



T.C.
Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

**DALGABOYU BÖLMELİ ÇOĞULLAMA YÖNTEMİNİ
KULLANAN BİR GİGABİT PASİF OPTİK AĞ SİSTEMİNİN
MODELLENMESİ VE PERFORMANS ANALİZİ**

EDA KAYHAN

Yüksek Lisans Tezi

**DALGABOYU BÖLMELİ ÇOĞULLAMA YÖNTEMİNİ
KULLANAN BİR GİGABİT PASİF OPTİK AĞ SİSTEMİNİN
MODELLENMESİ VE PERFORMANS ANALİZİ**

Eda KAYHAN



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DALGABOYU BÖLMELİ ÇOĞULLAMA YÖNTEMİNİ KULLANAN BİR
GİGABİT PASİF OPTİK AĞ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE
PERFORMANS ANALİZİ**

Eda KAYHAN

Yrd. Doç. Dr. Sait Eser KARLIK

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2015

Her Hakkı Saklıdır.

TEZ ONAYI

Eda KAYHAN tarafından hazırlanan “Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama Yöntemini Kullanan Bir Gigabit Pasif Optik Ağ Sisteminin Modellenmesi ve Performans Analizi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Sait Eser KARLIK

Başkan:

İmza

Üye:

İmza

Üye:

İmza

Üye:

İmza

Üye:

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Enstitü Müdürü

.././.....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.././.....

Eda KAYHAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DALGABOYU BÖLMELİ ÇOĞULLAMA YÖNTEMİNİ KULLANAN BİR GİGABİT PASİF OPTİK AĞ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE PERFORMANS ANALİZİ

Eda KAYHAN

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Sait Eser KARLIK

İnsanlığın teknolojideki ve özellikle bilgi teknolojisindeki gelişimi son yıllarda önemli bir düzeye erişmiştir. Bilgi teknolojisinin en önemli basamaklarını telekomünikasyon alanında sağlanan gelişmeler oluşturmaktadır. Telekomünikasyon alt yapısının hayatımıza girişi önceleri telefon şebekeleri amaçlı tasarlanmış olsa da internetin keşfi ve bilim alanında sağlanan gelişmeler ile telekomünikasyon altyapıları çeşitlenmiş ve gelişmiştir. Telekomünikasyon altyapılarında internetin çok fazla önem arz ettiği görülmektedir. Bilimsel bir çalışma olarak başlayan ve günümüzde tüm dünyayı birbirine bağlayan internet birçok sektörün doğmasını sağlayarak zamanla inanılmaz bir güce ulaşmıştır. Bu durum, daha düşük maliyetle daha fazla bant genişliği sunan daha iyi iletişim ağlarına ihtiyaç duyulması sonucunu doğurmuştur. Artan bant genişliğine bağlı olarak uzak mesafelere verinin hatasız olarak taşınabilmesi optik ağlar ile sağlanabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, optik fiber yapıları, optik erişim ağları ve optik fiberlerin erişim ağlarına uygulanması sonucu elde edilen avantaj ve dezavantajlar açıklanmıştır. FTTX uygulamaları ve pasif ağ mimarilerinde kullanılan teknik ekipmanlar incelenmiştir. Optik haberleşme sistemlerindeki yeni nesil erişim şebekeleri FTTX mimarileri ile birlikte incelenmiş olup günümüzde önemi giderek artan çoklu erişim yöntemlerine FTTX uygulamaları yönüyle bakılmıştır. Son olarak pratikte kullanılan GPON FTTH tasarımı OptiSystem 13.0 simülasyon programında modellenerek sistem üzerinde incelemeler yapılmış ve çeşitli bulgular elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda elde edilen BER (Bit Error Rate, Bit Hat Oranı) diyagramları, güç ve spektrum grafiklerinden yararlanılarak PON sistemine uygun yapılar incelenmiştir. OptiSystem 13.0 simülasyon yazılımı ile teorideki güç bütçesi hesabına uygun ve optik iletişim performansının artırılması için geliştirilebilecek olan topolojiler üzerinde çalışılmıştır. Performans artışının temel amacı, daha uzak mesafelerde ve daha çok kullanıcıya erişimin sağlanmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Optik Fiber, Pasif Optik Ağ, PON, EPON, GPON, FTTX.
2015, xiii + 93 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

MODELLING AND PERFORMANCE ANALYSIS OF A GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK SYSTEM USING WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING METHOD

Eda KAYHAN

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electronics Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Sait Eser KARLIK

Development of humanity in technology especially in information technology has reached a significant level in recent years. The developments in the telecommunications field constitute the most important steps of information technology. Telecommunications infrastructure before entry into our lives, though designed for telephone Networks, with the discovery of the internet and with the advances in science, telecommunications infrastructure are diversified and developed. In telecommunications infrastructure, Internet became more significant by the time. The internet which started out as a scientific study now connects the world together; this change has led to the emergence of many different sectors which has seen the rise of millions of individuals using this service to do business. This situation resulted needing lower cost offering more bandwidth and better communication networks. Depending on the increased bandwidth, carrying data on long distances without error may be provided with optical networks.

The research assesses the advantages and disadvantages of optical fiber structures, optical access networks and the process of applying optical fibers to access networks. Technical equipments which is used in FTTX applications and passive network architectures are examined. Future access networks are scrutinised using FTTX architectures in optical communication systems. With this understanding it was necessary to test this method with FTTX applications. GPON FTTH modelled on optisystem 13.0 simulator have provided practical uses as well as further findings which could allow for further research to be developed. In this thesis appropriate topologies are investigated by obtained BER diagrams, power, spectrum graphics for PON systems. In a passive optical network structure, power budget accounting and some passive optical topologies, which topologies are suitable power budget accounting and for increasing communication performance, are studied with OptiSystem 13.0 simulation program. The main purpose in passive networks is to reach long distances and much more users.

Key words: Optical Fiber, Passive Optical Network, PON, EPON, GPON, FTTX.
2015, xiii + 93 pages.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında sahip olduğu bilgi birikimiyle, bilimsel eleştiri ve yönlendirmeleriyle en büyük katkıyı sağlayan değerli hocam Sayın **Yrd. Doç. Dr. Sait Eser KARLIK**'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen bana hep destek olan annem **Selime KAYHAN** ve babam **Kemal KAYHAN**'a teşekkür ederim.

Eda KAYHAN

.././.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI ve KURAMSAL BİLGİLER	3
2.1. Erişim Ağlarının Gelişimi.....	3
2.1.1. Optik Erişim Ağları.....	3
2.1.2. Optik Fiber Kablolarda İletim.....	4
2.1.3. Neden Fiber Teknoloji.....	9
2.2. Optik Erişim Ağ Çeşitleri.....	11
2.2.1. Noktadan Noktaya Bağlantılı Ağlar.....	13
2.2.2. Aktif Yıldız Bağlantılı Ağlar.....	14
2.2.3. Pasif Ağaç (Yıldız) Bağlantılı Ağlar.....	14
2.2.4. Optik Erişim Ağ Çeşitlerinin Karşılaştırılması.....	16
2.3. PON Sistemlerinin Gelişimi.....	16
2.3.1. Son Kullanıcıya Kadar Fiber Sistemler.....	16
2.3.2. PON Tarihi.....	21
2.3.3. Pasif Optik Ağ Sistem Tasarımı.....	24
2.3.4. Gelişmiş PON Standartları.....	27
2.3.5 Yeni Nesil Pasif Optik Ağ Çalışmaları.....	31
2.4. Optik Erişim Ağlarında Çoklu Erişim ve Çoğullama Yöntemleri....	34
2.4.1. Zaman Bölmeli Çoklu Erişim Yöntemi.....	34
2.4.2. Dalgaboyu Bölmeli Çoklu Erişim Yöntemi.....	35
2.4.3. Alt Taşıyıcılı Çoklu Erişim Yöntemi.....	36
2.4.4. Optik Kod Bölmeli Çoklu Erişim Yöntemi.....	37
2.5. GPON.....	38
2.5.1. GPON Özellikleri.....	40

2.5.2. GPON Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları.....	45
2.6. Optik Bölücüler.....	46
2.6.1. FBT Optik Bölücüler.....	47
2.6.2. PLC Optik Bölücüler.....	47
2.7. GPON Kavramları.....	48
2.7.1. Kablo Özellikleri.....	48
2.7.2. Bant Genişliği Ayırma.....	49
2.7.2.1. Statik Bant Genişliği Ayırma.....	49
2.7.2.2. Dinamik Bant Genişliği Ayırma.....	50
2.7.3. ONU Yönetim ve Kontrol Ara Yüzü.....	52
2.7.4. Menzilleme.....	53
2.7.5. Güvenlik.....	53
2.7.6. Şifreleme Sistemi.....	54
2.7.7. Koruma.....	55
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	56
3.1. GPON ve Bakır Şebeke Hız Analizleri.....	56
3.2 GPON FTTH Uygulaması ve Analizleri.....	61
3.2.1 GPON FTTH Uygulaması Erişim Özellikleri.....	61
3.2.2 GPON FTTH Mimarisi.....	63
3.2.3 GPON FTTH Uygulaması Sistem Özellikleri.....	64
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	75
5. SONUÇ.....	87
KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	92
EKLER	

SİMGELELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

c	Işık hızı
d	Fiberin çekirdek yarıçapı
dB	Desibel
f	Frekans
n	Kırılma indisi
N	Mod sayısı
NA	Nümerik açıklık
V	Normalize frekans
λ	Dalgaboyu

Açıklama

Kısaltmalar

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line (Asimetrik Sayısal Abone Hattı)
AE	Active Ethernet (Aktif Ethernet)
AES	Advanced Encryption Standard (Gelişmiş Şifreleme Standardı)
AON	Active Optical Network (Aktif Optik Ağ)
APON	ATM Passive Optical Network (ATM Pasif Optik Erişim Ağı)
ATM	Asynchronous Transfer Mode (Asenkron İletim Modu)
BER	Bit Error Rate (Bit Hata Oranı)
BIP	Bit Interleaved Parity (Bit Serpiştirmeli Eşlik)
BPON	Broadband Passive Optical Network (Geniş Bant Pasif Optik Erişim Ağı)
CAPEX	Capital Expenditure (Altyapı Harcamaları)
Cat 5	Category 5 UTP Copper Cable (Kategori 5 UTP Bakır Kablo)
CDMA	Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
CO	Central Office (Merkez Ofis)
CRC	Cyclic Redundancy Check (Döngüsel Fazlalık Kontrolü)
DBA	Dynamic Bandwidth Allocation (Dinamik Bant Genişliği Ataması)
DBRu	Dynamic Bandwidth Report Upstream (Yukarı Kanal Dinamik Bant Genişliği Raporu)
DSL	Digital Subscriber Line (Sayısal Abone Hattı)
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer (Sayısal Abone Hattı Erişim Çoklayıcısı)
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier (Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteç)
EMC	Electromagnetic Compatibility (Elektromanyetik Uyumluluk)
EMI	Electromagnetic Interference (Elektromanyetik Girişim)
EPON	Ethernet PON (Ethernet PON)
FBA	Fixed Bandwidth Allocation (Sabit Bant Genişliği Ataması)
FBT	Fused Biconical Taper
FDDI	Fiber Distributed Data Interface (Fiber Dağılımlı Veri Ara Yüzü)
FDMA	Frequency Division Multiple Access (Frekans Bölmeli Çoklu Erişim Yöntemi)
FEC	Forward Error Correction (İleri Yönlü Hata Düzeltme)
FSAN	Full Service Access Network (Tam Hizmet Erişim Ağı)
FTA	Fiber Collection Switch (Fiber Toplama Anahtarı)

FTN	Fiber Collection Point (Fiber Toplama Noktası)
FTTB	Fiber To The Building (Binaya Kadar Fiber)
FTTC	Fiber To The Curb (Kaldırıma Kadar Fiber)
FTTCab	Fiber To The Cabinet (Kabinete Kadar Fiber)
FTTH	Fiber To The Home (Eve Kadar Fiber)
FTTN	Fiber To The Node (Düğüme Kadar Fiber)
FTTx	Fiber To The x (x'e Kadar Fiber)
GEM	Generic Encapsulation Method (GPON Kapsülleme Yöntemi)
GEPON	Gigabit Ethernet Passive Optical Networks (Gigabit Ethernet PON)
GFP	Generic Framing Procedure (Genel Çerçeveleme Prosedürü)
GPON	Gigabit-capable Passive Optical Networks (Gigabit Pasif Optik Ağ)
HDTV	High Definition Television (Yüksek Çözünürlüklü Televizyon)
HEC	Heading Error Correction (Başlık Hata Düzeltme)
HGW	Home Gateway (Ev Ağ Geçidi)
HPON	Hybrid PON(Hibrid PON)
HSI	High Speed Internet (Yüksek Hızlı İnternet)
IEEE	Institute of Electronic and Electrical Engineering (Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
IP	Internet Protocol (İnternet Protokolü)
IP TV	Internet Protocol Television (İnternet Üzerinden Televizyon)
ITU	International Telecommunication Union (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği)
ITU-T	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Standartlaştırma Birimi
KTA	Edge Collection Switch (Kenar Toplama Anahtarı)
KT	Korea Telecom (Kore Telekom)
LAN	Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
MACP	Yayın Erişim Kontrol Protokolü
MDU	Multiple Dwelling Unit (Çoklu Konut Birimi)
MIB	Management Information Base (Yönetim Bilgi Tabanı)
MPLS	Multiprotocol Label Switching (Çok Protokollü Etiket Anahtarlama)
MSAN	Multi Service Access Node (Çoklu Hizmet Erişim Düğümü)
MTU	Multiple Tenant Unit (Çoklu Daire Birimi)
OCDMA	Optical Code Division Multiple Access (Optik Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
OEAC	Opto - Electronic Active Converter (Opto - Elektronik Aktif Dönüştürücü)
OLT	Optical Line Termination (Optik Hat Sonlandırıcı)
OMCI	ONU Management Control Interface (ONU Yönetim ve Kontrol Ara Yüzü)
ON	Optical Network (Optik Ağ)
ONT	Optical Network Termination (Optik Şebeke Terminali)
ONU	Optical Network Unit (Optik Ağ Birimi)
OPEX	Operational Expenditure (İşletme Maliyeti)
OSI	Open Systems Interconnection (Açık Sistemler Bağlantı Modeli)
PCB	Physical Control Block (Fiziksel Kontrol Bloğu)
PCBd	Physical Control Block for Downstream (Aşağı Kanal Fiziksel Kontrol Bloğu)
P2MP	Point To Multipoint (Noktadan Çoklu Noktaya)

P2P	Point To Point (Noktadan Noktaya)
PLC	Planar Lightwave Circuit (Düzlemsel Işık Dalgası Devresi)
PLI	Port Level Indicator (Port Seviye Göstergesi)
PLOAM	Physical Layer Operations, Administration and Maintenance (Fiziksel Katman İşlemleri ve Bakım)
PLOAMd	Aşağı Kanal Fiziksel Katman İşlemleri ve Bakım
PLOAMu	Yukarı Kanal Fiziksel Katman İşlemleri ve Bakım
PLOu	Physical Level Overhead Upstream (Yukarı Kanal Fiziksel Seviye Başlığı)
PLSu	Power Leveling Sequence Upstream (Yukarı Kanal Güç Seviye Dizisi)
PMD	Physical Medium Dependent (Fiziksel Ortama Bağımlı Katman)
PON	Passive Optical Network (Pasif Optik Ağ)
POTS	Plain Old Telephone Service (Geleneksel Telefon Hizmeti)
PTI	Port Type Indicator (Bağlantı Noktası Tür Göstergesi)
Qos	Quality of Service (Servis Kalitesi)
RF	Radio Frequency (Radyo Frekansı)
SBA	Static Bandwidth Allocation (Statik Bant Genişliği Ataması)
SCMA	Subcarrier Multiple Access (Alt Taşıyıcılı Çoklu Erişim)
SNR	Signal Noise Ratio (İşaret Gürültü Seviyesi)
SONET	Synchronous Optical Networking (Eş Zamanlı optik ağ)
TC	Transmission Convergence Layer (İletim Yakınsama Katmanı)
T-CONT	Transmission Container (İleti Taşıyıcıları)
TDM	Time Division Multiplexing (Zaman Bölmeli Çoğullama)
TDMA	Time Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)
TDM-PON	Time Division Multiplexing Passive Optical Network (Zaman Bölmeli Çoğullamalı Pasif Optik Ağ)
TPON	Telephone PON (Telefon PON)
UTP	Unshielded Twisted Pair (Korumasız Bükümlü Kablo)
VAS	Value Added Services (Katma Değerli Hizmetler)
VDSL	Very high bit rate Digital Subscriber Line (Çok Yüksek Hızlı Sayısal Abone Hattı)
VoD	Video on Demand (İsteğe Bağlı Video)
VoIP	Voice over Internet Protocol (IP Üzerinden Ses İletimi)
VP	Virtual Path (Sanal Yol)
WDM	Wavelength Division Multiplexing (Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama)
WDMA	Wavelength Division Multiple Access (Dalgaboyu Bölmeli Çoklu Erişim)
WDM-PON	Wavelength Division Multiplexing-Passive Optical Network (Dalgaboyu Çoğullamalı Pasif Optik Ağ)
xDSL	x Digital Subscriber Line (x Dijital Abone Hattı)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Yıllara göre erişim ağlarında bant genişliği ihtiyacının değişimi.....	3
Şekil 2.2. Optik erişim sistemi diyagramı.....	4
Şekil 2.3. Optik fiber kablo yapısı.....	4
Şekil 2.4. Optik fiber kabloda ışığın iletimi.....	6
Şekil 2.5. Tek modlu fiberde iletim.....	6
Şekil 2.6. Çok modlu fiberde iletim.....	7
Şekil 2.7. Dalgaboyuna bağlı optik fiber zayıflama grafiği.....	8
Şekil 2.8. Optik fiber ve koaksiyel kabloda iletim.....	10
Şekil 2.9. Aktif Ethernet ağ altyapısı.....	12
Şekil 2.10. Noktadan noktaya bağlantılı optik erişim ağı.....	13
Şekil 2.11. Aktif yıldız bağlantılı optik erişim ağı.....	14
Şekil 2.12. Pasif ağaç bağlantılı optik erişim ağı.....	15
Şekil 2.13. Optik erişim ağ çeşitlerinin erişim mesafesi ve kullanıcı sayısına göre maliyet karşılaştırması.....	16
Şekil 2.14. Noktadan noktaya FTTH mimarisi.....	18
Şekil 2.15. FTTCab mimarisi.....	20
Şekil 2.16. FTTX Uygulamaları.....	20
Şekil 2.17. Ethernet ve pasif optik ağların yıllara göre gelişimi.....	22
Şekil 2.18. Pasif optik ağ bileşenleri.....	24
Şekil 2.19. Ericsson OLT.....	25
Şekil 2.20. ONU birimi.....	26
Şekil 2.21. PON topoloji çeşitleri.....	27
Şekil 2.22. Yeni nesil GPON çalışmaları.....	33
Şekil 2.23. Optik erişim ağları için geliştirilmiş çoklu iletişim yöntemleri.....	34
Şekil 2.24. Zaman bölmeli çoklu erişim.....	35
Şekil 2.25. Dalgaboyu bölmeli çoklu erişim.....	36
Şekil 2.26. Alt taşıyıcılı çoklu erişim.....	37
Şekil 2.27. GPON mimarisi.....	38
Şekil 2.28. GPON altyapıları.....	39

Şekil 2.29.	MDU cihazı.....	40
Şekil 2.30.	Tılgın modem.....	40
Şekil 2.31.	GPON sistemi.....	41
Şekil 2.32.	GPON dalgaboyu spektrumu.....	42
Şekil 2.33.	GPON katmanlı yapısı.....	42
Şekil 2.34.	GPON iletim yakınsama katmanı.....	43
Şekil 2.35.	Aşağı kanal GPON çerçeve yapısı.....	44
Şekil 2.36.	Yukarı kanal GPON çerçeve yapısı.....	44
Şekil 2.37.	NxN optik bölücü.....	46
Şekil 2.38.	FBT bölücü.....	47
Şekil 2.39.	PLC bölücü.....	47
Şekil 2.40.	Statik bant genişliği ataması.....	50
Şekil 2.41.	Dinamik bant genişliği ataması.....	51
Şekil 2.42.	DBA süreci.....	51
Şekil 2.43.	ONU kaydı.....	52
Şekil 2.44.	AES şifreleme.....	54
Şekil 2.45.	İki fiberli SDH halka koruması.....	55
Şekil 3.1.	Aynı site içerisindeki ADSL ve VDSL abonelerinin santrale göre konumu.....	57
Şekil 3.2.	GPON abonesinin santrale göre konumu.....	57
Şekil 3.3.	ADSL ve VDSL hat test yöntemi.....	58
Şekil 3.4.	GPON test yöntemi.....	60
Şekil 3.5.	GPON abonesi hız testi.....	60
Şekil 3.6.	64 aboneli GPON sistemi.....	64
Şekil 3.7.	GPON aşağı kanal modeli.....	65
Şekil 3.8.	GPON OLT birim modeli.....	65
Şekil 3.9.	A sitesinde bulunan 1:32 optik bölücü yapısı.....	66
Şekil 3.10.	A sitesinde abonelerin katlara göre dağılımı.....	67
Şekil 3.11.	ONU ₁ abonesine ait ONU yapısı.....	67
Şekil 3.12.	ONU ₂ abonesine ait ONU yapısı.....	68
Şekil 3.13.	B sitesinde bulunan 1:32 optik bölücü yapısı.....	68
Şekil 3.14.	ONU ₃ abonesine ait ONU yapısı.....	69

Şekil 3.15.	B sitesi ofis bloğu abonelerinin katlara göre dağılımı.....	69
Şekil 3.16.	ONU ₄ abonesine ait ONU yapısı.....	69
Şekil 3.17.	GPON yukarı kanal modeli.....	70
Şekil 3.18.	A sitesi-WDM çoğullayıcı bağlantısı.....	71
Şekil 3.19.	B sitesi-WDM çoğullayıcı bağlantısı.....	71
Şekil 3.20.	Abonelere dalgaboyu ataması.....	72
Şekil 3.21.	Temel ölçüm parametrelerinin tanımlarını gösteren bir göz diyagramının konfigürasyonu.....	73
Şekil 3.22.	Yükselme ve düşme zamanlarını ayarlayabilen sekiz tane 3 bit uzunluğunda NRZ kombinasyonları.....	73
Şekil 3.23.	Anahtar çalışma parametrelerini gösteren basitleştirilmiş göz diyagramı.....	74
Şekil 4.1.	OLT birimi optik spektrum analizi.....	75
Şekil 4.2.	ONU ₁ abonesine ait optik spektrum analizi.....	75
Şekil 4.3.	5 km ana fiber hat mesafesinde ONU ₁ abonesine ait göz diyagramı....	76
Şekil 4.4.	Sistemde 32 abonenin aktif olması durumunda ONU ₁ ve ONU ₂ abonelerine ait göz diyagramları.....	77
Şekil 4.5.	5 km mesafede 1.25 Gbps aşağı kanal hızında ONU ₁ abonesine ait göz diyagramı.....	78
Şekil 4.6.	5 km mesafede 2 Gbps aşağı kanal hızında ONU ₁ abonesine ait göz diyagramı.....	78
Şekil 4.7.	Aşağı kanal hızının artışına bağlı olarak Q faktörü değişimi.....	79
Şekil 4.8.	60 mW giriş gücünde ONU ₁ abonesine ait göz diyagramı.....	79
Şekil 4.9.	70 mW giriş gücünde ONU ₁ abonesine ait göz diyagramı.....	80
Şekil 4.10.	100 mW giriş gücünde ONU ₁ abonesine ait göz diyagramı.....	80
Şekil 4.11.	Giriş gücünün artışına bağlı olarak Q faktörü değişimi.....	81
Şekil 4.12.	GPON giriş gücü ve OLT birimi verici gücü.....	81
Şekil 4.13.	Sırayla 5, 10, 15 ve 20 km ana fiber hat mesafesinde ONU ₁ abonesine aktarılan güçler.....	82
Şekil 4.14.	Yukarı kanal OLT BER diyagramı.....	83
Şekil 4.15.	Yukarı kanal boyunca ana fiber hat mesafesine bağlı kalite faktörü değişimi.....	83

Şekil 4.16. 32 abonenin aktif olması durumunda yukarı kanal BER diyagramı (L=5 km).....	84
Şekil 4.17. Vericinin temel yapısına kuvvetlendirici eklenmiş durum.....	85
Şekil 4.18 Kuvvetlendiricinin sistem performansına etkisi.....	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Dalgaboylarına göre pencere aralıkları.....	8
Çizelge 2.2. Dalgaboylarına göre zayıflamalar.....	8
Çizelge 2.3. PON standartlarının karşılaştırılması.....	23
Çizelge 2.4. Gelişmiş PON standartlarının karşılaştırılması.....	29
Çizelge 2.5. Bölme oranına bağlı olarak bölücü kayıpları.....	46
Çizelge 3.1. ADSL abonesine ait hizmet verileri.....	58
Çizelge 3.2. VDSL abonesine ait hizmet verileri.....	59
Çizelge 3.3. GPON hız paketleri.....	62
Çizelge 3.4. Abonelerin hizmet alabilecekleri internet paketleri.....	62
Çizelge 4.1. ONU'lara ait Q faktörünün fiber uzunluğuyla değişim sonuçları.....	76

1.GİRİŞ

Telekom sektöründe her geçen gün kullanıcı beklentileri ve ihtiyaçları giderek artış göstermektedir. Günümüzde yüksek boyutlu dosya transferleri, çevrimiçi televizyon, canlı video izleme, çevrimiçi oyun gibi yüksek bant genişliği gerektiren uygulamaların artması ile internet kullanım alanları artış göstermiştir. Kullanıcıların bu beklenti ve ihtiyaçlarının sonucu olarak Telekom operatörleri yatırım politikalarını düzenleyerek sermaye harcamalarını (CAPEX) artırmaktadır. Yapılan bu yatırımlarda amaç, kullanıcıya her zaman en verimli ve ekonomik yoldan hizmet edebilmeyi sağlamaktır.

Erişim ağları yatırımları için farklı teknolojiler ve mimariler kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları Gigabit Pasif Optik Ağ (GPON), Ethernet Pasif Optik Ağ (EPON) ve Aktif Ethernet (AE)'dir.

Genellikle mevcut bakır şebekelerin yerine geçmeye başlayan optik iletişim ağlarında gelecekteki sistemlerin fiberin doğrudan son kullanıcıya ulaştığı sistemler olması istenmektedir. Bu sistemler en yaygın haliyle eve kadar fiber sistemler (FTTH) olarak adlandırılır. FTTH mimarileri ile yüksek hızlı internet (HSI), internet protokolü üzerinden ses iletimi (VoIP), isteğe bağlı video (VOD), internet protokolü (IP) üzerinden televizyon hizmeti (IPTV) gibi katma değerli hizmetler (VAS) kullanıcılara çok kolay bir şekilde sağlanabilmektedir.

Türkiye'de FTTH alt yapılandırmalarına 2000'li yıllarda başlanmıştır. 2008 yılında Türk Telekomünikasyon A.Ş. (yerleşik sabit hat operatörü) GPON ve AE mimarilerini kullanarak FTTH projeleri üzerinde çalışmaya başlamıştır. 2011'in başlarında İstanbul'da ilk GPON kullanıcıları ağ üzerinde iletişim sağlamıştır. Aynı zamanda İzmir, Diyarbakır ve Ankara'da da aynı şekilde GPON projeleri üzerinde çalışmalar sürdürülmeye başlanmıştır.

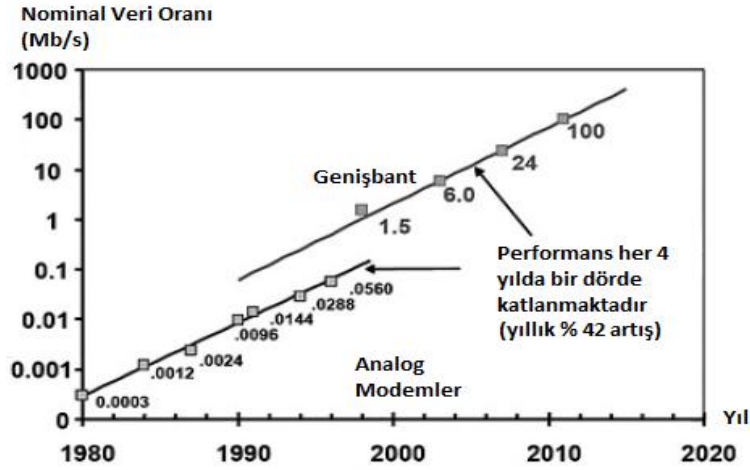
Bu tezde, GPON teknolojisi ve yeni nesil erişim ağlarından olan pasif optik ağlar fiberin varış noktasına göre adlandırılan uygulamalar (FTTx) ile birlikte incelenmiştir. Tezin ikinci bölümünde optik fiber teknolojisinde kullanılan çoklu erişim yöntemleri pasif optik ağ sistem özellikleri ile birlikte anlatılmıştır. FTTx uygulamalarındaki optik dağıtım mimarileri, pasif ve aktif olmak üzere irdelenmiş ve bu mimarilerde kullanılan

teknik ekipmanlar açıklanmıştır. Gelişmiş PON standartları ve yeni nesil optik erişim ağları çoklu erişim yöntemleri ele alınarak değerlendirilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde OptiSystem 13.0 simülasyon programı kullanılarak pratikte kullanılan GPON FTTH modeli geliştirilerek çeşitli karakteristiklere göre analizler yapılmıştır. Tezin dördüncü bölümünde elde edilen simülasyon sonuçları verilmiştir.

2.KAYNAK ARAŞTIRMASI ve KURAMSAL BİLGİLER

2.1 Erişim Ağlarının Gelişimi

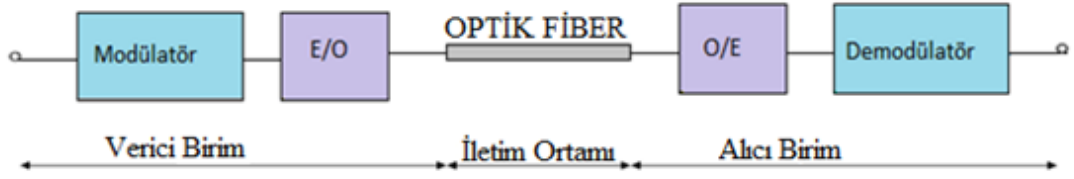
Video tabanlı bir çağın gelecekte oldukça büyük bir kitleye yeni hizmetler ve imkânlar sağlayacağına inanılmaktadır. Şekil 2.1’de, erişim ağlarının tarihsel ve geleceğe dönük olarak ortalama veri iletim oranları gösterilmiştir. Grafikte 1990 yıllarında meydana gelen süreksizliğin nedeni dar bant ses kanallarında çalışan analog modemlerden geniş bantta çalışan sayısal abone hattı (DSL) iletim tekniklerine geçilmesidir. Bununla birlikte yüksek kaliteli video uygulamaları geliştirildikçe daha yüksek seviyeli servis kalitesi gereksinimleri artış gösterecektir.



Şekil 2.1. Yıllara göre erişim ağlarında bant genişliği ihtiyacının değişimi (Lee Chang-Hee ve diğ., 2006)

2.1.1 Optik Erişim Ağları

Optik iletişim sistemleri, elektrik işaretlerinin bir optik fiber yoluyla iletildiği erişim ağlarıdır. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi bir optik haberleşme sisteminde verici birim, alıcı birim ve iletim ortamı bulunur.



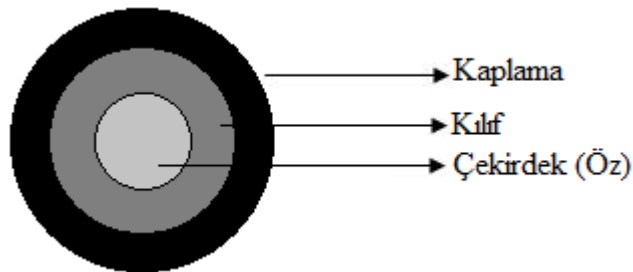
E/O: Elektro-Optik Dönüştürücü
 O/E: Opto-Elektronik Dönüştürücü

Şekil 2.2. Optik erişim sistemi diyagramı

Verici birim, analog ya da sayısal bir arabirim, bir gerilim- akım dönüştürücüsü, bir ışık kaynağı ve bir kaynaktan fibere ışık bağlayıcıdan oluşur. Alıcı birimde ise fiberden ışık dedektörüne bağlaşım aygıtı, bir foto alıcı, bir akım- gerilim dönüştürücüsü, bir yükselteç ve analog ya da sayısal bir arabirim yer alır. Dönüştürücüler, elektriksel işareti optik işarete, optik işareti elektriksel işarete çevirme görevini yapan yarı iletken elemanlardır.

2.1.2 Optik Fiber Kablolarda İletim

Optik fiber aracılığıyla bilgi taşıyan iletişim sistemlerine optik fiberli sistemler denilmektedir. Bir optik fiber, çekirdek denilen iç bölge, kılıf ve koruyucu tabaka bölgelerinden oluşur. Şekil 2.3'te optik fiber kablo yapısı gösterilmiştir. Çekirdek bölgesi, içinde ışığın kırılarak yolculuk ettiği, iletimin sağlandığı silindirik kısımdır. Kılıf ise özün içindeki ışığın tam yansıma prensibi ile kırılabilmesi için gerekli olan silindirik örtü tabakadır. En üstte bulunan kaplama tabaka ise koruyucu görevi yapar [Işık ve Kahvecioğlu 2003].



Şekil 2.3. Optik fiber kablo yapısı

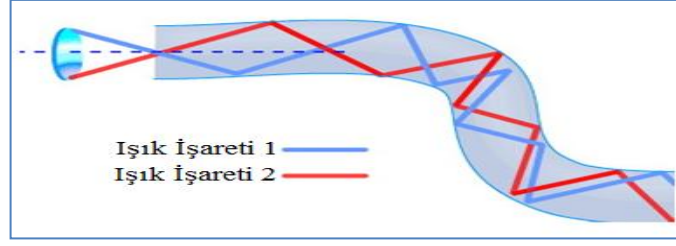
Işığın çekirdek bölgesinde tam yansıma prensibi ile iletiminin sağlanabilmesi için gerekli şartlardan en önemlisi çekirdek bölgesinin kırılma indisinin kılıfın kırılma indisinden büyük olmasıdır. Çekirdek bölgesi ışık işaretinin yol aldığı, başka bir deyişle bilginin iletiildiği kablonun merkezindeki kısımdır ve saf camdan yapılmıştır. Malzemenin yapısına ve tek modlu veya çok modlu oluşuna göre fiber çapı 8 µm ile 100 µm arasında değişmektedir.

Kılıf, tipik olarak 125 µm çapında çekirdeği saran ve fibere enjekte edilen ışının özden çıkmasını engelleyen kısımdır ve aynı çekirdek gibi camdan yapılmıştır. Ancak indis farkı olarak çekirdek bölgesine göre yaklaşık % 1 oranında daha azdır. Bu indis farkından dolayı ışık ışını çekirdeğe enjekte edildikten sonra aşırı bir katlanma ya da ezilme yoksa kılıfa geçemez. Işın kılıf çekirdek sınırından tekrar öze döner ve böyle yansımalar dizisi halinde öz içerisinde ilerler. Bir ışın demetinin çekirdek içerisinde ilerleme hızı dalgaboyuna bağlıdır.

Fiberin kaplama bölgesi, optik bir özelliği olmayan kaplama polimer veya plastikten yapılmaktadır. Kaplama kısmı bir veya birden fazla katmana sahip olabilir ve fiberi darbe ile şoklardan korur.

Optik fiberlerin yapıldığı birçok madde olup genel olarak cam ve plastik fiberler kullanılmaktadır. Plastik fiberler daha esnektir buna karşın cam fiberlerin kaybı daha azdır ve askeri uygulamalar gibi haberleşme ortamlarında kullanılırlar.

