



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FTTx VE İSTANBUL'DAKİ EVE KADAR
FİBER(FTTH) PROJE UYGULAMALARININ
NETWORK ANALİZİ

Yüksek Lisans Tezi

FURKAN OCAK

Ocak 2023



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK ANABİLİM DALI

FTTx VE İSTANBUL'DAKİ EVE KADAR
FİBER(FTTH) PROJE UYGULAMALARININ
NETWORK ANALİZİ

Yüksek Lisans Tezi

Furkan OCAK

Danışman

DOÇ. DR. ERDOĞAN AYDIN

Ocak 2023

ONAY

Furkan Ocak tarafından hazırlanan "FTTx ve İstanbul'daki Eve Kadar Fiber/FTTH) Proje Uygulamalarının Network Analizi" başlıklı bu Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Anabilim Dalı'nda hazırlanmış ve jürimiz tarafından kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Erdoğan AYDIN

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Üyeler:

Doç. Dr. Eylem ERDOĞAN

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Ali KARABULUT

Kurumu: Kafkas Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 23/ 01 / 2023

BEYANLAR

Yazım ve Kaynak Gösterme Kılavuzu Beyanı

Danışmanlığımda yazılan bu tezin APA yazım ve kaynak gösterme kılavuzunda belirtilen kurallara uygun olarak yapılandırıldığı ve bu kılavuzun APA kaynak gösterme standartlarının bu tezde tutarlı olarak uygulandığı tarafımdan incelenerek teyit edilmiştir.

Doç. Dr. Erdoğan AYDIN

Etik İlkeler Sadakat Beyanı

Hazırladığım bu tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

Furkan OCAK

ÖZET

FTTx ve İstanbul'daki Eve Kadar Fiber/FTTH) Proje Uygulamalarının Network Analizi

Ocak, Furkan

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik-
Elektronik Mühendisliği Programı

Danışman: Doç. Dr. Erdoğan AYDIN

Ocak, 2022. 66 Sayfa.

Bilgileri kısa sürede güvenli olarak uzak mesafelere iletmeleri hasebiyle tercih edilen fiber optik erişim şebekesi mimarisinin popülerliği gittikçe artmaktadır. Ülkemizde fiber altyapının yaygınlaştırılması ve gelişimi bakımından çalışmalar özenle sürdürülmektedir. Temel ihtiyaçlardan biri haline gelen fiber teknolojiler kullanıcıların esneklik, güvenlik, yüksek bant genişliği, hız ve daha geniş kapsama özellikleri sunmaktadır. Dünyada veri iletimi için yaygın olarak tercih edilen ve bakır teknolojisinin yerini alan fiber altyapının gün geçtikçe kullanımı artmaktadır. Dolayısıyla sunmuş olduğum tez çalışmasında çeşitli parametreler kullanarak yapılan karşılaştırmada bu durumun önemi de vurgulanmıştır.

Sunulan tezde GPON'un genel performansı, FTTC şebekesinin genel performansı, aralarındaki network analizi ve maliyet analizi detaylı olarak yapılmıştır. Analiz yapılırken Ümraniye İlçesi Tantavi Mah. Fevzi Çakmak Cad. No:63 adresinde bulunan bir site FTTC ve FTTH olarak şebekelendirilmiştir. FTTC ve FTTH mimarideki santral ve son kullanıcıya kadar tüm parametreler incelenerek analiz edilmiştir. Tezde sunulan parametreler analiz edilirken matematiksel modelleme yapılmış sonrasında sahada birebir fiziksel olarak ölçümler yapılmıştır. Matematiksel hesaplama ve fiziksel ölçümlerin %100'e yakın örtüştüğü tespit edilmiştir.

Ağların sağlayabileceği bit hızları çeşitli ölçümleme metotlarıyla ölçülmüştür. Ölçümde aynı binada bulunan FTTC şebekeden çalışan 8842320109 hizmet numaralı VDSL abonesi ile 1794717419 hizmet numaralı GPON abonesi karşılaştırılmıştır. FTTC şebekeden beslenen kullanıcının hız kapasitesi 41212 Kbps iken FTTH şebekeden beslenen kullanıcının hız kapasitesi 1GB'dır. 1 Gbps kapasiteyi servis sağlayıcı sınırlandırmaktadır. İki şebekedeki hız parametresi karşılaştırması sonucunda FTTH, FTTC'ye göre 24 kat daha hızlıdır.

Aynı adresteki FTTC şebeke ve FTTH şebeke yatırım maliyeti(CAPEX) olarak da karşılaştırılmıştır. Kıyaslamayı standartlaştırmak amacıyla işçilik kalemleri her iki mimaride de Türk Telekomünikasyon A.Ş. 2022 global ihale yönetim maliyet kalemlerinden alınmıştır. Aynı sitenin FTTH şebekesi için 120K, FTTC şebekesi için 239K olarak bulunmuştur. FTTC mimarisinin yatırım maliyeti(CAPEX) FTTH'e oranla 2 katındadır.

Anahtar Kelimeler: FTTC, FTTH, FTTx, PON, GPON

ABSTRACT

Network Analysis of FTTx and Fiber to the Home/FTTH) Project Applications in Istanbul

Ocak, Furkan

Master Thesis, Electrical and Electronics Engineering Department, Electrical and
Electronics Engineering Program

Supervisor: Assoc. Prof. Erdoğan Aydın

January, 2023. 66 Pages.

The popularity of fiber optic access network architecture is increasing due to the fact that they transmit information securely over long distances in a short time. Efforts are being made to expand and develop the fiber infrastructure in our country. Fiber technologies, which have become one of the basic needs, offer users flexibility, security, high bandwidth, speed and wider coverage features. The use of fiber infrastructure, which is widely preferred for data transmission in the world and replaces copper technology, is increasing day by day. Therefore, in the comparison made using various parameters in the thesis I have presented, the importance of this situation has also been emphasized.

In the thesis, the overall performance of the GPON, the overall performance of the FTTC network, the network analysis and the cost analysis among them are made in detail. During the analysis, a site located at Tantavi Neighborhood Fevzi Çakmak Street No:63 was manufactured as FTTC and FTTH. All parameters from the plant to the end user were analyzed and analyzed for FTTC and FTTH. While analyzing the parameters presented in the thesis, mathematical modeling was made and then physical measurements were made in the field. It was determined that the mathematical calculations and physical measurements overlapped to an average of 100%.

The bit rates that networks can provide have been measured by various measurement methods. In the measurement, VDSL subscriber with service number 8842320109 and GPON subscriber with service number 1794717419 working from the FTTC network in the same building were compared. While the speed capacity of the user fed from the FTTC network is 41212 Kbps, the speed capacity of the user fed from the FTTH network is 1GB. 1 Gbps capacity is limited by the service provider. As a result of the speed parameter comparison in the two networks, FTTH is 24 times faster than FTTC.

FTTC and FTTH investment cost (CAPEX) at the same address were compared. In order to standardize the comparison, labor items were taken from Turkish Telecom 2022 global tender management cost items in both architectures. It was found to be 120K for the FTTH network of the same site and 239K for the FTTC network. The investment cost (CAPEX) of FTTC architecture is 2 times compared to FTTH.

Keywords: FTTC, FTTH, FTTx, PON, GPON,

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında FTTx ve İstanbul'daki eve kadar fiber proje uygulamalarının network analizi yapılarak incelenmiştir.

Çalışmanın gerçekleştirilmesi sürecinde değerli bilgilerini benimle paylaşan, saygıdeğer hocalarım; Doç. Dr. Erdoğan AYDIN'a ve çalışmamda yardımını esirgemeyen Türk Telekom A.Ş.'de görev yapan Elektronik Mühendisi Seyfullah Erduran'a teşekkürü borç bilirim.

Her zaman yanımda olan maddi ve manevi varlıklarını benden hiç eksik etmeyen bugünlere gelmemi sağlayan, hayat boyu haklarını ödeyemeyeceğim canım annem Hacere OCAK, babam merhum Osman OCAK'a sonsuz şükranlarımı sunarım. Son olarak, sevgisi, anlayışı, sonsuz desteği ve sabrı için Melike BULUT OCAK'a ve ailemizin yeni üyesi Ömer OCAK'a olan teşekkürlerimi ifade etmek isterim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	VI
ASBTRACT.....	VII
TEŞEKKÜR.....	IX
İÇİNDEKİLER.....	X
TABLO	
LİSTESİ.....	XIII
ŞEKİL	
LİSTESİ.....	XIV
1.GİRİŞ.....	1
2. EVE KADAR FİBER (FTTH).....	4
2.1. Pasif Optik Ağlar(PON).....	10
2.2. PON Çözümleri.....	11
2. 3. Gigabit Pasif Optij Ağlar (GPON).....	14
2.3.1. GPON'un Avantajları ve Dezavantajları.....	15
2.3.2. GPON'un Bileşenleri.....	16
2.3.2.1. GPON'un Bileşenleri (OLT).....	17
2.4. Optik Ağ Sonlandırma (ONT).....	19
2.5. Optik Bölücü (OS).....	20
2.5.1. Fused Biconical Taper (FBT).....	21
2.5.2. Düzlemsel Işık Dalgası Devresi / Planar Lightwave.....	22
2.6. Bağlantı Kutusu-Splitter Fiber Optik Terminal.....	23

2.7. Fiber Ek Tepsisi.....	24
2.8. Optik Konnektörler.....	25
2.8.1. SC Konnektör.....	26
2.8.2. FC Konnektör.....	27
2.8.3. FC Konnektör.....	27
2.9. GPON Kavramları.....	28
2.10. Kademelendirme.....	29
2.11. Kademelendirme.....	29
2.11.1. Statik Bant Genişliği Tahsisi (SBA).....	30
2.11.2. Dinamik Bant Genişliği Tahsisi (DBA).....	31
2.12. Güvenlik.....	32
2.13. Şifreleme.....	32
3. GPON FTTx AĞLARININ KARŞILAŞTIRMASI.....	34
3.1. FTTC Şebekesi.....	34
3.2. GPON Şebekesi.....	35
3.3. FTTX Ölçümü.....	43
3.4. GPON'nun Ölçümü.....	50
3.5. FTTx ve GPON Ağın Maliyet Karşılaştırılması.....	59
4. SONUÇ.....	62
5. KAYNAKÇA.....	64
EKLER.....	64
Ek-1 Özgeçmiş.....	66

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1: Kullanıcıların Bant Genişliği Gereksinimleri	5
Tablo 2.2: GPON İletim Bit Hızları.....	15
Tablo 2.3: Optik Bölücülerin Bölme Kayıpları.....	22
Tablo 3.1: Fiber zayıflama.....	51
Tablo 3.2: FTTH Şebeke Maliyet Tablosu.....	60
Tablo 3.3: FTTC Şebeke Maliyet Tablosu.....	61

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Sabit Genişbant Abonelerin Teknoloji Bazlı Dağılımı (%).....	2
Şekil 1.2: İnternet Kullanım Miktarları (TByte).....	2
Şekil 2.1: Optik Erişim Ağı Mimarisi.....	5
Şekil 2.2: Noktadan Çoklu Noktaya (P2MP) FTTC Senaryosu.....	6
Şekil 2.3 Noktadan Çoklu Noktaya (P2MP) PON Şebekesi.....	7
Şekil 2.4: P2MP ve P2P'nin Maliyet-Mesafe İlişkisi	9
Şekil 2.5. PON Standart Gelişim.....	11
Şekil 2.6. Bir GPON Ağının Şematik Diyagramı.....	13
Şekil 2.7: Tipik GPON Mimarisi	14
Şekil 2.8: OLT Prensibi.....	17
Şekil 2.9: G.984.2 GPON Dalga Boyu Tahsis Planı.....	18
Şekil 2.10: Kullanılan ONT Çeşitleri.....	19
Şekil 2.11: NxN Yıldız Kuplör.....	20
Şekil 2.12: FBT Splitter.....	20
Şekil 2.13: PLC Splitter.....	22
Şekil 2.14: Splitter Fiber Optik Terminal Kutusu.....	24
Şekil 2.15: Ek Tepsisi Örneği.....	25
Şekil 2.16: SC Konnektör.....	26
Şekil 2.17: FC Konnektör.....	27
Şekil 2.18: LC Konnektör.....	27
Şekil 2.19: GPON'da Aşağı Akış Trafikliği.....	28
Şekil 2.20: GPON'da Yukarı Akış Trafikliği.....	28
Şekil 2.21 Statik Bant Genişliği Tahsisi.....	30
Şekil 2.22: Dinamik Bant Genişliği Tahsisi.....	31
Şekil 3.1: FTTC Şebekesi.....	33
Şekil 3.2: FTTH Şebekesi.....	34
Şekil 3.3: Santral'de OLT ile ODÇ Arası Geçiş.....	36
Şekil 3.4: Santral ile Saha Dolabı Arası Fiber Şematiki.....	37
Şekil 3.5: Saha Dolabı ile Bina Arası Fiber Şematiki.....	37
Şekil 3.6: Saha Dolabı Önündeki Ek Kaseti.....	38

Şekil 3.7: Dahili kutu ve 1x16 Splitter.....	39
Şekil 3.8: Bina Tarafı CBS Planlama Görüntüsü.....	40
Şekil 3.9: Bina-Saha Dolabı ve Santral Arası CBS Görüntüsü.....	41
Şekil 3.10: Bina-Saha Dolabı ve Santral Arası CBS Görüntüsünü-2.....	42
Şekil 3.11: Telefon Devresi.....	43
Şekil 3.12: FTTC Bağlantı Mimarisi.....	45
Şekil 3.13: Bakır Kablo Ölçümü.....	46
Şekil 3.14: DSLAM Üzerinden Kapasite Ölçümü.....	48
Şekil 2.15: DSLAM Üzerinden Kapasite Ölçümü.....	48
Şekil 3.16: Dahili Kutu Üzerinden Mesafe Ölçümü.....	49
Şekil 3.17: FTTH şebekesi dBm Kaybı.....	52
Şekil 3.18: Saha Dolabı Girişi dBm Ölçümü.....	53
Şekil 3.19: Saha Dolabı Çıkışı dBm Ölçümü.....	55
Şekil 3.20: Saha Dolabı Girişi OTDR Ölçümü.....	54
Şekil 3.21: Saha Dolabı Girişi OTDR Raporu.....	54
Şekil 3.22: Bina1x16 Splitter Çıkışı Pon Power Metre dBm Ölçümü.....	55
Şekil 3.23: Bina1x16 Splitter Çıkışı OTDR Ölçümü.....	56
Şekil 3.24: Bina1x16 Splitter Çıkışı OTDR Raporu.....	55
Şekil 3.25: Uc Cihazdan dBm Ölçümü.....	57
Şekil 3.26: FTTH Mimarisi OptiSystem Modellemesi.....	58
Şekil 3.27: OptiSystem Modellemesi SD 1x8 Splitter Giriş-Çıkış dBm Ölçümü....	58
Şekil 3.28: OptiSystem Modellemesi Binadaki 1x6 Splitter Çıkışı dBm Ölçümü....	59

KISALTMALAR

ADSL	Asimetrik Sayısal Abone Hattı
AE	Aktif Ethernet
AES	Gelişmiş Şifreleme Standardı
AON	Active Optical Network (Aktif Optik Ağ)
ATM	Asenkron İletim Modu
BER	Bit Hata Oranı
CAPEX	Yatırım Altyapı Harcamaları
CAT5	Kategori 5 UTP Bakır Kablo
CDMA	Kod Bölmeli Çoklu Erişim
DBA	Dinamik Bant Genişliği Ataması
DSL	Sayısal Abone Hattı
DSLAM	Sayısal Abone Hattı Erişim Çoklayıcı
EMC	Elektromanyetik Uyumluluk
EMI	Elektromanyetik Girişim
EPON	Ethernet PON
FBA	Sabit Bant Genişliği Ataması
FBT	Fused Biconical Taper
FDMA	Frekans Bölmeli Çoklu Erişim Yöntemi
FTTB	Binaya Kadar Fiber
FTTC	Caddeye Kadar Fiber
FTTH	Eve Kadar Fiber
FTTx	X'e Kadar Fiber
HAES	Harici Aktif Erişim Sistemi
GPON	Gigabit Pasif Optik Ağ
HGW	Ev Ağ Geçidi
IEEE	Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
ITU	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği
ITU-T	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Standartlaştırma Birimi
Mbps	Megabit Per Second

MPLS	Çok Protokollü Etiket Anahtarlama
MSAN	Çoklu Hizmet Erişim Düğümü
OLT	Optik Hat Sonlandırıcı
ON	Optik Ağ
ONT	Şebeke Terminali
ONU	Optik Ağ Birimi
OPEX	İşletme Maliyeti
OTDR	Optik Zaman Etki Alanı Reflektometresi
P2MP	Noktadan Çoklu Noktaya
P2P	Noktadan Noktaya
PLC	Düzlemsel Işık Dalgası Devresi
PON	Pasif Optik Ağ
Qos	Servis Kalitesi
RF	Radyo Frekansı
R/L	Radyolink
SBA	Statik Bant Genişliği Ataması
SNR	İşaret Gürültü Seviyesi
TDM	Zaman Bölmeli Çoğullama
TDMA	Zaman Bölmeli Çoklu Erişim
VDSL	Çok Yüksek Hızlı Sayısal Abone Hattı
VoD	İsteğe Bağlı Video
VoIP	IP Üzerinden Ses İletimi
xDSL	x Dijital Abone Hattı

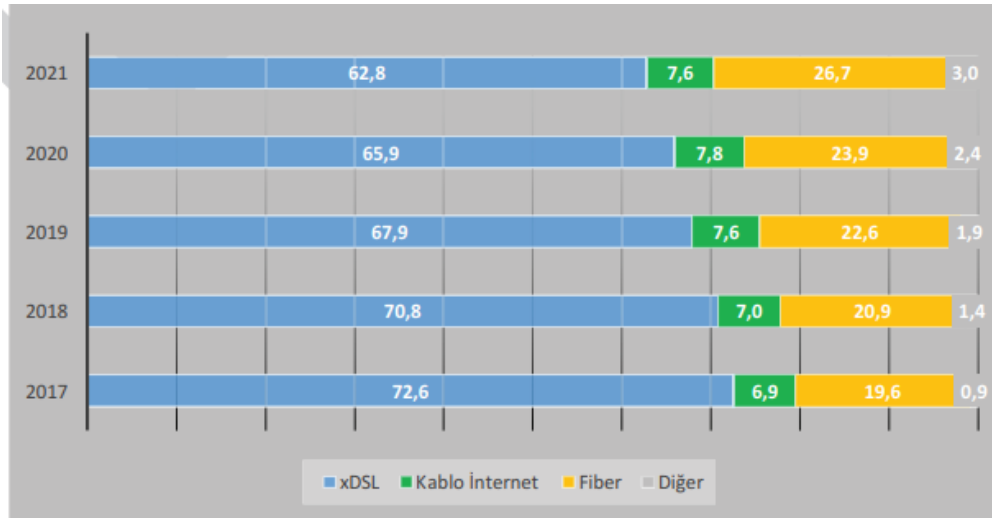
1.GİRİŞ

Haberleşme sektöründe, gün geçtikçe operatörlerden hizmet alan bireylerin beklentileri yükselmektedir. Bu artışın bir sonucu olarak, telekom operatörleri yatırım politikalarını gözden geçirmek ve sermaye harcamalarını (CAPEX) artırmak zorundadır. Telekom operatörleri şebeke planlamalarını yaparken amaçları hizmet götürecekleri noktalara en optimum ve ekonomik şekilde yatırım yapmaktır. Şebeke planlamaları içinde ana iki unsur vardır: Fiber ve bakır. Bu iki ana unsur gelişen süreçlerde erişim mimarilerinin gelişip değişmesine neden olmuştur. Belirtilen mimariler arasında en popüler olanı fiber tabanlı erişim ağlarıdır. Fiber tabanlı erişim ağı içirişinde de en güncel ve beklentilere cevap verebilen mimari, Eve Fiber (FTTH) olarak adlandırılır. Günümüzde ve yakın gelecekte, fiber optik tabanlı erişim teknolojileri kullanıcıların bant genişliği gereksinimlerini destekleyebilir ve istenilen hız taleplerine cevap verilebilir.

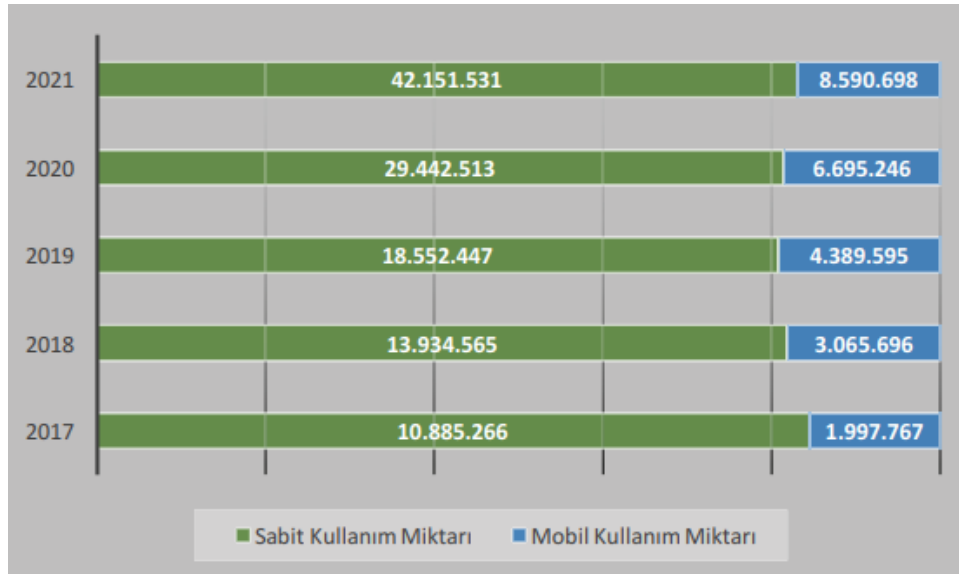
FTTH mimarisi ile kullanıcılara Yüksek Hızlı İnternet (HSI), IP Üzerinden Ses, Video veya Mesaj (VoIP), Talep Üzerine Video (VOD), İnternet Protokolü Üzerinden Görüntü ve Ses Aktarımı(IPTV) vb. Katma Değerli Hizmetleri (VAS) sunmak mümkündür.

