

T.C.

NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK

MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK VERİ HIZI ERİŞİMİNDE KABLOLU İLETİŞİM TEKNİKLERİNİN

İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan

Harun ÜNÜVAR

Danışman

Doç. Dr. Asuman SAVAŞCIHABEŞ

Ocak 2024

KAYSERİ

T.C.

NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK

MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK VERİ HIZI ERİŞİMİNDE KABLOLU İLETİŞİM TEKNİKLERİNİN

İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan

Harun ÜNÜVAR

Danışman

Doç. Dr. Asuman SAVAŞCIHABEŞ

Ocak 2024

KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmada elde etmiş olduğum tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde sonuçlanması amacıyla çalışma yaptığımı beyan ederim ve aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Harun ÜNÜVAR

İmza



YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI

“Yüksek Veri Hız Erişiminde Kablolu İletişim Tekniklerinin İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans tezi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan
Harun ÜNÜVAR
İmza

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Asuman SAVAŞCIHABEŞ
İmza



KABUL ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Asuman SAVAŞCIHABEŞ danışmanlığında Harun ÜNÜVAR tarafından hazırlanan “Yüksek Veri Hızı Erişiminde Kablolu İletişim Tekniklerinin İncelenmesi” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

..... / /

JÜRİ:

Danışman :

Üye :

Üye :

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... / /

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Üniversitede akademik çalışmalarım esnasında bilimsel katkıları ve farklı bakış açıları ile bana yön veren ve bu tez çalışmasının olgunlaşmasında bana destek olan sayın hocam Doç. Dr. Asuman SAVAŞCIHABEŞ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca; çalışmalarım esnasında desteklerini esirgemeyen üniversitedeki diğer değerli hocalarıma, daima yanımda olan aileme, en içten teşekkürlerimi sunarım.

Harun ÜNÜVAR

İmza



Yüksek Veri Hızı Erişiminde Kablolu İletişim Tekniklerinin İncelenmesi

Harun ÜNÜVAR

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2024

Danışman: Doç. Dr. Asuman SAVAŞCIHABEŞ

ÖZET

İletişim, insanoğlunun varlığının temelini oluşturan ve toplumlar arasındaki ilişkilerin temel direğini oluşturan kilit bir süreçtir. Tarihsel olarak, iletişim insanların fikirlerini, duygularını ve bilgilerini paylaşmalarını sağlayan bir araç olmuştur. Ancak günümüzde iletişim sadece insanlar arasındaki etkileşimi sınırlamayan bir kavramdır. İletişim, teknolojinin gelişmesi ve küreselleşme ile büyük bir evrim geçirmiştir. Günümüzde internet, dünya çapında milyarlarca insanın iletişim, bilgiye erişim, eğitim, iş, eğlence ve daha birçok alanda önemli bir rol oynamaktadır. İnternetin tarihçesi, sürekli olarak büyüyen ve gelişen bir hikaye'yi yansıtmaktadır. Bu tez, iletişim altyapılarının geliştirilmesi ve güncellenmesi için yürütülen bir Fiber Dönüşüm Projesi'ni incelemektedir. Geçmişten günümüze iletişim ihtiyaçları hızla değişmekte ve artan veri talepleriyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu bağlamda, bakır kabloların sınırlamaları ve geleneksel iletişim altyapısının yetersizliği, fiber optik teknolojilerin ve özellikle GPON (Gigabit Passive Optical Network) gibi pasif optik ağların önemini vurgulamaktadır.

Tez, Fiber Dönüşüm Projesi'nin amacını, sürecini ve sonuçlarını detaylı bir şekilde analiz eder. Proje, geleneksel bakır şebekeleri fiber optik altyapılara dönüştürme hedefiyle yürütülmüş ve iletişim altyapısındaki büyük bir dönüşümü temsil etmektedir. Fiber optik ağlar, yüksek bant genişliği, uzun iletim mesafeleri ve elektromanyetik girişimlere direnç gibi avantajlar sunarak iletişim hizmetlerini daha hızlı, güvenilir ve sürdürülebilir hale getirmektedir. Sonuç olarak, bu tez, Fiber Dönüşüm Projesi'nin iletişim altyapılarındaki gelişmeleri ve geleceğe yönelik hazırlık yapmayı nasıl desteklediğini açıklamaktadır.

Ayrıca, bu tür projelerin, daha iyi iletişim hizmetleri sunmanın ötesinde, toplumlar için ekonomik ve teknolojik avantajlar sunma potansiyelini vurgular. Bu dönüşüm, iletişim sektörünü geleceğe taşıma yolunda kritik bir adım olarak kabul edilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Optik Fiber, Pasif Optik Ağ, GPON, HFC, RFOG

EXAMINATION OF WIRED COMMUNICATION TECHNIQUES IN HIGH DATA RATE ACCESS

Harun UNUVAR

Nuh Naci Yazgan University, Graduate School of Sciences

Master Thesis, January 2024

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Asuman SAVASCIHABES

ABSTRACT

Communication provides a key pillar of human existence and relations between societies. Historically, communication has been a tool that allows people to communicate and share information across their ranges. However, today, communication is a concept that does not only limit communication between people. Communication has undergone a great evolution with technological developments and globalization. Today, the internet plays an important role in communication, access, education, business, entertainment and more for billions of people around the world. The history of the Internet reflects an ever-growing and unique story. This thesis examines a Fiber Transformation Project carried out to develop and update the communication infrastructure. Continuity communication issues are changing rapidly and facing increasing data demands. In this context, the limitations of copper cables and the difficulty of traditional communication characteristics are emphasized, as is the strengthening of fiber optic technologies and, in particular, passive optical networks such as GPON (Gigabit Passive Optical Network). The thesis analyzes the purpose, process and details of the Fiber Transformation Project in detail. The project is carried out at the cost of converting traditional copper networks into fiber optic infrastructures and is represented in a large use in the communication environment. Fiber optic networks make communication services faster, more reliable and sustainable by offering advantages such as high bandwidth, long transmission distances and resistance to electromagnetic interference. As a result, this thesis examines how the Fiber Transformation Project prepares for electricity and future preparations in communication infrastructures. explains.

Key Words: Optical Fiber, Passive Optical Network, GPON, HFC, RFOG

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI.....	iii
KABUL ONAY SAYFASI	iv
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. BÖLÜM: FİBER OPTİK İLETİŞİM VE HFC (HİBRİT FİBER KOAKSİYEL) ALTYAPISI.....	1
1.1. Fiber Optik İletişim	1
1.2. Işık dalgası sistemlerin evrimi	4
1.3. Analog ve Sayısal Sinyal Temelleri	9
1.4. Kanal Çoğullama	14
1.5. Modülasyon Türleri.....	15
1.6. Optik İletişim Sistemleri	16
1.7. Işık Dalgası Bileşenleri	20
1.8. İletişim kanalı olarak optik fiberler	20
1.9. Optik Vericiler	21
1.10. Optik Alıcılar	22
1.11. Optik Fiberler.....	23
1.11.1. Fiber Optik ve Koaksiyel Kablo Entegrasyonu	24
1.11.3. Genişbant Hizmetleri.....	24
1.11.4. Yüksek Kapasite	24
1.11.5. TV Yayını.....	24
1.11.6. Geniş Kapsama Alanı	25
1.12. OPTİK NODE	25

1.12.1. Elektrik ile Optik Dönüşüm.....	25
1.12.2. İletim Gücü Kontrolü	25
1.12.3. Amplifikasyon	25
1.12.4. Dalgaboyu Bölgesi ve Ayırma.....	26
1.12.5. Yönlendirme ve Dağıtım	26
1.12.6. Yerel İşleme ve Kontrol	26
1.13. Amfi Yapıları.....	26
1.13.1. Güç Yükseltme (Power Amplification).....	27
1.13.2. Gerilim Yükseltme (Voltage Amplification)	27
1.13.3. Frekans Yanıtı Düzenleme.....	27
1.13.4. Düşük Gürültü (Low-Noise):.....	27
1.13.5. Ters Çevirme veya Ters Çevirmeme	27
1.13.6. Operasyonel Yükseltme	27
1.14. MUX (Multiplexer- Çoklayıcı)	27
1.15. DEMUX (Demultiplexer- Çözümleyici).....	28
1.16. Head-End Saha Arasındaki İletim Dizini.....	29
1.16.1. Sinyal İşleme ve Modülasyon.....	29
1.16.2. QAM (Quadrature Amplitude Modulation)	29
1.16.3. Fiber Optik İletim.....	29
1.16.4. Fiber Node (Optik Nodal).....	29
1.16.5. Koaksiyel Kablo İletimi.....	29
1.16.6. Yükselteç Eklenmesi.....	30
1.16.7. Abone Ekipmanları	30
1.16.8. Gürültü (Noise) Artışı	31
1.16.9. Sinyal Bozulması (Distorsiyon).....	31
1.16.10. Yükseltilmiş Girişim (Amplified Interference)	31
1.16.11. Maliyet Artış	31
1.16.12. Enerji Tüketimi Artışı.....	31
1.16.13. Aşırı Yükselme ile İlgili Sorunlar.....	31
1.17. Kablo Tv Yayın Sistemleri	33
1.17.1. Uydu ve Kablo TV Yayınları İçin Kullanım	33
1.17.2. Frekans Dönüştürme	33
1.17.3. Şifre Çözme ve Entegrasyon	33
1.17.4. Profesyonel Yayın Uygulamaları	34

1.17.5. Ses ve Görüntü Çıkışı	34
1.17.6. Descrambling ve Şifreleme	34
1.17.7. Uzaktan Kumanda ve Kontrol	34
1.18. RF Gateway Cihazı.....	34
1.19. Dijital Kanallaştırıcı Modülü (Digital Channelizer Module, DCM) Cihazı...	35
1.20. Kablo TV Yayın Alış Süreci.....	37
1.20.1. Yayın Üretimi ve Toplama.....	37
1.20.2. Sıkıştırma (Compression)	37
1.20.3. Bağlama (Multiplexing)	37
1.20.4. Modülasyon	37
1.20.5. Fiber Optik İletim.....	37
1.20.6. Koaksiyel Kablo İletimi.....	37
1.20.7. Abone Ekipmanları	38
1.21. Fiber Optik İletiminin Değerlendirilmesi.....	41
 2. BÖLÜM: CAM ÜZERİNDEN RADYO FREKANSI (RADIO FREQUENCY OVER GLASS, RF) SİSTEMLERİ.....	42
2.1. Giriş.....	42
2.2. Kablo Modem Sonlandırma Sistemi (Cable Modem Termination System, CMTS).....	43
2.3. Verici (Transmitter)	44
2.4. Alıcı (Receiver).....	44
2.5. Erbium Katkılı Fiber Amplifikatör(Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA)	45
2.6. Dalga Boyu Bölme Çoğullama (Wavelength Division Multiplexing, WDM) ...	46
2.7. Optik Dağıtım Çerçevesi (Optical Distribution Frame, ODF)	47
2.8. Abone Konnektör- Açılı Fiziksel Kontak (Subscriber Connector Angled Physical Contact, SC-APC).....	48
2.8. Cam Üzerinden Radyo Frekansı (RF Over Glass, RF) Sisteminin Değerlendirilmesi	50
 3. BÖLÜM: PASİF OPTİK AĞLAR (PASSIVE OPTIC NETWORK, PON) SİSTEMLERİ	51
3.1. Giriş.....	51
3.2. Optik Hat Terminali (Optical Line Terminal, OLT)	56

3.3. Optik Ağ Terminali (Optical Network Terminal, ONT).....	59
3.4. Harici Radyo Frekans (Radio frequency, RF)	60
3.6. Optik Hat Terminali'nin Kurulabileceği Yerler.....	63
3.7. Yönlendirici (Router)	64
3.8. Derin Paket İnceleme (Deep Packet Inspection, DPI)	65
3.9. Optik Hat Terminalinin Bağlantı Şematiği	66
3.9. Pasif Optik Ağ Sisteminin Değerlendirilmesi.....	68
4. BÖLÜM: HFC ve RFOG ŞEBEKEDEN GPON ŞEBEKEYE.....	69
DÖNÜŞÜM.....	69
4.1. HFC ve RFOG Şebekeden GPON Şebekeye Dönüşüm.....	69
4.2. İhtiyaç Analizi ve Planlama	69
4.2.1. Altyapı Değerlendirmesi	69
4.2.2. Ekipman Seçimi	69
4.2.3. Konfigürasyon ve Yapılandırma	70
4.2.4. Test ve Doğrulama.....	70
4.2.5. Abonelerin Geçişi.....	70
4.2.6. Eğitim ve Dokümantasyon.....	70
4.2.7. Sorun Giderme ve Destek	70
4.3. Fiber Dönüşüm Projelerinin Değerlendirilmesi.....	74
5. BÖLÜM: SONUÇLAR VE TARTIŞMA	75
KAYNAKLAR	76

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Frekans aralıkları [54-900MHZ, 45-1000MHZ].....	38
Tablo 2.1. CM türü ve kanal sayıları.	49
Tablo 3.1. GPON ana iletim tablosu.	56
Tablo 3.2. Kart gösterge anlamları	58
Tablo 3.3. PON türlerinin karşılaştırılması	59
Tablo 3.4. Harici RF çalışma göstegeleri.	61



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Prevail marka optik node	26
Şekil 1.2. MUX, DEMUX cihaz kesit görünümü.	28
Şekil 1.3. Gönderici ve alıcı arasındaki bağlantı yapısı.	28
Şekil 1.4. HFC şebekenin headend saha arasındaki iletim topolojisi.	30
Şekil 1.5. RF CNR ölçümü (54 MHZ ile 56MHZ arası).	32
Şekil 1.6. IRD kesit görünümü.	34
Şekil 1.7. Cisco RF Gateway kesit görünümü	35
Şekil 1.8. DCM cihazı kesit görünümü.	36
Şekil 1.8. DCM Port Girişlerine ait bir kesit görünümü.	36
Şekil 1.9. MER değerinin yayınlara etkisi.	39
Şekil 1.10. TV yayın başlama ve bitiş noktası.	40
Şekil 2.1. CMTS.	44
Şekil 2.2. HDO 922 transmitter kesit görünümü.	44
Şekil 2.3. Receiver	45
Şekil 2.4. EDFA cihaz kesit görünümü.	45
Şekil 2.5. WDM	46
Şekil 2.6. ODF	47
Şekil 2.7. SC-APC optik konnektör	48
Şekil 2.8. RFOG şebekede sinyalin son kullanıcıya kadar iletimi	49
Şekil 3.1. GPON şebeke sinyal dağıtım şekli	52
Şekil 3.2. Yeni nesil GPON çalışmaları.	53
Şekil 3.3. OLT çalışma prensibi.	55
Şekil 3.4 GPON mimarisi.	55
Şekil 3.5. ZTE OLT	57
Şekil 3.6. OLT'nin 16 portluk bir kartı.	58
Şekil 3.7. ZTE marka ONT.	60
Şekil 3.8. Harici RF.	60
Şekil 3.9. GPON EDFA	62
Şekil 3.10. OLT	62
Şekil 3.11. Veri merkezi görseli.	63
Şekil 3.12. Saha dolabı görseli.	63
Şekil 3.13. Huawei marka router.	65

Şekil 3.14. DPI.	66
Şekil 3.15. OLT bağlantı şematığı.	67
Şekil 4.1. Fiber kablo tabaka (Layer) renklendirme.	70
Şekil 4.2. Sanal KMZ örneği ve metrik değerler özet görseli.	71
Şekil 4.3. Sanal KMZ örneği isimlendirme görseli.	72
Şekil 4.4. Sanal KMZ kablo çizimi ek isimlendirme ve kablo başlangıç-bitişi göster. .	73
Şekil 4.5. Genel sembolik ikonlar.	73



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile aşağıda sunulmuştur.

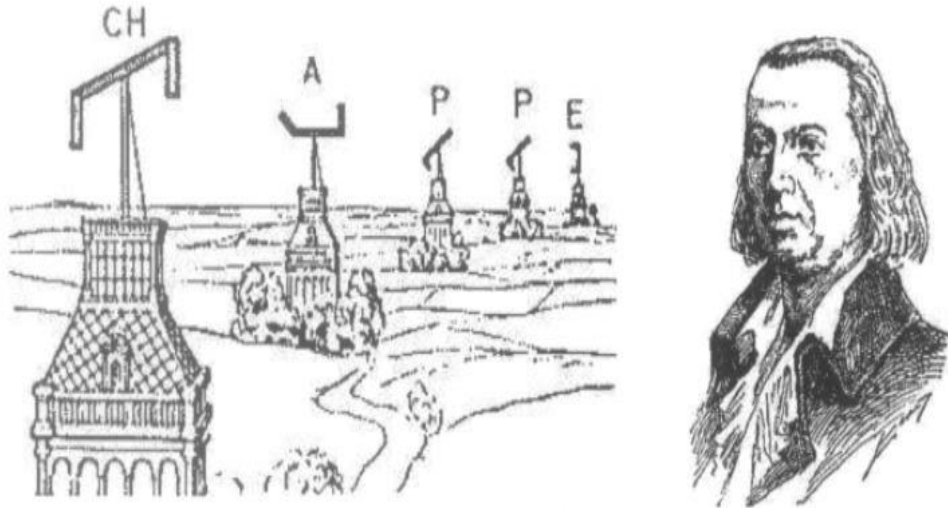
Simgeler	Açıklama	
P_s	Taşıyıcı sinyalin gücü	
P_N	Gürültü Sinyalinin gücü	
P_{sinyal}	Modülasyon Sinyalin gücü	
$P_{\text{gürültü}}$	Gürültü Sinyalinin gücü	
Kısaltmalar	Açıklama	Açıklama
ASK	Amplitude Shift Keying	Genlik Kaydırmalı Anahtarlama
BTK	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
CATV	Community Antenna Television	Kablolu TV
CNR	Carrier To Noise Ratio	Taşıyıcı Gücünün Gürültü Gücüne Oranı
DBA	Dynamic Bandwidth Allocation	Dinamik Bant Genişliği Tahsisi
dBm	Desibel miliwatt	Desibel miliwatt
DBR	Dynamic Bandwidth Request	Dinamik Bant Genişliği İsteği
DCM	Digital Channelizer Module	Dijital Kanallaştırıcı Modülü
DEMUX	Demultiplexer	Çoğullayıcı
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification	Kablo Üzerinden Veri Servis Arayüzü Spesifikasyonu
DPI	Deep Packet Inspection	Derin Paket Denetimi
DS	Downstream	Aşağı Akış
DSL	Digital Subscriber Line	Dijital Abone Hattı
EDFA	Erbium-doped Optik Fiber Amplifikatör	Erbium katkılı fiber Amlifikatör
FDM	Frequency Division Multiplexing	Frekans Bölmeli Çoğullama

FSK	Frequency Shift Keying	Frekans Kaydırmalı Anahtarlama
GPON	Gigabit Passive Optical Network	Gigabit Pasif Optik Ağ
HFC	Hybrid Fiber Coaxial	Hibrit Fiber Koaksiyel
IPTV	Internet Protocol television	İnternet Protokol Televizyonu
ISS	İnternet Servis Sağlayıcısı	İnternet Servis Sağlayıcısı
ITU	International Telecommunication Union	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği
ITU-T	International Telecommunications Union Telecommunication	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Standartlaştırma Birimi
MER	Modulation Error Ratio	Modülasyon Hata Oranı
MHZ	Megahertz	Megahertz
MUX	Multiplexer	Çoklayıcı
ODF	Optical Distribution Frame	Optik Dağıtım Çerçevesi
PON	Pasif Optic Network	Pasif Optik Ağ
PSK	Phase Shift Keying	Faz Kaydırmalı Anahtarlama
RF	Radio Frequecy	Radyo Frekans
TDM	Time Division Multiplexing	Zaman Bölmeli Çoğullama
TDMA	Time Division Multiple Acces	Zaman Bölmeli Çoklu Erişim
US	Upstream	Yukarı Akış

1. BÖLÜM: FİBER OPTİK İLETİŞİM VE HFC (HİBRİT FİBER KOAKSİYEL) ALTYAPISI

1.1. Fiber Optik İletişim

Işığın iletişim amaçları için kullanımı, optik iletişimi geniş bir anlamda yorumlarsak antik çağlara kadar uzanmaktadır [1]. Birçok medeniyet, tek bir bilgi parçasını iletmek için aynaları, ateş işaretlerini veya duman sinyallerini kullanmıştır (örneğin, bir savaşta zaferi). Temelde aynı fikir, on sekizinci yüzyılın sonuna kadar sinyal lambaları, bayraklar ve diğer semafor cihazları aracılığıyla kullanılmıştır. Claude Chappe'in 1792'deki bir önerisini takiben bu fikir daha da genişletildi ve mekanik olarak kodlanmış mesajları uzun mesafelerde (~ 100 km) iletmek için ara istasyonlar olarak hareket eden ve modern dilde regeneratör veya tekrarlayıcılar olarak bilinen ara istasyonları kullanılarak gerçekleştirildi. Şekil 1.1 [2].



Şekil 1.1. Optik Telgraf şematik gösterimi ve mucidi Claude Chappe[2]

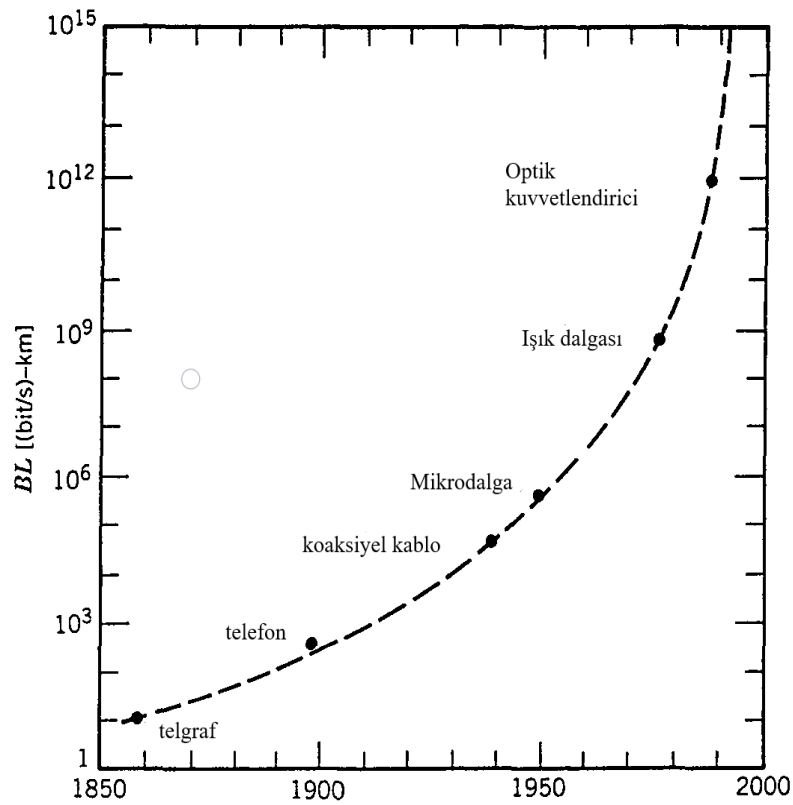
Bu temel fikri şematik olarak gösteren Şekil 1.1'dir. İlk "optik telgraf" Temmuz 1794'te Paris ile Lille arasında (iki Fransız şehri arasında yaklaşık 200 km mesafe) hizmete girmiştir. 1830'a gelindiğinde, ağ tüm Avrupa'ya yayılmıştı [1]. Bu sistemlerde ışığın rolü, kodlu sinyallerin görünür olmasını sağlamaktı, böylece röle istasyonları tarafından yakalanabilirdi. On dokuzuncu yüzyılın opto-mekanik iletişim sistemleri doğal olarak yavaştı. Modern terimlerle, bu tür sistemlerin etkin bit hızı 1 bit/s'den azdı ($B < 1$ b/s).

1830'larda telgrafın ortaya çıkışı, ışığın yerine elektrik kullanımını başlatarak elektrik iletişimi çağını başlattı [3]. B bit hızı, Morse kodu gibi yeni kodlama tekniklerinin kullanımıyla ~ 10 b/s'ye kadar artırılabilirdi. Ara röle istasyonlarının kullanımı, uzun mesafelerde (~ 1000 km) iletişimi mümkün kıldı. Gerçekten de ilk başarılı transatlantik telgraf kablosu 1866'da devreye girdi. Telgraf, temelde Morse kodunun nokta ve çizgi elektriksel darbeleri aracılığıyla özünde dijital bir şema kullanıyordu. Telefonun 1876'daki icadı, elektrik sinyallerinin sürekli değişen bir elektrik akımı aracılığıyla analog formda iletilmesi açısından önemli bir değişiklik getirmiştir [4]. Analog elektrik teknikleri, iletişim sistemlerini yaklaşık bir yüzyıl boyunca domine etti.

20.yüzyıl boyunca küresel telefon ağlarının gelişimi, elektrikli iletişim sistemlerinin tasarımında birçok ilerlemeye yol açtı. Tel çiftlerinin yerine koaksiyal kabloların kullanımı sistem kapasitesini önemli ölçüde artırdı. 1940'ta hizmete giren ilk koaksiyal kablo sistemi, 300 ses kanalı veya tek bir televizyon kanalı iletebilen 3 MHz kapasitesine sahipti. Ancak bu sistemlerin bant genişliği, frekansa bağlı kablo kayıpları tarafından sınırlıdır ve 10 MHz'nin üzerindeki frekansta hızla artar. Bu sınırlama, elektromanyetik bir taşıyıcı dalgası kullanılarak sinyalin iletilmesi için uygun modülasyon tekniklerinin kullanıldığı mikrodalga iletişim sistemlerinin gelişimine yol açtı.

İlk mikrodalga sistem, 4 GHz taşıyıcı frekansta çalışan, 1948 yılında hizmete girdi. O zamandan bu yana hem koaksiyal hem de mikrodalga sistemleri önemli ölçüde gelişti ve ~ 100 Wals bit hızlarında çalışabilir hale geldi. En gelişmiş koaksiyal sistem, 1975 yılında hizmete girdi ve 274 Mb/s bit hızında çalıştı. Bu tür yüksek hızlı koaksiyal sistemlerin ciddi bir dezavantajı, küçük tekrarlayıcı aralıkları (~ 1 km) ile sistemlerin nispeten pahalı olmasını sağlamaktadır. Mikrodalga iletişim sistemleri genellikle daha büyük tekrarlayıcı aralıklarına izin verir, ancak bit hızları da bu dalgaların taşıyıcı frekansı tarafından sınırlanır. İletişim sistemleri için yaygın olarak kullanılan bir

performans ölçüsü, bit hızı-mesafe ürünü (BL) olarak adlandırılır, burada B bit hızını ve L tekrarlayıcı aralığını temsil eder. Şekil 1.2, BL ürününün son yüzyılın sonlarından bu yana teknolojik ilerlemelerle nasıl arttığını göstermektedir. 1970'e gelindiğinde, BL ~ 100 (Mb/s)-km değerine sahip iletişim sistemleri mevcuttu ve bu değerler temel kısıtlamalardan dolayı sınırlıydı. Yirminci yüzyılın ikinci yarısında, optik dalgaların taşıyıcı olarak kullanılması durumunda BL ürününde birkaç büyüklük sırasında bir artışın mümkün olacağı anlaşıldı. Ancak, 1950'lerde ne koherent bir optik kaynak ne de uygun bir iletim ortamı mevcuttu. Lazerin icadı ve 1960 yılında gösterimi, ilk problemi çözdü [5]. Dikkat daha sonra, lazer ışığının optik iletişimlerde kullanılması için yollar bulmaya odaklandı. 1960'lar boyunca birçok fikir ortaya atıldı [6], en dikkate değerleri ise bir dizi gaz merceği kullanarak ışığın sınırlanma fikriydi [7].



