSL ve benzeri DSL türevlerini belirtmekte kullanılır. DSL teknolojileri ile 32 Mbps a kadar hızlara çıkılabilmektedir.



Şekil 8-5 DSL Ağ yapısı

Yukarıda belirtilen DSL türevlerinde birçok değişik modülasyon tipi kullanılmaktadır [22];

- Discrete Multitone Technology (DMT)
- Simple Line Code (SLC)
- Carrierless Amplitude Modulation (CAP)
- Multiple Virtual Line (MVL)
- Discrete Wavelet Multitone (DWMT)
-

Servis sağlayıcılar, birden fazla kullanıcıyı yüksek hızlı omurga ağına bağlamak için kendi taraflarında DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) denilen yapıları kullanırlar. DSLAM tüm DSL kullanıcılarından gelen trafiği ATM ağına iletir. Şekil 8.5'te verilen bağlantı şemasında geçen ATM switch'lerin yerini günümüzde MPLS switch'ler almaktadır.

8.7 IPTV

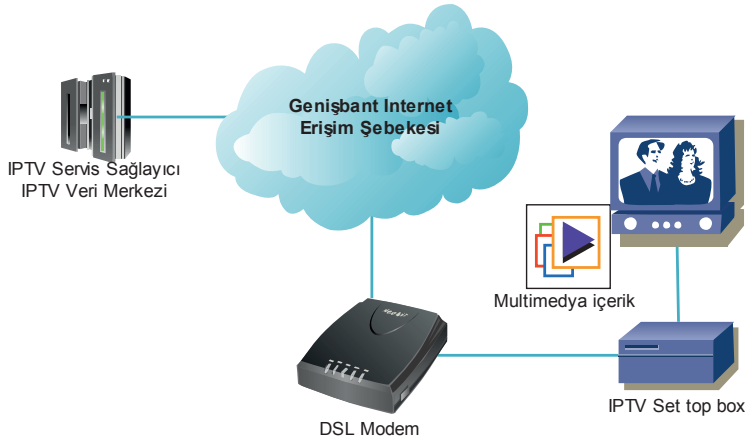
İsminden de anlaşılacağı gibi IPTV (internet protokol television), video içeriklerini IP ağ protokollerini kullanarak son kullanıcıya ulaştıran bir teknolojidir. IPTV sistemlerinin en büyük avantajı, kullanıcı ile etkileşimli bir ortam sağlamasıdır. Bu açıdan bakıldığında IPTV, video on demand (ihtiyaç durumunda video) sistemleri arasında sayılabilir. Gelişen geniş bant teknolojileri ile birlikte IPTV sistemi, geleneksel TV yayınları açısından disruptive (ortaya çıkışı muadil teknolojileri yok eden) bir teknolojidir.

Bir başka deyişle IPTV, televizyon/video/grafik/veri gibi multimedya içeriklerini istenilen kalite seviyesinde (QoS) hızlı, güvenilir, güvenli ve etkileşimli olarak son kullanıcıya sunan bir multimedya servisi olarak tanımlanabilir [24].

Servis sağlayıcı perspektifinden bakıldığında IPTV, video içeriklerinin edinimi, işlenmesi ve güvenli bir şekilde son kullanıcıya, IP ağ alt yapısı üzerinden ulaştırılması süreçlerinin bütünü olarak açıklanabilir [24].

IPTV'nin temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır [24];

- **İnteraktif TV desteği:** IPTV'nin ki yönlü (two way) iletişim sunma kapasitesi, servis sağlayıcıları kullanıcılarına etkileşimli bir TV deneyimi yaşatmasına olanak sağlar. IPTV sistemi üzerinden canlı televizyon yayınları yanında online oyun, internet üzerinde gezinme, istediği içeriği istediği zaman seyretme gibi özellikler de son kullanıcılar sunulmaktadır.
- **Zaman Kaydırma (Time Shifting):** Multimedya içeriğinin kayıtlanarak istenilen zamanda seyredilmesine olanak sağlayan özelliktir.
- **Kişiselleştirme:** Uçtan uca çift yönlü paket akışı sağlayan IPTV teknolojileri ile TV seyretme alışkanlıklarımıza göre neyi ne zaman istiyorsak seyretmek istiyorsak, o zaman seyredebiliriz.
- **Düşük bant genişliği ihtiyacı:** IPTV teknolojisinde, her kanalın her kullanıcıya eş zamanlı gönderilmesi yerine, son kullanıcının isteği doğrultusunda sadece istenilen kanal veri akışı şeklinde son kullanıcıya ulaştırılır. Bu şekilde, bant genişliklerinden tasarruf edilmiş olur.



Şekil 8-6 Uçtan uca IPTV alt yapısı

IPTV ve İnternet TV kavramları sıklıkla karıştırılabilmektedir. Her iki teknolojiye çekirdek ağ katmanlarında benzer mekanizmaları kullansa da, IP tabanlı video içeriklerinin dağıtımı yaklaşımları farklıdır:

- **Farklı platformlar:** İnternet TV teknolojisinde video içeriği genel internet ağı üzerinden dağıtılırken, IPTV teknolojisinde bu içerikler dedike özel ağlar üzerinden son kullanıcıya ulaştırılır.
- **Coğrafi Erişim:** Operatörler tarafından işletilmekte olan ağlar internet kullanıcılarınca erişilebilir konumda bulunmamaktadır. Bu ağların ana omurgaları sabit coğrafik alanlarda kuruludur. Ters olarak internet ise dünyanın her yerinden gerek kablolu ve gerekse kablosuz erişim sistemleri

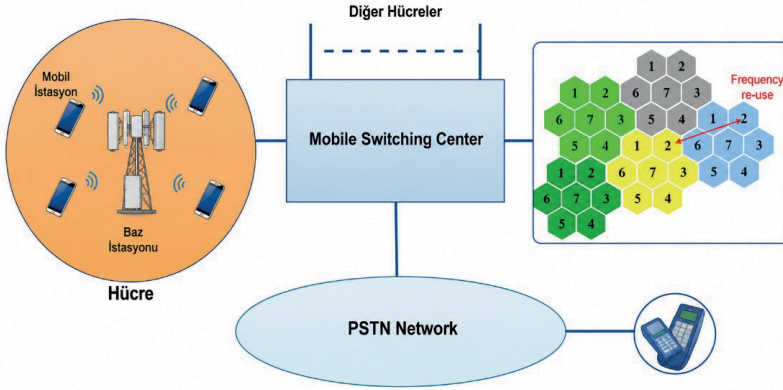
ile erişilebilir bulunmaktadır. Bir başka deyişle, IPTV her internet erişim olan kullanıcıya açık değilken, Internet TV internet erişimi olan her kullanıcıya açık ve erişilebilir durumdadır.

- **Ağ alt yapısı sahipliği:** Internet TV içeriği, genel Internet erişimi üzerinden Internet paketleri yoluyla kullanıcılara ulaştırılır. Hal böyle olunca, klasik internet erişiminde yaşanabilen paket kayıpları, gecikmeler Internet TV mekanizmasında oluşabilmektedir. Bu nedenle, Internet TV yayınlarında geleneksel TV yayınlarında olan görüntü deneyimi garanti edilmez. Internet'in kendisi de best effort (yapabileceğinin en iyisi) prensibine göre çalıştığından belirli standartlarda yayın kalitesi için garanti verilmez. Tersisi olarak IPTV networkü servis sağlayıcının doğrudan yönettiği bir alt yapı olduğundan belirli kalitede yayın garantisi verilebilmektedir.
- **Erişim Mekanizması:** Klasik bir PC üzerinden internet erişim yoluyla Internet TV yayını alınabilirken, IPTV sisteminde video içeriğini decode eden sayısal bir "set-top box" cihazına ihtiyaç duyulur.
- **Fiyatlandırma:** Internet üzerinde bulunan video içeriklerinin büyük bir çoğunluğu ücretsiz olarak kullanıcıların erişimine açıktır. Ancak artan sayıda medya şirketleri sağladıkları Internet TV servisleri için yavaş yavaş ücret talep etmeye başlamış durumdadır. IPTV servisleri ise içerik zenginliğine göre aylık ücretlendirmeye tabi tutulur.
- **İçerik Üretim Metodolojileri:** Internet TV üzerinden seyredilen birçok içerik son kullanıcılarca da üretilen içeriklerdir. Ancak, IPTV servis sağlayıcıları içeriklerini birçok değişik medya şirketi ile anlaşarak son kullanıcıya ulaştırır.

9. Kablosuz İletişim Alt Yapıları

9.1 Hücresel İletişim

1970'lerin sonlarından başlamak üzere, hücresel telefon ya da hücresel iletişim kullanım alanları yer bulmaya başlamıştır. İlk uygulaması Japonlar tarafından Tokyo'da kurulmuştur [12]. Hücresel telefonların çalışma temel prensibi şekil 9.1'de verilmiştir.



Şekil 9.1 Hücresel İletişim Sistemi

Hücresel iletişimin temelinde, frekans yeniden kullanımı prensibi yatar. Bu yapılar, mobil iletişim cihazlarının birbirileri arasında hareket esnasında haberleşmelerine olanak sağlar. Bir mobil servis sağlayıcı, mobil cihazın yerini belirleme ve arayanı izleme, her bir arama için kanal tahsis etme ve bu kanalı baz istasyonları arasında dolaşan mobil cihazlar arasında transfer etme (roaming) gibi görevleri yerine getirmek durumundadır.

Tüm bu işlemleri hiyerarşik bir şekilde yapabilmek adına, her bir hücresel servis, hücre adı verilen küçük bölgelere ayrılır. Her bir hücrenin merkezinde, baz istasyonu denilen yapılar bulunur. Her bir baz istasyonu da mobil santral diye tabir edebileceğimiz anahtarlama merkezi (mobile switching center- MSC) tarafından kontrol edilir. MSC, tüm iletişim trafiğini, baz istasyonları arasındaki koordinasyonu ve kablolu telefon sistemleri (PSTN) arasındaki geçişleri koordine eder.

Coğrafi alanın nüfusu ve arama trafiğine bakılarak, hücre genişlikleri optimize edilmektedir. Tipik bir hücrenin yarıçapı 1,5 ila 20 km arasında değişir. Görüşme trafiğinin ve nüfusun az yoğun olduğu kırsal alanlarda hücre yarıçapı da genişlemektedir. Görüşme trafiğinin yoğun olduğu yerlerde, hücreler alt hücrelere bölünür. Frekans bantlarındaki kısıt yüzünden, komşu olmayan hücreler arasında aynı frekanslar tekrar tekrar kullanılabilir.

Şekil 9.2'de 1G'den 5G ye uzanan yolculuk ve gelişim verilmiştir.

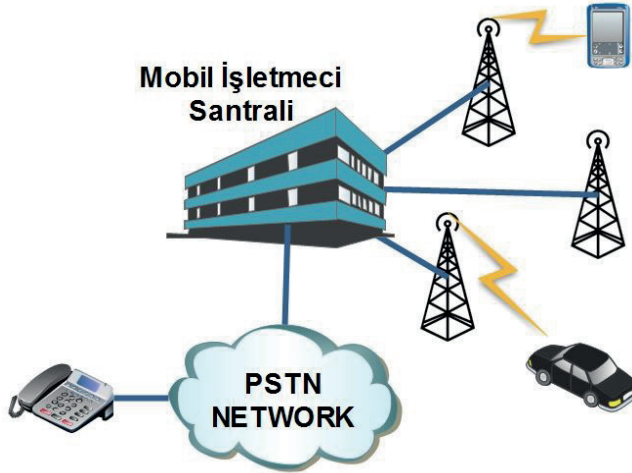
1G	2G	3G	4G	5G	6G
2.4 Kb/s	64 Kb/s	2 Mb/s	100 Mb/s	More than 1 Gb/s	More than 100 Gb/s

Şekil 9.2 1G'den 5G'ye [10]

9.2 Birinci Nesil Hücreli Ağlar (1G)

Birinci nesil kablosuz teknolojisi 1980'ler ile 1990'lar arasında, analog iletişim alt yapısı (FDMA) kurgulanmış bir sistemdir. Amerika Birleşik Devletleri'nde kurulan Advanced Mobile Phone System (AMPS) bu sisteme ilk örneklerden biridir. 1G, ISM 800 Mhz bandında çalışan bir sistemdir.

1G sistemleri ses servisi ve devre anahtarlama düşük hız data servisi (9.6 Kbps) vermek üzerine tasarlanmıştır [5]. 1G sistemlerinde, düşük ses kalitesi, büyük boyutlarda mobil cihazlar, düşük konuşma süreleri ve cihaz pil ömürleri ile kullanışlı olmayan sistemlerdir.