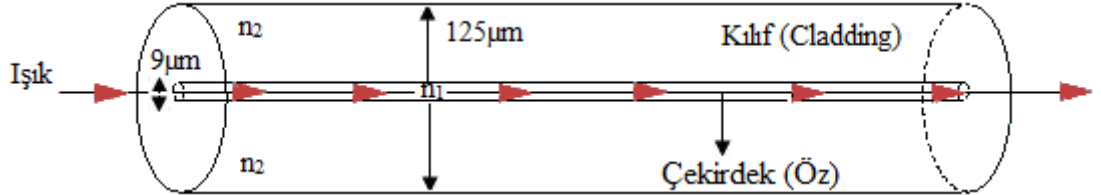
Işık, optik fiber bir kablodan ya yansıma ya da kırılma yoluyla yayınımlı olabilir ve fiber kablo içerisinde (öz) çeperlerden yansıyarak ilerler. Tam yansımanın (gelme açısının kritik açıdan büyük olması şartı) olabilmesi ışık demetinin fiber kabloya giriş açısına bağlıdır. Lazerden gönderilen ışın demeti ilk başta doğrusal bir yol izler. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi ışık ışareti 1 ve 2 olarak çıkan alt-üst sınır ışınları kablonun büküldüğü noktalarda cam örtüye çarpıp geri yansır bu şekilde yansıya yansıya merkezdeki yoluna yavaşlayarak ve bir miktar kayba uğrayarak da olsa devam eder. Bu nedenledir ki, fiber kabloların fazla bükülme yapmadan genellikle düz bir yol izlemesi, veri iletim hızı ve kalitesi açısından önemlidir. Cam örtü tabakası ışığı kesinlikle absorbe etmez ve neredeyse tam olarak yansıtır bu da bilginin kayıpsız şekilde iletebilmesi için çok önemli bir unsurdur.



Şekil 2.4. Optik fiber kabloda ışığın iletimi

Yayınım moduna göre optik fiber kablolar, tek modlu (SM) ve çok modlu (MM) fiberler olmak üzere ikiye ayrılır. Fiber çeşitlerini dış görünüşleriyle ayırmak olası değildir. Ancak değişik uygulamalarda değişik şekillerde kullanılırlar.

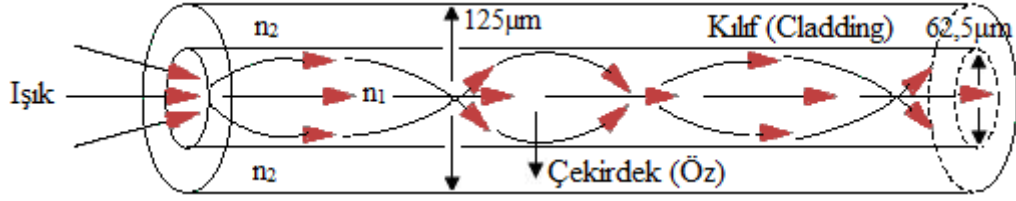
SM fiberler, ışığın tek bir modda ya da tek bir yolda ilerlemesine olanak tanır. SM fiberlerde işaret zayıflaması minimum seviyededir ve teorik olarak ortalama 0.25 dB/km'dir. 9 μm çekirdek çapına ve 125 μm yelek çapına sahiptirler. Bu tip kabloların kullanıldığı haberleşme sistemlerinin çoğunda tekrarlama ihtiyacı duyulmadan 50 km'ye kadar 1 Gb/s hızla veriler iletilebilir. SM fiberler, düşük işaret kayıplarının olduğu ve yüksek veri iletişim hızlarının gerektiği durumlarda kullanılmaktadır. Şekil 2.5'te tek modlu fiberde iletim gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Tek modlu fiberde iletim

MM fiberler, ışığın birden fazla modunu ileten fiberlerdir. Çekirdek çapları 50 μm ile 62.5 μm arasında değişmektedir. 125 μm yelek çapına sahiptirler. Bu tip kabloların kullanıldığı haberleşme sistemlerinin çoğunda tekrarlama ihtiyacı duyulmadan 550 m'ye kadar 300 Mb/s hızla veriler iletilebilir. MM fiberler için ortalama zayıflama 2.5 dB/km'dir. Basamak indisli çok modlu fiberler zayıflamaları çok fazla olduğu için kısa mesafelerde tercih edilmektedir. Kademeli indisli çok modlu fiber çeşidi ise çok modlu fiberdeki modal saçılmaları azaltmak için geliştirilmiştir. Bu tip fiberlerde çekirdek bölgesinin ortasından kılıf tabakasına doğru kırılma indisi derece derece azalır.

Bu fiberler kablolu TV, haberleşme bağlantıları gibi alanlarda kullanılmaktadır. Şekil 2.6'da çok modlu fiberde iletim gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Çok modlu fiberde iletim

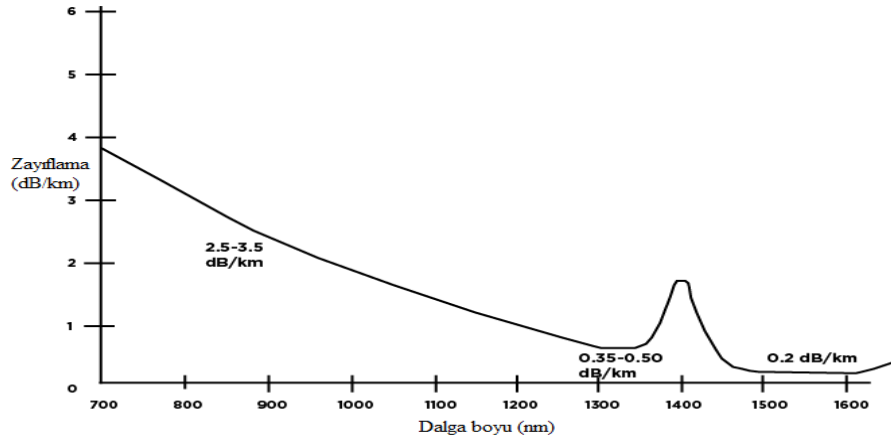
Mod terimi, verilen bir yönde ilerleyen dalgaların hareket edebildiği farklı yollar için kullanılır. Her fiberin taşıyabileceği mod sayısı çekirdek çapına ve yapısına bağlıdır. Fiberin iletebileceği mod sayısı için ilk olarak normalize frekans (V) ve daha sonra iletebilecek mod sayısı (N) bulunur. λ dalgaboyu, d çekirdek bölgesinin yarıçapı ve NA nümerik açıklık olmak üzere, normalize frekans,

$$V = (2\pi d/\lambda) * NA \quad (2.1)$$

$$N = V^2/2 \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir.

İşaretin fiberde iletimi boyunca çeşitli sebeplerden dolayı genliğinde zayıflamalar ve şeklinde bozulmalar meydana gelir. Zayıflama, ışık fiber içerisinde yol alırken meydana gelen güç kaybıdır. Fiberdeki saçılma kayıpları, fiber malzeme yoğunluğundaki (kırılma indisindeki) mikroskobik dalgalanmalardan ve homojensizliklerden oluşur. Saçılma, uzun dalgaboyundaki ışıklarda çok daha küçük bir etkiye sahiptir. Absorblama, saçılmayla aynı nedenden oluşur. Temel farklılık saçılma, ışığın dağılması şeklinde bir bozulma iken, bu olayda ışığın sönümlenmesi söz konusudur. Fiber içindeki kobalt, bakır, krom gibi yabancı maddeler absorblamaya neden olur. Fiberde modal saçılma ise aynı anda fibere giren ışınların farklı zamanlarla alıcı tarafına ulaşmasıdır ve çok modlu fiberlerde görülür. Şekil 2.7'de dalgaboylarına göre fiber zayıflama grafiği gösterilmiştir. Su iyonlarının ve cam kristallerinin rezonansa girdiği yani titreşim için enerji kullanmalarının gerektiği bazı dalgaboyu seviyeleri kullanılabilir değildir.



Şekil 2.7. Dalgaboyuna bağlı optik fiber zayıflama grafiği

Fiberin en iyi şekilde çalıştığı bazı dalgaboyu bölgeleri bulunur. Bunlara çalışma penceresi denilmektedir. Her pencere, tipik dalgaboyunun etrafında oluşur. Çizelge 2.1’de bu pencere aralıkları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Dalgaboylarına göre pencere aralıkları

Pencere Aralığı (nm)	Dalgaboyu (nm)
800-900	850
1300-1350	1310
1500-1600	1550

İletimde kullanılan ışık insan gözünün göremeyeceği dalgaboyları olan 850 nm, 1310 nm ve 1550 nm seviyelerindedir. Bu dalgaboylarında kayıpların minimum seviyelerde seyretmeleri optik iletimi mümkün kılar. Çizelge 2.2’de dalgaboylarına göre ortalama zayıflama değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Dalgaboylarına göre zayıflamalar

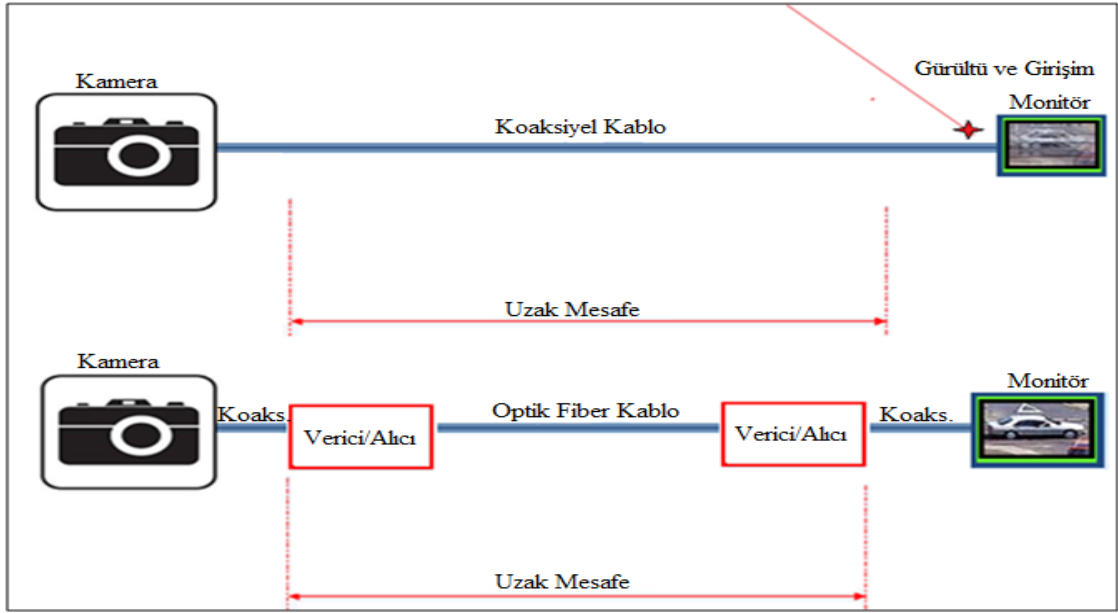
Dalgaboyu (nm)	Zayıflama (dB/km)
850	3.2
1310	0.36
1550	0.20
1625	0.25

2.1.3 Neden Fiber Teknoloji

Geleneksel bakır kablolardan oluşan erişim ağları oldukça sınırlı bant genişliği ve iletim mesafesi sağlamaktadır. Bu durumda devreye giren optik fiberlerin en önemli avantajı kayıplarının az olması ve geniş bant aralığı sağlamasıdır. Özellikle tek modlu fiberler çok uzak mesafeler için oldukça yüksek bant genişliğine imkân tanır. Ayrıca manyetik indüksiyonun neden olduğu olumsuz durumlardan etkilenmezler. Fiber kablolar enerji yaymadıkları için çapraz karışım (diyafoni) olmaz. Optik fiberlerin çevre koşullarına karşı dirençli olma özelliği ile birlikte tesis kolaylıkları vardır. Optik fiberler geleneksel bakır kablolarla oranla daha güvenlidirler. Bu avantajlarından dolayı genellikle mevcut bakır şebekelerin yerine geçmeye başlayan optik iletişim ağlarında gelecekteki sistemlerin fiberin doğrudan son kullanıcıya ulaştığı sistemler olması amaçlanmaktadır.

Türk Telekom'da fiber ilk olarak 1985 yılında Ankara'da Gölbaşı Uydu Yer İstasyonu ile Ulus Santrali arasında yaklaşık 42 km'lik optik fiber kablonun yer altından tesisatında kullanılmıştır. Bu tesiste 140 Mbps'de 1310 nm dalgaboyu kullanılarak tekrarlayıcısız optik iletim sağlanmıştır. Ayrıca 1987 yılında Aydın-Denizli arasında havai optik fiber kablo tesisi yapılmıştır [Onursal 2012].

Bakır iletkenli iletim sistemleri manyetik etkiden bozulurken optik iletim sistemlerinde bozulma yoktur. Bu nedenle yüksek gerilim iletkenlerinin içerisine fiber damarlar yerleştirilerek üretilebilmektedir. Bir yandan enerji taşınırken diğer yandan iletken içerisine yerleştirilmiş fiberler iletişim ortamı oluşturur. Şekil 2.8'de optik fiber ve koaksiyel kabloda iletim yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Optik fiber ve koaksiyel kabloda iletim

Optik fiberler yüksek hızlarda iletim sağlarlar. Optik iletim sistemlerinde taşıyıcı frekans çok yüksek olduğundan diğer sistemlerinkinden daha yüksek bant genişliklerine ve daha yüksek iletim hızlarına erişilmiştir.

Optik fiberlerde verilerin güvenliğinin sağlanması önemli bir unsurdur. Fiber damardan bilgi çalınabilmesi için kablonun (damarı) kesilip bir sisteme bağlanması gerekir. Optik iletimde manyetik alan veya başka bir ışıksal işaretin dışarıdan girme olasılığı yoktur. Bükülmelerden dolayı işaretler damar dışına taşsa bile diğer damarlara girip onları etkilemediğinden fiberde çapraz karışma (diyafoni) olmaz.

Optik fiberler elektriksel bakımdan yalıtkan maddelerden yapılmış olduğundan uçlar arasında tam bir elektriksel yalıtım sağlanır. Fiberlerin bu özelliği, Scada sistemleri, enerji şalt tesisleri, elektrik santralleri, kapalı devre televizyon sistemleri, uzay ve uçak haberleşme sistemleri ile askeri haberleşme sistemleri için çok uygundur.

Fiber damarlar +500°C' ye kadar ısıya dayanıklı olarak üretilebilmektedir. Bunun yanı sıra fiberlerin kırılma ve kopması durumunda kıvılcım çıkmadığından yangın riski bulunan patlayıcı maddelerin bulunduğu ortamlarda güvenle kullanılabilirler.

FO kabloların bakır kablolarına göre oldukça küçük ve hafif olması, göz çöklüyücü kullanılarak aynı gözden birden çok FO kablo çekilebilmesi nedeniyle tesisi kolaydır. Örneğin bakır iletkenler 3 kg/km iken, fiber damar 30-50 gr/km ağırlığına sahiptir. FO kablo makara boyu Telekom'da 2 km ve 4 km olarak kullanılır. Bu durum ek sayısını azaltmaktadır. Ancak FO kabloları uç uca eklemek kolay değildir. Bu nedenle bağlantılar füzyon yöntemiyle veya konnektörlerle yapılmaktadır.

Günümüzde FO sistemlerin uzun vadede maliyetlerinin diğer sistemlere göre düşük olduğu görülmektedir. Ham madde olarak doğada daha bol bulunur; ancak günümüzde ve kısa vadede maliyetli çözümlerdir. Ayrıca 5 km'den kısa mesafelerde optik fiberlerin kullanılması ekonomik değildir. Coğrafi yapının elverişli olmadığı yerlerde optik fiberlerin kullanılması zordur. Optik fiberler kırılğan bir yapıya sahiptir.

2.2 Optik Erişim Ağ Çeşitleri

Bu alt bölümde genel olarak optik erişim ağ çeşitleri incelenmiştir. Noktadan noktaya, aktif yıldız bağlantılı ve pasif yıldız bağlantılı ağlar ayrıntıları ile incelenmiş olup karşılaştırmalar yapılmıştır.

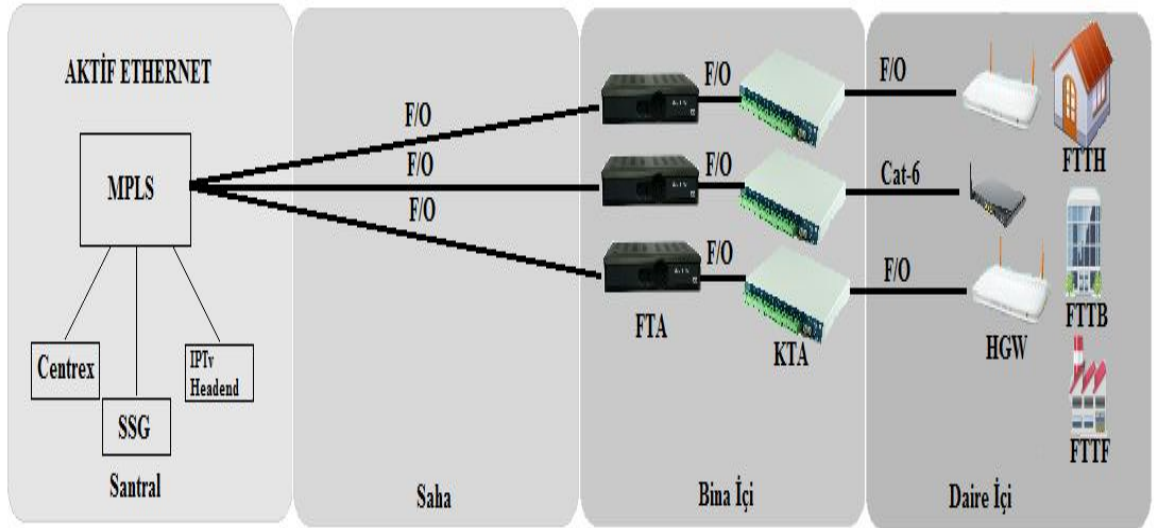
Optik ağ teknolojisi türleri yönünden incelenecek olursa noktadan noktaya bağlantılı ağlar, yıldız bağlantılı aktif elemanlı ağlar ve yıldız bağlantılı pasif elemanlı ağlar olarak gruplandırılır.

Optik ağlarda aktif ürünler, telekomünikasyon ve kablolu televizyon marketlerinde kullanılan kaynak lazerler, pump lazerler, dış modülatörler, dedektörler, alıcılar ve birleştirilmiş lazer modülleri olarak sıralanır. Pasif olarak nitelendirilen ürünler ise izolatörler, WDM kuplörler, ızgaralar, sirkülatörler, optik anahtarlar, ayarlanabilir filtreler ve bazı mikro-elektronik ve mekanik sistemlerdir. Aktif üniteler optik işareti üretmek için kullanılırken, pasif üniteler ise üretilmiş bu işaretin ayrıştırılması, yansıtılması ve birleştirilmesi gibi amaçlar için kullanılır.

Fiber erişim ağları aktif optik erişim ağları (AON) ve pasif optik erişim ağları (PON) olarak iki grupta incelenmektedir. AON'lar aktif olan, yani güç tüketen bir ara elemana ve yıldız topolojisine sahiptir. PON sistemlerinde ise yaygın olarak ağaç topolojisi

kullanılmaktadır. Merkez ofis ile aboneler arasındaki veri iletişimi pasif optik ayrıçalar ve optik fiberler ile sağlanır [Tanji 2008].

AON mimarisi Ethernet ağ yapısına benzemekle birlikte aktif Ethernet sistemi olarak bilinir. Bu sistemlerde veri trafiği Ethernet tabanlıdır. Yönetim sistemi hariç fiber toplama anahtarı (FTA), kenar toplama anahtarı (KTA) ve kullanıcı anahtarını içeren üç temel sistemden oluşur. Müşteri trafiği KTA ile toplanarak toplama merkezindeki FTA üzerinden çok protokollü etiket anahtarlama (MPLS) şebekesine optik fiber kablo üzerinden aktarılır. FTA ve KTA arasında aşağı ve yukarı akış trafiği iki fiber elyafı (1 per) üzerinden taşınır. FTA ve MPLS arasında ise yedekli (2 per) sistem bulunur. 1310 ve 1550 nm dalgaboylarında tek ya da çift fiber üzerinden farklı arayüzler kullanılarak santralden 10, 40, 70 km uzaklıktaki abonelere hizmet verilebilmektedir. Şekil 2.9’da aktif Ethernet ağ altyapısı gösterilmiştir.



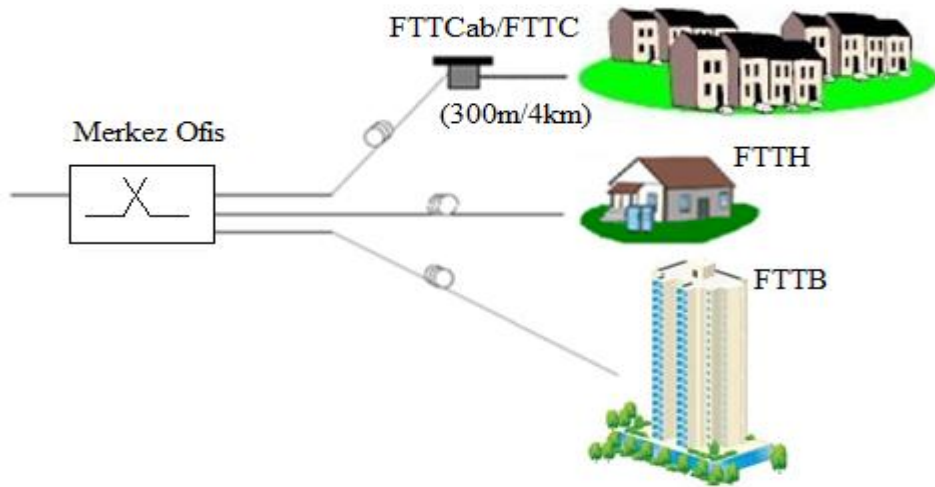
Şekil 2.9. Aktif Ethernet ağ altyapısı

Şekil 2.9’da görülen FTA, sistemde toplama merkezlerine kurularak KTA’lardan gelecek kabloların bağlanacağı ve harici güç kaynakları bulunan cihazlardır. Yukarı kanal portları ile MPLS’e bağlanır. Bu portlar 1 G ve 10 G Ethernet ara yüzlerine sahiptir. FTA cihazları MPLS şebekesine yedekli olarak 1-10 Gigabit bağlantı ile bağlanır.

KTA, bina altlarına ya da toplama noktalarına inşa edilerek kullanıcılardan gelecek kabloların bağlandığı cihazlardır. Bu cihazlar yukarı kanal portları ile FTA'lara bağlanarak abonelere sağlanacak servislere erişir. Yukarı kanal portları 1 G Ethernet ara yüzlerine sahiptir. Her bir KTA cihazı tek bir FTA'da sonlanacak şekilde sistem planlanmıştır. Her bir abone, ev ağ geçit (HGW) bağlantısı için bir adet KTA portu kullanır. Tüm KTA cihazları FTA'lara port sırasına göre bağlıdır.

2.2.1 Noktadan Noktaya Bağlantılı Ağlar

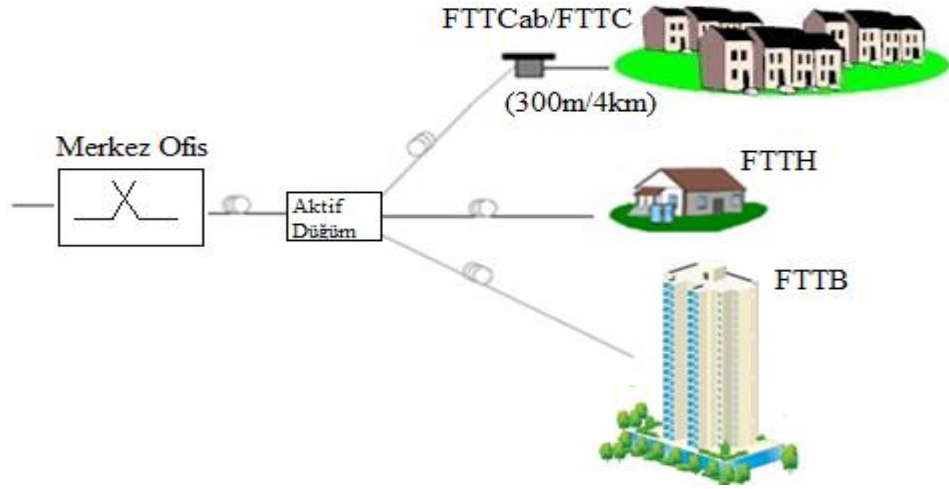
Noktadan noktaya bağlantılı ağlarda iletimin sağlanabilmesi için merkez ofisten her bir kullanıcıya ayrı bir optik hat döşenir. Böylece kullanıcılar birbirinden tamamen izole olmuş şekilde güvenli olarak ve diğer kullanıcı trafiğinden etkilenmeyecek şekilde hizmet alır ve ağ üzerinde iki nokta arasında problem oluştuğu zaman problem kolay şekilde çözülebilir. Ancak noktadan noktaya bağlantının kurulabilmesi için çok sayıda fiber hattın döşenmesi ve merkezi ofisteki hat girişinin her kullanıcı için ayrı bir sonlandırıcısının olması gerekir. Merkez ofise bağlanacak uç sayısının çok olması da beraberinde stok problemini getirecektir. Her bir kullanıcının birbirinden bağımsız sonlandırıcıya sahip olması merkez binalardaki cihaz sayısının artmasına neden olur. Noktadan noktaya bağlantılı ağlarda en yüksek kapasitede hizmet sağlanabilirken maliyetin yüksek olması dezavantajdır. Şekil 2.10'da noktadan noktaya bağlantılı optik erişim ağ yapısı gösterilmiştir [Koonen 2006].



Şekil 2.10. Noktadan noktaya bağlantılı optik erişim ağı

2.2.2 Aktif Yıldız Bağlantılı Ağlar

Tek bir fiberin bütün trafiği aktif bir düğüme kadar taşıdığı ve bu aktif düğümden sonra bağımsız fiber hatların bir kabine, apartmana veya eve bağlandığı modeldir. Bu ağ yapısında santralden çıkan tek bir fiber hat ile optik erişim ağı kurulur. Aktif düğüm aracılığıyla birden fazla kullanıcı biriminin bağlı olduğu fiberler tek fibere bağlanır. Elemana aktif denmesinin nedeni güç beslemesine gereksinim duymasındandır. Aktif düğümün kullanılması ile merkez ofisten çıkan fiber sayısı azalır. Ancak sistemin çalışma süresince kullanılan aktif elemanın enerji beslemesinin, bakımının ve güvenliğinin sağlanması ve doğal afetlere karşı korunması gerekmektedir. Aktif yıldız bağlantılı ağlar noktadan noktaya ağlara göre daha ucuz olmakla birlikte daha az verimlidir. Aktif yıldız bağlantılı ağlar uygun maliyetlerinden dolayı noktadan noktaya ağlara tercih edilebilmektedir. Şekil 2.11’de aktif yıldız bağlantılı optik erişim ağ yapısı gösterilmiştir.

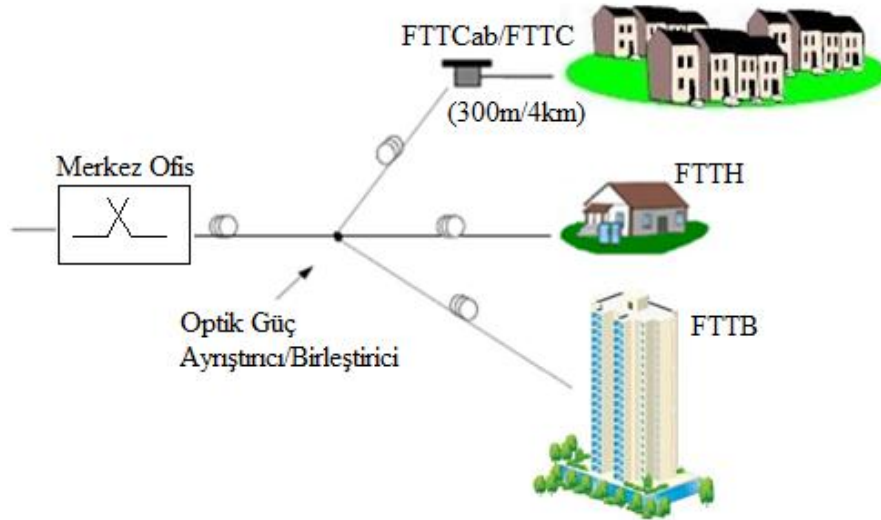


Şekil 2.11. Aktif yıldız bağlantılı optik erişim ağı

2.2.3 Pasif Ağaç (Yıldız) Bağlantılı Ağlar

Pasif ağaç bağlantılı ağlar, aktif düğümlü mimarideki ara aktif elemanın pasif bir optik elemanla değiştirilmesi sonucu oluşan mimarilerdir. Burada pasif elemanın kullanılması ile gerekli enerji ve bakım maliyeti ortadan kaldırılır. Tek bir fiber kablodaki ışığın iki veya daha fazla sayıdaki fibere aktarımı herhangi bir dönüşüm işlemi olmadan sağlanır. Bu görevi üstlenen optik ayraçların geliştirilmesi ile aktif yıldız bağlantılardaki ara

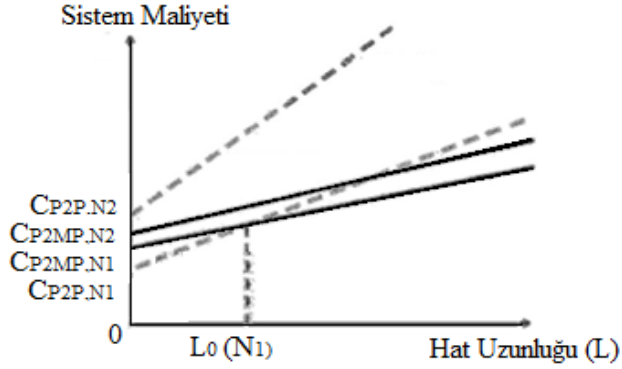
düğüme olan ihtiyaç ortadan kalkmıştır. Merkezi ofisten gelen fiber hat bir veya daha fazla optik ayraç ile bölüştürülerek kullanıcılara paylaşılır. Pasif ağaç topolojisi, PON olarak nitelendirilir. PON'larda veri iletimi optik ayraç üzerinden bölüştürülen hatlarda tamamen optik ortamda gerçekleşir. Merkezden kullanıcılara doğru veri iletimi olacağı zaman ortak fibere bırakılan ışık demetleri optik ayraçta kırılarak aşağı yöndeki tüm hatlara iletilir. Kullanıcı cihazlar yakaladıkları ışık demetlerini elektronik ortama dönüştürerek inceler ve kendilerine ait olan paketleri alır. Ters yöndeki iletimde ise kullanıcıların gönderdikleri paketler PON'un kullanıcı ünitesinde ışık demetlerine çevrilir ve kesintisiz olarak merkez ofise kadar iletilir. PON sistemlerinde bahsedilebilecek en büyük dezavantaj bağlanabilecek kullanıcı ünitesi sayısının sınırlı olmasıdır. Bunun nedeni herhangi bir güç beslemesi kullanmayan optik ayraçlarda ışığın her kırılma adımından sonra işarette oluşan güç kaybıdır. Kullanıcı ünitesinin gelen işareti çözümleyebilmesi için gelen enerji seviyesinin belirli bir eşik değerinin üzerinde olması gerekir. PON bu kısıtlamasına rağmen maliyet bakımından diğer topolojilere göre daha yüksek başarı sağlar. Şekil 2.12'de pasif ağaç bağlantılı optik erişim ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Pasif ağaç bağlantılı optik erişim ağı

2.2.4 Optik Erişim Ağ Çeşitlerinin Karşılaştırılması

Optik ağına bağlı olan kullanıcı sayısının düşük olduğu durumlarda noktadan noktaya ağlar ekonomik çözüm olarak görülebilir. Ancak kullanıcı sayısının artması durumunda hat uzunluğu düşük tutulsa bile noktadan noktaya ağlarda maliyet çok fazla artış göstermektedir. Diğer yandan noktadan çok noktaya bağlantılarda bu maliyet artışı çok düşük seviyelerde gerçekleşir. Hat uzunluğunun çok fazla artırılması durumunda ise her koşulda noktadan noktaya ağların maliyetinin noktadan çok noktaya olan ağlara göre belirgin biçimde fazla olduğu görülür. N optik ağına bağlı kullanıcı sayısı olmak üzere, $N_2 > N_1$ olarak alınırsa sistem maliyeti-hat uzunluğu grafiği Şekil 2.13'teki gibi olmaktadır.



Şekil 2.13. Optik erişim ağ çeşitlerinin erişim mesafesi ve kullanıcı sayısına göre maliyet karşılaştırması

2.3 PON Sistemlerinin Gelişimi

Bu alt bölümde, pasif optik ağ mimarilerinin gelişim süreci incelenmiş olup son kullanıcıya kadar fiber sistemler PON mimarileri ile birlikte ele alınmıştır. Pasif optik ağ standartları incelenerek GPON teknolojisi avantaj ve dezavantajları ile birlikte anlatılmıştır.

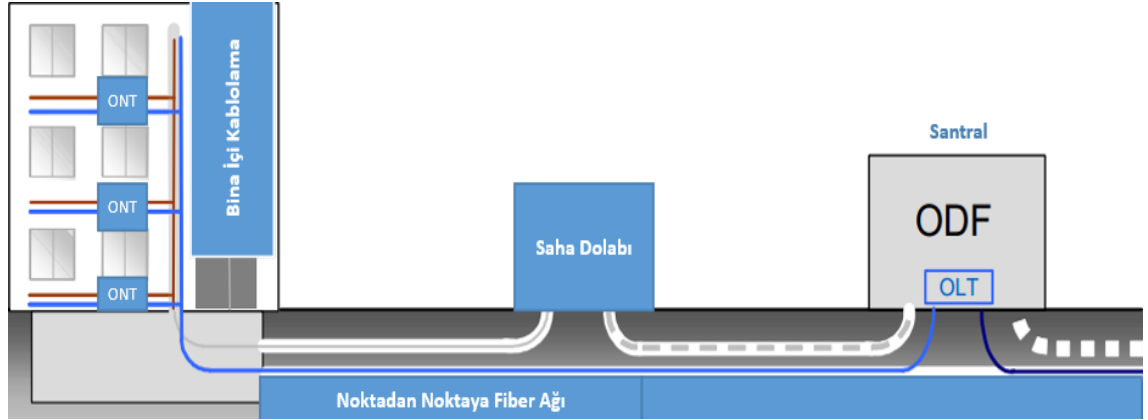
2.3.1 Son Kullanıcıya Kadar Fiber Sistemler

FTTx sistemler, herhangi bir IP noktasından alınan verileri toplu ve birbirinden bağımsız bir alanda, her bir aboneye istenilen bant genişliğinde teslim edilmesi için oluşturulan veri taşıma platformudur. FTTx sistemlerde verilen içeriklerin tümü IP

tabanlı bir altyapıya dönüştürüldüğünden isteyen abone istediği içeriği kolaylıkla alabilmektedir.

Gelecek nesil optik iletişim ağlarının, fiberin doğrudan son kullanıcıya kadar ulaşabildiği sistemler olması hedeflenmektedir. Bu uygulamaların genel adı FTTx olup buradaki “x” terimi sistemin sonlandığı noktaya göre verilen isimlerdir. Özellikle eve kadar fiber anlamına gelen FTTH yapıları günümüzde ve gelecekteki uygulamalarda kullanılması amaçlanan sistemlerdir. Bu sistemlerde bakır hatlar tamamen optik fiber kablolarla değiştirilmiş olup bakır kabloların neden olduğu karakteristik sınırlar ortadan kaldırılmıştır.

FTTH sistemlerde, optik hat sonlandırıcı ünite her kullanıcının kendi evinde bulunur ve her bir kullanıcı optik hattın tam kapasitesinden yararlanabilir. FTTH’da hanelerin saha dolabına bağlanma zorunluluğu ortadan kalkarak saha dolapları tarafından yürütülen dağıtım fonksiyonlarına gerek kalmaz ve aboneler ile omurga arası bağlantı tamamen optik fiberlerden sağlanır. FTTH sistemler “noktadan noktaya FTTH” ve “noktadan çok noktaya FTTH” olmak üzere iki şekildedir. Noktadan noktaya FTTH sistemlerde saha dolabı devreden çıkarak fiber bağlantıların santraldeki sonlanma ve çoklanıp omurgaya aktarılma işlemlerinin gerçekleştirildiği optik hat sonlandırıcıdan (OLT) optik şebeke terminali (ONT) olarak adlandırılan ve her bir aboneye erişim sağlayan terminallere, kapasite paylaşımının olmadığı birer optik fiber kablo çekilir. Bu topolojiye sahip ağlarda OLT ile abone arasındaki mesafenin 80 km’ye kadar çıkması mümkün olabilmektedir. Ancak maalesef bu sistemler kısa vadede servis sağlayıcısına kazanç getirmemektedir. Bunun yerine optik erişim ağının tek bir sonlandırma noktasının birden fazla kullanıcıya hizmet verebileceği çözümler uygulanmaktadır. Şekil 2.14’te noktadan noktaya FTTH mimarisi gösterilmiştir.