Şekil 1.2. 1850-2000 yılları arasında Veri hızı- mesafe değişim grafiği [5]

1966 yılında, optik fiberlerin bakır tellerdeki elektronların yönlendirilmesine benzer bir şekilde ışığı yönlendirebileceği öne sürüldü [8]. Temel sorun, optik fiberlerin yüksek kayıplarıydı. 1960'ların başında mevcut fiberlerin kayıpları 1000 dB/km'nin

üzerindeydi. Bir atılım, fiber kayıplarının 1970 yılında 1 µm civarındaki dalga boyu bölgesinde 20 dB/km'nin altına düşürülebilmesiyle gerçekleşti [9]. Aynı zamanda, sürekli olarak oda sıcaklığında çalışan GaAs yarıiletken lazerler de gösterildi [10]. Kompakt optik kaynakların ve düşük kayıplı optik fiberlerin aynı anda mevcut olması, fiber optik iletişim sistemleri geliştirmek için dünya çapında bir çaba başlattı [11]. Şekil 1.3, 1980 sonrasında ışık dalgası sistemlerinin kapasitesindeki artışı gösterir [12]. Orada görüldüğü gibi, ticari olarak kullanılan ışık dalgası sistemlerinin dağıtımı, araştırma ve geliştirme aşamasını yakından takip etti. İlerleme gerçekten hızlı olmuştur, 30 yıldan az bir sürede bit hızında 100.000 kat artış olduğunu gösteren bir durum. Aynı zamanda iletim mesafeleri de aynı süre zarfında 10 ila 10.000 km arasında artmıştır. Sonuç olarak, modern ışık dalgası sistemlerinin bit hızı-mesafe ürünü, birinci nesil ışık dalgası sistemleriyle karşılaştırıldığında 107 kat artabilir.

1.2. Işık dalgası sistemlerin evrimi

Fiber optik iletişim sistemlerine yönelik araştırma aşaması 1975 civarında başlamıştır. 1975 ile 2000 yılları arasındaki 25 yıllık dönemde elde edilen muazzam ilerleme, birkaç farklı nesile ayrılabilir. Şekil 1.4, bu süre zarfındaki BL ürünündeki artışı çeşitli laboratuvar deneyleri üzerinden quantize ederek göstermektedir [13]. Düz çizgi, BL ürününün her yıl iki katına çıkmasına karşılık gelir. Her nesilde BL önce artar ancak teknoloji olgunlaştıkça doygunlaşmaya başlar. Her yeni nesil, sistemin performansını daha da iyileştirmeye yardımcı olan temel bir değişiklik getirir.

Işınlı sistemlerin ilk nesli, yaklaşık 0.8 mikron civarında çalışan ve GaAs yarıiletken lazerler kullanılan sistemlerdi. 1977-79 döneminde bir dizi saha denemesinden sonra, bu tür sistemler ticari olarak 1980'de kullanıma sunuldu [14]. Bu sistemler, 45 Mb/s bit hızında çalışıyor ve 10 km'ye kadar tekrarlayıcı aralıklara izin veriyordu. Koaksiyel sistemlerin 1 km'lik aralığına kıyasla daha büyük tekrarlayıcı aralığı, sistem tasarımcıları için önemli bir motivasyondur çünkü her tekrarlayıcıyla ilişkilendirilen kurulum ve bakım maliyetlerini azalttı.

1970'lerde açıkça görüldü ki, 1.3 mikron civarındaki dalga boylarında ışık dalga sistemi çalıştırılarak tekrarlayıcı aralığı önemli ölçüde artırılabilirdi, bu bölgede fiber kaybı 1 dB/km'nin altındaydı. Ayrıca, optik fiberler bu dalga boyu bölgesinde minimum dağılmaya sahiptir. Bu farkındalık, 1.3 mikron civarında çalışan InGaAsP yarıiletken lazer ve dedektörlerin geliştirilmesi için dünya çapında bir çaba başlattı.

İkinci nesil fiber optik iletişim sistemleri erken 1980'lerde kullanıma sunulmuş, ancak erken sistemlerin bit hızı, çoklu mod fiberlerdeki dağılma nedeniyle 100 Mb/s'nin altında sınırlıydı [15]. Bu kısıtlama, tek modlu fiberlerin kullanımıyla aşıldı. 1981'de bir laboratuvar deneyi, tek modlu fiber üzerinden 44 km üzerinde 2 Gb/s iletimi gösterdi [16]. Ticari sistemlerin tanıtımı hemen ardından geldi. 1987'ye gelindiğinde, 50 km civarında bir tekrarlayıcı aralığıyla çalışan, 1.7 Gb/s'ye kadar bit hızlarına sahip ikinci nesil ışık dalgası sistemleri ticari olarak kullanılabilirdi.

İkinci nesil ışık dalgası sistemlerinin tekrarlayıcı aralığı, genellikle 0.5 dB/km olan 1.3 μm işletim dalga boyundaki fiber kayıpları tarafından sınırlıydı. Silika fiberlerin kayıpları 1.55 μm civarında minimuma iner. Gerçektende, bu spektral bölgede 1979'da 0.2 dB/km kayıp elde edildi [17]. Ancak, 1.55 μm 'de çalışan üçüncü nesil ışık dalgası sistemlerinin tanıtımı, 1.55 μm civarındaki büyük bir fiber dispersiyonu nedeniyle önemli ölçüde gecikti. Geleneksel InGaAsP yarıiletken lazerler, birkaç uzunlamasına modun eş zamanlı salınımından kaynaklanan daralma yayılması nedeniyle kullanılamazdı.

Dispersiyon problemi, 1.55 μm civarında minimum dispersiyona sahip olacak şekilde tasarlanmış dispersiyon kaymalı fiberlerin kullanılması veya lazer spektrumunun tek uzunlamasına moda sınırlandırılmasıyla aşılabılır. Her iki yaklaşım da 1980'ler boyunca takip edildi. 1985'e gelindiğinde, laboratuvar deneyleri, 100 km'den fazla mesafede 4 Gb/s'ye kadar bit hızlarında bilgi iletiminin mümkün olduğunu gösterdi [18]. 1990'da ticari olarak kullanılabilecek 2.5 Gb/s'lik üçüncü nesil ışık dalgası sistemleri piyasaya sürüldü. Bu sistemler, 10 Gb/s'ye kadar bit hızında çalışabilir [19]. En iyi performans, dispersiyon kaymalı fiberlerin ve tek uzunlamasına moda sahip lazerlerin kombinasyonu kullanılarak elde edilir.

Üçüncü nesil 1.55 μm sistemlerinin bir dezavantajı, sinyalin genellikle 60-70 km arayla yerleştirilmiş elektronik tekrarlayıcılar kullanılarak periyodik olarak yeniden üretilmesidir. Tekrarlayıcı aralığı, alıcı duyarlılığını artırdığı için homodin veya heterodin tespit düzeneklerinden yararlanılarak artırılabilir. Bu tür sistemlere koherent ışık dalgası sistemleri denir. Koherent sistemler, 1980'ler boyunca dünya genelinde geliştiriliyordu ve potansiyel faydaları birçok sistem deneyinde gösterilmiştir [20]. Ancak, 1989'da fiber amplifikatörlerin ortaya çıkmasıyla bu tür sistemlerin ticari tanıtımı ertelenmiştir.

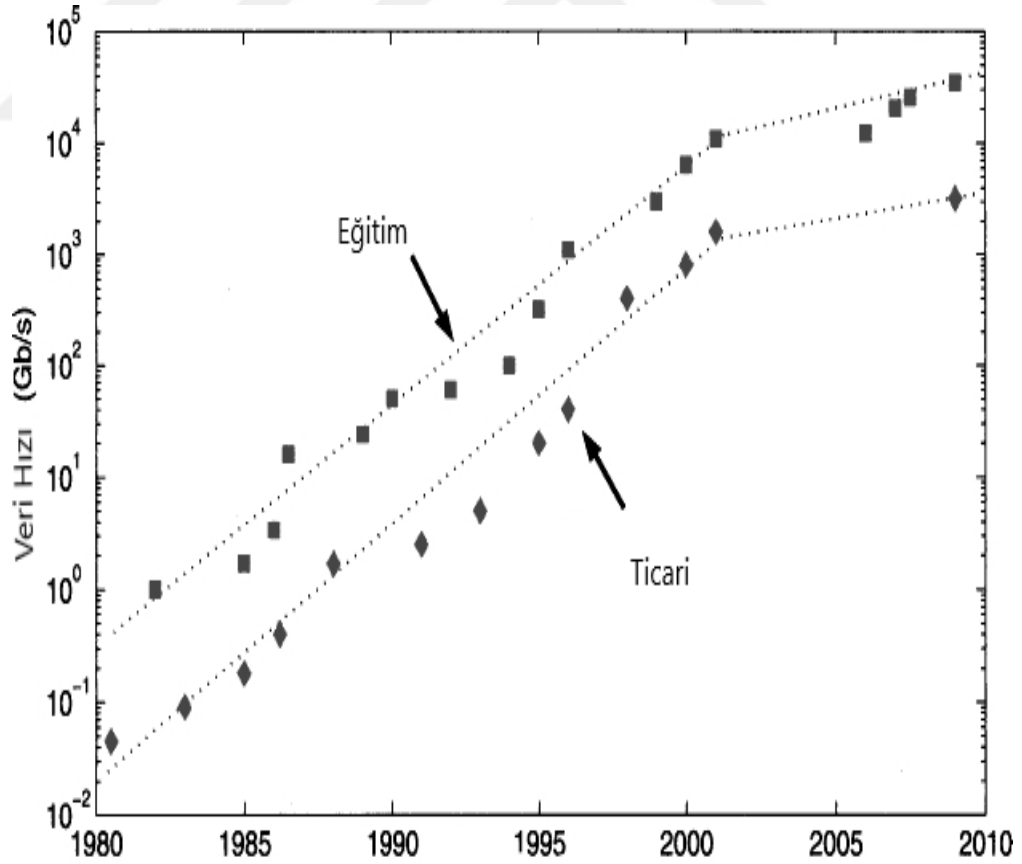
Işık dalga sistemlerinin dördüncü nesli, tekrarlayıcı aralığını artırmak için optik amplifikasyonu ve bit hızını artırmak için dalga boyu bölgesi çoğullama (WDM) kullanır. Şekiller 1.3 ve 1.4'ten görüldüğü gibi, WDM tekniğinin 1992 civarında ortaya çıkması,

sistem kapasitesinin her 6 ayda bir iki katına çıkmasına yol açan bir devrimi başlattı ve 2001'de 10 Tb/s bit hızında çalışan ışık dalga sistemlerine yol açtı. Çoğu WDM sisteminde, fiber kayıpları, erbium katkılı fiber amplifikatörler kullanılarak periyodik olarak telafi edilir ve bunlar 60-80 km arayla yerleştirilir.

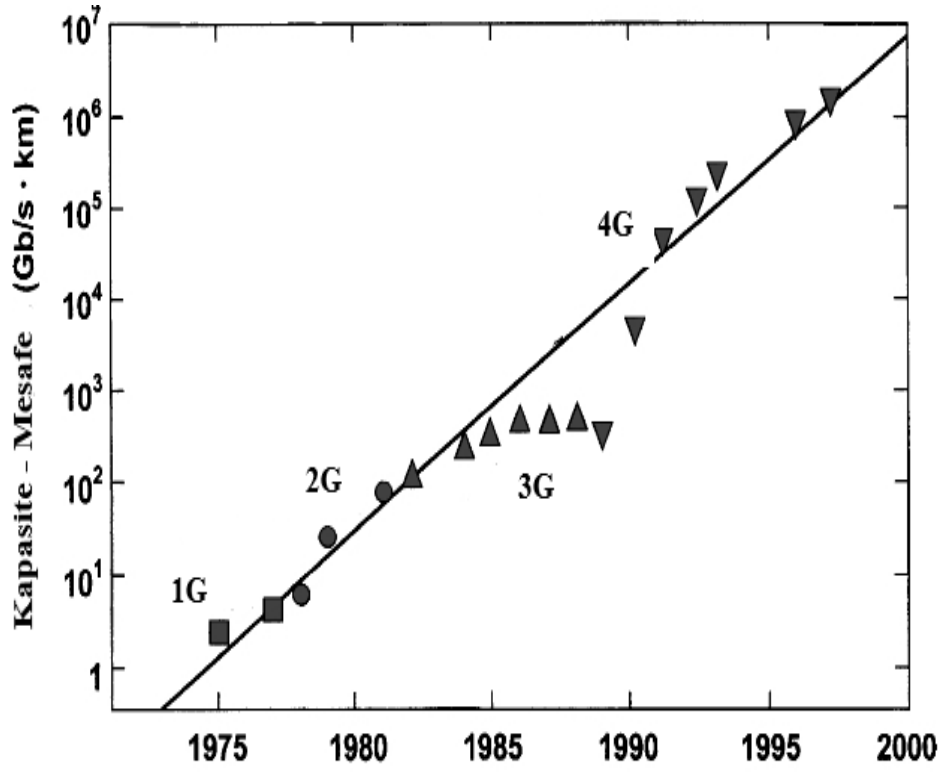
Bu amplifikatörler, 1985 sonrasında geliştirildi ve ticari olarak 1990'da kullanıma sunuldu. 1991'deki bir deney, 2.5 Gb/s hızında 21,000 km ve 5 Gb/s hızında 14,300 km üzerinden veri iletiminin mümkün olduğunu gösterdi ve bunu gerçekleştirmek için bir devir-döngü konfigürasyonu kullanılmıştır [21].

Bu performans, amfifikatör tabanlı, tamamen optik, deniz altı iletişim sisteminin kıtalararası iletişim için uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

1996'ya gelindiğinde, sadece gerçek denizaltı kabloları kullanılarak 5 Gb/s bit hızında 11,300 km üzerinden iletim gösterilmiş değil, aynı zamanda ticari olarak transatlantik ve transpasifik kablo sistemleri de kullanıma sunulmuştu. O zamandan beri birçok deniz altı ışık dalgası sistemi dünya genelinde dağıtıldı.



Şekil 1.3. 1980 yılı sonrası Ticari ve eğitim şebekeleri veri hızı değişimi [20]



Şekil 1.4. Yıllara göre Kapasite-mesafe değişim grafiği



Şekil 1.5. Uluslararası fiber-optik denizaltı ağı [23]

Şekil 1.5, 2005 civarında denizaltı sistemlerinin uluslararası ağını göstermektedir [23]. Dünya çapında 27,000 km'lik fiber optik bağlantı (FLAG olarak bilinir) 1998'de faaliyete geçti ve birçok Asya ve Avrupa ülkesini birbirine bağladı [24]. Diğer büyük bir ışık dalgası sistemi olan Africa One, 2000 yılında faaliyete geçti; Afrika kıtasını dolaşır ve toplam iletim mesafesi yaklaşık 35,000 km'yi kapsar [25]. 1998-2001 yılları arasında Atlantik ve Pasifik okyanusları boyunca İnternet kaynaklı veri trafiğindeki artışa yanıt olarak birçok WDM sistemi dağıtıldı; bunlar toplam kapasiteyi önemli ölçüde artırdı. Aslında, bu hızlı dağıtım, 2001'de "telekom balonu"nun patlamasına neden olan dünya çapında bir aşırı kapasiteye yol açtı. Şekil 1.3'teki kesikli çizgilerin eğimlerinde 2001 civarında gerçekleşen değişiklik, bu gerçeği yansıtmaktadır.

Çoğu WDM ışık dalga sisteminin vurgusu, WDM tekniği aracılığıyla daha fazla kanalı ileterek kapasitelerini artırmaktadır. Artan sinyal bant genişliği ile genellikle tüm kanalları tek bir amplifikatör kullanarak güçlendirmek mümkün değildir. Bu nedenle, 1.45 ila 1.62 μm 'yi kapsayan spektral bölgeyi kapsamak için yeni amplifikasyon şemaları (örneğin, dağıtılmış Raman amplifikasyonu) geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, 2000 yılında 82 kanalın her birinin 40 Gb/s hızında çalıştığı ve 3000 km üzerinden iletilen 3.28 Tb/s'lik bir deneme ile sonuçlandı. Bir yıl içinde, sistem kapasitesi neredeyse 11 Tb/s'ye (her biri 40 Gb/s'de çalışan 273 WDM kanalı) çıkarılabilsede, iletim mesafesi 117 km ile sınırlıydı [26]. Başka bir rekor denemede, her biri 11.6 Gb/s hızında çalışan 300 kanal, 7380 km üzerinden iletilerek, 25,000'in üzerinde bir BL ürünü elde edildi [27]. Raman amplifikasyonunu kullanarak 80 kanalı (her biri 40 Gb/s) ileten ticari karasal sistemler, 2003 yılının sonunda mevcuttu. İlk nesil sistemlerin 1980'de 45 Mb/s kapasitesine sahip olduğunu düşündüğümüzde, kapasitenin 25 yıl içinde 70,000'den fazla bir faktörle artmış olması dikkat çekicidir.

Şu anki beşinci nesil sistemlerin odak noktası, WDM sistemlerinin spektral verimliliğini artırmaktadır. İleri modülasyon formatlarını kullanma fikri, bilginin optik taşıyıcının hem genlik hem de fazı kullanılarak kodlandığı formatları içerir [28]. Bu tür formatlar genellikle mikrodalga sistemleri için geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılmış olmasına rağmen, kullanımları 2001'den sonra ışık dalgası sistemleri için ciddi dikkat çekmiştir. Bu, spektral verimliliği, genellikle dördüncü nesil sistemler için 0.8 b/s/Hz'nin altında sınırlı olan, >8 b/s/Hz'ye çıkarmayı mümkün kılmıştır. 2010 yılındaki bir deneyde [29], her biri 12.5-GHz kanal aralığına sahip C ve L bantlarını kapsayan 640 WDM kanalı kullanılarak 320 km üzerinden 64-Tb/s iletim gerçekleştirildi. Her kanal, dörtgen genlik

modülasyonu olarak bilinen bir modülasyon formatı ile kodlanmış iki polarizasyon-multipleksli 107-Gb/s sinyal içermekteydi.

Fiber-optik iletişim teknolojisi henüz 30 yaşında olmasına rağmen hızla ilerledi ve belli bir olgunluk seviyesine ulaştı. Bu, 2000'den bu yana optik iletişim ve WDM ağlarıyla ilgili birçok kitabın yayımlanmasından da anlaşılmaktadır [30]. Bu bölümde verilen açıklamalar ile fiber-optik iletişim sistemleri hakkında güncel gelişmeleri vurgulayarak güncel bir bilgi sunmak amaçlanmaktadır.

Bu aşamada, tüm iletişim sistemlerine ortak olan bazı temel kavramları tanıtılmaktadır. Analog ve dijital sinyallerin bir tanımıyla başlayarak bir analog sinyalin nasıl dijital forma dönüştürülebileceğini açıklanmaktadır. Ardından, giriş sinyallerinin zaman ve frekans bölme çoğaltılmasını ele alınmakta ve çeşitli modülasyon formatları üzerine bir tartışmayla sona ermektedir.

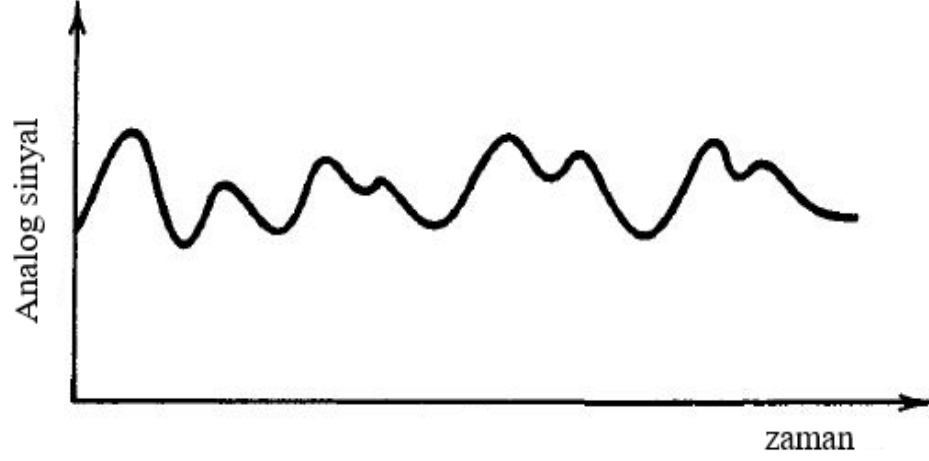
1.3. Analog ve Sayısal Sinyal Temelleri

Herhangi bir iletişim sisteminde iletilmesi gereken bilgi genellikle analog veya dijital formda bulunan bir elektrik sinyali olarak mevcuttur [31]. Analog durumda, sinyal (örneğin, elektrik akımı) zamanla sürekli olarak değişir, Şekil 1.6(a)'de şematik olarak gösterildiği gibi. Mikrofonun sesi veya video kameranın bir görüntüyü elektrik sinyaline dönüştürdüğü ses ve video sinyalleri buna örnektir. Diğer taraftan dijital sinyal yalnızca birkaç ayrık değeri alır.

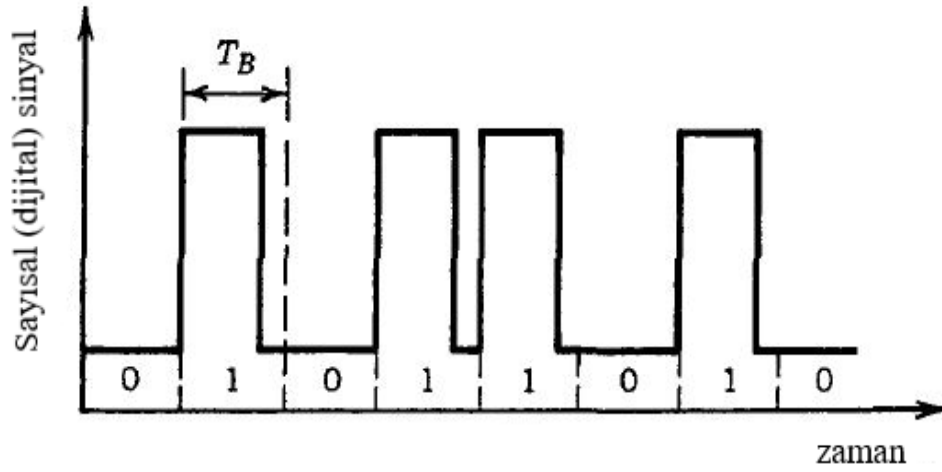
Bir dijital sinyalin ikili temsiliinde sadece iki değer mümkündür. İkili dijital sinyalin en basit durumu, elektrik akımının ya açık ya da kapalı olduğu durumdur, Şekil 1.6(b)'de gösterildiği gibi. Bu iki olasılığa "bit 1" ve "bit 0" denir (bit, ikili basamak anlamına gelen bir kısaltmadır). Her bir bit belirli bir süre T_B , yani bit süresi veya bit periyodu olarak bilinen bir süre boyunca sıfır ya da bir seviyesinde tutulur. Bilgiyi içeren bir zaman aralığı T_B 'de yalnızca bir bit yer alacağından, bit hızı B , saniyedeki bit sayısı olarak tanımlanır ve basitçe $B = (T_B)^{-1}$ olarak hesaplanır.

Bilgisayar verileri tarafından sağlanan dijital sinyallerin iyi bilinen bir örneğidir. Alfabe harflerinin her biri, diğer yaygın sembollerle birlikte (onluk sayılar, noktalama işaretleri gibi) 0-127 aralığında bir kod numarasına (ASCII kodu) atanır ve bu kodun ikili temsiliinin 7-bit dijital bir sinyale karşılık geldiği bir 7-bit dijital sinyal. Orijinal ASCII kodu, 8-bit baytlar aracılığıyla iletilen 256 karakteri temsil etmek üzere genişletilmiştir. Hem analog hem de dijital sinyaller, spektral içeriğin bir ölçüsü olan bant genişliği ile

karakterize edilir. Sinyal bant genişliği, sinyalin içerdği frekans aralığını temsil eder ve matematiksel olarak Fourier dönüşümü aracılığıyla belirlenir.



(a)



(b)

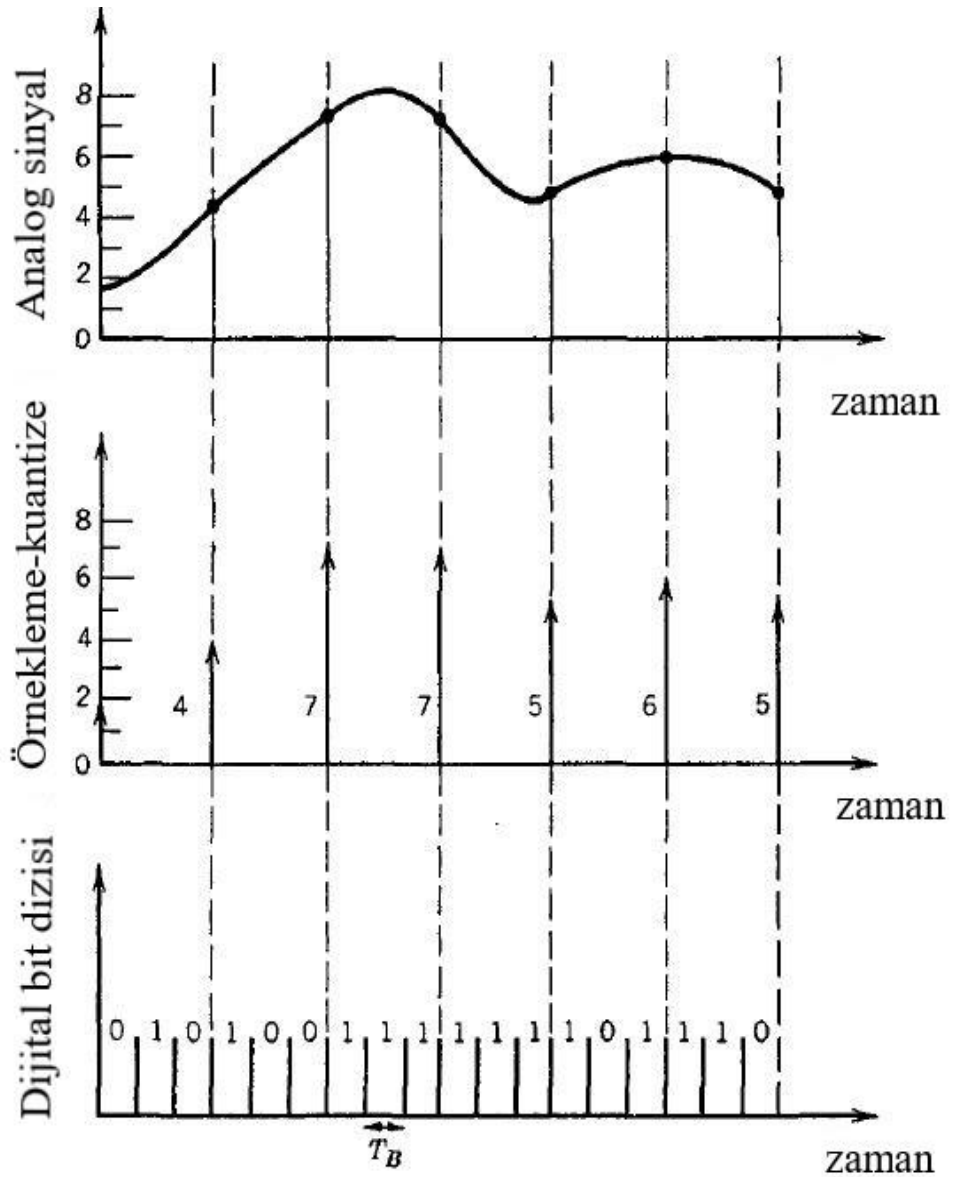
Şekil 1.6. Analog ve sayısal (dijital) sinyal gösterimi

Bir analog sinyal, zamanın düzenli aralıklarında örneklenerek dijital forma dönüştürülebilir [31]. Şekil 1.7, dönüşüm yöntemini şematik olarak göstermektedir. Örnekleme hızı, analog sinyalin bant genişliği A ile belirlenir. Örnekleme teoremine [32] göre, bant genişliği sınırlı bir sinyal, örnekleme frekansı f_s 'nin Nyquist kriterini [33], sağladığı takdirde, herhangi bir bilgi kaybı olmaksızın tam olarak temsil edilebilir.