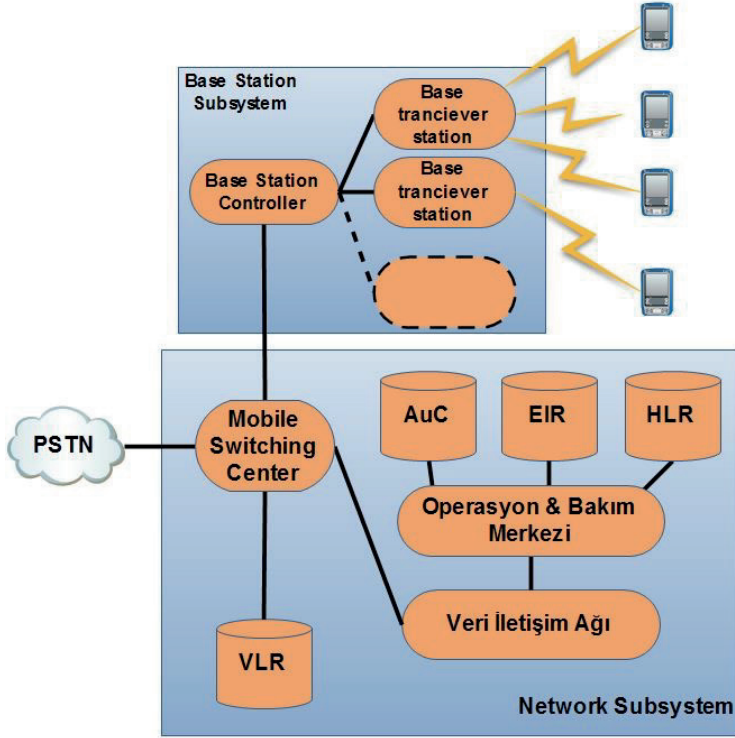


Şekil 9.3 1G Network

9.3 İkinci Nesil Hücreli Ağlar (2G)

2G (Ülkemizde bilinir haliyle GSM), Time Division Multiple Access (TDMA) veya Code Division Multiple Access (CDMA) iletişim alt yapılarını kullanacak şekilde kurgulanmıştır. GSM, PDC, iDEN, IS-36 gibi TDMA teknolojileri GSM (Global system for mobile communication) yayınında kullanılmıştır [2]. GSM ile birlikte uluslararası dolaşım alt yapısı da kurulmuş oldu. GSM ile birlikte gelen servislerden en önemlileri kısa mesaj (SMS-Short Message Service) ve multi media messages (MMS) servisleridir [6].

2G teknolojisi, 1980'lerin sonlarında kullanıma girmiş ve 1990'ların sonlarında yerini üçüncü nesil hücrel ağlara bırakmıştır. 2G hücrel iletişimde, ses iletimi sayısal sinyallerle taşınmış ve kanal hızı 64 kbps'lere çıkmıştır. GSM karşılıklı (duplex) iletişim için, 890 Mhz-915 Mhz ve 935 Mhz-960 Mhz frekansları arasında çift bant kullanılmaktadır. Söz konusu bant aralıklarına 124'er adet kanal sığdırılmıştır [4].



Şekil 9.4 2G Network

3G'ye geçmeden önce, operatörler kablosuz ağlarını geniş bant multimedia operasyonları için geliştirerek General Packet Radio Service (GPRS) ve Enhanced Data rates for GSM evolution (EDGE) servislerini kullanıma sunmuşlardır. Bu servislerin kullanımı ile ortaya çıkan hücrel kablosuz iletişim artık 2.5 G olarak isimlendirilmiştir [5].

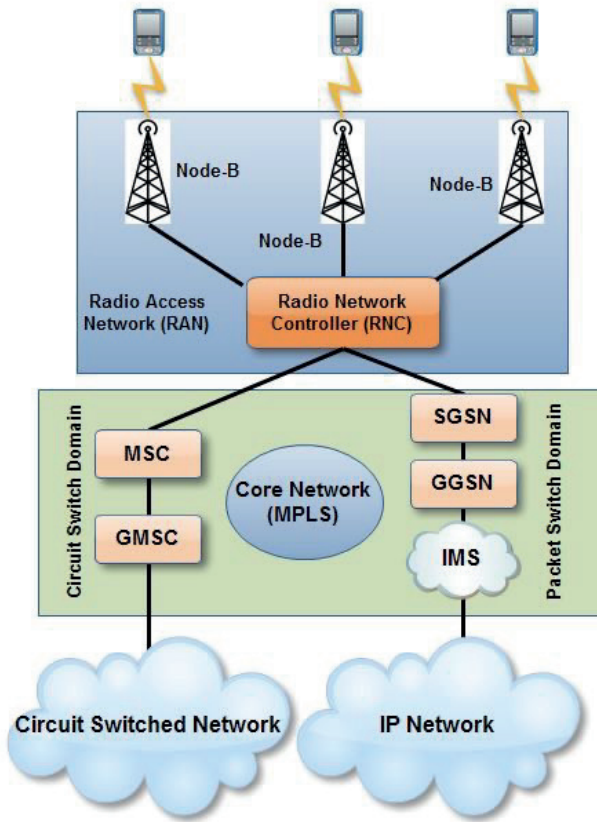
9.4 Üçüncü Nesil Hücrel Ağlar (3G)

3. nesil kablosuz ihtiyaçlar International Telecommunication Union (ITU) tarafından geliştirilen International Mobile Telecommunication 2000 (IMT-2000) projesinde tanımlanmıştır. IMT-2000 projesi ile yüksek hızlı veri iletimi, IP temelli servisler, global dolaşım ve multimedia iletişimi spesifikasyonları tanımlanmıştır. Modülasyon ve iletişim için Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) tekniğini kullanarak daha geniş bant genişliklerine çıkılabilmektedir [1].

3G sistemlerinde veri iletim hızı 125 bps'ten 2 Mbps'a kadar çıkabilmektedir. 3G teknolojisi ile birlikte, iyileştirilmiş ses kalitesi, paket anahtarlama data servisi, devre anahtarlama ses iletişimi geliştirilmiştir. Yüksek hızlı paket anahtarlama servisleri sayesinde 3G ile internet bağlantısı, mobil TV, video konferans, 3D oyunlar ve görüntülü görüşme ve benzeri teknolojiler kullanılır hale gelmiştir [2].

3G ile gelen yenilikler aşağıda özetlenmiştir;

- Kablolu telefon kalitesinde ses kalitesi
- Hareket halindeki araçlar için 144 kbps, yürümekte olan bir şahıs için 384 kbps ve sabit haldeki bir istasyon için 2 mbps ağ hızı
- Paket ve devre anahtarlamalı veri servisleri desteği
- 2 Ghz bandında çalışma
- 2 Mb band genişliği
- Internet arayüzü (süreklili bağlantı)

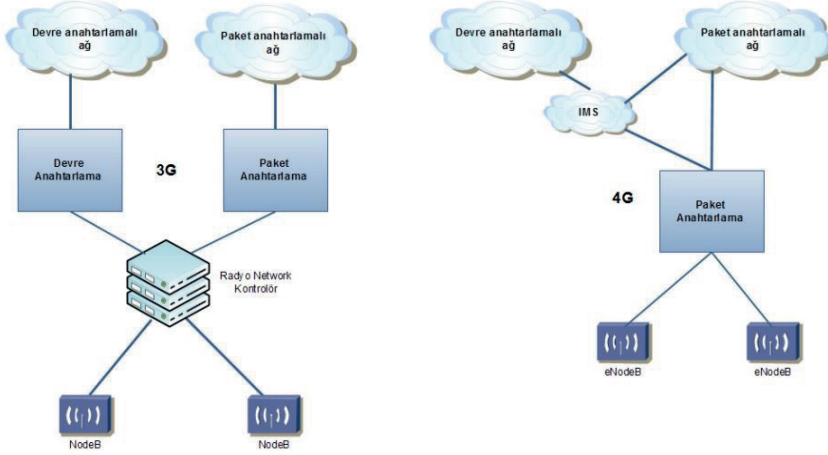


Şekil 9.5 3G Network

9.5 Dördüncü Nesil Hücresel Ağlar (4G)

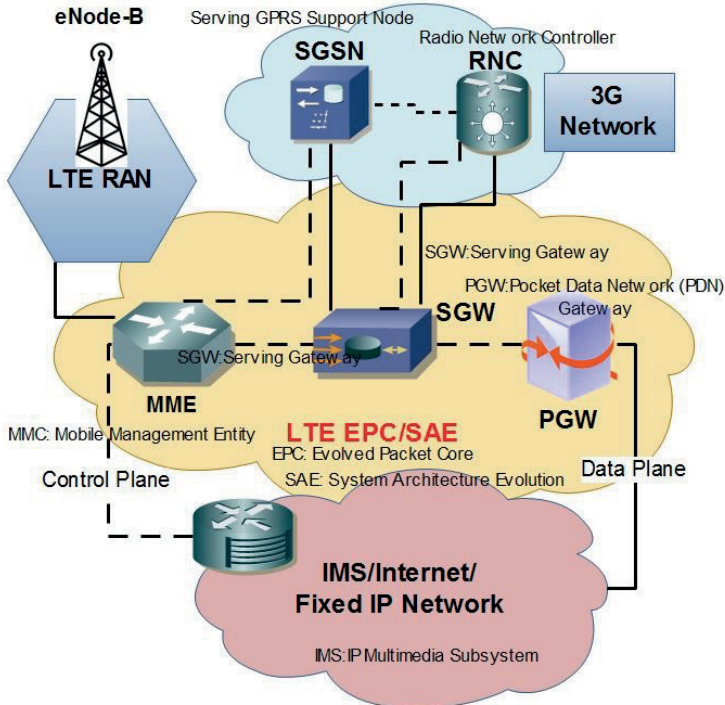
4. nesil ağlar ile kablosuz iletişimin artık evriminin sonlanacağı düşünülmektedir. 4G teknolojileri ile etkin bir spektrum kullanımı, yüksek ağ kapasitesi, mobilde 100 Mbps ve sabitte 1 Gbps hız, farklı nesil ağlara sorunsuz geçiş, yüksek yoğunluklu multimedia desteği ve tümüyle paket tabanlı (IP) bir alt yapı sağlanmaktadır [32].

4G'de paket tabanlı ağı geçiş ile birlikte, paket ve devre anahtarlamalı ağlar arasındaki orkestrasyonu IMS (IP Multimedia Subsystem) yerine getirmektedir. 4G üzerinde tüm iletişim (ses ve veri) paket tabanlı çalışmakta ve ayrıca IP V6'da desteklenmektedir.



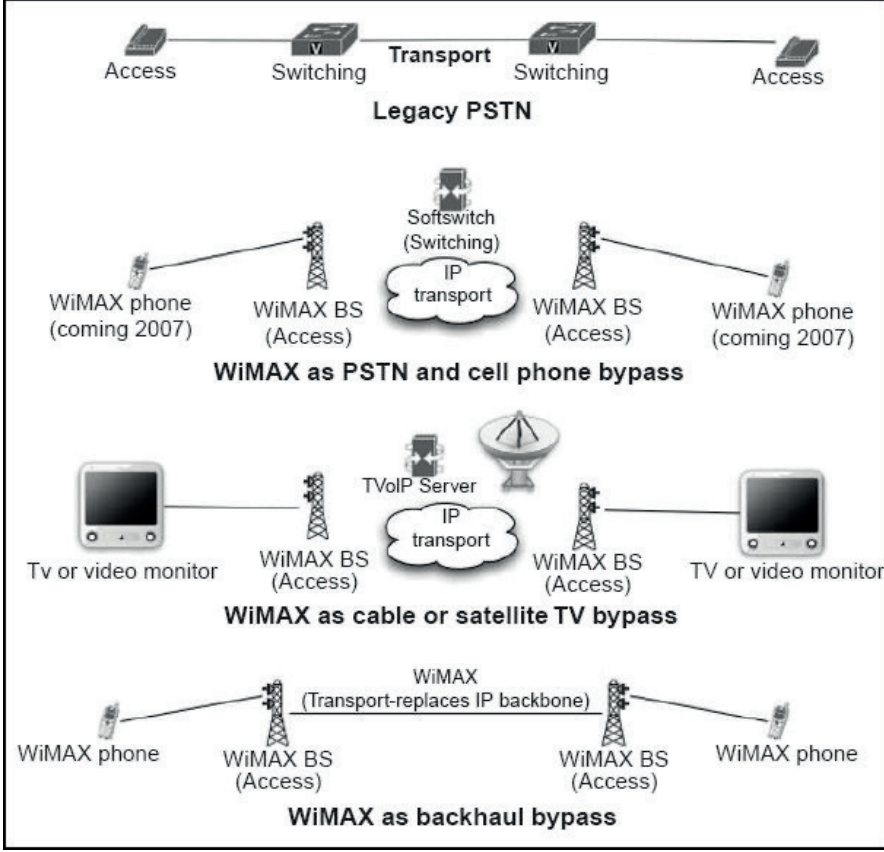
Şekil 9.6 3G-4G dönüşüm

4G üzerinde, OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) ve IFDMA (Interleaved Frequency Division Multiple Access) erişim şemaları kullanılmaktadır. Modülasyon tekniği olarak ise 64-QAM kullanılmaktadır. Özetleyecek olursak, 4G ile OFDMA tabanlı fiziksel katman, yüksek veri oranları, ölçeklenebilir bant genişliği ve veri oranı desteği, uyarlamalı modülasyon ve kodlama, link katmanı geri gönderimi, Time Division Duplexing (Zaman bölmeli katlama-TDD)- Frequency Division Duplexing (Frekans bölmeli katlama-FDD), esnek ve dinamik bazlı kullanıcı ayırımı, ileri anten teknolojileri, servis kalitesi (QoS) desteği, güçlü güvenilirlik ve yüksek hızlı bağlantılı mobilite ve IP tabanlı mimari destekleri gelmiştir (Şekil 9.7).