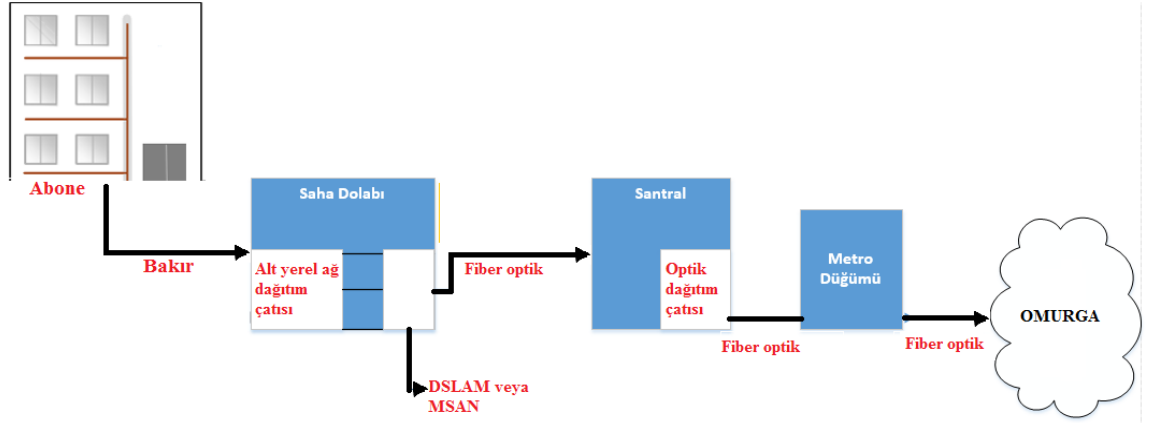
Şekil 2.14. Noktadan noktaya FTTH mimarisi

Şekil 2.14’te görülen FTTH mimarisinde saha dolabına bir pasif optik ayırıcı konumlandırılması durumunda noktadan çok noktaya FTTH mimarisi elde edilir. Bu sistemlerde OLT’den toplu halde optik fiber kablo üzerinden iletilen işaretler farklı abonelere iletmek üzere optik ayırıcıda bölünerek her bir işaret ilgili kullanıcılara optik fiber hat üzerinden iletilir. Her bir abone kendisine toplu olarak iletilen içerikten sadece talep etmiş olduğu içeriği alır. OLT’den çıkan tek bir optik fiber bağlantının pasif optik ayırıcının bölme oranına bölünmesi ile her bir aboneye düşen kapasite belirlenir. Kullanıcılar ile PON arasındaki ara yüz olan ONT ve ONU elektronik ekipmanları aynı işlevleri yerine getirmekte olup aralarındaki tek fark ONT’nin kullanıcı konutlarında, ONU’nun ise konutların dışında konumlandırılmasıdır.

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 [Uzar ve Ünverdi 2014].

Binaya kadar fiber anlamına gelen FTTB uygulamalarında, merkez ofisteki anahtarlama cihazından çıkan fiber hat binanın sınırlarına kadar ulaşır ve bina içindeki bir yerel alan ağı (LAN) ile dağıtılır. Her ne kadar çok kısa bir bakır yerel ağın kullanımı gerekse ve bina içerisinde yüksek hızlı dijital abone hat (VDSL2) erişiminin uygulandığı bir mimari olsa da FTTB, bina girişine kadar FTTH ile eşit düzeyde optik fiber kablo çekildiğinden dolayı FTTH kapsamında ele alınabilmektedir.

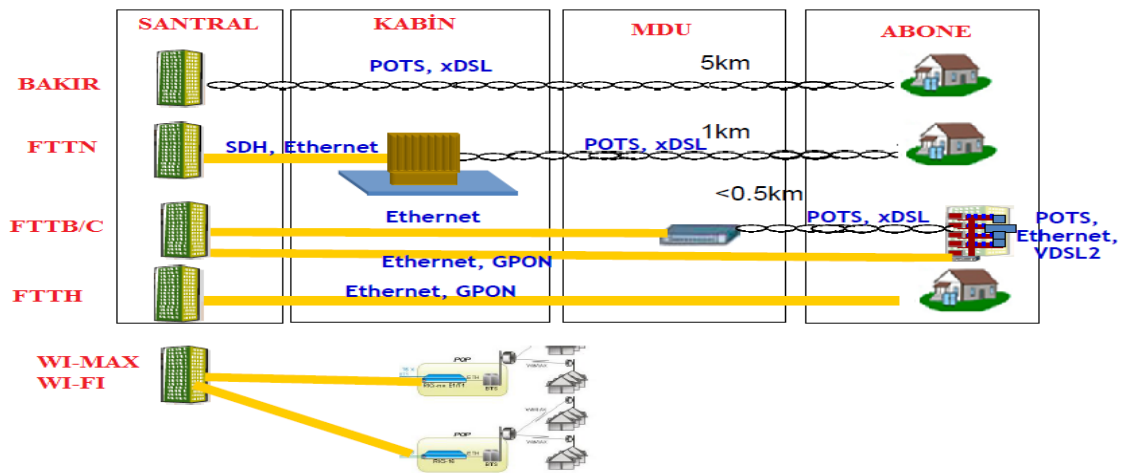
Bir diğeri FTTx uygulaması ise kabinete kadar fiber (FTTCab) olarak adlandırılır. Bilindiği üzere erişim şebekelerinde abone ile santral arasındaki bağlantı saha dolapları vasıtasıyla sağlanmaktadır. Bir santralin hizmet verdiği bölgedeki aboneleri ile olan bağlantılar, belirli sayıda kullanıcıya ait bağlantıların o santrale bağlı saha dolaplarına toplu olarak aktarılması sureti ile sağlanmakta olup kabinde kabloların sonlandığı kısım olan alt yerel ağ dağıtım çatısı ile her bir abone arasında bir bağlantı kurulur. Santral, altındaki her bir saha dolabına, o saha dolabının altında bulunan tüm abonelerin bağlantılarını toplu halde verir. Bir saha dolabı, işletmecilerin tercihleri doğrultusunda birkaç yüz kişilik kullanıcı kitlesine genellikle 1.5 km'ye kadar hizmet verebilmekte olup bu mesafe ortalama 300-400 m arasında değişmektedir. FTTCab'ın alt yerel ağ uzunluğunun 300 m'den uzun veya kısa olmasına göre kaldırılma kadar fiber (FTTC) ve düğümüne kadar fiber (FTTN) olmak üzere iki alt çeşidi bulunmaktadır. FTTCab mimarisinde, santralden saha dolaplarına kadar optik fiber kablo çekilmekte olup saha dolapları sonrasında söz konusu olan alt yerel ağda VDSL2 erişimi kullanılır. Santralde bulunan ve abone modemlerinden gelen trafiğin toplandığı aktif bir eleman olan sayısal abone hattı erişim çoklayıcısının (DSLAM) fonksiyonu ise mimaride saha dolaplarına konulan yeni nesil DSLAM veya çoklu hizmet erişim düğümü (MSAN) olarak adlandırılan çok fonksiyonel DSLAM türevi ekipmanlar ile ses, görüntü ve veri iletimi gerçekleştirmektir. Bu uygulamalarda, fiber abonenin yaklaşık 1 km yakınına kadar döşenir. Sokak kabini ya da dağıtıcı kabin şeklindeki yaklaşımlarda sistem koaksiyel televizyon şebekesi veya VDSL şebekesi aracılığıyla kullanıcılara bölüştürülür. Bu şekilde optik hattın maliyeti birden fazla kullanıcıya bölüştürülmüş olur. Ancak mevcut koşullarda bir saha dolabına bağlı olan abonelerin en iyi koşullarda yaklaşık % 50 si saha dolabına, VDSL2 hizmetini etkin olarak alabilecekleri mesafede bulunmaktadır. Ayrıca bu tür sistemlerde kullanıcıların çıkabileceği maksimum bant genişliği miktarı sınırlı düzeyde kalır ve anlık performans diğer kullanıcıların davranışlarına bağlı olarak değişir [Acar 2009]. Şekil 2.15'te FTTCab mimarisi gösterilmiştir.



Şekil 2.15. FTTCab mimarisi

FTTC kaldırılma kadar fiber anlamında olup bu uygulamalarda, merkez ofisinden çıkan fiber abonenin yaklaşık olarak 1-3 km kadar yakınındaki bir anahtarlama cihazına kadar getirilir. Buradan sonra ise koaksiyel, bükülü çift bakır kablo ya da optik fiber kabloyla müşteriye kadar bağlantı hizmeti götürülür.

Günümüzde Japonya ve Çin’de FTTH/B teknolojileri özellikle Gigabit Ethernet PON (GEAPON) mimarisiyle en yoğun aboneye sahip grubu oluşturmaktadır. ABD’de de 2007 yılından bu yana FTTx çalışmaları yoğunluk kazanmıştır. Şekil 2.16’da FTTx uygulamaları yapısal olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.16. FTTx Uygulamaları

Yeni nesil optik erişim ağlarında santralden kullanıcı cihazlarına kadar olan bakır kablodan oluşan yerel ağın optik fiber kablolarla değiştirilmesi amaçlansa da çeşitli stratejilere bağlı olarak bakır kablonun kabinden sonraki kısımda kullanılmasına devam edilebilmektedir. Şebeke topolojisinin belirlenmesinde abonelerin santrale göre konumları, erişim şebekesinin özellikleri, maliyet analizi ve çevresel faktörler dikkate alınmalıdır.

2.3.2 PON Tarihi

PON teknolojileri ilk olarak 1980'lerde uzak mesafe telekomünikasyon sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır. 1990'ların ortalarında bant genişliğine olan ihtiyaçtaki hızlı yükseliş optik hatların erişim ağlarında kullanılmasının önünü açmıştır. 1995 yılında Tam Hizmet Erişim Ağı (FSAN) grubunun kurulması ile PON üzerinde çalışmalar yoğun olarak başlamıştır. FSAN grubu, PON topolojisinin ve zaman bölmeli çoğullamanın erişim kontrolünde kullanılması konusunda fikir birliği sağlamıştır. 1996 yılında ise FSAN tarafından asenkron iletim modunun (ATM) çoklu servisli ağlarda en iyi kapsülleme yöntemi olduğu kararlaştırılmıştır.

1990'ların sonlarına doğru PON'lar için uygulanabilir bir teknoloji oluşmuştur. Ancak gerek Avrupa'da gerekse ABD'de bu uygulamalara geçmek zaman almıştır. Bunun nedenlerinin başında ülke yönetiminin yeni teknolojileri onaylamaması ve maliyet politikaları gelmektedir. Bu zamanlarda kablolu TV sistemleri henüz üçlü hizmet verebilecek düzeye gelmediğinden servis sağlayıcı firmalar bakır telefon şebekesi üzerinde çalışan x dijital abone hattı (xDSL) sistemlerine yönelmiştir.

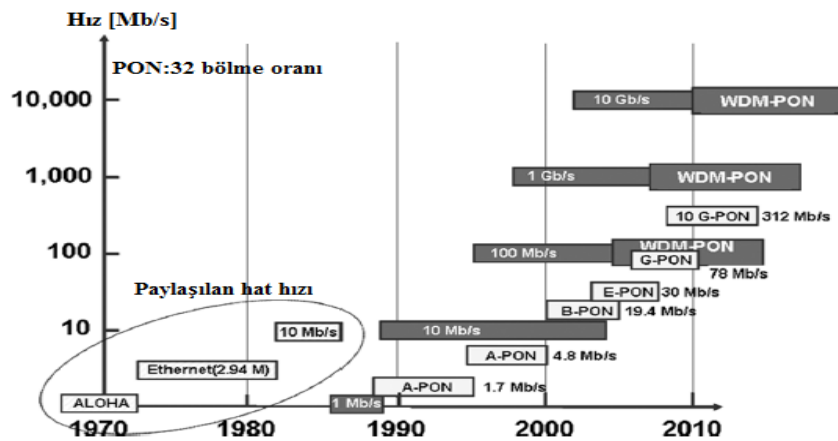
1997'de FSAN'ın teklifi ile ITU-T G.983.1 standardı kabul edilmiştir. G.983.1, simetrik 155 Mbps bit hızıyla ATM Pasif Optik Erişim Ağı (APON) mimarisini ifade eder. APON teknolojisinin biraz daha öncesine gidilecek olursa Telefon PON (TPON) ismiyle anılan PON çeşidinin olduğu ortaya çıkmaktadır. TPON yapısı kısaca PON ağı üzerinden iletişimin sağlanması olup 256 çift yönlü telefon kanalı, 128 ayırım için yeterli güç hesabı ve güç koruması için CMOS teknolojisini içerir.

APON mimarisi zamanla servis sağlayıcılarının ihtiyaçlarını karşılayamaz duruma gelmiştir. Bunun sonucunda 2001 yılında APON sistemleri geliştirilerek Geniş Bant

Pasif Optik Erişim Ağı (BPON) tasarlanmıştır ve Uluslararası Telekomünikasyon Birliğinin (ITU) ITU-T G.983 serisi adı altında standartlaştırılmıştır. BPON 155 Mbps yukarı kanal - 622 Mbps aşağı kanal olmak üzere ve simetrik olarak 622 Mbps iletim hızlarını destekler. 20 km mesafede 64 kullanıcı birimine hizmet verebilen bu yeni mimari APON gibi zaman bölmeli çoğullama (TDM) ve ATM paketleme yöntemlerini kullanır. BPON sistemler özellikle Amerika’da 2003 ve 2007 yılları arasında çok aktif olarak kullanılmıştır.

2005 yılında ITU-T G.983.3 standardında tekil fiber üzerinde dalgaboyu bölmeli çoklama ile 1.3 µm dalgaboyunun yukarı akış trafiği, 1.49 µm dalgaboyunun da aşağı akış trafiği için kullanılması belirlenmiştir. 1.55 µm dalgaboyu ise analog televizyon işaretlerinin iletilmesinde kullanılmıştır.

2001 yılında Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) tarafından başlatılan bir projede Ethernet çerçevelerinin PON sistemler üzerinden taşınması konusu ele alınmıştır. Bu durumdan esinlenerek geliştirilen EPON sistemi IEEE 802.3ah standardı adı altında 2004 yılında onaylanmıştır. EPON’da veri iletimi için değişken uzunluktaki Ethernet paketleri kullanılır. EPON teknolojisi 10-20 km mesafede 16 adet ONU’ya çift yönlü olarak 1 Gbps hızlarında hizmet verebilecek kapasiteye sahiptir. Şekil 2.17’de Ethernet ve pasif optik ağların yıllara göre gelişim grafiği gösterilmiştir [Keiser 2006].



Şekil.2.17. Ethernet ve pasif optik ağların yıllara göre gelişimi

Ethernet paketlemesi üzerine yapılan çalışmalardan sonra fiziksel katman paketlemesine dayanan genel çerçeveleme prosedürü (GFP) üzerinde çalışmalar sürdürülmüştür. Yapılan bu çalışmalar sonucunda G.984 standardının temelini oluşturan GPON mimarisi oluşturulmuştur. GPON standardı GPON kapsülleme yöntemini (GEM) esas alarak 2488 Mbps gibi büyük hızları simetrik olarak desteklemekle birlikte daha çok 2488/1244 Mbps aşağı/yukarı kanal hızlarını kullanır. Optik bölme oranını 128'e kadar destekleyen GPON mimarisinin en önemli avantajlarından biri BPON'daki eski nesil ATM çerçeveleri yerine GEM adı verilen çerçevenin kullanılmasıdır. Çizelge 2.3'te PON standartlarının karşılaştırması yapılmıştır.

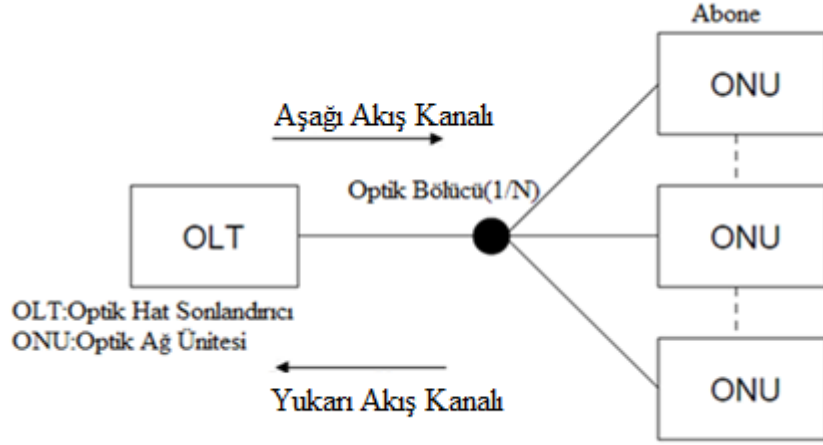
Çizelge 2.3. PON standartlarının karşılaştırılması

	BPON	GE-PON	G-PON
Standart	ITU-T G.983	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984
Alım Veri Hızı	622 Mbps	1 Gbps	2.4 Gbps
Gönderim Veri Hızı	155 Mbps	1 Gbps	1.2 Gbps
İletim Formatı	ATM	Ethernet	Ethernet + TDM +ATM

FSAN grubu sürekli olarak mevcut standartları geliştirme eğilimindedir. Dağıtım oranının azaltılarak kapasite artırmaya yönelik yapılan çalışmaların sonucu olarak ölçeklenebilir bant genişliğinin, uzak mesafeye erişimin mümkün olduğu ve her bir dalgaboyu için ayrı ayrı çalışma hızının ve ayrışma oranının ayarlanabilir olduğu dalgaboyu bölmeli çoğullama yöntemine dayanan pasif optik ağ (WDM-PON) teknolojisi geliştirilmiştir. Ancak bu avantajlarının yanı sıra kapasite ihtiyacı 1 Gbps altında olan ev kullanıcıları için WDM-PON, GPON ve EPON sistemlere göre daha pahalıdır. 2008 yılından itibaren WDM-PON'lar, Kore Telekom (KT) tarafından abonelere geniş bant hizmetler sunabilmek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca Kore'de 2007 yılından itibaren devlet destekli olarak melez PON (WDM-TDM-PON) üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir [Takai ve Yamauchi 2008].

2.3.3 Pasif Optik Ağ Sistem Tasarımı

Bir PON sistemi, Şekil 2.18’de görüldüğü gibi OLT (Optical Line Termination, Optik Hat Sonlandırıcı), ONU (Optical Network Unit, Optik Ağ Ünitesi), OLT ve ONU’lar arasında bilgi akışını bölümleyen ve birleştiren optik ayraç ve bu cihazları birbirine bağlayan fiber kablolardan meydana gelir.



Şekil 2.18. Pasif optik ağ bileşenleri

Merkez ofise yerleştirilen OLT cihazı merkezi ekipmandır ve verinin optik dağıtım ağı boyunca çift yönlü olarak iletilmesini sağlar. Başka bir deyişle OLT cihazı aşağı yönde şehir içi ağdan aldığı ses, veri ve video trafiğinin tüm ONU cihazlarına, yukarı yönde ise farklı içerikteki verilerin şehire içine dağıtılmasından sorumludur. OLT cihazları, son kullanıcılardan gelen bütün trafiğin toplanıp gerekli yerlere aktarıldığı istasyondur. ONT/ONU kullanıcılar ile PON arasındaki ara yüz olup; ayırıcılar OLT’den gelen optik işaretleri her bir ONT/ONU’da elektriksel işaretlere dönüştürür. ONT/ONU sonrasında erişim bina içinde bakır veya optik fiber kablo üzerinden sağlanır. Diğer bir ifadeyle OLT kapasitesi, ayırıcı üzerinden her bir ONT/ONU’ya paylaşılır. OLT, kendisine bağlı olan ONT/ONU’lara ses, veri veya görüntü içerikli aşağı ve yukarı akış trafiklerinin her biri için farklı dalgaboylarındaki işaretler kullanır. OLT cihazlarında abonelere iletilecek işaretin sağlığı açısından optik güç ölçümü yapan birimler bulunmak zorundadır.

OLT'de bulunan OLT kasası güç kaynağı, fan ve kart yuvalarından oluşur. Yukarı kanal kartı, PON ve kontrol modüllerinden oluşup ONU'lardan aldığı veri trafiğini uygun şekilde yüksek hızlarda anahtarlayarak şehir içi ağa doğru yönlendirir.

Türk Telekom, Ericsson EDA 1500 OLT cihazını kullanmaktadır. Şekil 2.19'da örnek OLT cihazı gösterilmiştir. Bu cihaz GPON sistemler için tasarlanmış olup Ericsson 1500 platformunda port yoğunluğu ile ilgili olarak yeni kriterler belirlenmiştir. 16 portlu bir GPON OLT board, 14000 'den fazla FTTH abonesine geniş bant hizmetler sağlayabilir özelliktedir. Bu port yoğunluğu merkez ofis alanının küçülmesini, port maliyetlerinin ve hat başına güç profilinin azalmasını sağlayarak ekonomik olarak önemli tasarruflar getirmiştir. OLT cihazı geniş bant erişim ekipmanları ile yüksek hızlı, zengin çoğul ortam içerikli yeni nesil IP tabanlı ağlar için basit, akıllı ve ölçeklenebilir çözümler getirmektedir [Anonim 2011].

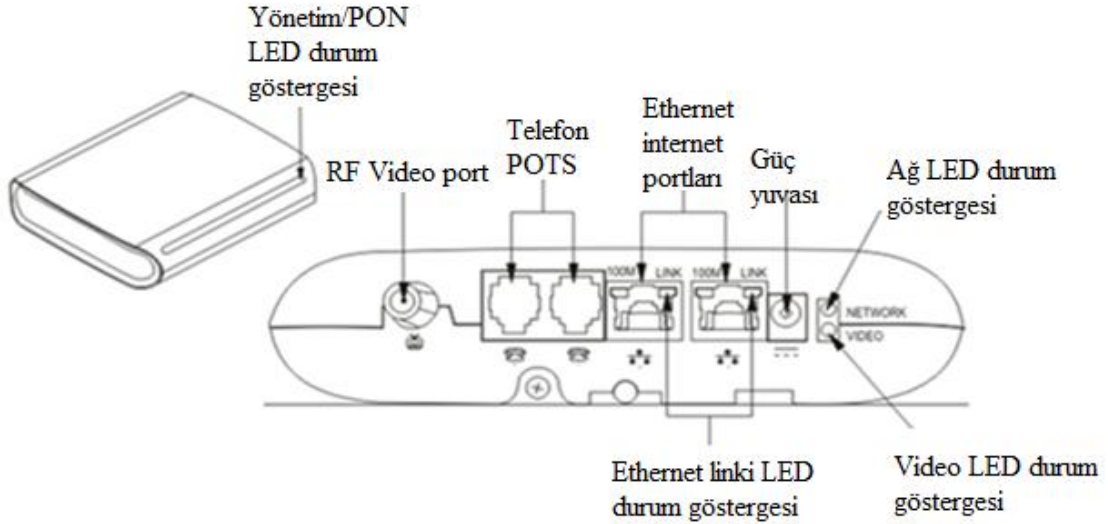


Şekil 2.19. Ericsson OLT

ONU birimi son kullanıcının ilk olarak erişebildiği, merkez ofisten gelen trafiğin aboneye aktarıldığı ve abone isteklerini merkez ofise taşıyan ekipmandır. ONU doğrudan kullanıcının evine ya da işyerine yerleştirilir ve gerekli elektriksel-optik dönüşümleri sağlayarak ağ içerisinde bağlantı noktası oluşturur. ONU birimi verilecek hizmete bağlı olarak farklı haberleşme servislerini sağlayabilir. Örneğin Şekil 2.20'de görüldüğü gibi iki port'dan telefon çıkışı sağlanmaktadır. OLT'den çıkan optik bilgi, bölücü ile tüm ONU'lara dağıtılır. ONU'lar gelen bilgiyi eğer kendisine gönderilmiş ise

alıp işler. ONU'ların kendine ait olmayan bilgiyi de alma durumu olduğundan geliştirilecek servislerin giden paketlerin gizliliğini sağlaması gerekir. Diğer taraftan tüm ONU'lardan OLT'ye iletimde tek bir fiber hattın kullanılması gerektiğinden gönderilen verilerin hat üzerinde çakışmasını engelleyecek çoklu erişim sisteminin kullanılması gerekir.

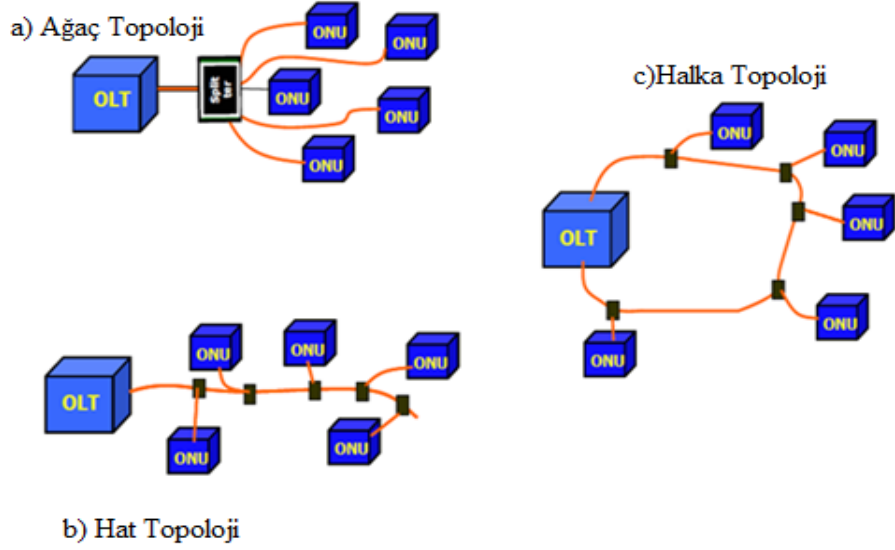
Günümüzde standartlaşmış PON mimarileri, zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA) yöntemini kullanmaktadır. Üzerinde oldukça yoğun çalışmaların bulunduğu diğer bir çoklu erişim yöntemi de dalgaboyu bölmeli çoklu erişim (WDMA) yöntemidir. Şekil 2.20'de ONU biriminin yapısı gösterilmiştir.



Şekil. 2.20. ONU birimi

ONU cihazı evlerde kullanılan ve köprü görevi gören kablolu modem cihazlarına eşdeğer görülmektedir. VoIP destekli bu cihazlar internet hattı üzerinden telefon hizmetlerini de destekler.

Pasif optik ağlarda hat (ortak yol) topolojisi, halka topolojisi, ağaç topolojisi ve örgü topoloji gibi yapılar abone yerleşimlerinin fiziksel özellikleri, çevre şartları ve maliyet göz önünde bulundurularak kullanılmaktadır. Şekil 2.21'de pasif optik ağ topoloji çeşitleri verilmiştir [Dhaini 2006].



Şekil 2.21. PON topoloji çeşitleri

2.3.4. Gelişmiş PON Standartları

Mevcut iki önemli PON standardı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi IEEE tarafından geliştirilen EPON, ikincisi ise ITU tarafından geliştirilen ve kontrol edilen GPON'dur.

İlk PON standardı, 1995'te geliştirilen ve ATM çalışma prensiplerine dayalı olan ATM-PON olup bu standartta simetrik olarak 155 Mbps bant genişliği elde edilmiştir. ATM PON'da hem ses, hem veri, hem de görüntü iletiminde 5 baytlık başlık bilgisinin ve 48 baytlık ana bilginin oluşturduğu 53 bayt büyüklüğündeki ATM hücreler kullanılıp iletimlerde garantili hizmet kalitesi sağlanabilmektedir. Yeni nesil şebekelerde verilerin IP paketler halinde taşındığı ve bu paketlerin 65536 bayt boyutuna sahip olabildikleri düşünüldüğünde, IP paketlerin ATM PON'da iletiminde 48 bayt boyutundaki ATM hücrelere bölünmesi gerektiğinden ve 5 baytlık çok fazla başlık bilgisi ihtiva ettiğinden gereksiz yığılmalar oluşacaktır. Başlık bilgilerinin neden olduğu bu gereksiz yığılma bant genişliğinin azalmasına ve sistem maliyetinin artmasına neden olur.

Bir ITU standardı olan BPON, ATM PON üzerine inşa edilmiş olup farklı dalgaboylarına sahip olan optik işaretlerin tek bir optik fiber kablo üzerinden taşınabildiği dalgaboyu bölmeli çoğullama (WDM) uygulamasını destekler. BPON asimetrik olarak yukarı ve aşağı kanalda sırasıyla 155 Mbps ve 622 Mbps, simetrik

olarak da 622 Mbps bant genişliklerini destekleyip 20 km mesafeden 64 aboneye hizmet sağlayabilmektedir.

EPON ise diğer PON standartlarından farklı olarak Ethernet standardını temel alır. Veri iletimi için sabit ATM hücreleri yerine değişken uzunluktaki Ethernet paketlerini kullanır. EPON’ da haberleşme, boyutları en çok 1518 bayt olan Ethernet çerçeveleriyle gerçekleştirilmekte olup 1.25 Gbps bant genişliği sağlanabilmektedir. EPON’da 20 km’lik bir alan içerisinde bir OLT 16 adet ONT/ONU’ya bağlantı sağlayabilir. Ethernet teknolojisi ile yönetim, Ethernet bazında bağlantı, müşteri ve merkezdeki IP ekipmanlarının çalışması kolaylıkla sağlanır. EPON mimarisi işaretleri çoğullama amacıyla optik ayırıcı kullanır ve abone ucundaki bölücü enerjiye ihtiyaç duymaz [Erkan 2008].

EPON mimarileri, maliyetinin düşük olması, noktadan çok noktaya ve doğal Ethernet yapısı dolayısıyla avantajlı bir teknolojidir. Ethernet teknolojisi yüksek hız ve verimlilik söz konusu olduğunda diğer teknolojilerin önündedir. Token Ring, Fiber Dağılımlı Veri Arayüzü (FDDI), Eşzamanlı Optik Ağ (SONET), DSLAM ile ATM teknolojisinde, metro ağlarda çoklu servislerle karşılaştırıldığında üstünlük sağlar. Ethernet ucuz ve basit olup Ethernet’in uygulanması ve yönetilmesi kolaydır. EPON değişken boyutlara sahip çerçeve yapısıyla IP trafiğinin taşınmasında en elverişli teknoloji olup garantili hizmet seviyesinin artırılması ile günümüzde daha popüler hale gelecektir.

GPON mimarisi, FSAN’ın Telekom çalışmalarından ortaya çıkmıştır. 2003 yılında G.984 standardıyla yayınlanan GPON, BPON’un geliştirilmiş versiyonudur. 2488 Mbps (~2.5 GB/s) gibi büyük hızları simetrik olarak desteklemekle birlikte daha çok 2488/1244 Mbps aşağı/yukarı kanal hızlarında kullanılır. Optik bölme oranını 128’e kadar destekleyen GPON mimarisinin en önemli avantajlarından biri BPON’daki eski nesil ATM çerçeveleri yerine GEM adı verilen çerçevenin kullanılmasıdır. Bu yapı ile TDM, Ethernet ve IP gibi farklı yapıdaki paketlerin çerçevelenmesi sağlanmıştır. Aynı zamanda ATM ve GEM çerçeveleme yöntemlerini eşzamanlı kullanabilmesi sayesinde ATM paketlerini de destekler. GPON dinamik bant genişliği ataması (DBA), gelişmiş şifreleme standardı (AES) özelliklerine sahiptir. GPON teoride 60 km olmakla birlikte fiziksel olarak 20 km mesafeye erişim sağlayabilir. 15 km’lik bir alan içerisinde 64 adet,

20 km'lik bir alan içerisinde 32 adet ve 30 km'lik bir alan içerisinde 16 adet ONT/ONU'ya hizmet sağlayabilirler. 2.5 Gbps aşağı kanal bant genişliğinin ve ayırma faktörünün 32 olduğu bir GPON uygulamasında her bir aboneye 80 Mbps bant genişliği sağlanabilir. Günümüzde GPON maliyetleri giderek azalmaktadır.

Veri transferi sırasında alıcı ve vericiler arasındaki işaret gücü önemli ölçüde azalmaktadır. Bu kayıplar yüksek bant genişliklerinde alıcı duyarlılığını azaltan gürültüden ya da kromatik dispersiyondan meydana gelir. G984.2 standardında bahsedilen ileri yönlü hata düzeltimi (FEC) uygulaması bütçe hesaplamalarında 3-6 dB'lik bir yarar sağlar. FEC veri iletiminde oluşabilecek hataların tespiti ve düzeltilmesi amacıyla kullanılan matematiksel bir işaretleşme yöntemidir.

GEPON, Ethernet ile pasif optik ağ teknolojisinin bir kombinasyonudur. GEPON, yüksek entegrasyon, kolay yönetilebilirlik ve esnek uygulama özelliklerine sahiptir. Ayrıca düşük maliyet ve yüksek güvenilirliğe sahip olduğu için pasif optik ağlar arasında önemli bir yeri bulunur. Aşağı ve yukarı akış kanallarında simetrik olarak 1.25 Gbps'ye kadar iletim hızını ve 1:32 bölme oranını destekler. GEPON WDM teknolojisini kullanır ve 20 km'ye kadar çalışma mesafesi vardır. IEEE tarafından 802.3av standardı adı altında geliştirilmiş olan 10G-EPON mimarisi ise 10 Gbps aşağı ve 1 Gbps yukarı kanal hızlarını destekler. Çizelge 2.4'te gelişmiş PON standartlarından olan GPON ve GEPON karşılaştırması yapılmıştır [Anonim 2013].

Çizelge 2.4. Gelişmiş PON standartlarının karşılaştırılması

Standart		ITU G.984	IEEE 802.3 ah
MAC Katmanı	Hizmet	Tüm Hizmetler (Ethernet, TDM, POTS)	Ethernet Data
	Çerçeve Yapısı	GEM	Ethernet
PHY Katmanı	Erişim Mesafesi	60 km	20 km
	Max. Ayırım Oranı	1:64 (128)	1:32
	Yukarı Kanal Hızı	(155 Mb/s, 622 Mb/s, 1.25 Gb/s)	(1.25 Gb/s)
	Aşağı Kanal Hızı	(1.25 Gb/s, 2.5 Gb/s)	(1.25 Gb/s)
	Bant Genişliği	Asimetrik (2.4/1.2)	Simetrik (1.25/1.25)
	Optik Kaybı	15/20/25 dB	15/20 dB
	Dalgaboyu	Aşağı kanal: 1480-1500 nm Yukarı kanal: 1260-1360 nm	Aşağı kanal: 1480-1500 nm Yukarı kanal: 1260-1360 nm
Gelişim Bölgeleri		Kuzey Amerika ve birçok ülkede yaygın	Yoğunlukla Japonya ve diğer Asya ülkeleri ile Kuzey Amerika pazarında yaygın

Günümüzde gelişmiş mevcut standartlar temel alınarak PON standartlarını geliştirmek amacıyla farklı yöntemler uygulanarak çalışmalar yapılmaktadır [Gutierrez ve ark 2010].

Mahloo ve arkadaşları, güvenilir Hibrid PON (HPON) mimarisi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. WDM ve TDM teknolojileri birleştirilerek tanımlanan PON yapısı Hibrid ya da HPON olarak adlandırılır. Yaptıkları çalışmada HPON mimarisini kullanıcıya sağladığı yüksek oranda hizmet kapasitesi ve kısmi veya tam koruma özelliğiyle gelişmiş bir PON mimarisi olarak tanımlamışlardır. Çok fazla kullanıcısı olan korumasız bir ağ yapısı ile korumalı bir ağın maliyet giderleri karşılaştırıldığında farkın % 5'ten fazla olması durumu başarısızlık olarak değerlendirilmiştir. Özellikle iş kullanıcıları için önerilen uçtan uca koruma yöntemi ile HPON'da önemli ölçüde hizmet kesintisi riskinin azaldığı vurgulanmıştır.