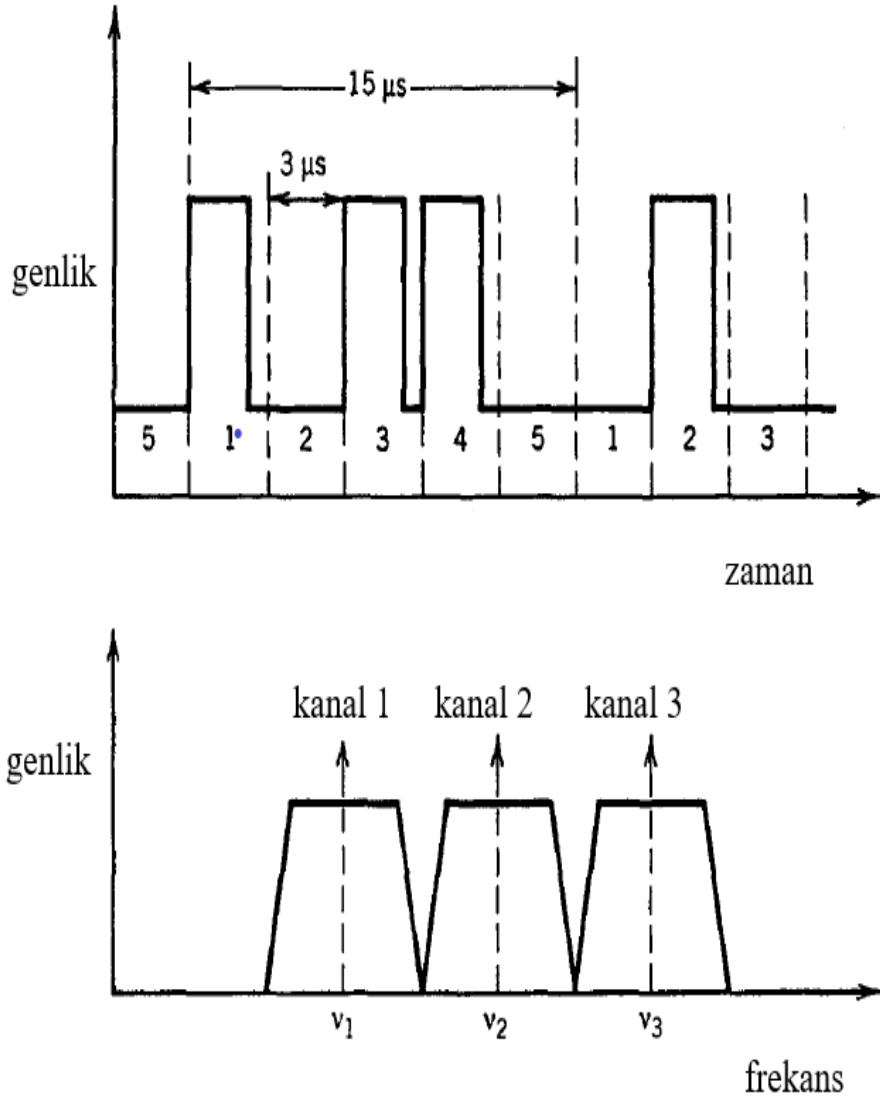
$$f_s \geq 2f_m \quad (1.1)$$

Burada verilen ifadede f_m mesaj işaretinin frekansını, f_s ise örnekleme frekansını temsil eder. Analog-sayısal dönüşümde ilk adım, analog sinyali doğru frekansta

örneklemeyi içerir. Örnekleme değerleri, $0 < A < A_{max}$ aralığındaki herhangi bir değeri alabilir, burada A_{max} , verilen analog sinyalin maksimum genliğidir. A_{max} değerinin M ayırık (zorunlu olarak eşit aralıklı olmayan) aralığa bölündüğünü varsayalım. Her örneklem değeri, bu ayırık değerlerden birine karşılık gelmek üzere nicelendirilir. Açıkça görüleceği gibi, bu prosedür, zaten analog sinyalde bulunan gürültüye eklenen, nicelendirme gürültüsü olarak bilinen ek bir gürültüye neden olur.



Şekil 1.7 (a). Örnekleme teoremi ile analog sinyalden sayısal sinyal elde etme aşamaları [32]



Şekil 1.7 (b) Dijital kanalların TDM (Zaman Bölmeli Çoğullama) gösterimi ve üç-kanallı analog sinyallerin FDM (frekans bölmeli çoğullama) gösterimleri

Nicelendirme gürültüsünün etkisi, M 'nin $M > \frac{A_{max}}{A_N}$ olduğu şekilde seçilerek en aza indirilebilir, burada A_N , analog sinyalin root-mean-square gürültü genliğidir. $\frac{A_{max}}{A_N}$ oranına dinamik aralık denir ve bu, sinyal-gürültü oranı (SNR) ile ilişkilidir, burada SNR decibel (dB) birimlerinde ifade edilir. Herhangi bir oran R , genel tanıma kullanılarak decibel cinsine çevrilebilir. Aşağıdaki ifade ile A 'nın elektrik akımına (veya voltajına) göre ilişkilendirildiği elektriksel güçle ilgili olarak tanımlanan SNR'ye karşılık olarak basitçe 10 yerine 20 faktörü içerdiği ifade edilmektedir. Buna göre;

$$SNR = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{max}}{A_N} \right) \quad (1.2)$$

ifadesi ile sinyal gürültü oranı hesaplanmaktadır.

Kuantize edilmiş örnekleme değerleri, uygun bir dönüşüm tekniği kullanılarak dijital formata dönüştürülebilir. Bir şemada, pulse-position modulation olarak bilinen şemada, bit slotu içindeki darbenin konumu, örnekleme değerinin bir ölçüsüdür. Başka bir şemada, pulse-duration modulation olarak bilinen şemada, darbenin genişliği örnekleme değerine göre bit'ten bite değişir. Bu teknikler, fiber içindeki iletim sırasında darbe pozisyonunu veya genişliğini yüksek doğrulukta korumak zor olduğu için pratik optik iletişim sistemlerinde nadiren kullanılır. Evrensel olarak neredeyse kullanılan teknik, pulse-code modulation (PCM) olarak bilinir ve bilgiyi başka türlü aynı olan darbelerin varlığı veya yokluğu ile ileten ikili bir düzene dayanır. Her örnekleme değerini bir dize 1 ve 0 bitine dönüştürmek için ikili bir kod kullanılır. Her örneği kodlamak için gerekli bit sayısı m , quantize edilmiş sinyal seviyeleri M sayısı ile ilişkilidir.

Bant sınırlı bir sinyal, Fourier dönüşümü belli bir w_M frekansının üzerinde sıfıra özdeş olursa bir mesaj işareti için aşağıdaki şart geçerli olur:

$$m(t) \xleftrightarrow{F} M(\omega), \quad |w_M| > w_M = 2\pi f_M \quad (1.3)$$

Burada, f_M sinyalin frekansı olup $m(t)$ mesaj işaretinin zaman domeni karşılığını temsil etmektedir.

$$M = 2^m \text{ veya } m = \log_2 M \quad (1.4)$$

Burada m bit ile kodlanan sinyal seviyelerinin örnekleme düzeyleri verilmiştir. Darbe kod modülasyonu (Pulse Code Modulation, PCM) dijital sinyaliyle ilişkili bit hızı bu aşamada şu ifade ile hesaplanmaktadır:

$$B = m \cdot f_s \geq (2\Delta_f) \log_2 M \quad (1.5)$$

Burada Nyquist kriteri için $f_s \geq (2\Delta_f)$ notasyonu kullanılmaktadır. Ayrıca $M > \frac{A_{max}}{A_N}$ olarak tanımlanır. Ayrıca (1.4) dikkate alınarak,

$$B > \left(\frac{\Delta_f}{3} \right) SNR \quad (1.6)$$

ifadesi için SNR decibel (dB) cinsinden kullanılmaktadır.

Denklem (1.6), bir analog sinyalin Δ_f bant genişliği ve belirli bir Sinyal-Gürültü Oranı (SNR) için gereken minimum bit hızını sağlar. SNR > 30 dB olduğunda, gerekli bit hızı $10\Delta_f$ değerini aşar, bu da dijital sinyallerin bant genişliği gereksinimlerinde önemli bir artışı gösterir. Bu artışa rağmen dijital format neredeyse her zaman optik iletişim sistemlerinde kullanılır. Bu tercih, dijital iletim sistemlerinin üstün performansından dolayı yapılır. Işıklı sistemler, mikrodalga sistemlere kıyasla sistem kapasitesinde o kadar büyük bir artış sunar ki, bazı bant genişliği, geliştirilmiş performans için takas edilebilir.

Denklem (1.6) örneği olarak, bir telefon tarafından üretilen ses sinyalinin dijital dönüşümünü ele alalım. Analog ses sinyali, 0.3-3.4 kHz aralığında frekansları içerir, bu da bir bant genişliği $\Delta_f=3.1$ kHz' e karşılık gelir ve yaklaşık 30 dB SNR'ye sahiptir. Denklem (1.6) aynı zamanda $B>31$ kb/s olduğunu gösterir. Uygulamada, dijital bir ses kanalı 64 kb/s hızında çalışır. Bir dijital video sinyali için gereken bit hızı, bir faktörden daha fazla bir artış gösterir. Analog televizyon sinyali, yaklaşık 50 dB SNR'ye sahip olmaktadır ve $f_s \approx 4$ MHz bant genişliğine sahiptir. Denklem (1.6) ile minimum bit hızı 66 Mb/s'dir. Ancak pratikte, bir dijital video sinyali, standart bir format (örneğin MPEG-2) kullanılmadan önce 100 Mb/s veya daha fazla bir bit hızı gerektirir.

1.4. Kanal Çoğullama

Önceki tartışmada görüldüğü gibi, bir dijital ses kanalı 64 kb/s hızında çalışır. Çoğu fiber optik iletişim sistemi, 1 Gb/s'den daha yüksek bir hızda iletim yapabilir. Sistem kapasitesini tam olarak kullanabilmek için çok sayıda kanalın eş zamanlı iletimi gereklidir, bu da çoklayıcı kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu, zaman bölgesi çoklayıcı (TDM) veya frekans bölgesi çoklayıcı (FDM) kullanılarak başarılabılır. TDM durumunda, farklı kanallara ait bit'ler zaman içinde örülerek birleştirilir ve bir bileşik bit akışı oluşturulur. Örneğin, 64 kb/s hızında çalışan tek bir ses kanalı için bit yuvası yaklaşık olarak 15 μ s'tir. TDM aracılığıyla bu tür beş kanal çoklanabilir, eğer ardışık kanalların bit akışları 3 μ s geciktirilmişse şekil 1.8(a), bileşik bir bit hızında 320 kb/s'de oluşan bit akışını şematik olarak göstermektedir.

FDM durumunda, kanallar frekans alanında birbirinden uzak bir şekilde yerleştirilir. Her kanal kendi taşıyıcı dalgası tarafından taşınır. Taşıyıcı frekanslar, kanal spektrumlarının örtüşmediği bir şekilde daha fazla bir uzaklıkta yer alır, Şekil 1.8(b)'de görüldüğü gibi frekans bölmeli çoğullama (Frequency Division Multiplexing, FDM), hem analog hem de dijital sinyaller için uygundur ve radyo ve televizyon kanallarının

yayınlanmasında kullanılır. Zaman bölmeli çoğullama (Time Division Multiplexing, TDM), dijital sinyaller için kolayca uygulanabilir ve telekomünikasyon ağlarında yaygın olarak kullanılır. TDM ve FDM'nin hem elektrik hem de optik alanlarda uygulanabileceği önemlidir; optik FDM genellikle (Wavelength Division Multiplexing, Dalgaboyu Çoğullama) WDM olarak adlandırılır. Litaratürde bu konu daha alt başlıklarla ilgili optik alan çoklaması tekniklerine ayrılmıştır. Bu bölüm, genellikle birçok ses kanalını tek bir elektrik bit akışına çoklamak için evrensel olarak kullanılan elektriksel TDM'yi kapsar.

TDM konsepti, dijital hiyerarşiler oluşturmak için kullanılmıştır. Kuzey Amerika ve Japonya'da birinci seviye, 1.544 Mb/s'lik bir bileşik bit hızına sahip 24 ses kanalının çoklamasına karşılık gelir (hiyerarşi DS-1), Avrupa'da ise 30 ses kanalı çoklanır ve sonuçta 2.048 Mb/s'lik bir bileşik bit hızı elde edilir. Çoklanmış sinyalin bit hızı, kanal sayısının 64 kb/s ile basit çarpımından biraz daha büyüktür, çünkü alıcı uçta kanalları ayırmak için (çoklamayı çözmek için) ek kontrol bitleri eklenir. İkinci seviye hiyerarşi, 4 DS-1 TDM kanalının çoklanmasıyla elde edilir. Bu, Kuzey Amerika veya Japonya için 6.312 Mb/s'lik bir bit hızına (hiyerarşi DS-2) ve Avrupa için 8.448 Mb/s'lik bir bit hızına yol açar. Bu işlem, daha yüksek seviyeli hiyerarşiler elde etmek için devam ettirilir. Örneğin, beşinci seviye hiyerarşide, bit hızı Avrupa için 565 Mb/s ve Japonya için 396 Mb/s olmaktadır.

1.5. Modülasyon Türleri

Bir optik iletişim sistemi tasarımının ilk adımı, elektrik sinyalinin nasıl bir optik bit akışına dönüştürüleceğine karar vermektir. Genellikle, yarıiletken lazer gibi bir optik kaynağın çıkışı, elektrik sinyali ya doğrudan optik kaynağa ya da harici bir modülatöre uygulanarak modüle edilir. Elde edilen optik bit akışının modülasyon formatı için iki seçenek bulunmaktadır. Bunlar, Şekil 1.8'de gösterildiği gibi return-to-zero (RZ) ve non-return-to-zero (NRZ) formatlarıdır. RZ formatında, her bir bit 1'i temsil eden optik darbe, bit slotundan daha kısadır ve amplitüdü bit süresi sona ermeden önce sıfıra döner. NRZ formatında ise optik darbe, bit slotu boyunca açık kalır ve amplitüdü bir veya daha fazla ardışık 1 biti arasında sıfıra düşmez. Sonuç olarak, darbe genişliği bit modeline bağlı olarak değişirken, RZ formatında aynı kalır. NRZ formatının bir avantajı, bit akışına bağlı olan bant genişliğinin, RZ formatından yaklaşık olarak 2 kat daha küçük olmasıdır çünkü açma/kapama geçişleri daha az gerçekleşir. Bununla birlikte, kullanımı darbe genişliğinin

daha sıkı bir kontrolünü gerektirir ve iletim sırasında optik darbenin yayılması durumunda bit modeline bağılı etkilere yol açabilir.

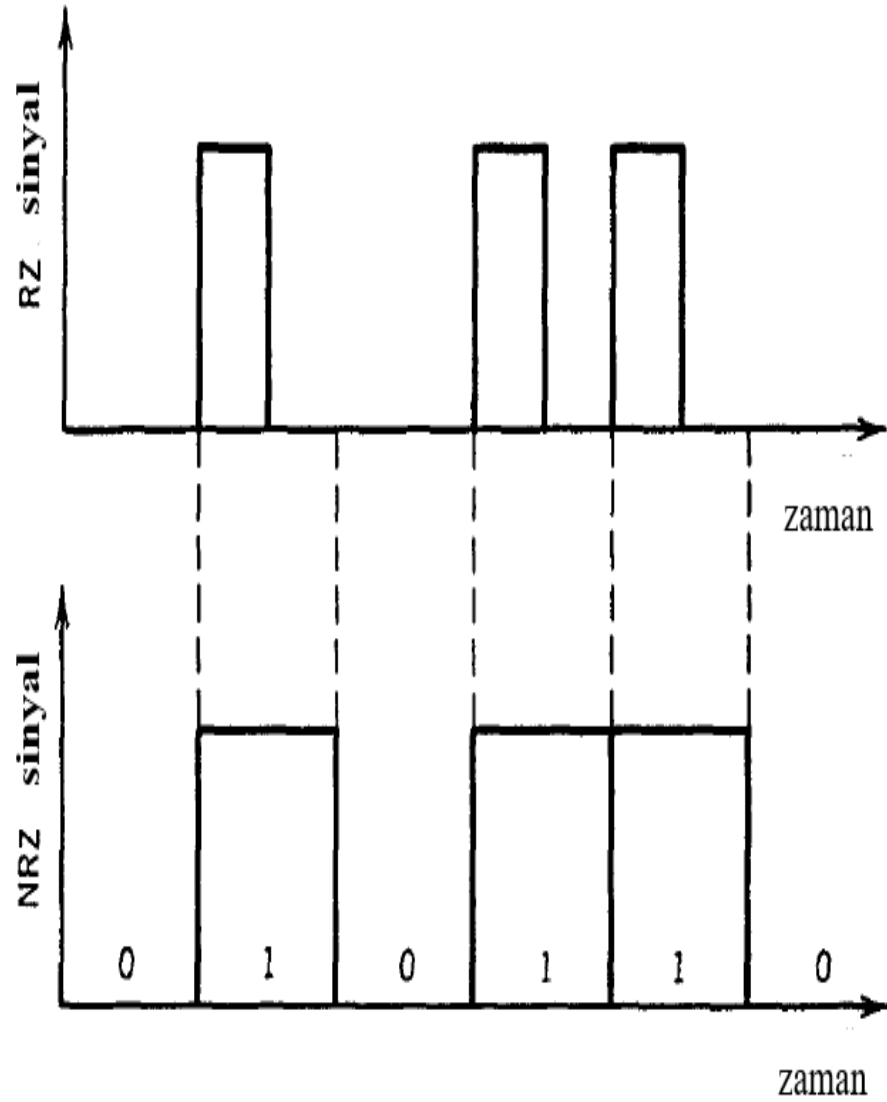
NRZ formatı, bu etmenlere bağılı olarak daha küçük bir sinyal bant genişliği olduğu için genellikle uygulamada kullanılır. RZ formatının optik alandaki kullanımı, 1999 civarında dikkat çekmeye başladı, çünkü kullanımının yüksek kapasiteli ışık iletişim sistemlerinin tasarımına yardımcı olabileceği bulundu [33]. Şu anda, bu format neredeyse sadece 40 Gb/s veya daha yüksek hızlarda çalışacak şekilde tasarlanmış WDM kanalları için kullanılır. RZ formatının yararlılığına dair bir örnek, nispeten kısa optik darbeleri kullanan ve fiber bağlantı boyunca yayıldıkça hızla birden fazla bit slotuna yayılan, sözde lineer olmayan sistemler [34] tarafından sağlanmaktadır.

Bu yayılma, teorik olarak zararlı olabilecek birkaç doğrusal olmayan etkinin etkisini azaltır. Darbeler, sonunda bir dispersiyon yönetimi tekniği kullanılarak orijinal genişliklerine sıkıştırılır. Bu tür sistemler genellikle RZ formatının ilginç bir varyantını kullanır, bu da chirped RZ (CRZ) formatı olarak bilinir ve optik darbelerin fiberin içine gönderilmeden önce ön chirp'e (ön titreşim) tabi tutulduğu bir formattır.

1.6. Optik İletişim Sistemleri

Bahsedildiği gibi, optik iletişim sistemleri prensip olarak mikrodalga sistemlerinden sadece taşıyıcı dalganın kullanıldığı frekans aralığında farklılık gösterir. Optik taşıyıcı frekansları genellikle ~ 200 THz'dir, bu mikrodalga taşıyıcı frekansları (~ 1 GHz) ile karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Optik iletişim sistemlerinin bilgi kapasitesinin, ışık iletişim sistemlerinde kullanılan bu yüksek taşıyıcı frekansları nedeniyle basitçe $\sim 10,000$ katına kadar arttığı beklenir.

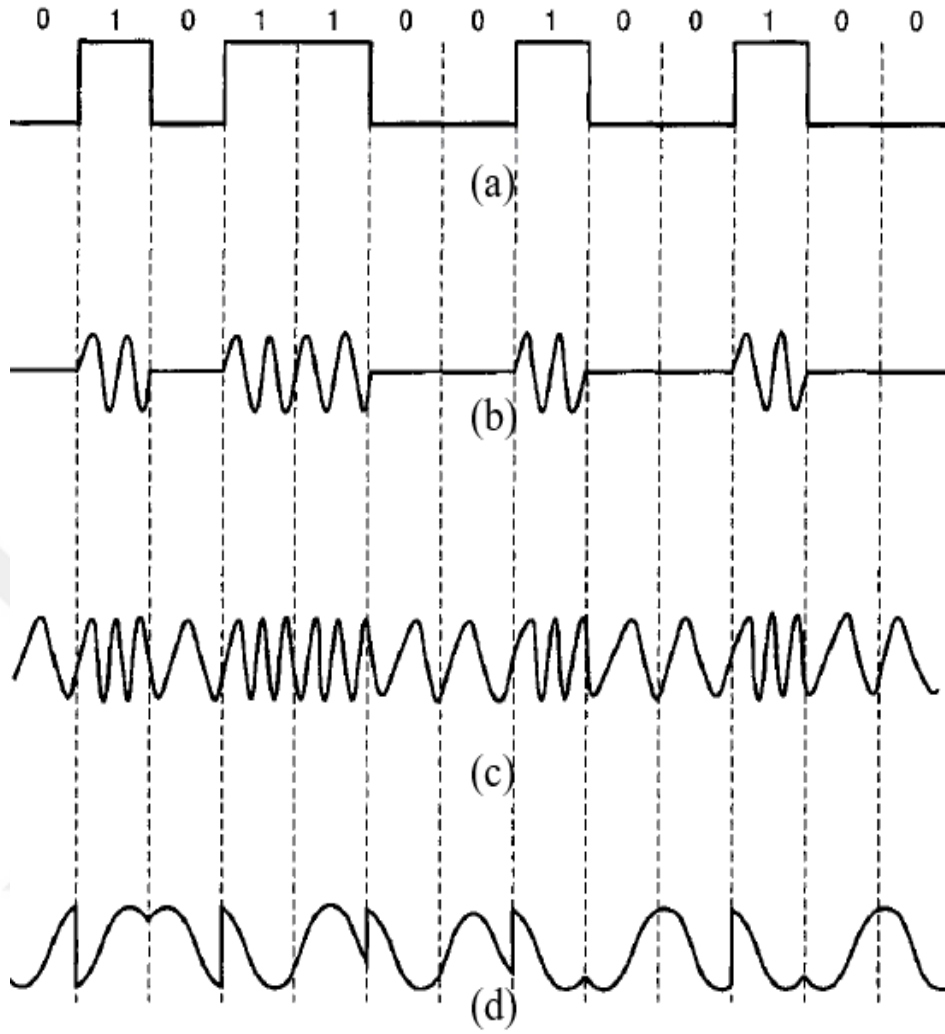
Bu artış, modüle edilmiş taşıyıcı band genişliğinin taşıyıcı frekansının birkaç yüzde kadar olabileceği göz önüne alındığında anlaşılabilir. Örnek olarak, sınırlayıcı değer olarak %1'i alırsak, optik iletişim sistemlerinin ~ 1 Tb/s bit hızında bilgi iletebilme potansiyeline sahip olabileceğini söyleyebiliriz. Optik iletişim sistemlerinin bu muazzam potansiyel bant genişliği, ışık iletişim sistemlerinin dünya genelinde geliştirilmesi ve dağıtılması için itici güçtür. Mevcut en son teknoloji sistemler ~ 10 Gb/s bit hızlarında çalışmaktadır, bu da iyileştirme için önemli bir alan olduğunu göstermektedir.



Şekil 1.8 (a). Dijital bit dizisine ait RZ ve NRZ kodlama [34]

Burada sayısal bit dizisinin RZ ve NRZ kodlama örneği sunulmuştur. Şeki 1.8’de verilen örnek uygulamada, 010110 bit dizilimine sahip bir verinin sıfıra-dönüslü (Return-To-Zero, RZ) ve sıfıra- dnönüßsüz (Non-Return-to-Zero, NRZ) formatlarına uygun olarak kodlanması yapılmış durumdadır.

Ayrıca dijital bir sinyalin elektriksel bir bit dizilimi olarak verilmiş olduğu durumda elektriksel alan paternlerinin optiksel uzaya dönüştürüldüğü bir örnek olarak Şekil 1.8 (b)’de sırasıyla genlik kaydırmalı anahtarlama (Amplitude Shift Keying, ASK), frekans kaydırmalı anahtarlama (Frequency Shift Keying, FSK) ve faz kaydırmalı anahtarlama (Phase Shift Keying, PSK) modülasyon formatları için gösterim yapılmış durumdadır.



Şekil 1.8 (b). Dijital bir veri dizisinin sırasıyla genlik kaydırmalı anahtarlama (Amplitude Shift Keying, ASK), frekans kaydırmalı anahtarlama (Frequency Shift Keying, FSK) ve faz kaydırmalı anahtarlama (Phase Shift Keying, PSK) modülasyon formatları

Şekil 1.9, optik bir iletişim sisteminin genel blok diyagramını göstermektedir. Bu, bir verici, bir iletişim kanalı ve bir alıcıdan oluşan, tüm iletişim sistemlerine ortak olan üç ögeden oluşur. Optik iletişim sistemleri genellikle iki geniş kategoriye ayrılabilir: yönlendirilmiş ve yönlendirilmemiş. Adından da anlaşılacağı gibi, yönlendirilmiş ışık iletişim sistemleri durumunda, verici tarafından gönderilen optik ışın mekansal olarak sınırlı kalır. Bu, uygulamada genellikle ışık iletişim sistemlerinde tartışıldığı gibi optik fiberler kullanılarak gerçekleştirilir. Şu anda tüm yönlendirilmiş optik iletişim sistemleri optik fiberler kullanır, bu nedenle bunlar için yaygın olarak kullanılan terim "fiber optik

iletişim sistemleri"dir. "Işık iletişim sistemi" terimi de fiber optik iletişim sistemleri için kullanılır, ancak genellikle yönlendirilmiş ve yönlendirilmemiş sistemleri içermelidir.

Yönlendirilmemiş optik iletişim sistemlerinde, verici tarafından gönderilen optik ışın uzaya yayılır, mikrodalgaların yayılmasına benzer. Ancak, yönlendirilmemiş optik sistemler, optik ışınların genellikle ileri yönde (kısa dalga boyu nedeniyle) yayıldığı bir şekilde, mikrodalga sistemleri kadar yaygın kullanım için uygun değildir. Kullanımları genellikle verici ve alıcı arasında hassas yönlendirme gerektirir. Yönlendirilmemiş sistemlerde, karasal yayılım durumunda sinyal atmosfer içinde saçılma nedeniyle önemli ölçüde bozulabilir. Tabii ki, bu sorun, dünya atmosferinin üzerindeki serbest uzay iletişimlerinde ortadan kalkar (rneğin, uydu iletişimleri). Serbest uzay optik iletişim sistemleri, belirli uygulamalar için gereklidir ve kapsamlı bir şekilde incelenmiştir [35], ancak çoğu karasal uygulama fiber optik iletişim sistemlerinden yararlanır. Bu kitap, yönlendirilmemiş optik iletişim sistemlerini ele almaz.



şekil 1.9. Optik bir iletişim sisteminin genel blok diyagramını

Fiber optik iletimin uygulanması, bilginin bir yerden başka bir yere transfer edilmesini gerektiren her alanda mümkündür. Ancak, fiber optik iletişim sistemleri genellikle telekomünikasyon uygulamaları için geliştirilmiştir. Bu, sadece ses sinyallerini değil aynı zamanda bilgisayar verileri ve faks mesajlarını iletmek için kullanılan küresel telefon ağlarını göz önüne alındığında anlaşılabilir. Telekomünikasyon uygulamaları, optik sinyalin tipik şehirlerarası mesafelerle (~100 km) karşılaştırıldığında nispeten uzun veya kısa mesafeler üzerinden iletilip iletilmediğine bağlı olarak genellikle iki kategoriye ayrılabilir: uzun menzil ve kısa menzil.

Uzun menzil telekomünikasyon sistemleri, yüksek kapasiteli gövde hatlarına ihtiyaç duyar ve fiber optik ışık dalga sistemlerinin kullanımından en çok fayda sağlar. Optik fiber iletişim teknolojisinin arkasındaki dinamik genellikle uzun menzil uygulamaları tarafından yönlendirilir. Her bir ardışık ışık dalga sistemi nesli, daha yüksek

bit hızlarında ve daha uzun mesafelerde çalışabilme yeteneğine sahiptir. Optik sinyalin belirli aralıklarla (tekrarlayıcılar kullanılarak) yeniden oluşturulması, çoğu uzun menzil sistem için hala gereklidir. Ancak, televizyon sistemlerine göre tekrarlayıcı aralığının ve bit hızının önemli ölçüde artması, optik ışık dalga sistemlerinin uzun menzil uygulamaları için çok çekici olmasını sağlamıştır. Ayrıca, WDM'nin optik amplifikatörlerle birlikte kullanımı hem genel maliyeti düşürmüş hem de sistem kapasitesini artırmıştır. Şekil 1.5'te görüldüğü gibi, birçok transokyanik optik ışık dalga sistemi zaten uluslararası bir fiber optik ağı oluşturmak üzere kurulmuştur.