Şekil 9.7 4G Network

4G uygulamada, Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) ve LTE (Long Term Evolution) şeklinde standartlaşmıştır. Örnek olarak, Şekil 9.8'te Wimax'ın mevcut iletişim alt yapıları için alternatif çözümleri verilmiştir.



Şekil 9.8 Wimax [13]

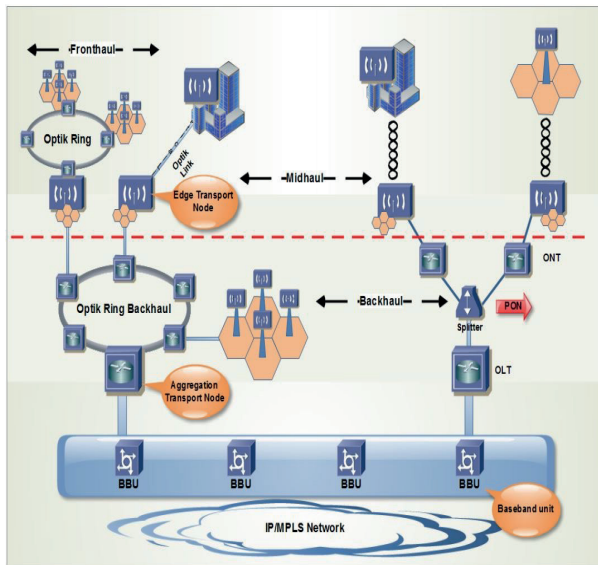
9.6 5. Nesil Hücresel Ağlar (5G)

5G teknolojilerinin hayatımıza girmesi 2020 yıllarında öngörülse de, şirketler şu anda 5G alt yapısı için yatırım yapmaya başlamış bulunuyorlar. Sosyal ve ekonomik açıdan getireceği katma değerli servisler düşünüldüğünde geleceğin süper hızlı bağlantılı sosyal bir yapı getireceğini söyleyebiliriz. Her şeyin her şeyle haberleşeceği bu alt yapıya şeylerin interneti (IoT) denmesinin nedeni budur. Makinalar arası haberleşme, akıllı kentler, akıllı ulaşım sistemleri, akıllı evler bu paradigmanın bize sunacağı olanaklardan sadece bir kaçıdır. 5G için kimi kaynaklar www (World Wide Wireless Web) terimini kullanmaktadır.

Generation	Deployment	Standard	Services	Technology	Switching	Core Network	Bandwidth
1G	1970-1980	AMPS	Only Voice	Analog	Circuit switching	PSTN	2kbps
2G	1980-1990	GSM	Digital Voice	Digital	Circuit switching	PSTN	14-64kbps
		IS-95 JDC	Short messaging				
		iDEN					
2,5G	2000-2003	GPRS EDGE	Digital Voice, Short messaging	GPRS	Packet switching for data transfer	PSTN	14-64kbps
3G	2000	UMTS (WCDMA)	Integrated High quality audio, video and data	Broad bandwidth CDMA/IP Technology	Packet	Packet N/W	2Mbps
3.5G	2006-2010	HSDPA/	High speed voice/ data	HSPA	Packet	GSM	14.4Mbps 1-3Mbps
		HSUPA	video			TDMA	
4G	2010	LTE-TDD LTE-FDD Mobile WIMAX	Dynamic information access, wearable devices	WIMAX LTE	All packet	Internet	100Mbps
5G	2020	IP broadband LAN/W AN/PAN & WWW	Dynamic information access, wearable devices with AI capabilities	WWW (coming soon)	All packet	Internet	1 to 10 Gbps

Şekil 9.9 Farklı mobil teknolojilerinin karşılaştırılması [29]

2G, 3G, 4G ve Wi-Fi alt yapılarının konsolidasyonu ile oluşacak 5G, topluma bir iletişim ekosistemi sunacaktır. Her zaman ve her yerde bağlantı ile sağlanacak bu eko sistemin, sosyal iletişimden ticarete kadar tüm yaşantımızı değiştireceği ve etkileyeceği düşünülmektedir. Bu açıdan bakıldığında, 5G mevcut kablosuz iletişim sistemlerinin, bir iletişim eko sistemi üzerinde tek bir organizma gibi yönetilerek her şeyin dahil olduğu bir iletişim alt yapısı sağlayacaktır.

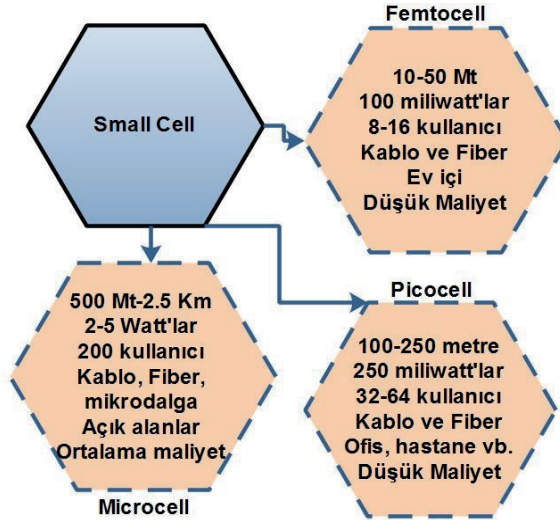


Şekil 9.10 5G Alt yapısı [11]

Böylesine dev bir ağ yapısını yönetebilmek için ise, ağ fonksiyon sanallaştırma (Network Function Virtualization-NFV) ve yazılım tanımlı ağlar (Software Defined Networks-SDN) gibi ağ yönetim uygulamaları geliştirilmiştir.

5G alt yapısında uygulanmış olan, masif MIMO (Multiple Input Multiple Output), esnek bant genişliği sağlayan taşıyıcı birleştirme (carrier aggregation), spektrum etkinliği (spectral efficiency), küçük hücre (small cell) gibi geliştirmelerle, yüksek hızlı mobil geniş bant (Mobile Broadband-MBB) esnek ve dinamik olarak uç kullanıcılara sunulmaktadır. Bahsedilen bu esnek yapı şeylerin interneti (IoT Internet of Things) için de alt yapı sağlamaktadır.

Vaat edilen hızlara ulaşabilmek için, 5G ile birlikte "small cells" alt yapısı geliştirilmiştir. Düşük gecikme değerlerine sahip, güvenilir, yüksek hızlı mobil geniş bant hizmetlerini verebilmek için small cell alt yapısı zorunlu hale gelmiştir. Small cell, kısa mesafeli iletim sistemleri üzerinden nispeten düşük coğrafik alanlarda (indoor/outdoor) yüksek hızlı, yüksek yoğunluklu, düşük güçle mobil erişim sağlamaktadır. Small cell üç alt kategoride incelenebilir; femtocells, picocells ve microcells. Bu kategoriler, harcanan güç, erişim mesafesi ve kullanıcı yoğunluğu gibi parametrelere bakılarak kurgulanmıştır [31].

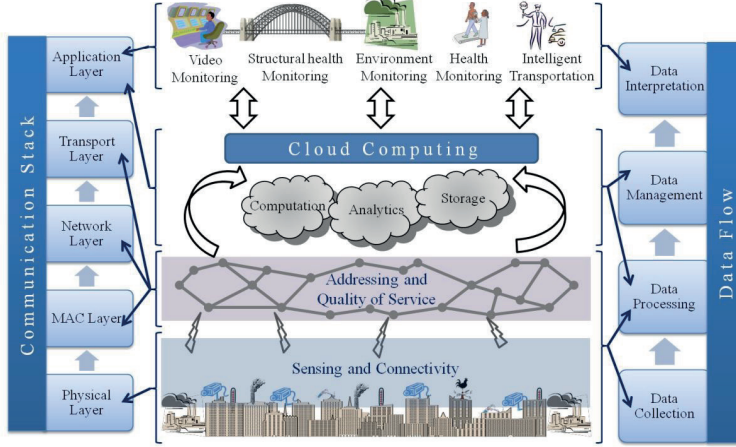


Şekil 9.11 Small cell alt grupları [31]

Şekil 9.11'de de görüleceği gibi femtocell, uzaklık, tüketilen güç, desteklenen kullanıcı sayısı, bina içi-dışı, erişim modeli ve maliyet miktarları gibi parametrelere bakılarak üç farklı kategoride incelenmektedir.

9.7 Şeylerin İnterneti (Internet of things-IoT)

Protokol olarak IPV6 kullanacak iletişim alt yapısına, mobil cihazlar akıllı objeler, giyilebilir cihazlar (örneğin nabız ölçerler), akıllı evler, hava durumu sensörleri, trafik lambaları, internete bağlı otomobiller vb. bir çok cihaz yada akıllı obje Li-Fi (Light Fidelity), Wi-Fi, Bluetooth, NFC (Near Field Communication), radyo ağları, 3G, 4G gibi akla gelebilecek tüm iletişim alt yapılarını kullanarak bağlanacaktır. IoT herşeyin herşeye bağlandığı devasa bir iletişim bulutu olarak görülebilir (Şekil 9.14).

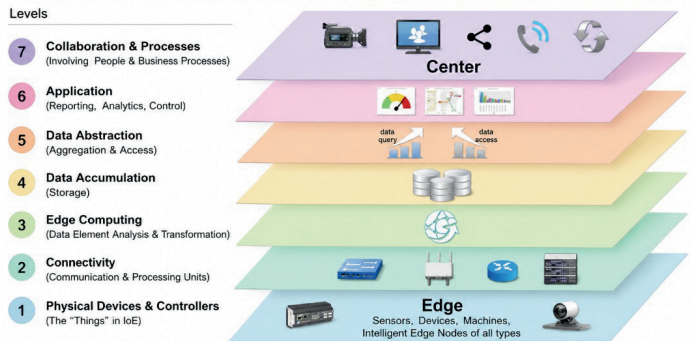


Şekil 9.14 IoT [11]

Görüleceği gibi, IoT veri akışında (data flow) uç sensör ve alıcılardan toplanan veri (data collection) sırasıyla veri işleme (data processing) ve veri yönetimi (data management) aşamalarından geçerek son kullanıcı için anlamlı çıktılar veren çeşitli raporlama-gözlemleme araçları ile yorumlanabilir hale gelir. Bu işlem veri yorumlama (data interpretation) olarak adlandırılır. Şekilden de görüleceği gibi veri yönetiminde bulut teknolojileri (cloud computing) kullanılmaktadır.

IoT katmanları ise şekil 9.15’de verilmiştir. Görüleceği üzere, fiziksel katmanda bulunan cihazlardan toplanan her türlü veri (data, görüntü, ses vb.) erişim şebekeleri ile depolanacak şekilde organize edilerek veri toplama merkezlerinde tutulur. Bu katmanın üzerinde bulunan data soyutlama ve uygulama katmanlarında, veri işlenerek anlamlı bilgiler haline dönüştürülür. Bu kavramsal yapı, uçtan uca 5G alt yapısının katmanlaştırılarak yönetimine olanak sağlar.

Internet of Things Reference Model



Şekil 9.15 IoT katmanları [30]

Klasik IoT uygulamalarına, akıllı evler, akıllı şehirler, sağlık takibi yapabilen kıyafetler, akıllı perakendecilik, akıllı çiftlikler gibi örnek olarak verilebilir.