Hibrid ve WDM PON mimarilerinde kilit problemlerden biri renksiz ONU ihtiyacının olmasıdır. Ancak bu ihtiyaç GPON'a göre 1-2 kat daha fazla bir maliyet gerektirir. Bu durumda modülatör ve ayarlanabilir lazerlerin kullanılması ile ilgili yeni yaklaşımlar vardır. Burada hangi yaklaşımın daha iyi bit hızı ve mesafeyi sağlayacağı önem arz eder. Tünelenebilir lazerler erişim için optimize edilebilirse en iyi seçim olacaktır. WDM-PON her kullanıcı için bir merkez ofis portu gerektirir. Bu da ek maliyet ve güç tüketimine neden olur.

Machuca ve arkadaşları (2012), PON mimarilerinde koruma hizmetinin artırılarak maliyetin azaltılması üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışma, TDM ve WDM PON'larda koruma sağlamak için yeni bir yol önerir. Ağ planlaması ile sağlanacak sistem korumasının çok düşük bir ilave yatırım gerektirdiğini saptamışlardır. Ayrıca çalışmada başarısızlık yönetimi ile işletme maliyetleri (OPEX) incelenerek toplam maliyetin nasıl azaltılabileceği incelenmiştir.

Günümüzde optik erişimlerle ilgili yapılan araştırmalarda, Standford Üniversitesi Fotonik ve Ağ Araştırma Laboratuvarı birkaç proje ile PON mimarilerini takip etmektedir. Bunlardan biri PNRL Projesi (The Photonics and Networking Research Laboratory)'dir. Yapılan çalışmalarda geleceğin PON sistemleri için yaygın olarak, 1530-1600 nm dalgaboyu aralığında etkin kullanılabilen Erbium Katkılı Fiber

Kuvvetlendiricinin (EDFA) kullanımı tasarlanmaktadır. EDFA kullanımı ile 10 Gbps iletim hızında 100 km mesafeye erişebilen PON sistemlerinin kurulabilmesi mümkün görülmüştür.

2.3.5 Yeni Nesil Pasif Optik Ağ Çalışmaları

Günümüzde akıllı telefon kullanım oranlarındaki çok hızlı artışla birlikte ses taşımacılığında elde edilen gelirlerin azalması ve çoklu şebekelerin yapısı gereği bakım maliyetlerinin fazla olması operatörlerin tek bir platform üzerinden yeni hizmetlerin aynı anda sağlanabildiği yeni nesil şebekelere geçişini gerektirmiştir. Bu ihtiyaçla birlikte işletmeciler, her türlü hizmetin tek bir taşıyıcı ortam üzerinden taşındığı ve çoklu hizmetlerin sağlanabildiği şebeke arayışlarına yönelmiştir. Detaylı olarak hizmet kontrollerinin ve şebeke güvenliğinin sağlanabildiği bu yeni nesil şebekelerde temel fikir internete dayansa da sağlanan hizmetlerin içeriğinin bilinebilmesi özelliği ile internet şebekesinden farklılık gösterir. Ayrıca yeni nesil şebekelerde mevcut olan MPLS uygulamasında IP paketlere dönüştürülen farklı her bir hizmete ayrı birer etiket verilerek bu hizmet türlerinin IP şebekeler tarafından algılanabilmesi ve yönetilmesi sağlanmaktadır.

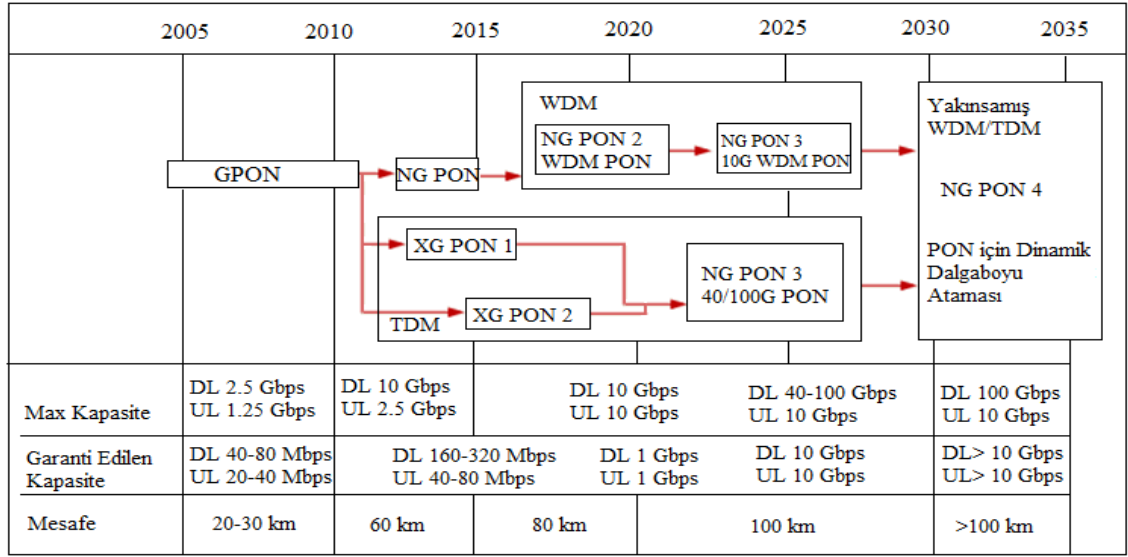
Kullanıcı ihtiyaçlarının üçlü oyun (ses, TV ve internet hizmetleri) yönünde artış göstermesi ve VoIP uygulamalarına talebin artması ile birlikte mevcut yerel ağ kapasitelerinin yetersiz olduğu görülüp işletmeciler yeni nesil şebekelere geçiş için stratejiler belirleyip bu yönde yatırımlar yapmaya başlamışlardır. Bu amaçla sabit telekomünikasyon işletmecileri mevcut şebeke dahilinde santrallerini IP şebeke işleyişinin gerektirdiği ekipmanlarla modernize ederek geleneksel devre anahtarlama uygulamalarını sonlandırmaya gitmiştir. Böylece farklı hizmetlerin (ses, görüntü, veri) tek bir platform üzerinden taşınması ile birden çok santral tarafından gerçekleştirilen görevler daha az santral tarafından sağlanarak işletme maliyetleri büyük ölçüde azalmıştır.

Yeni nesil şebekelere geçişte entegrasyonun sağlanması adına ATM şebekelerinin IP/Ethernet şebekeleri ile değiştirilmesi gerekmektedir. Bu değişim ATM anahtarlarının Ethernet anahtarları ile değiştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarır. ATM şebekelerinde olduğu gibi farklı bölgelerdeki saha dolaplarında yer alan DSLAM'lardan gelecek olan

trafiğin şebekenin üst seviyelerine aktarılmasına yönelik olarak taşıma şebekesi içerisinde Ethernet anahtarlarının kurulması gerekir. Eski nesil şebekelerin IP/Ethernet mimarisine dayanan tek bir şebekeye dönüşümü ve ses ile DSL hizmetlerinin aynı anda sağlanabildiği DSLAM türevi yeni nesil ekipmanların kullanımı ile birlikte klasik ses anahtarlama altyapıları devre dışı bırakılabilecektir. Bu nedenle FTTCab yatırım planları olan işletmeciler, saha dolabı-santral arası bakır kabloları söküp ana dağıtım çatılarının bulunduğu santral binalarının kullanımına son vermeyi düşünmektedir. Bazı işletmeciler ise bakır ve fiber altyapıyı paralel olarak kullanmayı tercih etmektedir.

Yeni nesil şebekeler birbirinden bağımsız olan ve birbirleriyle açık ara yüzler vasıtası ile haberleşen erişim, taşıma, kontrol ve hizmet fonksiyonlarının sağlandığı dört ayrı katmandan oluşmaktadır. Devre veya paket anahtarlama tekniklerinin uygulanabildiği erişim katmanı kullanıcı ile taşıma şebekesi arasındaki kablolu veya kablosuz iletim ortamını ifade eder. Taşıma katmanı, her türlü veri trafiğinin taşınabildiği genellikle optik fiber kabloların kullanıldığı erişim katmanı ile şebeke düğümleri arasındaki altyapıyı ifade eder. Tüm katmanların kontrolünden sorumlu olan kontrol katmanı sağlanan hizmetleri ve şebeke elemanlarını kontrol eder. Hizmet katmanı ise temel hizmet fonksiyonlarının sağlandığı katmandır. Böylece açık ara yüzlerle birbirinden bağımsız olan bu katmanlar şebekeyi esnek ve kolay ölçeklenebilir hale getirir. Erişim ve taşıma şebekelerinde yapılacak olan modernizasyonlar ile çok daha yüksek bant genişliklerinin kullanılabilirdiği şebekeler oluşturulabilir.

Günümüz operatörleri, telefon hattı tabanlı (ADSL, POTS) veya kablolu sistemlerin (CATV) yerini tamamen optik fiberli sistemlerin alması yönünde planlar yapmaktadır. Yeni nesil GPON erişim ağlarının gelecekte planlanan gelişimi Şekil 2.22'de gösterilmiştir [Güre 2012].



Şekil.2.22. Yeni nesil GPON çalışmaları [Güre 2012]

Gelecek nesil PON standartlarından biri olan ITU G.987 10 GPON standardıyla GPON kıyaslandığında 10 GPON'un aşağı kanal yönünde 4 ila 10 kata kadar, yukarı kanal yönünde ise 10 kata kadar daha yüksek veri iletim hızlarına sahip olduğu görülmüştür. 10 GPON standardı 10 Gbps/2.5 Gbps asimetrik ve 10 Gbps simetrik veri iletim hızlarını destekler. İki standart arasındaki bir diğer farklılık 1577 nm aşağı/1270 nm yukarı akış trafiği için olmak üzere 10 GPON'un dalga boyudur [Bhagat 2011].

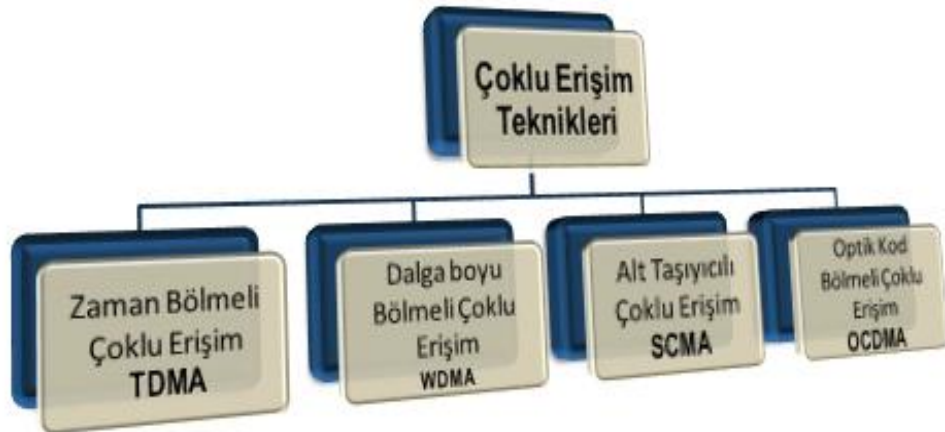
Tüm yeni nesil optik erişim ağ çalışmalarında amaç, ara düğüm aktif elemanların azaltılması ve ağın daha basit bir yapıya dönüştürülmesidir. PON mimarilerinde ayrıştırma oranının artması, aşağı kanal yönünde iletilen optik işaretin gücünde azalma meydana getireceğinden ayrıştırma oranının artırılması durumunda optik yükselteçlere ihtiyaç duyulur. Ayrıca yerel değişim noktaları ile merkez ofis arasında kalan uzun mesafe fiber hatta taşınan verinin işaret gücündeki zayıflamayı gidermek için optik yükselteçlere ihtiyaç vardır.

Gelecek nesil PON sistemleri için yaygın olarak, 1530-1600 nm aralığında etkin kullanılabilen EDFA yükseltecinin kullanımı tasarlanmaktadır. Bu yükselteçlerin kullanımı ile 10 Gbps iletim hızında 100 km mesafeye erişebilen PON sistemlerinin kurulabilmesi mümkün olacaktır [Turna ve ark 2009].

2.4 Optik Erişim Ağlarında Çoklu Erişim ve Çoğullama Yöntemleri

Bilginin, aynı iletim ortamı kullanılarak birden çok kaynaktan yine birden çok alıcıya iletilmesine çoklama veya çoğullama denir. Günümüzde artan haberleşme ihtiyacını karşılayabilmek için çoklu iletişim tekniklerini kullanmak ve yeni teknikler geliştirmek şart olmuştur. TDMA ve frekans bölmeli çoklu erişim (FDMA) gibi klasik çoklu iletişim yöntemlerinin yanında kod bölmeli çoklu erişim (CDMA), alt taşıyıcılı çoklu erişim (SCMA) gibi yeni yöntemler de kullanılmaktadır.

Pasif optik ağlarda ONU'lardan OLT'ye iletim tek bir fiber hat üzerinden gerçekleşiyor olduğundan çakışmaların engellenmesi gerekmektedir. Bu çakışmaların engellenmesi de çoklu erişim yöntemleriyle sağlanır. Optik erişim ağları için geliştirilmiş dört ana çoklu erişim yöntemi Şekil 2.23'te gösterilmiştir [Lee ve ark 2006].



Şekil 2.23. Optik erişim ağları için geliştirilmiş çoklu iletişim yöntemleri

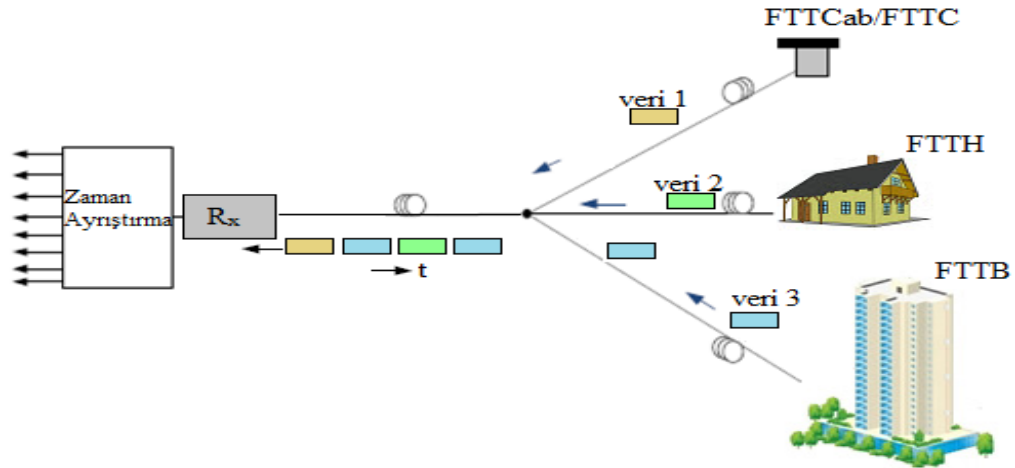
Bu alt bölümde çoklu erişim yöntemlerinin optik erişim ağlarına uygulanışı incelenmiştir.

2.4.1 Zaman Bölmeli Çoklu Erişim Yöntemi

Zaman paylaşımli sistemlerde birbirinden bağımsız birçok kaynaktan gelen bilgiler aynı ortam üzerinden fakat farklı zamanlarda iletilir. Her kullanıcı kendisine ayrılan süre içerisinde bant genişliğinin tamamını kullanma hakkına sahiptir. Şekil 2.24'te görüldüğü gibi TDMA sistemlerde yukarı akış kanalında gönderilen paketler ayrıştırma noktasından itibaren zamana göre sıraya konmuş durumdadır. Bunun için ONU'larda

paket iletiminin senkronize edilmesi önem arz eder. Bu eşleme, merkezi olarak OLT tarafından gönderilen hizmet alma bilgileri ile sağlanır. Bu bilgi ONU'lara ne zaman paket gönderebileceklerini bildirir. Zamanlamanın doğru tahmini ONU'ların merkezi ofise olan uzaklıklarını keşfeden mesafe tayin protokolleri ile sağlanır. Bu şekilde OLT farklı ONU'lardan gelebilecek paketleri hızlıca senkronize eder. Ancak ONU'lar OLT kapasitesini birlikte paylaştıkları için abone sayısının artması durumunda hizmet kalitesi düşüş gösterecektir [Kumdereli 2010].

Sistemde ONU'lardan bazılarının çok fazla veri göndermesi gerektiği zamanlarda diğer ONU'larda o kadar veri yok ise bir aboneye ayrılmış olan zaman bir diğer ONU'ya aktarılabilir. Bu özellik dinamik bant genişliği ataması (DBA) olarak bilinir. Birçok DBA algoritması bu işlevi sağlayabilmektedir ancak bu işlevle PON etkinliği artırılrsa da kullanıcı istekleri her zaman aynı olmadığı için algoritmaların kontrolü kolay değildir. Örneğin bant genişliğine ihtiyaç arttıkça veri göndermek için sırada bekleyen aboneye daha fazla tampon bellek ayrılarak servis kalitesine (QoS) aktarım yapılabilir. Ancak her mimari QoS'yi desteklememektedir.

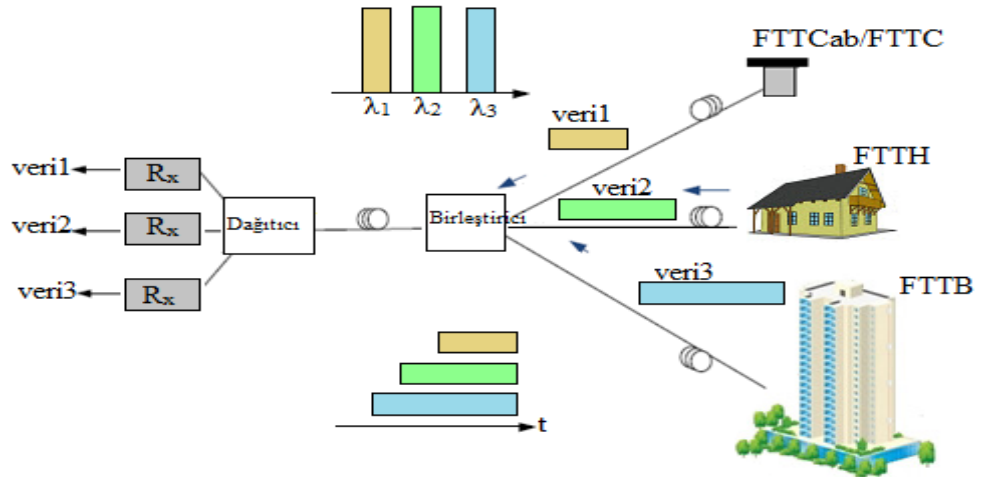


Şekil 2.24. Zaman bölmeli çoklu erişim

2.4.2 Dalgaboyu Bölmeli Çoklu Erişim Yöntemi

WDM-PON sistemlerinde kullanılan en aktif çoklu erişim yöntemidir. Bu yöntemle optik sistemlerde farklı dalgaboylarındaki optik ışınlar aynı fiber hat üzerinde taşınabilmektedir. Bu mantıkla geliştirilen WDM-PON sistemlerinde OLT'ye

paketlerini göndermek isteyen her ONU birimi paketleri farklı bir dalgaboyu üzerinden istediği herhangi bir zamanda iletir. Dalgaboyu kanalları PON'un ayrışma noktasına yerleştirilmiş bir çoğullayıcı/birleştirici cihaz aracılığı ile OLT'den ONU'lara ve ONU'lardan OLT'ye olacak şekilde yönlendirilmiştir. Her bir dalgaboyu birbirinden izole edilmiş şekilde çalıştığı için farklı işaretleri taşıyabilirler. Bu durumda zaman senkronizasyonuna da gerek yoktur. Aynı dalgaboyu çift yönlü ve eşzamanlı olarak kullanılabilir. PON'un ayrışım noktasına konulan ayrıştırıcıdan dolayı geniş bant yayımına ihtiyaç duyan kablolu TV gibi hizmetlerin verilmesi engellenir. Bu teknikte dikkat edilmesi gereken nokta ONU'da kullanılan ayrıştırıcılar için baştan belli bir dalgaboyu tanımlaması yapılması gerekliliğidir. Ayrıca OLT N kullanıcıya ayrı birer bağlantı tanımlayabilmek için N adet ileticiye ihtiyaç duyar. Şekil 2.25'te dalgaboyu bölmeli çoklu erişim yöntemi gösterilmiştir.



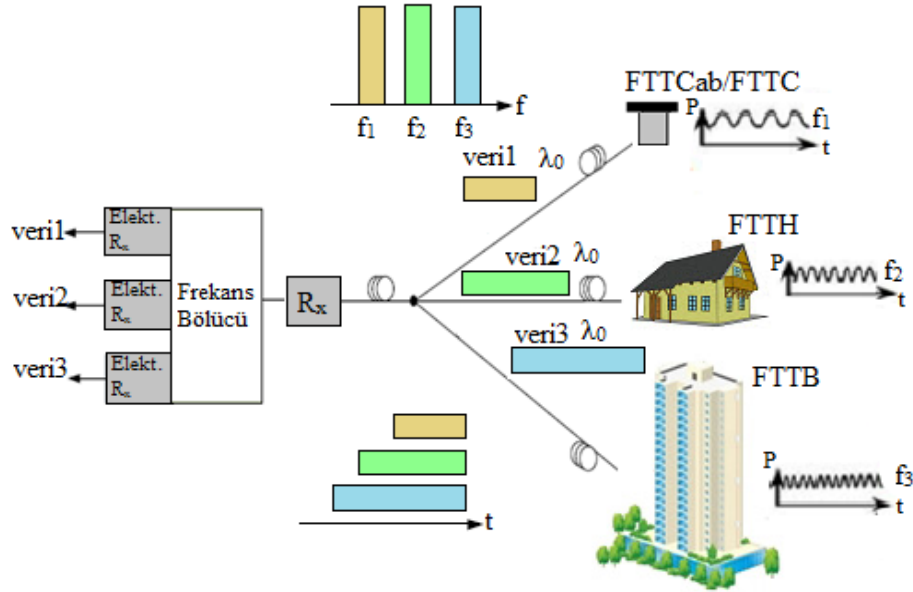
Şekil 2.25. Dalgaboyu bölmeli çoklu erişim

Yukarı akış kanalında veri iletecek her ONU'nun belirlenmiş bir dalgaboyunda çalışacak bir lazer diyota ihtiyacı vardır. Bu durum WDM-PON'ların maliyetinde artışa neden olmaktadır.

2.4.3 Alt Taşıyıcılı Çoklu Erişim Yöntemi

Alt taşıyıcılı çoklu erişim yönteminde değişik ONU'lar paket akışlarını farklı elektriksel taşıyıcı frekanslarına modüle ederler. Her abone yaklaşık olarak aynı frekansta veri gönderir ancak merkezde veriye göre ayrı frekanslarda algılanır. OLT'deki basit alıcı N

farklı frekansı alır ve elektriksel işaret olarak çoğullar. Bu frekanslar sonradan lazer diyotlarla ışık enerjisine modüle edilir. Böylece paket akışları farklı farklı frekans bantlarına yerleştirilip bu şekilde farklı kanallar üzerinden OLT'ye taşınmış olur. Bu durum N adet kullanıcının tek bir kanal üzerinde ortak dalgaboyunu kullanabilmesine olanak verir. Şekil 2.26'da alt taşıyıcılı çoklu erişim yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.26. Alt taşıyıcılı çoklu erişim

2.4.4 Optik Kod Bölmeli Çoklu Erişim Yöntemi

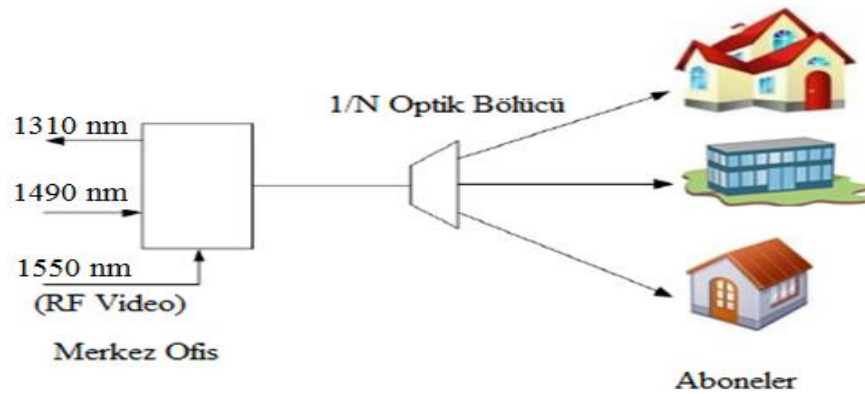
4. nesil iletişim tekniği olarak adlandırılan bu erişim türü yüksek hızlarda kablosuz veri iletimini destekleyen bir teknolojidir. Optik kod bölmeli çoklu erişim (OCDMA) yöntemlerinde her kullanıcıya ayrı bir hat tanımlanmayıp her bir ONU kendine özgü bir optik kod kullanır. Bu kodlama tekniği ile iletilen bilgiler sadece ilgili kullanıcı tarafından çözülüp mevcut spektrumdan farklı abonelere aynı anda hizmet sağlanır. Bu kodlama işlemi, zaman dilimli ya da spektrum dilimli kod kelimelerini kullanan optik kod bölmeli çoklu erişim yöntemi olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Zaman dilimli OCDMA'da her bir ONU kısa optik darbelerden oluşan farklı imza dizileri kullanır ve bu dizi gönderilecek veri ile birlikte on-off modüle edilir. Dizi uzunluğunun verideki en az bir bit kadar uzun olması gerekmektedir. Spektrum dilimli OCDMA'da ise her ONU geniş bant bir optik kaynaktan gönderilecek veri ile modüle

edilen farklı spektrum dilim kombinasyonları alırlar. OLT de aynı spektrum dilimlerini geçirerek filtre yardımı ile ilgili ONU'lerden gelen veriyi ayrıştırır.

2.5. GPON

GPON, 1980'lerde erişim ağ mimarisi olarak düşünülmüş olup 20 yıldan beri kullanılmakta olan bir FTTH mimarisidir. Basit mimarisi ve düşük maliyeti fiber tabanlı ağların işletilmesinde kolaylık sağlar. Tipik bir GPON mimarisi, Şekil 2.27'de gösterilmiştir.



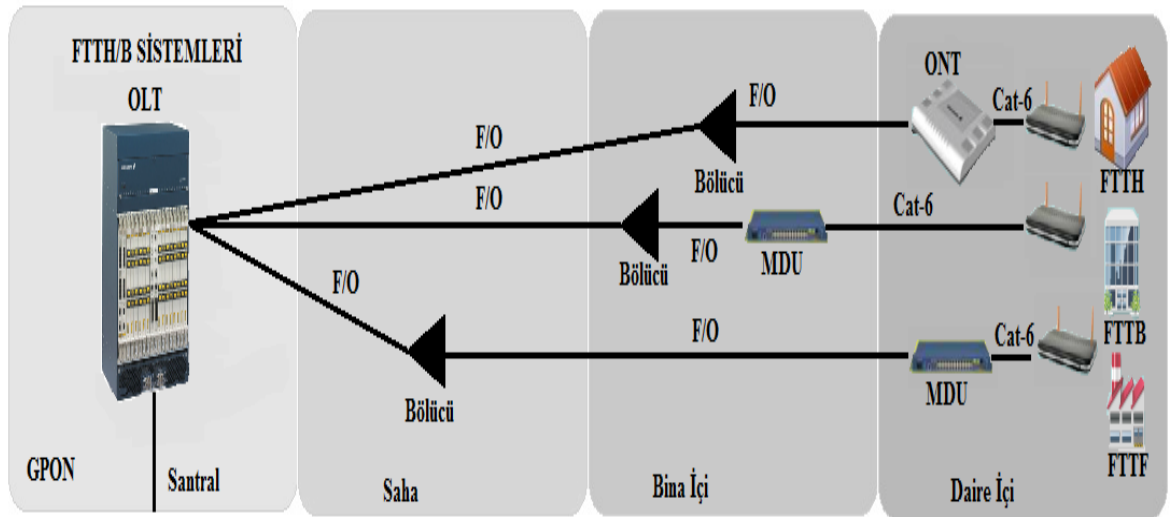
Şekil 2.27. GPON mimarisi

Burada OLT ekipmanı operatörün merkez ofisinden (CO) görevlendirilmiş olup optik ağdaki (ON) tüm trafiği kontrol eder. Aşağı akış trafiği, ONU terminallerine atanmış birden çok işareti içerir ve OLT tarafından ONU'lar boyunca tüm kullanıcılara yayın yapılır. ONU terminallerinin her biri sadece kendisine atanmış paketleri kabul eder ve diğer paketleri eler. Bu filtreleme sürecinde, OLT paketleri adresleme için paket başlıklarını kullanır ve ONU'lar bu paket adresleme verilerine bakarak paketleri kabul eder ya da eler. OLT her bir ONU'ya veri transferi için bir zaman dilimi atar. Zaman dilimleri çarpışmayı önlemek için tam senkronize olmalıdır. Her bir ONU'nun farklı yerlerde konumlandırılmış olmasına bağlı olarak OLT, CO ve ONU'lar arasındaki optik mesafeyi değerlendirmek amacıyla bir değişken süreç (ranging process) kullanır. Bu süreç çarpışmanın önlenmesini sağlar.

ONU birimi abonelerde konumlandırılmıştır. Yukarı kanal boyunca ONU, bilgisayar, televizyon, telefon gibi kullanıcı cihazlardan gelen verileri OLT'ye iletir, aşağı kanalda

ise OLT'den gelen verileri kullanıcı cihazlara dağıtır. Bir ONU birimi kullanıcıdan farklı tipteki verileri toplar, sıralar ve iletir. ONU ekipmanı aktif bir cihaz olup gömülü olarak bir opto-elektronik aktif dönüştürücü ve kullanıcı tarafında elektrik ara yüzleri içerir. ONU birimi gereksinimlere bağlı olarak farklı yapıdaki telekomünikasyon hizmetlerini destekleyebilmektedir.

Abone sayılarının ve telekomünikasyon hizmetlerinin çeşitliliğine bağlı olarak farklı yapı ve tasarımlara sahip ONU çeşitleri bulunmaktadır. Bir ONU birimi küçük boyutta inşa edilip tek bir kullanıcı için monte edilebilir ya da çoklu konut birimi (MDU) ve çoklu daire birimi (MTU) gibi daha büyük boyutlarda inşa edilerek birden fazla kullanıcıya hizmet vermek için bina içlerine yerleştirilebilir. Şekil 2.28'de GPON mimari çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 2.28. GPON altyapıları

Şekil 2.29'da kabine montajlı olan 24 portlu bir MDU cihazı gösterilmiştir. Bu cihaza Cat 5/6 kablo ile 24 adet Tılgın modem bağlanabilmektedir. Her modemin çıkışından 2 adet telefon ve ayrı ayrı internet bağlantısı sağlanabilir. Modemin çalışması için MDU'nun tanımlı portu ile modemin WAN portunun Cat 5/6 kablo ile bağlı olması gerekir.



Şekil 2.29. MDU cihazı

Türk Telekom genellikle 1300 serisi Tılgın modemler kullanmaktadır. Yeni nesil erişim şebekeleri için tasarlanmış olan bu modemler online ev hizmetleri ve uygulamalarını en üst düzeye çıkarmak için gelişmiş işlevlere sahiptir. Şekil 2.30'da geleneksel bir Tılgın modem gösterilmiştir.



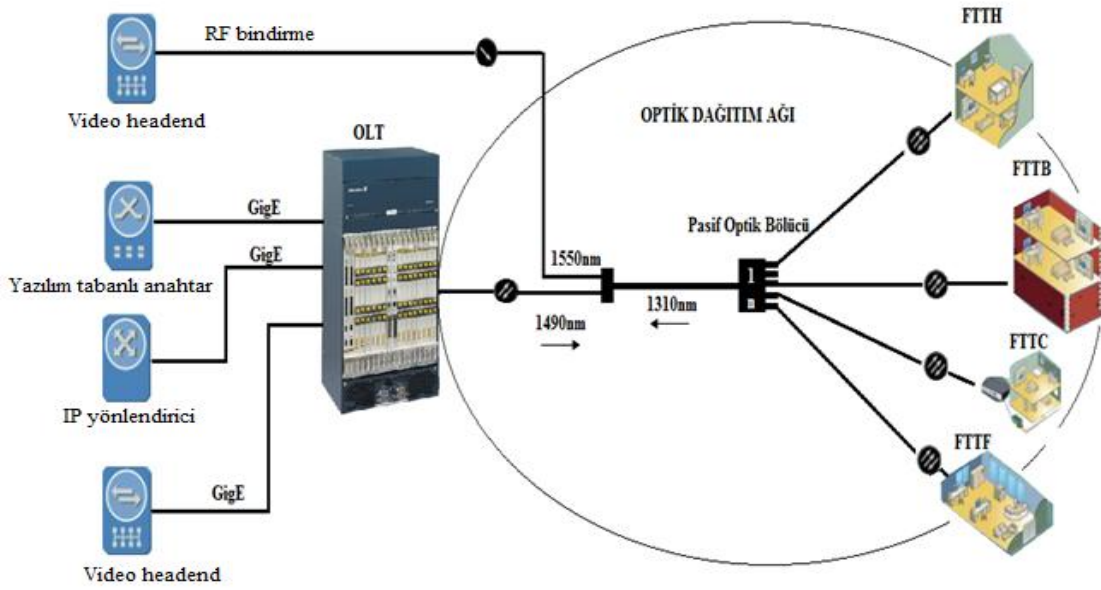
Şekil 2.30. Tılgın modem

2.5.1. GPON Özellikleri

GPON, GEM metodunu kullanarak ağ üzerinde veriyi kapsülleyerek iletmektedir. Bu yöntemde kapsüllenecek veri, servisin durumuna bağlı olarak herhangi bir türde olabilir. Bu yöntem ITU-T G.7041 genel çerçeveleme prosedürü (GFP) standardı temel alınarak geliştirilmiştir. GEM yapısal olarak ATM'e benzemekle birlikte ATM sabit uzunlukta hücreler kullanırken GEM ise değişken uzunlukta çerçeveleri kullanır. GEM metodunda kullanıcıdan alınan veri paketleri parçalanmaya uğrayabilir. Bir paket eğer

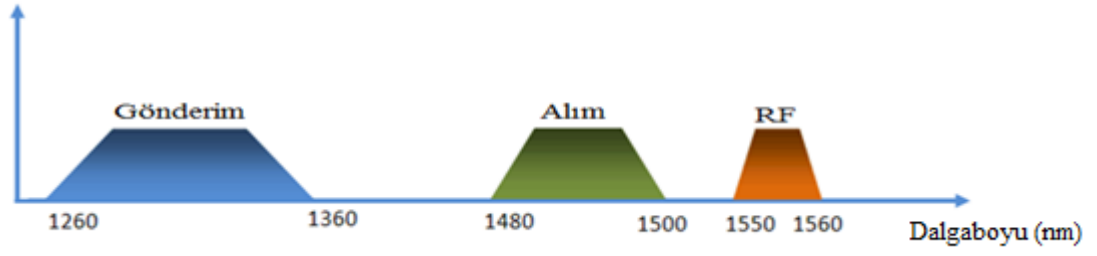
GEM çerçevesinden büyük ise o paket daha sonra hedef noktasında birleştirilmek üzere uygun bir şekilde parçalanır.

GPON sistemlerde veri iletim hızları için alternatiflerin bulunmasına karşın genellikle birçok hizmet sağlayıcısı aşağı akış yönünde 2.4 Gbps ve yukarı akış yönünde 1.2 Gbps'lik iletim hızlarını kullanmayı tercih etmektedir. Şekil 2.31'de örnek bir GPON sistemi gösterilmiştir.