Şekil 1.1’de BTK verilerine göre ülkemizde toplam sabit geniş bant aboneliklerinde fiber internetin oranı 2017 yılına göre %36,2 artarken xDSL aboneliklerinin oranı ise %13,5 azalmıştır (BTK 2020). Yine Şekil 1.2’de BTK verilerine göre Sabit geniş bant abonelerin kullandığı veri miktarı 4 yılda yaklaşık 4 katına çıkmıştır.

Telekom operatörleri şebeke planlamalarını yaparken en çok tercih etmiş oldukları teknoloji ve mimariler, Gigabit Pasif Optik Ağlar (GPON), Ethernet Pasif Optik Ağ (EPON) ve Aktif Ethernet (AE)’dir.



Şekil 1.1: Sabit Genişbant Abonelerin Teknoloji Bazlı Dağılımı (%) (BTK 2020)



Şekil 1.2: İnternet Kullanım Miktarları (TByte) (BTK 2020)

FTTH altyapısı 2000'li yılların ilk on yılında Türkiye'de başlamıştır. 2008 yılında yerleşik sabit hat işletmecisi Türk Telekom, GPON ve Aktif Ethernet mimarilerini kullanarak FTTH projeleri üzerinde çalışmaya başladı. 2011 yılının başında İstanbul'da ilk GPON müşterileri internete bağlanmaya başlanmıştır. Aynı zamanda İzmir, Diyarbakır ve Ankara'da İstanbul'daki projeleri takiben GPON projeler geliştirilmiştir.

Bu tezde, bir GPON ve FTTC (caddeye kadar fiber) hızı performansları ölçülmüş ve network analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca GPON performansı için bit hızı hesaplamaları da yapılmıştır. Ayrıca maliyet verileri de hesaplanarak belirtilen ağlar için sermaye harcamaları (CAPEX'ler) de analiz edilmiştir.

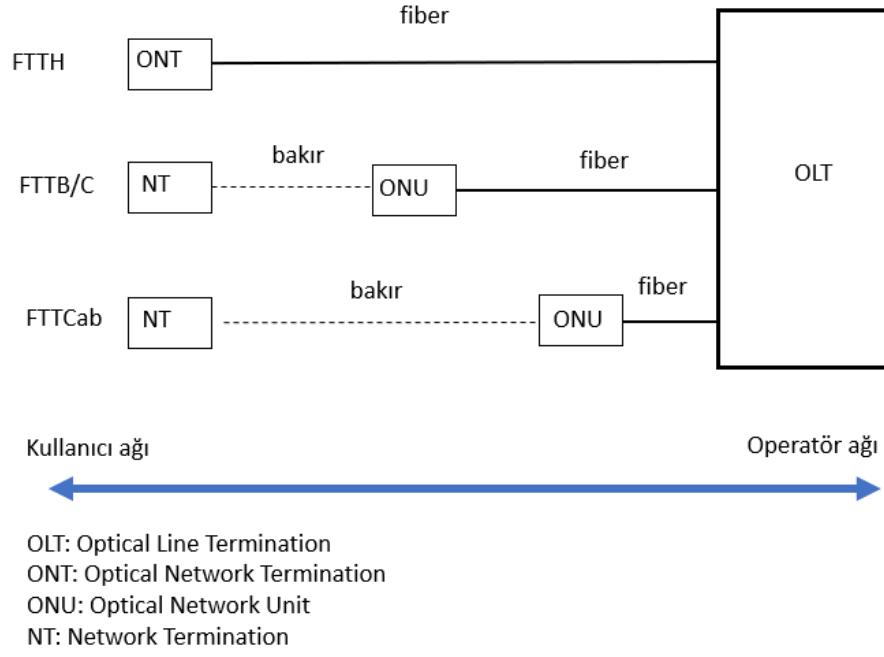
2.EVE KADAR FİBER (FTTH)

Eve Fiber (FTTH), fiber internet hattının binaya kadar ulaştığı bir ağ altyapısı topolojisidir. FTTH, geleneksel bir bakır altyapıdaki telefon kabloları ile sinyalin binalara ulaştırılması yerine operatörden bir eve veya işyerine optik fiber üzerinden bir iletişim sinyalinin iletilmesidir. FTTH, geleneksel ağlara göre daha sağlam video, internet ve ses hizmetleri ile birlikte abonelere çok yüksek bant genişliği sağlamakta olup diğer topolojilere göre de yeni ve hızla büyüyen bir yöntemdir.

FTTH hizmetinde bir kullanıcının bant genişliği gereksinimi bakır tabanlı xDSL hizmetlerinin sağlayabileceğinden çok daha yüksektir. Eve kadar fiber topolojisi bakır ağlara göre geniş bantlı, daha kaliteli, hızlı ve güvenilir iletişim ortamı sunmaktadır.

SHUMATE, P. W. tarafından 2008'de yayınlanan makaleye göre, FTTH ilk olarak 1977'de Japonya'da isteğe bağlı video (VOD) tabanlı hizmetler için denenmiştir. 1980 yılından itibaren denemeler artmış ve Avrupa'da FTTH giderek yaygınlaşmıştır (Sandwine 2018).

Bir erişim ağının mimarisi noktadan noktaya (P2P) veya noktadan çok noktaya (P2MP) olabildiği gibi sistemin optik kısmı aktif veya pasif unsurlar içerebilmektedir. Şekil 2.1'de Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Telekomünikasyon Standardizasyon Sektörü (ITU-T) önerisi G.984.1'e göre erişim ağı mimarilerinden Eve kadar Fiber (FTTH), Binaya Kadar Fiber (FTTB) ve Caddeye Kadar Fiber(FTTC) farklılıklarını göstermektedir (Shumate 2008).



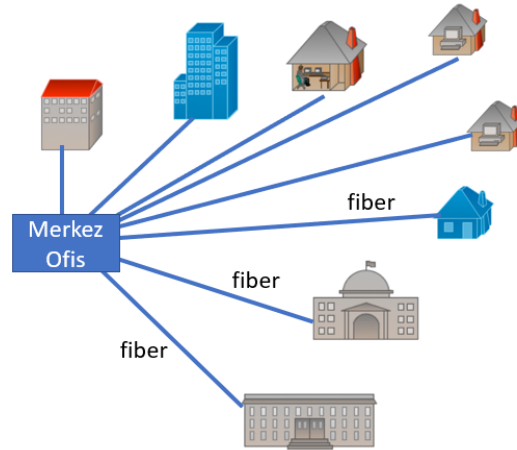
Şekil 2.1: Optik Erişim Ağı Mimarisi

Tablo 2.1: Kullanıcıların Bant Genişliği Gereksinimleri

Hizmet Türü	İndirme Trafiği (%)	Yükleme Trafiği (%)
Video akışı	57,69	22,43
İnternet sitesi	12,01	20,98
Oyun	7,78	2,68
Sosyal ağ	5,1	3,73
Pazar yeri	4,61	1,9
Dosya Paylaşımı	2,84	22,05
Mesajlaşma	1,72	8,12
Saklama alanı	1,41	9,37
Ses akışı	1,05	0,46

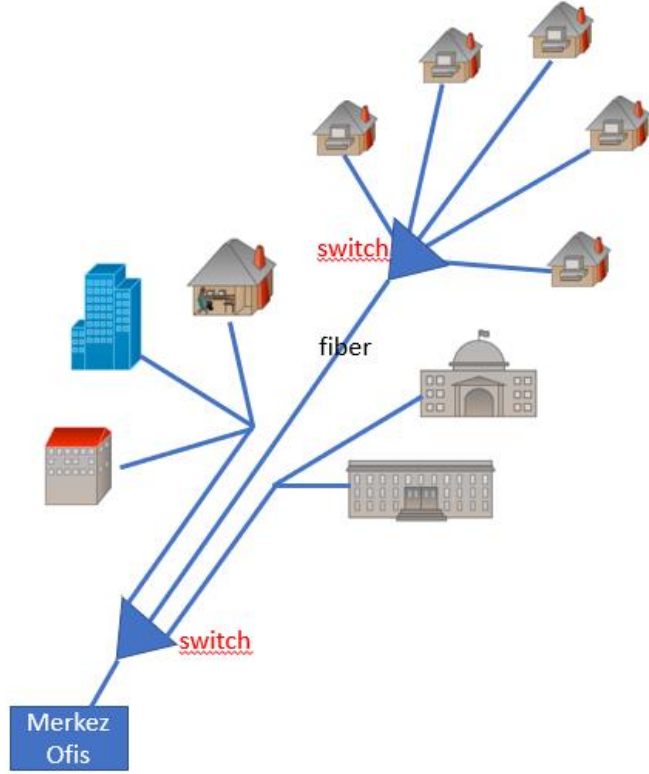
Fiber optik ağlar, yüksek performans ihtiyaçlarını kolayca karşılayabilir ve keskin değişiklikler olmadan aynı optik mimariye dayalı gelecekteki uygulamalara geçme olasılığına sahiptir.

Ağ mimarileri, ağadaki aygıtların birbirleri ile iletişim yöntemlerini belirleyen dizaynlardır. Erişim ağı, direk olarak uç taraftaki abonelere sunulan iletişim ağının bir kısmıdır. Pasif ve aktif altyapının birlikte çalışmasını belirtmek için kullanılan topolojiler veri taşımak için kullanılan teknolojilerdir. En yaygın kullanılan iki topoloji P2P ve P2MP'dir. Fiber optik kabloyu erişim ağına kullanmanın en kolay yolu her bir aboneye Merkez Ofisten (CO) veya santral diye adlandırılan birimlerden fiber optik kablo tahsis edilmiş P2P topolojisini kullanmaktır. Fiber optik kablo imalatında yatırım maliyet (CAPEX) kalemi önemli bir unsurdur. Dolayısıyla belirtilen P2P topolojisi ağ mimarisinde en basit santralden binalara direk olarak fiber gönderildiğinden yatırım maliyeti aynı planlamaya göre P2MP'den yüksektir. şekil 2.2'te örnek bir senaryo verilmiştir. şekil 2.2'de görüldüğü gibi, merkez ofisten veya santralden belli bir mesafeye kadar fiber kablo gidip binalarda sonlanmaktadır.



şekil 2.2: Noktadan Çoklu Noktaya (P2MP) FTTC Senaryosu

P2P FTTH topolojisinin yüksek yatırım maliyetinin nedeni, abone başına çok uzun ve çok fazla fiber optik kablo kullanılmasıdır. Her binaya özel yekpare fiber kullanılmaktadır. Toplamda kablo uzunluğunu azaltmak için binaların toplandığı bölgenin yakınına bir switch yerleştirilebilir. Eğer belirtilen şekilde topoloji kurulursa buna P2MP denir. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi, merkez ofisten (CO) veya santralden belli bir mesafeye kadar bir fiber kablo çıkar ve sahada split edildikten sonra belirlenen yerden binalara dağıtım yapılır.

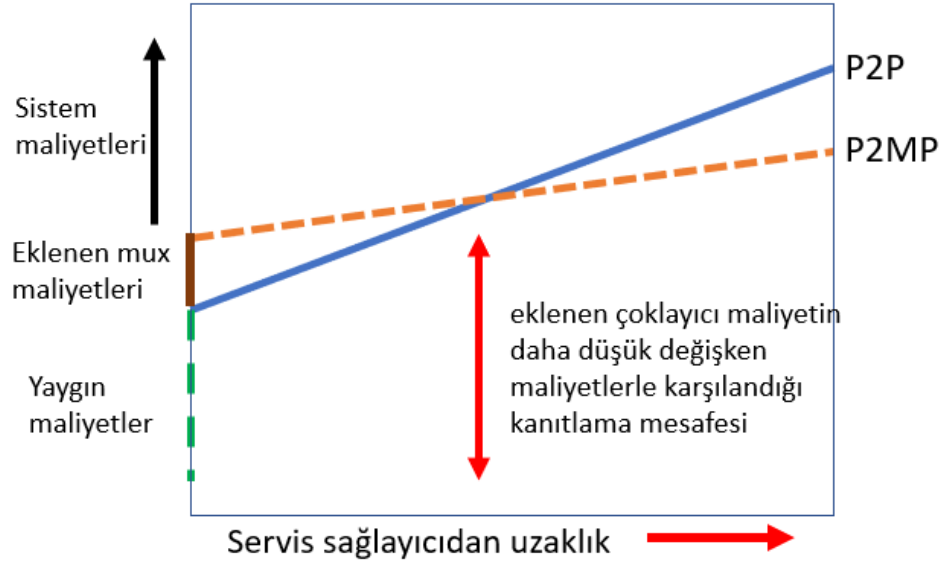


Şekil 2.3 Noktadan Çoklu Noktaya (P2MP) PON Şebekesi

P2MP şebeke planlarından biri olan caddeye kadar fiber (FTTC) veya binaya kadar fiber(FTTB) topolojisinde caddeye veya binaya kurulan harici aktif erişim sistemleri(HAES)için enerji gereklidir. Aktif bileşenlerdeki enerji, işletme giderlerini (OPEX) artırır; sürekli çalışma için yedek güç ünitelerine ihtiyaç duyar. Ayrıca enerji kesintilerinde bu sistemlerde yedek güç üniteleri sistemin belli bir sürede çalışması için ayakta tutar. Belirtilen bu özellik de harici aktif erişim cihazları için dezavantaj oluşturur

P2MP FTTC topolojisindeki OPEX kalemlerinden diğer bir unsuru da cihazlarda bulunan MSAN ve DSLAM kartlarıdır. Kartların çalışma verimi sürdürülebilir kılınması için belli bir sıcaklıkta tutulmalıdır. Eğer MSAN ve DSLAM kartları eşik soğuma derecelerinde bulunmaz ise abone tarafından belirtilen kartlar kaynaklı sinyal kaybı ve modem tarafında kopmalar olacaktır. Dolayısıyla işletim maliyetleri(OPEX) azaltmak için pasif sistem olan P2MP PON teknolojisi uygulanmalıdır.

Erişim şebeke ağını planlarken dikkat edilmesi gereken en önemli konular maliyet ve sistemin uzun vadede işletilebilirliktir. Şekil 2.4’de, iki alternatif mimarinin avantaj ve dezavantajları ile sunulmuştur. Maliyet hesaplamasında, en belirletiş iki unsur mimarinin planlandığı santral veya merkez ofis tarafındaki network cihazları ile merkez ofis veya santral ile abone arasındaki uzaklıktır. Şekil 2.4’de, Gelişmiş Erişim Ağı’nın Yakınsama Mücadelesi Konferansında Khan tarafından sunulan P2P ve P2MP sistemleri arasındaki maliyet farkı belirtilmiştir. Ayrıca Shumate, PW tarafından 2008 yılında yayınlanan makaleye göre sahada kullanılan ekstra donanım nedeniyle P2MP sisteminin başlangıç maliyeti P2P’den daha yüksektir ve bu da servis sağlayıcıdan uzaklaştıkça giderek azalmaktadır. Her iki maliyetinin de eşit olacağı başa baş noktası vardır. Başa baş noktasından servis sağlayıcıya uzanan noktaya doğru P2MP P2P’den daha ucuz olmaktadır ve iki mimari arasındaki maliyet farkı uzaklık arttıkça doğrusal olarak artar (Sandvine 2018).



Şekil 2.4: P2MP ve P2P'nin Maliyet-Mesafe İlişkisi (Sandvine 2018)

2.1 Pasif Optik Ağlar (PON)

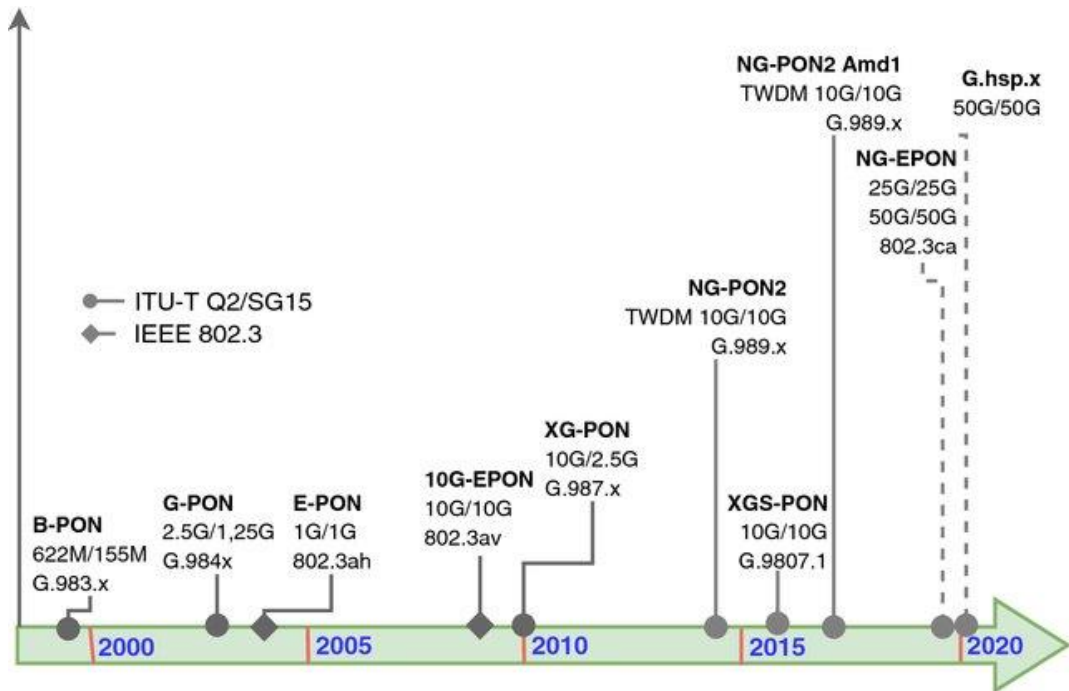
PON, dağıtım ağlarında elektronik sinyal kullanmadan dağıtılan pasif bir ağ olarak adlandırılır. Pasif bir optik ağ (PON), telekomünikasyon servis sağlayıcıları tarafından yaygın olarak kullanılan ve fiber optik kablolarla erişim ağının tamamını veya büyük bölümünü son kullanıcıya fiber üzerinden ulaştıran bir sistemdir. Pasif optik bileşenler, merkez ofis veya santralden aboneye fiber optik kablo aracılığıyla farklı ışık dalga boylarını (yukarı akış için 1310 nm., aşağı akış için 1490 nm. ve radyo frekansı için 1550 nm.) yönlendirmek için aktif bileşenler yerine erişim ağına yerleştirilir. PON donanımı, santral veya POP merkezlerinde bir optik hat terminalinden meydana gelir. Fiber kablo pasif optik ayırıcıya gider ve sonlanır. Santralde bulunan OLT'den çıkan fiber uç noktada sonlandığı noktada maksimum 64 aboneyi birbirine bağlar. Pasif optik bileşenlerin çalışması için elektrik veya başka herhangi bir sinyal yönlendirme / yeniden oluşturma işlemi gerekmez. Aktif bileşen olmaması şirketler için CAPEX harcamalarını düşürmektedir. Erişim şebekesindeki yatırımın pasif bileşenlere yapılıyor olması ileriki zamanlarda kullanıcı tarafındaki yükseltme (hız, bant genişliği vb.) daha basit iş gücü ve daha ekonomik olmaktadır. Özellikle tam bakır veya FTTC şebekesinden FTTH şebekesine dönüşecek binalarda bu durumla sıklıkla karşılaşılmaktadır. Ayrıca sahadaki splitter diye ifade edilen ayırıcılar ile POP arasında azaltılmış fiber kullanımı, uç kullanıcı ve OLT arasında aktif ekipman kullanılmaması OPEX maliyetlerini düşürecek yüksek bant genişliği fırsatı sunmaktadır.

Ağın son bölücü ile son kullanıcı arasındaki kısmının, noktadan noktaya veya PON çözümü için aynı olduğuna dikkat edilmelidir. Bina veya müşteri tarafındaki sonlandırma kutusundaki eke kadarki fiber lif esneklik noktası (FFP) veya lif konsantrasyon noktası (FCP) olarak adlandırılır. Pasif optik ağın avantajlarından biri de lif esneklik noktası ve POP arasındaki fiber sayısı düşürülebiliyor olmasıdır. Bu özellikle, dark fiber ve/veya kanal alanı gibi bazı (sınırlı) kaynakların halihazırda mevcut olduğu ve bu da önemli ölçüde maliyet ve devreye alma süresi tasarrufu sağlayabilecek olan eski bakır şebekenin dönüşümü diye adlandırılan brownfield bölgelerinde geçerlidir.