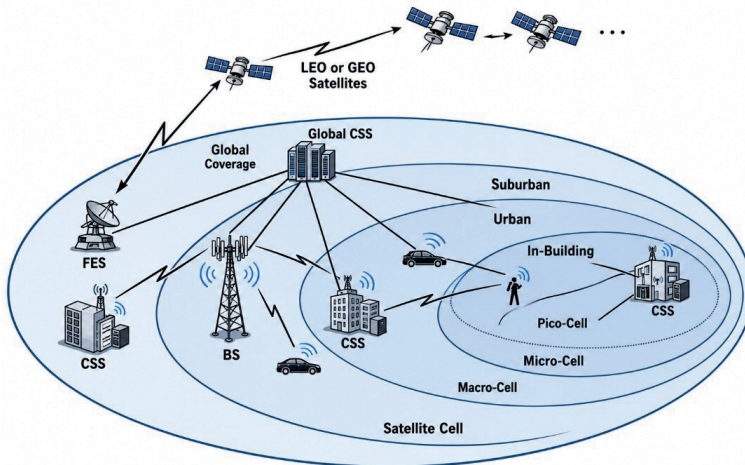
9.8 6. Nesil Hücresel Ağlar (6G)

6. nesil iletişim alt yapısında, global bir kapsama alanı için mevcut 5G altyapısının uydu iletişim ağları ile entegrasyon öngörülmektedir. Burada uydu iletişimi alt yapısı ile, iletişim uyduları, yer izleme uyduları ve Navigasyon uydularının bütünü kastedilmektedir. 6G ile mobil kullanıcılara, ağ pozisyon kimliği (GPS), multi medya ve internet erişimi ve hava durumu bilgileri gibi servislerin sağlanması amaçlanmaktadır. Bu uydu iletişim alt yapısını sağlayan dört ülke bulunmaktadır; Amerika tarafından GPS, Çin tarafından geliştirilen COMPASS sistemi, Avrupa birliği tarafından Galileo sistemi ve son olarak Rusya tarafından geliştirilen GLONASS sistemi [27] [28].

Futuristik bir ifade kullanacak olursak, “6G sistemlerinin ortaya çıkışı ile insanlık evrende, dünya dışı bir medeniyet oluşumuna daha da yaklaşmış olacaktır” diyebiliriz [27]. 6G ile gelen belli başlı özellikler aşağıda verilmiştir [27];

- Ultra hızlı internet erişimi
- 10-11 Gbps’a kadar data hızları
- Akıllı evler, şehirler ve köyler
- Galaktik dünyadan enerji üretiminde kullanılabilme
- Ev otomasyonu, uzay teknolojisi ve savunma uygulamaları 6G ile yeni bir boyut kazanacak
- Uydular arası iletişim ve ağ uygulamaları
- Doğal afetler 6G ile kontrol edilebilecek
- Denizden uzaya iletişim

6G alt yapısını şekil 9.16’de verilmiştir.



Şekil 9.16 Uydu ağı ile 6G [28]

9.9 7. Nesil Hücresel Ağlar (7G)

7. nesil iletişim ile 6G’de olduğu gibi global kapsama alanı yanında mobil iletişim için uydu fonksiyonları da tanımlanmış olacaktır. 6G mobil kablosuz ile ağı lokal ses kapsama alanını ve

diğer servisleri desteklemektedir. 7G ise ülkeler arası dolaşıma olanak sağlayacak bir alt yapı sunacaktır. Gerek kullanıcının ülkeler arasındaki mobilitesi gerekse uyduların belirli hızlarda ve belirli yörüngelerde hareket etmesi yüzünden bu alt yapıyı oluşturabilmek için henüz net standart ve protokoller tanımlanmamıştır [28].

7 ve 7.5G teknolojileri ile birlikte 20 Gb'lık bir dosyayı sadece bir saniyede indirirken aynı zamanda 15 Gb'lık bir dosyayı upload ediyor olacağız. 7.5G ile farklı iki okyanusun ortasında bulunan cihazların bile birbirileri ile bahsedilen hızlarda iletişimi mümkün olacak. Daha önceden de söylediğimiz gibi, bu rüyanın gerçek olması alt yapı için gerekli olan standartların ve protokollerin tanımlanmasına bağlı bulunuyor.

9.10 Uydu Ağları

İlk uydu haberleşmesi 1957 yılında o zamanki Sovyetler birliği tarafından uz ölçüm bilgilerini almak üzere uzaya gönderdiği Sputnik isimli uydu ile başlamıştır. Bundan bir yıl sonra ABD tarafından uzaya Score isimli uydu gönderilmiştir. Takip eden yıllarda, birçok ülke tarafından Dünya yörüngesine çeşitli amaçlarla, (izleme, pozisyonlama, iletişim, TV yayını vb) birçok uydu gönderilegelmiştir.

Şekil 9.17'da tipik bir uydu iletişim alt yapısı verilmiştir.



Şekil 9.17 Tipik Uydu iletişim alt yapısı

Uydu ağları, bir ya da birden fazla uydu ve bunların yeryüzündeki alıcı/vericilerinden oluşur. Yeryüzündeki uçlar, bir telefon ya da bilgisayar olabildiği gibi bir kampüsü ağa bağlayan bir yer istasyonu da olabilir. Uydu ağlarının tipik kullanım alanları aşağıda verilmiştir.

- İki uydu arasında bağlantı
- Yeryüzünde bulunan iki ya da daha fazla yerleşke arasındaki iletişim bağlantısı.
- Yer üzerinde bulunan Fiber hatların yedeklenmesi.
- Uydu telefon işletimi
- GPS (Global Positioning System)-Global pozisyonlama sistemi
- TV yayını
- Coğrafi amaçlarla izleme uyduları
- Meteoroloji

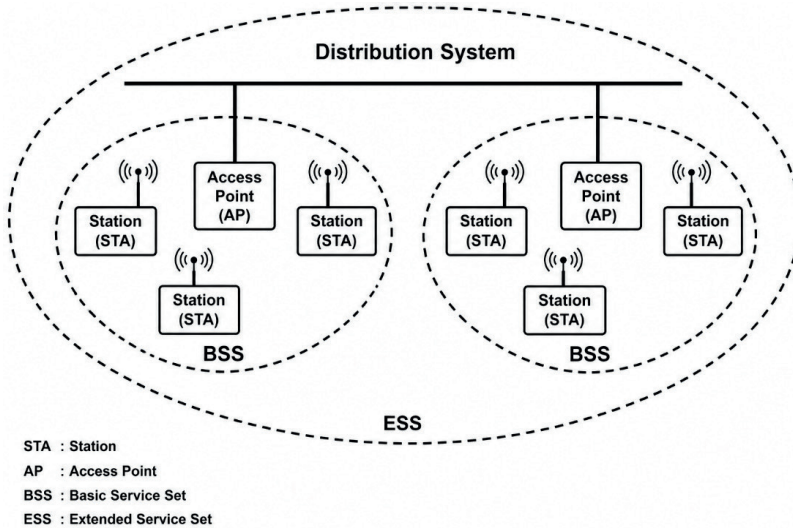
Uydu iletişimde uplink ve down-link kanalları 1,5 GHz'den başlamak üzere downlinkte 20 Ghz ve Uplinkte 30 Ghz'e kadar çıkmaktadır. Söz konusu frekanslarda band genişlikleri 15 Mhz'den 3.5 Ghz'e kadar ulaşabilmektedir.

9.11 802.11 Ailesi

Günümüz literatüründe IEEE 802.11 standardı Wireless Fidelity (Wi-Fi olarak anılmaktadır). Evlerimizde, ofislerimizde kablosuz erişim cihazları üzerinden ağ ya da internet bağlantısı kurmamıza olanak sağlayan bu teknoloji ile esnek ve ölçeklenebilir yerel kablosuz ağlar kurulabilmektedir. Söz konusu standart altında iki türlü bağlantı sağlanabilmektedir. Bunlardan ilkinde, kablosuz bağlantı ile erişim noktasına bağlanan istemci makinaların kablolu ağlara geçişi (örneğin DSL modem/router üzerinden internete bağlantısı) yapılırken ikincisinde noktadan noktaya (point to point) (ad hoc network) bağlantı ile istemci makinalar birbirlerine bağlanmaktadır.

IEEE 802.11 standardı üç farklı kablosuz ağ topolojisini desteklemektedir [18];

- Bağımsız basit servis seti (independent basic service set-IBSS)
- Basit servis seti (Basic Service Set-BSS)
- Genişletilmiş Servis Seti (Extended Service Set-ESS)



Şekil 9.18 Kablosuz ağ topolojisi [18]

Kablosuz alan ağları için aşağıda verilen IEEE 802.11 standartları tanımlanmıştır [19].

- 802.11a - 54 Mbps standardı, 5 GHz (1999)
- 802.11b - 11 Mbps standardı, 2.4 GHz (1999)
- 802.11c – köprü bağlantıları operasyonu (802.1D'ye taşınmıştır)
- 802.11d – Kablosuz spektrum kullanımı için regulasyon (2001)
- 802.11e - Quality of Service (QoS) desteği
- 802.11F – Erişim noktaları arasında roaming (2003)
- 802.11g - 54 Mbps standardı, 2.4 GHz (2003)
- 802.11h - 802.11a'nın geliştirilmiş versiyonu (2003)

- 802.11i – 802.11 için güvenlik geliştirilmeleri 802.11 (2004)
- 802.11k – Kablosuz yerel alan ağı yönetim sistemi
- 802.11l – 802.11i ile karıştırılmasın diye boş bırakıldı
- 802.11m – 802.11 dokümantasyonu
- 802.11n – 802.11g üzerine 100+ Mbps geliştirme (2009)
- 802.11o - Atlandı
- 802.11p – Araç trafiğinde kablosuz erişim
- 802.11q - Atlandı
- 802.11r – BSS geçişlerinde hızlı dolaşım
- 802.11s – Erişim noktaları için ESS mesh ağ topolojisi
- 802.11T – Kablosuz performans tahminleme
- 802.11u – 3G/hücresel ve diğer mobil ağlarla birlikte çalışabilme
- 802.11v - Kablosuz ağ yönetimi ve cihaz konfigürasyonu
- 802.11w - Korumalı Frame güvenliği geliştirilmeleri
- 802.11x – Atlandı (802.11 ailesi için genel isimlendirme)
- 802.11y – Sinyal girişimi için içeri tabanlı protokol

Bu standartlara ilaveten;

- 802.11n –WiFi 4 (2009)
- 802.11ac-WiFi 5 (2014)
- 802.11ax-WiFi 6 (2019)

Jenerasyon isimlendirmeleri sektörde sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlardan sonuncusu ve en yüksek band genişliği sunan WiFi 6 günümüzde yavaş yavaş yaygınlaşmaya başlamıştır.

Kablosuz ağ kanallarını bölmek için kullandığı erişim modelleri (OFDMA), antenleme teknikleri (MIMO), ağ tıkanıklığını (network congestion) giderme kapasitesi, kullandığı modülasyon türü (1024-QAM) ve 2.4 Ghz ve 5 Ghz bandlarını kombine kullanabilme yeteneği ile WiFi 6, teorik olarak 9.6 Gbps hızı desteklemektedir. Yeri gelmişken, WiFi 5 hızının teorik olarak 3.5 Gbps olduğunu da söyleyelim. İlaveten WiFi 6 TWT (Target Wake Time) özelliği ile güç tüketimini minimize ettiği için özellikle IoT uygulamalarında kullanılan cihazların batarya ömürlerine artı katkı sağlamaktadır.

WiFi 6 standardının sunduğu yüksek band genişliği ile aynı anda çok fazla kalabalık alanlarda kullanım imkanı (örneğin stadyumlar) sağladığı gibi mobil bağlantılarda daha yüksek batarya ömürleri vaat etmektedir (WiFi bağlantı ile bağlanan akıllı telefonlarda haberleşirken, telefon daha az güç harcamaktadır).