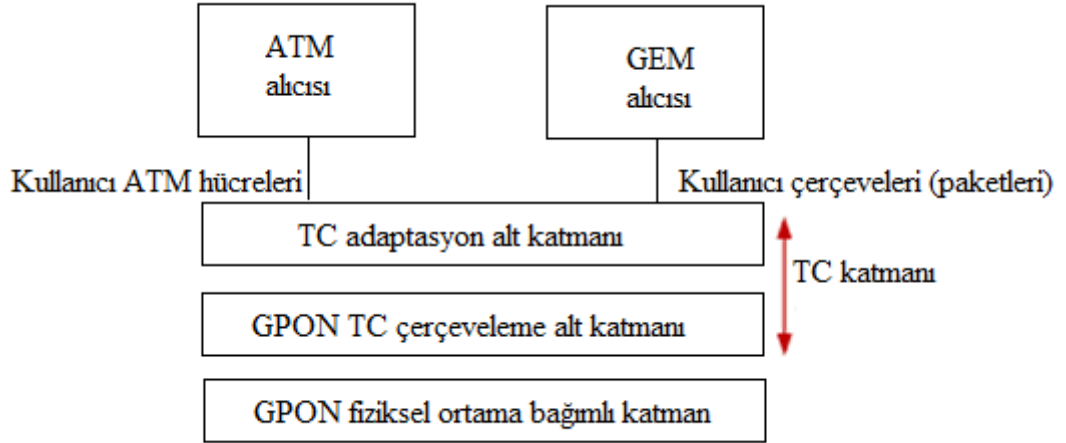
Şekil 2.31. GPON sistemi

GPON'da aynı fiber üzerinde aynı anda farklı hizmetlerin desteklenmesi amacıyla her yönde her bir hizmet için, farklı dalgaboyları kullanılır. Aşağı akış trafiği için 1480-1500 nm dalgaboyu aralığı kullanılırken yukarı akış trafiği için 1260-1360 nm dalgaboyları kullanılır. Bunun yanında 1550-1560 nm dalgaboyu aralığı aşağı akış trafiğinde RF video işaretlerinin taşınması için kullanılmaktadır. Şekil 2.32'de GPON dalgaboyu spektrumu verilmiştir.



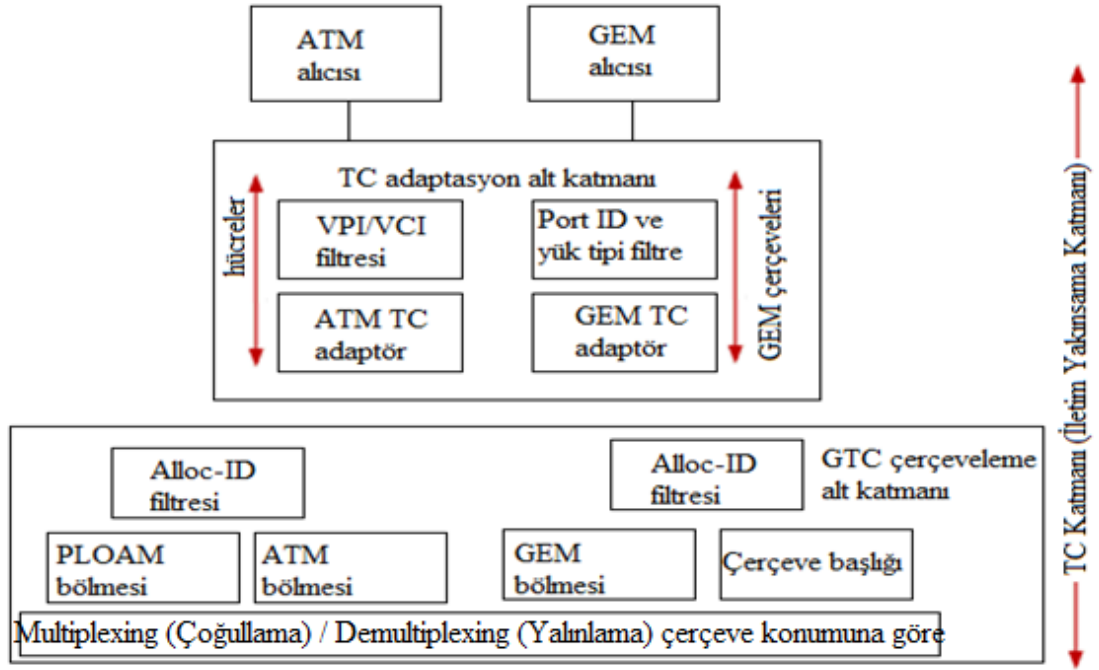
Şekil 2.32. GPON dalgaboyu spektrumu

GPON mimarisinde veri alış verişi fiziksel ortama bağımlı (PMD) katman (G984.2) ve GPON iletim yakınsama (TC) katmanı (G984.3) olmak üzere iki temel katmanda yapılır. Bu iki katmanın açık sistemler bağlantı (OSI) referans modelinde fiziksel ve veri bağı katmanlarına karşılık geldiği düşünülebilir. TC katmanı da iki alt katmandan oluşur. Bunlar çerçeve alt katmanı ve adaptasyon alt katmanı olarak isimlendirilir. Şekil 2.33’te GPON katmanlı yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.33. GPON katmanlı yapısı

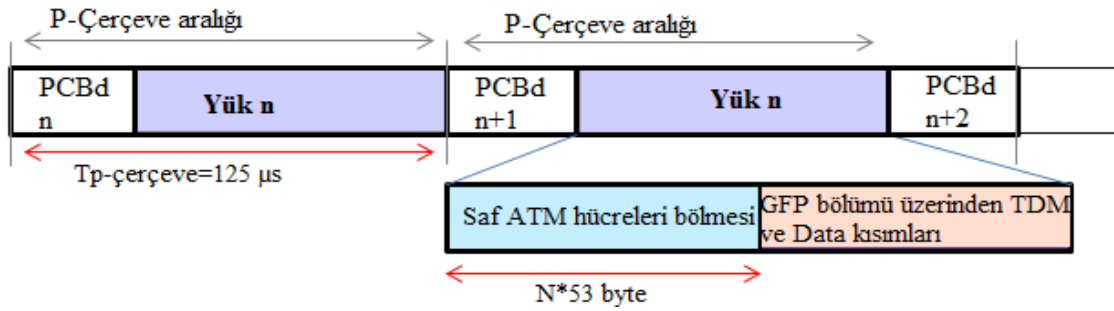
PMD katmanı donanımdan oluşur ve veri iletiminin fiziksel özelliklerini ifade eder. TC katmanı ise çerçeve yapısı, yayın erişim kontrol protokolü (MACP), mesafe planı, operasyon ve bakım süreci ile veri güvenliği işlemlerini tanımlar. Şekil 2.34’te GPON iletim yakınsama katmanı yapısı gösterilmiştir [Anonim 2008].



Şekil 2.34. GPON iletim yakınsama katmanı

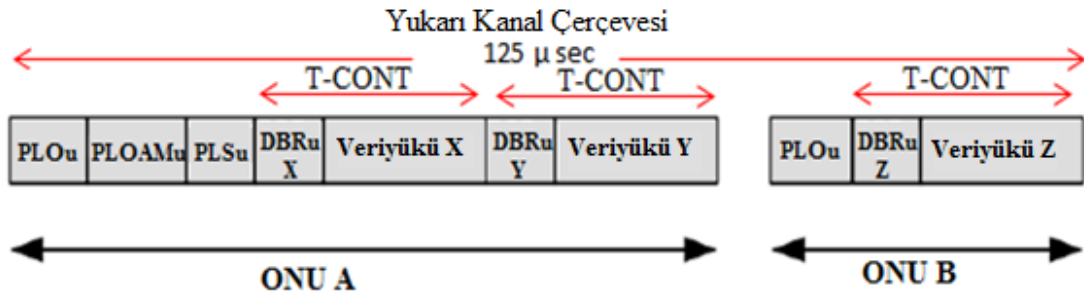
Burada TC çerçeveleme katmanı, çıkış yönünde GEM çerçevesinin birleştirilmesi, her pakete çerçeve başlığının, fiziksel katman işlemleri ve bakım (PLOAM) ile ilgili mesajları içeren kısımların eklenmesi gibi görevlere sahiptir. Geliş yönündeki çerçeve, çerçeveleme alt katmanında hangi adreslere ait olduklarını öğrenmek amacıyla Alloc-ID kısmından geçirilir. Burada adres öğrenme işlemi için GEM’de 12 bitlik port ID kısmına ATM içinse sanal yola (VP) bakılır. Daha sonra TC katmanının diğer alt katmanı olan adaptasyon kısmında bu çerçeveler TC adaptör filtresinden geçirilerek hangi VP/Port ID’ye ait ise ona göre uygun ATM veya GEM kullanıcıya gönderilir. 12 bitlik port seviye gösterge (PLI) başlığı çerçevedeki veri yükünün boyutunu bayt cinsinden verir. 12 bitlik port ID, çerçevenin akış trafiğindeki 4096 porttan hangi servisi içerdiğini belirtir. 3 bitlik bağlantı noktası tür göstergesi (PTI) başlığı ile çerçeve hakkında çerçeve kullanıcı verisinin sonuncu kısmı olup olmadığı, akış trafiği sıklığı hakkında bilginin ne olduğu veya bu çerçevenin herhangi bir kontrol mesajı taşıyıp taşımadığı şeklindeki bilgilere ulaşılır. 13 bitlik başlık hata düzeltme (HEC) ya da döngüsel fazlalık kontrol (CRC) başlığı, başlıkta oluşan hataların tespiti ve düzeltilmesi için kullanılır. Başlıkta 3 bite kadar hata tespiti, 2 bite kadar da hata düzeltme yapılabilmektedir [Boomsma 2006].

Bir GPON mesajı, fiziksel kontrol bloğu (PCB) ve veri yükü kısımlarından oluşur. Veri yükü kısmındaki her ATM hücresi 53 bayt büyüklüğündedir. Aşağı akış trafiğinde fiziksel kontrol bloğu (PCBd) olarak adlandırılan bu bilgi başlığı yönetim ve kontrol amaçlıdır. PCBd, 32 bitlik senkronizasyon kısmını, 32 bitlik şifreleme işlemleri için gerekli çerçeveleri, PLOAMd denilen 13 baytlık kontrol ünitelerini içerir. PLOAMd ise 1 baytlık ONU ID, mesaj ID, 10 baytlık mesaj ve 1 baytlık kontrol kısımlarından oluşur. Şekil 2.35'te aşağı kanal GPON çerçeve yapısı gösterilmiştir [Anonim 2012].



Şekil 2.35. Aşağı kanal GPON çerçeve yapısı

Yukarı kanal trafiğini oluşturan 125 µs'lik mesaj yapısında birbiri ardına ileti taşıyıcıları (T-CONT) gönderilir. T-CONT'lar bir tane ONU'ya ait olabilecekleri gibi birden fazla ONU'ya da ait olabilirler. Farklı ONU'lar tarafından bu iletim OLT tarafından belirlenmiş olan zaman dilimleriyle düzenlenir. OLT tarafından bu zaman atamalarının düzgün bir şekilde yapılabilmesi için ONU'lardan gelen mesajların gerekli başlıkları içermesi gerekmektedir. Şekil 2.36'da yukarı kanal GPON çerçeve yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.36. Yukarı kanal GPON çerçeve yapısı

Burada yukarı akış trafiği fiziksel seviye başlığı (PLOu), bir ONU'nun iletim hakkını diğer ONU aldığı zaman gönderilir. Bu başlık başlangıç ve sınırlayıcı denilen birkaç baytlık kısım, bit serpiştirmeli eşitlik kısmı (BIP), 1 baytlık ONU tanımlayıcı kısmından oluşmaktadır. 1 baytlık gösterici kısmında OLT'ye ONU'nun ara belleğinde tuttuğu bilgi mesajına göre hangi öncelikte trafik beklediği gösterilir. 10 baytlık kontrol mesajı taşıyan PLOAMu, ONU seri numarası, ONU güvenlik şifresi, şifreleme işlemine kullanılan anahtar, BIP aralığı sırasında rastlanan hata sayısı ve aşağı yönde iletilen mesajın ONU tarafından alındığını gösteren bilgileri içerir. Yukarı iletim güç seviye dizisi (PLSu), ONU'nun algıladığı lazer gücünü gösterir. Bu bilgiyle OLT, ONU'ya aktarılan güçte ayarlamalar yapabilir. Burada yukarı iletim dinamik bant genişliği raporu (DBRu) ise, ONU ara belleğinde beklemekte olan T-CONT sayısını OLT'ye bildirerek DBA işleminin yapılmasını sağlar.

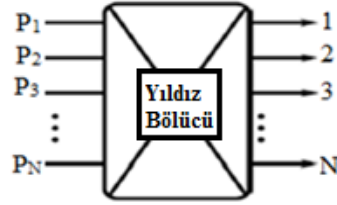
2.5.2. GPON Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları

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. Elektromanyetik girişim (EMI) veya elektromanyetik uyumluluk (EMC) problemi görülmez. Çevresel kontrol cihazlarına gerek olmayıp başarısızlık oranına katkıda bulunabilecek hiç bir opto-elektronik aktif dönüştürücü (OEAC) bulunmaz. GPON mimarileri yüksek bant genişliği gerektiren gelecekteki uygulamalar için basit yükseltilebilir bileşenlere sahip olmasından ötürü avantajlıdır [Hitachi 2006].

Bu avantajları nedeniyle GPON diğer PON standartları arasında en popüler pasif optik ağ mimarisidir. Daha az ekipmanın varlığı ağ üzerinde daha az problemi ifade ederken bu durum ağ güvenilirliği ve hizmet kalitesinin iyileştirilmesine katkı sağlar. Bu avantajlarının yanı sıra, GPON'un bazı dezavantajları da vardır. Optik bölücülerin GPON aralığını sınırlayacak optik kayıpları bulunur. Ayrıca OLT ile optik bölücü arasındaki optik fiber kablo hasar görürse birden fazla abone servis dışı olabilmektedir.

2.6. Optik Bölücüler

OLT ile ONU'lar arasındaki çoklu bağlantılar optik bölücüler ile sağlanmaktadır. Optik bölücülerin tek girişi birden çok çıkışı bulunur. Optik bölücüdeki çıkış noktası sayısı 2^n olup optik güç bu çıkışlar arasında paylaşılır. Optik bölücüler çift yönlü olarak çalışan cihazlardır. Bu yüzden ayırıcı ya da birleştirici olarak isimlendirilebilirler. Çıkış noktalarındaki optik işaret gücü, giriş gücüne ve bölücü oranına bağlı olarak $n \times 3.5$ dB oranında bir azalma gösterir. Optik işaret her yönde aynı miktarda azalır. Şekil 2.37'de NxN yıldız optik bölücü yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.37. NxN optik bölücü

Yıldız bölücü tüm dalgaboylarını eşit olarak böler. Böylece her bir N çıkışı giriş gücünün $1/N$ 'ini alır.

Bölme kaybı, 2.3'te desibel olarak verilmiştir.

$$\text{Bölme Kaybı (dB)} = -10 \log (1/N) = 10 \log (N) \quad (2.3)$$

Bölme oranına göre optik bölücü kayıpları Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

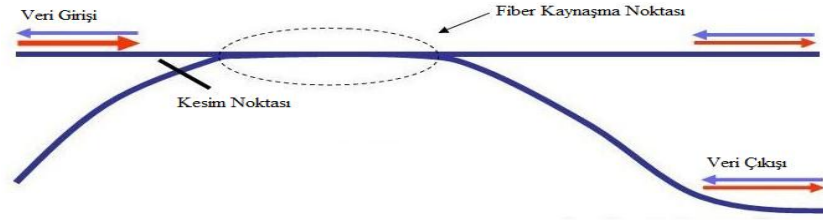
Çizelge 2.5. Bölme oranına bağlı olarak bölücü kayıpları

Bölme Oranı	Bölücü Kaybı (dB)
1:2	3.01
1:4	6.02
1:8	9.03
1:16	12.04
1:32	15.05
1:64	18.06

Optik bölücü üretiminde iki teknik kullanılmaktadır. Bunlar FBT (Fused Biconical Taper) ve Düzlemsel Işık Dalgası Devresi (PLC)'dir. Optik bölücüler kullanılan bu tekniklere göre isimlendirilmiştir [Anonim 2012].

2.6.1 FBT Optik Bölücüler

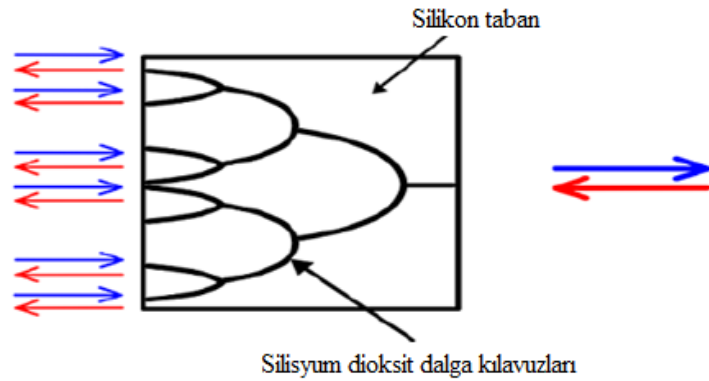
FBT bölücüleri optik bölücülerin en basit şeklidir. 1:2 bir FBT ayraçının yapımı için iki fiberin kaynaştırılarak birleştirilmesi işlemi gerçekleştirilir. Daha yüksek bölme oranına sahip ayraçlar, 1:2 ayraçların bir araya getirilmesi ile elde edilir. FBT bölücü yapısı Şekil 2.38'de gösterilmiştir.



Şekil 2.38. FBT bölücü

2.6.2 PLC Optik Bölücüler

Bir PLC bölücü, silikon içerisinde yongalanmış mikroskobik bir dairesel optik devre kullanır. Bu optik bölücüler FBT bölücülere göre daha verimli ve güvenilirdir. PLC bölücü yapısı Şekil 2.39'da gösterilmiştir.



Şekil 2.39. PLC bölücü

GPON sistemlerinde ağ tasarımında dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de merkez ofisten erişilebilecek abone sayısıdır ve amaç optik enerjinin en verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Optik enerji, iletimi sırasında fiber hat ve bölücüler dolayısıyla tükenir. Özellikle bölücü kayıpları bu azalmada önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin 1:32'lik bir bölücü 15-18 dB'lik bir kayba neden olur.

2.7. GPON Kavramları

2.7.1. Kablo Özellikleri

Günümüzde Türk Telekom operatörü fiber kablo olarak SM fiber olan ITU-T G.652 standardını, bakır kablo olarak ise minimum CAT-5e serisi olmak üzere CAT-5e-6-7 serilerini kullanmaktadır.

G.652 fiberlerle en yüksek kapasitedeki bilgiler çok modlu fiberlere göre daha iyi iletilebilmektedir. Sistemin taşıma kapasitesi, fiberin içinde farklı dalgaboylarında değişik işaretler kullanılarak artırılabilir. Standart G.652 fiberlerde zayıflama 0.25 dB/km'dir [Anonim 2009].

Kategori 5e bakır kablo (Cat-5e), megabit hızlarında veri taşıyan ekranlanmamış bükümlü (UTP) bir kablo türüdür. Cat-5 kablo ile karşılaştırıldığında daha yüksek veri geçişi sağlayabilmektedir. İlk başlarda Cat-5 standardında kabul edilen bu kablo Telekomünikasyon Endüstrisi Derneği tarafından Cat-5e olarak adlandırılmıştır. Cat-5e kablolar, 4 çift tellidir ve temel iletkeni bakırdır. Kablonun dış kaplaması yanmaz LS0H bileşeninden oluşur. Cat-6 kablolar ise, gigabit hızlarında veri taşıyan bir UTP/STP kablo türüdür. Cat-5e kablo ile karşılaştırıldığında daha yüksek veri geçişi sağlar ve yabancı işaretlerden daha az etkilenir. Cat-6 kablolar 250 MHz'e kadar yüksek performans sağlayabilmektedir.

Kategori7 olarak adlandırılan Cat-7 kablolar, gigabit hızlarında veri taşıyan bir UTP/STP kablo türüdür. ISO/IEC 11801 standardı referans alınarak ilk defa 2002 yılında üretilen Cat-7 kablolar Cat-6 kablolarına göre daha fazla bant genişliği ve daha yüksek veri akışı sağlar. Cat-7 kablonun parazitlerden etkilenmemesi için koruma kılıfı diğer kablo kategorilerine göre daha kalın ve fazladır. Cat-7 kablolar 10 Gigabit veri

transfer hızına ve 600-900 MHz arası bant genişliğine sahiptir. Cat-7 kabloda her kablo çifti metal folyo ile kaplanmıştır. Cat-7 kendisinden önceki UTP kablo türlerine göre elektromanyetik dalgalardan en az etkilenen kablodur. Kablo çiftlerinin üzerindeki metalik yapı aynı zamanda kabloyu topraklar. Ancak günümüzde Cat-7 kablo maliyetleri çok yüksektir.

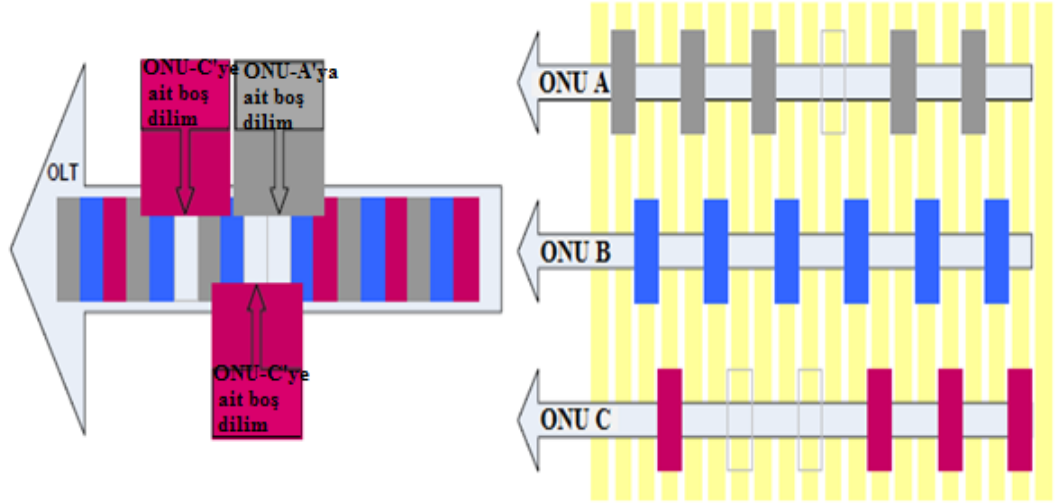
2.7.2 Bant Genişliği Ayırma

Günümüzde GPON sistemleri farklı tip hizmetlerin iletiminde kullanılmakta olup bazı hizmetler sabit bant genişliği gerektirmektedir. GPON'a hâkim olan OLT ekipmanı çift yönde gerekli bant genişliğini tahsis edebilir özelliğe sahiptir. Bant genişliği ayırma yöntemleri statik (SBA) ve dinamik bant genişliği ataması (DBA) olmak üzere ikiye ayrılır.

2.7.2.1 Statik Bant Genişliği Ayırma

Bu yöntemde OLT, her bir ONU terminalleri için tamamı ya da bir kısmı kullanılabilen önceden belirlenmiş bir statik bant genişliği ataması yapar. Eğer optik ağ boyunca sağlanan tüm hizmetler sabit bant genişliği ataması gerektiriyorsa bu teknik ideal olabilmektedir.

Şekil 2.40'ta, SBA süreci gösterilmiştir. Burada gönderim yönünde veri akışı olduğu sürece iletim sabit hızda ilerler. Böylece statik bant genişliği ayırma tekniği verimli bir kullanıma sahip olur. Ancak Şekil 2.40'da görüldüğü gibi ONU-A ve ONU-C kullanıcılarından veri akışı durdurulursa ayrılan bant genişliği genel akış trafiği için israf olur [Lashkari ve ark 2011].

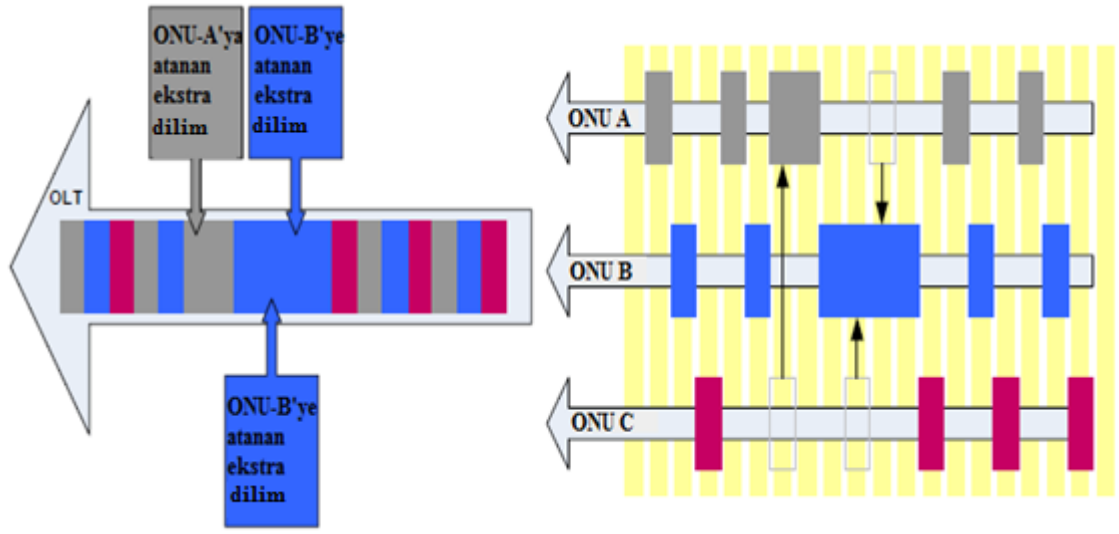


Şekil 2.40. Statik bant genişliği ataması

2.7.2.2 Dinamik Bant Genişliği Ayırma

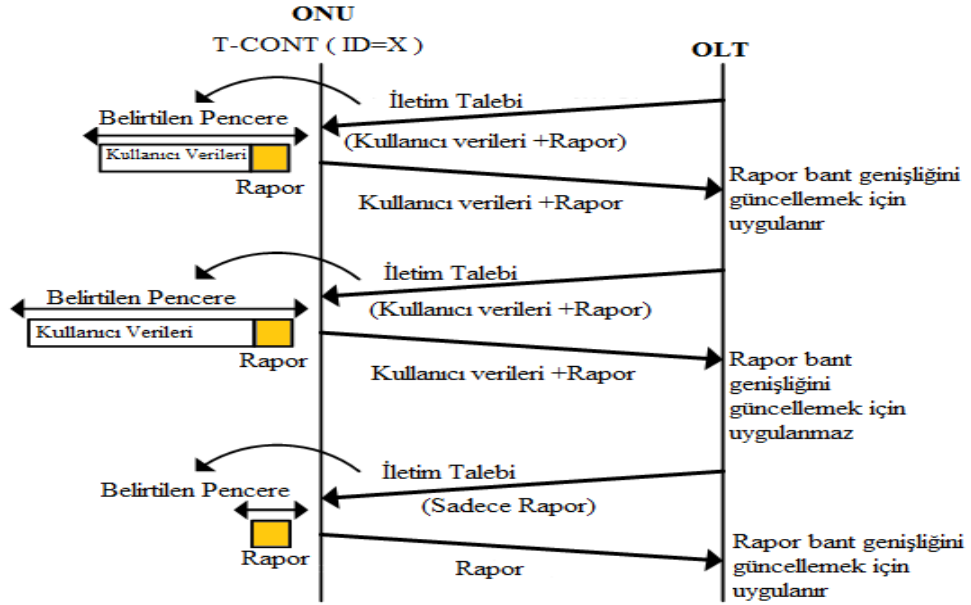
DBA süreci, kullanılan anlık trafik ihtiyacına göre kendilerine ayrılmış olan bant genişliğinin hızlı dönüştürülmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem sadece yukarı akış trafiği için kullanılır ve OLT tarafından yönetilip kontrol edilir. DBA süreci ONU terminallerinin yukarı akış yönündeki trafik kullanımını ve operatörlerin abone sayılarını etkili bant genişliği kullanımına bağlı olarak iyileştirir [Navarro 2010].

Şekil 2.41'de, DBA işlemi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi ONU-A veya ONU-C gibi abonelerde veri akışı durdurulursa hiç bir veri içermeyen bazı dilimler oluşur. Sistemde bir abone, ONU-B gibi yüksek hızlı hizmetlerden dolayı daha fazla bant genişliğine ihtiyaç duyuyorsa ONU-A veya ONU-C'ye ait boş dilimler ONU-B tarafından kullanılabilir. DBA yöntemi, PON sistemlerinin etkinliğini ve servis kalitesinin sağlanmasını belirleyen önemli bir unsurdur [Haran 2008].



Şekil 2.41. Dinamik bant genişliği ataması

GPON sistemlerinde, yukarı akış trafiği hızla değişen akış nedeniyle sabit değildir ve DBA süreci algoritmasının hızlı tepki ile trafik bant genişliğini ayarlayabilmesi gerekir. DBA metodu ile ağ trafiğinin sıklığına göre bant genişliği tekrardan uygun değerlere ayrılır. Şekil 2.42’de DBA süreci verilmiştir [Assi ve ark 2003].



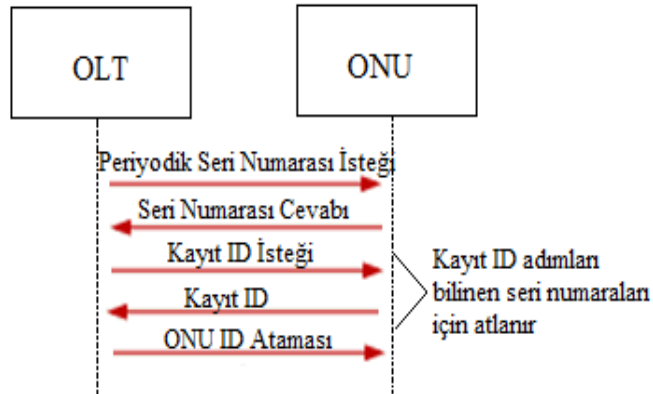
Şekil 2.42. DBA süreci

DBA sürecinde OLT’ler kontrol işlemini T-CONT’lar aracılığıyla yapar. Bir ONU’ya ne kadar büyüklükte bir trafik için atama yapılacağını belirlemek için OLT’nin ONU

ile ilişkili T-CONT'larının trafik durumları hakkında bilgi sahibi olması gerekir. Durum raporlama yönteminde T-CONT'lar trafik durumlarının bir parçası olarak tampon bellekte ne kadar bekleyen paket olduğu bilgisini taşır. OLT bu bilgiyi aldığı anda değişik ONU'lara sırasıyla izin (grant) mesajları gönderir. Bir ONU izin (grant) mesajı aldığı anda eğer tampon belleğinde bekleyen herhangi bir veri bulunmaz ise tampon belleğinin boş olduğunu bildirmek için OLT'ye boş hücre mesajı yollar. Bunu alan OLT ilgili ONU'ya yönlendireceği T-CONT'u diğer ONU'lara aktarır. OLT, trafik durumunu düzenlemek için bir ONU'ya birden fazla T-CONT atayabilir. T-CONT'lar GPON'da iletim hattındaki bant genişliği ataması yönteminde kullanılarak yukarı kanal bant genişliğinin daha verimli kullanımını sağlar [Cale ve ark 2007].

2.7.3 ONU Yönetim ve Kontrol Arayüzü

ONU yönetim ve kontrol arayüzü (OMCI), ONU'ların OLT tarafından uzaktan yönetilmesini sağlayan bir protokoldür. OLT ile ONU arasındaki OMCI üzerinden yapılan bilgi alışverişini yönetim bilgi tabanı (MIB) modeller. MIB, bir ağ üzerindeki tüm cihazların bilgilerini içeren bir veri tabanı olup ağ protokolleri tarafından performansın ve verimliliğin kontrol edilmesi amacıyla kullanılır. OMCI protokolü, OLT'nin ONU üzerinden bağlantı kurmasını ve kaldırmasını, ONU'daki kullanıcı ağ arayüzünü yönetmesini, konfigürasyon bilgilerini ve performans istatistiklerini istemesini, hatlarda kopukluk veya benzeri sorunlar olduğunda sistem operatörünün bilgilendirilmesini sağlar. Şekil 2.43'te ONU kayıt işlemi gösterilmiştir.



Şekil 2.43. ONU kaydı

2.7.4. Menzilleme

Menzilleme, OLT ile ONU'lar arasındaki mantıksal mesafeyi hesaplama ve çarpışmalar olmadan birden çok ONU iletimine izin vermek için uygulanan OLT tarafından başlatılan bir süreçtir. Bütün ONU'ların aynı ağ ortamını kullandığı bu durumda gönderilen verilerin çakışmadan iletilmesi için OLT tarafından atanan zaman dilimlerini kullanması gerekir. ONU'lar, OLT'den farklı uzaklıklarda olacağından OLT ile aralarındaki iletim zamanları da farklı olur. Bu yüzden her bir ONU'nun OLT'den bir sonraki paketi ne zaman yollayacağı bilgisini alması gerekir. OLT'den ONU'lara doğru olan trafik akışında herhangi bir mesafe hesaplama sorunu olmayıp OLT ünitesi paketleri kendi çerçeve adreslerine göre zamanlayarak yollar. Ancak ters yöndeki iletimde menzilleme işlemi gereklidir. Bu işlem ONU açılır açılmaz yapılır. OLT, ONU'ya menzilleme protokolü uygulandıktan sonra düzeltilmek üzere 0 ile 20 km arasında bir değer atar. ONU açıldıktan sonra OLT, mesafe tayini için aşağı yöndeki mesaj başlığı olan PLOAM içerisinde bir menzilleme izin bildirimini yollayarak cevabı almak için yeterince büyük bir zaman penceresi açar ve yukarı yöndeki menzilleme PLOAM'ını alır. Bundan sonra OLT, ONU'ların mesafelerini bildiği için her bir ONU'ya bir gecikme zamanı atar ve onlara paketleri yollamaya başlayacakları zamanları bildirir. Optik işaret gücü kontrol işlemi de yine ONU'ların OLT ünitesine olan uzaklıklarının farklı olmasından dolayı yapılır.

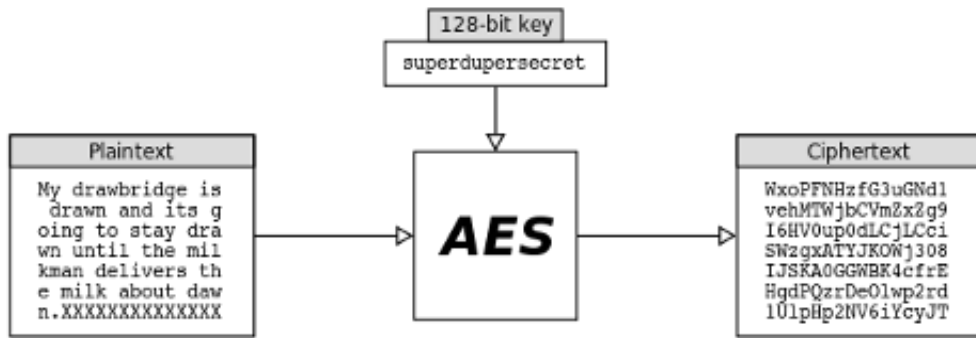
2.7.5. Güvenlik

GPON sistemlerinde veriler GPON'a bağlı olan tüm ONU'lara yayınlanmaktadır. Bu yapıdan dolayı bazı kötü niyetli kullanıcılar tüm kullanıcıların alım verilerini dinleyebilir. Bu durum GPON güvenlik sistemine karşı geliştirilen dinleme tehdidi olarak adlandırılır. ITU-T G984 standardında, diğer kullanıcıların veri erişimine izin verilmesini önlemek amacıyla bir güvenlik mekanizması tanımlanmıştır. Herhangi bir ONU, diğer ONU'lardan gelen gönderim trafiğini gözlemleyemez. Bu sayede örneğin güvenlik anahtarları gibi ayrıcalıklı bilgiler kanal üzerinden güvenli olarak geçer.

2.7.6. Şifreleme Sistemi

GPON'un aşağı kanal boyunca veri iletiminde uyguladığı çalışma prensibi, kullanıcıya gönderilecek paketin tüm ağ üzerinde yayınlanması ve ilgili kullanıcının kendisini ilgilendiren paketi alması şeklindedir. Bu sebeple ONU terminalleri tarafından iletilen her paket, PON mimarisinin aşağı kanal veri yayını dolayısıyla GPON'un tüm kullanıcı üyeleri tarafından görülebilmektedir. Yukarı kanal boyunca iletimde ise GPON her kullanıcı ile noktadan noktaya bağlantı kurmuş olduğu için izinsiz dinleme problemleri oluşmaz. Bu nedenle yukarı kanal veri iletiminde bilgiler şifrelenmeden gönderilir.