Kullanılan PON mimarisinde ana iki standart bulunmaktadır. Birincisi; Ethernet Pasif Optik Ağlar (EPON), Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Enstitüsü (IEEE) tarafından kontrol edilir ve geliştirilir. İkincisi, Gigabit Pasif Optik Ağlar (GPON), Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından kontrol edilir ve geliştirilir.

2.2 PON Çözümleri

Bugüne kadar birkaç nesil PON teknolojisi literatüre girmiştir. Tam Hizmet Erişim Ağı (FSAN) Grubu, daha sonra Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından standartlar olarak belirlenen ve onaylanan kullanım durumları ve teknik gereksinimler geliştirilmektedir. Bu standartlar arasında ATM Passive Optical Network (ATM Pasif Optik Erişim Ağı), BPON Broadband Passive Optical Network, Gigabit Passive Optical Network (Gigabit Pasif Optik Ağ), XG-PON ve NG-PON2 bulunmaktadır. GPON, maksimum 1:128 oranında paylaşılan 2,5 Gbps bant genişliği aşağı akış ve 1,25 Gbps yukarı akış sağlar. XGPON 128 kullanıcıya kadar 10Gbps aşağı akış ve 2,5Gbps yukarı akış sunar.



Şekil 2.5. PON Standart Gelişimi

NGPON2, birincil teknoloji çözümü olarak TWDMPON'u (zaman dalga boyu bölmeli çoklamalı pasif optik ağ) seçmiştir. 4 veya 8 dalga boyu ile 40G veya 80G Downstream-10G, 40G veya 80G Upstream kullanmak mümkündür. Ayrıca, 1G, 2.5G ve 10G hat oranlarına sahip 8 kanala kadar noktadan noktaya WDM kullanılabilir (Kayhan 2012).

ITU-T'de NG-PON2'nin standardizasyonu gün geçtikçe gelişmektedir. G.989.1, NG-PON2 için genel gereksinimleri içerir. G.989.2, fiziksel katman Dalgaboyu planları, Optik kayıp için parametreleri belirtir. Modülasyon formatı, Bütçeler, Hat hızları, Dalga boyu kanal parametreleri (spektral sapma, Tx SNR, vb), ONU ayar zamanı sınıflarını içerir.

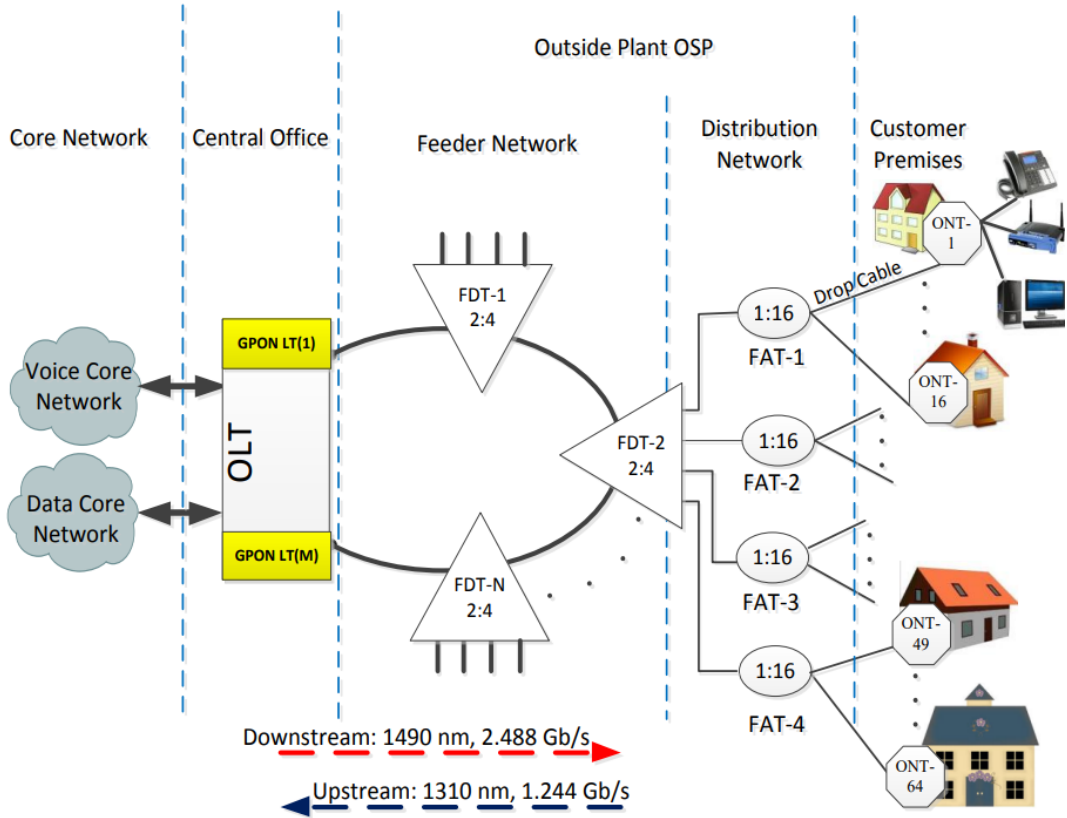
G.989.3, NG-PON'nun 40 Gigabit özellikli pasif optik ağlar (NG-PON2): İletim yakınsama katmanı özelliği sunar. G.988 TWDM-PON ve Genel OMCI ait kontrol arayüzü ve yönetim spesifikasyonu ihtiva etmektedir. G.989, G.989 tavsiyeler serisinin kurallarını, kısaltmalarını ve ortak tanımlarını ihtiva etmektedir.

2004 yılında Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) alternatif bir standart getirerek 1Gbps kapasiteli EPON gündeme gelmiştir. Tescilli EPON ürünleri 2 Gbit/s aşağı akış bit hızıyla kullanılabilir. Eylül 2009'da IEEE, 10Gbps simetrik bit sunan EPON iki varyasyonu vardır. Bunlar:

10G EPON simetrik – 10G indirme ve yüklemeyi destekler. 10/10Gps-EPON, yeterli aşağı akış ve yukarı akış bant genişliğinde MDU'lu projeler için gerekliliktir. Dağıtım stratejisi MDU yapılandırması olduğunda, bir 10GEAPON ONU binlerce aboneye kadar bağlanabilir.

10G EPON asimetrik olarak 1G yukarı akışı yönünü ve 10G aşağı akış yönünü içermektedir. Yukarı akış iletim, mevcut EPON ile aynıdır (IEEE 802.3ah'da belirtildiği gibi) ve sahada kanıtlanmış ve toplu konuşlandırılmış seri modlu optik alıcı-vericilerdir.

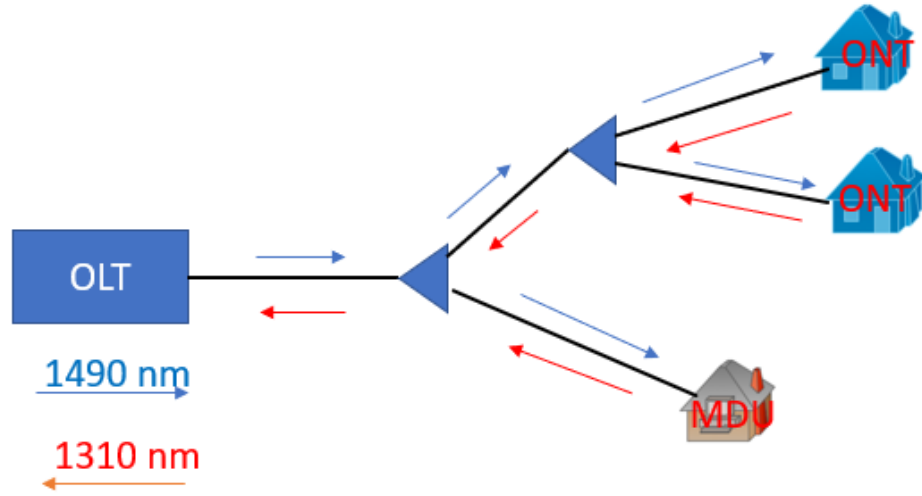
Önümüzdeki on yılda erişim teknolojisindeki eğilimler daha simetrik bant genişliğine doğru yönelim olacaktır. Özellikle son yıllarda evden çalışma ortamları arttıkça multimedya dosya paylaşımı gibi faktörlerle aboneleri yukarı bant genişliğine yöneleceklerdir. İş hizmetleri için sürekli ve simetrik 1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



Şekil 2.6. Bir GPON Ağının Şematik Diyagramı (Abbas 2016)

2.3.Gigabit Pasif Optik Ağlar (GPON)

Gigabit pasif optik ağlar 20 yılı aşkın süredir kullanılan eve kadar fiber mimarisidir. Gigabit pasif optik ağlar 1980'lerde erişim ağı mimarisi olarak planlanmıştır. Basit mimarisi, altyapı yatırımının ucuz olması ve kullanımının basit olması fiber tabanlı ağları mümkün kılmıştır. Tipik bir GPON mimarisi şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Tipik GPON Mimarisi

GPON, Tablo 2.2'de sunulan yedi farklı iletim bit hızını sunmaktadır;

Tablo 2.2: GPON İletim Bit Hızları

No	Download Bit Oranı	Upload Bit Oranı
1	1.2 Gbps	155 Mbps
2	2.4 Gbps	155 Mbps
3	1.2 Gbps	622 Mbps
4	2.4 Gbps	622 Mbps
5	1.2 Gbps	1.2 Gbps
6	2.4 Gbps	1.2 Gbps
7	2.4 Gbps	2.4 Gbps

Sık kullanılan bit hızı: 2.4 Gbps aşağı akış yönlü, 1.2 Gbps yukarı akış yönlüdür.

2.3.1. GPON'un Avantajları ve Dezavantajları

Bir lazer kaynağından gelen ışık, fiber optik kabloda bakır hat üzerindeki bir elektronik sinyale göre daha az zayıflamaya uğrar ve daha uzun mesafe kat edebilir. Fiber optik kabloda dağıtım ağı pasif elemanlardan oluşur, bakır şebekede ise her zaman aktif elemanlar kullanılmaktadır.

GPON'un avantajları aşağıda sunulmuştur;

- Bakır şebeke ve FTTC/B topolojilerinde dağıtım ağı için kabinetlerin dış ortamlarda kullanılması gerekmektedir. Dış ortamda kullanılan kabinetler güvenlik sorunu olabilmekte ve hava şartlarından etkilenebilmektedir. GPON altyapısında ise dış kabine yerleştirilmesi gereken optoelektronik ve elektronik cihazlar yoktur.
- GPON'da sahada enerji ve yedek güç kaynağına ihtiyaç bulunmamaktadır. Dolayısıyla enerji kesintilerde hizmet uç cihaza kadar sinyal etkilenmemektedir ancak FTTC/B topolojilerde enerji kesilmesiyle sinyal iletilenmemektedir.
- GPON'da güç kaynaklarına bağlı riskler yoktur. FTTC/B topolojilerde şebekeden gelen AC 220V dış kabinlerde bulunan doğrultucular vasıtasıyla DC 50V'a dönüştürülmektedir. Şehir şebekesinden FTTC/B cihazlarına gelen AC 220V dış ortamlarda imalat hataları kaynaklı riskler içerebilmektedir.
- FTTC/B cihazlarda güç kaynakları ve soğutma üniteleri nedeniyle fanlar bulunmaktadır. 24 saat esasına göre çalışan bu fanlar gürültüye neden olabilmektedir ancak GPON'da belirtilen şekilde bir sorun bulunmamaktadır.
- Elektromanyetik Girişim (EMI) veya Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) olmadığından diyafoni olmaz, ses iletiminde parazit olmaz.
- Çevre kontrol cihazlarına gerek yoktur.
- FTTC/B cihazların işletim (OPEX) maliyetleri yüksektir. FTTC/B cihazlarında DSL/PSTN kartlar, kontrol kartı, doğrultucular vb. birçok ünite mevcuttur. Herhangi birinin arızalanması durumunda OPEX maliyetlerini yükseltmektedir. GPON'un işletim (OPEX) maliyetleri düşüktür.

- GPON'da arızaya neden olabilecek ve arıza oranını artıracak güçlü aktif elektronik dönüştürücüler yoktur.
- GPON'da yükseltilebilir basit bileşenler sayesinde yüksek bant genişliği gerektiren uygulamalar basittir.
- Elektromanyetik etkilere bağışıklık oluşturmaz. Bilgi bozulmaz, gürültü oluşmaz.
- GPON'da topoloji iletken değildir. Yıldırım düşmesinde ve enerji hatlarına temas halinde tehlikeli durumlar oluşturmaz.
- Diyafoni oluşmaz. Müşteri bilgileri ve konuşmaları birbirine karışmaz.

Bu avantajlardan dolayı GPON diğerler mimariler arasında en popüler uygulamadır. Örneğin, fazla ekipman kullanmadan sinyalleri daha uzun mesafelere taşıma yeteneği sayesinde ağda daha az arıza noktasını ifade edip ağ güvenilirliğinde ve hizmet kalitesinde iyileşmeye neden olmaktadır.

Bu avantajların yanı sıra GPON'un bazı dezavantajları da vardır; optik ayırıcılar GPON mesafesini sınırlayacak optik kayıplara sahiptir ve OLT ile optik ayırıcı arasında bulunan fiber optik kablolardan birinin kopması durumunda birden fazla abone hizmet dışı kalabilmektedir. Ayrıca diğer şebekelere göre özel işçilik gerektirir.

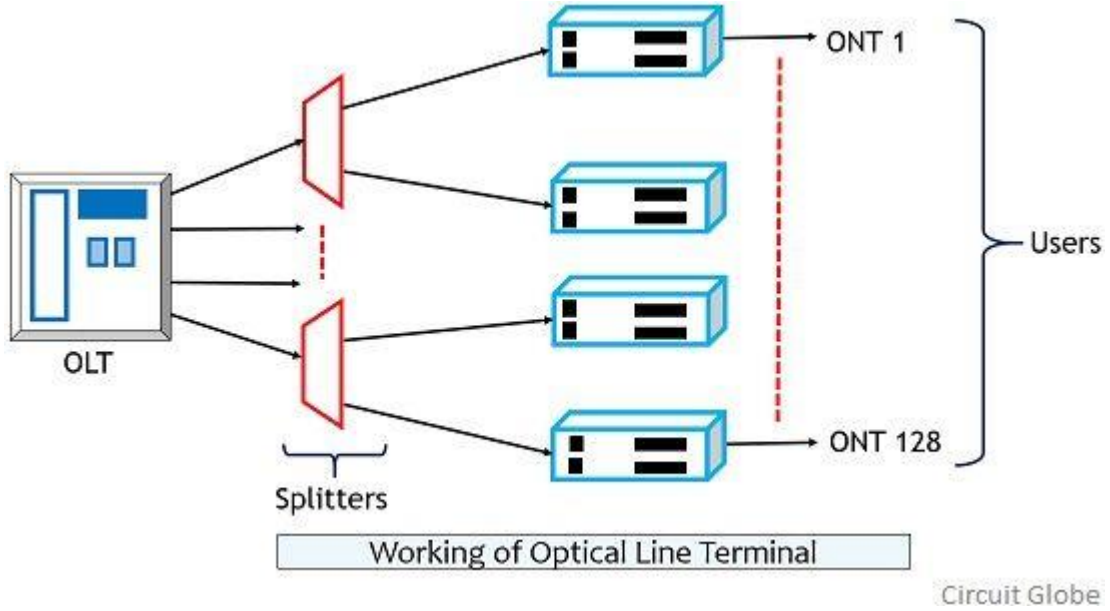
2.3.2. GPON'un Bileşenleri

GPON'un temelleri ITU-T G.984 tavsiyesine göre şekil 2.8'de gösterilmektedir. Belirtilen bileşenler Optik Hat Sonlandırma (OLT), Optik Ağ Sonlandırma (ONT) ve Splitter veya Optik Ayırıcılar (OS) olarak ana üç unsuru içerir.

2.3.2.1. GPON'un Bileşenleri (OLT)

Optik hat terminali (OLT), hizmet sağlayıcının santrallerinde bulunan ve pasif optik ağın (PON) uç noktası olan bir cihazdır. PON'un bir parçası gibi davranır tüm ağ

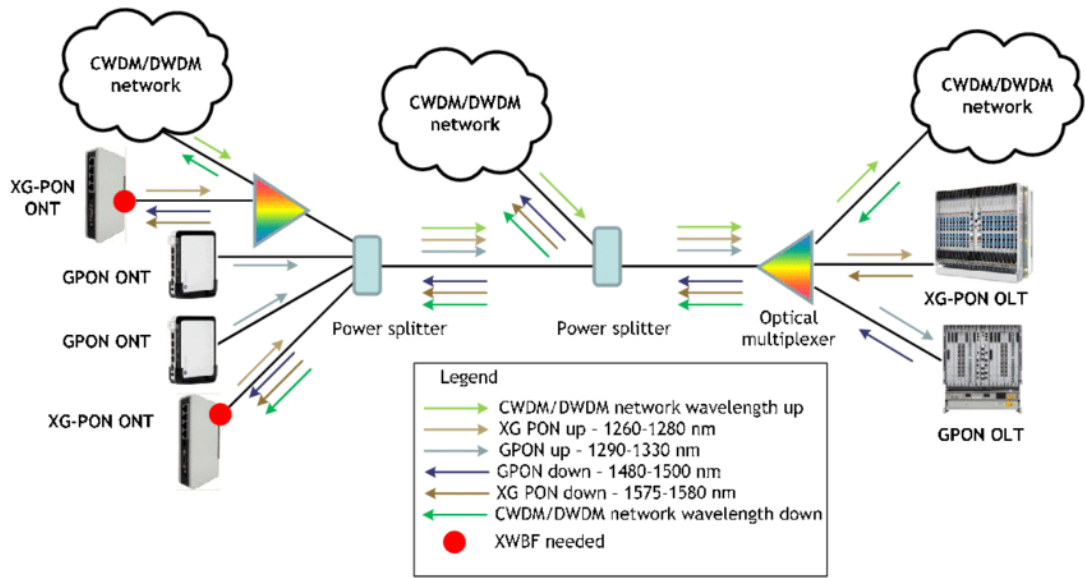
boyunca veri iletimi/alımını yönetir. OLT, operatörün merkezi biriminden dağıtılır ve optik ağdaki tüm trafiği kontrol eder. Optik hat terminali belirtilen işlemleri elektrik sinyali optik sinyale çevirerek veya tam tersini yaparak bilginin düzgün aktarımını sağlamak amacıyla yapar. ITU-T G.984 tavsiyesine göre bir optik hat terminali, optik ağ üzerinden optik trafiği sunmaktadır. Aşağı yönde OLT, OLT'nin arka panelinde bulunan servis sağlayıcının sistemlerinden ses, veri ve video trafiğini almak zorundadır ve optik ağ üzerindeki tüm ONT'lere yayın yapmaktadır. Yukarı yönde, OLT abonelerden gelen her türlü ses, veri ve video trafiğini kabul etmek ve göndermek zorundadır.



Şekil 2.8: OLT Prensibi (Wibisno 2020)

Şekil 2.8’de her bir PON’un ayrı ayrı 32 bağlantısı vardır. Tek bir Optik hat terminali(OLT) 128 müşteriye veri veya bilgi sunabilmektedir. Daha önce belirtildiği gibi, OLT aşağı ve yukarı yönde bir bilgi akışı sunar. OLT ağda aşağı akış iletiminde hem ses hem de veri sinyali amacıyla 1490 nm dalga boyunu ve video sinyali iletimi amacıyla 1550 nm dalga boyunu kullanır. 1330 nm dalga boyu PON tarafından hem veri hem de ses sinyali amacıyla yukarı akış durumunda kullanılır. Genellikle OLT cihazı 2,5 Gb/s, 1,25 Gb/s, 155 Mb/s veya 622 Mb/s’de çalışır. Optik hat

terminali(OLT) belirtildiği üzere santralde bulunmasına rağmen ONT kullanıcının kendi bölgesinde yer almaktadır. Daha açık bir ifadeyle ONT müşterinin dairesinde bulunmaktadır. ONT ağ ile son kullanıcı arasında optik bağlantı kurmaktadır. Ayrıca ONT uç noktada kullanıcıların ihtiyaçlarına göre kombine telekomünikasyon hizmetleri sağlama yeteneğine sahiptir.