Kısa menzil telekomünikasyon uygulamaları, şehir içi ve yerel döngü trafiğini kapsar. Bu tür sistemler genellikle 50 km'den az mesafelerde düşük bit hızlarında çalışır. Bu uygulamalar için tek kanallı ışık dalga sistemlerinin kullanımı maliyet açısından çok etkili değildir. Bu nedenle WDM'nin, kısa menzil sistemleri için bile önemli hale gelmiştir. 1990'ların başında internetin ortaya çıkması ile video ve fotoğraf iletimini içeren veri trafiği daha yaygın hale gelmiş ve şu anda bu tür trafiğin genellikle geleneksel telefon trafiğinden daha fazla bant genişliği tükettiği görülmüştür. İnternet protokolü ve paket anahtarlama kullanımının sürekli artmasıyla, sadece modern fiber optik WDM sistemleri hızla artan bant genişliği gereksinimlerini karşılayabilir. Çoklu kanallı ışık dalga sistemleri ve uygulamaları bu konu ile ilgili literatürde son yıllarda yer almaktadır.

1.7. Işık Dalgası Bileşenleri

Şekil 1.5.'te sunulan genel blok diyagramı, bir fiber optik iletişim sistemi için geçerlidir. Bu durumda, iletişim kanalı bir optik fiber kablo olması dışında, yalnızca iki bileşen, yani optik verici ve optik alıcı, bu özel iletişim kanalının gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmıştır. Bu alt başlıkta, optik fiberin iletişim kanalı olarak rolüne ve verici ve alıcıların tasarımına dair genel konulara odaklanılmaktadır. Burada asıl amaç, bu bileşenlerin daha detaylı tartışmalarını içeren literatür kaynaklarına genel bir bakış sunmak ve sonraki bölümde yer alan optik fiberler için temel bilgiyi sunmaktır

1.8. İletişim kanalı olarak optik fiberler

Bir iletişim kanalının rolü, optik sinyali iletimcisinden alıcıya bozulmadan taşımaktır. Çoğu ışık dalgası sistemi, silika fiberlerin 0.2 dB/km gibi küçük kayıplarla ışığı iletebilmesinden dolayı optik fiberleri iletişim kanalı olarak kullanır. Hatta 100 km'den sonra optik güç yalnızca %1 kadar düşer. Bu nedenle, fiber kayıpları uzun

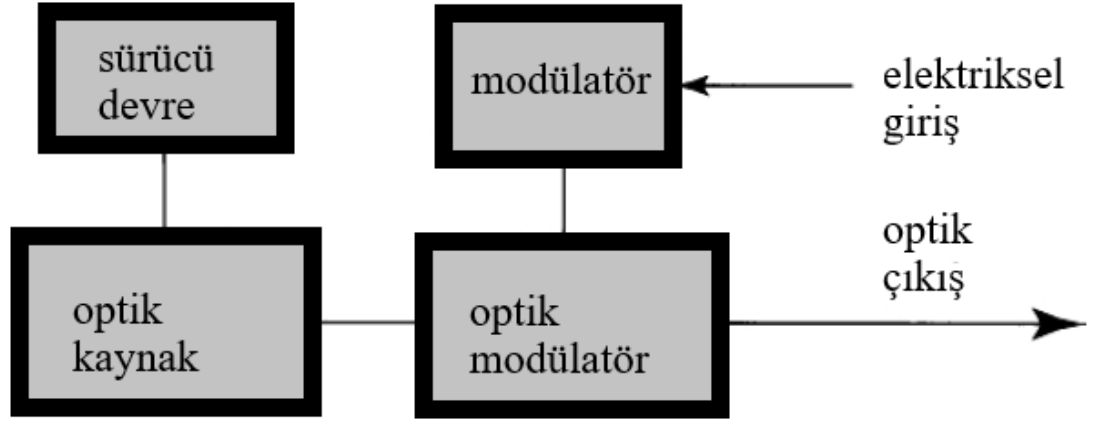
mesafeli ışık dalgası sistemlerinde tekrarlayıcı veya amplifikatör aralığını belirleyen önemli bir tasarım konusu olmaya devam etmektedir. Bir diğer önemli tasarım konusu ise fiber dispersiyonudur, ki bu bireysel optik darbelerin yayılmasına neden olur. Optik darbeler belirlenen bit yuvasının dışına önemli ölçüde yayılırsa, iletilen sinyal ciddi şekilde bozulur. Sonunda, orijinal sinyali yüksek doğrulukla kurtarmak imkânsız hale gelir. Bu sorun, farklı fiber modlarıyla ilişkilendirilen farklı hızlardan dolayı darbelerin hızlı bir şekilde yayılması nedeniyle multimode fiberlerde en ciddi şekilde ortaya çıkar. Bu nedenle, çoğu optik iletişim sistemi tek modlu fiberler kullanır. Malzeme dispersiyonu (kırılma indisine bağlı frekans bağımlılığı ile ilgili) genellikle darbe genişlemesine neden olur (genellikle < 0.1 ns/km), ancak çoğu uygulama için kabul edilebilir düzeydedir ve optik kaynağın spektral genişliğini kontrol ederek daha da azaltılabilir. Bununla birlikte, 2. Bölüm'de tartışıldığı gibi, malzeme dispersiyonu fiber optik iletişim sistemlerinin bit hızı ve iletim mesafesine son sınırlamayı getirir.

1.9. Optik Vericiler

Bir optik vericinin rolü, elektrik sinyalini optik forma dönüştürmek ve elde edilen optik sinyali optik fibere başlatmaktır. Şekil 1.5, bir optik vericinin blok şemasını göstermektedir.

Verici yapısında bir optik kaynaktan, bir modülatörden ve bir kanal bağlayıcıdan oluşan sistem yapısı kullanılmaktadır. Optik-fiber iletişim kanalıyla uyumlulukları nedeniyle yarıiletken lazerler veya ışık yayan diyotlar da optik kaynaklar olarak kullanılmaktadır.

Optik sinyal, optik taşıyıcı dalgayı modüle ederek üretilir. Harici bir modülatör bazen kullanılır, ancak çıkışı bir yarıiletken optik kaynağın enjeksiyon akımını değiştirerek doğrudan modüle etmek mümkün olduğundan, bu durum bazı durumlarda atlanabilir. Bu düzenleme, verici tasarımını basitleştirir ve genellikle maliyet etkilidir. Bağlayıcı genellikle optik sinyali optik fiberin giriş düzlemine maksimum verimlilikle odaklayan bir mikro lens olarak kullanılır.



Şekil.1.10. Optik vericinin bileşenleri

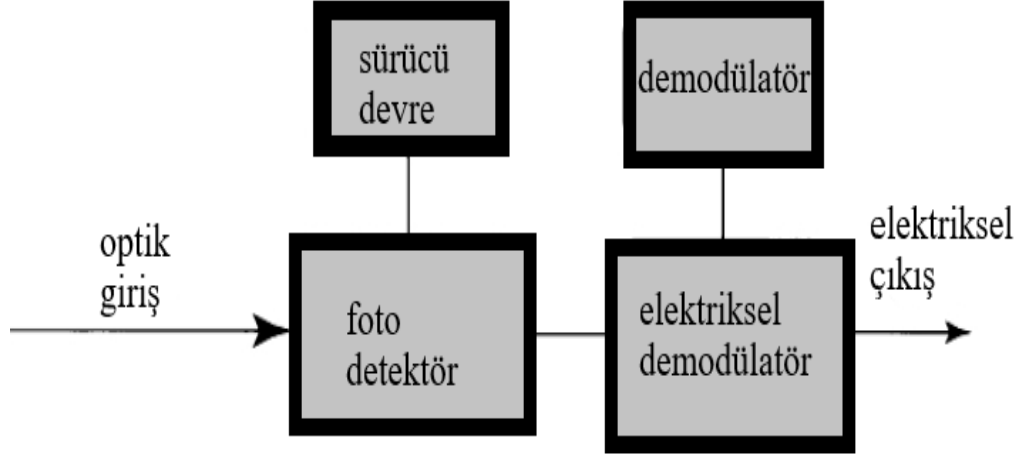
1.10. Optik Alıcılar

Bir optik alıcı, optik fiberin çıkış ucunda alınan optik sinyali orijinal elektrik sinyaline dönüştürür. Şekil 1.11, bir optik alıcının blok şemasını göstermektedir. Bu, bir kuplör, bir fotodetektör ve bir demodülatör içerir. Kuplör, alınan optik sinyali fotodetektöre odaklar. Fotodetektör olarak yarıiletken fotodiyotları kullanılır çünkü bunlar sistemle uyumludur; bunlar Şekil 4'te detaylı bir şekilde tartışılmaktadır.

Demodülatörün tasarımı, ışık dalga sistemi tarafından kullanılan modülasyon formatına bağlıdır. FSK ve PSK formatlarının kullanımı genellikle Şekil 10'da tartışılan heterodin veya homodin demodülasyon tekniklerini gerektirir.

Çoğu ışık dalga sistemi, "doğrudan algılamayla yoğunluk modülasyonu" (IM/DD) olarak adlandırılan bir düzeni kullanır. Bu durumda demodülasyon, elektrik sinyalinin şiddetine bağlı olarak bitleri 1 veya 0 olarak tanımlayan bir karar devresi tarafından yapılır. Karar devresinin doğruluğu, fotodetektörde üretilen elektrik sinyalinin SNR'ına bağlıdır.

Bir dijital ışık dalga sisteminin performansı, bit hata oranı (BER) ile karakterize edilir. Her ne kadar BER, saniye başına yapılan hata sayısı olarak tanımlanabilirse de, bu tanım BER'in bit hızına bağlı olduğunu göstermektedir.



Şekil.1.11. Optik alıcının bileşenleri

1.11. Optik Fiberler

Toplam iç yansıma olarak bilinen, fizikteki total internal reflection fenomeni, optik liflerdeki ışığı yönlendirme sorumluluğunu taşıyan bir olgudur ve 1854 yılından beri bilinmektedir [36]. Cam lifler 1920'lerde üretildi [37], ancak bunların kullanımı 1950'lerde bir kılıf tabakasının kullanılmasıyla rehberlik özelliklerinde önemli bir iyileşme sağlandığında pratik hale geldi [38]. 1970'e kadar optik lifler, genellikle kısa mesafeli tıbbi görüntüleme amaçları için kullanıldı [39]. İletişim amaçlı kullanılmaları yüksek kayıplar nedeniyle (~ 1000 dB/km) pratik değildi. Ancak, 1970'te önceki bir öneriyi takiben optik lif kayıpları 20 dB/km'nin altına indirildiğinde durum drastik bir şekilde değişti [10]. 1979'a gelindiğinde ise $1.55 \mu\text{m}$ spektral bölgesinde sadece 0.2 dB/km kayıp elde edilmişti [40]. Düşük kayıplı liflerin bulunabilir olması, ışık dalga teknolojisi alanında bir devrim başlattı ve fiber optik iletişim çağını başlattı.

Burada, literatürde yer alan optik fiber yapıları açıklanmış olup, optik fiberlerin ışık dalgası sistemlerinde iletişim kanalı olarakki rolüne önem taşımaktadır ayrıca, rehberlik mekanizmasını açıklamak ve ilgili temel kavramları tanıtmak için geometrik optik bir açıklama kullanılmıştır. Maxwell denklemleri, optik fiberlerde dalga yayılımını tanımlamak için kullanılır. Literatürde ayrıca Fiber dispersiyonu tarafından uygulanan bit hızı ve iletim mesafesi üzerindeki sınırları ele alan, optik fiberlerdeki kayıp mekanizmalarına odaklanılmış olan ve doğrusal olmayan etkiler ile fiber optik imalat detaylarını kapsayan çalışmaların yanısıra fiber kablolarıyla ilgili çalışmalar da çokça yer almaktadır. Tez çalışması kapsamında uygulamada kullanılan sistem modellerine ağırlık

verilmiş olup teknik detaylar açısından optik fiberlerin içerikleri bu aşamada verildiği haliyle sınırlı tutulmuş durumdadır.

HFC (Hybrid Fiber-Coaxial), Türkçe'ye Hibrit Fiber-Koaksiyel olarak çevrilebilen bir terimdir. Bu teknoloji, fiber optik ve koaksiyel kablo elemanlarını bir araya getirerek bir iletişim altyapısı oluşturur. HFC, özellikle kablo televizyonu (CATV) ve genişbant internet hizmetlerinin sağlanmasında yaygın olarak kullanılır. Geleneksel bakır kablolar, veri iletimini elektrik sinyalleri kullanarak sağlar. Bant genişliği ve iletim mesafesi bakımından sınırlıdır. Elektromanyetik girişimlere daha hassastır ve güvenlik açısından daha zayıf olabilir. Telefon hatları, DSL (Digital Subscriber Line) gibi hizmetler için kullanılabilir. HFC'nin temel özellikleri;

1.11.1. Fiber Optik ve Koaksiyel Kablo Entegrasyonu

HFC, fiber optik kabloların genişbant veri iletimi için kullanıldığı bir ağ altyapısıdır. Bu fiber optik altyapı, başlangıçta ana istasyon ile yerel bölgeler arasında veri iletimini sağlar. Ancak, kullanıcı evlerine doğru olan son bacakta, genellikle koaksiyel kablolar kullanılır.

1.11.3. Genişbant Hizmetleri

HFC altyapısı, genişbant hizmetlerin (yüksek hızlı internet, kablo televizyonu, ses) sağlanmasını destekler. Fiber optik kısımlar, yüksek bant genişliği ve düşük gecikme süreleri sağlarken, koaksiyel kısımlar evlere doğru veri iletimini gerçekleştirir.

1.11.4. Yüksek Kapasite

Fiber optik altyapı, büyük miktarda veriyi yüksek hızlarda iletebilme kapasitesine sahiptir. Bu da birçok abonenin aynı anda geniş bant hizmetlerinden yararlanabilmesini mümkün kılar.

1.11.5. TV Yayını

HFC, kablo televizyonu (CATV) yayınları için ideal bir altyapı sunar. Televizyon kanalları genellikle koaksiyel kablolar üzerinden evlere iletilir.

1.11.6. Geniş Kapsama Alanı

HFC, genellikle büyük kentsel bölgelerde ve banliyölerde geniş kapsama alanları sağlamak için kullanılır. Fiber optik altyapı, uzun mesafeleri aşarak geniş bölgelere hizmet sağlayabilir.

HFC, fiber optik ağlara geçiş aşamasında bir geçiş teknolojisi olarak ortaya çıkmış ve genişbant hizmetlerin daha yaygın hale gelmesine katkıda bulunmuştur. Ancak, günümüzde birçok yerel operatör ve şirket, doğrudan fiber optik altyapıya geçiş yaparak daha yüksek hızlar ve daha güçlü bir altyapı sağlamayı düşünmektedir.

1.12. OPTİK NODE

"Optik node" veya "optik düğüm," genellikle bir fiber optik iletişim ağı içindeki önemli bir noktayı ifade eder. Optik node, optik fiberin elektrik sinyallerine dönüştürüldüğü veya tersine dönüştürüldüğü bir yer olabilir. Bu düğümler, optik ağların yönetimi, dağıtımı ve iletimi için kullanılır. Bu node üzerinde 4 kanal ve 4 farklı dalga boyu kullanılır. Bu dalga boyları 1450nm, 1470nm, 1590nm, 1610nm'dir.

Optik node'ların bazı temel özellikleri şunlardır [41].

1.12.1. Elektrik ile Optik Dönüşüm

Optik node, optik fiber üzerinde taşınan ışık sinyallerini elektrik sinyallerine dönüştürebilir veya tersine dönüştürebilir. Bu, fiber optik ağlar ve geleneksel elektrik tabanlı ağlar arasında arabirim sağlamak için kullanılır.

1.12.2. İletim Gücü Kontrolü

Optik node'lar, iletilen optik sinyallerin gücünü kontrol edebilir. Bu, sinyal gücünü optimize etmek ve iletim mesafesini ayarlamak için önemlidir.

1.12.3. Amplifikasyon

Optik node'lar, zayıflamış optik sinyalleri güçlendirebilir (amplifikasyon). Bu, sinyallerin uzun mesafeler boyunca iletilmesini sağlar.

1.12.4. Dalgaboyu Bölgesi ve Ayırma

Çoklu optik sinyalleri taşıyan ağlarda, optik node'lar farklı dalga boylarını (wavelength) bölme ve ayırma işlevini gerçekleştirebilir.

1.12.5. Yönlendirme ve Dağıtım

Optik node'lar, optik sinyalleri belirli yönlere yönlendirebilir ve iletim hattındaki trafikleri yönetebilir.

1.12.6. Yerel İşleme ve Kontrol

Bazı durumlarda, optik node'lar yerel işleme ve kontrol yeteneklerine sahip olabilir. Bu, ağın yönetimini ve performansını optimize etmeye yardımcı olabilir.

Şekil 1.12. de yer alan optik node, fiber optik iletişim ağlarında veri iletimi için kritik öneme sahip bileşenlerdir. Bu düğümler, ağın verimli çalışmasını ve iletim hattındaki sinyallerin güvenilir bir şekilde iletilmesini sağlar.



Şekil 1.12. Preval marka optik node [41]

1.13. Amfi Yapıları

Amfiler, elektrik sinyallerini yükselten cihazlardır. Amfiler, genellikle zayıflamış veya düşük güçlü sinyalleri güçlendirmek amacıyla kullanılır. Elektronik devrelerde, ses sistemlerinde, radyo frekansı iletişiminde ve çeşitli diğer uygulamalarda kullanılan çeşitli türleri bulunmaktadır.

Amfilerin temel görevleri şunlardır:

1.13.1. Güç Yükseltme (Power Amplification)

Amfiler, giriş sinyalinin gücünü yükselterek çıkış sinyalini daha güçlü hale getirir. Bu, hoparlörlerdeki ses seviyelerini artırmak veya uzun mesafelere güçlü radyo frekansı sinyalleri iletimini sağlamak gibi uygulamalarda kullanılır.

1.13.2. Gerilim Yükseltme (Voltage Amplification)

Amfiler, giriş sinyalinin gerilimini yükselterek çıkış gerilimini artırabilir. Bu, zayıf sinyallerin daha etkili bir şekilde işlenmesini sağlar.

1.13.3. Frekans Yanıtı Düzenleme

Belirli bir frekans aralığındaki sinyallerin yükseltilmesini veya düşürülmesini sağlamak için kullanılır. Bu, ses sistemlerinde ve radyo frekansı uygulamalarında önemli bir özelliktir.

1.13.4. Düşük Gürültü (Low-Noise):

Bazı amfiler, düşük gürültü seviyeleri ile çalışarak giriş sinyallerindeki istenmeyen elektriksel gürültüyü en aza indirir.

1.13.5. Ters Çevirme veya Ters Çevirmeme

Bazı amfiler, giriş sinyalini ters çevirerek (negatifleştirerek) veya ters çevirmeyerek (pozitifleştirerek) çıkış sinyalini oluşturabilir.

1.13.6. Operasyonel Yükseltme

Amfiler, operasyonel amplifikatörler (op-amp) aracılığıyla gerçekleştirilebilecek karmaşık matematiksel işlemleri gerçekleştirmek için kullanılabilir.

1.14. MUX (Multiplexer- Çoklayıcı)

MUX, birden fazla giriş sinyalini tek bir çıkışa yönlendiren bir elektronik cihazdır. Bu, farklı kaynaklardan gelen verileri birleştirmek ve tek bir iletim hattı üzerinden iletmek için kullanılır. Örneğin, bir telefon hattında ses ve veri sinyallerini birleştiren bir MUX kullanılabilir.

1.15. DEMUX (Demultiplexer- Çözümleyici)

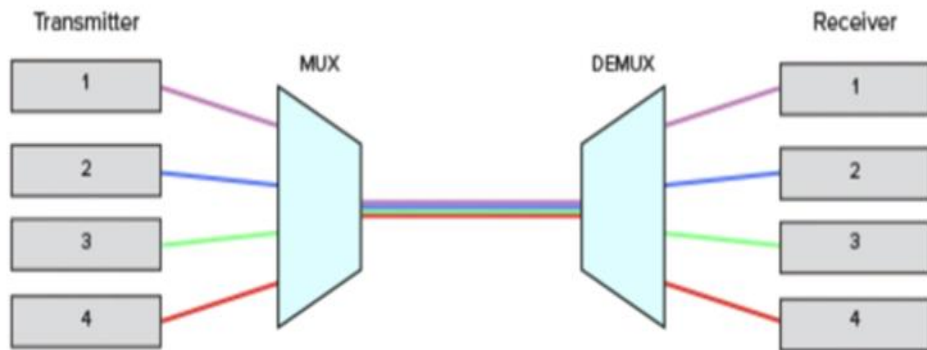
DEMUX, tek bir giriş sinyalini birden fazla çıkışa ayıran bir elektronik cihazdır. Bu, tek bir iletim hattından gelen veriyi kaynaklarına göre ayırmak için kullanılır. Örneğin, bir iletim hattına gelen birleştirilmiş ses ve veri sinyalini ayıran bir DEMUX, bu sinyalleri orijinal kaynaklarına yönlendirebilir.

Örnek bir uygulama senaryosunda Bir çoklayıcı (MUX), farklı kaynaklardan gelen veriyi birleştirerek tek bir sinyal oluşturur ve bu sinyali bir iletim hattına gönderir. Hedefte, bir çözümleyici (DEMUX) bu tek sinyali alır ve orijinal veri kaynaklarına yönlendirir.

Bu, genellikle veri iletimi ve iletişim sistemlerinde kullanılan temel bir tekniktir. Şekil 1.13 de gösterilen MUX ve DEMUX, bilgisayar ağları, telekomünikasyon sistemleri ve diğer veri iletim uygulamalarında yaygın olarak kullanılır.



Şekil 1.13. MUX, DEMUX cihaz kesit görünümü [42]



Şekil 1.14. Gönderici ve alıcı arasındaki bağlantı yapısı [42]

1.16. Head-End Saha Arasındaki İletim Dizini

"Head-End," bir televizyon veya radyo yayın sisteminin merkezi kontrol noktasını ifade eder. Headend, medya içeriğini alır, işler ve yayın ağına dağıtır. Bu terim genellikle kablo TV, uydu TV, IPTV (Internet Protocol Television), ve benzeri yayın sistemlerinde kullanılır. HFC (Hybrid Fiber-Coaxial) sisteminde, Headend'den çıkan sinyaller sahadaki abonelere iletilmeden önce bir dizi işleme tabi tutulur. İşte bu süreç genel hatlarıyla aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1.16.1. Sinyal İşleme ve Modülasyon

Headend, gelen verileri işleyerek uygun modülasyon teknikleri kullanır. Modülasyon, bilgilerin taşınmasını sağlayan bir iletim tekniğidir. Sinyaller genellikle radyo frekanslarına modüle edilir.

1.16.2. QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

HFC sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir modülasyon tekniği QAM'dir. QAM, veri iletimi için çok sayıda sinyal seviyesi ve faz kombinasyonu kullanarak yüksek hızlı iletimi sağlar. Bu, daha fazla veriyi aynı frekansta iletebilme avantajı sağlar.

1.16.3. Fiber Optik İletim

Modüle edilmiş sinyaller, Headend'den çıkan fiber optik kablolar aracılığıyla Fiber Node'a iletilir. Fiber optik kablolar, yüksek bant genişliği ve düşük kayıp özellikleri nedeniyle uzun mesafelerde güçlü ve hızlı bir iletim sağlar.

1.16.4. Fiber Node (Optik Nodal)

Fiber Node, fiber optik kablolar aracılığıyla gelen sinyalleri alır ve bunları koaksiyel kablolar üzerinden abonelere dağıtmak için dönüştürür. Bu noktada, optik sinyaller elektrik sinyallerine çevrilebilir ve koaksiyel kablolar aracılığıyla iletilir.

1.16.5. Koaksiyel Kablo İletimi

Fiber Node'den gelen sinyaller, koaksiyel kablolar kullanılarak abone evlerine iletilir. Bu kablolar, elektrik sinyallerini taşıyan bakır tel içerir ve genellikle abonelerin evlerine kadar uzanır.

1.16.6. Yükselteç Eklenmesi

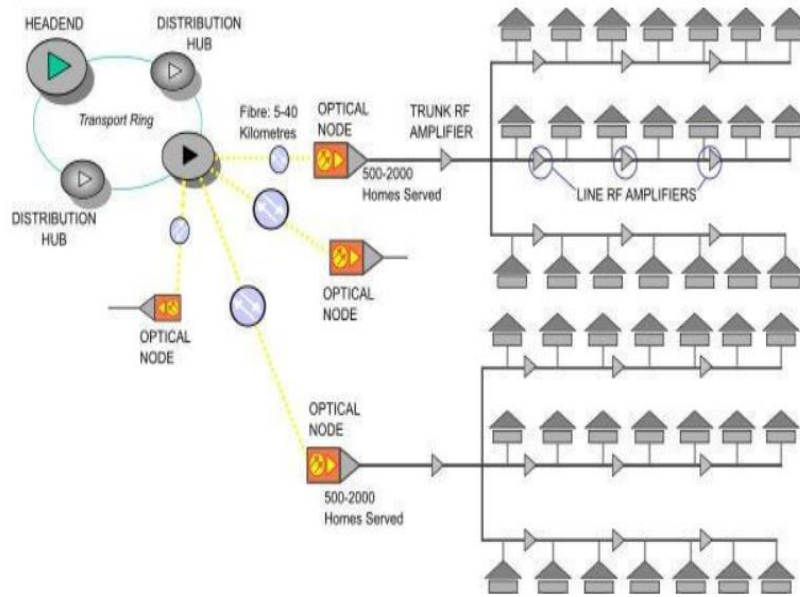
Uzun mesafeler boyunca iletim sırasında sinyallerdeki kayıpları telafi etmek ve güçlendirmek için, bakır kablolar boyunca belirli aralıklarla yükselteçler eklenir. Bu yükselteçler, elektriksel sinyalleri güçlendirir ve iletim sırasında oluşan zayıflamayı azaltır.

1.16.7. Abone Ekipmanları

Koaksiyel kablolar aracılığıyla iletilen sinyaller, abone evlerinde bulunan ekipmanlar tarafından alınır. Bu ekipmanlar, televizyon alıcıları, kablo modelleri veya internet modelleri gibi cihazları içerebilir. Bu cihazlar, alınan sinyalleri çözümleyerek televizyon yayınlarını, internet verilerini veya telefon hizmetini sağlar.

Bu süreç, Headend'den başlayarak Fiber Node'a kadar olan aşamaları kapsar ve HFC sisteminin temel iletimini açıklar. Bu sayede geniş bir coğrafi alanda hızlı ve güvenilir iletişim hizmetleri sağlanabilir.

En iyi koaksiyel ana hat kablosu bile 550 MHZ'lik 77 Kanal bir işaret için 33 dB/km zayıflar. Bu da her yarım milde (0.8 km) 27 dB kazançlı bir RF kuvvetlendiricinin eklenmesi demektir. Böylece bir ana hat kuvvetlendiricinin pek çoğunun kaskad halde olması gerekir. Tek bir 30 Km'lik ana hat için 30 kuvvetlendirici kullanılır [43].



Şekil 1.15. HFC şebekenin headend saha arasındaki iletim topolojisi [43]

HFC (Hybrid Fiber-Coaxial) sistemlerinde fazla yükselteç kullanılması, birtakım istenmeyen etkilere neden olabilir. Bu durumda karşılaşılan sorunlar şunlar olabilir;

1.16.8. Gürültü (Noise) Artışı

Fazla sayıda yükselteç, sinyallerin yanı sıra gürültüyü de güçlendirebilir. Bu durum, sinyal kalitesini düşürebilir ve hizmetlerin bozulmasına neden olabilir.

1.16.9. Sinyal Bozulması (Distorsiyon)

Fazla yükselteç kullanımı, sinyal bozulmasına yol açabilir. Bu bozulmalar, özellikle yüksek frekanslı sinyaller için daha belirgin olabilir.

1.16.10. Yükseltilmiş Girişim (Amplified Interference)

Fazla yükselteç kullanımı, bir sinyalin başka bir sinyali olumsuz etkilemesine neden olabilir. Bu durum, girişim ve çakışmalara yol açabilir, bu da hizmet kalitesini düşürebilir.

1.16.11. Maliyet Artış

Her yükselteç bir maliyet taşır. Fazla sayıda yükselteç kullanmak, hem başlangıçta hem de işletme maliyetlerinde artışa neden olabilir.

1.16.12. Enerji Tüketimi Artışı

Yükselteçler genellikle enerji tüketen cihazlardır. Fazla sayıda yükselteç kullanmak, enerji maliyetlerini artırabilir ve çevresel etkileri olabilir.