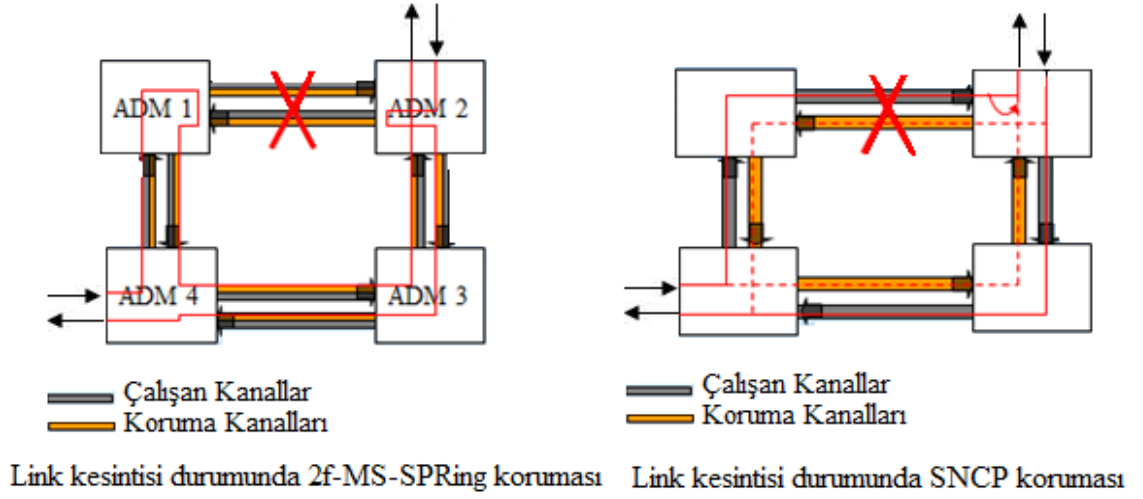
G.984.3 GPON'da, tanımlanan şifreleme algoritması gelişmiş şifreleme standardı (AES) olarak adlandırılır. Bu metotta, sadece gerekli kullanıcı bilgileri şifrelenip kontrol mesajları şifrelenmez. Şifrelenecek bilgi ile AES kriptografi anahtarı XOR'lanır. Simetrik şifreleme işleminde aynı XOR işlemi tekrar uygulanarak şifrelenmiş bilgi çözülür. AES, şifrenin çözülmesini oldukça zorlaştıran 128, 196 ve 256 bit uzunluklarında anahtarlar kullanır. Şifreleme işlemi için gerekli olan anahtar ONU tarafından üretilir. OLT'den PLOAM ile anahtar üretme talimatı alan ONU şifreyi üretir ve birbirini izleyen PLOAM mesajları ile bu anahtarı yollar. Güvenliği arttırmak amacıyla iletim esnasında veri akışı bozulmadan periyodik olarak anahtar değiştirilebilir. Basit bir AES şifreleme örneği Şekil 2.44'te verilmiştir.



Şekil 2.44. AES şifreleme

2.7.7. Koruma

Sabit hat operatörü olan Türk Telekom'da verilerin yedeklenmesi santraller arası halka bağlantılar ile sağlanmaktadır. Bu şekilde herhangi bir hattın kopması durumunda santraller arası halka sistemi ile iletim sağlanır. Şekil 2.45'te iki fiberli SDH halka koruması gösterilmiştir.



Şekil 2.45. İki fiberli SDH halka koruması

3.MATERYAL VE YÖNTEM

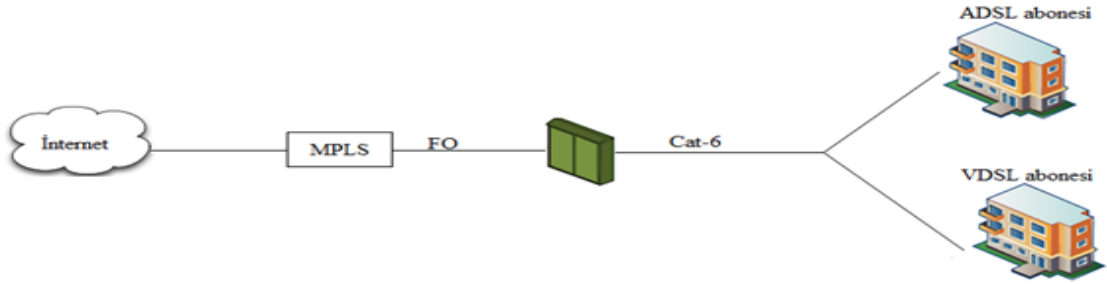
Bu bölümde, ikinci bölümde anlatılan FTTx uygulamalarındaki optik dağıtım mimarilerinden olan pasif optik ağ mimarileri hakkında tez kapsamında gerçekleştirilen testlerin sonuçları ve yapılan modellemeler sunulmuştur. Öncelikle aboneler arasından seçilen ADSL, VDSL ve GPON kullanıcılarının veri iletim hızlarına ait ölçüm sonuçları incelenmiş ve çeşitli çıkarımlar elde edilmiştir. Daha sonra pratikte kullanılan GPON FTTH mimarisi OptiSystem 13.0 programında modellenerek çeşitli karakteristiklere göre incelemeler yapılmıştır.

3.1. GPON ve Bakır Şebeke Hız Analizleri

ADSL teknolojisi mevcut telefonlar için kullanılan bakır kablolar üzerinden yüksek hızlı veri, ses ve görüntü iletişimini aynı anda sağlayabilen bir modem teknolojisidir. Mevcut telefon hattını daha etkili kullanmak amacıyla sayısal verileme tekniği ile aktarılabilecek veri yeterliliğinin artırılması yoluyla kullanıcıya geniş veri aktarım olanağı sağlamaktadır. Telefon abonesinin kullanmakta olduğu telefon hattının bir ucu telefon hizmetinin verildiği Telekom santraline bağlı bulunur. Bir abonenin ADSL hizmeti alabilmesi için, öncelikle hattının bağlı bulunduğu Telekom santralinde uygun cihazların kurulu olması gerekir. Uygun cihazlar kurulu ise, telefon hattının Telekom santralindeki ucu bu cihazlara bağlanır. Bu cihazlar hızlı veri iletişimi sağlarken aynı zamanda bir filtre görevi görerek ses ile veriyi birbirinden ayırır. Telefon aramalarında santral üzerinden standart telefon hatlarına ulaşılırken, veri de internet servis sağlayıcılarının internet bulutlarına taşınır. Abonenin telefonuyla aynı anda hızlı internet kullanabilmesi için evinde veya işyerindeki telefon hattını, ayırıcı denilen filtreleme aparatı ve ADSL modem/yönlendiricisine bağlaması gerekir.

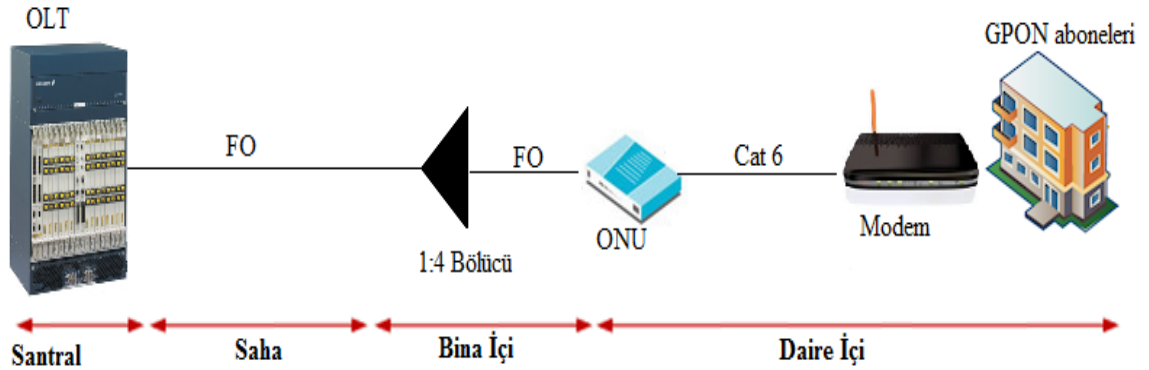
Geleneksel bir bakır erişim şebekesinde sunulabilen maksimum bant genişliğini, bakır kablunun yaşı, kalitesi, kalınlığı ve bakır kablo ağının uzunluğu (kullanıcı ile ana dağıtım çatısı arasındaki uzaklık) belirler. Tamamen bakır kablo altyapılarından oluşan sabit erişim şebekelerinde en yüksek bant genişliğinin elde edildiği ADSL2+ erişim yöntemi ile en uygun koşullarda (kullanıcının santrale maksimum 600 m uzak olduğu durum) erişilebilen maksimum bant genişliği asimetrik olarak 24 Mbps olmaktadır.

Bu kısımda Telekom aboneleri arasından seçilen ADSL, VDSL ve GPON kullanıcıları olan 3 aboneye ait veri iletim hızları incelenmiştir. Bakır şebekeler için belirlenen site bölgesi, FTTC dolabından yaklaşık 2 km uzaklıkta olup santral-dolap mesafesi yaklaşık 1070 m'dir. Hat üzerinde Cat-6 bakır kablo ile iletim sağlanmaktadır. Şekil 3.1'de aynı site içerisindeki ADSL ve VDSL abonelerinin santrale göre konumu gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Aynı site içerisindeki ADSL ve VDSL abonelerinin santrale göre konumu

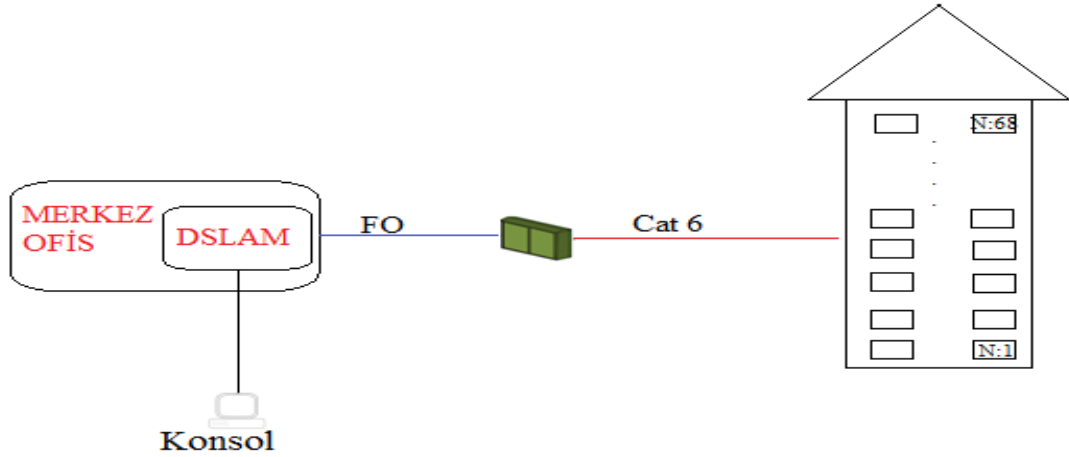
GPON abonesi ise santrale yaklaşık 5 km mesafede olup fiber teknoloji ile iletim sağlamaktadır. Şekil 3.2'de aboneler arasından seçilen GPON kullanıcısının santrale göre konumu gösterilmiştir.



Şekil 3.2. GPON abonesinin santrale göre konumu

Öncelikle ADSL ve VDSL abonelerine ait veriler incelenmiştir. Şekil 3.3'te bakır hat test yöntemi gösterilmiştir. Burada mavi hat, merkez ofisten çıkan ve FTTC dolabına kadar olan optik fiber kabloyu ifade eder. Kırmızı hat ise bina ile dolap arası Cat-6 bakır kabloyu ifade etmektedir. DSLAM aktif bir cihaz olup veri işaretlerinden gelen ses

işaretlerini ayırır ve xDSL aygıtları ile kullanıcı cihazları arasındaki trafiği yönetir.



Şekil 3.3. ADSL ve VDSL hat test yöntemi

Konsol arabirimi, DSLAM yapılandırması ve kontrolünü sağlar. ADSL abonesine ait hizmet verileri konsolda ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. ADSL abonesine ait hizmet verileri

ADSL HAT KALİTESİ DEĞERLERİ				
Aşağı Kanal Zayıflama	Aşağı Kanal Gürültü Seviyesi	Aşağı Kanal Mevcut Hızı	Aşağı Kanal Kapasite Hızı	Aşağı Kanal Çıkış Gücü
2.0 dB	30.5 dB	8191 kbps	26164 kbps	5.6
Yukarı Kanal Zayıflama	Yukarı Kanal Gürültü Seviyesi	Yukarı Kanal Mevcut Hızı	Yukarı Kanal Kapasite Hızı	Yukarı Kanal Çıkış Gücü
4.0 dB	27.1 dB	795 kbps	1380 kbps	9.9
Gürültü Seviyesi		Zayıflama		
0 dB- 6 dB	Hat oturmaz ya da düşer.	0 dB- 20 dB	Santrale çok yakın.	
7 dB- 14 dB	Hat oturur fakat düşme meydana gelebilir.	20 dB- 30 dB	Santrale yakın.	
15 dB- 25 dB	Hat kalitesi iyi.	30 dB- 40 dB	Santral mesafesi iyi.	
26 dB- 30 dB	Hat kalitesi çok iyi.	40 dB- 60 dB	Santral mesafesi ortalama.	
31 dB- 35 dB	Hat kalitesi mükemmel.	60 dB- 65 dB	Santrale uzak.	

Test sonucunda görüldüğü gibi ADSL teknolojilerin sağlayabileceği aşağı kanal veri iletim hızı 25-26 Mbps ile sınırlı kalmaktadır. Burada ADSL abonesi, seçmiş olduğu hizmet dolayısıyla 8 Mbps hızla erişim sağlamaktadır. Download Noise Margin değeri işaret gürültü seviyesi (SNR) değerini ifade eder. SNR değerinin 6 dB’den düşük olması durumunda ADSL bağlantı kurulamaz. SNR’ın en ideal değeri 15 dB ve üstüdür.

VDSL teknolojileri ADSL teknolojilere göre daha gelişmiş bir teknoloji olmakla birlikte bakır hat üzerinden, santrale kısa mesafelerdeki abonelere yüksek bant genişliği sunulabilen internet hizmetleridir. VDSL teknolojileri mevcut telefon hatları üzerinden internete ADSL'den daha hızlı erişim imkânı sunar. VDSL'in temel bir kullanım alanı, FTTH uygulamalarında görülür. Santralden gelen fiber hattın sonlandığı bir ONU ile ev ya da işyerine bağlı olan tek bir bakır hat arasında uygulanan VDSL, binanın yakınlarına kadar gelen fiber hattını, evlere eski ya da yeni döşenen bakır hatlar üzerinden bağlar. Çizelge 3.2'de VDSL abonesine ait hizmet verileri gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. VDSL abonesine ait hizmet verileri

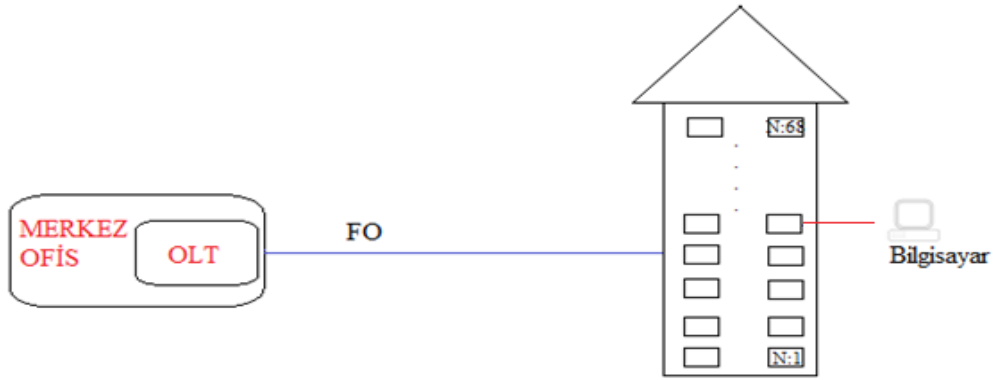
VDSL HAT KALİTESİ DEĞERLERİ				
Aşağı Kanal Zayıflama	Aşağı Kanal Gürültü Seviyesi	Aşağı Kanal Mevcut Hızı	Aşağı Kanal Kapasite Hızı	Aşağı Kanal Çıkış Gücü
9.0 dB	25.7 dB	32764 kbps	72971 kbps	13.8
Yukarı Kanal Zayıflama	Yukarı Kanal Gürültü Seviyesi	Yukarı Kanal Mevcut Hızı	Yukarı Kanal Kapasite Hızı	Yukarı Kanal Çıkış Gücü
4.0 dB	31.5 dB	2044 kbps	35886 kbps	6.6
Gürültü Seviyesi		Zayıflama		
0 dB- 6 dB	Hat oturmaz ya da düşer.	0 dB- 20 dB	Santrale çok yakın.	
7 dB- 14 dB	Hat oturur fakat düşme meydana gelebilir.	20 dB- 30 dB	Santrale yakın.	
15 dB- 25 dB	Hat kalitesi iyi.	30 dB- 40 dB	Santral mesafesi iyi.	
26 dB- 30 dB	Hat kalitesi çok iyi.	40 dB- 60 dB	Santral mesafesi ortalama.	
31 dB- 35 dB	Hat kalitesi mükemmel.	60 dB- 65 dB	Santrale uzak.	

Test sonucundan görüldüğü gibi VDSL teknolojisi ile abonelere 72 Mbps'ye kadar aşağı kanal veri iletim hızları sağlanabilmektedir. Ancak santralden çok daha uzak kullanıcılara yüksek hızlarla veri iletimi ancak optik fiber teknolojileri ile sağlanabilir.

VDSL2 teknolojisi ile 300 m'den daha kısa yerel ağlar üzerinde en iyi koşulların bulunması halinde teorik olarak 100 Mbps simetrik bant genişliğine ulaşılabilmektedir. Büyük kitlelere hizmet sunumunun söz konusu olması durumunda ise 50 Mbps bant genişlikleri sağlanabilir. Bakır yerel ağ üzerinde asimetric 24 Mbps bant genişliği sağlayabilen ADSL2+ ile FTTCab uygulamasının kullanıldığı VDSL2 erişimi karşılaştırıldığında VDSL2 ile 2 kat daha fazla alım ve 5-10 kat daha fazla gönderim yapılabildiği görülür. ADSL2+ her ne kadar 8-12 Mbps arasında bant genişliği

gerektiren yüksek çözünürlüklü televizyon (HDTV) hizmetinin sunulmasına imkân tanısa da VDSL2 teknolojisinin gerisinde kalmaktadır.

GPON abonesi için kullanılan test yöntemi Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Ölçümde bir dizüstü bilgisayar ONU cihazının bağlı olduğu modeme Cat-6 kablo ile bağlanarak bit hızlarını ölçmede daha doğru varsayımlar yapmak için <http://hiztesti.ttnet.com.tr> bağlantısı kullanılmıştır. Bu portalda hattın maksimum bit hızını ölçebilen gömülü hız ölçüm programları vardır.



Şekil 3.4. GPON test yöntemi

Optik fiber teknolojisi ile veri iletiminin sağlandığı GPON abonesine ait hız testi sonucu Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. GPON abonesi hız testi

GPON abonesi santrale daha uzak mesafede konumlandırılmış olmasına rağmen 100 Mbps bant genişliklerini sağlayabilmektedir. Test sonucunda görüldüğü gibi GPON abonesi 88 Mbps gibi yüksek bir alım hızıyla ADSL ve VDSL kullanıcılarına göre çok daha yüksek kapasiteli bir veri iletimi gerçekleştirir.

Elde edilen verilere göre, GPON teknolojisi hız performansı açısından diğer teknolojilere göre çok daha üstündür. Tam fiber altyapılı GPON sistemi, bakır şebekeye göre 4 kat daha fazla bit hızlarına sahiptir. Ancak alt yapı harcamaları Telekom operatörlerine göre bakır şebekeye oranla neredeyse 20 kat daha fazladır.

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. Bu bakımdan sabit bir erişim şebekesinin sağlayabileceği bant genişliğini artırmak için bakır yerel ağın, saha dolabına, bina girişine veya konutlara kadar optik fiber kablolarla değiştirilmesi, santral binasında bulunan ve abone modemlerinin bağlı olduğu DSLAM'ların abonelere daha yakın yerlerde (saha dolabı, bina girişleri) konumlandırılmaları, DSLAM'larda, daha gelişmiş DSL erişim yöntemlerinin (VDSL2 gibi) kullanılması gibi yöntemler geliştirilmelidir.

3.2 GPON FTTH Uygulaması ve Analizleri

Bu bölümde Telekom operatörlerinin kullanmış olduğu GPON FTTH ağ mimarisi Optisystem 13.0 simülasyon programında modellenmiştir. Model farklı karakteristiklere bağlı olarak incelenerek çeşitli bulgular elde edilmiştir.

3.2.1 GPON FTTH Uygulaması Erişim Özellikleri

Teoride bir optik fiber kablonun iletim kapasitesi 100 Gbps x km 'dir. Ancak pratikte bu değer 50 Gbps x km olarak alınmaktadır. GPON modelinde aşağı kanal veri iletim hızının 2.5 Gbps olduğu düşünülürse pratikte kullanılan GPON modellerinde maksimum 20 km'ye kadar sorunsuz veri iletiminin yapılabileceği görülür. Telekom operatörleri bu mesafeyi hizmet politikasına bağlı olarak 10 km olarak sınırlandırmaktadır.

Sistem üzerinde meydana gelen kayıplar optik fiber, fiber ek noktaları ve optik bölücülerden kaynaklanır. Optik fiberin uzunluğuna bağlı olarak kilometre başına 0.25 dB fiber kayıpları oluşur. Ayrıca alt yapıda kullanılan SM optik fiberlerde her 2 km’de bir ek yapılmaktadır. Bu durum her ek noktasında 0.05 dB’lik bir kayıp getirir. Her bir ara kablo (patch cord) bağlantı noktalarında da 1 dB gibi bir kayıp oluşmaktadır. Tüm bu kayıplara optik bölme oranına bağlı olarak bölücü kayıpları da eklenir.

Türk Telekom’da GPON abonelerinin kanal hızlarına göre yararlanabilecekleri hizmetler Çizelge 3.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. GPON hız paketleri

Aşağı Kanal Hızı	Yukarı Kanal Hızı
100 Mbps	4 Mbps
100 Mbps	2 Mbps
50 Mbps	2 Mbps
35 Mbps	2 Mbps
24 Mbps	2 Mbps
24 Mbps	1 Mbps

Tabloda görüldüğü gibi bir GPON abonesinin hizmet alabileceği maksimum kanal hızları 100 Mbps/4 Mbps’dir. Ancak mevcut durumda aboneler tarafından en çok tercih edilen paketler 24 Mbps/2 Mbps ve 24 Mbps/1 Mbps’dir. Abonelerin bu veri iletim hızlarına bağlı olarak sahip olabilecekleri kota bilgileri Çizelge 3.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Abonelerin hizmet alabilecekleri internet paketleri [Deniz 2015]

İNTERNET PAKETLERİ		HIZ	KOTA	ADİL KULLANIM KOTASI
KOTALI	FIBERNET4	24 Mbps'ye kadar	4 GB	25 GB
	FIBERNET6	24 Mbps'ye kadar	6 GB	25 GB
	FIBERNET12	24 Mbps'ye kadar	12 GB	25 GB
LİMİTSİZ	FIBERNET LİMİTSİZ	24 Mbps'ye kadar	–	35 GB
	FIBERNET LİMİTSİZ	24 Mbps'ye kadar	–	75 GB
	FIBERNET LİMİTSİZ	35 Mbps'ye kadar	–	100 GB
	FIBERNET LİMİTSİZ	50 Mbps'ye kadar	–	200 GB
	FIBERNET LİMİTSİZ	100 Mbps'ye kadar	–	200 GB
FULL LİMİTSİZ	FIBERNET FULLLİMİTSİZ	24 Mbps'ye kadar	–	–
	FIBERNET FULLLİMİTSİZ	35 Mbps'ye kadar	–	–
	FIBERNET FULLLİMİTSİZ	50 Mbps'ye kadar	–	–
	FIBERNET FULLLİMİTSİZ	100 Mbps'ye kadar	–	–
	FIBERNET FULLLİMİTSİZ	1000 Mbps'ye kadar	–	–

Aboneler kullandıkları internet paketlerine göre kota bilgilerine sahip olup adil kullanım kota değerine kadar mevcut hızları ile iletişim sağlayabilmektedir. Ancak adil kullanım kotasının üzerine çıkan müşteriler aşağı kanal boyunca 3 Mbps iletim hızına sahip olur.

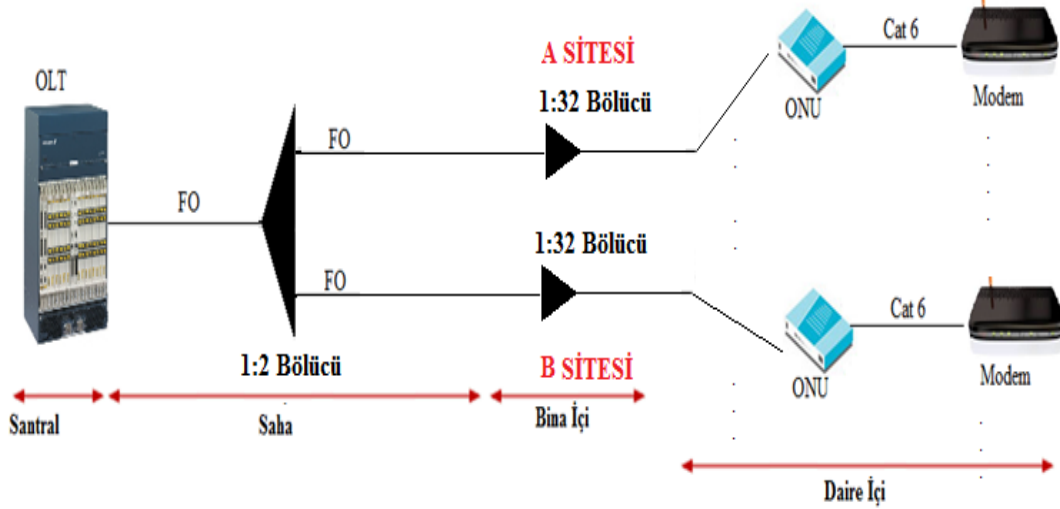
Pratikte tüm hizmetlerden (IPTV, İnternet, Telefon) faydalanan bir GPON abonesinin ihtiyaç duyduğu minimum aşağı ve yukarı kanal bant genişlikleri 12 Mbps ve 2 Mbps'dir. Ancak Telekom operatörleri bu değerleri hizmet politikasına bağlı olarak 24 Mbps ve 2 Mbps olarak belirlemiştir.

3.2.2 GPON FTTH Mimarisi

Optik bölme oranını 128'e kadar destekleyen GPON mimarisinin en önemli avantajlarından biri BPON'daki eski nesil ATM çerçeveleri yerine GEM adı verilen çerçevelerin kullanılmasıdır. Bu yapı ile TDM, Ethernet ve IP gibi farklı yapıdaki paketlerin çerçevelenmesi sağlanmaktadır. Aynı zamanda GPON mimarisi ATM paketlerini de desteklemektedir. GPON FTTH mimarisinde bina iç dağıtım noktasında merkez ofisten gelen fiber, optik bölücü ile bölünüp (1:16, 1:32) her haneye bir bağlantı kablosu çekilir. Evlerde bulunan optik bağlantı kabloları fiber dağıtım kutularında sonlanır ve bu dağıtım kutularıyla ONT bağlanır. Merkez ofiste bulunan OLT ile evlerde bulunan ONT birlikte erişim bağlantısını sağlar. Telefon ONT portlarına bağlanırken internet bağlantısında kullanılacak bilgisayarlar HGW'nin portlarına bağlanır. Binalar arasında mümkün olduğunca düşük kapasitede kablo tesis edilir. Mümkünse sitede bir bina altında fiber toplama noktası (FTN) oluşturulmalıdır. Optik bölücüler sistemde FTN varsa FTN'deki, yok ise bina altlarındaki dağıtım kutularına yerleştirilir.

Çok sayıda sitenin aynı santral binasında bulunan OLT'de sonlandırılması durumunda sitelerdeki santral çıkışının FTN'lerden yapılması gerekir. Siteye 1:32/1:16 bölücü konulmalıdır. Santral ve siteye konulan bölücüler ile bir PON portunun toplam bölünme oranı maksimum 1:64 (64 hane/ONT) olmalıdır. Sistemde MDU cihazı kullanılması durumunda ise bir PON portuna en fazla 32 MDU bağlanmalıdır. Aynı PON portuna hem ONT hem MDU bağlanmamalıdır. Ayrıca toplam kaybın 28 dB'yi geçmemesi gerekir.

Telekom operatörleri bir OLT portuna maksimum 64 abone bağlı olacak şekilde hizmetler vermektedir. Şekil 3.6’da bu GPON abonelerine ait örnek ağ mimarisi gösterilmiştir.



Şekil 3.6. 64 aboneli GPON sistemi

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi 64 aboneye hizmet sağlanan GPON mimarisinde A ve B sitesi olmak üzere 2 ayrı yerleşim bulunmaktadır. Her bir sitede 32’şer GPON abonesi bulunmakta olup sistemin aşağı ve yukarı kanal hızları 2.5 Gbps ve 1.25 Gbps’dir.

3.2.3 GPON FTTH Uygulaması Sistem Özellikleri

Aşağı kanal hızı: 2.5 Gbps

Yukarı kanal hızı: 1.25 Gbps

Aşağı hat gücü: 50 mW

Aşağı hat dalga boyu: 1490 nm

Yukarı hat gücü: 50 mW

Yukarı hat dalga boyu: 1310 nm

Santralden gelen ana fiber dağıtım hattı uzunluğu: 5 km

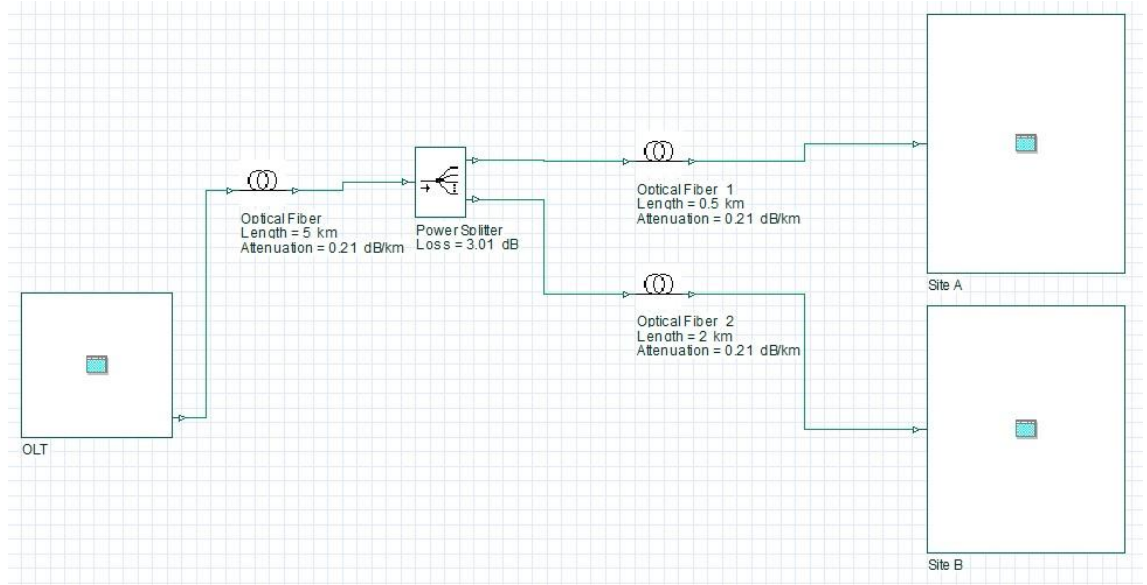
Santralden gelen ve bina içi fiberin kaybı: 0.21 dB/km

Saha dolabındaki bölücü ek kaybı: 3.01 dB

Site ve bina içerisindeki bölücü ek kaybı: 15.05 dB

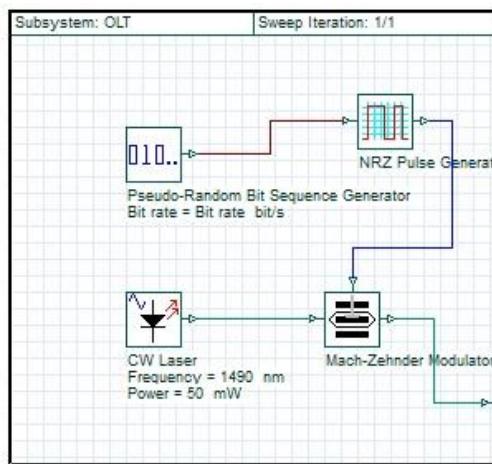
GPON sisteminde A ve B sitelerinin santrale uzaklığı sırasıyla 5.5 ve 7 km'dir.

Şekil 3.7'de pratikte mevcut olan bu GPON FTTH mimarisinin OptiSystem 13.0 model tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 3.7. GPON aşağı kanal modeli

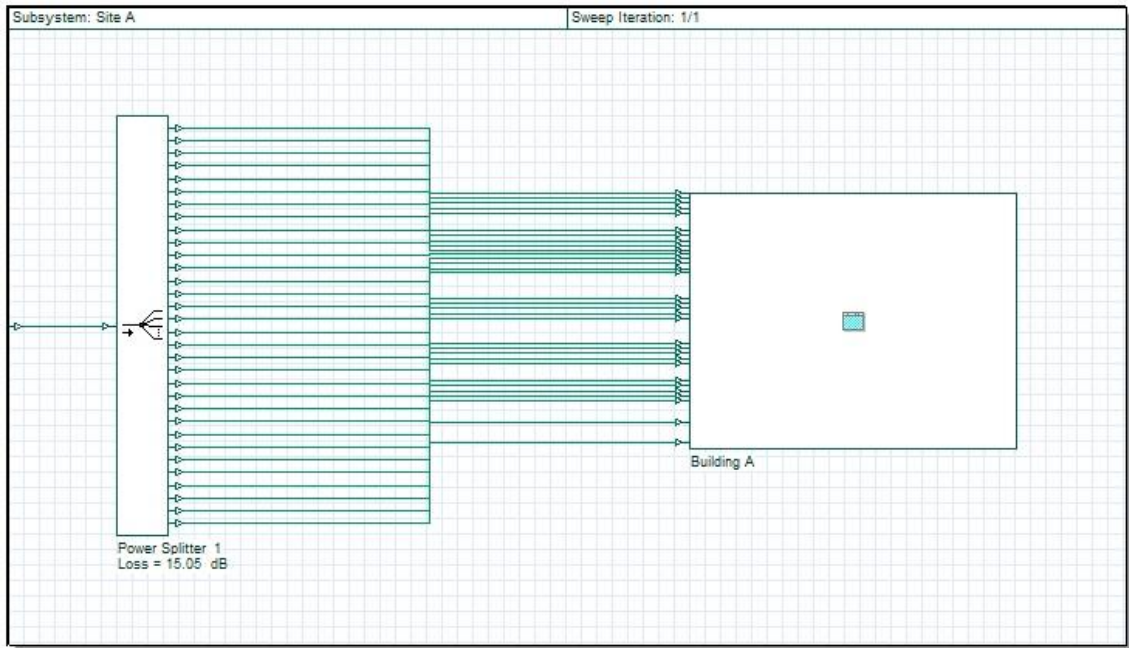
Sistemde A ve B siteleri olmak üzere iki siteye hizmet sağlanmaktadır. A sitesi 7 katlı bir blok olup 32 tane GPON abonesi içerir. B sitesi ise 4 bloktan oluşmakta olup her blokta sırasıyla 4, 8, 15, 5 GPON abonesi bulunur. GPON sisteminde bulunan OLT birim modeli Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. GPON OLT birim modeli

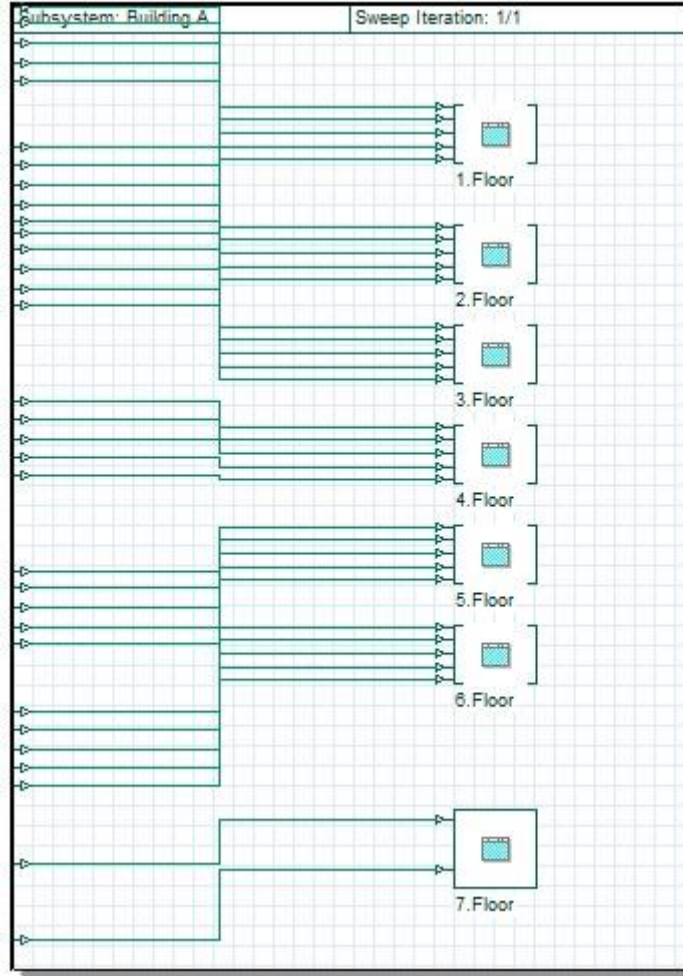
Uygulamada bulunan verici kısım bir OLT tasarımıdır. GPON'da veri iletimi çift yönlü olduğu için ONU içyapısı hem verici hem de alıcı kısımdan oluşur.