Şekil 2.9: G.984.2 GPON Dalga Boyu Tahsis Planı (Çankaya 2020)

2.4. Optik Ağ Sonlandırma (ONT)

ONT, Optik Ağ Terminali anlamına gelmektedir. Binalarda veya ofislerde fiber optik internet bağlantısı elde etmek için doğrudan bir internet servis sağlayıcısı (ISS) ile iletişim kuran bir cihazdır. Ayrıca ONT fiber optik internet'e özgüdür, dolayısıyla bir ONT'yi bir kablolu modem, yönlendirici veya kablolu modem yönlendirici gibi koaksiyel üzerinden Ethernet veya MoCA aygıtıyla kullanılamaz. Upstream yönde ONT, kullanıcının bilgisayar, televizyon veya telefon gibi cihazlarından gelen verileri OLT'ye iletmek zorundadır ve downstream yönde OLT'den gelen verileri kullanıcının cihazlarına dağıtmak zorundadır. ONT aktif bir cihaz olup gömülü bir opto-elektronik dönüştürücüye ve abone tarafında elektriksel ara yüzlere sahiptir. Bir ONT, abonelerdeki farklı veri türlerini, taşıyabilir, toplayabilir ve düzenleyebilir (Sandvine 2018)

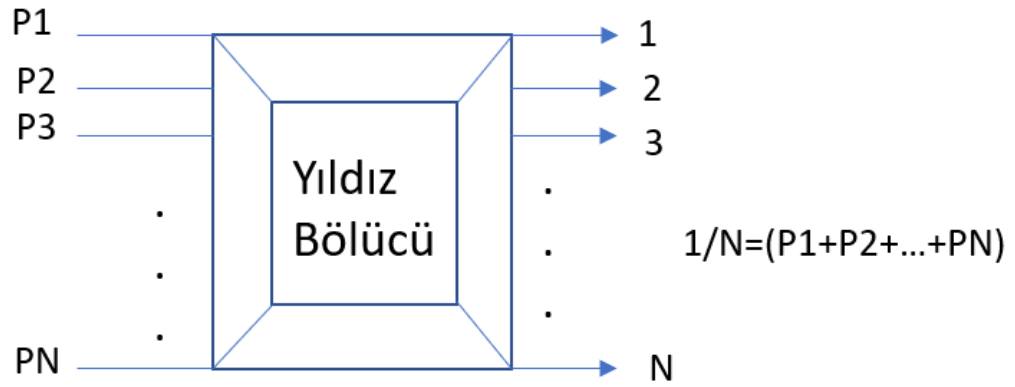
Farklı telekomünikasyon hizmet türleri ve talep edilen DSL-PSTN sayısına bağlı olarak aboneler için farklı ONT tasarımları ve konfigürasyonları vardır. Bir ONT, küçük boyutta üretilir ve hanede bir kullanıcı için kurulabilir veya Multiple Dwelling Unit (MDU) gibi karmaşık ve daha büyük boyutta inşa edilip bir binanın içine kurularak birden fazla kullanıcıya hizmet verilmesi sağlanır.



Şekil 2.10: Kullanılan ONT Çeşitleri

2.5. Optik Bölücü (OS)

GPON'un ana bileşenlerinden biri de optik bölücülerdir. Optik bölücü pasif bir cihazdır ve ışığın yönüne bağlı olarak gelen ışığı tek bir fiberde toplar veya birden fazla fibere dağıtır. Şekil 2.11'da NxN yıldız kuplörü sunulmuş olup bu kuplör aslında 2x2 kuplörün daha geniş biçimidir (Çankaya 2012)



Şekil 2.11: NxN Yıldız Kuplör

Yıldız bölücü, tüm dalga boylarını eşit şekilde bölerek N çıkışında giriş güçlerinin 1/N'sini alır.

Özdeş bir yıldız kuplörde gelen girişin gücü çıkışlar arasında eşit olarak bölünür. Kuplörün toplam kaybı, bölme kaybı üzerine kuplör boyunca her yoldaki fazlalık kaybı eklenerek oluşur. Bölünme kaybı dBm türünden sunulur. Formül 1.1 (Quzwini 2014)

$$Splitting Loss (dB) = -10 \log 1/N = 10 \log N \quad (1.1)$$

Tablo 2.3'de GPON mimarisinde kullanılan optik ayırıcıların bölme kayıpları gösterilmektedir.

Tablo 2.3: Optik Bölücülerin Bölme Kayıpları(Abbas 2016)

Bölme Oranı	Kayıp (dBm)
1:2	3
1:4	6
1:8	9
1:16	12
1:32	15
1:64	18

Üretilme biçimleriyle ilgili iki ana ayırıcı türü vardır; Fused Biconical Taper (FBT) and Planar Lightweight Circuit (PLC).

2.5.1 Fused Biconical Taper (FBT)

Bu kuplör aynı anda basitçe kaynaşmış (genellikle ısı ile) fiberler veya tüpler olarak da tanımlanmaktadır. Fused Biconical Taper kuplörler ayrıca optik kuplörlerin en basit sunumudur. Esas olarak, kaplama bölgelerinin birbirine kaynaştırıldığı iki optik fiberden oluşur. FBT ayırıcıyı şekil 2.12’de örnek olarak göstermektedir.

Üretim süreci aşağıdaki gibi sıralanabilir,

- İki tek modlu fiberi yan yana yerleştirilir,
- Birbirine sıkıca bükülür,
- Isı veya yüksek gerilimle temas ettiği yerde ısıtılır,
- Liflerin her iki ucuna ters yönde bir miktar gerilim uygulanır,



Şekil 2.12: FBT Splitter

2.5.2 Düzlemsel Işık Dalgası Devresi / Planar Lightwave Circuit (PLC)

Bu ayırıcılar tipik olarak kaynaştırılmaz, ancak çeşitli devre üretim süreçleri tarafından oluşturulur. Bu optik ayırıcılar, Fused Biconical Taper kuplörlere kıyasla çok verimli ve güvenilirdir. PLC üretim süreci, yarı iletken üretim sürecine benzer; silikon substrat üzerine silikon dioksit dalga kılavuzlarının uygulanmasıyla elde edilir. PLC’de tek bir giriş ve bir dizi çıkış fiberi vardır. Şekil 2.13’de bir PLC ayırıcı gösterilmektedir (Wibisono 2020).



Şekil 2.13: PLC Splitter

2.6. Bağlantı Kutusu-Splitter Fiber Optik Terminal Kutusu

FTTH ağında, binaya gelen ana fiber optik giriş kablosu ile müşteri tarafındaki binanın fiber optik kablolama sistemi arasında bir ara bağlantı veya arabirim noktası sağlamak için kullanılır. Splitter fiber optik terminal kutusu telekom şirketinin gelen fiber kablolar ve müşterinin bina içi fiber optik kablolama sistemi tesisleri için test noktası olarak hizmet de vermektedir.

Bina giriş noktasındaki bağlantı kutusu veya fiber optik terminal kutusu boyutu, binanın boyutuna, kurulumun genel karmaşıklığına ve ağ yapısına bağlıdır. Tipik olarak bina giriş noktasındaki fiber yönetimi, doğru sayıda kablo giriş/çıkışına, gerekli sayıda eklemeye, fiber rezervlerine ve doğru fiber yönetimine izin veren özel olarak tasarlanmış kutular kullanır. Ek olarak, fiber tanımlama, kilitleme sistemleri ve bina giriş noktasındaki kutularının gelecekte genişletilmesi dikkate alınması gereken önemli özelliklerdir. Bina altındaki bağlantı kutusu pasif ayırıcıları içermek amacıyla da kullanılabilir. Buradaki önemli konularda biri de güvenlidir. Bağlantı kutusu koruması alandaki koşullara bağlıdır. Genellikle servis sağlayıcılar bina içinde IP20 ve dış mekanda IP54 sınıfı korumalı ürünler tercih etmektedir. Fiber veya OBK yolundaki tüm devreler 30 mm'lik minimum bükülme yarıçapına sahip olmalıdır. Bağlantı kutusu çıkışında en sık karşılanan arıza nedenlerinden birisi kutu girişindeki fiberin belirtilen bükülme yarıçapından fazla eğilerek OBK'nın kırılmasıdır. Genel olarak tüm optik konektörler ve geçiş adaptörleri LC/APC tipi, tek modludur (Turna, Aydın ve Zaim 2009).



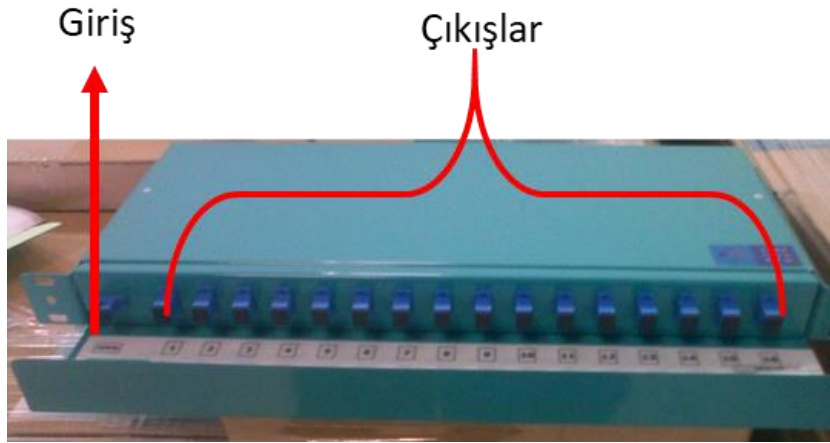


Şekil 2.14: Splitter Fiber Optik Terminal Kutusu

2.7. Fiber Ek Tepsisi

Optik fiber ek mahfazaları, aktif ekipman bağlantısı veya çapraz bağlantı oluşturmadan fiber optik kabloların segmentleri arasında ara bağlantı önemli unsurlardandır. Füzyon veya mekanik ek yerleri aracılığıyla hızlı, esnek ve uygun maliyetli bir çözüm sağlar. Bu tür bağlantıların fiziksel olarak korunması ve fiber gevşekliğinin depolanması da ek yeri muhafazasının ana işlevleridir.

Rafa monte fiber optik ek yeri mahfazaları sonlandırma yoğunluğu, kullanılan 24-fiber ek tepsisi sayısına bağı olarak 24 ila 192 ek yeri arasında değişebilir. Ekleme tepsisi istifleme mekanizması, paneli sökmeden tepsilerin eklenmesine ve her birine giriş yapılmasına olanak tanır. Muhafazalar, nden ve arkadan erişim sağlayan menteşeli panellere ve dışarı kayan destek aşamalarına sahiptir. Genelde şeffaf olan plastik n panel, kapatıldığında muhafaza içeriğinin görsel olarak görünmesini sağlar. Dahili kablo ankraj noktaları ve fiber gevşeklik yönetim mekanizmaları, güvenilir kablo sabitleme, güvenli kablo/fiber gerilimi ve bükülme yarıçapları sağlar. Kablo giriş noktaları, giriş noktası kullanılmadığında toz girişini önleyen ve optik fiber kabloyu muhafaza kasasının keskin kenarlarının neden olabileceği bükülmelerden koruyan lastik rondelalarla donatılmıştır.



şekil 2.15: Ek Tepsisi rneği

2.8. Optik Konektörler

Fiber optik teknolojisinin gelişmesiyle daha düşük kayıp, daha düşük maliyet ve sonlandırması kolay konektörler geliştirildi. Pazarda 100'den fazla fiber optik konektör mevcuttur ancak yalnızca birkaçı pazarın çoğunluğunu temsil etmektedir.

Çoğu fiber optik konektör, fiberleri tutan ve eşleşme için fiberleri hizalayan çıkıntılı bir halkaya sahip fişlerdir. Vidalı veya geçmeli olan konektörlerin sabitleme mekanizmasıyla iki konektörü birleştirmek amacıyla bir adaptör kullanılır.

Ticari olarak başarılı bulunan ilk fiber optik konektör büyük gümüş konektörler olan Deutsch 1000'dir. Bu çözüm, 70'lerin sonlarında, yaklaşık 3 dBm'lik bir kayıp sağlayan son teknoloji ürünüydü. Sektördeki kullanıcılar belirtilen konektörü Tektronix OTDR'nin ön yüzündeki konektör olarak tanımlamaktadır. Üzerinde versiyonunu belirten sarı gövdeli biconic konektör ile sunulmaktadır. NJ, Murray Hill'deki Bell Laboratuvarlarında Jack Cook önderliğindeki bir ekip tarafından geliştirilmiş olup seramik kadar sert olan cam dolgulu bir plastikten kalıplanmıştır. Plastik kalıba 125 mikron/5mil'lik bir pim eki alana kadar süren ve fiber, epoksi ile yüksük içine yapıştırılır. Tek modlu ürünler ilk sektöre girdiğinde yüksükler, kaybı azaltmak amacıyla yüksük içinde lif çekirdeğini ortalamak üzere taşlanmıştı. Eşleşen adaptörlerde dönebilme özelliği ve kamalı olmadığından çiftleştğinde yüksükler arasında küçük bir hava boşluğu olabilmektedir. Fresnel yansıması nedeniyle kayıp hiçbir zaman 0,3 dBm'den az olmamıştır. Genellikle Biconics konektörler, 0,5-1 dBm arasında bir kayıplara neden olabilmektedir.

Japonya'da 1985 yıllarında seramik halkanın icadıyla konektör üretimleri ciddi manada değiştirmiştir. Seramik yüksük yapısı itibariyle sert ve hassastır. Hizalama için lifler doğru bir şekilde yerleştirilir ve yüksüklerin dokunmasına izin verilebildi. Konektörler arasına PC (fiziksel temas) için dışbükey yüksükler ekleyerek hem MM hem de SM çeşitleri için kayıpları 0,3 dBm'nin altındaki seviyelere indirilmiştir.

90'ların sonlarında, küçük form faktörlü (SFF) konektörler popüler hale gelmiştir.

Aşağıda, yıllar boyunca popüler konektörlerden bazıları bulunmaktadır.

2.8.1. SC Konektör

SC, yüksek performansı nedeniyle yaygın olarak kullanılmakta olup 2,5 mm halkalı bir geçmeli konektördür. TIA-568-A'da standardize edilmiş konektördür. SC konektör ST'den iki kat daha pahalı olduğu için ilk zamanlar yaygın olarak kullanılmamıştır. Şimdilerde maliyeti biraz düşse dahi yaygın olarak bir basit bir itme-çekme hareketiyle kilitlenen geçmeli bir konektördür. Ayrıca dubleks konfigürasyon özellikli ürünler de mevcuttur.



Şekil 2.16: SC Konnektör

2.8.2. FC Konnektör

İlk çıktıklarından itibaren kullanılan tek modlu en popüler onektörlerden biri de FC konnektörlerdir. Bu konnektörler 2,5 mm'lik bir yüksük içerir. Eski üretimlerdeki FC konnektörlerin bazıları paslanmaz çelik kullanır. Sıkıca vidalanır ancak sıkmadan önce anahtarın yuvaya düzgün şekilde hizalandığından emin olunmalıdır. Gelişen süreçte FC'lerin yerini SC'ler ve LC'ler almıştır.



Şekil 2.17: FC Konnektör

2.8.3. LC Konnektör

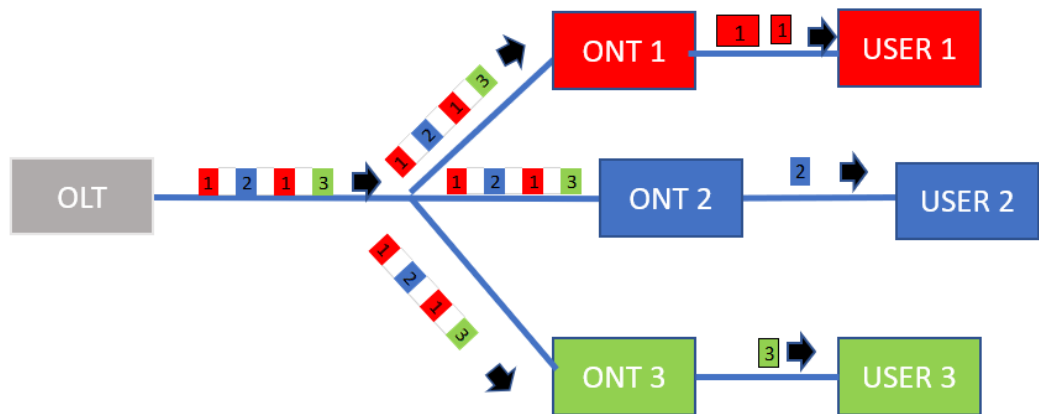
LC konnektör, SC'nin yarısı boyutunda 1,25 mm yüksek kullanan küçük form faktörlü bir konektördür. Kolayca sonlandırılabilen seramik konektördür. Yüksek performansı ve singlemode olduğu için sıklıkla tercih edilir (Chalabi 2012).



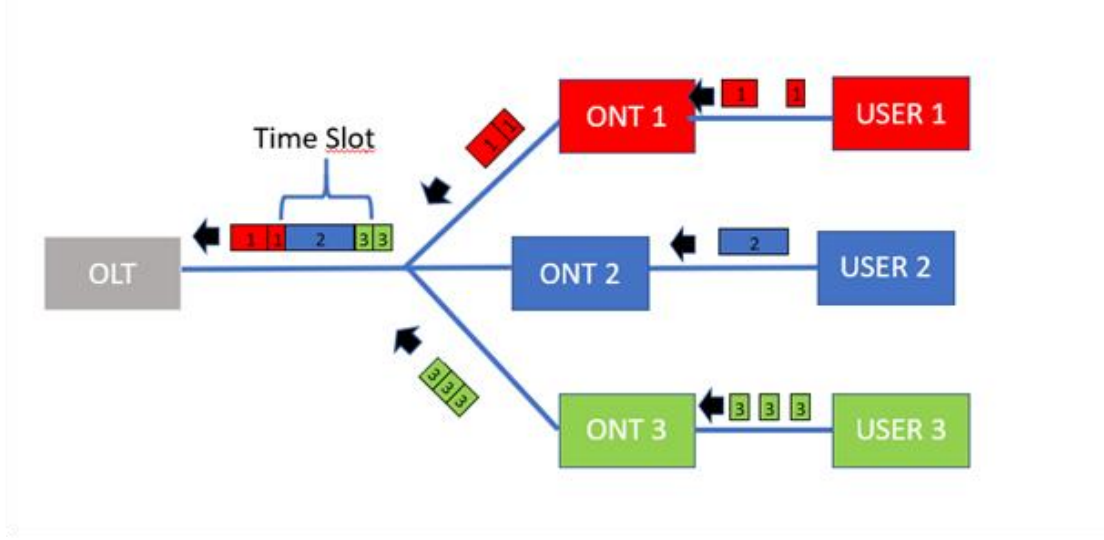
Şekil 2.18: LC Konnektör

2.9. GPON Kavramları

Optik hat terminalleri(OLT), tüm hizmetleri optik ağ aracılığıyla ONT'lere iletir. Belirtilen görevi yapmak amacıyla Zaman Bölmeli Çoklama (TDM) / Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA) kullanır. Şekil 2.19'de aşağı akış yönündeki trafiği ve Şekil 2.20'de yukarı akış yönündeki trafiği sunmaktadır (Roka 2001)



Şekil 2.19: GPON'da Aşağı Akış Trafiği (Shumate 2008)



Şekil 2.20: GPON'da Yukarı Akış Trafiği (Shumate 2008)

Aşağı akış trafiği, OLT tarafından ONT'ler vasıtasıyla tüm kullanıcılara yayınlanır ve OLT tarafından ONT'lere atanmış çoklu sinyalleri içermektedir. ONT'lerin her biri yalnızca kendisine ayrılmış paketleri kabul eder ve kalan paketleri elemektedir. OLT belirtilen filtreleme benzeri süreci elde etmek için paketleri adreslemek amacıyla paket başlıklarını kullanır ve ONT'ler paketleri kabul etmek veya elemek için bu paket adresleme verilerini aramaktadır. (Shumate 2008)

Trafik akışında OLT GPON'un yöneticisidir. OLT, veri iletimi amacıyla her bir ONT'ye ayrılmış bir zaman aralığı atamaktadır. Burada çarpışmayı önlemek en önemli hususlardan biridir dolayısıyla çarpışmayı önlemek amacıyla zaman aralıkları tam olarak senkronize yapılmalıdır. ONT'lerin her biri farklı konumlarda kurulduğundan, OLT ve ONT arasındaki optik uzaklığı değerlendirmek amacıyla bir sıralama yöntemi kullanır. Burada uzaklık alma yöntemi çarpışmanın önlenmesini amaçlıdır.

2.10. Kademelendirme

Kademelendirme, OLT ve ONT arasındaki mantıksal mesafeyi hesaplamak ve daha sonra çarpışma olmadan çoklu ONU iletimine izin vermek ve bu mesafeyi telafi etmek için bir süreçtir. Buradaki sıralama yönteminde OLT tarafından star verilir ve iletme bağı olarak Gidiş-Dönüş Gecikmesini (RTD) bulur. Bu gecikme bilgisi trafik çarpışmalarını engellemek amacıyla gerekli olan eşitleme gecikmesini (Teqd) düzenlemek amacıyla kullanılır. (Shumate 2008)

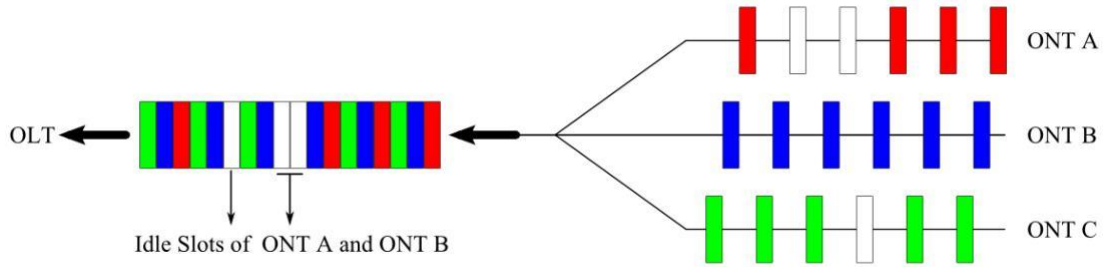
2.11. Bant Genişliği Tahsisi

Gigabit pasif optik ağ, farklı türde hizmetleri iletmek amacıyla kullanılmakta ve bazı servisler sabit bant genişliği istemektedir. OLT, Gigabit pasif optik ağ yöneticisi olduğundan ihtiyaç duyulan bant genişliğini iki şekilde atayabilmektedir (Turna, Aydın ve Zaim 2009)

2.11.1. Statik Bant Genişliği Tahsisi (SBA)

Gerekli bant genişliğini tahsis etmek amacıyla pasif optik ağın önceki nesillerinde TDM benzeri bir tahsis yöntemi kullanılmaktadır. OLT, kullanılsın ya da kullanılmasın ONT'lerin her birine önceden tanımlanmış statik bir bant genişliği atamaktadır. ON'da taşınan tüm hizmetler sabit bant genişliği tahsisi gerektiriyorsa belirtilen teknik en idealidir.