9.12 LiFi

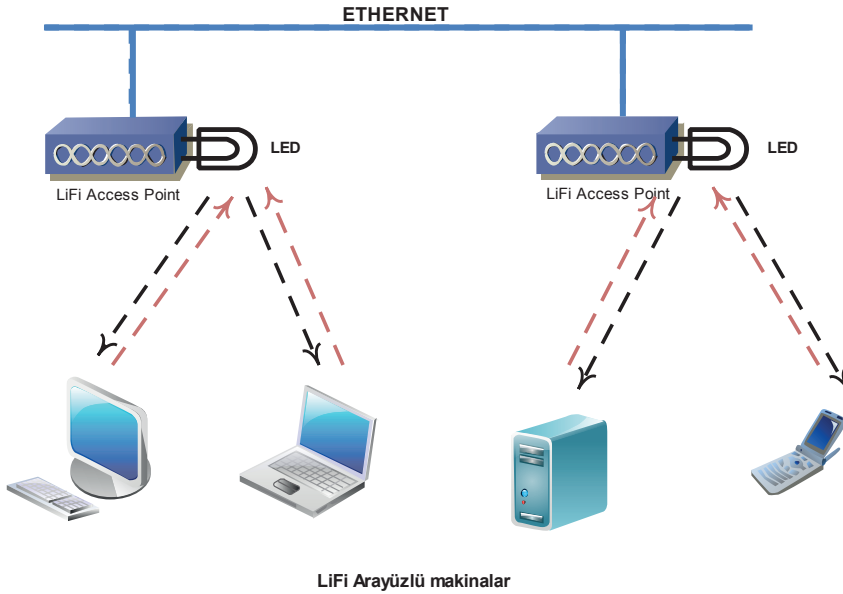
Li-Fi (Light Fidelity) kavramı ilk olarak, Edinburg Üniversitesi profesörlerinden Harald Haas 2011 yılında tarafından kullanılmıştır. Li-Fi görünür ışığın iletişimi (Visible Light Communications-VLC) sistemi olarak düşünülebilir. Işığın fiziksel özellikleri nedeniyle çok yüksek hızlarda veri iletişimine olanak sağlamaktadır.

Li-Fi, görünür ışığın parlaklığının (gözle görülmeyecek şekilde) değişimi ile veri kodlanması prensibine

dayanır. Mevcut bir ışık kaynağı ile mevcut bir ışık alıcısı (örneğin LED alıcı ya da güneş panelleri) Li-Fi iletişimde kullanılabilir. Wi-Fi'a oranla en büyük avantajlarından birisi de bu sayılabilir.

Ayrıca Li-Fi görünür ışık iletişimde 500 Mbps'lara varan bant genişlikleri verilebilmektedir [20]. Şekil 9.19'de tipik bir uygulaması verilmiştir. Li-Fi alıcı ve verici cihazların birbirini görmesi gerekmektedir. Bu neden şimdilik, aynı odada bulunan ağ cihazlarının haberleşmesinde kullanım yeri bulmaya başlamıştır.

Bununla birlikte, IoT teknolojilerinin yaygınlaşması, ağ omurgasına bağlanmak suretiyle makinalar arası konuşma (machine to machine communication-M2M) ve bağlantıda da yaygın olarak kullanılması beklenmektedir.



Şekil 9.19 Li-Fi (Light Fidelity)

10. Voice over IP (VoIP)

İletişim tarihine baktığımızda öncelikle devre anahtarlama sistemlerinin, akabinde özellikle ana omurgada hücre anahtarlama sistemlerinin ve nihayet paket ve etiket anahtarlama sistemlerinin evrildiğini görürüz. Paket anahtarlama sistemlerinin (bilginin sayısallaştırılarak IP paketleri üzerinden iletilmesi) son kullanıcıya kadar ulaşması ile birlikte servis kalitesi (QoS) kavramı gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Paket anahtarlama ağlarda en yüksek efor (best effort) prensibi üzerine anahtarlama yapılırken, gerçek zamanlı uygulamaların (ses ve görüntü iletimi) ortaya çıkması ile paket trafik önceliklendirme zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Basit bir örnek vermek gerekirse, bir elektronik posta paketinin önceliği ile bir ses veya görüntü paketinin önceliği aynı değildir. Bir başka deyişle, bir elektronik postanın 3 veya 5 dakika gecikmeye tahammülü varken, ses ya da görüntü iletiminde saniyelerden daha düşük gecikmeler dahi görüşme kalitesini bozmaktadır. Dolayısıyla, gerçek zamanlı uygulamalarda en iyi efor (best effort services) servisleri tıkanabilmektedir. Bunun yerine garanti edilmiş bant genişliği, gecikme zamanı vb gibi servisleri verebilen sistemler hayatımıza girmiştir. İşte QoS kavramı tüm bu ihtiyaçları tanımlamak için ortaya çıkmıştır.

10.1 Servis Kalitesi (Quality of Service-QoS)

IP tabanlı ses iletişimine (VoIP) geçmeden önce, servis kalitesi (Quality of Service- Qos) kavramından bahsetmek gerekir. İletişim ağları üzerinde gerçek zamanlı (real time) uygulamalar geliştirilmesiyle QoS kavramı ortaya çıkmıştır. İnternet dahil herhangi bir ağ üzerinde, ses ve video gönderilebilmesi için iletişim ağ alt yapısının garanti edilmiş uçtan uca bant genişliği sağlaması gerekmektedir. Örneğin ağ üzerinde IP temelli ses gönderiminde delay (gecikme) ve jitter (gecikmelerdeki değişim) kavramları ön plana çıkmaktadır. Bir konuşmanın karşılıklı olarak kayba uğramadan sürdürülebilmesi için bu iki temel kavram optimize edilmelidir.

İletişim biliminde servis kalitesi, ağ tarafından sağlanması gereken servis setlerini tanımlamaktadır. Bir başka deyişle, QoS fonksiyonları, ağ tarafından garanti edilen servis gereksinimlerini ortaya koymak üzere tasarlanmaktadır. Bu, ise ağ operatörünün, ağ kaynaklarının (band, hafıza, CPU vb) yönetebilmesine bağlı bulunmaktadır. Ağ operatörü ağ kaynaklarını yöneterek, (örneğin) VoIP için istenen servis kalitesi parametrelerini (delay ve jitter) set eder [3].

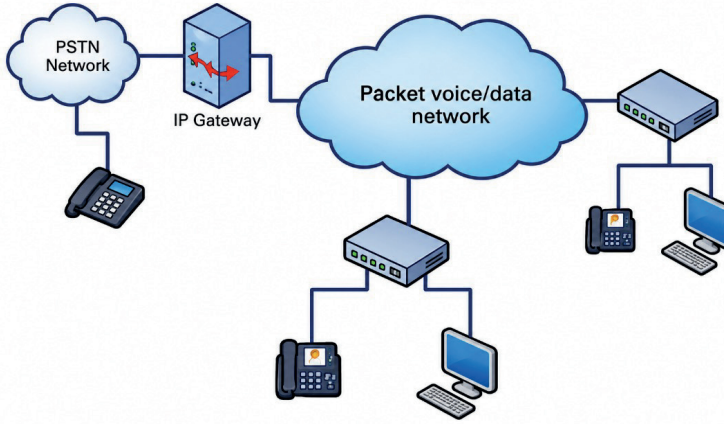
QoS mimarisinin tanımlanması 1990 yıllarının ortalarına dayanır. The Internet Engineering Task Force (IETF) IP tabanlı sistemler için iki farklı mimari tanımlamıştır: Tümlenleştirilmiş (Intagrated) servisler ve ayrışıklaştırılmış (differentiated) servisler. Tümlenleştirilmiş servis mimarisi QoS parametrelerinin garantilenmiş paket akışlarının yönetimi üzerine kurgulanmıştır. Ayrışıklaştırılmış servis mimarisi ise paket bazlı önceliklendirme prensiplerine göre çalışır [15].

Bir VoIP sistemi kurabilmek için temelde iki bileşene ihtiyaç duyulmaktadır: paket ses ağı (packet voice network) ve bu ağın yönetilebilmesi, iletişimin sağlanması için gerekli protokoller (H.323 ve Session initiation protocol-SIP gibi) [3].

10.2 Paket Ses Ağı (Packet Voice Network)

Tipik bir paket ses ağı şekil 10.1 de verilmiştir. Bir paket veri ağı IP tabanlı, Frame Relay, ATM ya da (günümüzde yaygınlaşan) MPLS tabanlı olabilmektedir. Ağ üzerinde bulunan gateway'ler (ağ geçidi) analog ses işaretlerini sayısallaştırarak paket iletimine uygun hale getirmektedir. Bu aşamadan sonra, paket hedef cihaza gönderilmek üzere ağa gönderilir ve karşı gateway'de işlem tersinir bir şekilde yerine getirilir.

Burada kritik nokta, ses bilgisinin pakete ve karşı cihazda tekrar sese nasıl dönüştürüleceği noktasıdır. Burada uygulanan analog-digital/digital-analog dönüştürme işlemleri coder-decoder (CODECs) lere aracılığıyla yapılır. Bu dönüşüm sağlandıktan sonra, sinyalleşme (arama yapılacak karşı tarafın bulunması, bağlantının kurulması vs.) süreci devreye girer ki bu süreçlerde H.323 veya Session Initiation Protocol (SIP) ve diğer bazı IP protokolleri devreye girer.



Şekil 10.1 Paket Ses Ağı

10.3 VoIP Sinyalleşme Protokolleri

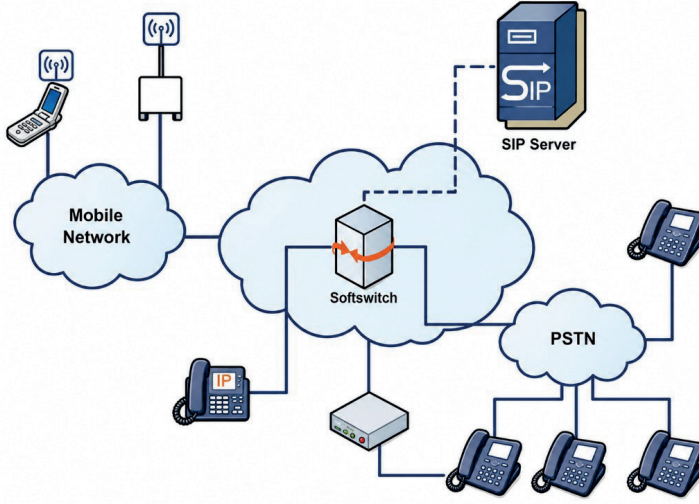
Analog ses sinyalinin sayısallaştırılarak paket tabanlı ağlara verilebilir hale getirilmesi aşamasından sonra, iki uç cihaz arasında iletişim kanalının kurulması için belli başlı iki protokol standart hale gelmiştir. Bunlardan ilki H.323 protokolüdür.

H.323 protokolü ITU tarafından, PSTN (telefon) üzerinde bulunan telefonların internete bağlı H.323 terminali olarak adlandırılan bilgisayarlarla konuşabilmesi amacıyla tasarlanmıştır. Tipik bir H.323 örneği aşağıda verilmiştir [4].

- Arayan terminal lokal ağa, gateway'in IP adresini sorgulayan bir broadcast mesajı gönderir.
- Gateway bu broadcast mesajına, kendi IP adresini gömdüğü bir unicast mesajla cevap verir, böylece terminal gateway'in adresini öğrenmiş olur.
- Terminal ve gateway iletişim sağlanacak kanalın band genişliğinde "anlaşır".
- Yine terminal ve gateway veri sıkıştırma metodundan "anlaşır".
- Bağlantı kurulur ses verisi akmaya başlar.
- Gateway ve terminal konuşmayı sonlandırır.

Yukarıda anlatılan adımların tamamında o adıma spesifik protokol kullanılmaktadır.

Şekil 10.2’de tipik bir SIP network verilmiştir.



Şekil 10.2 SIP Network

Session Initiation Protocol (SIP- Oturum açma protokolü), IETF tarafından planlanmış bir protokoldür. SIP tarafından verilen servisler aşağıda verilmiştir:

- Internet’e bağlı kullanıcılar arasında çağrı oluşturma
- Kullanıcılarının IP adreslerini bulma
- Kullanıcıların konferans görüşmeye uygun olup olmadığının kontrolü
- Gerçek zamanlı uygulamalar için (ses-video) terminallerin hız ve kodlama tiplerinin kontrolü
- Oturum ayarlarının belirlenmesi (port numaraları vs)
- Çağrı bekletme, çağrı yönlendirme vb çağrı özelliklerini yerine getirme.

Yukarıdaki protokollerle birlikte birçok (H248, Real Time Transfer Protokol-RTP vb.) protokol serisi kullanılmaktadır.

10.4 Önemli Ağ Metrikleri

Real time (gerçek zamanlı) uygulamaların paket tabanlı ağlarda koşturması ile birlikte delay (gecikme), latency (gecikme) jitter (gecikme tutarsızlığı), throughput (çıkış), band width (band genişliği) ve packet loss (paket kaybı) metrikleri iletişimin sağlıklı yapılabilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. İletişimin herhangi bir bozulmaya yol açmadan kabul edilebilir sınırlar içinde sürdürülebilmesi için metriklerin belirli sınır değerlerin altında tutulması gerekmektedir.

