



# Optik Haberleşme Sistemlerinde Kullanılan FTTX Teknolojisi ve Uygulamaları

## FTTX Technology and its Applications in Optical Communication Systems

İbrahim Uzar, N. Özlem Ünverdi

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Yıldız Teknik Üniversitesi

ibrahim.uzar@yahoo.com, unverdi@yildiz.edu.tr

### Özet

Bu çalışmada, fiber optik kablo yapısı ve optik iletişim sistemlerinin çalışma prensipleri ve haberleşme sektöründe fiber optik kabloların avantajları ve dezavantajları araştırılmıştır. FTTX (Fiber to the X, X'e Kadar Fiber) uygulamalarındaki aktif ve pasif ağ mimarileri hakkında bilgi verilmiş ve kullanılan teknik ekipmanlar incelenmiştir. Günümüzde önemi giderek artan çoklu erişim yöntemlerine FTTX uygulamaları yönüyle bakılmıştır. Optik haberleşme sistemlerindeki yeni nesil erişim şebekeleri incelenmiş ve FTTX'deki X harfinin gideceği yere göre mimari yapıları şekillerle gösterilmiştir. OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile FTTX uygulamalarındaki pasif optik ağlarla ilgili, GPON FTTX ve GPON FTTB simülasyonları yapılmış ve analiz edilmiştir.

### Abstract

*In this study, fiber optical cable structure, principles of optical communication systems, advantages and disadvantages of fiber optical cables in the communication industry have been investigated. Information about active and passive optical network architectures in the FTTX, Fiber to the X, applications have been given and technical equipments used have been studied. Multiple access methods which became increasingly important recently have been studied as FTTX applications. Next-generation access networks in the optical communication systems have been examined and architectures of the destination of the letter X in the FTTX have been illustrated. GPON FTTX and GPON FTTB simulations of passive optical networks in FTTX applications have been performed on the OptiSystem 7.0 simulation software and the results were analyzed.*

### 1. Giriş

Haberleşme ağlarında veri iletişiminin yanında ses ve video trafiğinin taşınması ve yeni uygulamaların gündeme gelmesi ile birlikte internet omurgasında yüksek band genişliğine ihtiyaç duyulmuştur. Bu yönüyle iletişim teknolojilerinde optik haberleşmenin önemi kullanılan optik cihaz çeşitleri ve veri, ses ya da video hizmetinin verileceği lokasyona uygun altyapı seçimiyle artmaktadır. Kullanıcıların ihtiyaçlarının sağlanması adına optik fiberin çeşitli konumlarına göre hizmetler farklılaşmıştır. Gelecekteki sistemlerin ise optik

fiberin doğrudan son kullanıcıya ulaştığı sistemler olması öngörülmektedir. FTTX sistemleri günümüzde kullanılmakta ve daha fazla kullanılması adına çalışmalar devam etmektedir.

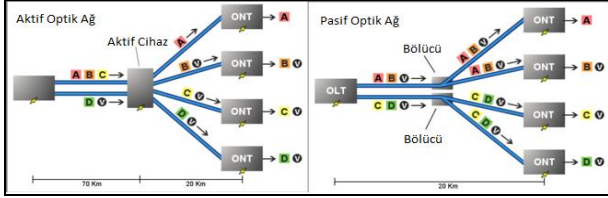
İnternet kullanımının önemli hale gelmesi ve kullanım alanlarının artması ile daha önceleri yapılan küçük boyutlu internet kullanımları, yerlerini yüksek boyutlu dosya transferleri, çevrimiçi televizyon, canlı video izleme ve çevrimiçi oyun gibi yüksek band genişliği gerektiren uygulamalara bırakmıştır. Teknolojinin gelişmesiyle internetin hayatımızın iyice içine girecek cihazların yapıldığı bu günlerde diğer bir teknolojik gelişme olan internetin band genişliği, internetin hızı olarak adlandırılan alanda da yeni ihtiyaca cevap vermek için teknolojik gelişmeler sürdürülmektedir. Bu sebeplerden dolayı optik fiber haberleşme sistemleri, teknolojinin ana yapısını oluşturmaktadır.

Kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamak adına optik fiberin çeşitli konumlarına göre hizmetler farklılaşmıştır. Gelecekteki sistemlerin ise optik fiberin doğrudan son kullanıcıya ulaştığı sistemler olması öngörülmektedir. Bu çalışmada, optik ağların son kullanıcıya kadar iletimi irdelenmiştir.