Statik olarak bir bant genişliği tahsis süreci Şekil 2.21'da sunulmaktadır. Şekil 2.22'a göre, yukarı akış verileri belirli bir hızda aktığı sürece, statik olarak bant genişliği ayırma tekniği iyi bir kullanıma sahiptir. Ancak ONT, akışı ONT C veya ONT A gibi kesildiğinde tahsis edilen bant genişliği, yukarı akış trafiği için fazlalık durumuna düşecektir.



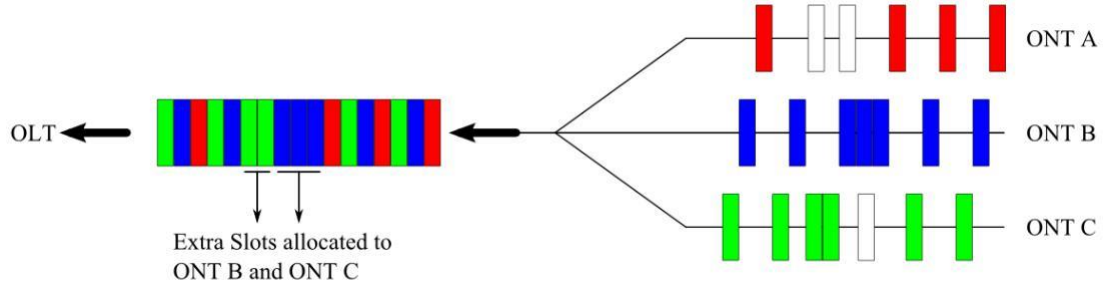
Şekil 2.21 Statik Bant Genişliği Tahsisi (Shumate 2008)

Genel yukarı akış trafik kullanımını iyileştirmek için ONT'lere statik olarak tahsis edilen ve kullanılmayan slotlar ile yüksek hızlı bağlantılar ve belirli veriler için daha fazla bant genişliği gerektiren diğer ONT'lerin kullanımına atanabilir. Kullanılmayan slotların diğer ONT'lerin hizmetine sunulması, abonelerin ihtiyaçlarını ve yukarı akış QoS'yi pozitif olarak düzenleyecektir.

2.11.2. Dinamik Bant Genişliği Tahsisi (DBA)

DBA, OLT tarafından kontrol edilen ve yönetilen bir süreç olup ITU-T G984 standardına göre denetlenmektedir. Dinamik bant genişliği tahsis yönetimi, verimli bant genişliği sunması dolayısıyla telekom şirketlerinin abone sayıları ile ilişkilendirilen ONT'lerin yukarı akış trafik kullanımına pozitif katkı sunmaktadır.

Şekil 2.20'de dinamik bant genişliği tahsis süreci gösterilmektedir. Şekil 2.21'ye göre ONT, ONT A veya ONT C gibi akışı durdurursa, veri içermeyen bazı boş yuvalar olacaktır. Bir ONT, ONT B gibi yüksek hızlı servisler dolayısıyla daha fazla bant genişliği ihtiyacına duyuyorsa, ONT A veya ONT C'den gelen boş slotlar ONT B tarafından kullanılacaktır. Dinamik bant genişliği tahsis yönetimi, kullanıcıların Hizmet Düzeyi Anlaşmasını (SLA) sağlayıp artıracaktır. (Lannoo vd., 2009)



Şekil 2.22: Dinamik Bant Genişliği Tahsisi (Shumate 2008)

Bir GPON'da yukarı akış trafiği sabit değildir; hızlı değişen akış nedeniyle bir DBA işlem algoritması trafik bant genişliğini hızlı yanıtla ayarlamalıdır.

2.12. Güvenlik

Gigabit Pasif Optik Ağda güvenlik konusundaki esas sorun; aşağı akış verilerinin Gigabit Pasif Optik Ağdaki mimariye bağlı tüm ONT'lere yayınlanmasıdır. Belirtilen mimari durumunu kullanan bazı kötü niyetli insanlar, abonelerin aşağı akış verilerini dinleyebilir. Buna, GPON güvenlik sisteminin karşı koymayı amaçladığı gizli dinleme tehdidi denir. ITU-T G984 standardında diğer kullanıcıların verilerine erişmesine izin verilmeyen kullanıcıların erişimini engelleyen bir güvenlik mekanizması sunulmaktadır (Wibisono 2020).

Gigabit Pasif Optik Ağ üzerindeki diğer ONT'lerden gelen yukarı akış trafiğini herhangi bir ONT gözlemleyemez. Bu, ayrıcalıklı bilgilerin (güvenlik anahtarları gibi) yukarı akışa net bir şekilde iletilmesini sağlar. Bir saldırganın GPON'un mimarisinde fibere dokunması gibi bir durum tehlike arz etse de bunun gerçekçi olmadığı düşünülmektedir. Çünkü saldırgan belirtilen işlemi kamusal alanlarda yapmak zorunda kalması dinlediği GPON'u zayıflatacaktır. (Shumate 2008)

2.13. Şifreleme Sistemi

ONT'ler tarafından iletilen her paket, verileri aşağı akış yönüne yayınlayan PON mimarileri nedeniyle tüm GPON üyeleri tarafından görülebilir. Gelişmiş Şifreleme Standardı (AES) olarak adlandırılan standartta bir güvenlik mekanizması ifade edilmektedir. Gelişmiş şifreleme standardı, Gigabit Pasif Optik Ağ çerçevesindeki veri alanına erişimi engelleyen bir şifreleme yöntemidir. (Abbas 2016)

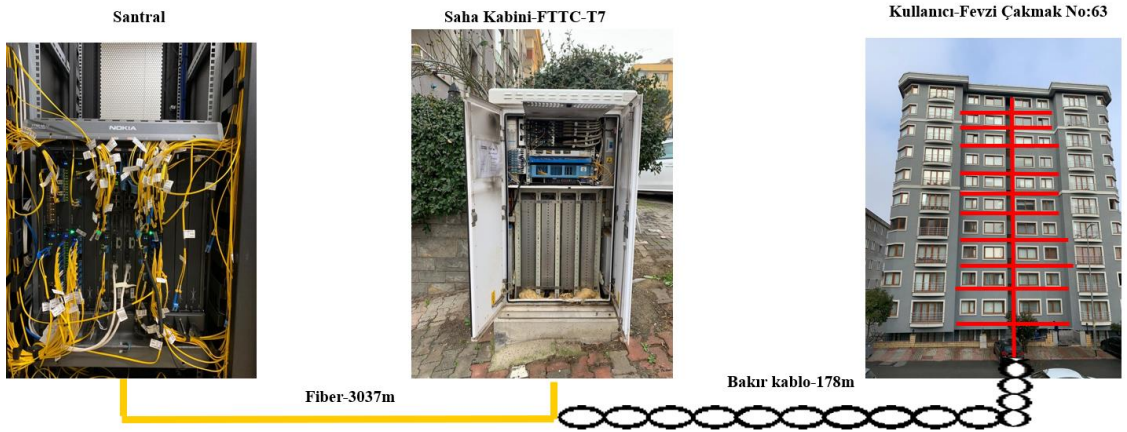
Gigabit Pasif Optik Ağ yöntemi, veri alanındaki verileri şifreli metin ismi denilen anlaşılmaz bir formatta şifrelemektedir. Şifreli metinler 128, 192 veya 256 bit uzunluğunda olabilir ve bu da hacklemeyi çok zorlaştırır. Şifreli metni düz metne çevirmek için periyodik olarak değişen bir anahtar kelimeye ihtiyaç vardır. Basit bir örnek olarak düz metin, anahtar kelime ve bunlar tarafından oluşturulan 128 bit uzunluğunda olmaktadır.

3. GPON VE FTTx AĞLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde, İstanbul ili Ümraniye ilçesinde bir pilot bölgede iki farklı mimaride GPON ve FTTC erişim ağlarının ayrıntılı bir karşılaştırması verilmektedir. Bu özel deneyde, Ümraniye İlçesi Tantavi Mah. Fevzi Çakmak Cad. No:63 adresinde imalatı yapılan bir GPON ile bir FTTC ağ arasında ölçüm yapma, testler yapma ve karşılaştırması yapılacaktır. Pratikte kullanılan GPON mimarisi OptiSystem 13.0 programında modellenen ve karakteristikleri incelenmiş ve sahada fiziksel olarak alınan ölçümler birebir modellenen sistem ile karşılaştırılarak analiz yapılmıştır.

3.1. FTTC Şebekesi

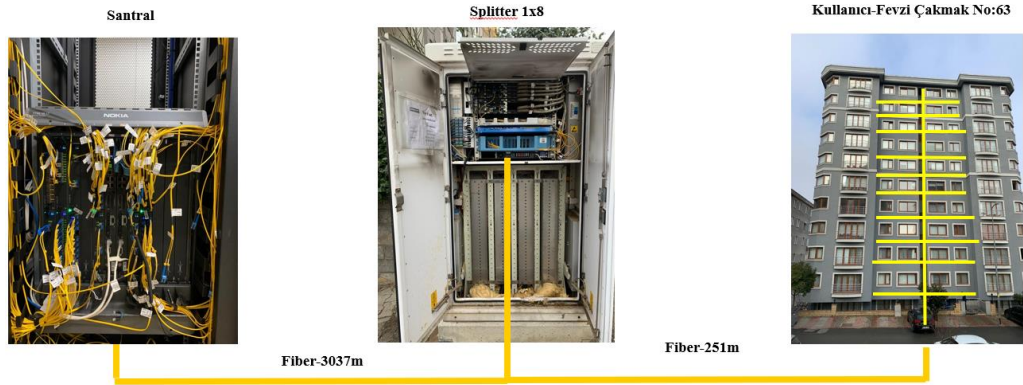
Bu tezde incelenen projenin FTTC şeması şekil 3.1'de gösterilmiştir. Sarı çizgi, Santral ile saha dolabı (FTTC-T7) arasındaki fiber kabloyu göster. Santral ile saha dolabı arası 3037m'dir. Saha dolabı ile bina (Tantavi Mah. Fevzi Çakmak Cad. No:63) arası bakır kablo mesafesi 178m'dir. Kırmızı çizgi, bina içi abonelerin dağıtım kabloları olan Cat5'i göstermektedir.



Şekil 3.1: FTTC Şebekesi

3.2. GPON Şebekesi

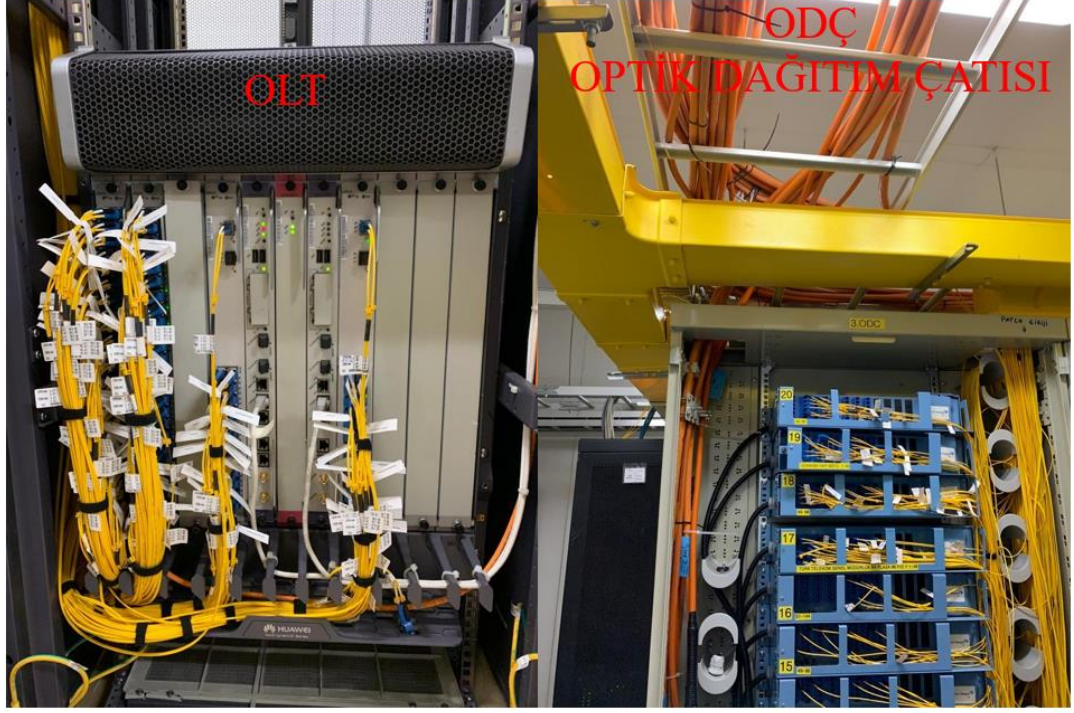
Aynı tesis için GPON kablo şeması şekil 3.2'de gösterilmiştir. Binaya ilk olarak FTTC altyapısı daha sonra GPON kurulmuştur. Başka bir deyişle, binadaki kullanıcıların iki ağı vardır: GPON ve FTTC(VDSL).



Şekil 3.2: FTTH Şebekesi

Ümraniye Tantavi Mah. Fevzi Çakmak Cad. No:63'de 36 daire vardır. Daire sayısına göre splitter montajı yapılmaktadır. Saha dolabına 72'lik FO çıkılmıştır. Saha dolabından Fevzi Çakmak Cad. No:63'e tek korluk fiber kablo çekilmiş binanın sistem salonunda sonlandırılmıştır. 36 dairelik binada 15 FTTH abonesi 10 adet FTTC abonesi çalışmaktadır.

Merkez ofis veya santralde bulunan OLT'den 1x1 patch ile aynı merkezde bulunan ODÇ (optik dağıtım çatısı) giriş yapılır. Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Santral’de OLT ile ODÇ Arası Geçiş

ODÇ’den 96’lık FO kablo çıkar ve 1x8’in kurulduğu saha dolabına 1 core olarak sonlandırılır. Saha dolabına konulan 1x8 splitterdan 72’lik FO çıkmaktadır.



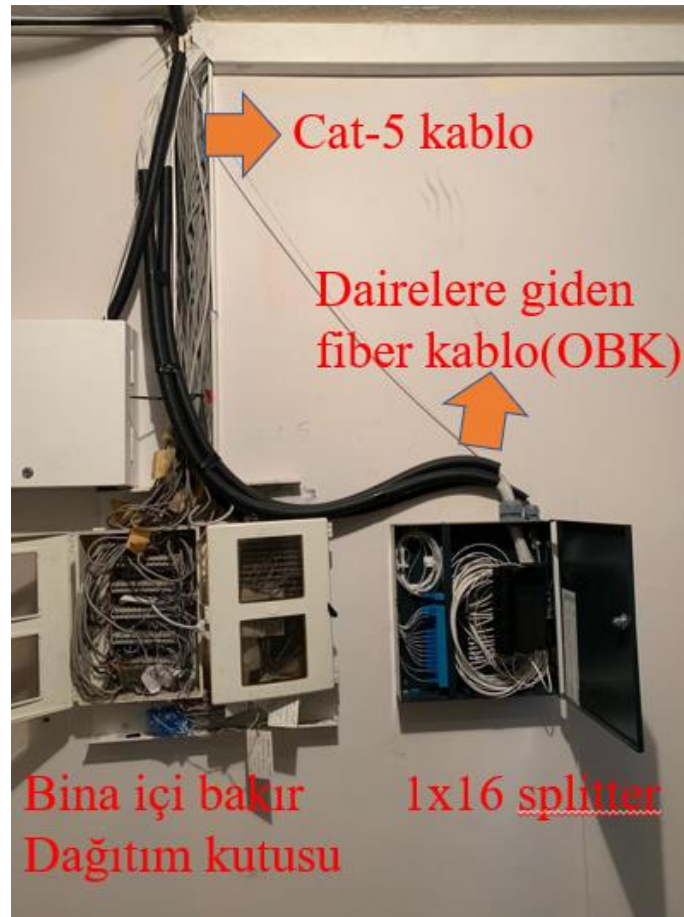
Şekil 3.6: Saha Dolabı Önündeki Ek Kaseti

Aşağıdaki şematikte saha dolabına gelen 72'lik FO'nun 1x8 Splitterdan bölündükten sonra şekil 3.6 menholdeki muftan beslenen binaların adreslerin şematiği sunulmuştur. Fevzi çakmak Caddesi No:57-59-61-51-55-45 ve Ela Sokak No:2 adreslerine de aynı ekten bir devre sürülerek FTTH olarak şebekelendirilmiştir.

Aşağıdaki Tablo planlanan GPON şebekesinin verileri bulunmaktadır. Santralde OLT'nin 3_11. Portu kullanılıp 1287SD olarak adlandırılan saha dolabına sinyal ulaştırılmıştır. Saha dolabındaki 18 splitterın 1. Çıkışı kullanılarak sinyal binaya ulaştırılmıştır.

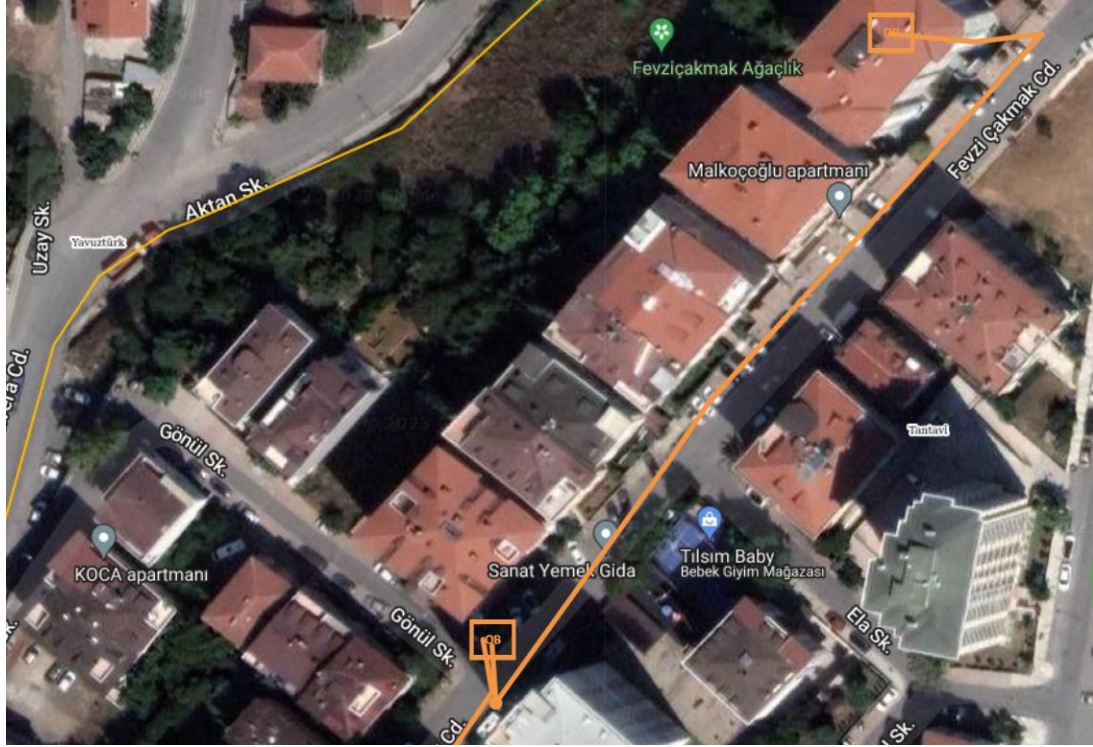
SANTRAL OLT PORTU	SAHA DOLABI BİLGİSİ	1X8 SPLITTER ÇIKIŞI	KABLO BİLGİSİ	KABLO DEVRE BİLGİSİ	SPLITTER İSİMLERİ	ADRES	DAİRE SAYISI	FİBER KABLO DEVRE BİLGİSİ
3_11	ÜMRANİYE 1287 SD 1X8	1	1287 SD DÖNÜŞÜM 72'LİĞİ	7_1	OBK(1*8) FEVZI_CAKMAK_CD_NO_63	TANTAVİ MAHALLESİ FEVZİ ÇAKMAK CD NO:63	37	72(7)- 1*1(1)

Fevzi çakmak Caddesi No:63 adresine splitter şeklindeki 3.7'deki gibi monte edilmiştir. 1x16 splitter 16 aboneye hizmet vermektedir. Binada 16 daire internet talebinde bulunup kapasite dolarsa ikinci 1x16 splitter montajı yapılabilmektedir.