GPON sisteminde ana fiber dağıtım hattı 5 km'dir. Santral-site arasında konumlandırılan 1:2 optik bölücü her iki siteye sırasıyla 500 m ve 2 km uzaklıktadır. Bina altına yerleştirilen 1:32 optik bölücü tüm katlardaki abonelere fiber dağıtımı yapar. A sitesinde birinci katta bulunan abonelerin 1:32 optik bölücüye olan uzaklığı 10 m olup son katta bulunan abonelerin optik bölücüye uzaklığı ise 40 m'dir. Şekil 3.9'da A sitesinde bulunan 1:32 optik bölücü yapısı gösterilmiştir.



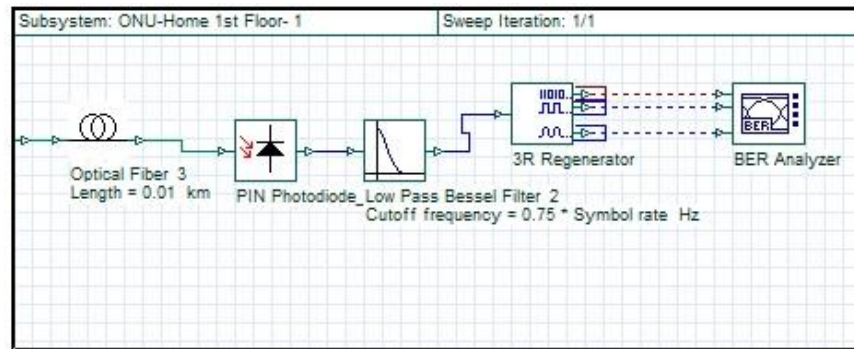
Şekil 3.9. A sitesinde bulunan 1:32 optik bölücü yapısı

Şekil 3.10'da A sitesinde abonelerin katlara göre dağılımı gösterilmiştir. A sitesinde birinci katta bulunan ilk abone ONU₁ ve yedinci katta bulunan ilk abone ONU₂ olarak adlandırılmış olup bu aboneler çeşitli analizlere göre incelenecektir.

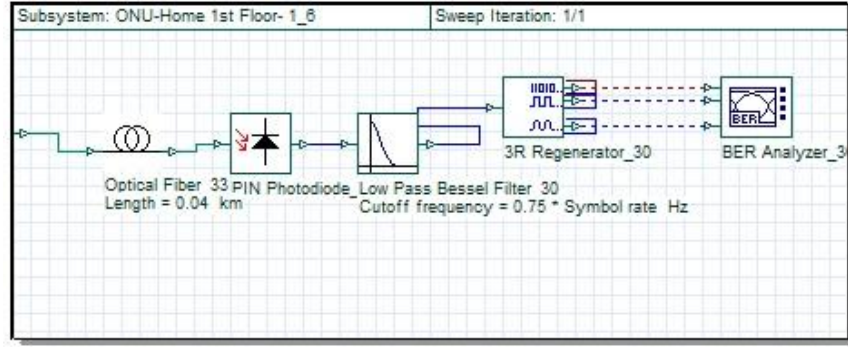


Şekil 3.10. A sitesinde abonelerin katlara göre dağılımı

GPON sisteminde ONU cihazları doğrudan kullanıcıların evlerinde bulunmaktadır. ONU₁ ve ONU₂ abonelerine ait ONU iç yapıları sırasıyla Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de gösterilmiştir.

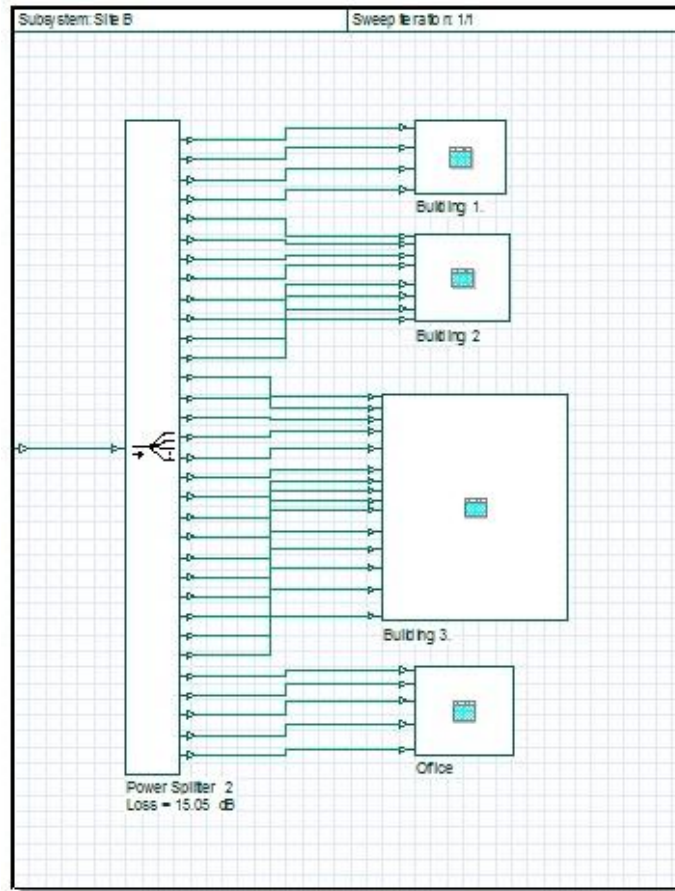


Şekil 3.11. ONU₁ abonesine ait ONU yapısı



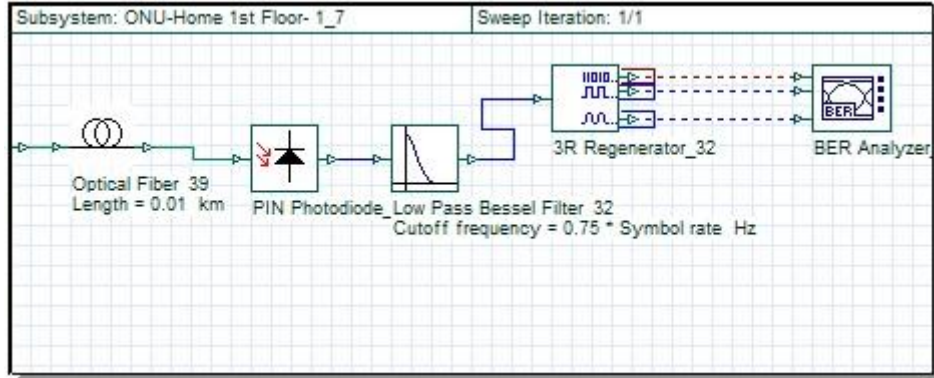
Şekil 3.12. ONU₂ abonesine ait ONU yapısı

GPON sisteminde B sitesi 4 farklı bloktan oluşmakta olup 1:32 optik bölücü site bölgesinde bir noktada konumlandırılmıştır. Blokların sırasıyla 1:32 optik bölücüye uzaklıkları 0.5 km, 1 km, 0.7 km ve 0.9 km'dir. Şekil 3.13'te B sitesinde bulunan 1:32 optik bölücü yapısı gösterilmiştir.

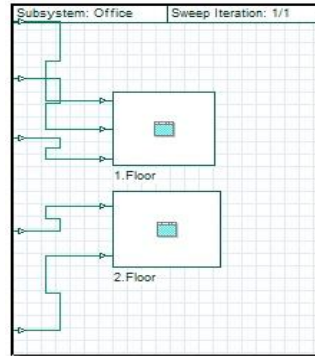


Şekil 3.13. B sitesinde bulunan 1:32 optik bölücü yapısı

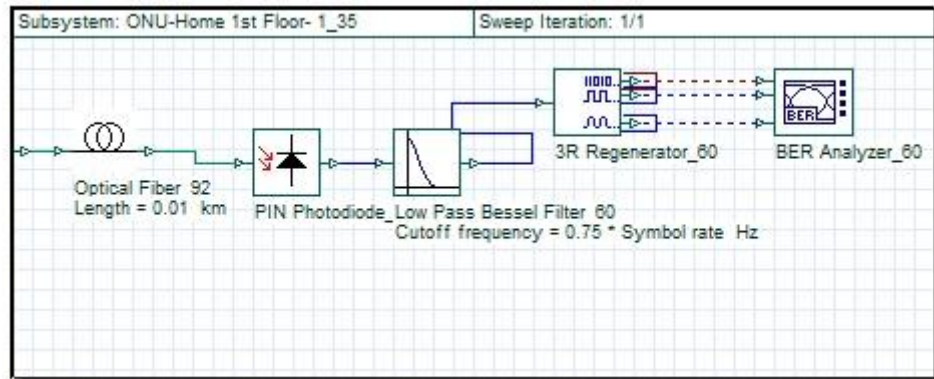
B sitesinde 1. blok ilk katta bulunan GPON abonesi ONU₃ ve ofis bloğunda ilk katta bulunan GPON abonesi ONU₄ olarak adlandırılmıştır. ONU₃ ve ONU₄ abonelerine ait ONU içyapıları Şekil 3.14 ve 3.16’da gösterilmiştir. B sitesi ofis bloğu abonelerinin katlara göre dağılımı ise Şekil 3.15’te verilmiştir.



Şekil 3.14. ONU₃ aboneline ait ONU yapısı



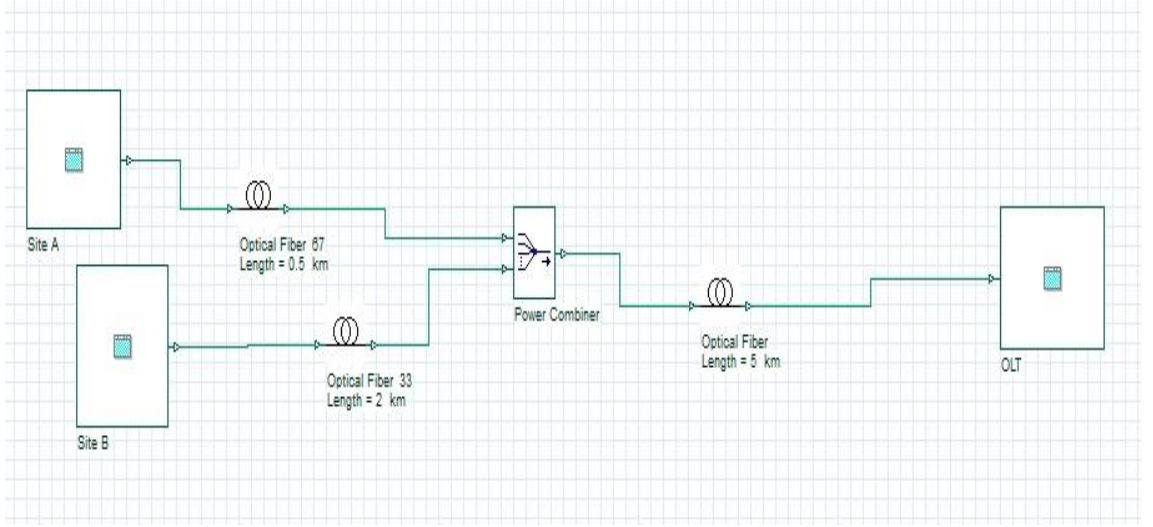
Şekil 3.15. B sitesi ofis bloğu abonelerinin katlara göre dağılımı



Şekil 3.16. ONU₄ aboneline ait ONU yapısı

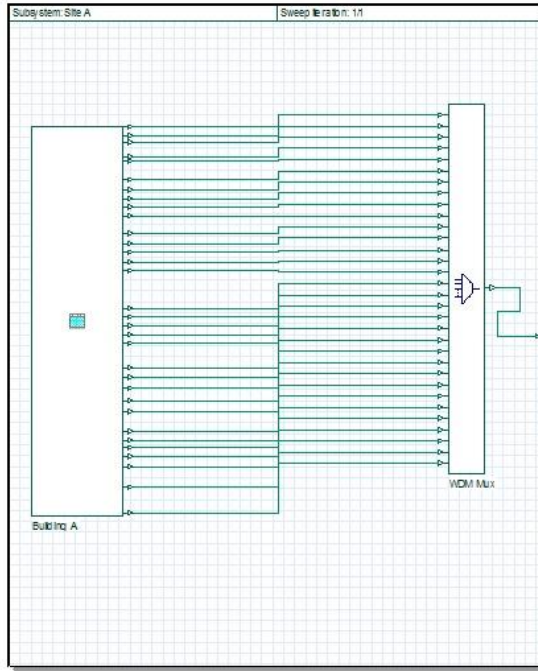
Analizlerde A sitesinde bulunan ONU₁ ve ONU₂ ile B sitesinde bulunan ONU₃ ve ONU₄ abonelerinin çeşitli karakteristiklere göre davranışlarının incelenmesi sonucu çıkarımlar elde edilmiştir.

Örnek GPON modelinde yukarı kanal yönünde WDM tekniği kullanılmıştır. Sistemde ana fiber hat mesafesi ve aktif abone sayısı değiştirilerek BER analizleri yapılmıştır. Yukarı akış trafiği için oluşturulan ağ mimarisi Şekil 3.17’de gösterilmiştir.

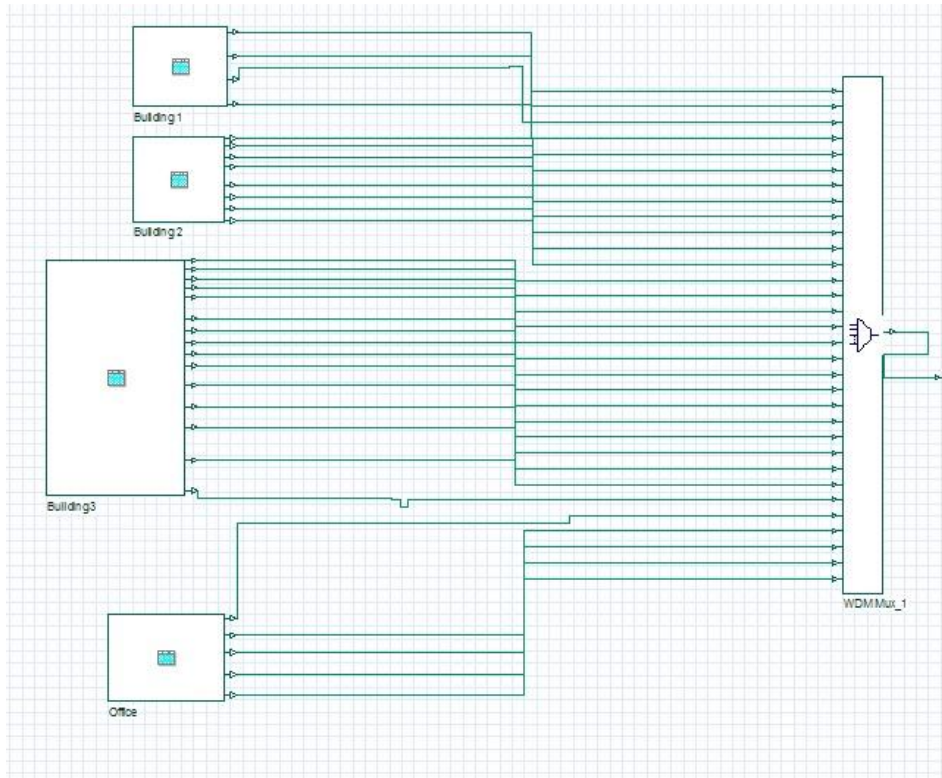


Şekil 3.17. GPON yukarı kanal modeli

Yukarı kanal GPON modelinde WDM çoğullayıcısı her iki sitede bulunan abonelere bağlanarak tüm aboneler için dalgaboyu ataması yapılmıştır. Böylece yukarı kanal trafiğinin en verimli şekilde kullanılması sağlanmıştır. A ve B sitelerinin WDM çoğullayıcısına bağlantıları Şekil 3.18 ve 3.19’da gösterilmiştir.



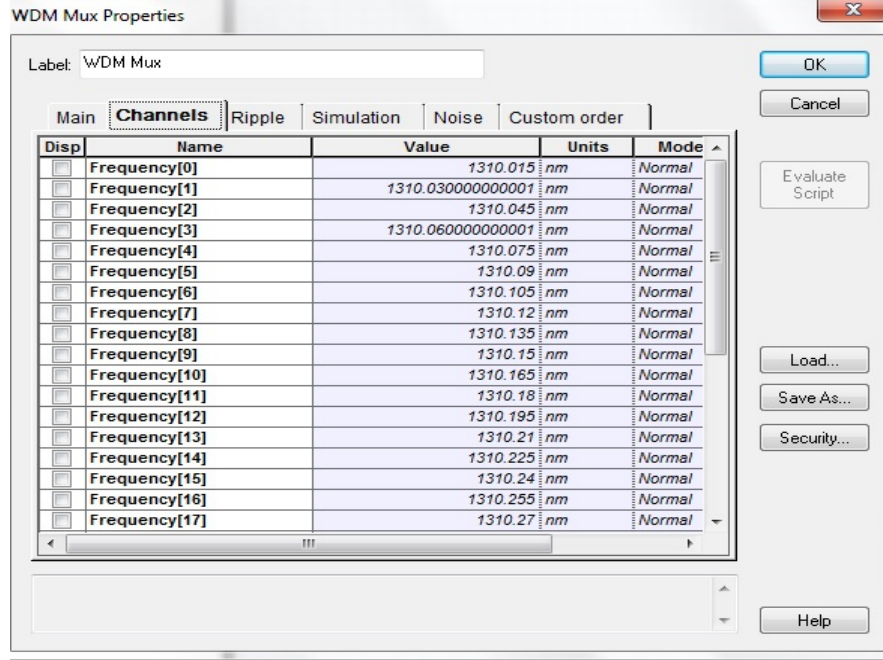
Şekil 3.18. A sitesi-WDM çoğullayıcı bağlantısı



Şekil 3.19. B sitesi-WDM çoğullayıcı bağlantısı

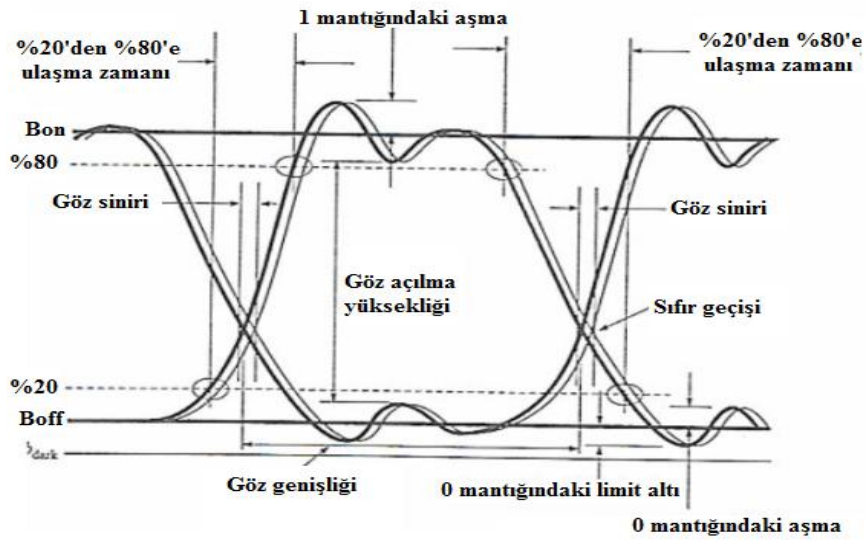
Yukarı kanal için uygulan WDM yönteminde her bir 64 abone için erişim sağlayabilecekleri yaklaşık dalgaboyları atanmıştır.1310-1310.99 nm aralığı 64 abone

için paylaştırılarak yukarı kanal aboneler tarafından daha aktif olarak kullanılmıştır. Abonelere atanan dalgaboyları Şekil 3.20’de gösterilmiştir.

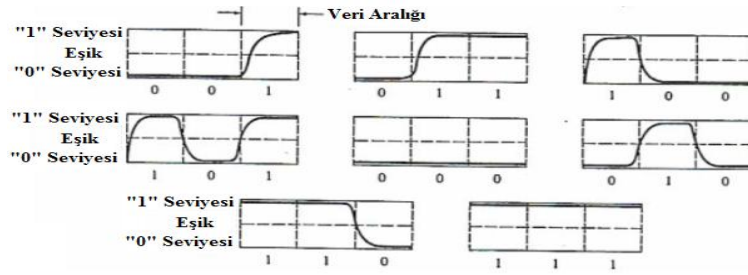


Şekil 3.20. Abonelere dalgaboyu ataması

Bölüm 4’te FTTH GPON örnek modeliyle ilgili olarak bit hızı, fiber uzunlukları, giriş gücü ve aktif abone sayıları değiştirilerek sistemin bu durumdan nasıl etkilendiği sorgulanıp bit hata oranı (BER) diyagramları üzerinden göz yapıları incelenmiştir. Göz yapıları sayısal bir iletim sisteminin veri iletim yeteneğinin değerlendirilmesinde güçlü bir ölçüm yöntemi olup dalga üzerindeki bozulmalar osiloskop üzerinde kolaylıkla görülebilmektedir. Sistemde rastgele bir veri örnek oluşturucunun çıkışı osiloskobun dikey girişine uygulanır ve veri oranı yatay alanı tetiklemek için kullanılır. Göz örneği Şekil 3.21’de verilmiştir. Şekil 3.22’de gösterilen sekiz tane 3 bit uzunluğunda NRZ kombinasyonların üst üste binmesi sonucu göz örneği yapısı oluşur. Örnekte üst ve alt sınırlar sırasıyla Bon ve Boff ile gösterilen 1 ve 0 seviyelerini belirtir.



Şekil 3.21. Temel ölçüm parametrelerinin tanımlarını gösteren bir göz diyagramının konfigürasyonu



Şekil 3.22. Yükselme ve düşme zamanlarını ayarlayabilen sekiz tane 3 bit uzunluğunda NRZ kombinasyonları

Göz açılma genişliği semboller arası girişimde hata olmadan örneklenebilen işaret üzerindeki zaman aralığını tanımlar. Dalga şeklini örneklemek için en iyi zaman gözün açılma yüksekliğinin en büyük olduğu zamandır. Göz açılmasının üstü ve maksimum işaret seviyesi arasındaki dikey mesafe maksimum bozulmayı verir. Örnekleme zamanındaki göz açılma yüksekliği gürültü aralığını belirtir. Gürültü aralığı pik işaret gerilimi V_1 'in eşik seviyesinden ölçülen maksimum işaret gerilimi V_2 'ye orandır.

$$\text{Gürültü Aralığı} = V_1/V_2 \quad (4.1)$$

ile ifade edilir.

Örnekleme zamanı değişirken göz örneği kenarlarının eğimi sistemin zamanlama hatalarının hassaslığını belirler. Eğim daha yatay olurken zamanlama hatalarının olasılığı da artar.

Bir optik fiber sistemindeki faz bozulması optik fiberdeki darbe bozulması ve alıcıdaki gürültüden kaynaklanmaktadır. İşaret zaman aralığının ortasında örneklenirse eşik seviyesindeki Δ_T bozulma miktarı, gecikme miktarını gösterir. T_b bir veri aralığı olmak üzere uç gecikmesi,

$$\text{Uç Gecikmesi} = \Delta_T / T_b \quad (4.2)$$

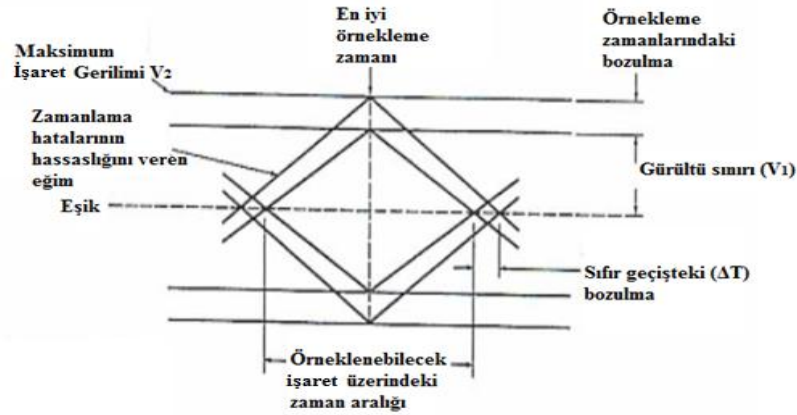
şeklindedir.

Göz örneğinde yükselme süresi işaretin son genliğinin % 10'una ve % 90'ına ulaştığı noktalar arasındaki zaman aralığı olarak tanımlanır. Optik işaretler ölçülürken bu noktalar gürültü ve gecikme etkileriyle gizlenir. Böylece % 20 ve % 80 eşik noktalarındaki farklı değerler normal olarak ölçülür. % 20-80 yükselme süresinden % 10-90 yükselme süresine dönüşüm yapmak için,

$$T\% 10-90 = 1.25 * T\% 20-80 \quad (4.3)$$

bağıntısı kullanılır.

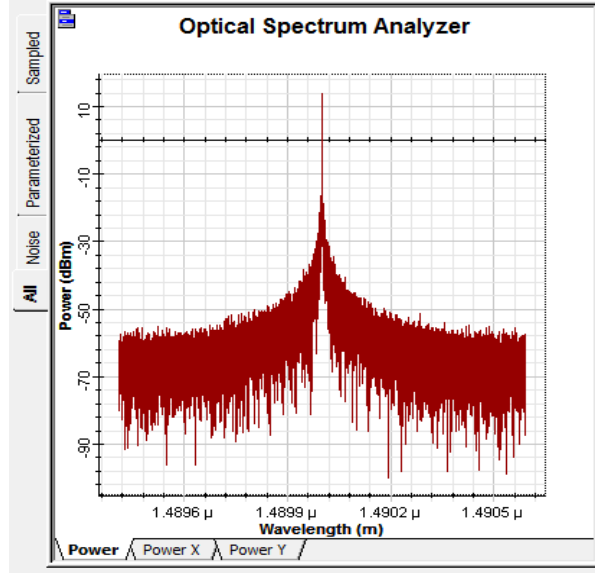
Sistemde rasgele veri akışı tamamen doğrusal bir sistemden geçerse göz diyagramındaki bütün göz açılmaları özdeş ve simetrik olacaktır [Tillem 2006].



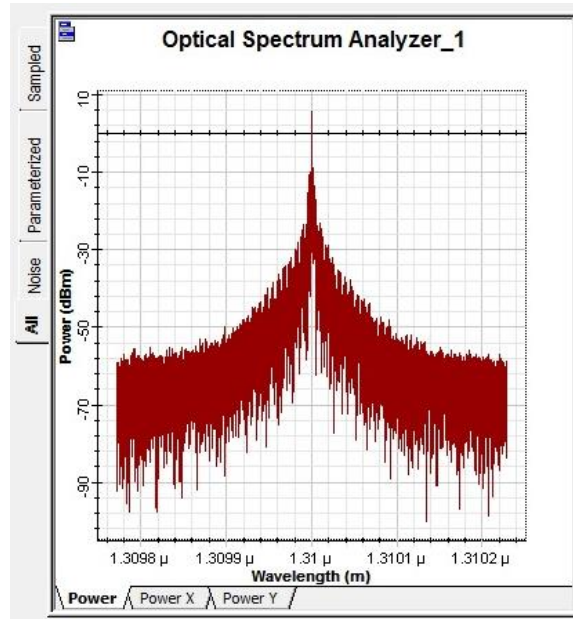
Şekil 3.23. Anahtar çalışma parametrelerini gösteren basitleştirilmiş göz diyagramı

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde örnek GPON modelinde yapılan analiz ve simülasyon sonuçları yer almakta olup bu sonuçlar incelenerek çeşitli çıkarımlar yapılmıştır. Şekil 4.1. ve 4.2’de aşağı ve yukarı kanallar için elde edilmiş olan optik spektrum analiz diyagramları gösterilmiştir.



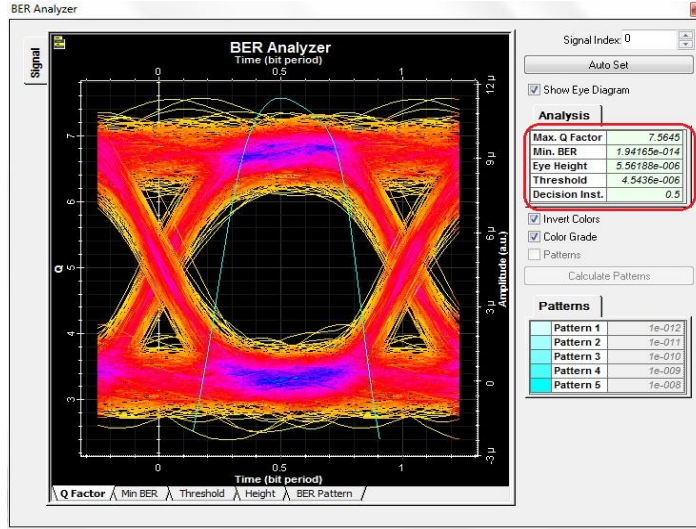
Şekil 4.1. OLT birimi optik spektrum analizi



Şekil 4.2. ONU₁ abonesine ait optik spektrum analizi

Şekil 4.1 ve 4.2’de görüldüğü gibi aşağı kanalda 1490 nm ve yukarı kanaldan gelen 1310 nm’lik dalgaboyunda maksimum güç elde edilmiş olup diğer dalgaboylarına gidildikçe ise güç azalmaktadır. Bu sistemin doğruluğunu kanıtlayan bir analizdir.

5 km ana fiber hat mesafesinde ve 2.5 Gbps aşağı kanal iletim hızında ONU₁ aboneline ait göz diyagramı Şekil 4.3’te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. 5 km ana fiber hat mesafesinde ONU₁ aboneline ait göz diyagramı

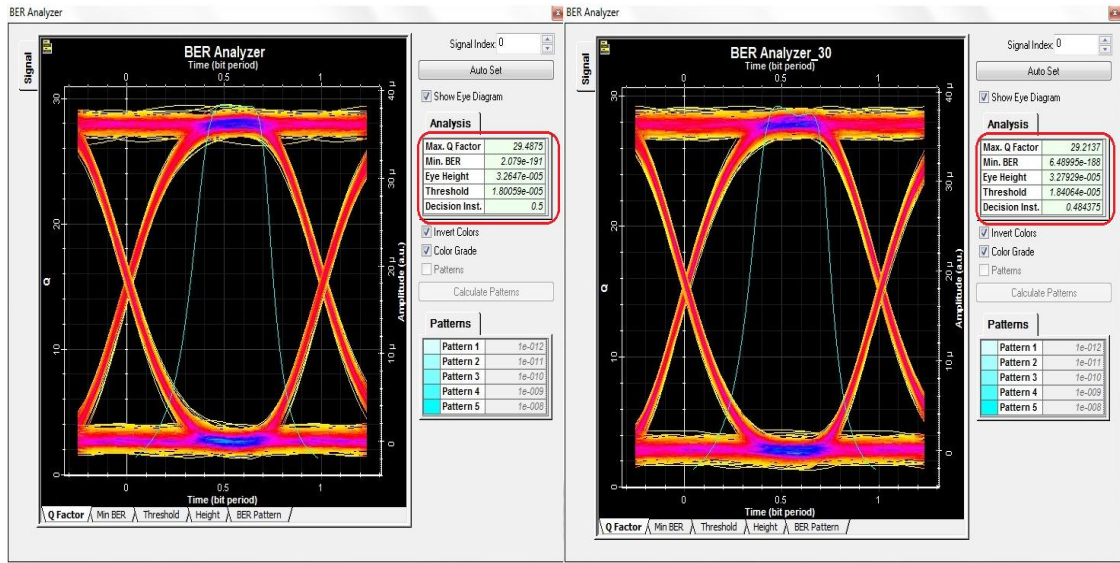
Sistemde ana fiber hat uzunluğunun 5, 10, 15, 20 km olarak değiştirilmesi sonucu ONU₁, ONU₂, ONU₃, ONU₄ abonelerine ait kalite faktörlerinin değişimi Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. ONU’lara ait Q faktörünün fiber uzunluğuyla değişim sonuçları

MAKSİMUM Q FAKTÖRÜ KARŞILAŞTIRMASI		FİBER UZUNLUĞU			
BİT HIZI	ABONE	5 KM	10 KM	15 KM	20 KM
2,5 Gbps	ONU ₁	7.564	5.620	4.470	3.634
2,5 Gbps	ONU ₂	7.191	5.529	4.278	3.505
2,5 Gbps	ONU ₃	6.952	5.308	4.191	3.371
2,5 Gbps	ONU ₄	6.740	5.150	4.027	3.190

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi sistemde fiber uzunluğu arttıkça maksimum kalite faktörü azalmaktadır. Fiber uzunluğunun 25 km’ye çıkması durumunda ise abonelere ait Q faktörlerinin sıfır olduğu görülmüştür. Q faktörünün sıfır olması, bit hata oranının 1 olduğu anlamına gelir ve teorik anlamda kullanıcıya verinin ulaşmadığını ifade eder.

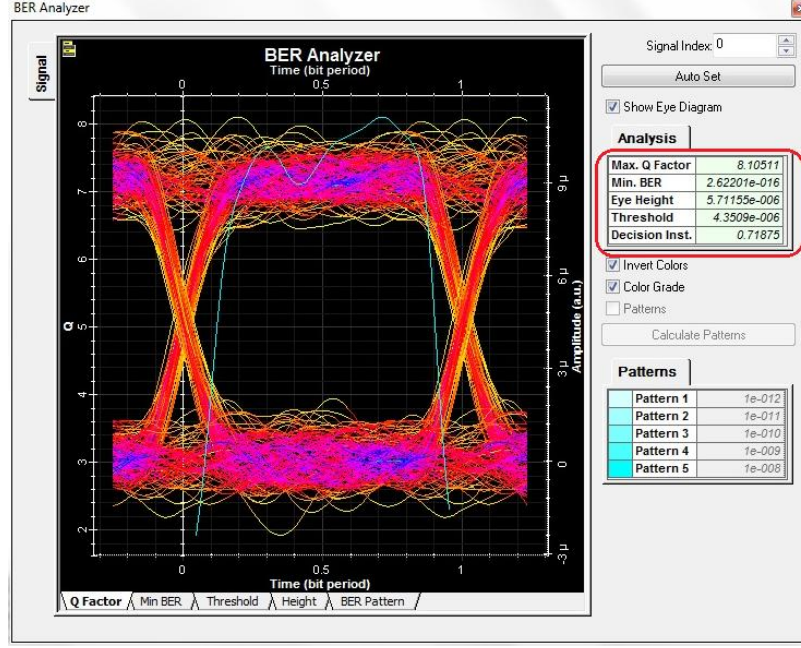
64 aboneye sahip bu GPON sisteminde abone sayısının fazla olması nedeniyle kalite faktörünün düşük olduğu görülmektedir. Sistem üzerinde sadece A sitesinin aktif erişim sağlaması yani sistemde 32 abonenin olması durumunda ONU₁ ve ONU₂ abonelerine ait göz diyagramları Şekil 4.4’te gösterilmiştir.