1.16.13. Aşırı Yükselme ile İlgili Sorunlar

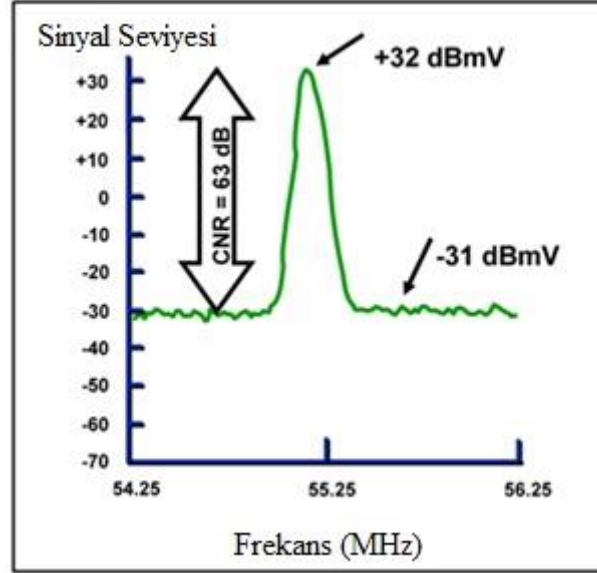
Aşırı sayıda yükselteç kullanımı, sinyal güçlendikçe daha fazla aşırı yükselme riski taşır. Bu durum, sinyallerin kararsız ve değişken olmasına neden olabilir.

"C/N" ifadesi, bir iletişim sisteminin karıştırma gürültü oranını (Carrier-to-Noise Ratio) temsil eder. C/N oranı, bir sinyalin taşıyıcı sinyal gücü ile sistemdeki gürültü seviyesi arasındaki oranı gösterir. Bu oran, iletişim sistemlerinin performansını değerlendirmek ve optimize etmek için önemlidir.

Taşıyıcının gürültüye oranı genellikle aşağıdaki formülle ifade edilir [44]

$$CNR = \frac{C}{N} = 10 \log\left(\frac{P_c}{P_N}\right) . \quad (1.7)$$

Burada P_c , Taşıyıcının gücü(dBm) temsil ederken, P_n ise alıcının gücünü (dBm) ifade etmektedir.



Şekil 1.16. RF CNR ölçümü (54 MHz ile 56MHz arası) [45]

C/N oranı, dB (desibel) cinsinden ölçülür. Bu oranın yüksek olması, taşıyıcı sinyalin, sistemdeki gürültüye karşı daha güçlü olduğunu gösterir ve bu da daha iyi bir iletim kalitesi anlamına gelir. İletişim sistemlerinde, C/N oranı, özellikle kablosuz iletişim, uydu iletişimi ve radyo frekanslı sistemlerde performansın belirlenmesinde önemlidir. Düşük C/N oranları, sinyal kalitesinin düşük olduğu ve iletişim hatasının daha muhtemel olduğu anlamına gelir.

Bu oran, sistem tasarımında ve optimizasyonunda kullanılarak, sinyal gücü ve gürültü seviyelerinin dengelenmesi, iletim kalitesinin artırılması ve daha uzun iletim mesafelerinin elde edilmesi gibi faktörler üzerinde çalışılabilir.

"MER" (Modulation Error Ratio), bir dijital iletişim sistemindeki modülasyon hatasını ölçen bir metriktir. Modülasyon hatası, bir sinyalin istenen modülasyon durumuna ne kadar uygun olduğunu ve iletimdeki modülasyon hatalarının ne kadar olduğunu gösterir. Formül olarak, MER şu şekilde ifade edilir [46]

$$MER(dB) = \frac{C}{N} 10 \log\left(\frac{P_{sinyal}}{P_{gürültü}}\right) \quad (1.8)$$

Burada işaret gücünün gürültü gücüne oranı decibel cinsinden ifade edilmektedir

$$MER(\%) = \sqrt{\frac{P_{gürültü}}{P_{sinyal}}} \times 100\% \quad (1.9)$$

Denklem (1.9)'da "İstenen Sinyal Gücü", iletilen sinyalin istenen modülasyon durumundaki gücüyken, "Modülasyon Hataları Gücü" ise bu sinyalin diğer modülasyon durumlarındaki güçlerin toplamını ifade eder.

Yüksek MER değerleri, sinyalin düşük modülasyon hatası ile taşındığı ve dolayısıyla iletişim sisteminin daha sağlam olduğu anlamına gelir. Düşük MER değerleri ise sinyalde daha fazla modülasyon hatası olduğu ve iletimde sorunların olabileceği anlamına gelir.

MER, özellikle dijital televizyon, kablosuz iletişim (örneğin, Wi-Fi), mobil iletişim ve diğer dijital iletişim sistemlerinde performans değerlendirmesi için kullanılır. İyi bir MER, daha yüksek iletişim kalitesi anlamına gelir.

1.17. Kablo Tv Yayın Sistemleri

IRD, "Integrated Receiver/Decoder" teriminin kısaltmasıdır. Bu cihaz, televizyon yayınlarını almak, işlemek ve descramble etmek için kullanılan bir alıcı ve dekodör kombinasyonudur. IRD'ler genellikle uydu iletişimi, kablo TV ve diğer yayın hizmetleri gibi profesyonel video ve ses uygulamalarında kullanılır. IRD'nin temel özellikleri aşağıdaki gibidir;

1.17.1. Uydu ve Kablo TV Yayınları İçin Kullanım

IRD'ler, özellikle uydu ve kablo TV altyapıları üzerinden gelen yayınları almak için kullanılır. Uydu üzerinden gelen şifreli yayınları almak ve bu yayınları çözümlmek için kullanılabilirler.

1.17.2. Frekans Dönüştürme

Uydu alıcısı olarak kullanıldığında, IRD, uydu üzerinden gelen sinyalleri uydu alıcılarının çalışma frekansına dönüştürebilir.

1.17.3. Şifre Çözme ve Entegrasyon

IRD'ler, şifreli yayınları çözebilir ve çözülen yayınları standart bir video ve ses sinyaline dönüştürebilir. Bu, abonelik tabanlı TV servis sağlayıcıları için yaygın bir gerekliliktir.

1.17.4. Profesyonel Yayın Uygulamaları

IRD'ler, genellikle yayın stüdyolarında ve yayın tesislerinde profesyonel video ve ses uygulamalarında kullanılır. Canlı yayınlar, haberler ve diğer profesyonel yayınlar için kullanılan cihazlardır.

1.17.5. Ses ve Görüntü Çıkışı

IRD'ler genellikle standart video ve ses çıkışlarına sahiptir. Bu çıkışlar, televizyonlara veya diğer video ve ses ekipmanlarına bağlanabilir.

1.17.6. Descrambling ve Şifreleme

Descrambling (şifre çözme) yetenekleri sayesinde IRD'ler, şifreli yayınları alabilir ve izlenebilir hale getirebilir. Ayrıca, şifreleme özellikleri ile güvenli iletimi destekleyebilir.

1.17.7. Uzaktan Kumanda ve Kontrol

IRD'ler genellikle uzaktan kumanda ile kontrol edilebilir. Bu, kullanıcıların kanal değiştirme, ses ayarı gibi temel işlemleri gerçekleştirmelerini sağlar.

IRD'ler, genellikle profesyonel yayın ortamlarında ve ev eğlence sistemlerinde, özellikle de uydu veya kablo TV hizmetleri aboneleri için kullanılır. Bu cihazlar, yayın sinyallerini almak, işlemek ve kullanıcıların izleyebileceği bir formata dönüştürmek için önemlidir.



Şekil 1.17. IRD kesit görünümü [47]

1.18. RF Gateway Cihazı

RF Gateway, bir ağ üzerinde radyo frekansı (RF) sinyallerini ileten veya işleyen bir cihazdır. Bu gateway, RF sinyallerini dijital verilere dönüştürebilir veya dijital verileri RF sinyallerine çevirebilir. RF Gateway'ler, özellikle kablosuz iletişim sistemlerinde ve RF tabanlı ağlarda (örneğin, kablosuz sensör ağları, uzaktan kumandalı cihazlar, vs.)

kullanılır. RF Gateway'ler, farklı frekans bantlarındaki RF sinyallerini alabilir, işleyebilir ve yönlendirebilir. Ayrıca, bu cihazlar genellikle ağ üzerinde veri iletimini sağlamak, yönlendirmek ve kontrol etmek için kullanılan protokolleri desteklerler.

Özetle, RF Gateway, radyo frekansı sinyallerini ağ üzerinde taşımak ve yönetmek için kullanılan bir cihazdır.



Şekil 1.18. Cisco RF Gateway kesit görünümü [48]

1.19. Dijital Kanallaştırıcı Modülü (Digital Channelizer Module, DCM) Cihazı

Digital Channelizer Module (DCM), dijital haberleşme sistemlerinde çok kanallı sinyallerin işlenmesini sağlayan bir modüldür. DCM, çok kanallı sinyalleri frekans alanında işleyen ve ayırıştıran bir dijital işleme modülüdür.

Bu modül, radyo frekansında geniş bir bant genişliğine sahip sinyalleri daha küçük alt bantlara bölerek, sistem içindeki farklı kanalların ayrı ayrı işlenmesini mümkün kılar. DCM, modülasyon tekniği kullanarak gelen sinyalleri analiz eder ve frekans alanında ayırıştırır.

Bu süreç, geniş bantlı sinyallerin frekans alt bantlara ayrılmasını ve her bir alt bandın ayrı ayrı işlenmesini sağlar. DCM, çeşitli modülasyon türlerine ve frekans planlama stratejilerine uyum sağlayabilen esnek bir yapıya sahiptir.

Bu, farklı iletişim standartlarına ve gereksinimlere kolayca adapte olabilme yeteneği sunar. DCM, aynı anda birçok kanalı işleyebilen yüksek işleme kapasitesine sahiptir.

Yüksek işleme hızı, gerçek zamanlı uygulamalarda geniş bir frekans bandını etkin bir şekilde yönetmeyi mümkün kılar. DCM, spektral verimliliği artırarak ve kaynakları optimize ederek frekans bandını etkili bir şekilde kullanır.

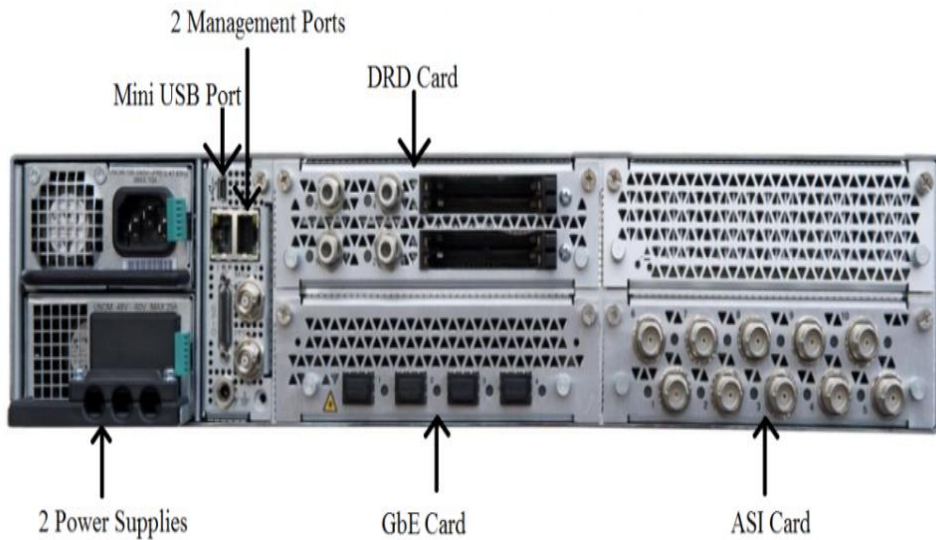
Bu, iletişim sistemlerinin verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. DCM, işlemler sırasında oluşabilecek hataları düzeltme yeteneğine sahiptir.

Bu, iletişim sisteminin güvenilirliğini artırır ve hata toleransını optimize eder. DCM, askeri haberleşme, radyo yayıncılığı, mobil iletişim ve diğer birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yüksek performansı ve geniş uygulama alanları, DCM'nin çeşitli sektörlerde önemli bir bileşen haline gelmesini sağlamıştır.



Şekil 1.19. DCM cihazı kesit görünümü [49]



Şekil 1.20. DCM Port Girişlerine ait bir kesit görünümü [49]

1.20. Kablo TV Yayın Alış Süreci

HFC (Hybrid Fiber-Coaxial) sistemlerinde yayın alış süreci, kablo televizyonu hizmetlerinde kullanılan bir dizi teknoloji ve işlemleri içerir. Aşağıda, HFC sistemlerinde yayın alış sürecinin temel adımları açıklanmıştır.

1.20.1. Yayın Üretimi ve Toplama

Yayın alış süreci, öncelikle televizyon programlarının veya diğer medya içeriklerinin üretildiği ve toplandığı aşamayla başlar. Yayın şirketleri, prodüksiyon stüdyolarında programları üretir veya farklı kaynaklardan (uydu, kablo, internet vb.) alır.

1.20.2. Sıkıştırma (Compression)

Yüksek çözünürlüklü (HD) veya standart çözünürlüklü (SD) yayın verileri genellikle sıkıştırma algoritmaları kullanılarak daha düşük bant genişliğine indirgenir. Bu adım, verilerin daha etkili bir şekilde iletilmesini ve depolanmasını sağlar.

1.20.3. Bağlama (Multiplexing)

Birden fazla TV kanalı ve diğer hizmetler, birleştirilerek tek bir sinyal haline getirilir. Bu, kablo üzerinden daha fazla içeriği daha etkili bir şekilde iletmeyi mümkün kılar.

1.20.4. Modülasyon

Sinyal, modülasyon işlemine tabi tutularak elektrik sinyaline dönüştürülür. Bu, sinyalin koaksiyel kablolar üzerinden HFC ağı boyunca iletilmesini sağlar. Genellikle QAM (Quadrature Amplitude Modulation) gibi modülasyon teknikleri kullanılır.

1.20.5. Fiber Optik İletim

Modüle edilmiş sinyaller, başlangıç noktasından (genellikle bir fiber nodu) çıkarak Fiber Node'a kadar fiber optik kablolar üzerinden iletilir. Fiber optik kabloların kullanılması, yüksek bant genişliği ve düşük kayıp sağlar.

1.20.6. Koaksiyel Kablo İletimi

Fiber Node'den çıkan sinyaller, koaksiyel kablolar aracılığıyla abonelere doğru iletilir. Bu kablolar, elektrik sinyallerini taşıyan bakır teller içerir.

1.20.7. Abone Ekipmanları

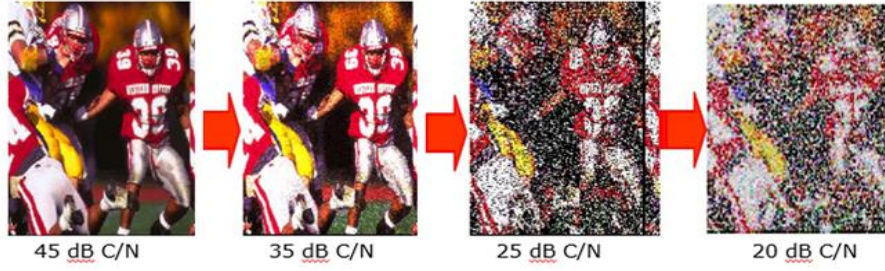
Abone evlerindeki kablo kutuları veya set üstü kutular gibi ekipmanlar, koaksiyel kablolar aracılığıyla iletilen sinyalleri alır. Bu ekipmanlar, sinyalleri çözümleyerek televizyon programlarını görüntüler veya internet hizmetini sağlar.

Tablo 1.1. Frekans aralıkları [54-900MHZ, 45-1000MHZ]

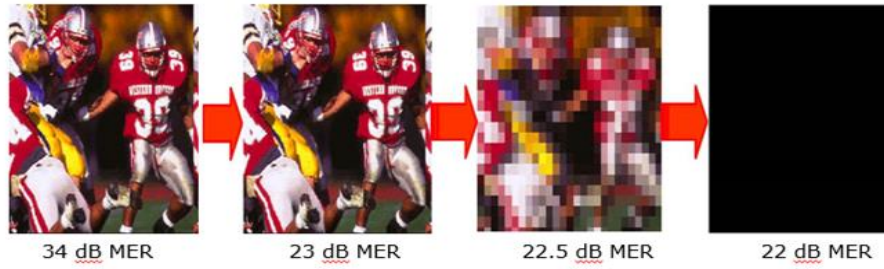
	Analog Sistem (Cable Vista)	Sayısal Sistem (RFGW)
Frekans Aralığı	54-900MHZ	45-1000MHZ
Giriş Ara Yüzü	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet
Çıkış Seviyesi	107-117dBuV	4-Kanal
S/N--MER	>61dB	>=45 dB
CTB(60 Channel line-up)	<= -60 dBc, -65 dBc	<= -60 dBc
Konnektör	<-tipi, 75	F – tipi,75
Geri Dönüş Kaybı	> 14 dB 55-900 MHz > 12 dB 20 MHz-1 Ghz	> 14 dB 45-750 MHz >13 dB 750-870 MHz >12 dB 870-1000 MHz

Bu adımlar, HFC sistemlerinde televizyon yayınlarını abonelere ulaştırmak için kullanılan temel işlemleri özetlemektedir.HFC (Hybrid Fiber-Coaxial) sistemlerinde, radyo frekansları (RF) kullanılarak iletişim sağlanır (Şekil 1.16). HFC sistemlerinde yayın, internet ve telefon hizmetleri aynı koaksiyel kablo üzerinden iletilir, bu nedenle farklı frekans bantları bu hizmetler arasında paylaşılır. Ancak, belirli frekans değerleri şebekeye bağlı olarak değişebilir. Aşağıda genel olarak kullanılan frekans aralıkları verilmiştir.

Analog Sistemlerde Gürültünün Etkisi (Kademeli Zayıflayan C/N)



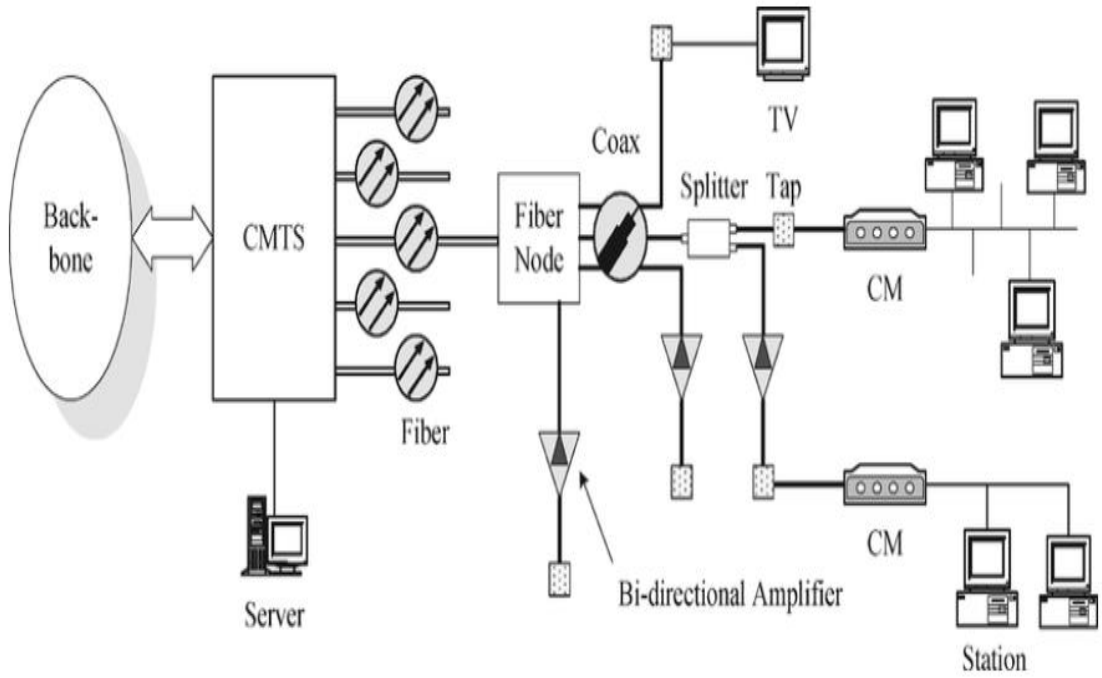
Dijital Sistemlerde Gürültünün Etkisi (Kademeli Zayıflayan MER)



Şekil 1.17. MER değerinin yayınlara etkisi [50]

Analog televizyon yayınları ve kablo TV hizmetleri Genellikle 54 MHz ile 1002 MHz arasında değişen frekans aralığı kullanılır. İnternet frekansları dijital veri iletimi için genellikle 5 MHz ile 1002 MHz arasındaki frekanslar kullanılır.

Yüksek hızlı internet (DOCSIS standartları ile uyumlu) bu frekans aralığında bulunabilir. Telefon hizmeti için kullanılan ses sinyalleri genellikle düşük frekanslar, örneğin 5 MHz ila 200 MHz arasındaki frekanslar kullanılabilir.



Şekil 1.18. TV yayın başlama ve bitiş noktası [51]

Bu frekans aralıkları, genel bir kılavuz olup, spesifik bir HFC ağındaki frekanslar, bant genişlikleri ve modülasyon teknikleri, hizmet sağlayıcılarına ve kullanılan teknolojiye göre değişebilir.

Örneğin, daha yeni DOCSIS sürümleri (Data Over Cable Service Interface Specification) yüksek hızlı internet için daha geniş frekans aralıklarını destekleyebilir. HFC ağlarının tasarımı ve konfigürasyonu, frekans kullanımını belirlemede kritik bir faktördür.

1.21. Fiber Optik İletiminin Değerlendirilmesi

HFC (Hybrid Fiber-Coaxial) sistemler, fiber optik kabloların yüksek bant genişliği avantajını ve koaksiyel kabloların son kullanıcıya ulaşım kolaylığı avantajını birleştiren bir iletişim altyapı sistemidir. Bununla beraber HFC sistemlerinin avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmiştir [43].

HFC sistemleri, fiber optik kablo kullanarak yüksek bant genişliği sağlar. Bu, daha fazla veri ve yüksek hızlı internet hizmetlerini destekleme yeteneği anlamına gelir.

Fiber optik kısımdaki düşük sinyal kaybı, HFC sistemlerinin verileri uzun mesafeler boyunca etkili bir şekilde iletebilmesini sağlar.

Koaksiyel kablolar, evlere ve işyerlerine kadar yaygın olarak kullanılan bir iletişim altyapısıdır. HFC, mevcut koaksiyel altyapıyı kullanarak fiberin avantajlarını genişletir.

HFC sistemi, verileri iki yönlü olarak iletebilir. Bu, interaktif televizyon, internet ve telefon gibi hizmetlerin sağlanmasını mümkün kılar.

Koaksiyel kablolar, dış etkenlere karşı oldukça dayanıklıdır ve dış elektromanyetik girişimlere karşı dirençlidir.

HFC sistemleri, fiber optik ve koaksiyel kabloların bir kombinasyonunu içerir, bu da sistemde karmaşıklığa neden olabilir.

HFC'nin koaksiyel kısmı genellikle downstream (indirme) verileri için daha fazla bant genişliği sağlarken, upstream (yükseğe gönderme) verileri için daha sınırlı bir bant genişliğine sahip olabilir.

Fiber optik altyapının kurulumu ve bakımı maliyetlidir. Ayrıca, mevcut koaksiyel altyapının yükseltilmesi de maliyetli olabilir.

HFC sistemleri, özellikle fiberle evlere (FTTH) geçiş düşünüldüğünde, gelecekteki genişleme ve yükseltmeler için bazı zorluklarla karşılaşabilir.

Yukarıda belirtilen hususlara ilave olarak, sahada aktif malzemelerin bulunması ve bazı metal cihazların oksitlenmesi gibi sebeplerle, iletilen sinyallerin bozulması olasıdır. Bu sebepten dolayı internet hızında yavaşlama, TV kısmında ise mozaiklenme olması mümkündür.

Mevcut sistem, yedekli olarak çalışmıyor ise, sahada bakımların eksik yapılması yada aktif malzemeleri besleyen akülerin bozulması sebebiyle elektrik kesintisinden dolayı abonelerin yayın ve internet trafiğinin kesilmesi ile aboneler mağdur olabilirler.

2. BÖLÜM: CAM ÜZERİNDEN RADYO FREKANSI (RADIO FREQUENCY OVER GLASS, RF) SİSTEMLERİ

2.1. Giriş

RFOG, "Radio Frequency over Glass" ifadesinin kısaltmasıdır. Bu terim, optik fiber altyapısı üzerinden radyo frekansı sinyallerini taşımak için kullanılan bir teknolojiyi ifade eder. RFOG, genellikle kablo TV, internet ve telefon hizmetleri gibi radyo frekansı tabanlı hizmetleri fiber optik altyapıya entegre etmek için kullanılır. RFOG, genellikle kablo TV sinyallerini ve internet hizmetlerini taşımak için kullanılır. Bu, genişbant internet, dijital televizyon yayınları ve benzeri hizmetlerin fiber optik altyapı üzerinden iletilmesini sağlar. Fiber optik altyapının kullanılması, düşük gecikme süreleri sağlar

Bu özellik, özellikle interaktif hizmetler ve canlı yayınlar için önemlidir. Elektromanyetik girişimlere karşı direnç, fiber optik altyapının avantajlarından biridir. RFOG, dış elektromanyetik etkilerden etkilenmeden sinyallerin iletilmesini sağlar. RFOG, geleneksel HFC (Hybrid Fiber-Coaxial) altyapısının fiberleştirilmesi ve güncellenmesi için bir yol sağlar.

Bu teknoloji, daha yüksek bant genişliği, daha iyi performans ve gelecekteki genişleme olanakları gibi avantajlar sunabilir. Çift yönlü data haberleşmesi için kablo iletişim şebekelerinde yaygın olarak DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) kullanılmaktadır. Hem DS yönünde hem de US yönünde RF Modülasyon ile haberleşme gerçekleştirilmektedir. DS yönünde fiziksel FDM, US yönünde hem fiziksel FDM hem de TDMA kullanılmaktadır.

Şebekede aktif cihaz bulunmamakta olup, binalara kadar fiber kablo üzerinden optik transmisyon yapılmaktadır. Binada kurulan RFOG Node ile tüm abonelere koaksiyel kablo üzerinden RF transmisyon yapılmaktadır. 1 ile 128 arası adet RFOG Node bir adet optik verici portunda sonlandırılabilir.

2.2. Kablo Modem Sonlandırma Sistemi (Cable Modem Termination System, CMTS)

CMTS, "Cable Modem Termination System" teriminin kısaltmasıdır. CMTS, kablo modemlerini kablo TV altyapısı üzerinden genişbant internet erişimine bağlamak için kullanılan bir ağ cihazıdır. Bu sistem, kablo modemlerinden gelen verileri alır, IP adresi atar, internet trafiğini yönetir ve genel olarak kablo modemlerinin ağa entegrasyonunu sağlar.

CMTS bazı özellikleri şunlardır:

- CMTS, kablo modemlerinden gelen veri akışını kontrol eder. Bu veri, genellikle kablo TV altyapısını kullanarak evlere genişbant internet erişimi sağlamak amacıyla iletilir.
- CMTS, genellikle DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) protokolünü kullanır. DOCSIS, kablo modemlerinin genişbant veri iletimi için standartlaştırılmış bir protokoldür.
- CMTS, kablo modemlere IP adresleri atar. Her kablo modeme benzersiz bir IP adresi atanır ve bu sayede internete erişim sağlanır.
- CMTS, downstream (aşağı akış) ve upstream (yukarı akış) veri yönetimini sağlar. Downstream, genellikle internetten gelen veri trafiğini ifade ederken, upstream ise kullanıcının internete gönderdiği verileri ifade eder.
- CMTS, ağdaki kullanıcıların genişbant hızlarını ve kapasitesini yönetir. Bu, kullanıcı deneyimini optimize etmek ve ağın performansını sağlamak için önemlidir.
- CMTS, ağ yöneticilerinin cihazın durumunu izlemeleri ve yönetmeleri için SNMP gibi yönetim protokollerini destekler.

CMTS, kablo internet servis sağlayıcıları tarafından kullanılır ve genellikle büyük ölçekli kablo TV ağlarının genişbant internet hizmetlerini sağlamak için kullanılır.

Kablo modemleri, ev veya işyerlerindeki son kullanıcı cihazlarına genişbant internet erişimi sağlamak için CMTS ile birlikte çalışır.

İnternet Servis Sağlayıcılarında GPON teknolojisi keşfedildikten sonra CMTS kullanımı zamanla azalma gösterebilir.



Şekil 2.1. CMTS [52]

2.3. Verici (Transmitter)

47 MHz'den 1218 MHz'e kadar olan sinyalleri destekler. İnternet ve yayın hizmetlerini destekler ve bu yayın frekanslarında kullanılan dalga boyu 1550 nm'dir. Optik sinyal çıkışları +2 dB'den 10 dB'ye kadar mevcuttur. SC-APC Optik Konnectör ile veri iletimi sağlanır.