Sırasıyla değinecek olursak;

Sinyal Gecikmesi (Delay): Delay, önemli bir ağ metriği olup işlem gecikmesi, iletim gecikmesi, yayılma (propagation) gecikmesi ve kuyruklama gecikmesi gibi dört farklı kaynağı vardır. Verinin bir uç noktadan bir başka uç noktaya geçmesi için gereken süreyi ifade eder. Bir ağ üzerinde gecikmenin saniyeler mertebesinde olması beklenir ve uç noktaların bulunduğu yerler, paket büyüklüğü ve ağ trafiği gibi parametrelerden etkilenir. Örneğin yoğun trafiğin yaşandığı bir ağda gecikme süreleri de artmaktadır.

Ağ Gecikmesi (Latency): Latency ve delay kavramları aslında birbiri ile bağlantılı olan ve zaman zaman birbiri yerine kullanılabilen kavramlardır. Önceki paragrafta açıkladığımız gibi, delay bir uç noktadan bir diğerine verinin gitme süresiyken, latency iki farklı durumla ele alınır. Birinci durumda, latency bir paketin bir uç noktadan bir uç noktaya ulaşması için gereken zaman (ki bu durum tek yönlü delay olarak da düşünülebilir) olarak ele alınır. İkinci durumda ve çoğunlukla bir paketin kaynaktan destinasyona gidişi ve destinasyondan alınan cevabın kaynağa ulaşması arasında geçen zamanı ifade eder (round trip time: gidiş dönüş zamanı). Tek yönlü gecikme değerinin 150 milisaniye (dolayısıyla round trip'te bu değer 300 milisaniye) altında olması gerekmektedir.

Jitter (Gecikme tutarsızlığı): Paket tabanlı bir ağ üzerinde gecikme kadar, "gecikmedeki tutarsızlık" da önem arz eder. Bu açıdan değerlendirdiğimizde jitter, paket gecikmeleri arasında oluşabilecek farklılıklar olarak görülmelidir. Jitter'in sabit değerde ve 30 milisaniyelerin altında olması beklenir.

Packet Loss (Paket kaybı): Bir yada birden fazla veri paketinin destinasyona yolcuğu sırasında çeşitli nedenlerle (iletim hataları, ağ çakışması vb.) hedefine ulaşamaması durumunda paket kaybı oluşur. Paket kaybının %1'den fazla olmamalıdır.

Bandwidth (Bant genişliği): Verilen bir ağ yolu üzerinden maksimum veri aktarım hızıdır. Bir başka deyişle, bir cihazın bir kablo üzerinden maksimum veri gönderme hızı olarak da ifade edilebilir. Bir benzetme yapacak olursak, bir otobandan geçebilecek maksimum otomobil sayısı o otobanın kapasitesini ifade eder.

Throughput (Çıktı): Bant genişliğinde yaptığımız tanımdan hareketle, verilen bir hat ve bant genişliği üzerinden iletilebilen asıl veri miktarı/oranı throughput olarak ifade edilir. Bant genişliğiniz çok yüksek olmasına rağmen bazı durumlarda throughput değeri çok daha düşük olabilir.

Anlatılanlara ilaveten, belirtmekte fayda var ki telekomünikasyon sistemlerinde fiziksel olarak üç önemli kavram bir arada değerlendirilir; bant genişliği (yani hız), mesafe ve güç tüketimi. Optimum maliyette çalışacak bir sistem için bu üçünden yalnızca ikisini seçmemiz gerekiyor. Örneğin; Uzun mesafelere, yüksek hızlı bir hat kurmak istiyorsak bunu düşük güç tüketimi ile yapamayız. Ya da uzak mesafede düşük güç ile çalışan bir sistem kuracaksa burada da yüksek bant genişliği elde edemeyiz.

11. Kurumsal Ağ Uygulamaları

Bu bölümde, kurumsal şirketler tarafından sıklıkla kullanılan ağ erişim teknolojileri anlatılacaktır. Kurumsal ağ erişim uygulamalarında, dış dünyaya dönük servisler verildiğinden pahalı olmasına karşın, daha çok senkron erişim teknikleri kullanılmaktadır. Ev kullanıcılarında download (indirme) hızı önemliyken, kurumsal uygulamalarda, hep upload (gönderme) hem de download (indirme) hızları önem kazanmaktadır.

11.1 G.SHDSL

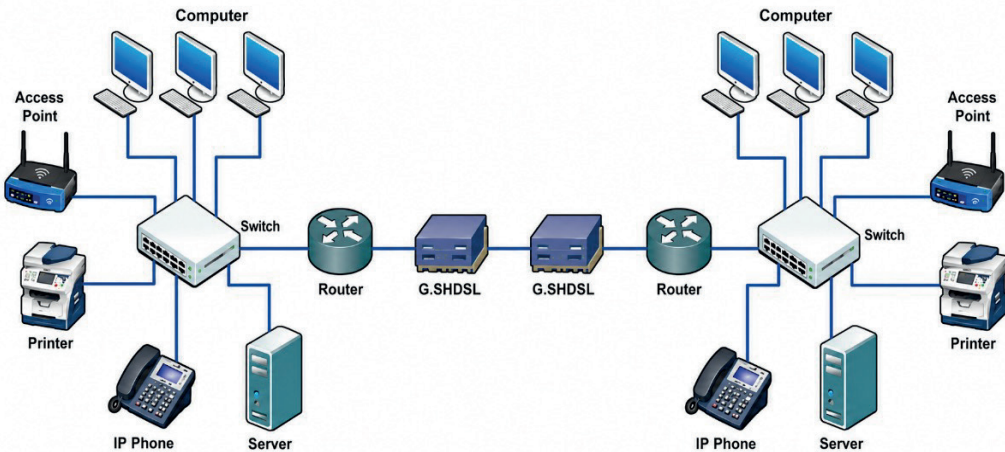
G.SHDSL (Symmetric high-bit-rate digital subscriber line – Simetrik Yüksek Hızlı Sayısal Abone Hattı) download ve upload hızları birbirine eşit teknoloji DSL teknolojisi olarak tanımlanabilir.

G.SHDSL teknolojisi ile bir çift bakır tel üzerinden yaklaşık 6 km'lik mesafelerde 128 Kbps ile 2 Mbps hızları arasında hizmet verilebilir.

Artan bant genişlikleri ihtiyacı nedeniyle G.SDSL hizmeti kullanımdan yavaş yavaş kalkmakta olup, yalnızca tekst tabanlı bilgi gönderen uygulamalarda kullanımı sürmektedir.

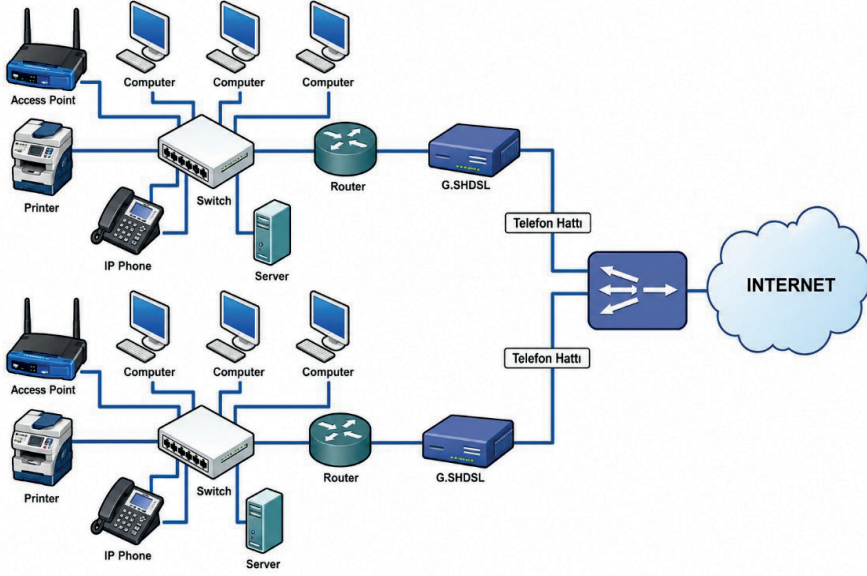
G.SHDSL teknolojisi, geleneksel asimetrik (ADSL) hatların aksine veri iletimini her iki yönde de eşit bant genişliğiyle gerçekleştirir. Bu yapı, veri gönderim hızının (upload) veri alma hızı (download) kadar kritik olduğu Kurumsal Sanal Özel Ağlar (VPN), IP santral (VoIP) altyapıları ve sunucu barındırma hizmetleri için uzun yıllar temel bir standart oluşturmuştur. Teknoloji, sinyal iletiminde gelişmiş PAM (Darbe Genlik Modülasyonu) kodlamasını kullanarak bakır hatlar üzerindeki paraziti minimuma indirir. Ayrıca, mesafeden kaynaklanan sinyal kayıplarını telafi edebilmek adına birden fazla bakır tel çiftinin birleştirilmesi (bonding) yöntemine de olanak tanır; böylece iletim katlanarak daha uzun mesafelere ve daha yüksek kararlılığa ulaştırılabilir.

G.SHDSL hizmetinin iki tipik uygulaması vardır. Şekil 11.1'de iki ayrı lokal ağı birbirine bağlan bir topoloji verilmiştir.



Şekil 11.1 Noktadan Noktaya G.SHDSL bağlantı

Şekil 11.2'de yerel alan ağlarının G.SHDSL teknolojisi ile internete bağlantıları verilmiştir.

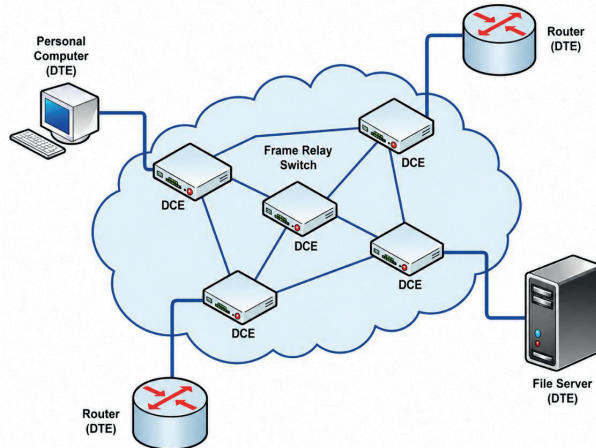


Şekil 11.2 Internet erişimi G.SHDSL

11.2 Frame Relay

Frame Relay, bir kullanıcı cihazından bir diğerine değişik tiplerdeki router ve switch cihazları üzerinden hızlı ve etkin veri iletişimi sağlayan bir geniş alan ağ protokolüdür. Frame Relay OSI modelinin fiziksel ve data linki katmanında paket anahtarlama prensibine göre çalışan bir protokoldür [22].

Frame Relay teknolojisinde, kaynak-hedef arası haberleşme sanal kanallar (virtual circuits) üzerinden yapılır. Frame Relay ağ üzerinde bulunan istasyonlar, kullanılabilir bant genişliklerini dinamik olarak paylaşırlar. Bu açıdan bakılınca, Frame Relay protokolü patlamalı (bursty) bir ağ ortamı sunmaktadır. Burada patlamalı trafikten kasıt, link bandı uygun olduğunda, size ait trafik, uygun olan bandın tamamını kullanacak olmasıdır. Yoğun trafikle durumlarda ise CIR (Committed Information Rate- Taahhüt edilen bilgi seviyesi) değeri ile iletişim yapılır.



Şekil 11.3 Frame Relay Network

Frame Relay ağ üzerinde temel iki cihazdan bahsedilebilir;

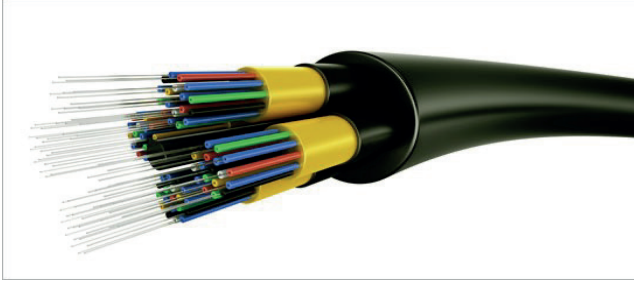
- **DCE (Data Communication Equipment):** Frame Relay paket aktarımlarının yapıldığı cihazlar
- **DTE (Data Terminal Equipment):** DCE karşısında bulunan terminalleri ifade eder.

Frame Relay protokolünün sanal devreler üzerinden paket anahtarlama yöntemiyle iletişim sağladığından bahsetmiştik. Söz konusu mekanizma, Frame Relay data-link connection identifier (DLCI) adı verilen bidirectional sanal yollar üzerinde çalışır.