### 2. FTTX Uygulamalarındaki Optik Dağıtım Ağ Mimarileri

Optik dağıtım ağı mimarisi, AON (Active Optical Networks, Aktif Optik Ağlar) ve PON (Passive Optical Network, Pasif Optik Ağ) olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilir. İlk olarak bir pasif optik ağ yapısı, OLT (Optical Line Termination, Optik Hat Sonlandırıcı), ONT (Optical Network Terminal, Optik Ağ Terminali), ONU (Optical Network Unit, Optik Ağ Ünitesi), OLT ve ONU blokları arasında bilgi akışının bölünmesini gerçekleştiren ve birleştiren Power Splitter (Güç Bölücü veya Optik Ayırıcı) ve bu cihazları birbirine bağlayan fiber optik kablolarından meydana gelir. Sistemde, OLT biriminden çıkan bilgi, optik ayırıcı sayesinde tüm ONU bloklarına dağılarak iletişim sağlanır. Bilgi akışı sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, ONU bloklarının kendilerine ait olmayan bilgileri almamasının sağlanmasıdır. Bunun dışında tüm ONU bloklarından gelen bilgi, optik ayırıcıdan geçtikten sonra fiber optik kablo ile OLT bloğuna iletileceği için bilgilerin bu yönde de çakışmayacak olmasının sağlanması, önemli konular arasında yer almaktadır [1-3].

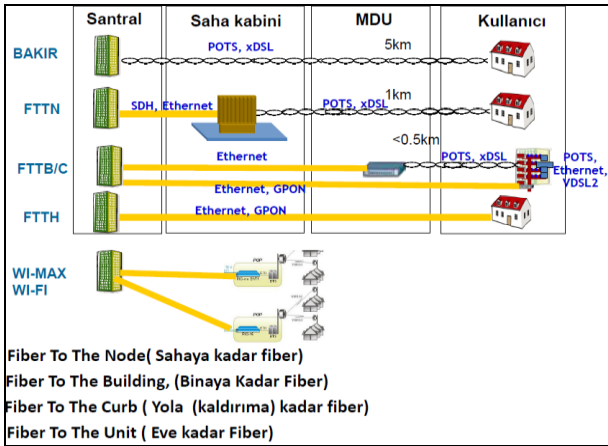
AON mimarisi, ethernet ağ yapısına benzemesi nedeniyle *aktif ethernet sistemi* olarak da bilinir. Aktif ethernet sisteminde data trafiği, ethernet tabanlıdır. Standart olarak IEEE802.3ah referans alınmıştır. Yönetim Sistemi hariç, Toplam Anahtarı, Kenar Anahtarı ve Kullanıcı Anahtarı'nı içeren üç temel sistemden oluşur. Şekil 1'de optik dağıtım ağı mimarisidir görülmektedir.



Şekil 1: Optik dağıtım ağı mimari yapısı [1].

### 3. FTTH Uygulamaları

Şekil 2'de görüldüğü gibi bu topolojilerin, FTTCab (Fiber To The Cabinet, Saha Dolabına Kadar Fiber), FTTB (Fiber To The Building, Binaya Kadar Fiber) ve FTTH (Fiber To The Home, Eve Kadar Fiber) olmak üzere üç ana başlık altında incelenmesi mümkündür. Bu topolojilerden FTTCab'ın, alt yerel ağ uzunluğunun 300 m'den kısa veya uzun olmasına göre, sırasıyla FTTC (Fiber To The Curb, Kaldırıma Kadar Fiber) ve FTTH (Fiber To The Node, Dügüne Kadar Fiber) olmak üzere iki alt türü bulunmaktadır. Bu topolojilerin tümünün birden kolayca ifade edilmesine yönelik olarak FTTH kısaltması kullanılır. Buradaki X ifadesi, yukarıdaki anlatımdan anlaşıldığı gibi optik fiberin gittiği yeri göstermektedir [3-5].

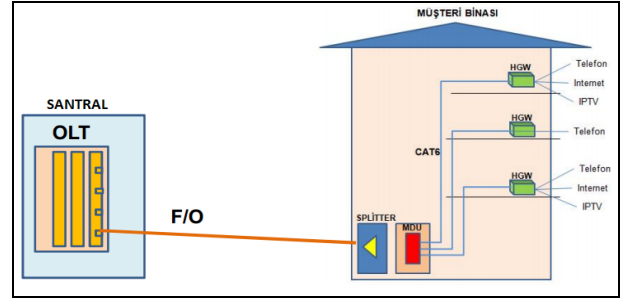


Şekil 2: FTTH uygulamaları [1].