Şekil 3.7: Dahili kutu ve 1x16 Splitter

Erişim sistemlerinde yapılan tüm planlamalar Coğrafi Bilgi Sistemleri(CBS) kullanılarak yapılmaktadır. Yukarıda belirtilen FTTC ve GPON şebekenin CBS programında konumlandırılması tek paftada Şekil 3.8’da gösterilmiş olup detaylı olarak Şekil 3.9-3.10 da gösterilmiştir. Turuncu kablo FO güzergahını göstermektedir. Fiber kablo boyunca gösterilen yuvarlak kısımlar ek noktalarını sunmaktadır.



Şekil 3.8: Bina Tarafı CBS Planlama Görüntüsü

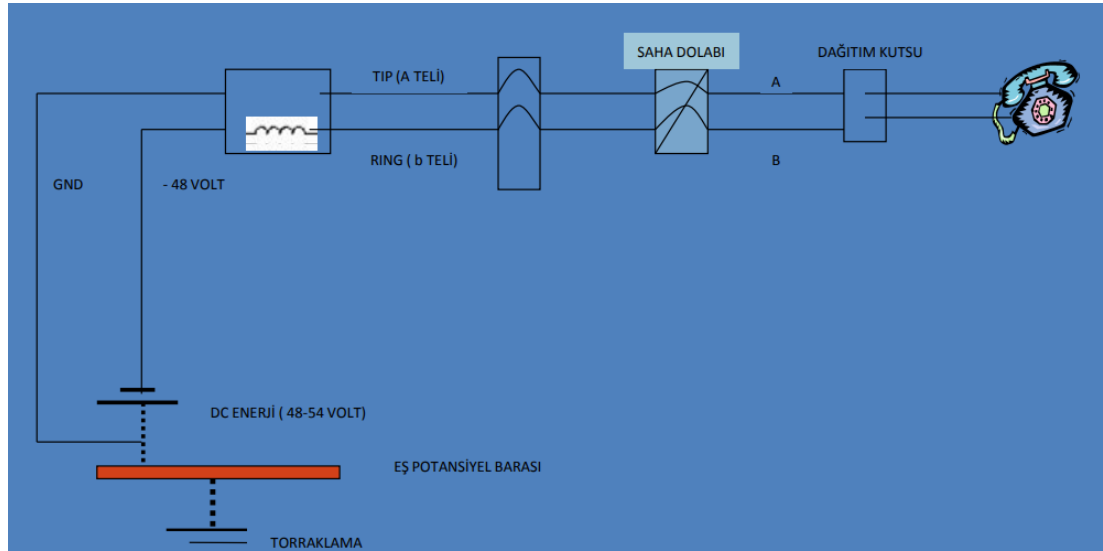


Şekil 3.10: Bina-Saha Dolabı ve Santral Arası CBS Görüntüsü-2

3.3. FTTX Ölçümü

Fevzi çakmak Caddesi No:63 adresinde bulunan FTTC şebekeden beslenen 8842320109 hizmet numaralı VDSL tarifeli abone bulunmaktadır. Bu bölümde 8842320109 hizmet numaralı VDSL tarifeli müşterinin hızını hem fiziksel olarak şebekeden JDSU HST3000C ölçü aleti ile hem de network DSLAM üzerinden hem de müşterinin uç cihazından ölçüp karşılaştırılmıştır.

Aşağıda Şekil 3.11’de bir telefon hattının devresi sunulmaktadır. Planlanan şebekede santral ile saha dolabı arasındaki fiber kablo 3023m, saha dolabı ile bina arasındaki bakır kablo metredir. Bina altında bulunan dahili kutudan ölçüm yapılmıştır.



Şekil 3.11: Telefon Devresi

Telefon makinesi kapalı bir müşteri devresinin a ve b iletkenleri arasında DC 48 ila 54 volt arasında santral beslemesi bulunmaktadır. A (TIP) teli toprak arası 0 volt, B (RING) teli toprak arası – 48 ila – 54 volt vardır. Telefon makinesi kapalı iken abone hattından akım akmaz $I_{HAT} = 0$ mA dir. Telefon makinesi kapalı bir müşteri devresinin a ve b iletkenleri arasında DC 48 ila 54 volt arasında santral beslemesi bulunur.(EWSD santral yeni versiyonlarda 65-70 volt) A (TIP) teli toprak arası 0 volt, B (RING) teli toprak arası – 48 ila – 54 volt vardır Telefon makinesi kapalı iken abone hattından akım akmaz $I_{HAT} = 0$ mA dir. İzolasyonu sağlam boş bir devrede

tüm değerler $> 999\text{M}\Omega$ çıkacaktır. Bu değerler $100\text{M}\Omega$ civarı ve altında çıkıyorsa kablo içinde kabul edilemeyecek düzeyde rutubet var demektir.

Boş bir devrede $\text{k}\Omega$ mertebesinde görülen kaçaklar su nedeniyle kaçağı ifade eder. 0 ila $1300\ \Omega$ arasındaki kaçaklar ise metalik temas olarak yorumlanabilir.

Ölçümü yapılan HST 3000C cihazı normalde direnç ve izolasyon ölçümünde devreye 25 volt DC uygular. Ekranın sağ altındaki Kaçak Akım Ölçümü seçeneğine basılırsa test voltajı 120 volta çıkar ve ekranda yüksek voltaj uyarısı çıkar. Aynı devrede bu iki ölçüm değerleri arasında çok fark çıkıyorsa devrede oksitli ek var demektir.

Direnç dengesizliği ölçümünde sağlıklı bir devrede a teli ekran ve b teli ekran arası ölçülen direnç değerleri birbirine eşit veya çok yakındır. Aralarında %2 den fazla fark varsa direnç dengesizliği var demektir.

Kısa devreye mesafe (kablo boyu ölçümü) ölçümünde boyu ölçülecek kablo devresi kırmızı-siyah uçlara bağlanır. Hat sonu kısa devre edilir. Çap ve sıcaklık ayarlanır. Ekrandan kablo boyu ve loop direnci okunur.

Kısa devreye mesafe (kablo sıcaklığı ölçümü) ölçümünde Boyu ve iletken çapı bilinen bir yer altı veya havai kablonun sıcaklığı bu ölçüm ile kolayca bulunabilir. Kablo içinden bir devre hat sonundan kısa devre yapılır. İletken çapı seçilir. Λ ve V tuşları ile ekranda yazan uzunluk kablo boyuna eşit olana kadar sıcaklık değiştirilir. Ekranda okunan sıcaklık kablo sıcaklığıdır.

Kısa devreye mesafe metalik temas ve kısa devre arıza yeri ölçümünde metalik temas olduğundan emin olduğumuz iki ucu kırmızı ve siyah mandallara bağlarız. Çap ve sıcaklık değeri doğru girilirse ekranda okunan mesafe arıza yeridir.

DC akım ölçümünde telefon devresi üzerinden çekilen akımı ölçmek amacıyla kullanılır. 90 mA'e kadar DC akım ölçülebilir. Bir telefon devresine repartitörden kırmızı ve siyah uçları arasında ölçülen akım 25 mA den daha az çıkıyorsa; santral kablosu veya abone kartında sorun var demektir.

Açık devre ölçümlerinde iletkenler ve kapasitif değerlerden faydalanarak kablo boyu ölçümü, kapasitif yöntemle arıza analizi, kapasitif yöntemle kopuk arıza yeri ölçümü yapılabilmektedir. Bu ölçümde kırmızı –siyah uçlar devreye, yeşil uç da şaseye bağlanır. Kapasitans seçeneği ile < ve > tuşları kullanılarak uçlar arasında kapasite ölçülür. Sağlam bir devrede kırmızı-yeşil ve siyah-yeşil arası ölçülen değerler birbirine eşit çıkacaktır. Aynı kablo içinde ve aynı uzunluktaki bütün sağlam devrelerin kırmızı-siyah uçları (a-b) arası kapasite değerleri birbirine eşit veya çok yakındır. Bundan küçük çıkan devreler kopuk veya Kros arızası, büyük çıkan devrelerde ise temas, toprak veya bilinmeyen bir paralellik var demektir.

Kapasitif yöntemle kopuk arıza yeri ölçümünde Bir kabloda kopuk iletken ekran arası değer, sağlam iletken ekran arası değer den küçük çıkacaktır. Uzunluk ile kapasitif değer doğru orantılı olması özelliğinden faydalanarak kopuk arıza yeri kolayca hesaplanır.

$$Kopuk\ arıza\ yeri = \frac{C_{kopuk}}{C_{sağlam}} \times kablo\ boyu$$

Örneğin, kopuk bir devrede kopuk iletken ekran arası 58 nF sağlam iletken ekran arası 214 nF kapasite değerleri okunuyor kablo boyu 177 m ise arıza uzaklığı:

$$Kopuk\ arıza\ yeri = \frac{58}{214} \times 177 = 48\ m$$

Bir devrenin boylamsal balansı ne kadar yüksek ise devre o kadar dengeli demektir. Dengeli bir devre çevresel etkilerden etkilemez ve çevresini de etkilemez. Dengesiz bir devre çevresine yayın yapar.

Boylamsal balans:

>70 dB ise çok iyi

65-70 dB arası iyi

60-65 dB arası orta

55-60 dB arası kötü

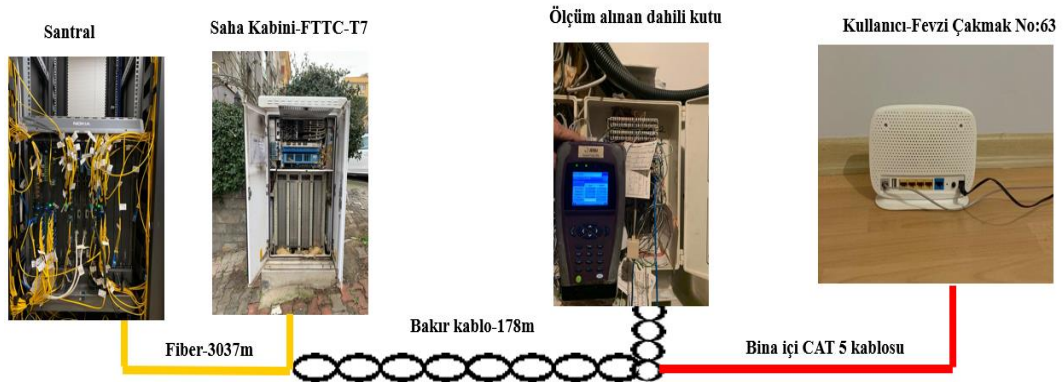
50-55 dB arası kötü veya arızalı

< 50 dB ise arızalı demektir.

Sinyalin yayılma hızında; TDR sinyallerinin kablo içerisindeki yayılma hızını ifade eder. Birimi m/μs dir. Ölçünün kalitesi bu hızın doğruluğuna bağlıdır. Bu hız devre iletkenlerini birbirinden yalıtım için kullanılan izolasyon maddesinin cinsine yani dielektrik sabitine ve az da olsa darbe genişliğine, hava boşluklu kablolarda içindeki neme bağlıdır. Elektrik sinyalleri kablo içerisinde;

$$V = \frac{\text{Işık Hızı}}{V\epsilon r} \text{ ile yayılır}$$

dolayısı ile V hızları kablodan kabloya değişiklik göstermektedir.



Şekil 3.12: FTTC Bağlantı Mimarisi

Şekil 3.12'te görüldüğü santral ile saha dolabı arasındaki sarı çizgi fiber kabloyu, saha dolabı ile binadaki dahili kutu arasındaki kablo bakır kabloyu, dahili kutu ile dairede bulunan kullanıcı arasındaki kabloyu kırmızı çizgi temsil etmektedir.

Dijital Abone Hattı Erişim Çoklayıcı (DSLAM), veri sinyallerinden ses sinyallerini ayıklayan ve dijital abone hattı (xDSL) cihazları ile abone cihazları (modem vb)

arasındaki trafiği icra eden aktif cihazdır. Konsol, Dijital Abone Hattı Erişim Çoklayıcıyı yapılandırmak, kontrol etmek ve yönlendirmek amacıyla kullanılan arayüzdür.

Bakır kablonun bit hızı saha dolabında buluna DSLAM'a kadar ölçülmüştür. Bu ölçüm için, DSLAM'ı yapılandırmak üzere standart VDSL2 profilleri kullanıldı. Profil VDSL2 için 100 Mbps indirme ve 8 Mbps yükleme şeklindedir. Ölçüm yukarıda belirtilen adımlara göre yapılmıştır.



Şekil 3.13: Bakır Kablo Ölçümü

Şekil 3.13’de ölçüm sonucunda görüldüğü üzere binadaki harici kutuda alınan hız kapasite verisi 41.2Mbps’dir. Fiziksel ölçülen bu hızı abonenin çalıştığı DSLAM’a bağlanarak network cihazı üzerinden Şekil 3.14’deki gibi 41212 Kbps olarak ölçülmüştür. İki ölçüm karşılaştırıldığında verinin %100 doğrulukla gerçekleştiği görülmektedir.

KAPASITE BİLGİLERİ		
DİKKAT: Bu değerler hattın en son AÇIK ya da KAPALI olduğu zamandaki değerleri yansıtır. Karşı tarafta modem oturmuş olmasa bile, en son modem oturduğu zamandaki değerler gösterilir.		
TRAFİK YÖNÜ	DOWNLOAD	UPLOAD
Mevcut Hızı	41212 Kbps	6140 Kbps
Kapasite Hızı	42421 Kbps	21219 Kbps
Attenuation	12.3 dB	18.7 dB
Noise Margin	6.8 dB	20.1 dB
Çıkış Gücü	14.5	8.1
Analiz Verileri Hız Haritaya Gönder		

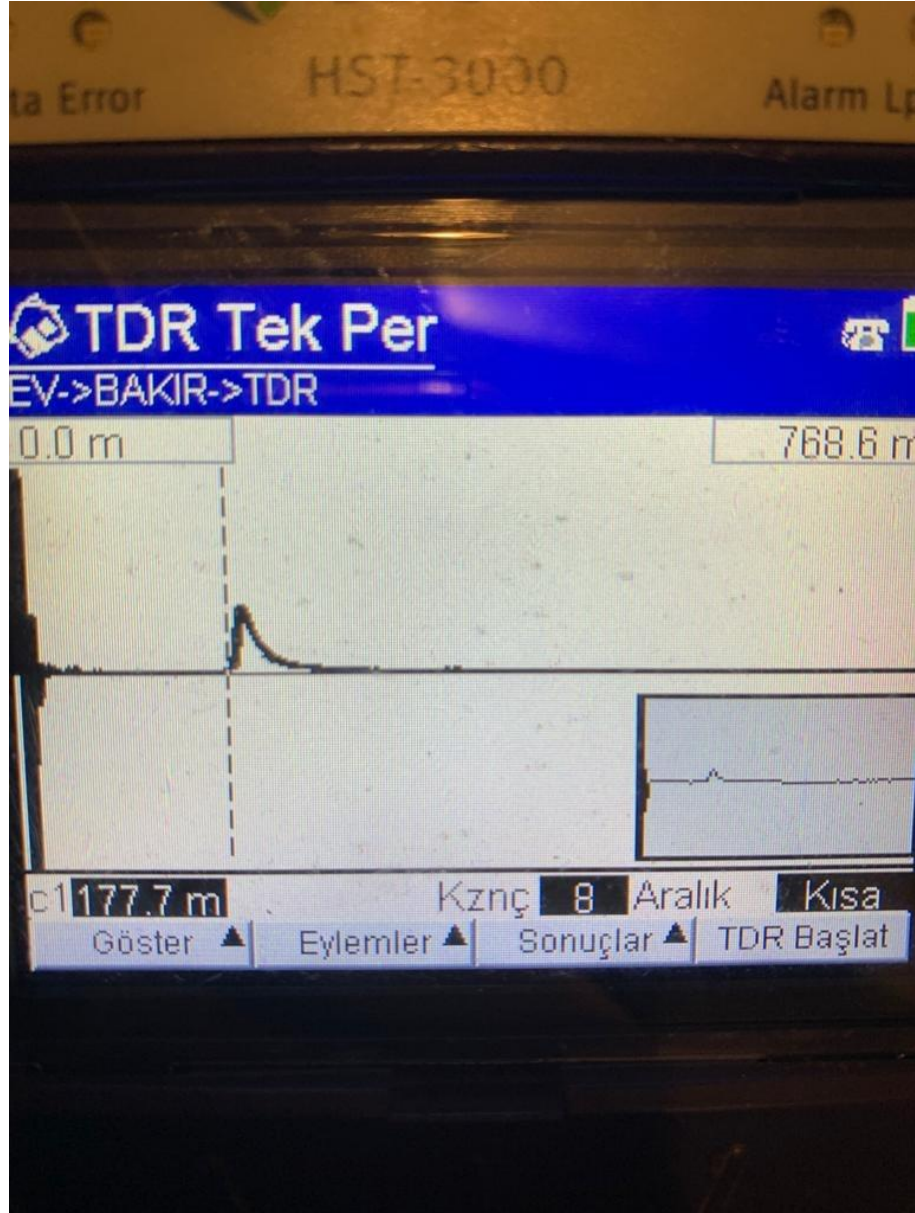
Şekil 3.14: DSLAM Üzerinden Kapasite Ölçümü

Yukarıdaki ilk ölçüm hız-kapasite karşılaştırması üzerinden olmuştur. İkinci ölçüm mesafe ilişkisini yorumlamak üzerinden olacaktır.

Şekildeki 3.16'deki ölçüm sonucunda görüldüğü üzere binadaki harici kutuda alınan mesafe 177.7m'dir. Fiziksel ölçülen bu hızı abonenin çalıştığı DSLAM'a bağlanarak network cihazı üzerinden Şekil 3.15'deki gibi 170m olarak ölçülmüştür. İki ölçüm karşılaştırıldığında verinin %96 doğrulukla gerçekleştiği görülmektedir.

ALTYAPI BİLGİLERİ	
Dslam	Z9806HO_99UMRANIYE_738_184_T7_ZTE015019
Shelf/Kart/Port	SR-1/UN-2/LN-16 Shelf Resmi
CRM Kart Numarası	2 Kart Resmi
CRM Hız Profili	35840/6144
NMS Hız Profili	VBASE.PRF 41216/6144.PRF VDPBODEF.PRF VUPBODEF.PRF
DK Santrale Uzaklık (metre)	170
SD Santrale Uzaklık (metre)	0

Şekil 3.15: DSLAM Üzerinden Mesafe Ölçümü



Şekil 3.16: Dahili Kutu Üzerinden Mesafe Ölçümü

3.4. GPON'nun Ölçümü

Bu bölümde GPON ölçümü fiziksel olarak OTDR cihazı ile ayrıca hem abonenin modemi üzerinden ölçülmüş olup hem de ve Optisystem 13.0 simülasyon programında modellenmiştir. Karakteristikleri incelenerek çeşitli bulgular elde edilmiştir.

Ölçümlerden önce, saha dolabı (FTTC-T7) ile Fevzi Çakmak Cad. No:63 adresinde bulunan splitter arasındaki fiber optik kablo, fiber optik kablonun hasar görmediğini doğrulamak için kontrol edildi. Bu işlem için Viavi marka Smart OTDR model Optik Zaman Alanlı Reflektometre (OTDR) kullanılmıştır. OTDR, bir fiber kablodaki zayıflamayı, yansımayı ve kaybı ölçmek için kullanılan bir araçtır. OTDR'ın genel olarak çalışma prensibi:

- Darbe üreticisi bir lazer darbesi üretir. (3ns-20µs) Darbe fiberin sonuna kadar gider ve geri döner.
- Yol boyunca her noktadan, az da olsa, geri yansır ve geri yansıyan ışık cihaz içindeki sensör ile (O/E dönüştürücü) alınır.
- Yansıyan ışık miktarı zamana bağlı olarak ölçülür.
- Işık fiber içinde karşılaştığı olaylarda (ek, konektör, hat sonu bending v.b) farklı miktarlarda geri yansır.
- Işığın hızı bilindiğinden hangi zamanda ne kadar geri yansıyan ışık alındığına bakılarak mesafe hesaplanır. Sonuç ekranda bir grafik olarak gösterilir.

Fiber kaybı genellikle genel sistem performansı üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Kablo üreticileri kilometre başına dBm cinsinden kayıp faktörü sunmaktadır. Toplam fiber kaybı hesaplaması, mesafe x kayıp faktörüne göre yapılır. Bu durumda mesafe, yalnızca harita mesafesi değil, fiber kablonun toplam uzunluğudur. Şebekede meydana gelen kayıplar optik bölücüler, fiber ek noktaları ve optik fiber (patch vb) kaynaklanır. Optik fiberin uzunluğuna ve dalga boyuna bağlı olarak kilometre başına 0.25-0.35dBm fiber kayıpları oluşur. Erişim şebekesine göre ve sahada dağıtım noktalarına göre belli mesafelerde yapılan planlamaya göre kablolar ek noktalarında bölünebilmektedir. Örneğin 72'lik fiber planlamaya göre

48-6-6-6 olarak bölünebilir. Bu durum her ek noktasında 0.1dBm’lik bir kayıp oluşur. İki tür ek yeri vardır. Liflerin uçlarında bir dizi konektör kullanan mekanik ve lif uçlarının fiziksel olarak doğrudan eşleşmesi olan füzyon. Mekanik ek yeri kaybı genellikle her bir konektör için 0,7 ila 1,5 dBm aralığında hesaplanır. Füzyon ekleri, her bir ek yeri için 0,1 ile 0,5 dBm arasında hesaplanır. Sınırlı kayıp faktörü nedeniyle de mekanik ek yerine füzyon ekleri tercih edilir. Füzyon eklerinde işçilik çok önemlidir. Ek sırasında lifler arasındaki toz da extra kayıp oluşturabilir. Aynı zamanda maşonların iyi ısıtılmaması da sorunlara neden olmaktadır. ODC’lerde kullanılan ara kablo (patch cord) ortalama 1 dB gibi kayıp oluşturmaktadır. Son olarak kullanılan splitter(bölücüler) de bölünme oranına göre extra kayıp oluşturmaktadır. Tablo bölücülerin kayıp oranı sunulmuştur.