Şekil 2.2. HDO 922 transmitter kesit görünümü [53]

2.4. Alıcı (Receiver)

Upstream optik (ışık) sinyalini elektrik RF sinyaline çeviren cihazdır. Optik sinyal çıkış gücü -25 dB 'den 5 dB'ye kadar mevcuttur. 1310 nm ve 1610nm dalga boylarında

kullanılan cihazdır. Dijital formatta internet geri yön (upstream) cihazıdır. SC-APC Optik Konnektör ile veri iletimi sağlanır.



Şekil 2.3. Receiver [54]

2.5. Erbiyum Katkılı Fiber Amplifikatör(Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA)

1550 nm dalga boyunu kullanan optik fiber iletişim cihazıdır. Optik çıkış sinyalleri +20 dB kadar mevcuttur. SC-APC Optik Konnektör ile veri iletimi sağlanır.



Şekil 2.4. EDFA cihaz kesit görünümü [55]

2.6. Dalga Boyu Bölme Çoğullama (Wavelength Division Multiplexing, WDM)

Wavelength Division Multiplexing (WDM), Türkçe'de Dalga Boyu Bölme Çoğullama olarak bilinen bir iletişim teknolojisidir. WDM, optik fiber ağlarında aynı fiziksel altyapıyı paylaşan farklı veri sinyallerini bir arada taşıma prensibine dayanır. Bu teknoloji, fiber optik kablolar üzerinde birden fazla dalga boyunu kullanarak aynı anda birden çok sinyali iletmeyi mümkün kılar (Şekil 2.5).

WDM'nin temel amacı, iletim kapasitesini artırmak ve veri iletim hızını yükseltmektir.

WDM'nin temel avantajları şunlardır:

- **Bant Genişliği Artışı:** Birden çok dalga boyunu kullanarak, aynı anda birden çok kanal üzerinden veri iletimi mümkün olur, bu da bant genişliğini artırır.
- **Veri İletim Hızı:** Yüksek kapasiteli DWDM sistemleri, çok yüksek veri iletim hızlarına olanak tanır.
- **Elastik Ağlar:** WDM, esnek ve ölçeklenebilir ağlar oluşturmayı sağlar, çünkü farklı kanallar farklı hızlarda çalışabilir ve ağ kapasitesi zaman içinde kolayca genişletilebilir.
- **WDM, telekomünikasyon altyapıları, veri merkezi bağlantıları ve uzun mesafeli fiber optik iletişim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.**



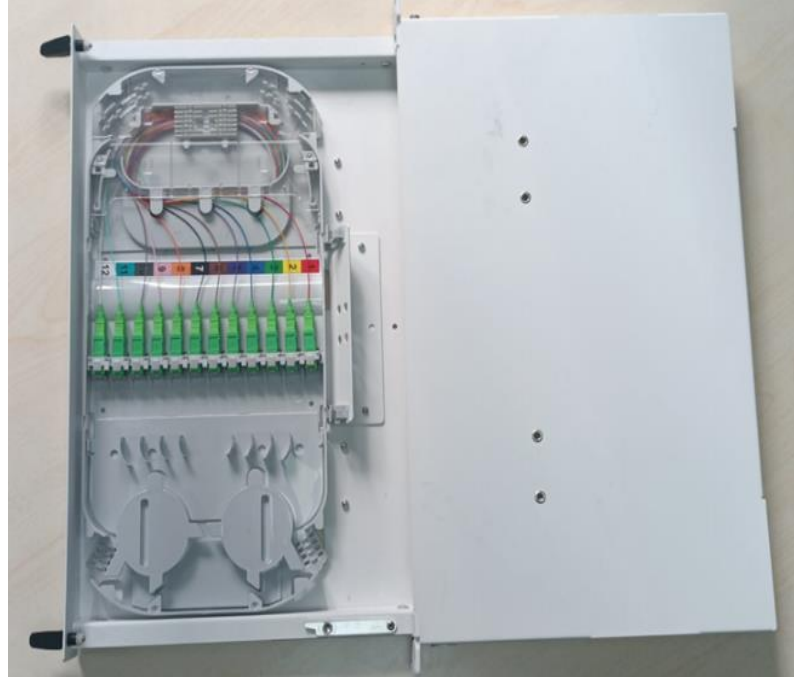
Şekil 2.5. WDM [56]

2.7. Optik Dağıtım Çerçevesi (Optical Distribution Frame, ODF)

ODF, "Optical Distribution Frame" ifadesinin kısaltmasıdır ve Türkçe'de "Optik Dağıtım Çerçevesi" olarak çevrilebilir. ODF, optik fiber iletişim sistemlerinde fiber kabloların dağıtımını, yönetimini ve bağlantısını sağlayan bir donanım çerçevesini ifade eder.

ODF'nin temel görevleri şunlardır:

- Fiber Optik Kabloların Dağıtımı: ODF, gelen fiber optik kabloları belirli bir düzen içinde organize eder ve yönetir.
- Bağlantı Noktası: Farklı fiber optik kabloları veya fiber ekipmanları arasında bağlantı sağlar. Bu, çeşitli ağ cihazlarını birbirine bağlamak veya fiber optik kabloları yönlendirmek için kullanılabilir.
- Yönetim ve Etiketleme: ODF, genellikle her bağlantı noktasının etiketlendiği ve belirli bir düzen içinde düzenlendiği bir yönetim sistemine sahiptir. Bu, bakım ve sorun giderme süreçlerini kolaylaştırır.
- Güvenlik ve Koruma: ODF, fiber optik bağlantıları dış etkenlerden (örneğin, toz veya nem) korur. Ayrıca, fiziksel hasarlara karşı bir koruma sağlar.
- Yedeklilik ve Esneklik: ODF, gerektiğinde fiber optik bağlantıları değiştirmeyi veya eklemeyi kolaylaştıracak şekilde tasarlanmış olabilir.



Şekil 2.6. ODF Örneği

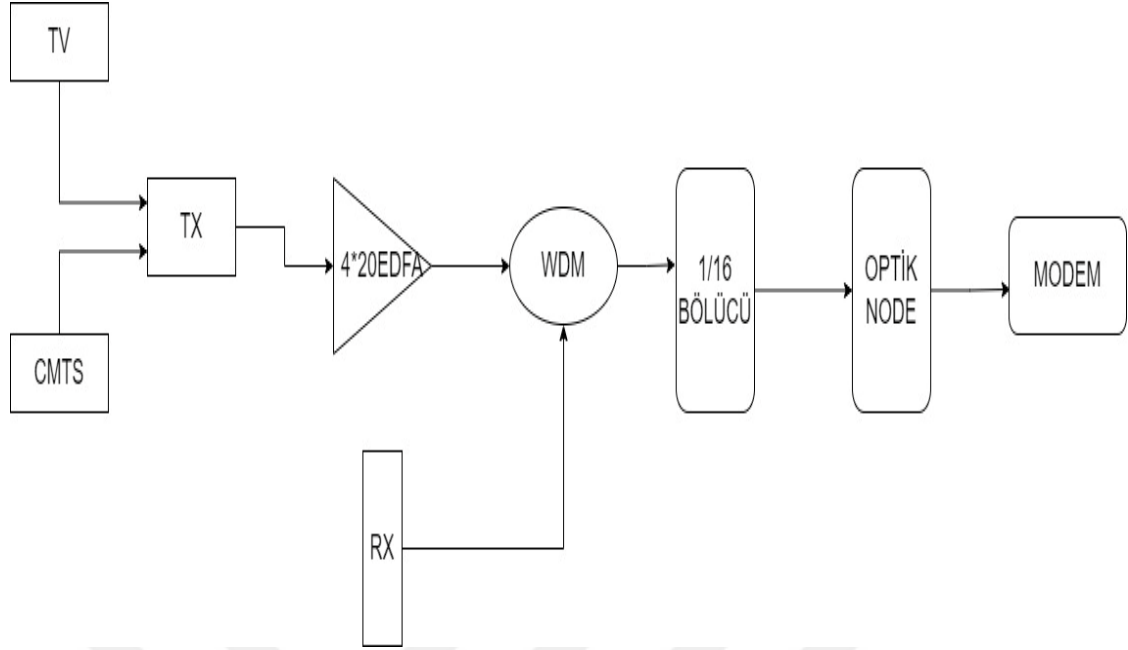
ODF'ler, telekomünikasyon altyapıları, veri merkezleri, kurumsal ağlar ve çeşitli fiber optik iletişim sistemlerinde yaygın olarak kullanılır. Bu çerçeveler, fiber optik bağlantıları düzenlemek, yönetmek ve korumak için önemli bir bileşen olarak görülür. ODF'ler, farklı tiplerde ve boyutlarda olabilir ve kullanım senaryolarına göre çeşitli konfigürasyonlara sahip olabilirler.

2.8. Abone Konnektör- Açılı Fiziksel Kontak (Subscriber Connector Angled Physical Contact, SC-APC)

SC konektörleri, fiber optik iletişim sistemlerinde kullanılan konektörlerden biridir ve genellikle yüksek hızlı iletişim uygulamalarında tercih edilir. APC, optik konektör uçları arasında belirli bir açıdaki teması ifade eder. SC-APC konektörlerinde, konektör uçları APC tipindedir. Bu, yansıyan sinyalleri azaltarak ve geri dönen sinyalleri kontrol ederek daha iyi bir performans sağlar. APC konektörleri genellikle yüksek kaliteli RF bağlantıları ve optik ağlarda kullanılır.



Şekil 2.7. SC-APC optik konektör



Şekil 2.8. RFOG şebekede sinyalin son kullanıcıya kadar iletimi

US kapasitesinde, dört binalı küme yapısı kullanıldığı zaman ortalama 13-60 kat arası, sekiz binalı küme yapısı kullanıldığı zaman ortalama 7-30 kat arası, on altı binalı küme yapısı kullanıldığı zaman ortalama 3-15 kat arası artış sağlanabilmektedir. Benzer şekilde DS kapasitesinde 1 kat ile 52 kat arası artış sağlanabilmektedir.

Fiziksel kapasiteyi hesaplayabilmek amacıyla DS için port başı kanal sayısı 42, US için port başı kanal sayısı 8 kullanılmıştır. RFOG olan mevcut şebekelerde US 1x48MHz OFDM çalıştırılabilir.

Tablo 2.1. CM türü ve kanal sayıları

Docsis	DS Kanal Sayısı (6MHz)	US Kanal Sayısı (6.4MHz)	Modem Başına Verilebilir Maksimum Hızlar (DS/US)
Docsis 2.0	1	1	38Mbps / 28 Mbps
Docsis 3.0	24	8	912 Mbps / 224 Mbps
Docsis 3.1 (QAM)	32	8	1216 Mbps / 224 Mbps
Docsis 3.1 (OFDM)	2	82	2 Gbps / 1 Gbps

2.8. Cam Üzerinden Radyo Frekansı (RF Over Glass, RF) Sisteminin Değerlendirilmesi

RFOG, fiber optik altyapı kullanarak yüksek bant genişliği sağlar. Böylece, daha fazla veri iletimi ve geniş bant hizmetlerinin desteklenmesini mümkün kılar. Fiber optik kabloların dış elektromanyetik girişimlere karşı dirençli olması RFOG sistemlerinin dış kaynaklı elektromanyetik girişimlere karşı korunaklı olmasını sağlar. Dolayısıyla Fiber optik iletim, elektromanyetik dalgalara karşı direnci nedeniyle dışarıdan müdahaleye karşı daha güvenli bir iletim sağlar. Fiber optik altyapı, düşük sinyal kaybı ile verilerin uzun mesafeler boyunca iletilmesine olanak tanır.

Fiber optik kablolar, dış etkenlere karşı dayanıklıdır ve kopma, bükülme gibi durumlara karşı yüksek dirence sahiptirler. Fiber optik altyapı kurulumu maliyetlidir ve ilk şebeke kurulumunda RFOG sistemlerinin başlangıç maliyetinin yüksek olmasına neden olabilir. Fiber optik kablo altyapısının bakımı, hasar gördüğünde onarımı zor ve maliyetli olabilir. RFOG sistemleri, optik altyapıda kullanılan cihazların bazıları için güç bağımlıdır. Kesinti durumlarında güç sağlanması gerekebilir. Mevcut olan bir fiber optik altyapının genişletilmesi ve yükseltilmesi bazen zor olabilir. RFOG sistemleri, koaksiyel kablo alternatiflerine göre daha karmaşık olabilir ve bu da kurulum ve yönetimde ek zorluklar getirebilir [43].

3. BÖLÜM: PASİF OPTİK AĞLAR (PASSIVE OPTIC NETWORK, PON) SİSTEMLERİ

3.1. Giriş

PON, dağıtım ağlarında elektronik sinyal kullanmadan dağıtılan pasif bir ağ olarak adlandırılır. Pasif bir optik ağ (PON), telekomünikasyon servis sağlayıcıları tarafından yaygın olarak kullanılan ve fiber optik kablolarla erişim ağının tamamını veya büyük bölümünü son kullanıcıya fiber üzerinden ulaştıran bir sistemdir. Pasif optik bileşenler, merkez ofis veya santralden aboneye fiber optik kablo aracılığıyla farklı ışık dalga boylarını (yukarı akış için 1310 nm aşağı akış için 1490 nm ve radyo frekansı için 1550 nm.) yönlendirmek için aktif bileşenler yerine erişim ağına yerleştirilir. PON donanımı, santral veya POP merkezlerinde bir optik hat terminalinden meydana gelir. Fiber kablo pasif optik ayırıcıya gider ve sonlanır. Santralde bulunan OLT'den çıkan fiber uç noktada sonlandığı noktada maksimum 64 aboneyi birbirine bağlar. Pasif optik bileşenlerin çalışması için elektrik veya başka herhangi bir sinyal yönlendirme / yeniden oluşturma işlemi gerekmez.

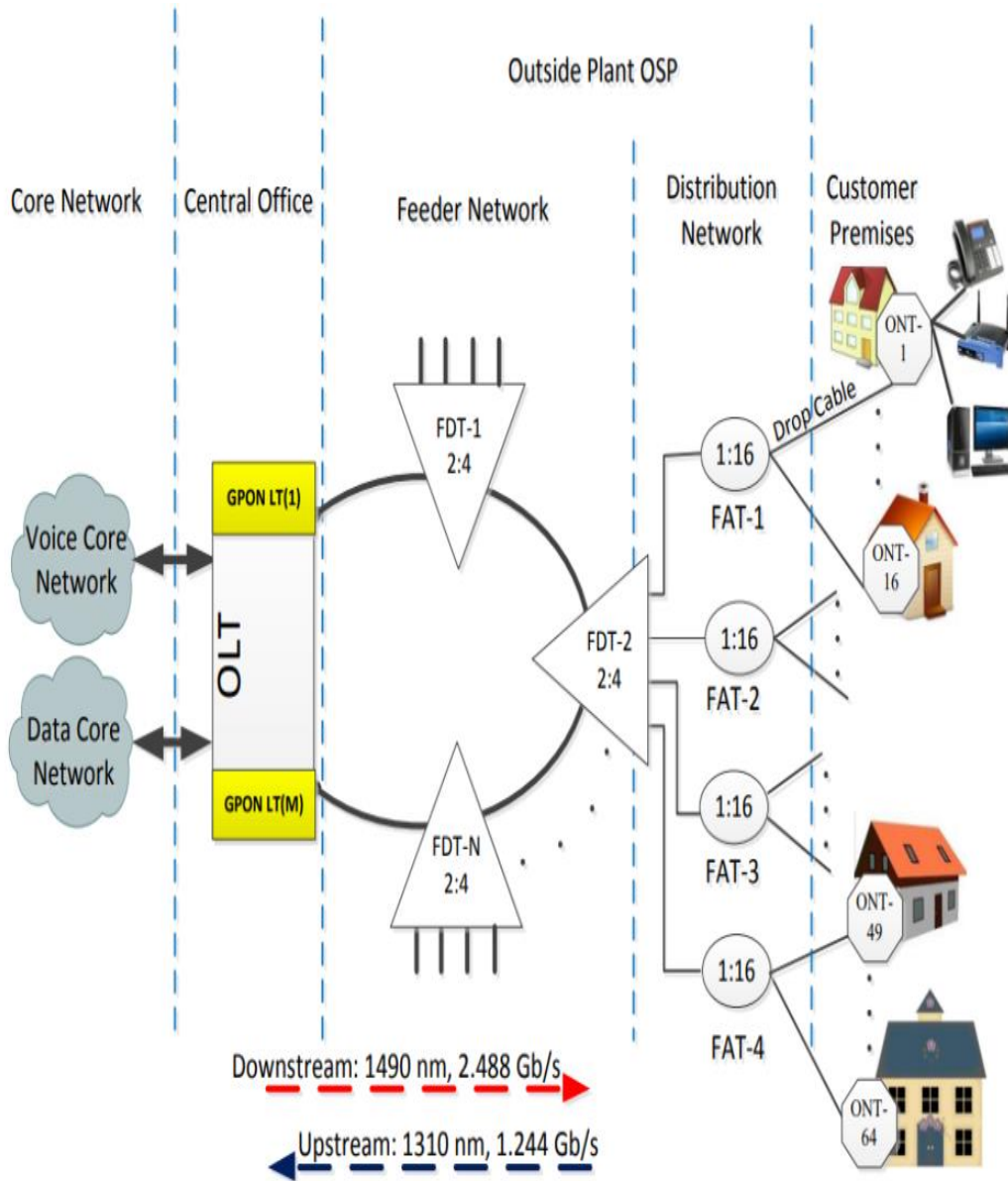
İngiltere'de yapılan bir çalışmaya göre, noktadan noktaya FTTH kurulum maliyeti, popüler bir PON mimarisi olan GPON'un kurulum maliyetinden ortalama olarak %15 daha fazla olmaktadır. Aynı şekilde FTTH mimarileri bakır erişim şebekelerine nazaran işletme maliyetlerinin %70 oranlarda düşmesini sağlamaktadır [57].

Gigabit Pasif Optik Ağlar (GPON), Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından kontrol edilir ve geliştirilir.

Optik fiberli haberleşmede, iletimde ışığın kullanımı dolayısıyla teorik olarak sınırsız bant genişliği sağlanabilmekte olup mevcut durumda ulaşılabilen düzey, altyapının iki ucunda kullanılan ekipmanların kapasiteleri ile sınırlı kalmaktadır [58].

Önümüzdeki on yılda erişim teknolojisindeki eğilimler daha simetrik bant genişliğine doğru yönelim olacaktır. Özellikle son yıllarda evden çalışma ortamları

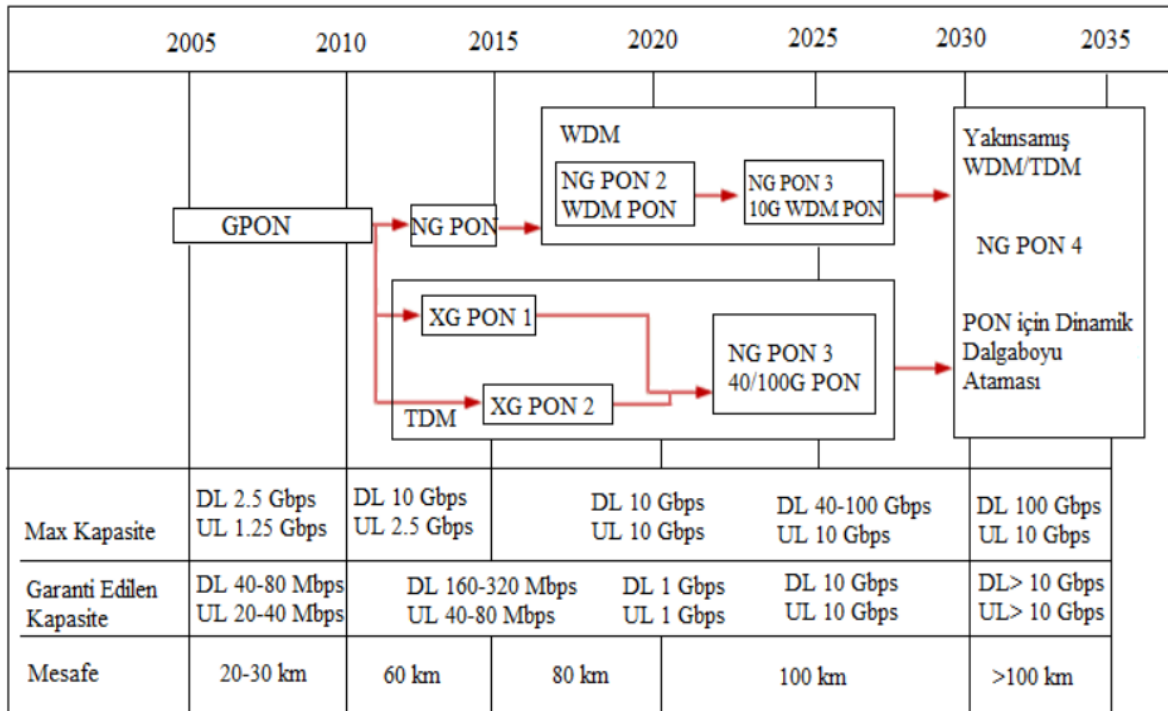
arttıkça multimedya dosya paylaşımı gibi faktörlerle aboneleri yukarı bant genişliğine yöneleceklerdir. İş hizmetleri için sürekli ve simetrik 1 Gb/sn veri hızları gerektirecektir. Küçük işletmeler simetrik bağlantıdan faydalanabilse de genel olarak HDTV ve eğlence hizmetleri için gereken bant genişliği nedeniyle konut uygulamalarında tam bir simetri mimarisi tasavvur etmek zordur. Ayrıca FTTH kullanan aboneler diğer DSL veya kablo sağlayıcılara göre önemli rekabet avantajı PON'un yüksek yukarı akış bit hızıdır. GPON, 1:128 bölme oranına sahip B+ sınıfı optik kullanarak 28dBm optik aparat ile 20 km kadar erişim sağlar. Sahadaki devreleri bölme unsurları max 1:16 ile sınırlandırılarak ve sinyali 60 km'ye iletebilen C+ optikleri kullanılarak 30 km'ye kadar artırılabilir [59].



Şekil 3.1. GPON şebeke sinyal dağıtım şekli [60]

Şekil 3.1, GPON, "Gigabit Passive Optical Network" ifadesinin kısaltmasıdır. GPON, optik fiber altyapısı üzerinden yüksek hızlı internet, telekomünikasyon ve diğer iletişim hizmetlerini sağlamak için kullanılan bir iletişim teknolojisidir. GPON, pasif optik ağlar (PON) kategorisine aittir ve birçok aboneye hizmet sağlamak için tasarlanmıştır. IP temelli, TDMA veri iletim modeli ile çalışan, gelen veri içeriklerini bir düzen içerisinde sıralayarak, tüm kullanıcılara bir algoritma ile gönderip, her kullanıcıdan gelen verileri de alıp, IP omurgasına ileten veri iletim teknolojisidir.

GPON teknolojisi, ITU-T G984 standartlarına uygun olarak geliştirilmiştir. Bu standartlar, GPON'un özelliklerini ve performansını belirler. ITU-T G984 standardında diğer kullanıcıların verilerine erişmesine izin verilmeyen kullanıcıların erişimini engelleyen bir güvenlik mekanizması sunulmaktadır [60].



Şekil 3.2. Yeni nesil GPON çalışmaları [61]

Günümüz operatörleri, telefon hattı tabanlı (ADSL) veya kablolu sistemlerin (CATV) yerini tamamen optik fiberli sistemlerin alması yönünde planlar yapmaktadır. Yeni nesil GPON erişim ağlarının gelecekte planlanan gelişimi Şekil 3.2'de gösterilmiştir [61].

Aşağı yönlü veri akışı, genellikle merkezi ofisten (OLT - Optical Line Terminal) abone noktalarına doğru gerçekleşir. OLT, genişbant internet, televizyon yayınları, IP

telefon hizmetleri gibi çeşitli iletişim servislerini sağlayan merkezi bir kontrol noktasıdır. Aşağı yönlü veri akışı, yüksek hızlarda genişbant veri transferini içerir. Aboneler, bu yönlü veri akışı üzerinden internete erişebilir, televizyon programlarını izleyebilir veya IP tabanlı telefon hizmetlerini kullanabilir.

Yukarı yönlü veri akışı, abone noktalarından merkezi ofise doğru gerçekleşir. Aboneler, bu yönlü veri akışı üzerinden taleplerini, veri transferlerini veya diğer bilgileri gönderebilir. Örneğin, bir kullanıcı web sayfalarını talep ederken veya bir dosyayı gönderirken bu yönlü veri akışı kullanılır. Yukarı yönlü veri akışı, genellikle aşağı yönlü akışa kıyasla daha düşük hızlarda olabilir, çünkü genellikle abonelerin ihtiyaçları daha düşük bant genişliği gerektirir. GPON mimarileri yüksek bant genişliği gerektiren gelecekteki uygulamalar için basit yükseltilebilir bileşenlere sahip olmasından ötürü avantajlıdır [62].

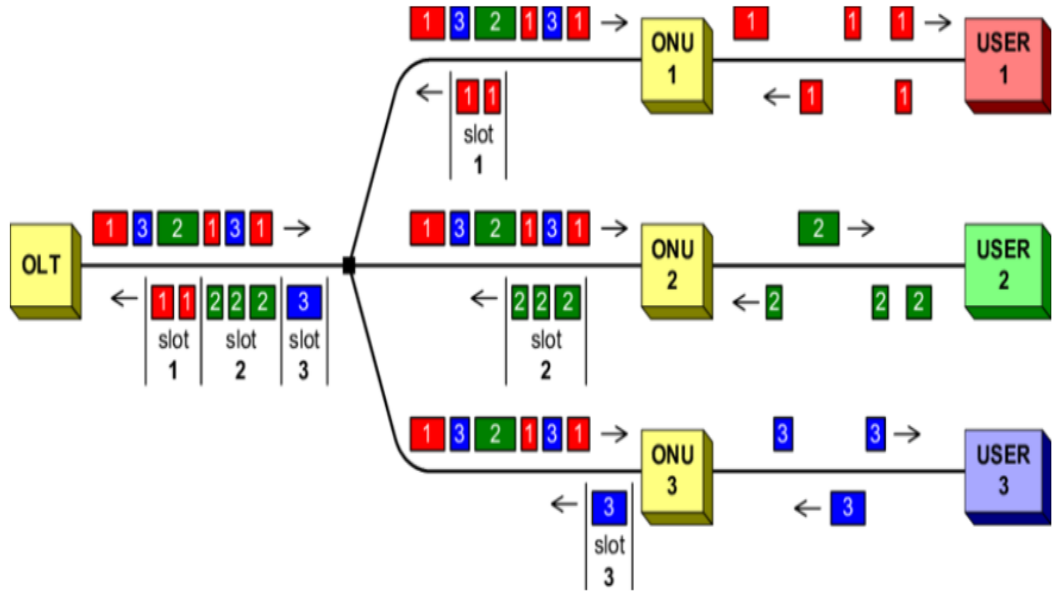
Şekil 3.3 de görüldüğü üzere data akışı downlink yönünde broadcast olarak yapılır. OLT'den çıkan paketler şifrelenmiş şekilde tüm ONT'lere ulaşır. Her ONT kendisine ait olan paketleri şifresiyle çözümleyerek alır. OLT belirtilen filtreleme benzeri süreci elde etmek için paketleri adreslemek amacıyla paket başlıklarını kullanır ve ONT'ler paketleri kabul etmek veya elemek için bu paket adresleme verilerini aramaktadır [63].

Diğer yandan Uplink yönünde ise TDM (Time Division Multiplexing) teknolojisi kullanılır. Buna göre ONT'ler göndermek istedikleri paketleri OLT tarafından kendisine verilen belirli time slot aralığında gönderirler. ONT'ler belirli zaman aralıklarında OLT'ye DBR (Dynamic Bandwidth Request) yani time slot isteğinde bulunur. OLT bu isteğe DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) ile cevap vererek ONT'nin paket gönderme zaman aralığını belirler.