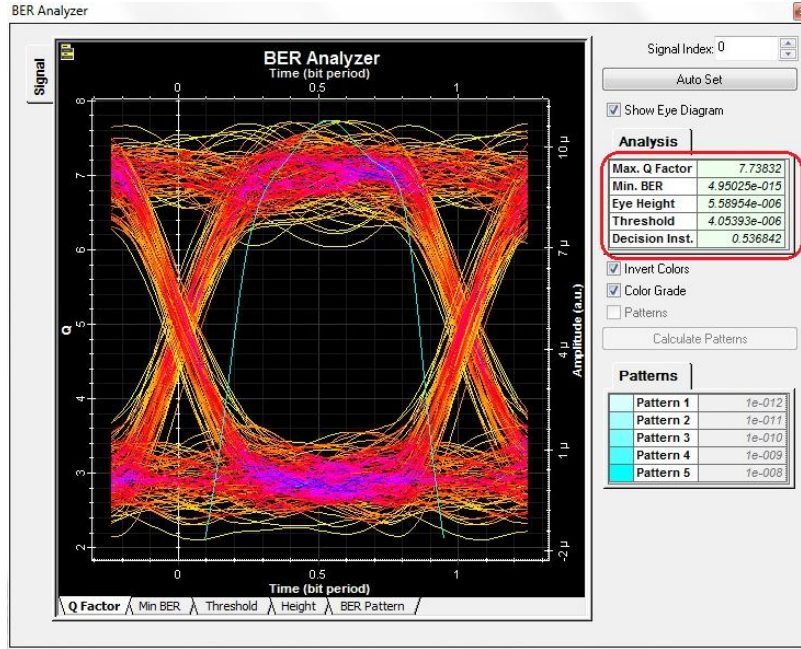
Şekil 4.4. Sistemde 32 abonenin aktif olması durumunda ONU₁ ve ONU₂ abonelerine ait göz diyagramları

Göz diyagramlarından görüldüğü gibi sistemde aktif abone sayısının yarıya inmesi durumunda ONU₁ ve ONU₂ abonelerine ait kalite faktör değerleri yaklaşık % 310 artmış ve göz diyagramları daha açık hale gelmiştir.

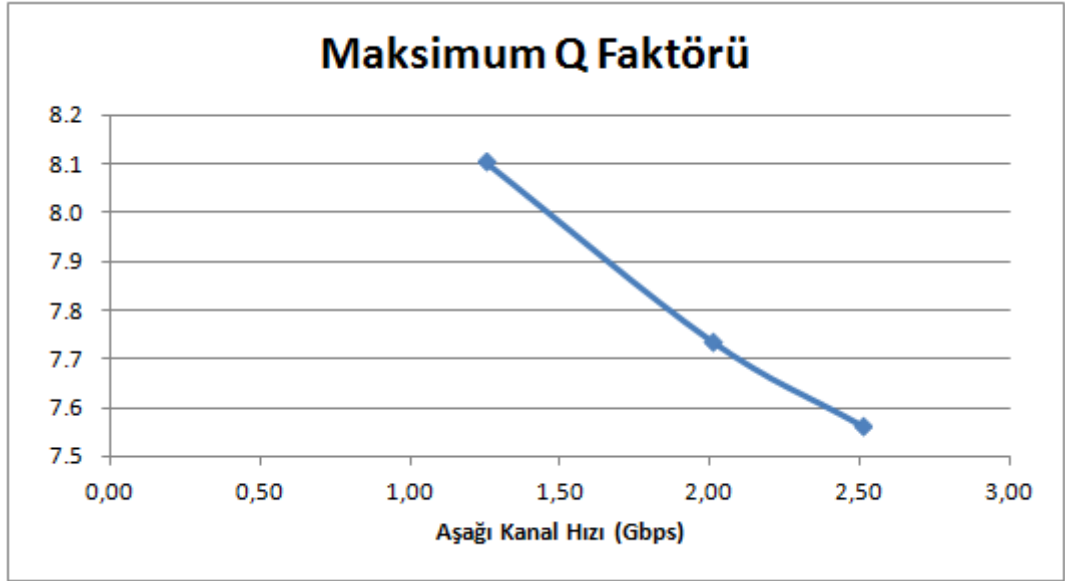
GPON modelinde 5 km ana fiber hat uzunluğu referans alınarak aşağı kanal hızının sırasıyla 1.25 Gbps ve 2.0 Gbps olarak değiştirilmesi sonucu ONU₁ abonesine ait BER ve kalite faktörü diyagramları Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.5. 5 km mesafede 1.25 Gbps aşağı kanal hızında ONU₁ abonesine ait göz diyagramı



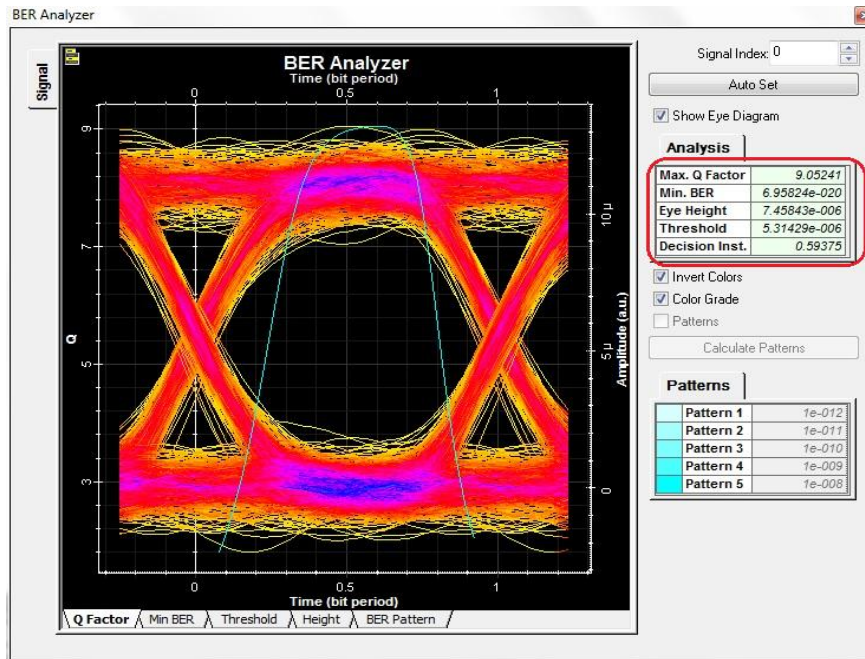
Şekil 4.6. 5 km mesafede 2 Gbps aşağı kanal hızında ONU₁ abonesine ait göz diyagramı



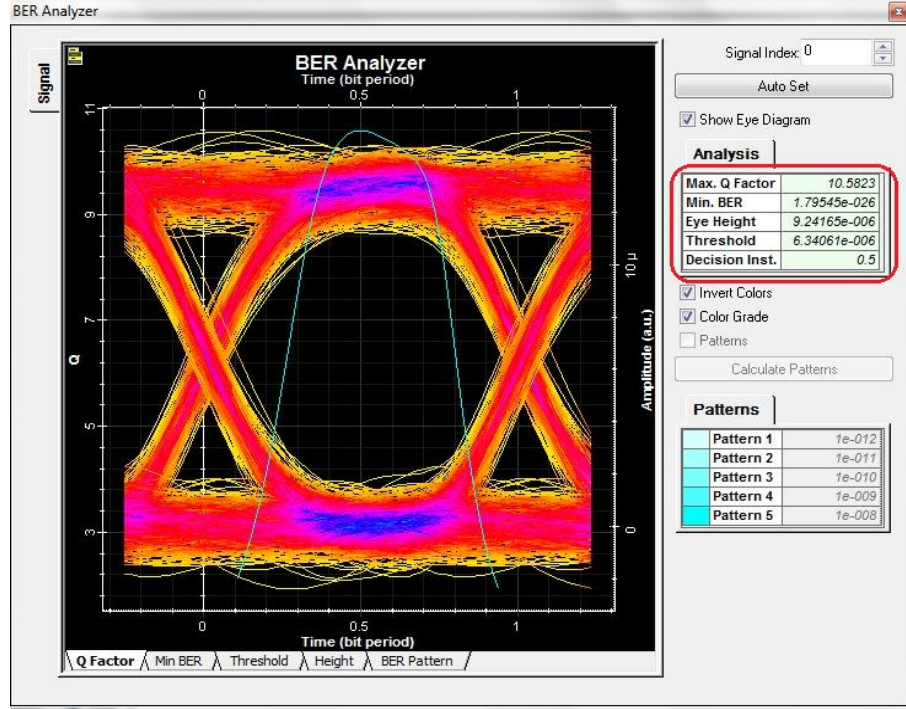
Şekil 4.7. Aşağı kanal hızının artışına bağlı olarak Q faktörü değişimi

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi aşağı kanal hızının artışına bağlı olarak hattın maksimum kalite faktörü düşüş göstermektedir.

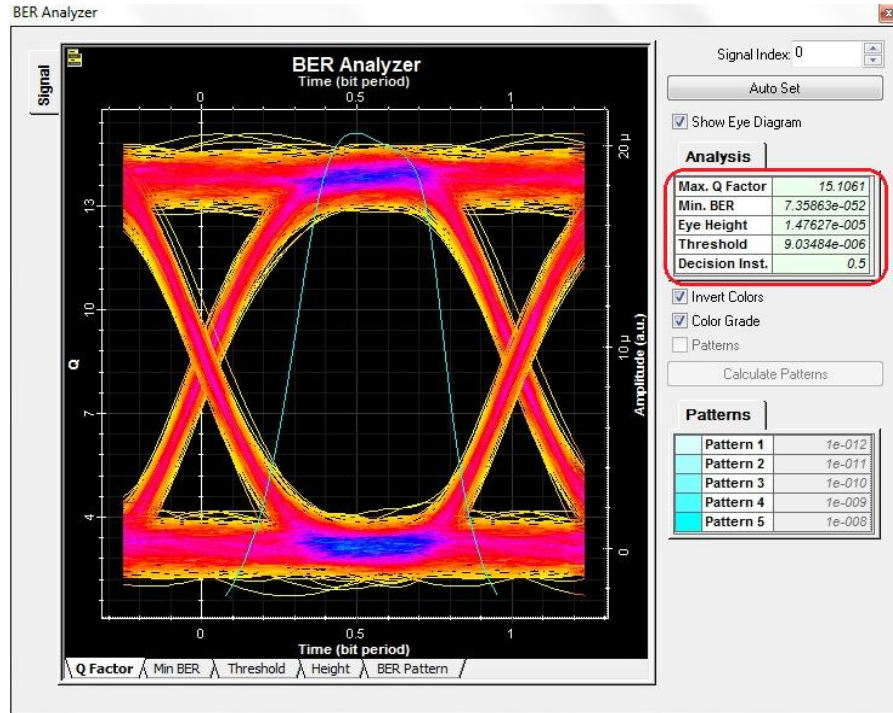
GPON sisteminde giriş gücünün 60, 70 ve 100 mW olarak değiştirilmesi sonucu ONU₁ abonesine ait göz diyagramları Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10’da gösterilmiştir.



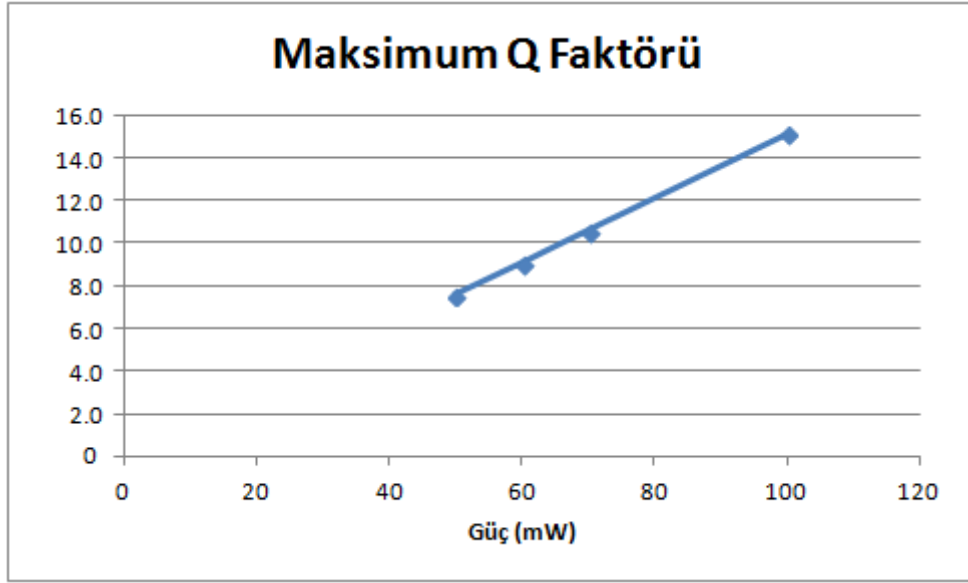
Şekil 4.8. 60 mW giriş gücünde ONU₁ abonesine ait göz diyagramı



Şekil 4.9. 70 mW giriş gücünde ONU₁ aboneline ait göz diyagramı



Şekil 4.10. 100 mW giriş gücünde ONU₁ aboneline ait göz diyagramı



Şekil 4.11. Giriş gücünün artışına bağlı olarak Q faktörü değişimi

GPON sisteminde giriş gücünün artırılması durumunda ONU_1 abonesine ait göz diyagramlarında görüldüğü gibi maksimum kalite faktörü artmaktadır. Kalite faktörünün artmasına neden olan etken giriş gücünün artırılması ile abonelere aktarılan gücün de artış göstermesidir. Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te sırasıyla GPON giriş gücü, OLT verici gücü ve ana fiber hat mesafesinin değişimine bağlı olarak ONU_1 abonesine aktarılan güçler gösterilmiştir.

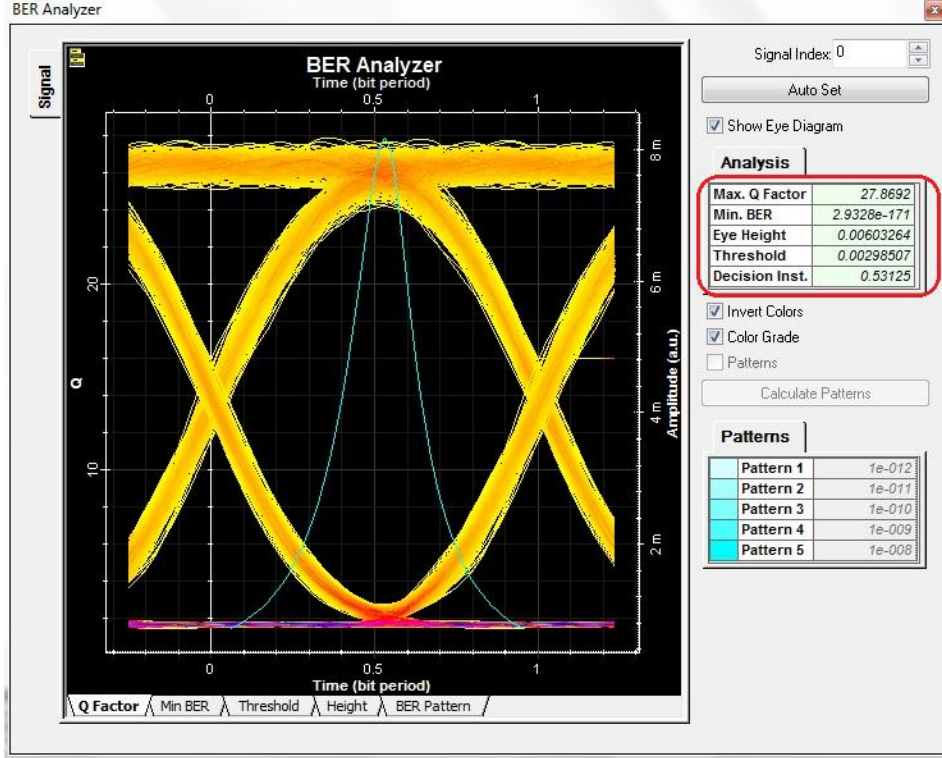


Şekil 4.12. GPON giriş gücü ve OLT birimi verici gücü



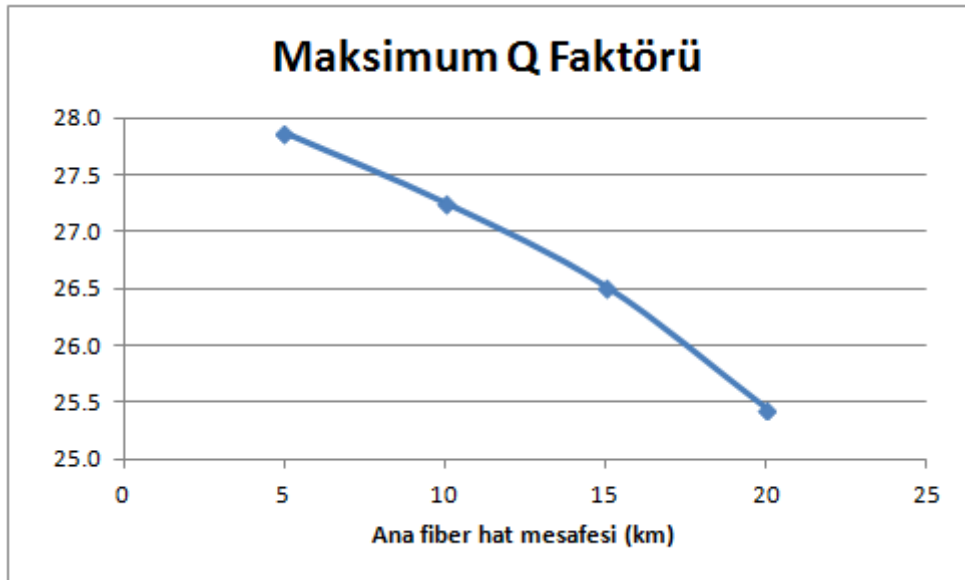
Şekil 4.13. Sırayla 5, 10, 15 ve 20 km ana fiber hat mesafesinde ONU₁ abonesine aktarılan güçler

Örnek GPON modeli için aşağı kanal simülasyon sonuçları gibi yukarı kanal boyunca sistemin çeşitli karakteristiklere göre davranışı incelenmiştir. WDM yönteminin uygulandığı yukarı kanal boyunca ana fiber hat mesafesinin 5 km alınması sonucu elde edilen göz diyagramı Şekil 4.14’te gösterilmiştir.



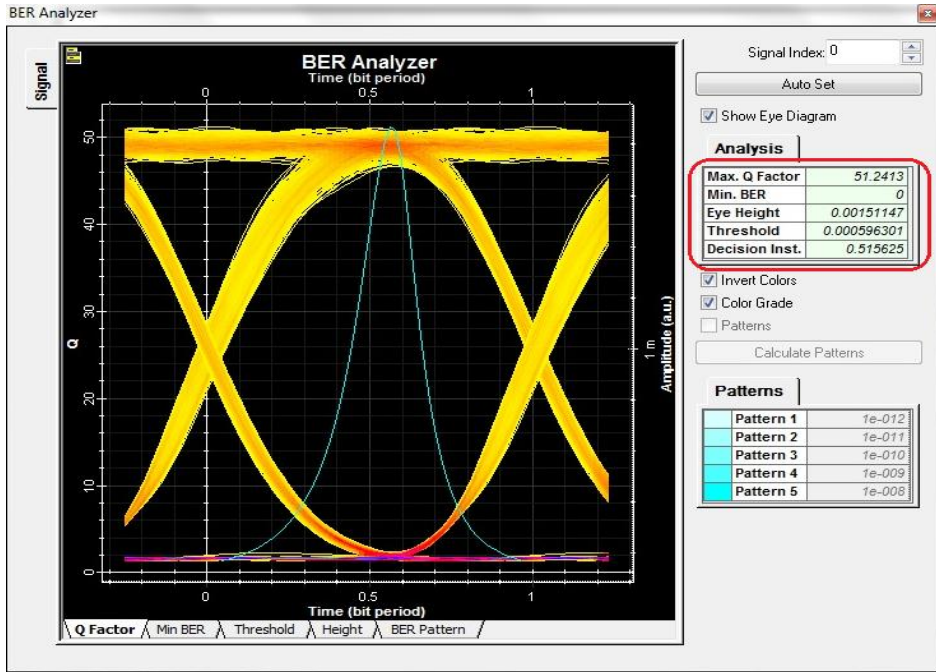
Şekil 4.14. Yukarı kanal OLT BER diyagramı

Yukarı kanal boyunca ana fiber hat mesafesinin 10, 15 ve 20 km olarak değiştirilmesi sonucu kalite faktöründeki değişim Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Yukarı kanal boyunca ana fiber hat mesafesine bağlı kalite faktörü değişimi

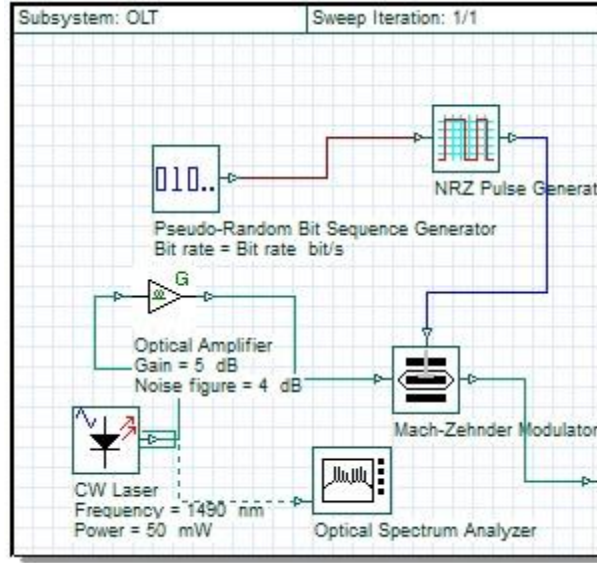
Grafikten görüldüğü gibi yukarı kanal boyunca artan fiber mesafesine bağlı olarak kalite faktörü düşüş göstermektedir. Yukarı kanal için edilen kalite faktörleri aşağı kanala göre daha yüksektir. WDM teknolojisinin kullanıldığı yukarı kanalda ana fiber hat mesafesinin değişimine bağlı olarak kalite faktörü aşağı kanala göre daha düşük oranlarda azalma göstermiştir. GPON sisteminde yukarı akış trafiği için 5 km ana fiber hat mesafesi referans alınarak abone sayısının yarıya düşürülmesi durumunda elde edilen göz diyagramı Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. 32 abonenin aktif olması durumunda yukarı kanal BER diyagramı (L=5 km)

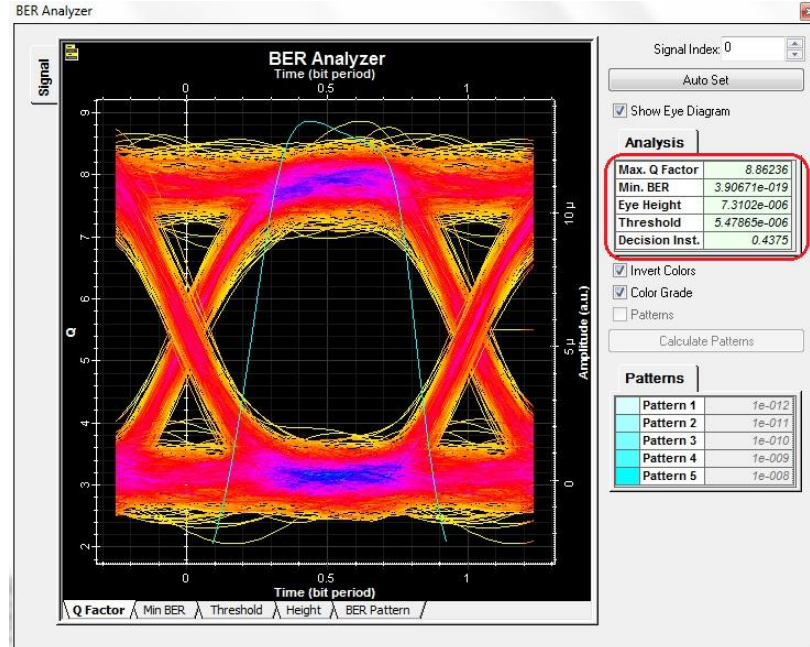
Yukarı kanal boyunca abone sayısının yarıya düşürülmesi sonucu kalite faktörü % 88 artış göstermiştir.

Son olarak GPON sisteminde kuvvetlendirici etkisini incelemek için OLT modelinde Şekil 4.17'deki gibi bir değişiklik yapılmıştır. Verici yapısının hemen ardına yerleştirilen optik kuvvetlendirici elemanın kazanç değeri 5 dB, gürültüsü ise 4 dB'dir. Bu değerlerin seçilme nedeni 1 dB'lik optik fiber kayıplarının sisteme etkisini gidermektir.



Şekil 4.17. Vericinin temel yapısına kuvvetlendirici eklenmiş durum

GPON modelinde aşağı kanal boyunca iletimde 25 km mesafede göz yapılarının tamamen bozulup kalite faktörünün sıfır olduğu görülmüştü. Aynı durumda optik yükseltcin kullanılması durumunda ONU₁ abonesine ait göz diyagramındaki değişiklik Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Kuvvetlendiricinin sistem performansına etkisi

İlk durumda kalite faktörü 0 iken kuvvetlendirici sayesinde 8.86 haline gelmiştir. Optik kuvvetlendirici kullanılmasıyla, sistemin maksimum Q faktörü değeri artmıştır. Bu da sistemin verimine olumlu yönde yansımıştır. Kuvvetlendiricinin kazancı arttırılırsa sistem verimine etkisi de giderek artacaktır.

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasının birinci bölümünde, internet kullanımının önemli hale gelmesi ve kullanım alanlarının artması ile Telekom sektöründe her geçen gün kullanıcı beklentileri ve ihtiyaçlarının giderek artış göstermesi sonucu yapılan çalışmalar belirtilmiştir.

İkinci bölümde, optik fiber kablolar hakkında bilgiler verilirken optik fiber kabloların haberleşme sektöründe avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Optik erişim ağ çeşitleri ayrıntılı olarak incelenmiş olup noktadan çok noktaya erişim ağlarının diğer ağ topolojilerine göre daha az maliyet gerektirdiği sonucuna varılmıştır. FTTx uygulamalarındaki optik dağıtım mimarileri, pasif ve aktif olmak üzere irdelenmiş ve bu mimarilerde kullanılan teknik ekipmanlar açıklanmıştır. Gelişmiş PON standartları ve yeni nesil optik erişim ağları çoklu erişim yöntemleri ele alınarak değerlendirilmiştir. Gelişmiş bir PON standardı olan GPON mimarilerinin yüksek bant genişliği gerektiren gelecekteki uygulamalar için basit yükseltilebilir bileşenlere sahip olduğu sonucu çıkartılmıştır.

Üçüncü bölümde, Telekom abonelerinden seçilen ADSL, VDSL ve GPON kullanıcıları olan üç abone hız performansı açısından incelenmiştir. Elde edilen verilere göre, GPON teknolojisi hız açısından diğer teknolojilere göre çok daha üstündür. Tam fiber altyapılı GPON sistemi, bakır şebekeye göre 4 kat daha fazla bit hızlarına sahiptir. Ancak GPON sistemlerin alt yapı harcamaları Telekom operatörlerine göre bakır şebekeye oranla neredeyse 20 kat daha fazladır.

Son olarak elde edilen teorik bilgiler ile OptiSystem 13.0 simülasyon programıyla uygulamalar gerçekleştirilip, çeşitli parametrelere göre analizler yapılmıştır. Pasif optik ağ yapısı olan GPON ile FTTH uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bit iletim hızının ve fiber mesafesinin sisteme etkileri incelenmiştir. Uygulamada fiber uzunluğunun artırılması durumunda GPON sisteminin kalite faktörünün düştüğü ve BER diyagramındaki göz örnekleri üzerinde bozulmalar meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca bit hızı artırıldığında sistemin veriminin bundan olumsuz etkilendiği görülmüştür. Aşağı kanal hızı % 20 ve % 50 azaldığında kalite faktörü sırasıyla % 2.6 ve % 8 artış göstermiştir. 5 km mesafede fiber uzunluğunun iki katına çıkması durumunda aşağı kanal boyunca kalite faktörü % 25 azalırken yukarı kanal kalite

faktörü değişimi ise % 2 azalma olarak gözlemlenmiştir. Sistemde aktif abone sayısının yarıya düşmesi durumunda aşağı kanal boyunca kalite faktörü % 310 artış gösterirken yukarı kanal boyunca % 88 artış göstermiştir. Sistemde toplam güç önce ikiye daha sonra otuz ikiye bölünerek abonelere aktarılmıştır. Fiber uzunluğu 25 km yapıldığında kalite faktörünün sıfır olduğu yani kullanıcılara verinin ulaşmadığı görülmüştür. Giriş gücünün artırılması durumunda abonelere aktarılacak güçlerin de artması nedeniyle kalite faktörü artış göstermiştir. Giriş gücünün % 20 artırılması durumunda Q faktörü de % 20 artış göstermiştir. Sistem veriminin düşük olduğu yapılarda ise kuvvetlendirici kullanılarak verim artırılmış ve kullanıcılara kaliteli bir haberleşme tahsis edilmiştir.

Bu tezde, elde edilen sonuçların önemi pratikte kullanılan bir FTTH GPON modelinde sistem performansının bağlı olduğu karakteristiklerin sayısal verilerle kanıtlanmış olmasıdır. Elde edilen sonuçlardan yararlanılarak FTTH GPON veya diğer pasif optik aę modelleri üzerinde farklı erişim teknikleri ve farklı optik fiber yapıları kullanılarak sistem performansının artırılması yönünde çalışmalar sürdürülebilir.

KAYNAKLAR

Acar, S. 2009. Yeni nesil sabit erişim şebekelerine (FTTX) geçiş sürecinde düzenleyici yaklaşımlar: Uluslar arası örnekler ve Türkiye için öneriler. *Uzmanlık Tezi*, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Ankara.

Assi, C.M., Ye, Y., Dixit, S., Ali, M.A. 2003. Dynamic bandwidth allocation for quality-of-service over Ethernet PONs. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 21 (9): 1467-1476.

Anonim, 2007. Network Infrastructure Committee, FTTH infrastructure components and deployment methods, Barcelona.

Anonim, 2008. ITU-T Recommendation G.984.1, "Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics". <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/en> (Erişim tarihi: 13.02.2014).

Anonim, 2008. ITU-T Recommendation G.984.2, "Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification". <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2/en> (Erişim tarihi: 18.02.2014).

Anonim, 2009. International Telecommunication Union, Characteristics of a single-mode optical fibre cable (G.652). <file:///C:/Users/Eda/Downloads/T-REC-G.652-200506-S!!PDF-E.pdf> (Erişim tarihi: 05.03.2014).

Anonim, 2011. Ericsson Eda 1500 GPON Solution. <http://www.inetgroup.eu/pliki/karolina/Ericsson-> (Erişim tarihi: 20.04.2014).

Anonim, 2012. Passive optical network products. <http://en.fibrain.com/catalogos/fibrainpon.pdf> (Erişim tarihi: 15.03.2014).

Anonim, 2012. ITU-T Recommendation G.984.3, "Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Transmission convergence layer specification". <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3/en> (Erişim tarihi: 13.04.2014).

Anonim, 2013. GPON - EPON comparison. <http://www.commscope.com> (Erişim Tarihi: 12.03.2014).

Bhagat, C., Raje, K., Shetye, R., Vaity, A. 2011. Technological and cost-based comparison of next generation PON technologies: 10GPON and WDM PON. University of Colorado, 2 May 2011, Boulder, USA.

Boomsma, C. 2006. Ethernet over passive optical networks. *Master Thesis*, Department of Electrical and Telecommunication Engineering, University of Twente, Netherlands.

Cale, I., Salihovic, A., Ivekovic, M. 2007. Gigabit passive optical network-GPON. Proceedings of the ITI 2007 29th Int. Conf. on Information Technology Interfaces, 25-28 June, 2007, Cavtat, Croatia.

Deniz, M. 2015. Sözlü görüşme. Türk Telekom, Bursa, (22.04.2015), mehmet.deniz@turktelekom.com.tr.

Dhaini, A. R. 2006. Design and analysis of next generation Ethernet based passive optical access networks. *Master Thesis*, Department of Electrical and Computer Engineering, Concordia University, Canada.

Erkan, H. 2008. Next-generation ring based self healing WDM-PON architecture with private networking capability and wavelength sharing. *Ph.D. Thesis*, The City University of New York, New York.

Gutierrez, L., Garfias, P., Andrade, M.D., Pastor, C.C., Sallent, S. 2010. Next generation optical access networks: from TDM to WDM. *Trends in Telecommunications Technologies*, 25: 537-560.

Güre, Ö. 2012. Pasif optik ağlar ve uygulamaları. *Y.Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Haran, O. 2008. The importance of dynamic bandwidth allocation in GPON networks. <http://pmcs.com/cgi-bin/document.pl?docnum=2072146>-(Erişim tarihi: 23.04.2014).

Hitachi, Y.N. 2006. Technologies and applications of passive optical networks (PON). ITU-T Workshop “NGN and its Transport Networks“, 20-21 April 2006, Kobe.

Işık, Y., Kahvecioğlu, A. 2003. Veri iletim yöntemleri ve optik veri iletiminin aviyonik sistemlerdeki kullanımı. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(2): 91-97.

Keiser, G. 2006. FTTX concepts and applications. http://books.google.com.tr/books?id=F9QVc-YfZk8C&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false-(Erişim Tarihi: 20.01.2014).

Koonen, T. 2006. Fiber to the home / fiber to the premises: what, where, and when?. *Proceedings of the IEEE*, 94(5): 911-934.

Kundereli, Ü.C. 2010. Çok kullanıcı sistemler- (Erişim Tarihi: 14.02.2014).

Lashkari, A.H., Zeidanloo, H.R., Sabeeh, A.A. 2011. Static bandwidth allocation on optical networks. International Conference on Machine Learning and Computing, 2011, Singapore.

Lee, C.H., Sorin, W.V., Kim, B.Y. 2006. Fiber to the home using a PON infrastructure. *Journal of Lightwave Technology*, 24(12): 4568-4583.

Navarro, M.C. 2010. Study and implementation of WDM on an EPON network. *Master Thesis*, Department of Telecommunication Engineering and Management, Technical University of Catalonia, Barcelona.

Onursal, Z. 2012. Gigabit passive optical networks (GPON) and the network analysis in the fiber to the home (FTTH) project applications in Ankara. *Master Thesis*, Çankaya University, Faculty of Electronic and Telecommunication Engineering, Ankara.

Takai, H., Yamauchi, O. 2009. Optical fiber cable and wiring techniques for fiber to the home (FTTH). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1068520009000376>-(Erişim tarihi: 20.01.2014).

Tanji, H. 2008. Optical fiber cabling technologies for flexible access network. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1068520007000727>-(Erişim tarihi: 10.03.2014)

Tillem, F. 2006. Fiber optik kablolarda zayıflama ölçümleri. *Y.Lisans Tezi*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Turna, Ö.C., Aydın, M.A., Zaim, A.H. 2009. Pasif optik erişim ağlarının gelişimi. Akademik Bilişim'09-XI. Akademik Bilişim Konferansı, 11-13 Şubat 2009, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.

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.

Wang, W., Soto, W., LY, A., Ivancovsky, D., Anderson, T., Rundquist, R. 2001. DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) overview. http://www.ieee802.org/3/efm/public/sep01/wang_1_0901.pdf-(Erişim tarihi: 13.01.2014).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Eda KAYHAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Gönen 17/08/1989

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : İzmir Anadolu Lisesi (2003-2007)

Lisans : Pamukkale Üniversitesi (2007-2011)

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi (2012-)

Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalışmakta Olduğu Kurum: SARIGÖZOĞLU Hidrolik Makine ve Kalıp Sanayi AŞ.

Lojistik Mühendisi (Ağustos 2014 - Halen)

İletişim (e-posta): edakayhaneem@gmail.com