Tablo 3.1: Fiber zayıflama

Fiber Tipi	Dalga boyu	Fiber Zayıflama /km (1)	Konnektör Kaybı	Ekleme Kaybı
Tek Mod 9um	1310nm	0,4 dB	0,75 dB	0,1 dB
Tek Mod 9m	1550nm	0,3 dB	0,75 dB	0,1 dB

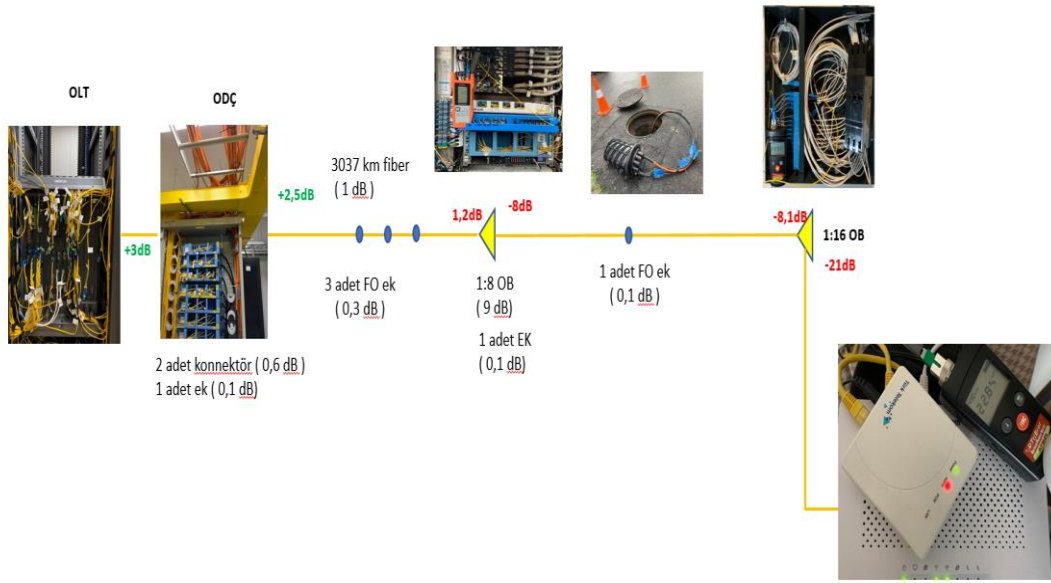
OLT’yi verimli kullanabilmek için bölgesel planlama yapılması önemlidir. Lokasyondaki homepass(daire) sayısı göz önüne alınarak planlama yapılmalıdır. OLT’nin her PON portundan sahaya doğru 1 elyaf fiber planlanmalıdır. Fiber planlaması yapılırken mutlaka optik bütçe hesabı yapılmalıdır. OLT çıkış sinyali 0 ile +5 dBm arasında olup ONT -28 dBm ile -11 dBm arasında olmalıdır. OLT’ den itibaren ONT’ ye kadar optik bölücüler (splitter) dahil toplam kayıp 28 dBm’ yi geçmemelidir.

Özetle, fiber uzunluğunun yanı sıra eklerin ve konektörlerin sayısının bilindiği belirli bir fiber optik bağlantı yoluyla toplam bağlantı kaybını tahmin edecektir.

Bağlantı Kaybı = [fiber uzunluğu (km) x km başına fiber zayıflaması] + [ek yeri kaybı x bağlantı sayısı] + [konnektör kaybı x konektör sayısı] + [güvenlik marjı]

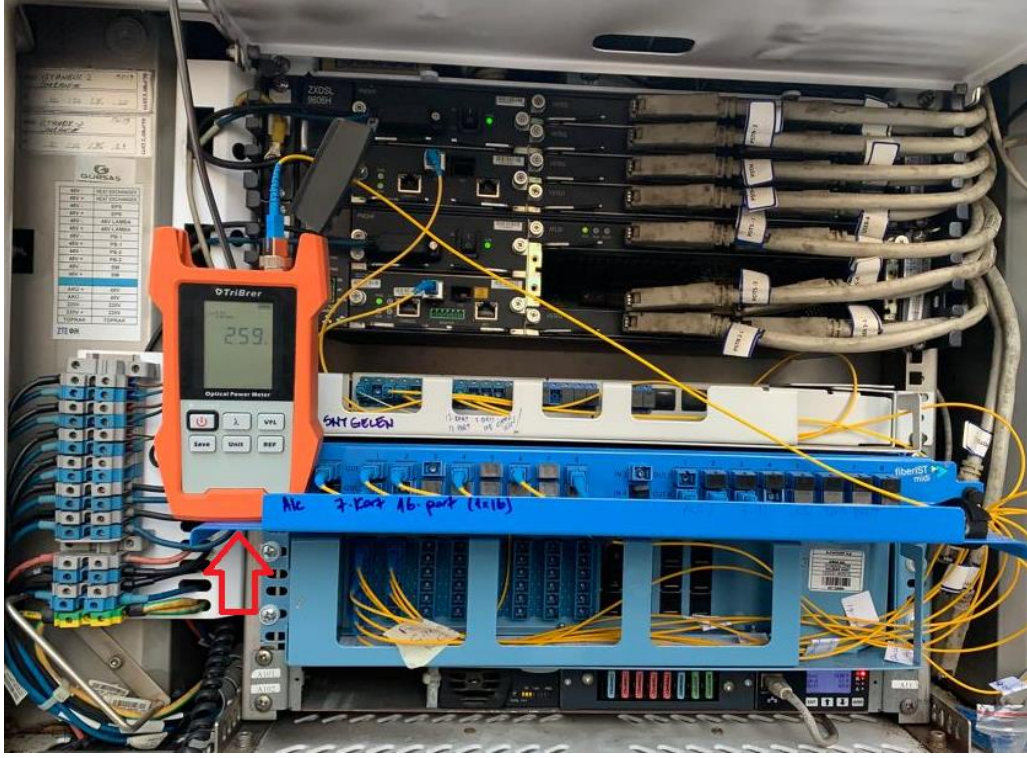
Örneğin, 4 ek yeri ile 1550 nm'de 30 km'lik tek modlu bir bağlantı 2 konektör çifti bağlanmış olduğunu varsayalım varsayalım.

$$\text{Bağlantı Kaybı} = [30\text{km} \times 0,3\text{dB/km}] + [0,1\text{dB} \times 4] + [0,75\text{dB} \times 2] + [3,0\text{dB}] = 13,9\text{dB}$$

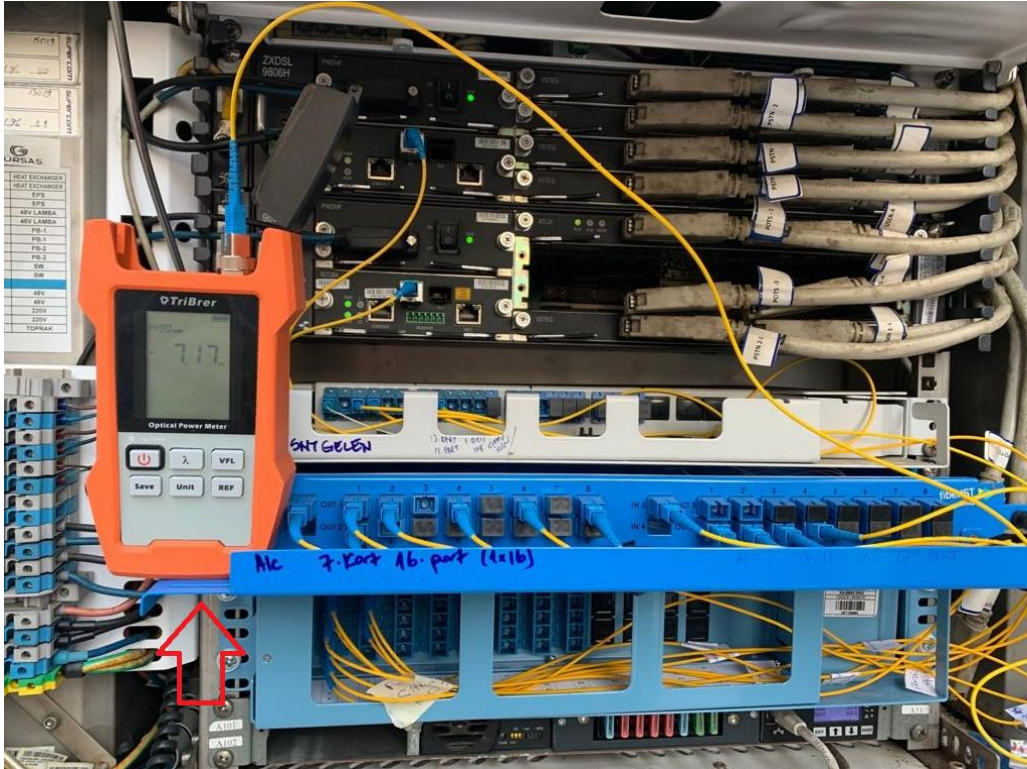


Şekil 3.17: FTTH şebekesi dBm Kaybı

Teoride hesaplanan saha dolabı girişindeki 1.2 dBm ve Saha dolabı çıkışındaki -8dBm fiziksel olarak saha dolabında ölçümü Şekil 3.18, 3.19'de yapılmıştır. Şekil 3.17'de görüldüğü üzere pon power metre ile saha dolabı girişinde 2.59dBm Şekil 3.19'de ise saha dolabı çıkışında -7.17dBm ölçülmüştür.

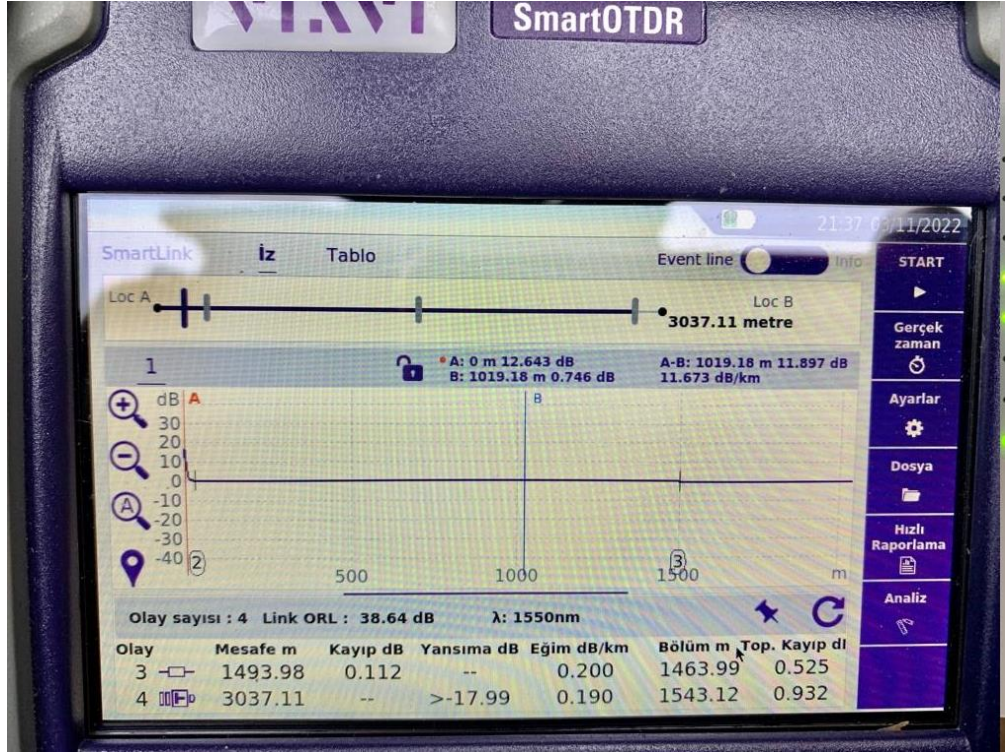


Şekil 3.18: Saha Dolabı Girişi dBm Ölçümü



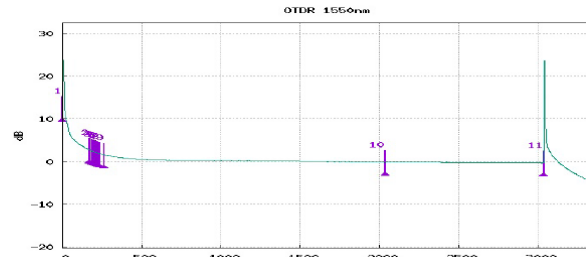
Şekil 3.19: Saha Dolabı Çıkışı dBm Ölçümü

Aynı ölçüm OTDR ile Şekil 3.20'deki gibi yapılmıştır. Saha dolabı ile santral arası mesafe de 3037m olarak bulunmuştur.



Şekil 3.20: Saha Dolabı Girişi OTDR Ölçümü

Ayarlar		Lazer	Pw	Menzil	Ölçüm Süresi	IOR	Saçılım Katsayısı			
OTDR		1550nm	30ns	5km	10.0s	1.46800(G652 G657)				
EXPERT										
Alarmlar		Eşik	None							
Özet										
Dosya ismi	Lazer nm	Toplam Kayıp dB	Link ORL dB	Fiber Sonu m	Yön	Ort. Kayıp	Olay	Alarmlar		
Cable_172_1550_OE.sor	1550	3.046	54.09	3037.11	Loc A -> Loc B	1.003	11			
	-		-		-		-			
0.00		172.95		184.43		197.20		206.13		
218.26										
							</			



Olay	Mesafe m	Kayıp dB	Yansıma dB	Eğim dB/km	Bölüm m	Top. Kayıp dB
1	0.00	~	>-17.49		0.00	0.000
2	172.95	0.179			172.95	0.034
3	184.43	0.185			11.49	0.215
4	197.20	0.109			12.76	0.403
5	206.13	0.166			8.93	0.513
6	218.26	0.098			12.13	0.682
7	227.83	0.094			9.57	0.782
8	236.13	0.200			8.30	0.878
9	263.57	0.939			27.44	1.083
10	2040.27	-0.126		0.539	1776.70	2.979
11	3037.11		>-17.01	0.193	996.84	3.046

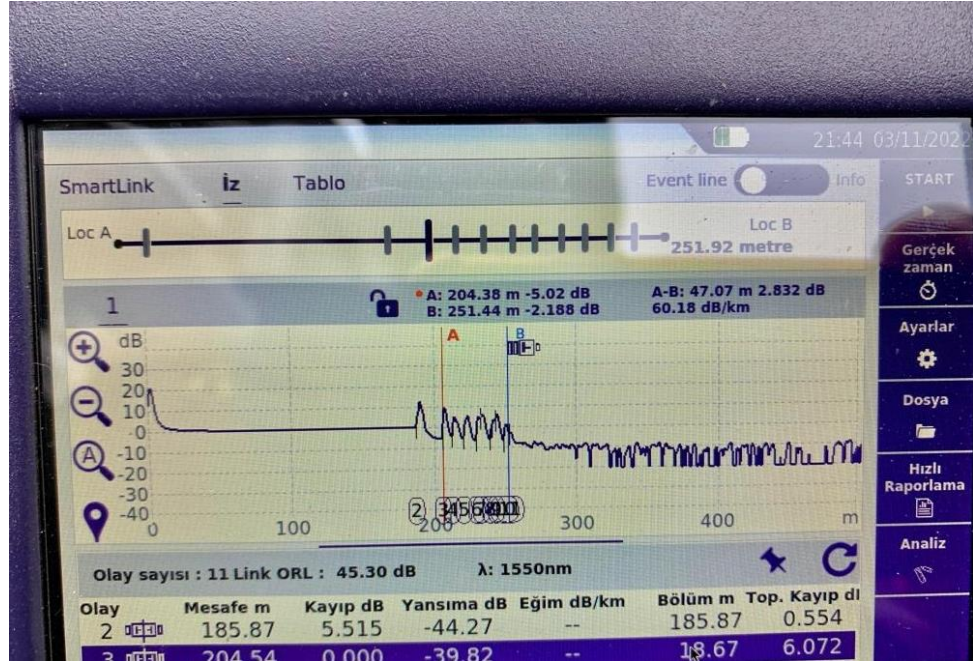
Şekil 3.21: Saha Dolabı Girişi OTDR Raporu

GPON'da ikinci adımdaki ölçümler binada bulunan 1x16 splitter üzerinden yapılmıştır. Teorik olarak -21dBm olarak hesaplanan değer Şekil 3.22'de görüldüğü üzere splitterda -22.93 dBm alınmıştır.



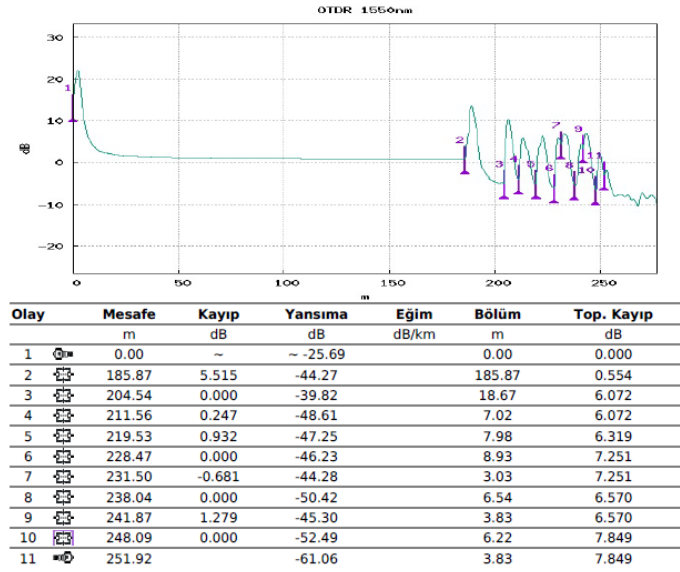
Şekil 3.22: Bina1x16 Splitter Çıkışı Pon Power Metre dBm Ölçümü

Aynı ölçüm OTDR ile Şekil 3.23'deki gibi yapılmıştır. Saha dolabı ile Fevzi Çakmak Cad. No:63 adresindeki splitter ile yapılış olup Şekil 3.23'de sunulmuştur. Saha dolabı ile adres arası mesafe 251m olarak ölçülmüştür.