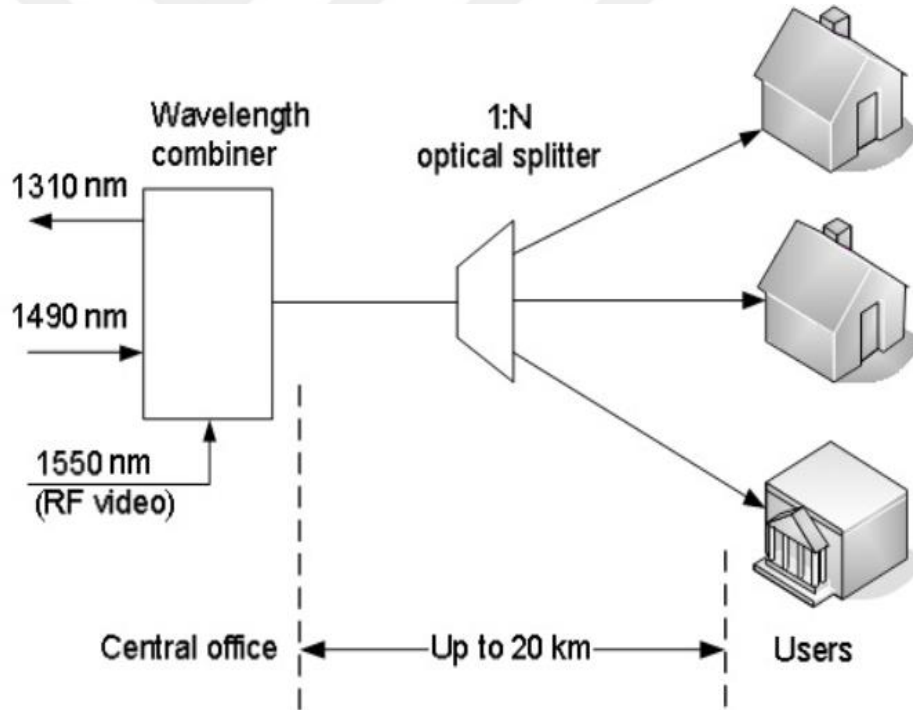
Bir ONT, abonelerdeki farklı veri türlerini, taşıyabilir, toplayabilir ve düzenleyebilir [64].

Trafik akışında OLT GPON'un yöneticisidir. OLT, veri iletimi amacıyla her bir ONT'ye ayrılmış bir zaman aralığı atamaktadır. Burada çarpışmayı önlemek en önemli hususlardan biridir dolayısıyla çarpışmayı önlemek amacıyla zaman aralıkları tam olarak senkronize yapılmalıdır.

ONT'lerin her biri farklı konumlarda kurulduğundan, OLT ve ONT arasındaki optik uzaklığı değerlendirmek amacıyla bir sıralama yöntemi kullanır. Burada uzaklık alma yöntemi çarpışmanın önlenmesini amaçlıdır [59].



Şekil 3.3. OLT çalışma prensibi [65]



Şekil 3.4. GPON mimarisi [66]

GPON Standardı, aşağı ve yukarı yönlü iletim için birçok iletim hızı tanımlamaktadır.

GPON Standardı, aşağı ve yukarı yönlü iletim için birçok iletim hızı tanımlamaktadır.

Tablo 3.1’de iletim hızlarının bir listesi sunulmaktadır.

Tablo 3.1. GPON ana iletim tablosu [66]

İletişim Yönü	Veri İletim Hızı
Aşağı Akım	1244.16 Mbit/s
	2488 Mbit/s
Yukarı Akım	155.52 Mbit/s
	622.08 Mbit/s
	1244.16 Mbit/s
	2488.32 Mbit/s

3.2. Optik Hat Terminali (Optical Line Terminal, OLT)

OLT, "Optical Line Terminal" ifadesinin kısaltmasıdır. OLT, bir pasif optik ağ (PON) sisteminin merkezi noktasını temsil eder. PON yapıları, genellikle telekomünikasyon şirketleri tarafından geniş bant internet, telefon ve televizyon hizmetleri gibi iletişim servislerini abonelere dağıtmak için kullanılır [67].

OLT'nin temel görevleri şunlardır:

- OLT, optik fiber kablolar üzerinden gelen sinyalleri yönetir. Bu sinyaller, genellikle abone noktalarına ulaşan veri, ses ve video gibi çeşitli iletişim servislerini içerir.
- OLT, gelen optik sinyalleri işler, yönlendirir ve belirli abone noktalarına iletimini sağlar. Bu, abonelere hizmetlerin dağıtımını düzenler.
- OLT, ağın merkezi olduğu için downstream (aşağı yönlü, merkezden aboneye) ve upstream (yukarı yönlü, aboneden merkeze) iletimleri kontrol eder. Abonelerden gelen verileri toplar ve merkezi sistemlere yönlendirir.
- PON yapısında kullanılan optik splitter'lar, OLT tarafından yönetilir. Optik splitter'lar, tek bir optik fiberin sinyalini birden çok abone noktasına bölerek pasif bir şekilde veri iletimini sağlar.
- OLT, genellikle ağın merkezi kontrol noktasıdır. Bu, ağ üzerindeki tüm optik ağ cihazlarını (ONU/ONT gibi) yönetir ve koordine eder.
- OLT, ağın toplam veri hızını ve kapasitesini kontrol eder. Yüksek veri hızları ve çoklu hizmetlerin yönetimi OLT'nin görevlerinden biridir.

OLT'nin kullanımı, genellikle telekom operatörlerinin veya servis sağlayıcılarının geniş bant hizmetlerini abonelere ulaştırmak amacıyla tercih ettiği bir iletişim altyapısı olan PON ağlarında yaygındır.



Şekil 3.5. ZTE OLT [67]

Şekil 3.5 da yer alan OLT özellikleri;

- 11U yükseklik
- 486.1 mm x 535 mm x 288.5 mm (H x W x D)
- 22 slot, 17 abone kartı
- 272 adet GPON/XG-PON/XGS-PON portu
- OLT üzerindeki kartlar sol tarafta bulunan ilk kart 1. kart olacak şekilde başlar.
- İlk 1-9 arası ve 12-19 arası kartlar abone kartı, 10 ve 11. kartlar switching ve kontrol kartı olarak kullanılır.
- PON portu (abone portu) sinyal çıkış gücü; +5.5dBm
- Çekilen maksimum güç 1917 W
- Tam dolu bir OLT için soğutma ihtiyacı 6541 BTU
- GPON, XG-PON, XGS-PON erişimini destekler.
- Network slicing (ağ dilimleme) destekler. (OLT üzerinde kullanılmayan kartların başka ISP'lere kiralanmasıdır)
- Kartlar, şekilde gösterilen kulplar çekilerek çıkarılır ve itilerek takılır.



Şekil 3.6. OLT'nin 16 portuk bir kartı [67]

Tablo 3.2. Kart gösterge anlamları

Gösterge	Renk	Açıklama
	Yanmıyor	Kart açık değil
	Yeşil ışık yavaş yanıp sönüyor	Kart düzgün çalışıyor
Run	Yeşil ışık hızlı yanıp sönüyor	Kart başlatılıyor
	Sabit yeşil yanıyor	Kart açık durumda
	Kırmızı ışık hızlı yanıp sönüyor	Kart yazılım başlatma hatası
	Sabit yeşil yanıyor	PON portu düzgün şekilde çalışıyor
	Sabit kırmızı yanıyor	PON portunda fiber sinyal hatası
	Yanmıyor	PON port kapalı durumda

16 adet Any-PON port bulunmaktadır. Kart değiştirilmeden SFP kullanılarak GPON, XG-PON, XGS-PON hizmetlerinin kullanımına olanak sağlar.

Her PON portunda maksimum 128 ONT bağlantısı sağlar. Ağırlığı 1.65 kg ve 40 ° C 65 °C sıcaklık aralığında çalışabilir. (Şekil 3.7)

Tablo 3.3. PON türlerinin karşılaştırılması

	G-PON	XG-PON	XGS-PON
Downlink hızı	2.5 gigabit	10 gigabit	10 gigabit
Uplink hızı	1.25 gigabit	2.5 gigabit	10 gigabit
Upstream yönünde dalga boyu	1310 nm	1260nm-1280nm	1260nm-1280nm
Downstream yönünde dalga boyu	1490 nm	1575nm-1580nm	1575nm-1580nm
En uzak mesafesi	20	40	60

3.3. Optik Ağ Terminali (Optical Network Terminal, ONT)

ONT, "Optical Network Terminal" ifadesinin kısaltmasıdır. ONT, bir pasif optik ağ (PON) sisteminde, abone tarafındaki cihazı ifade eder. Genellikle evlerde veya iş yerlerinde bulunan bu cihaz, optik fiber kablolar aracılığıyla gelen sinyalleri alır ve bilgisayarlar, telefonlar veya televizyonlar gibi farklı cihazlara hizmet sağlar. (Şekil 3.10)

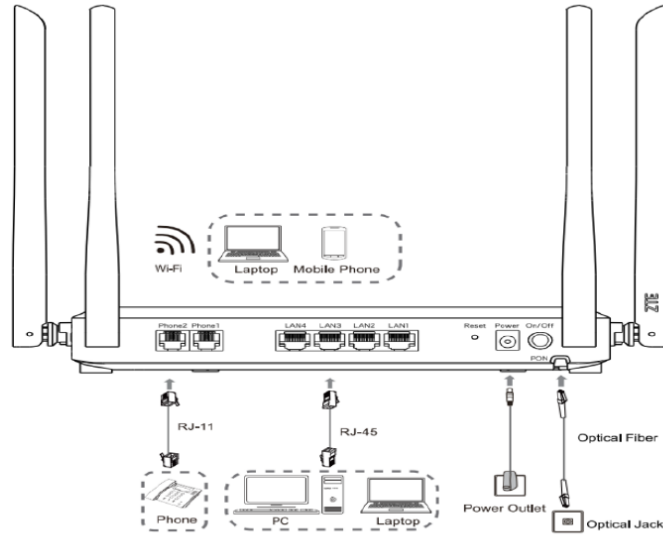
ONT'nin temel görevleri şunlardır:

- ONT, optik fiber kablolar üzerinden gelen optik sinyalleri alır.
- ONT, aldığı optik sinyalleri elektriksel sinyallere dönüştürerek bu sinyalleri abone içinde kullanılabilir hale getirir.
- ONT, genellikle ev veya iş yerindeki farklı cihazlara hizmet sağlar. Bu cihazlar arasında bilgisayarlar, telefonlar, televizyonlar ve diğer internet bağlı cihazlar bulunabilir.
- ONT, geniş bant internet, IP telefon hizmetleri ve televizyon yayınları gibi çeşitli iletişim servislerini sağlayabilir.
- ONT, bir ev veya iş yerinde birden çok cihaza hizmet sağlamak üzere tasarlanmıştır.

Bu nedenle, birçok ONT modeli birden çok Ethernet portu, Wi-Fi yetenekleri ve telefon bağlantı noktaları gibi çeşitli bağlantı seçeneklerine sahiptir.

ONT, genellikle kullanıcı dostu arayüzleri ve kurulumu kolay tasarımlarıyla tanınır.

Fiber optik altyapı kullanılan yerlerde, ONT, internet ve diğer iletişim hizmetlerini ev veya işyerine taşıyan önemli bir bileşendir.



Şekil 3.7. ZTE marka ONT [68]

3.4. Harici Radyo Frekans (Radio frequency, RF)

"Harici RF" ifadesi genellikle radyo frekansı (RF) sinyallerinin bir cihazın dışındaki bir başka cihaza yönlendirilmesini ifade eder. RF, radyo dalgaları veya diğer elektromanyetik dalgalar aracılığıyla veri veya iletişim sinyallerini taşıyan frekans aralığını ifade eder. (Şekil 3.7)



Şekil 3.8. Harici RF

Tablo 3.4. Harici RF çalışma göstegeleri

Gösterge	Renk	Açıklama
Optik	Yeşil	Işık alma gücü +2 -12 dBm aralığındadır.
	Kırmızı	Işık alma gücü -12dBm'den düşüktür.
	Sarı	Işık alma gücü +2 dBm'den yüksektir.
Güç	Yeşil	Cihaz açık
	OFF	Cihaz kapalı

Işık alma gücü 2 dBm'den fazla olduğunda, optiksinyalin çok yüksek olduğunu göstermek için sarı gösterge yanar.

Işık alma gücü 12 dBm'den az olduğunda, optik sinyalinçok düşük olduğunu göstermek için kırmızı gösterge yanar.

Işık alma gücü 2dBm ile 12 dBm aralığındaysa, optik sinyalinnormal şekilde alındığını göstermek için yeşil gösterge yanar.

3.5. GPON EDFA

EDFA, erbium ile doplanmış bir fiber amplifikatördür ve optik sinyalleri güçlendirmek için kullanılır. EDFA, özellikle uzun mesafe optik iletim sistemlerinde veya büyük ağlarda sinyal güçlendirmek için kullanılır. Erbium'un optik sinyalleri güçlendirme özelliği, optik sinyallerin zayıflamasını telafi eder ve iletim mesafesini artırır. Sinyal amplifikasyonu için EDFA, daha önce sinyalin regenerasyonu gerektiren optik ağlarda önemli bir gelişmedir.

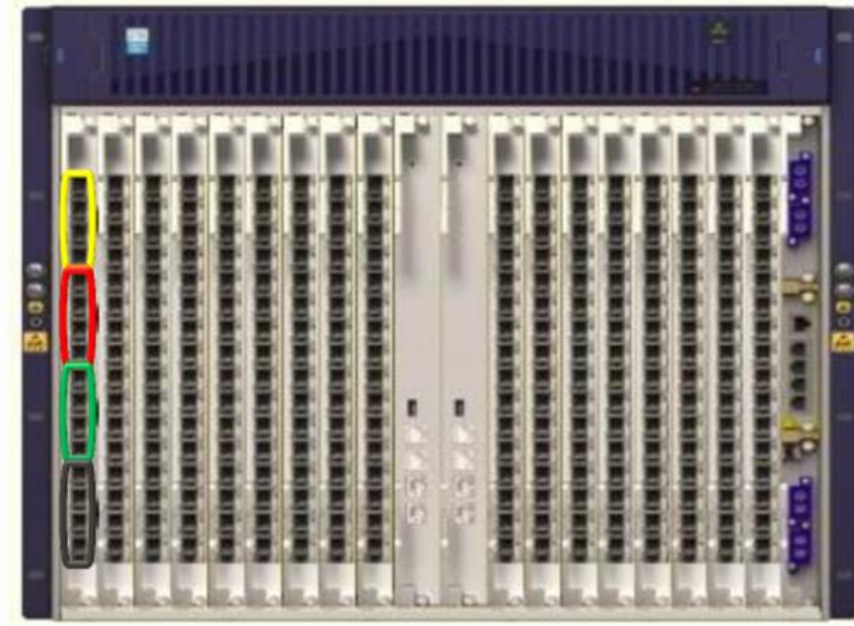
GPON ve EDFA kurulumu aşağıdaki gibidir.

- GPON ve EDFA, genellikle aynı ağ sistemlerinde birlikte kullanılır. GPON, veri iletimini sağlar, ancak sinyallerin belirli uzaklıklarda zayıflanması kaçınılmazdır.
- Bu zayıflama durumu, EDFA'nın devreye girmesiyle aşılabileceği için, EDFA genellikle GPON ağlarında sinyal güçlendirme için kullanılır.
- GPON ağından gelen optik sinyaller, EDFA ile güçlendirilerek daha uzun mesafelere iletilir ve ağın genel performansı artırılır.

Bu iki teknoloji, genellikle yüksek performanslı ve geniş kapsamlı optik ağlarda bir arada kullanılarak, genişbant hizmetlerin etkili bir şekilde sağlanmasına yardımcı olurlar.



Şekil 3.9. GPON EDFA [69]



Şekil 3.10. OLT [67]

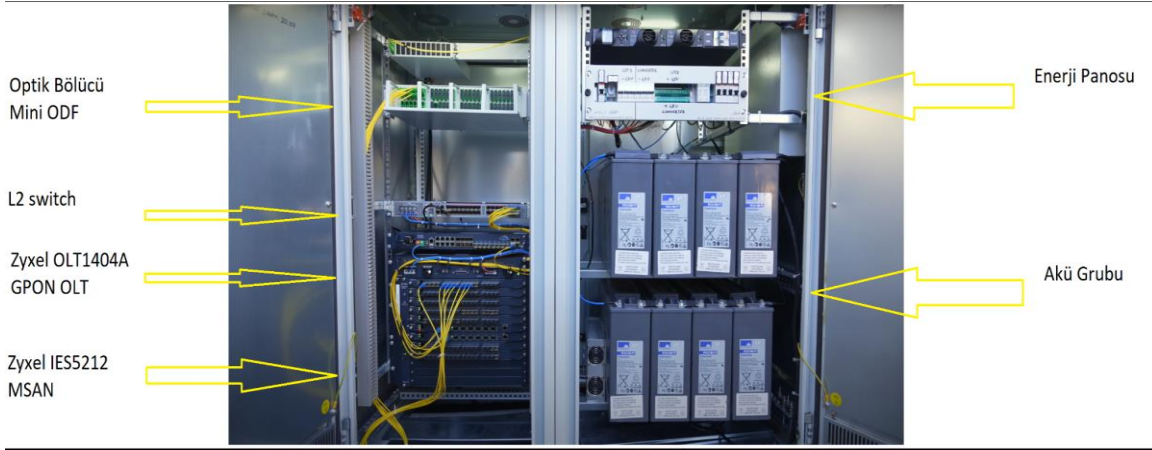
OLT'nin 1. kartının ilk 4 portundan yukarıdan aşağıya 1-2-3-4 olacak şekilde gelen kablolar EDFA'nın sarı renkle ile gösterilen portlarına yukarıdan aşağıya 1-2-3-4 olacak şekilde takılır. OLT'nin 1. kartının 5-8 arası portlarından yukarıdan aşağıya 5-6-7-8 olacak şekilde gelen kablolar EDFA'nın kırmızı renkle işaretlenmiş portlarına yukarıdan aşağıya 1-2-3-4 olacak şekilde takılır. OLT'nin 1. kartının 9-12 arası portlarından yukarıdan aşağıya 9-10-11-12 olacak şekilde gelen kablolar EDFA'nın yeşil renkle işaretlenmiş portlarına yukarıdan aşağıya 1-2-3-4 olacak şekilde takılır.

OLT'nin 1. kartının 13-16 arası portlarından yukarıdan aşağıya 13-14-15-16 olacak şekilde gelen kablolar EDFA'nın gri renkle işaretlenmiş portlarına yukarıdan aşağıya 1-2-3-4 olacak şekilde takılır. 2,3 ve 4. kartlardan gelen kablolar da aynı sistemle EDFA'da bulunan bir sonraki dörtlü grublara takılır. Bir sonraki EDFA için yine aynı sistem takip edilerek 5,6,7 ve 8. kartlardan gelen kablolar takılır.

3.6. Optik Hat Terminali'nin Kurulabileceği Yerler



Şekil 3.11. Veri merkezi görseli [70]



Şekil 3.12. Saha dolabı görseli [71]

Anaheadend veya subheadend tipinde kendi enerji yedeklemesi ve klima tipi soğutma sistemine sahip olan sistem salonlarına (Şekil 3.14), Outdoor saha dolapları içerisine, saha dolabının içerisi isteğe göre tasarlanabilmektedir Soğutma ve akü yedekliliği ile düzenlemeler yapılabilmektedir (Şekil 3.15).

3.7. Yönlendirici (Router)

Router, bir bilgisayar ağı içinde veri paketlerini ileten veya yönlendiren bir ağı cihazıdır. Bu cihazlar, bir ağıdaki farklı alt ağlar arasında veri iletimini sağlamak, farklı ağı protokollerini birbirine bağlamak ve ağı trafiğini etkili bir şekilde yönetmek için kullanılır.

Router'ın temel özellikleri:

- Router, gelen veri paketlerini alır ve belirli bir hedefe yönlendirir. Bu yönlendirme, genellikle cihazın dahili tablolarına dayanır, bu tablolar ağı topolojisi ve cihazın konfigürasyonuna bağlı olarak değişebilir.

- Router, farklı IP ağları arasında iletişimi sağlar. İki farklı IP ağı arasındaki veri trafiğini yönlendirerek ağlar arasında iletişim kurulmasını mümkün kılar.

- Gelen veri paketlerini inceleyerek, hedef IP adresine göre doğru yolu belirler ve paketi bu yönde ileterek hedefe ulaşmasını sağlar.

- Router, birden fazla cihazın aynı internet bağlantısını paylaşmasını sağlar. Network Address Translation (NAT) gibi tekniklerle, özel IP adresleri içeren bir iç ağı, tek bir genel IP adresi üzerinden dış dünyaya bağlanabilir.

- Router, ağı güvenliği için önemli bir rol oynar. Güvenlik duvarı (firewall) ve ağı trafiği filtreleme gibi özelliklerle, istenmeyen trafiği engelleyebilir ve ağıdaki güvenlik açıklarını kapatır.

- Farklı ağı protokollerini birbirine dönüştürerek uyumsuz ağlar arasında iletişimi sağlar. Örneğin, IPv4 ve IPv6 arasında protokol dönüşümü gerçekleştirebilir.

- Router, birden çok bağlantı noktası veya yol arasında trafik yükünü dengeleyebilir. Bu, ağıda eşit bir yük dağılımı sağlar ve performansı artırabilir.

Router'lar, genellikle ev ağlarından büyük kurumsal ağlara kadar çeşitli ölçeklerde kullanılır. İnternet erişimi, ağı güvenliği ve trafik yönetimi gibi çeşitli işlevleri yerine getirirler.



Şekil 3.13. Huawei marka router [72]

3.8. Derin Paket İnceleme (Deep Packet Inspection, DPI)

DPI (Derin Paket İnceleme) cihazı, ağ trafiğini detaylı bir şekilde analiz etmek ve paket seviyesinde içeriği anlamak için kullanılan bir tür ağ güvenlik ve yönetim cihazıdır. DPI cihazları, ağ üzerindeki veri paketlerini derinlemesine inceleyebilir, protokollerini tanımlayabilir ve içeriklerini anlayabilir. Bu, çeşitli güvenlik uygulamaları, ağ performans izleme, kalite kontrol ve kullanım politikalarını uygulama gibi çeşitli amaçlar için kullanılabilir.

DPI cihazları genellikle şu özelliklere sahiptir:

- **Protokol Tanıma:** DPI cihazları, ağ üzerindeki trafiği belirli iletişim protokollerine göre sınıflandırabilir. Bu, HTTP, HTTPS, FTP, DNS gibi protokollerin tanımlanması anlamına gelir.
- **Uygulama Katmanı İnceleme:** İçerik derinliği sayesinde, cihazlar ağ trafiğini uygulama katmanında anlayabilir. Örneğin, web sayfalarının içeriği, e-posta iletileri veya dosya indirme işlemleri gibi.
- **Güvenlik Analizi:** DPI cihazları, zararlı yazılımları veya istenmeyen içerikleri tanımlayabilir. Bu, ağ güvenliği açısından önemli bir özelliktir.

- Trafik Yönetimi ve Şekillendirme: Ağ trafiğini belirli kriterlere göre yönetmek için kullanılabilir. Bu, bant genişliği sınırlamalarını uygulama, belirli uygulamalara öncelik verme veya belirli içeriklere erişimi kısıtlama gibi uygulamalara olanak tanır.

- Ağ Performans İzleme: DPI cihazları, ağ performansını değerlendirebilir ve ağ üzerindeki engelleri tanımlayabilir.

- Kullanıcı ve Uygulama Bazlı Kontrol: Kullanıcıları ve uygulamaları tanımlayarak, belirli kullanıcı gruplarına veya uygulamalara özel politikalar uygulamak mümkündür.

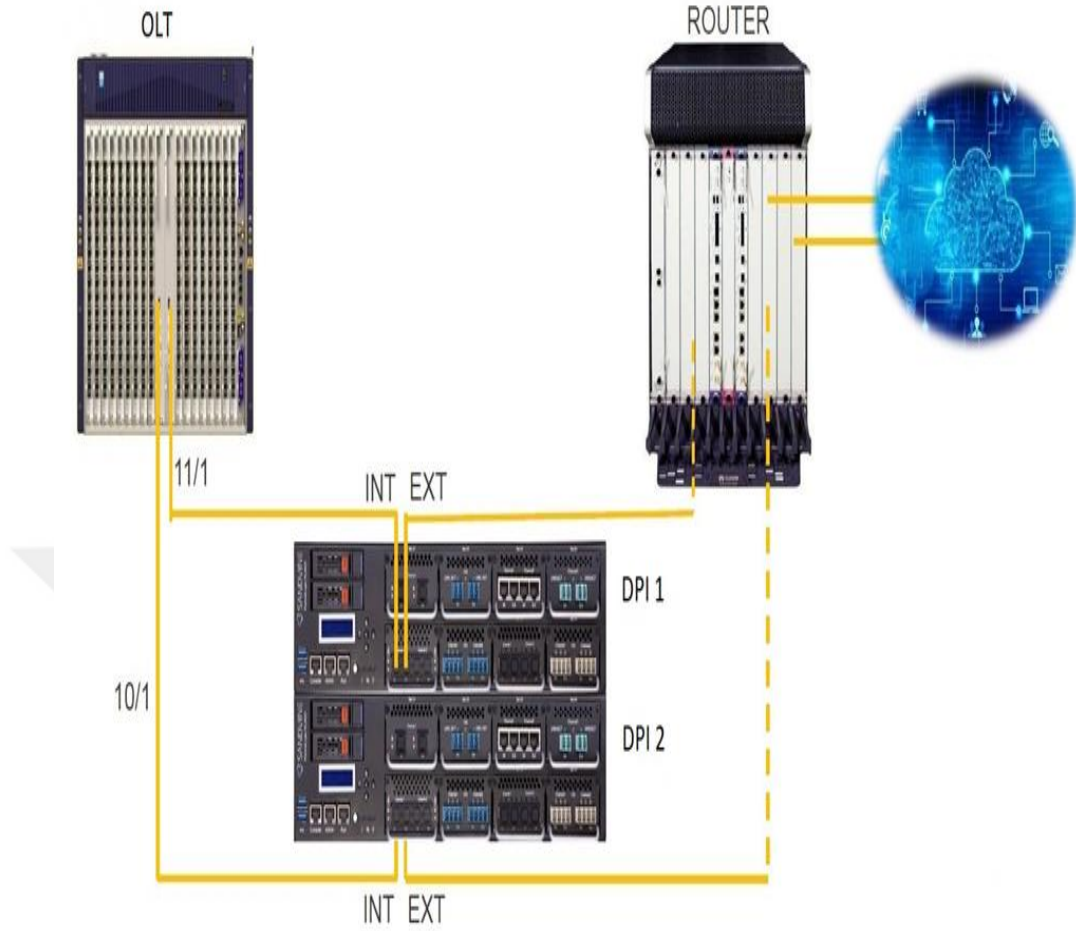
DPI cihazları, ağ yönetimi ve güvenliği konularında önemli bir rol oynar. Ancak, bu tür cihazların kullanımı, gizlilik ve ağ tarafsızlığı gibi konularda dikkatli bir şekilde ele alınmalıdır. Ayrıca, yerel yasal düzenlemelere ve gizlilik politikalarına uygun olarak kullanılmalıdır.



Şekil 3.14. DPI [73]

3.9. Optik Hat Terminalinin Bağlantı Şematiği

Şekil 3.18’ de, fiber optik altyapı üzerinden gelen optik sinyaller, OLT tarafından işlenir ve elektriksel sinyallere dönüştürülür. Daha sonra, bu elektriksel sinyaller Router'a yönlendirilir. Router, ağ trafiğini yönetir ve gerekirse Deep Packet Inspection (DPI) teknolojisi kullanılarak paket içeriğini inceleyebilir. Bu şekilde, ağ üzerindeki trafiği optimize etmek, güvenlik politikalarını uygulamak ve geniş bant hizmetlerini yönetmek mümkün olur.



Şekil 3.15. OLT bağlantı şematığı

Merkez ofis ile aboneler arasındaki veri iletişimi pasif optik ayraçlar ve optik fiberler ile sağlanır [74].

GPON sistemlerinde ağ üzerinde hiçbir elektrik veya yedek güç kaynağı bulunmaz.

Bu sebeple güç kaynaklarına dayalı herhangi bir tehlike oluşmamaktadır. Güç kaynaklarının neden olduğu hiçbir dış gürültü yoktur [50].

3.9. Pasif Optik Ağ Sisteminin Değerlendirilmesi

GPON, gigabit hızlarına kadar yüksek bant genişliği sağlar, bu da hızlı veri iletimi ve geniş bant hizmetleri sunabilme anlamına gelir [50]. Fiber optik kablolar, düşük sinyal kaybı ile verilerin uzun mesafeler boyunca iletilmesine olanak tanır.

GPON, fiber optik kabloları paylaşan çoklu kullanıcıları destekler. Böylece, altyapıyı daha etkili bir şekilde kullanmayı sağlar.