Frame Relay ağ üzerinde iki farklı sanal yol tanımlanır. Bunlardan ilki, kalıcı sanal devre (permanent virtual circuit-PVC) noktadan noktaya sabit bağlantı için ağ yöneticisi tarafından tanımlanır. İkincisi anahtarlama sanal devre (Switched virtual circuit-SVC), ISDN ağlarda olduğu gibi, arama bazlı (call by call) bağlantılarda oluşturulur. Arama sona erince bağlantı kaldırılır.

11.3 Sanal Özel Ağ (Virtual Private Network-VPN)

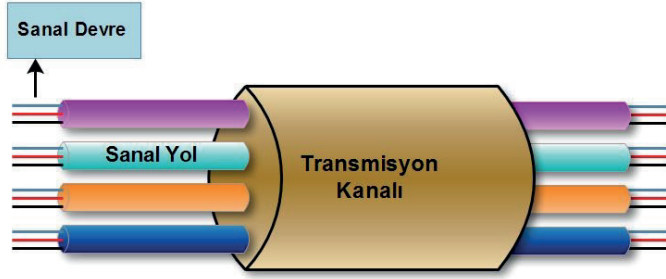
Günümüz iletişim teknolojilerinin devre anahtarlama (uçtan uca tahsis edilmiş hatlar) yapıdan paket anahtarlama yapıya geçtiğini daha önceki bölümlerde ifade etmiştik. Paket tabanlı iletişimde veri paketleri ortak veri hattına hedef adresleri de girilerek bırakılır. Bu paketler paket önceliklendirme (trafik mühendisliği ve servis kalitesi) kurallarına göre veri hatlarında yolculuk eder. Bu şekilde kurgulanan bir iletişim yapısında, uçtan uca tahsisli ve diğer kişilerce kullanılamayacak o anki iletişime özel yollar tanımlanabilir mi? Gerek güvenlik ve gerekse geniş coğrafi alanlara dağılmış sistemlerin, Telekom operatörü üzerinden üçüncü kişilerin müdahalesine karşı dirençli bağlantılar kurulması ihtiyacından sanal özel ağ kavramı ortaya çıkmıştır Şekil 11.4'te fiber bir kabloun devrelerinin gruplandırma şekli verilmiştir.



Şekil 11.4 Bir fiber kabloun yapısı

Uçtan uca, tek noktadan tek noktaya ya da tek noktadan bir çok noktaya sanal yollar tanımlanabilir. Birebir kablo çekmekle benzeşen bu yapı, paket tabanlı ağlarda sanal yollar (Virtual Path) ve devreler (virtual circuits) tanımlanmak sureti ile gerçekleştirilir.

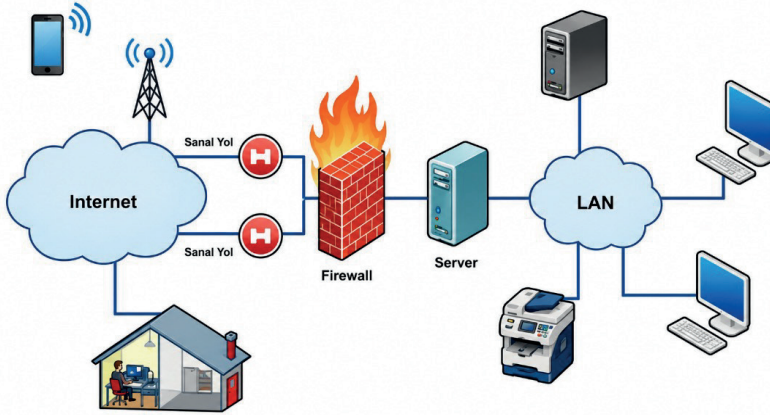
Aslında kavramsal olarak, sanal yollar (virtual paths) ve sanal devreler (virtual circuits) bir bakıma örnek olarak verilen Fiber Kabloda bulunan fiziksel yapılandırmaya benzer mantıkla yapılandırılır. Fiber kabloda en iç kısımda "fiber kılları" varken sanal yapıda sanal devreler bulunmaktadır.



Şekil 11.5 Sanal Yol/Devre kavramsal yapı

Şekil 11.5'te görüldüğü gibi tıpkı bakır kablolarla olduğu gibi, ana kablo transmisyon kanalını, bir alt grup sanal yolu ve nihayet en küçük birim sanal devreleri oluşturmaktadır. Şekil 11.4 ve 11.5 yan yana getirilerek incelendiğinde konu daha iyi anlaşılacaktır.

Tipik örneği şekil 11.6 de verilen uygulamada, karşılıklı noktalar arasında çeşitli protokoller (PPTP – Point to point tunneling protocol / noktadan noktaya tünelleme protokolü; IPSec-IP Security / IP Güvenlik vb.) yoluyla dış müdahaleye kapalı, içe ve dışa veri sızmasını önleyecek “tüneller” oluşturulur. Bu tünellerin ya da sanal yolların bant genişlikleri fiziksel alt yapı (Fiber, bakır, kablosuz) ve hizmet alınan operatörle yapılan anlaşma gibi parametrelere bağlı olarak değişir. IP tabanlı tüm sistemlerde bu tarz bağlantılar gerçekleştirilebilir.



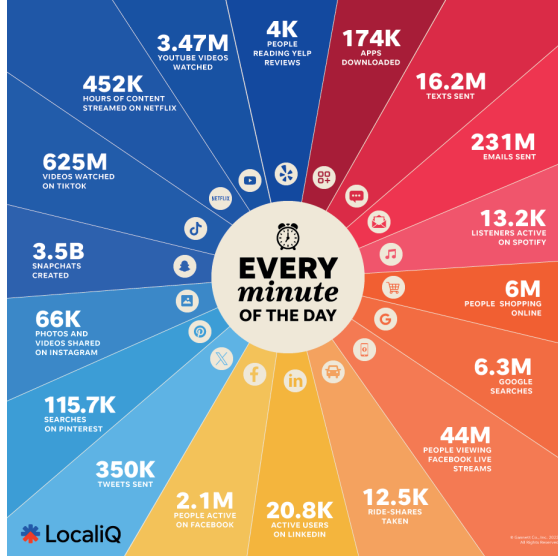
Şekil 11.6 VPN Uygulaması

Sana özel ağların tipik bir örneği de ofis dışında çalışan bir kişinin, internet üzerinden şirket ağına bağlanması verilebilir. Kişi, bilgisayarında bulunan bir VPN Client (VPN istemci) ile şirket tarafında kurulu bulunan VPN server'a ulaşarak, kullanıcı yetkilendirme sürecinden geçer. Bu süreçten sonra güvenli bir şekilde şirket ağına bağlanır. Bu bağlantı sırasında, yine şirket verilerinin güvenliği açısından internete giremez. Kişinin bilgisayarını ile şirket ağına güvenli bir yol (tünel) açılmış olur.

11.4 Bulut Teknolojileri (Cloud Computing)

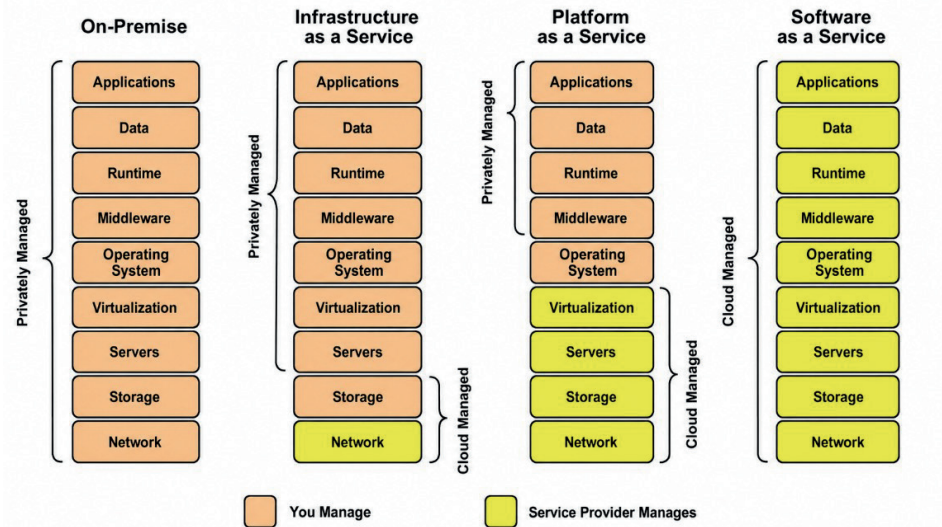
Günümüz bilişim sistemlerinin yaygınlaşması, internet bağlantı hızlarının neredeyse 100 Mb'leri bulması nedeniyle internet üzerinde akan verilerin boyutları inanılmaz büyüklüklere ulaşmıştır (Şekil 11.7). Bundan 20-25 yıl öncesinde analog modemler ile 56 kilobitler seviyesinde internet bağlantısı yaparken şimdi 4G ile 100 Mbit'lere varan hızlara sahibiz. Şu anda kullandığımız akıllı

cep telefonlarıyla bile 20 Mega piksel fotoğraflar çekebiliyoruz. Sosyal ağların, arama motorlarının, elektronik ticaretin hayatımıza girmesi ile birlikte donanım olarak yüksek kapasiteli bilgisayarlar/sunucular yazılım olarak güvenli, çoklu işlem-çoklu kullanıcı destekli işletim sistemleri ile işleyen sistemlere sahibiz. Aşağıdaki şekilden de görüleceği gibi, internet üzerinden akan veri boyutları inanılmaz seviyelere çıkmaktadır. Hal böyle olunca, bulut teknolojileri günümüzde önemli bir yere sahip olmaya başlamıştır.



Şekil 11.7 İnternet'te bir dakikada neler oluyor [16]

Son kullanıcılar farkında olmadan bu yapıyı zaten kullanıyorlar. Örneğin cep telefonlarımızın yedeklerini internet üzerindeki buluta gönderebilir alırız. Ya da “Dropbox” gibi servislerle, verilerimizi buluta yedekleyip dünyanın her yerinden tekrar ulaşabiliyoruz. Aşağıdaki şekilde hangi servisin hangi bulut katmanında olduğuna ilişkin diyagram verilmiştir.

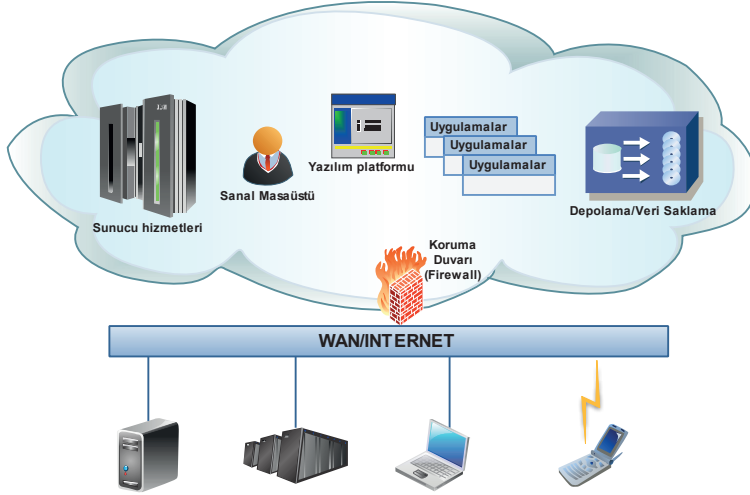


Şekil 11.8 Bulut katmanları ve yapısı [34]

E-mail, internet konferans görüşmeleri ya da bir şirketin müşteri ilişkileri yönetim sistemi bulut üzerinde çalıştırılabilmektedir.

Daha profesyonel kullanımda IT şirketi olmayan şirketler, verilerini, uygulamalarını, platformlarını vb. bulut servis sağlayıcıların sistemleri üzerine taşımaktadırlar.

Daha ileri seviyede bir yorum yapacak olursak yakın gelecekte kenar (edge) bulut sistemlerinin bağlı olacağı ana bulut yapılarının oluşturduğu bir veri akışı eko sistemi bizleri bekliyor. Veri kullanımı devasa boyutlara ulaştıkça bu yapının kullanılması da kaçınılmaz olacak.



Şekil 11.9 Bulut yapısı

Bulut servis sağlayıcıları alt yapı, platform, yazılım, kimlik ve ağ gibi servisleri müşterilerine sunarlar. Bu sayede, kurumsal müşteriler büyük bilişim yatırımları yapmaksızın kendi bilişim hizmetlerini kullanıcılarına güvenli bir şekilde sunarlar. Bulut teknolojisi ile verilen servisler aşağıda özetlenmiştir [17].