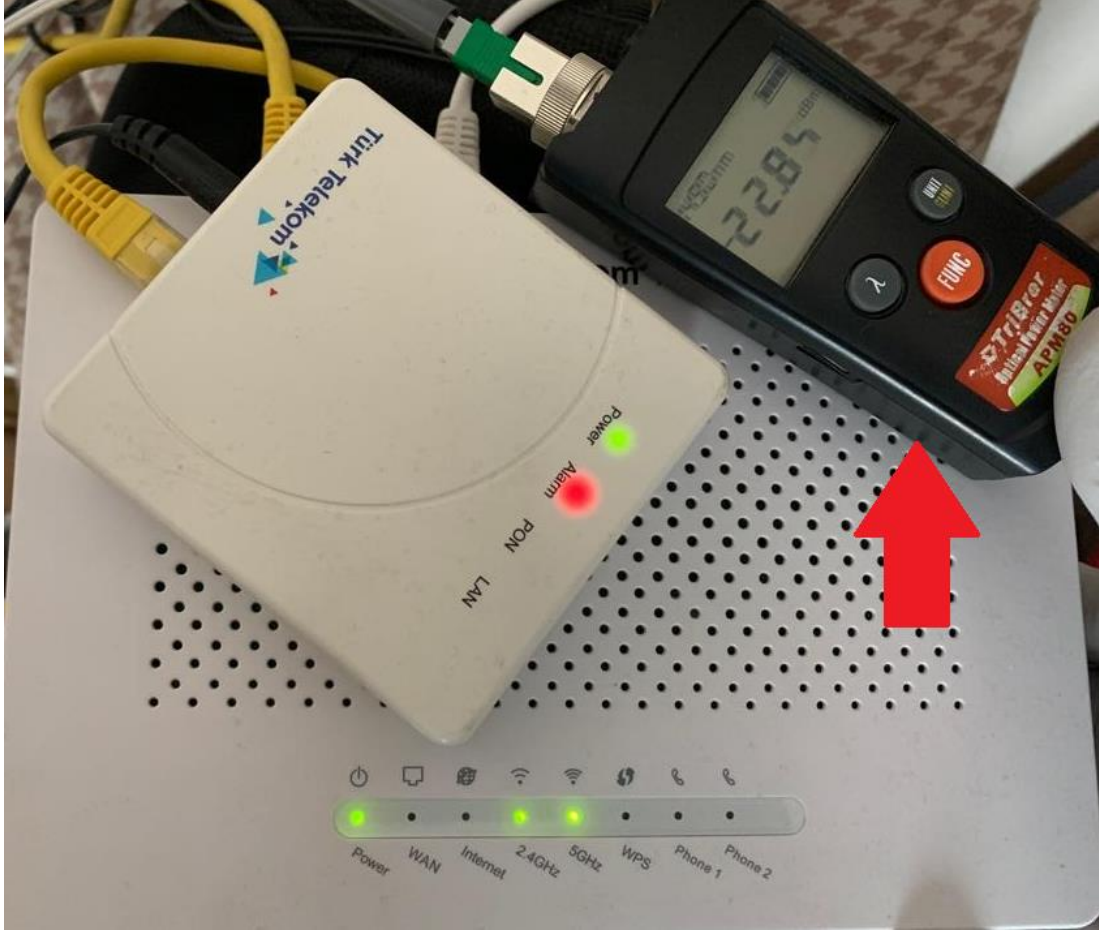
Şekil 3.23: Bina1x16 Splitter Çıkışı OTDR Ölçümü

SmartOTDR (S/N 44056)	E138FA65 (S/N 44056)	Calibration date : 2021/8/4	Tarih : 03/11/2022 21:43 (UTC+0)
Ayarlar OTDR EXPERT Alarmlar	Lazer 1550nm Pw 10ns Menzil 490m Ölçüm Süresi 10.0s IOR 1.46800(G652 G657) Saçılım Katsayısı -81.0 dB		
Özet Dosya ismi Cable_173_1550_OE.sor	Eşik None		
	Lazer nm 1550	Toplam Kayıp dB 7.849	Link ORL dB 45.30
	Fiber Sonu m 251.92	Yön Loc A -> Loc B	Ort. Kayıp 31.157
			Olay Alarmlar 11
0.00 185.87 204.54 211.56 219.53 228.47 231.50 238.04 241.87 248.09 251.92 m			



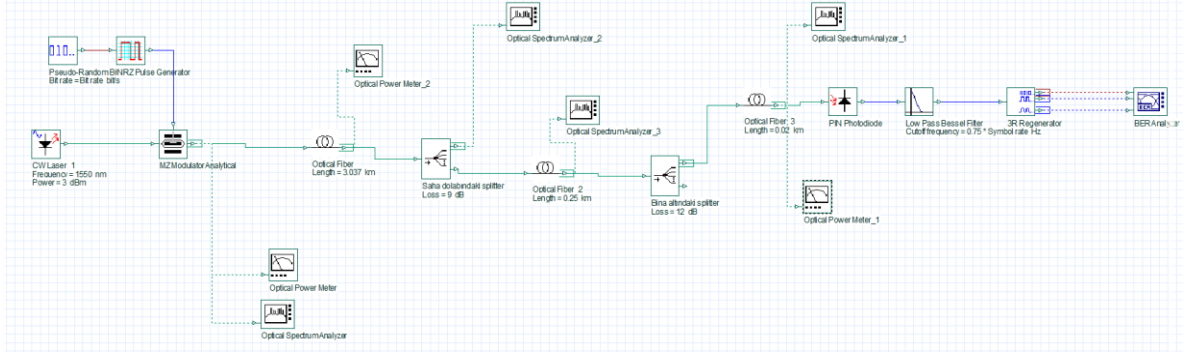
Şekil 3.24: Bina1x16 Splitter Çıkışı OTDR Raporu

Üçüncü ve son ölçüm müşterinin uç cihazında yapılmıştır. 1794717419 hizmet numaralı müşterinin dairesinden yapılan ölçüm Şekil 3.25’de paylaşılmıştır. Daire içinden pon power metre ile alınan ölçüm -22,84dBm’dir.



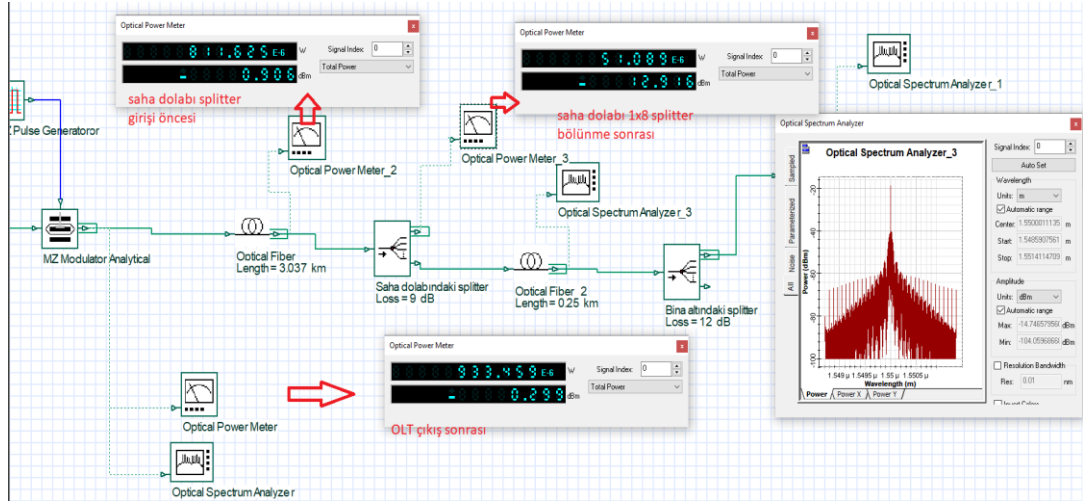
Şekil 3.25: Uç Cihazdan dBm Ölçümü

Teorik olarak hesaplanan değer, pon power metre ve OTDR ile ölçümler yapıp yukarıda açıklanmıştır. Son olarak tüm mimari OptiSystem 13.0 programında modellenerek karşılaştırılmıştır. Modelleme yaparken sahada çekilen fiber kablo ve kullanılan splitter kapasiteleri birebir girilmiştir. Mimarının modellenmesi Şekil 3.26’de sunulmuştur.

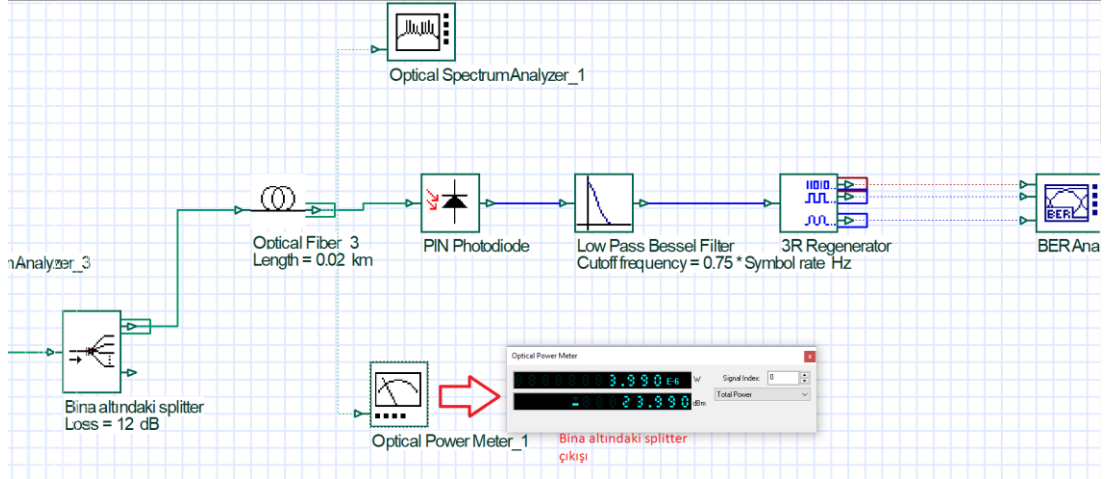


Şekil 3.26: FTTH Mimarisi OptiSystem Modellemesi

Modellemede fiziksel olarak pon power metre ile ölçülen saha dolabındaki 1x8 splitter girişi 2,59 dBm'dir. Similasyonda bu değer -0,9 dBm olarak ölçülmüştür. Pon power metre ile splitter çıkışı 7,22 dBm ölçülmüştü. Similasyonda splitter çıkışı değeri -12,916dBm'dir. Giriş ve çıkış farkı pon power metre ile 9,81dBm'dir. Similasyonda ise giriş ve çıkış farkı 12 dBm'dir. Fiziksel ölçüm ve similasyon arasındaki 2dBm'lik fark ölçü cihazı hassasiyeti ve splitterdaki ek kayıbdır.



Şekil 3.27: OptiSystem Modellemesi Saha Dolabı 1x8 Splitter Giriş-Çıkış dBm Ölçümü



Şekil 3.28: OptiSystem Modellemesi Binadaki 1x6 Splitter Çıkışı dBm Ölçümü

3.5. FTTC ve GPON Ağın Maliyet Karşılaştırılması

Bu bölümde FTTC şebeke ve FTTH şebekenin yatırım (CAPEX) maliyet karşılaştırılması sunulmuştur.

Tablo 3.2’de ölçümlmeleri yapılan FTTH için tüm maliyet kalemleri detaylı olarak çıkarılmıştır. Aynı şekilde FTTC mimarisinin de Tablo 3.3’de detaylı maliyet kalemleri çıkarılmıştır. Kıyaslamayı doğru yapmak amacıyla işçilik kalemleri her iki mimaride de Türk Telekomünikasyon 2022 global ihale yönetim maliyet kalemlerinden alınmıştır. Aynı sitenin FTTH şebekesi için 120K, FTTC şebekesi için 239K maliyet çıkarılmıştır.

Tablo 3.2: FTTH Şebeke Maliyet Tablosu

POZ ADI	MİKTAR	BİRİM	POZ TİPİ	BİRİM FİYAT	TOPLAM
4-6-12-24-36-48 kapasitede F/O Kabloların eke hazırlanması ve ek kutusu/patch panel/modül/OFEB/OB/OFBSB montajı	2	Ad	İşçilik	177	354
Fiber ek yapımı veya terminasyonu	236	Ad	İşçilik	21	4935
FO-Y 6 (i2)	400	mt	Malzeme	13	5163
FO-Y 72 (i2)	50	mt	Malzeme	24	1219
1X16 OB OFDK ŞEKLİNDE PLASTİK EPKM	1	Ad	Malzeme	443	443
1x8 OB OFDK Şeklinde EPKM	1	Ad	Malzeme	293	293
Fiber veya Bakır Dağıtım kutusu montajı	2	Ad	İşçilik	40	80
1-2 kapasitede F/O Kabloların eke hazırlanması ve ek kutusu/patch panel/modül/OFEB/OB/OFBSB montajı	38	Ad	İşçilik	11	404
1x1 OBK (OUTDOOR) EPKM	200	mt	Malzeme	3	607
TK-OBF SC 2 m (i)	4	Ad	Malzeme	6	25
Yeraltında her kapasitede ve tipte kablo çekimi	3400	mt	İşçilik	6	21211
1x1 OBK (400N) EPKM	1440	mt	Malzeme	1	1727
60-72-96 kapasitede F/O Kabloların eke hazırlanması ve ek kutusu/patch panel/modül/OFEB/OB/OFBSB montajı	4	Ad	İşçilik	223	892
Bina içi kablo kanalından her türlü kablo çekimi	1440	mt	İşçilik	3	4344
FO-Y 96 (i2)	2600	mt	Malzeme	30	78773
				TOPLAM TUTAT	120469

Tablo 3.3: FTTx Şebeke Maliyet Tablosu

POZ ADI	MİKTAR	BİRİM	POZ TİPİ	BİRİM FİYAT	TOPLAM
KPDF-AP 50-0.5 (i2)	110	mt	Malzeme	47	5116
KPDF-AP 100-0.5 (i2)	70	mt	Malzeme	88	6186
Bekt A (i2)	1	Ad	Malzeme	130	130
Sayaç montajı	1	Ad	İşçilik	36	36
Fiber ek yapımı veya terminasyonu	200	Ad	İşçilik	21	4182
4-6-12-24-36-48 kapasitede F/O Kabloların eke hazırlanması ve ek kutusu/patch panel/modül/OFEB/OB/OFBSB montajı	2	Ad	İşçilik	177	354
Çatal Ek Kiti (i2)	3	Ad	Malzeme	16	47
Küçük Konnektör (0.4, 0.5) (i2)	500	Ad	Malzeme	0	187
FO-Y 6 (i2)	400	mt	Malzeme	13	5163
FTTx küçük tip kabin (Tip 7, 11, 13 ve 15) beton kaidesi (i2)	1	Ad	Malzeme	562	562
Sigorta veya röle montajı	1	Ad	İşçilik	13	13
POTS Kartı	2	Ad	Malzeme	8971	17941
FTTx Kabin kaidesinin yerine yerleştirilmesi	1	Ad	İşçilik	595	595
Kesmeli Modül (10 luk) (i2)	5	Ad	Malzeme	45	225
10 luk terminasyon yapılması	5	Ad	İşçilik	13	65
VDSL Kartı	4	Ad	Malzeme	9085	36338
Enerji kablosu terminasyonu	2	Ad	İşçilik	6	13
TİP-7	1	Ad	Malzeme	62010	62010
Fiber veya Bakır Dağıtım kutusu montajı	1	Ad	İşçilik	40	40
İletkenlerin Eklenmesi	250	Çift	İşçilik	3	840
Harici tip FTTx Kabin montajı	1	Ad	İşçilik	218	218
4x10 NYY 1KV	20	mt	Malzeme	49	974
Yeraltında her kapasitede ve tipte kablo çekimi	3000	mt	İşçilik	6	18715
Kurulu güç üzerinden kabin enerji bağlantı işleri ve abonelik işlemleri takibi	1	Ad	İşçilik	338	338
60-72-96 kapasitede F/O Kabloların eke hazırlanması ve ek kutusu/patch panel/modül/OFEB/OB/OFBSB montajı	3	Ad	İşçilik	223	669
FO-Y 96 (i2)	2600	mt	Malzeme	30	78773
1 Fazlı Nötr Kesmeli Anahtarlı Otomatik Sigorta (40 A.e kadar) (i2)	1	Ad	Malzeme	83	83
TOPLAM					239812

4.SONUÇ

İlk nesil fiber optik teknolojisi, sunmuş olduğu faydalarla birlikte 1970'lerden sonra hayatımıza girmeye başlamıştır. Bilgileri kısa sürede güvenli olarak çok uzak mesafelere iletmeleri hasebiyle tercih edilen fiber optik erişim şebekesi mimarisinin popülerliği gittikçe artmaktadır. Türkiye'de nesil fiber sistemleri son 15 yıldır kullanmaya başlanmıştır. Ülkemizde fiber altyapının yaygınlaştırılması ve gelişimi bakımından çalışmalar özenle sürdürülmektedir. Kullanıcıların esneklik, güvenlik, yüksek bant genişliği, hız, daha geniş kapsama özellikleri sunan fiber teknolojisi temel ihtiyaçlardan biri haline gelmiştir. Dünyada veri iletimi için yaygın olarak tercih edilen ve bakır teknolojisinin yerini alan fiber altyapının gün geçtikçe kullanımı yaygınlaşmaktadır. Dolayısıyla sunmuş olduğum tez çalışmasında çeşitli parametreler kullanarak yapılan karşılaştırmada bu durumun önemi de vurgulanmıştır.

Sunulan tezde GPON'un genel performansı, FTTC şebekesinin genel performansı, aralarındaki network analizi, karşılaştırması ve maliyet analizi detaylı olarak yapılmıştır. Analiz yapılırken Ümraniye İlçesi Tantavi Mah. Fevzi Çakmak Cad. No:63 adresinde bulunan bir site FTTC ve FTTH olarak şebekelendirilmiştir. FTTC ve FTTH mimarideki santral ve son kullanıcıya kadar tüm parametreler incelenerek analiz edilmiştir. Tezde sunulan parametreler analiz edilirken matematiksel modelleme yapılmış sonrasında sahada birebir fiziksel olarak ölçümler yapılmıştır. Matematiksel hesaplama ve fiziksel ölçümlerin %100'e yakın örtüştüğü tespit edilmiştir.

Ağların sağlayabileceği bit hızları ölçülmüştür. Ölçümde aynı binada bulunan FTTC şebekeden çalışan 8842320109 hizmet numaralı VDSL aboneli ile 1794717419 hizmet numaralı GPON aboneli karşılaştırılmıştır. FTTC şebekeden beslenen 8842320109 hizmet numaralı abonenin hız kapasitesi 41212 Kbps hız alabilirken FTTH şebekeden beslenen 1794717419 abonesinin hız kapasitesi 1GB'dır. 1 Gbps kapasiteyi servis sağlayıcı sınırlandırmaktadır. İki şebekedeki hız parametresi karşılaştırması sonucunda FTTH, FTTC'ye göre 24 kat daha hızlıdır.

Tez kapsamında fiber mimarideki kayıplar detaylı olarak karşılaştırılarak hesaplanmıştır. Matematiksel hesaplamada konnektör kaybı, fiber mesafesi, ek kaybı, splitter kaybı gibi parametreler hesaplanarak saha dolabının girişi 1.2 dBm çıkışı -8 dBm hesaplanmıştır. Aynı ölçümü fiziksel olarak pon power metre ile ölçüldüğünde saha dolabının girişi 2.9 dBm çıkışı -7.17 dBm hesaplanmıştır. Aynı mimari OptiSystem 13.0 simülasyon programında modellenerek ölçülmüştür. OptiSystem 13.0 simülasyon programında saha dolabının girişi -0.299 dBm çıkışı -12.916 dBm hesaplanmıştır. Benzer ölçüm bina altında bulunan splitter üzerinde de yapılmıştır. Bina altındaki splitter Matematiksel hesaplamada -21 dBm çıkışı sunarken fiziksel olarak pon power metre ile ölçümde -22.93 dBm OptiSystem simülasyonunda ise -23.990 dBm olarak ölçülmüştür. Tez kapsamında bütün kayıp nedenleri detaylı olarak açıklanmıştır.

Aynı adresteki FTTC şebeke ve FTTH şebeke son olarak yatırım maliyeti (CAPEX) olarak karşılaştırılmıştır. Kıyaslamayı standartlaştırmak amacıyla işçilik kalemleri her iki mimaride de Türk Telekomünikasyon 2022 global ihale yönetim maliyet kalemlerinden alınmıştır. Aynı sitenin FTTH şebekesi için 120K, FTTC şebekesi için 239K olarak bulunmuştur. FTTC mimarisinin yatırım maliyeti (CAPEX) FTTH'e oranla 2 katındadır.

KAYNAKLAR

Abbas Y. S. 2016, Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama Yönteminin Kullanıldığı Pasif Optik Ağlarda Dört Dalga Karışımı Olayının Etkilerinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa

Chamberland, S. 2008, Planning multitechnology access networks with performance constraints. In: Proceeding of AccessNets, vol. 6, Las Vegas, USA,

J. Cuchran, R. Roka. 2001, The evolution of the access network's infrastructure for the expansion of new broadband services and applications, European Conference on Optical Communication, Volume 33, Bratislava, Slovakia

Kayhan, E. 2015, Dalgaboyu bölmeli çoğullama yöntemini kullanan bir gigabit pasif optik ağ sisteminin modellenmesi ve performans analizi, Yüksek Lisans Tezi, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa

K. Casier, B. Lannoo, J. Van Ooteghem, S. Verbrugge, D. Colle, M. Pickavet, P. Demeester, 2008, "Adoption and Pricing: The Underestimated Elements of a Realistic IPTV Business Case", IEEE Communications Magazine, ISSN 0163-6804, vol. 46, no. 8, pp.112-118

Mahmoud M. Al-Quzwini. 2014, Design and Implementation of a Fiber to the Home FTTH Access Network based on GPON, International Journal of Computer Applications, Volume 92, Issue 6

Salah Al-Chalabi, 2012, "Optically Powered Telephone System over Optical Fiber with High Service Availability and Low Risk of Investment in FTTH Infrastructure," IEEE Communications Magazine, vol. 92, no. 6, pp.102-119

Sandvine, 2018, “The Global Internet Phenomena Report October 2018”,
<https://www.sandvine.com/hubfs/downloads/phenomena/2018-phenomenareport.pdf>, Erişim Tarihi: 22.01.2023

Shumate, P. W. 2008, Fiber-to-the-Home: 1977–2007, Journal Of Lightwave Technology, Vol. 26, No. 9.

T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu Başkanlığı, Yıllık Pazar Verileri Bülteni, 2022

Tsubokawa, M., Kumozaki, K. 2009, Evolution of next generation access. In: Proceedings of IEEE Globecom. New Orleans, USA,

Turna, Ö. C., Aydın, M. A. ve Zaim, A. H., 2009, “Pasif Optik Erişim Ağlarının Gelişimi”, 11. Akademik Bilişim (AB’09), Harran Üniversitesi, şanlıurfa,

Wibisono G. 2020, The advantage of blown fiber technology for out site plan network deployment than conventional cabled optical fiber system in Depok apartment projec. 4th International Seminar on Sensors, Instrumentation, Measurement and Metrology, Journal of Physics: Conference Series, vol. 1528, pp. 53-54, USA

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Furkan OCAK
Doğum Yeri Tarihi	Akçaabat/10.12.1989
Uyruğu	T.C.
Cep telefonu	05530466161
E-mail	furkan.ocak@turktelekom.com.tr



Eğitim Düzeyi

	Mezun Olduğu Kurumun Adı	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mühendislik Yönetimi(Tezsiz)	2020
Yüksek Lisans	İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İşletme(Tezsiz)	2020
Yüksek Lisans	İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği(Tezli)	2019
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği	2014
Lise	Akçaabat Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

	Görevi	Kurum	Süre (Yıl - Yıl)
1	Saha Operasyonları Mühendisi	Türk Telekomünikasyon A.Ş.	2016-Devam
2	Elektrik Elektronik Mühendisi	Aşkale Çimento Sanayii A.Ş.	2015-2016