GPON, simetrik ve asimetrik hız seçeneklerini destekleyerek farklı kullanıcı ihtiyaçlarına (Çağrı merkezi, yayın yapan oyun kullanıcıları vb.) uygun çözümler sunabilmektedir.

Fiber optik iletim, elektromanyetik dalgalara karşı direnci nedeniyle dışarıdan müdahaleye karşı daha güvenli bir iletim sağlar. Pasif optik ağ (PON) yapısı, enerji tasarruflu bir altyapı sağlar.

GPON altyapısı kurulumu maliyetlidir. Fiber optik altyapının döşenmesi, ekipmanların alınması ve konfigürasyonu gibi unsurlar yüksek maliyetlere neden olabilir. Mevcut olan altyapıya fiber optik kablo eklenmesi ve entegrasyonu bazen karmaşık olabilir. Fiber optik kabloların bakımı, hasar gördüğünde onarımı zor ve maliyetli olabilir.

GPON ağları, koaksiyel kablolar gibi diğer iletişim teknolojilerine göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Altyapıda yaşanan bir kesinti durumunda onarım işlemleri daha uzun sürebilir. GPON altyapısını genişletmek veya yükseltmek bazen zor olabilir.

4. BÖLÜM: HFC ve RFOG ŞEBEKEDEN GPON ŞEBEKEYE

DÖNÜŞÜM

4.1. HFC ve RFOG Şebekeden GPON Şebekeye Dönüşüm

RFOG (RF over Glass) ve GPON (Gigabit Passive Optical Network) farklı optik ağ teknolojileridir. RFOG, radyo frekansı sinyallerini optik fiberle taşıyan bir teknolojiyken, GPON, pasif optik bir ağ teknolojisidir ve genellikle genişbant internet, telefon ve televizyon hizmetlerini abonelere ulaştırmak için kullanılır. Bir projenin RFOG'dan GPON'a dönüştürülmesi, genellikle aşağıdaki adımları içerir:

4.2. İhtiyaç Analizi ve Planlama

Mevcut RFOG altyapısının neden GPON'a dönüştürülmesi gerektiğini değerlendirin. İhtiyaç analizi yaparak, GPON'un sağladığı avantajları ve projenin gereksinimlerini belirleyin. Bu aşamada, mevcut donanımın ve ağ konfigürasyonunun gözden geçirilmesi önemlidir.

4.2.1. Altyapı Değerlendirmesi

Mevcut fiber altyapısını gözden geçirin ve GPON altyapısına uygun olup olmadığını değerlendirin. GPON, özel bir OLT (Optical Line Terminal) cihazı ve ONT (Optical Network Terminal) cihazları gerektirir. Mevcut ekipmanların uyumluluğu kontrol edilmelidir.

4.2.2. Ekipman Seçimi

GPON projeye geçiş yapılırken, uygun OLT ve ONT ekipmanlarını seçmek önemlidir. Bu ekipmanların kapasitesi, performansı, ölçeklenebilirliği ve özellikleri dikkate alınmalıdır.

4.2.3. Konfigürasyon ve Yapılandırma

Yeni GPON ekipmanları kurulduktan sonra, ağın doğru bir şekilde yapılandırılması gerekmektedir. Bu, OLT ve ONT cihazlarının doğru şekilde yapılandırılmasını, IP adreslerinin atanmasını, hizmet profillerinin oluşturulmasını içerir.

4.2.4. Test ve Doğrulama

Yeni GPON altyapısı kurulduktan sonra, sistem test edilmeli ve doğrulanmalıdır. Bu, ağın düzgün çalıştığından ve hizmetlerin beklenen performansı sağladığından emin olmak için yapılan bir süreçtir.

4.2.5. Abonelerin Geçişi

Abonelerin mevcut RFOG altyapısından GPON'a geçişi yönetilmelidir. Bu süreçte, abonelerin hizmet kesintisi yaşamaması için planlama yapılmalıdır.

4.2.6. Eğitim ve Dokümantasyon

Yeni GPON altyapısının kullanımıyla ilgili personel eğitilmeli ve kullanım kılavuzları veya dokümantasyon sağlanmalıdır.

4.2.7. Sorun Giderme ve Destek

Yeni GPON altyapısının devreye alınmasından sonra sürekli olarak ağın performansı ve güvenilirliği izlenmeli, olası sorunlara karşı hızlı bir şekilde müdahale edilmelidir.

—	12 FO/Y
—	24 FO/Y
—	48 FO/Y
—	72 FO/Y
—	96 FO/Y
—	144 FO/Y
—	216 FO/Y
—	288 FO/Y
—	432 FO/Y

Şekil 4.1. Fiber kablo tabaka (Layer) renklendirme

Bu adımlar, RFOG'dan GPON'a geçişin genel bir çerçevesini oluşturur. Ancak, projenin özelliklerine ve gereksinimlerine bağlı olarak daha fazla detay eklenmesi gerekebilir.

Şekil 4.2.'de yer alan kablo kesitlerinin proje üzerinde daha kolay incelenebilmesi için renklendirme işlemi yapılmıştır.



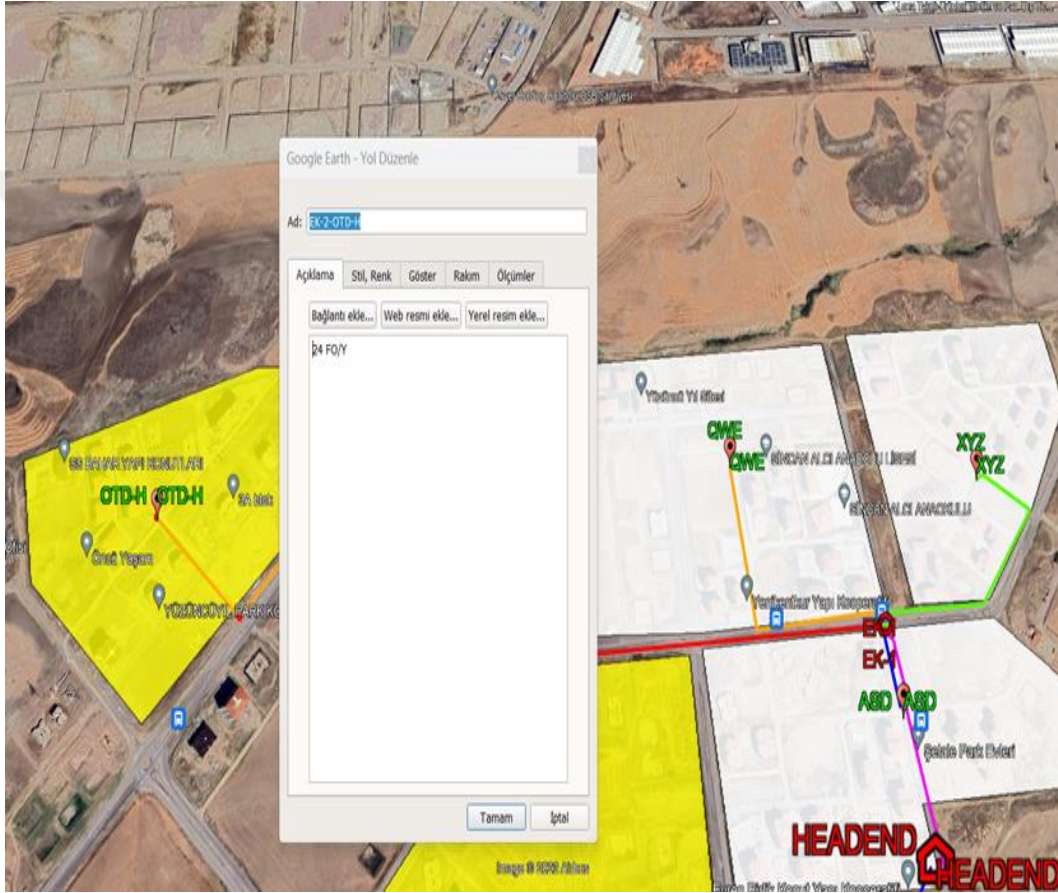
Şekil 4.2. Sanal KMZ örneği ve metrik değerler özet görseli

KMZ Çiziminde; Örnek çizimdeki sembol ve renklendirmeler kullanılacaktır. Çizilen ana dağıtım fiber kablolarının adı kısmına başlangıç bitiş noktaları olacak şekilde, açıklama kısmına kablo cinsi yazılarak renklendirme ise Şekil 4.2 ve Şekil 4.3' te belirtilmiştir.

Ana dağıtım Fiber kablo çizimleri saha dolaplarına kadar yapılacaktır. Saha dolaplarından binalara giden fiber optik kabloların çizilmesine gerek duyulmamaktadır. Saha dolaplarında kullanılacak sembol örnek çizimde gösterilmiştir. Saha dolabının sınırları çizilecektir. Çizilecek sınırların dış çizgisi siyahla belirtilecek olup, kullanılan saha tiplerine göre dolgu renkleri (Dış kalınlık : 2,0 – Alan Dolgu Saydamlık : %55-60) şöyledir;

- HFC Saha için Beyaz Alan Dolgu Rengi
- RFOG Saha için Sarı Alan Dolgu Rengi
- GPON Saha için Yeşil Alan Dolgu Rengi

Ana dağıtım fiber kabloların çizimi yapılırken başlangıç-bitiş noktaları ad kısmında yazılmalı ve açıklama kısmında ise kablo tipi belirtilmelidir.



Şekil 4.3. Sanal KMZ örneği isimlendirme görseli

Şekil 4.3.'te HFC ve RFOG şebekeden GPON şebekeye nasıl dönüşüm yapılacağı konusunda örnek Google Earth üzerinden alınan bir senaryo sunulmuştur. Şekil 4.4.'te ise kullanılan kablo metrajı, kablo kesiti, kablo ek miktarları, kablo ek sayıları ve ek noktaları gösterilmektedir.



Şekil 4.4.'te yukarıda verilen örnek senaryo için kablo ek noktalarının ve başlangıç bitiş değerlerinin konumu verilmiştir. Şekil 5.5'te ise verilen senaryo için kullanılan sembolik ikonlar açıklanmıştır.

BTK verilerine göre 2018-2022 yılları arasında fiber abone sayısı %104 artarken fiber altyapı uzunluğundaki artış %45,7 olmuştur [75].

4.3. Fiber Dönüşüm Projelerinin Değerlendirilmesi

Fiber Dönüşüm projeleri oldukça maliyetli projelerdir. Mevcut projeler yeniden gözden geçirilerek kablo kesidi değiştirilir. Kablo çekim esnasında kullanılmış olan hatlarda tıkanma ve göçük meydana gelmiş olabilir. Bu ve benzeri düzeltmeler zaman almaktadır.

Fiber dönüşüm projeleri gerçekleştiğinde son kullanıcıların, kullanmış oldukları bazı cihazlar değişebilmektedir. Dönüşümün gerçekleştiği anda sinyal kesintilerin olmaması için sahada bulunan ekiplerin sayılarının artması ve yeni proje hakkında bilgilendirilmesinin yapılması gerekmektedir. Son kullanıcılardan alınan randevu sonucu, son kontroller yapılarak işlem tamamlanmaktadır [59].

Fiber altyapı, katma değerli hızlı internet erişimi sağlayarak kullanıcı deneyimini artırır [66].

5. BÖLÜM: SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında kablolu iletim için birçok ülkede kullanılmakta olan üç farklı proje tipi incelenmiştir. Bunlar HFC, RFOG ve GPON internet veri paylaşım yöntemleridir. Yüksek hızlı internet veri paketi paylaşımları, özellikle oyun hızlarındaki duraklamaları en aza indirmek için aynı zamanda kapasite ve internet hızını artırmakta da son teknoloji olarak geliştirilen GPON teknolojisini kullanmaktadır. ISS (Internet Servis Sağlayıcı)'lerin kampanya hız tarife ücretlerine bakıldığında GPON alt yapısını destekleyen projelerin hizmete sunulduğu son kullanıcılarda, 1Gbps'a kadar hız sağlanabileceği paketlerde gösterilmiştir.

RFOG şebekelerde kullanılan *docsis* modemleri 1Gbps veri hızını destekler niteliktedir fakat bu şebekelerin yerine GPON teknolojisinin seçilme sebebi temelde veri dalgalanması olmaması ve sahada aktif malzeme bulunmaması nedeniyledir.

Tez çalışmasında HFC ve RFOG sistemlerde kullanılan malzeme yapıları, head end ile başlayıp sahaya kadar olan süreçte, iletilen sinyallerin hangi aşamalardan geçtiği ve süreç mimarisini kullanılan cihazları da içerecek şekilde sistem mimarisi anlatılmıştır. HFC ve RFOG şebekeden GPON şebekeye nasıl dönüşüm yapılacağı açıklanarak, örnek Google Earth üzerinden alınan bir senaryo ile kablo metrajı, kablo kesiti, kablo ek miktarları, kablo ek sayıları ve ek noktaları senaryoda işlenmiş ve proje bileşenlerine ait açıklamalar sunulmuştur. Bu örnek senaryo göstermektedir ki GPON hizmeti, internet hızını artırmakta, kesintisiz ve güvenilir bir veri iletimi sunmaktadır.

Ayrıca, avantaj ve dezavantaj açısından incelendiğinde, bakır şebekelerin maliyeti fiber şebekeye göre daha yüksektir. Bakım maliyetinin de artış göstermesi nedeniyle internet altyapısında fiber şebekenin kullanımı yüksek avantaj sunmaktadır. Kapasite ve veri indirme hızının bakır şebeke kullanan sistemlere göre daha yüksek olması sebebiyle, GPON teknolojisi kullanan ISS lerin son kullanıcı arıza oranlarının daha düşük olacağı öngörülmektedir. Ülkemizde bu teknoloji son yıllarda hızlı bir şekilde kullanıma alınmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Holzmann, G.J., B. Pehrson, 2003. The Early History of Data Networks. Wiley Hoboken NJ, 291 pp.
2. Koenig, D., 1944. Telegraphs and Telegrams in Revolutionary France, Scientific Monthly, 431 pp.
3. Jones, A., 1852. Historical Sketch of the Electrical Telegraph, Putnam, New York, 208.
4. Bell, A. G., 1876. U.S. Patent 174 465, 1876.
5. Maiman, T. H. 1960. Nature 187 493, 1960.
6. Pratt, W. K., 1969. Laser Communication Systems, Wiley, New York, 296 pp.
7. Miller, S. E., 1966. Sei. Am. 214 (1), 1966.
8. Kao K. C., Hockham, G. A., 1966. Dielectric-Fibre Surface Waveguides For Optical frequencies. **Proceedings IEE**, **133**(7) 1151-1158.
9. Kapron, F. P., Keck, D. B., Maurer, R. D., 1970. Radiation Losses in Glass Optical Waveguides. **Applied Physics Letters**, **17**, 423-425.
10. Hayashi, I., Panish, M.B., Foy, P.W., & Sumski, S., 1970. Junction Lasers Which Operate Continuously At Room Temperature. **Applied Physics Letters**, **17**, 109-111.
11. Willner, A. E., ve ark., 2000. Reconfigurable optical packet header recognition and routing using time-to-wavelength mapping and tunable fiber Bragg gratings for correlation decoding, **IEEE Photonics Technology Letters**, **(12)**5: 552-554.
12. Gnauck, A. H., Tkach, R. W., Chraplyvy, A. R., Li, T., 2008. High-capacity optical transmission systems, **Journal of Lightwave Technology**, **(26)** 9: 1032–1045
13. Kogelnik, H., 2000. High-capacity optical communications: personal recollections, **IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics**, **(6)** 6: 1279-1286.
14. Sanferrare, R. J., 1987. Terrestrial Lightwave Systems., **AT&T Technical Journal**, **66** (1), 95–107.
15. Gloge, D., Albanese, A., Burrus, C. A., Chinnock, E. L., Copeland, J. A., Dentai, A. G., Lee, T. P., Li, T., Ogawa, K., 1980. High-Speed Digital Lightwave Communication Using LEDs and PIN Photodiodes at 1.3 μm , **Bell System Technical Journal**, **(59)** 8:1365-1382

16. Yamada, J. I., Machida, S., Kimura, T., 1981. 2 Gbit/S Optical Transmission Experiments At 1.3 mm with 44 km Single-Mode Fibre, **Electronics Letters** (17) 13: 479-480.
17. Miya, T., Terunuma, Y., Hosaka, T., ve Miyoshita, T., 1979. Ultimate low-loss single-mode fibre at 1.55 μm , **Electronics Letters** (15) 4: 106-108.
18. Gnauck, A. H., Kasper, B. L., Linke, R. A., Dawson, R. W., Koch, T. L., Bridges, T. J., Burkhardt, E.G., Yen, R. T., Wilt, D. P., Campbell, J. C., Nelson, K. C., Cohen, L. G., 1985. 4 Gb/s Transmission over 103 km of Optical Fiber Using a Novel Electronic Multiplexer/Demultiplexer, Optics InfoBase Conference, 1032.
19. Nakagawa, T., J. Chen, Z. Zhang, Y. Kanai, and N. Hirokawa., 1995. Two distinct functions of the carboxyl-terminal tail domain of NF-M upon neurofilament assembly: cross-bridge formation and longitudinal elongation of filaments. **Journal of Cell Biology**, 129:411–429.
20. Linke, R. A., Gnauck, A. H., 1988. High-capacity coherent lightwave systems, **Journal of Lightwave Technology**, (6)11:1750-1769.
21. Bergano, N. S., Aspell, J., Davidson, C. R., Trischitta, P. R., Nyman, B. M., Kerfoot, F. W., 1991. Bit error rate measurements of 14,000 km 5 Gbit/s fibre-amplifier transmission system using circulating loop, **Electronics Letters**, 27(21): 1889-1890.
22. Otani, T., Goto, K. Abe, H., Tanaka, M. Yamamoto, H., Wakabayashi, H., 1995. 5.3 Gbit/s 11300 km data transmission using actual submarine cables and repeaters, **Electronics Letters**, (31)5: 380-381. N. S. Bergano, Journal of Lightwave Technology. 23, 4125 (2005).
23. Bergano, N. S., 2005. Wavelength division multiplexing in long-haul transoceanic transmission systems, **Journal of Lightwave Technology**, (23)12: 4125-4139.
24. Welsh, T., Smith, R., Azami, H., Chrisner, R., 1996. The FLAG cable system, **IEEE Communications Magazine** (34)2: 30-35.
25. Marra, W. C., Schesser, J., 1996. Africa ONE: the Africa Optical Network, **IEEE Communications Magazine**, (34)2: 50–57.
26. Fukuchi, K., Kasamatsu, T., Morie, M., Ohhira, R., Ito, T., Sekiya, K., Ogasahara, D., Ono, T., 2001. 10.92-Tb/s ($273 \times 40\text{-Gb/s}$) triple-band/ultra-dense WDM optical-repeated transmission experiment, Washington, DC, *Optical Fiber Communication Conference and International Conference on Quantum Information*, 24, 2001,

United States.

27. Varelle, G., Pitel, F. Marcerou, J. F., 2001. "3Tbit/s (300×11.6Gbit/s) Transmission Over 7380 km Using C+L Band with 25GHz Channel Spacing and NRZ Format, *Optical Fiber Communication Conference and International Conference on Quantum Information*, 1, 2001, Rochester, United States.
28. Winzer P. J., Essiambre, R. J., 2006. Advanced modulation formats for high-capacity optical transport networks, **Journal of lightwave technology**, (24)12: 4711-4728.
29. Yu, J. Zhang, J., 2016. Recent progress on high-speed optical transmission, **Digital Communications and Networks**, (2) 2: 65-76. M. I. Hayee and A. E. Willner, IEEE Photon. Technol. Lett. 11, 991 (1999).
30. Sivalingam, K. M. Subramaniam, S., 2000. Optical WDM Networks: Principles and Practice, Kluwer Academic, Norwell, MA., 364.
31. Schwartz, M., 1990. Information Transmission, Modulation, and Noise, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 742.
32. C. E. Shannon, 1949. Communication in the Presence of Noise, **Proceedings of the IRE**, (37)1:10-21.
33. Hayee, M. I., Cardakli, M. C., Sahin A. B., and Willner, A. E., 2001. Doubling of bandwidth utilization using two orthogonal polarizations and power unbalancing in a polarization-division-multiplexing scheme, **IEEE Photonics Technology Letters**, (13)8:881-883. T. Miya, Y. Terunuma, T. Hosaka, and T. Miyoshita, Electron. Lett. 15, 106 (1979).
34. Essiambre, R.J., Mikkelsen, B., Raybon, G., 1999. Intra-channel cross-phase modulation and four-wave mixing in high-speed TDM systems, **Electronics Letters** 35(18):1576-1578.
35. Lambert, S. G., Casey, W. L., 1995. Laser Communications in Space, Artec House, Boston, 390.
36. Tyndall, J., 1854. On Some Phenomena Connected With The Motion Of Liquids, **Proceedings of the Royal Institution of Great Britain**, (1):446
37. Baird, J. L., 1927. Baird Television, British Patent 285,738, 1927.
38. Van Heel, A. C. S., 1954. A New Method of transporting Optical Images without Aberrations. **Nature** (39):173.
39. Kapany, N. S., 1967. *Fiber Optics: Principles and Applications*, Academic Press, San Diego, CA, 245.

40. Miya, T., Terunuma, Y., Hosaka, T., Miyashita, T., 1979. Ultimate Low-Loss Single-Mode Fibre At 1.55 Micron, **Electronics Letters**, (15): 106-108.
41. Optik node cihaz görseli. (Web adresi: https://www.turksat.com.tr/tr/onayli-urun-listesi?combine=optik+node&field_malzeme_saglayici_target_id=All&field_malzeme_target_id=All) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
42. Mux, Demux Cihaz Kesit Görünümü. (Web sayfası: <https://www.precisionot.com/mux-demux-passive-yet-powerful/>) (Erişim Tarihi: Aralık 2023)
43. “İTÜ- Karma Fiber Koaksiyel yapısındaki sayısal kablo tv sistemlerinde tasarım ve ölçüm teknikleri” <https://mertcangokgoz.com/hybrid-fibre-coaxial-nedir>. [Erişim Tarihi: Aralık 2023].
44. E. A. I. Rodríguez, Analysis and numeric determination of difference between SNR and CNR in Digital Television ISDB-Tb 2018 IEEE MTT-S Latin America Microwave Conference (LAMC 2018), Arequipa, Peru, sayfa. 1-4, 2018.
45. White Paper Digital Transmission: Carrier-to-Noise Ratio, Signal-to-Noise Ratio, and Modulation Error Ratio”, [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/White-Paper-Digital-Transmission-%3A-Carrier-to-Noise/eeb0144ff50d2bd706cb8edddd37f4ec56755e3a>. [Erişim Tarihi: Aralık 2023].
46. ETSI, T. R. Measurement Guidelines for DVB Systems. Measurement guidelines for DVB systems”, 2001.
47. SDI çıkışına sahip bir IRD cihazı kesit görünümü. (Web sayfası: <https://thomasonbbs.com/store/pc/viewPrd.asp?idproduct=4571>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024).
48. Cisco RF Gateway Kesit Görünümü. (Web sayfası: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/video/rf-gateway-series/series.html>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
49. Digital Content Manager Cihazı Kesit Görünümü. (Web sayfası: <https://headendinfo.com/digital-content-manager-dcm>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
50. Kayhan, E., 2015 Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama Yöntemini Kullanan Bir Gigabit Pasif Optik Ağ Sisteminin Modellenmesi Ve Performans Analizi, Uludağ

- Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, sayfa 110.
51. HFC Ağları için Ağ Mimarisi. (Web sayfası: https://www.researchgate.net/figure/Architecture-of-HFC-network_fig1_3041197) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
52. Casa Systems C100G CMTS 1792DS/512US DOCSIS/EuroDOCSIS 3.1 Cihaz Görünümü. (Web sayfası: <https://shop.optiwella.com/cmts/casa-systems-c100g-cmts-1792ds512us-docsiseurodocsis-31>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
53. HDO 922 Transmitter Kesit Görünümü. (Web sayfası: <https://www.teleste.com/broadband-networks/products/headend-optics/downstream-transmitters-and-receivers/hdo922-transmitter/>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
54. Receiver (alıcı) yapısına ait ürün görseli. (Web sayfası: <https://www.turksat.com.tr/tr/onayli-urun-listesi?page=9>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
55. EDFA yapısına ait bir görsel. (Web sayfası: https://www.turksat.com.tr/tr/onayli-urun-listesi?combine=edfa&field_malzeme_saglayici_target_id=All&field_malzeme_target_id=All) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
56. WDM (Wavelength Division Multiplexing) yapısına ait ürün görselili resmi. (Web sayfası: https://www.turksat.com.tr/tr/onayli-urun-listesi?combine=wdm&field_malzeme_saglayici_target_id=All&field_malzeme_target_id=All) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
57. Uzar İ., Ünverdi, Ö. 2014. Optik haberleşme sistemlerinde kullanılan FTTX teknolojisi ve uygulamaları. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, sayfa sayısı 597-602.
58. Sandvine, A., 2018, The Global Internet Phenomena Report October 2018,. (Web sayfası: <https://www.sandvine.com/hubfs/downloads/phenomena/2018-phenomenareport.pdf>.) (Erişim Tarihi:2024)
59. Ocak, F., 2023. FTTx ve İstanbuldaki Eve Kadar Fiber (FTTH) Proje Uygulamalarının Network Analizi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik Elektronik Anabilim Dalı.
60. Abbas, Y. S., 2016. Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama Yönteminin Kullanıldığı Pasif Optik Ağlarda Dört Dalga Karışımı Olayının Etkilerinin Analizi Yüksek Lisans

- Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 96 s.
61. Güre, Ö. 2012. Pasif optik ağlar ve uygulamaları Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, 136s
62. Hitachi, Y.N., 2006. Technologies and applications of passive optical networks, pp. *ITU-T Workshop NGN and its Transport Networks*, 20-21Nisan, 2006, Kobe.
63. Shumate, P. W. Fiber-to-the-Home: 1977–2007” *Journal Of Lightwave Technology*, Vol. 26, no. 9, 2008.
64. Wibisono, G., 2020. The advantage of blown fiber technology for out site plan network deployment than conventional cabled optical fiber system in Depok apartment Project. *4th International Seminar on Sensors, Instrumentation, Measurement and Metrology, Journal of Physics: Conference Series*, (1528): 53-54.
65. OLT Çalışma Prensipleri. (Web sayfası: https://www.researchgate.net/figure/Upstream-and-downstream-transmissions-in-EPON_fig1_228586368), (Erişim Tarihi: Aralık 2023).
66. Cale, I., Salihovic, A., Ivekovic, M. Gigabit passive optical network–GPON. *Proceedings of the ITI 2007 29th Int. Conf. on Information Technology Interfaces*, Cavtat, Croatia, 2007
67. ZTE OLT yapısına ait görseli. (Web sayfası: https://www.zte.com.cn/global/product_index/optical_access_en/pon-olt/zxa10/zxa10_c600_1.html) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
68. ZTE Modem yapısına ait ürün görseli. (Web sayfası: <https://www.turksatkablo.com.tr/Cihazlar>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024).
69. GPON EDFA yapısına ait ürün görseli. (Web sayfası: https://www.turksat.com.tr/tr/onayli-urunlistesi?combine=EDFA&field_malzeme_saglayici_target_id=All&field_malzeme_target_id=All) (Erişim Tarihi: Ocak 2024).
70. Veri merkezi görseli. (Web sayfası: <https://www.callpad-tech.com/colocation.html>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024).
71. Saha dolabı görseli veri merkezi görseli. (Web sayfası: <https://forum.donanimhaber.com/turknet-ftth-pon-altyapisinda-hangi-teknolojileri-tercih-ediyor--154843654>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024).

72. Huawei Router yapısına ait ürün görseli. (Web sayfası: <https://skminhaj.wordpress.com/2016/02/15/comparison-of-routers-cisco-juniper-and-huawei>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024).
73. Advantech FWA-6520 DPI yapısına ait ürün görseli. (Web sayfası: <https://www.advantech.com/tr-tr/resources/case-study/33a34926-ded6-4cb1-a357-21de674c2200>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024).
74. Tanji, H., 2008. Optical fiber cabling technologies for flexible acces network. (Web sayfası: <https://doi.org/10.1016/j.yofte.2007.11.006>) (Erişim tarihi: Ocak 2024)
75. BTK verisi. (Web sayfası: <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/yillik-pazar-verileri-bulteni/2023-yili-yillik-bu-lten-15-05-23.pdf>) (Erişim tarihi: Ocak 2024).