#### 3.1. GPON FTTH Uygulaması

ITU (International Telecommunication Union, Uluslararası Haberleşme Birliği) tarafından 2003 yılında G.984 standardı ile yayınlanan GPON, BPON'un geliştirilmiş versiyonudur. 2.488 Mbps gibi büyük hızları simetrik olarak desteklemekle birlikte daha çok 2488/1244 Mbps aşağı/yukarı hızlarında kullanılmaktadır. Optik bölme oranını 128'e kadar destekleyen GPON mimarisinin en önemli avantajlarından biri,

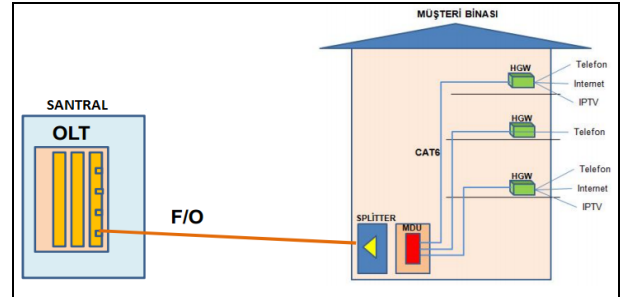
BPON'daki eski nesil ATM (Asynchronous Transfer Mode, Asenkron Transfer Modu) çerçeveleri yerine GEM (Gigabit Encapsulation Method, Gigabit Kapsülleme Metodu) adı verilen çerçevenin kullanılmasıdır. Bu yapı ile TDM (Time Division Multiplexing, Zaman Bölme Çoğullama), ethernet ve IP gibi farklı yapıdaki paketlerin çerçevelenmesi sağlanmaktadır. Aynı zamanda ATM ve GEM çerçeve metodlarını eşzamanlı kullanılabilmesi sayesinde ATM paketleri de desteklenmektedir [1, 4]. Şekil 3'te GPON FTTH mimarisi yer almaktadır.



Şekil 3: GPON FTTH mimarisi [1].

#### 3.2. GPON FTTB Uygulaması

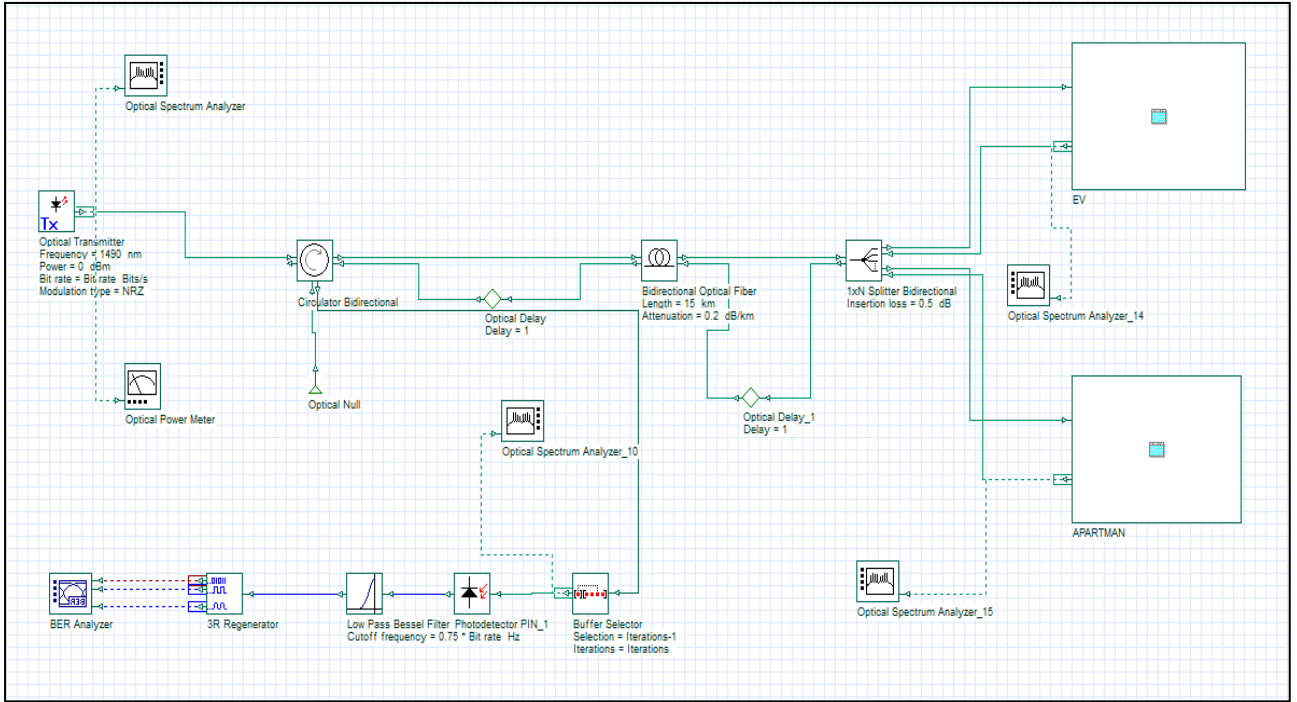
Santralden site içindeki fiber dağıtım noktasına kadar optik fiber çekilir. Fiber dağıtım noktasında santralden gelen optik fiber, bölücü (splitter) ile bölünür. Splitter çıkışları her binaya optik fiber ile uzatılır ve MDU'da (Multi Dwelling Unit, Çoklu İkamet Birimi) sonlandırılır. OLT ile binadaki MDU birlikte erişim bağlantılarını sağlar. Binadaki MDU ile ev arasında CAT6 kablo çekilir. Şekil 4'te GPON FTTB mimarisi verilmiştir.