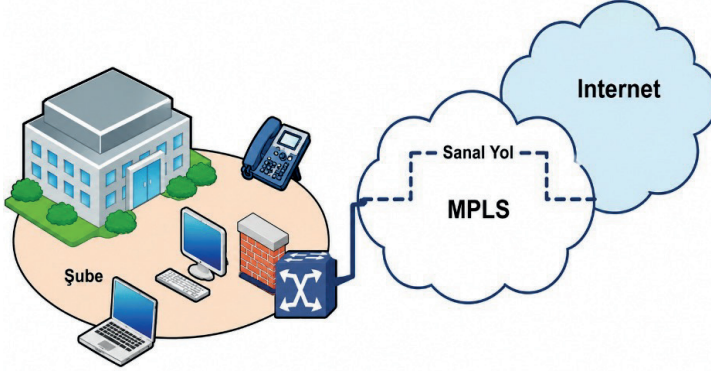
- Infrastructure as a Service (IaaS)- Altyapı sağlama servisi (sanal disk, kaynak dengeleyiciler, IP adresleri, yazılım paketleri, sanal yerel alan ağları)
- Platform as a Service (PaaS)- Uygulama geliştirme araçları sağlama
- Software as a Service (SaaS)-Faturalama, tahsilat işlemleri, CRM uygulamaları, yardım masası uygulamaları, İnsan Kaynakları uygulamaları vb.
- Identity as a Service (IDaaS)-Kullanıcı kimlik işlemleri
- Network as a Service (NaaS)-Şirkete özel sanallaştırılmış ağ alt yapısı

11.5 Metro Ethernet

Kurumsal şirket kampüs ya da binalarının yüksek hızlı hatlar üzerinden Ethernet teknoloji ile internete çıkarmak ya da şirketlerin ofislerinin ana merkeze bağlanmasını sağlamak amacıyla kurulan alt yapıdır. 1 Mbps hızından 100 Gbps hızlarına kadar alt yapı desteği bulunmaktadır.

Metro Ethernet alt yapı ile kurulan ağlar, şehrin ya da ülkenin değişik noktalarına dağılmış olsa bile yönetimi bir yerel alan ağı gibi yapılır. Son kullanıcı ve sistem yöneticileri sistemin karmaşıklığını

görmez. Bu sayede, yüksek hızlı, ölçeklenebilir, lokal, yönetimi kullanıcıya bırakılmış bir ağ yapısı ortaya çıkar.

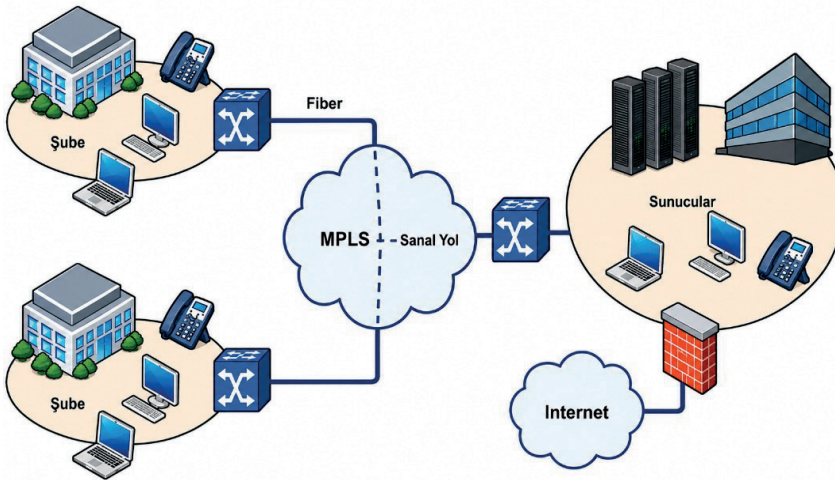


Şekil 11.10 Metro Ethernet Internet

Şirketler, büyük yatırımlar yaparak kendi MAN sistemlerini kurmaktansa Metro Ethernet satın alarak daha uygun fiyatlı alt yapı çözümlerini elde edebilirler. Böylelikle şirket şubeleri yönetilebilir ve ölçeklenebilir bir ağ alt yapısına sahip olurlar.

Diğer geniş bant erişim sistemlerinde olduğu gibi, metro ethernet uygulamasının da noktadan noktaya ve internet bağlantısı olmak üzere iki farklı uygulaması bulunur.

Noktadan noktaya bağlantıda, isminden de anlaşılacağı tek noktadan tek noktaya ya da tek noktadan çok noktaya bağlantı alt yapısı söz konusudur. Metro Ethernet internet bağlantısında ise bir şirketin, lokal ağının tek bir noktadan yüksek hızlı simetrik bağlantı ile internete bağlanması sağlanır. Metro Ethernet internet bağlantısı, ayrıca, dış dünyaya servis veren (hosting gibi) şirketlerce de tercih edilen bir çözümdür.



Şekil 11.11 Noktadan Noktaya Metro Ethernet (NN-ME)

11.6 GGAC (Gelişmiş Geniş Alan Centrex)

Genel anlamda centrex santral hizmeti, kuruluşların kendi dahili santral yatırımları yapmasına gerek kalmaksızın ses operatörünce mevcut telefon hatları üzerinden bu hizmetin sağlanması olarak tanımlanabilir. Böylelikle, ilgili kuruluş santral satın alma, koruma, bakım ve yatırım gibi maliyetlere girmek zorunda kalmamaktadır.

Gelişmiş geniş alan centrex (GGAC) ise, analog telefon sinyallerinin IP paketlerine dönüştürülerek, centrex hizmetinin IP ağ üzerinden sağlanmasında kullanılan teknolojidir.

GGAC ile müşteri, sayısal ve analog telefon makinalarının yanında IP telefonları da kullanabilmektedir. İlaveten GGAC, kolay kurulum, mobilite desteği, ölçeklenebilirlik, güvenilir ve esnek mimari, mevcut ses hizmetlerinin yanında multimedia desteği gibi özellikleri de kullanıcılara sunar.

12. Referanslar

- [1] ANTALAINEN, Tarmo. Introduction to telecommunications network engineering. Artech House, 2003.
- [2] CHURI, Jay R., et al. Evolution of networks (2G-5G). In: IJCA Proceedings on International Conference on Advances in Communication and Computing Technologies 2012. Foundation of Computer Science (FCS), 2012. p. 8-13.
- [3] Farrel, Ashi Davie, Evans ve diğerleri, "Network Quality of Service", Morgan Kaufman (2009)
- [4] Forouzan Behrouz, A. "Data Communication and Networking." 3rd/4th Edition, Tata McGraw (2008).
- [5] GARG, Vijay. Wireless communications & networking. Morgan Kaufmann, 2010.
- [6] HARTE, Lawrence. Introduction to Mobile Telephone Systems. Althos Publishing, 2006.
- [7] <https://sites.google.com/site/amitsciscozone/gpon/gpon-fundamentals> / Erişim: Ağustos 2026
- [8] <https://www.geeksforgeeks.org/types-of-multiplexing-in-data-communications/> Erişim: Ağustos 2026
- [9] <https://www.expereo.com/blog/9-reasons-to-switch-from-mpls> Erişim: Ağustos 2026
- [10] ITU-R. (2020). IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. Recommendation ITU-R M.2083-0
- [11] JIN, Jiong, et al. An information framework for creating a smart city through internet of things. IEEE Internet of Things journal, 2014, 1.2: 112-121.
- [12] MISHRA, Ajay R. (ed.). Advanced cellular network planning and optimisation: 2G/2.5 G/3G... evolution to 4G. John Wiley & Sons, 2007.
- [13] Ohrtman F., Wimax Handbook, McGraw Hill 2005, ISBN:0-07-158903-1
- [14] PRESS, Cisco. MPLS Fundamentals, 2007.
- [15] QoS for IP/MPLS Networks, Alvarez S., Cisco Press 2006, ISBN: 1-58705-233-4
- [16] What Happens in an Internet Minute 2025? Explore Amazing Trends & Insights / Erişim: Ağustos 2026
- [17] https://www.tutorialspoint.com/cloud_computing/cloud_computing_quick_guide.htm; Erişim: Ağustos 2026

- [18] Garg, V. (2010). Wireless communications & networking. Morgan Kaufmann.
- [19] <https://www.lifewire.com/wireless-standards-802-11a-802-11b-g-n-and-802-11ac-816553>;
Erişim: Ağustos 2026
- [20] PATIDAR, GIRIRAJ KR. "LI-FI TECHNOLOGY IN WIRELESS COMMUNICATION." (2014).
- [21] <http://www.studytonight.com/computer-networks/osi-model-datalink-layer>, Ağustos 2026
- [22] Javvin Technologies. Network Protocols Handbook. Javvin Technologies Inc., 2005.
- [23] Press, Cisco. "Internetworking Technologies Handbook." Kapitel 43 (2003): 1992-2005.
- [24] O'Driscoll, Gerard. Next generation IPTV services and technologies. John Wiley & Sons, 2008.
- [25] <http://gponsolution.com>, Erişim: Ağustos 2026
- [26] <https://huaweiswitch.files.wordpress.com/2015/05/whats-gpon.jpg> Erişim: Ağustos 2026
- [27] Gawas, A. U. (2015). An Overview on Evolution of Mobile Wireless Communication Networks: 1G-6G. IJRITCC, 3(5), 1-4.
- [28] Khutey, R., Rana, G., Devwangan, V., Tiwari, A., & Dewamngan, A. D. (2015). Future of Wireless Technology 6G & 7G. International Journal of Electrical and Electronics Research, 3(2), 583-585.
- [29] Yadav, R. (2017). Challenges and Evolution of Next generation Wireless Communication. In Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (Vol. 2).
- [30] <https://blogs.cisco.com/digital/the-internet-of-things-capturing-the-accelerated-opportunity>,
Erişim: Ağustos 2026
- [31] <https://www.rfpage.com/what-are-small-cells-in-5g-technology/>, Erişim: Ağustos 2026
- [32] SHARMA, Pankaj. Evolution of mobile wireless communication networks-1G to 5G as well as future prospective of next generation communication network. International Journal of Computer Science and Mobile Computing, 2013, 2.8: 47-53.
- [33] SAMBANTHAN, Padmapriya; MUTHU, TAMILARASI. Why Femtocell Networks?. Global Journal of Research In Engineering, 2017.
- [34] Lea, P., 2018. Internet of Things for Architects: Architecting IoT solutions by implementing sensors, communication infrastructure, edge computing, analytics, and security. Packt Publishing Ltd.

ENDÜSTRİYEL SAHALARDA

GÜVENLİ. UZMAN. ANAHTAR TESLİM.

Temizlikten gazdan arındırmaya, bakımdan atık yönetimine tek noktadan çözüm.

UZMANLIK ALANLARIMIZ

TANK TEMİZLİĞİ

Ham petrol, fuel oil, dizel, kimyasal ve proses tankları

GAS FREE

LEL, oksijen ve toksik gaz ölçümü; arındırma ve sertifikasyon

ENDÜSTRİYEL TEMİZLİK

Tesisler, üretim hatları, kanallar, eşanjör ve ekipmanlar

BAKIM & REVİZYON

Kumlama, boyama, ekipman yenileme ve API bazlı kontroller

YIKIM & SÖKÜM

Tank, refrakter, çelik konstrüksiyon ve fabrika demontajı

ATIK YÖNETİMİ

Tehlikeli atık, tahliye, bertaraf organizasyonu ve saha rehabilitasyonu

NEDEN TEM KİMYA?

UZMAN EKİP

Mühendis ve eğitimli teknik personel

GÜÇLÜ EKİPMAN PARKI

Vakum, yüksek basınç ve gaz ölçüm sistemleri

GÜVENLİ OPERASYON

İSG ve kapalı alan prosedürleri

YAYGIN HİZMET

Türkiye geneli operasyon kabiliyeti

GÜVEN DUYAN MARKALARDAN BAZILARI

TPAO • TUSAŞ • Türk Hava Yolları • Havelsan

Arkas Holding • Sanko Holding • Flormar • Akdeniz Kimya

SAHANIZ İÇİN DOĞRU ÇÖZÜMÜ
BİRLİKTE PLANLAYALIM.

+90 530 950 45 54 | +90 850 305 10 01

www.temkimya.com

İZMİR

Adalet Mah. Manas Blv. No:30
K:1 D:2 Bayraklı / İzmir

İSTANBUL

Atatürk Mah. Meriç Cad. Botanik
Çarşı 30/27 Ataşehir / İstanbul



TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi
Kazım Dirik Mah. Üniversite Cad. 374/1 Sokak No: 1
Bornova-İzmir



0232 489 34 35



izmir@emo.org.tr



EMO_Izmir



EMOIzmirŞubesi



emoizmir



Izmir EMO



emo_izmir



www.izmir.emo.org.tr