Şekil 4: GPON FTTB mimarisi [1].

### 4. GPON FTTH ve GPON FTTB Uygulaması ve Analizleri

Bu bölümde, Şekil 3 ve Şekil 4'te yer alan yapılar, OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile analiz edilmiş ve her devre elemanının sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir. Şekil 5'te yer alan referans sistemde, verici bloğu, optik haberleşme hattı ve alıcı bloğu görülmektedir. Yukarıda belirtilen özelliklere sahip bir GPON FTTH ve GPON FTTB sistemi tasarlanmış ve optik verici yapısının dalgaboyu, GPON sistemlerinde olduğu gibi 1490 nm seçilmiştir. Bit rate olarak giriş yapılan optik iletim hızı ise 2 Gbps'dir [1, 6].

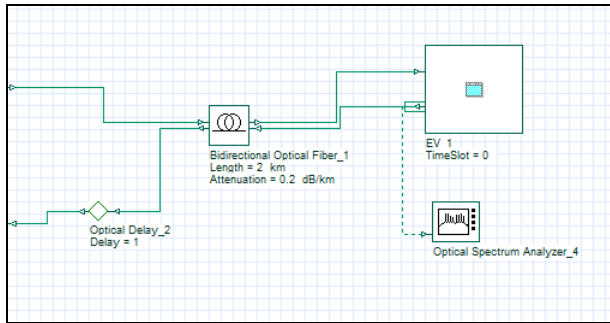


Şekil 5: GPON FTTH ve GPON FTTB referans sistemi (2 Gbps/15 km).

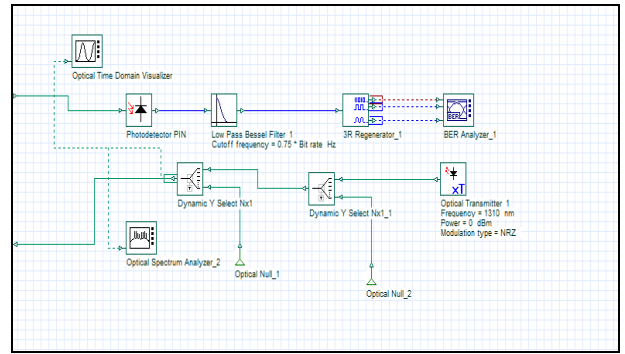
Verici kısmı, santralde bulunan OLT'nin tasarımıdır. OLT, santral içerisinde 15 km'lik optik fiber mesafesinden sonra saha dolabındaki bölücü ile farklı son kullanıcılara gidebilmesi için farklı hatlara ayrılır. OLT referans sistemde, eve ve binaya olmak üzere saha dolabından ikiye ayrılmıştır. Saha dolabında PON portuna optik bağlantı kablolarıyla OLT ve ONU erişimleri sağlanarak OLT, birden fazla ONU'ya bağlanmıştır. Burada, ev ve bina olmak üzere iki tane alt sistem yaratılmıştır. Bu alt sistemlerin eve gitmesi FTTH ve binaya gitmesi ise FTTB uygulaması olmasını sağlar. Bu referans yapının tamamına küçük bir GPON FTTH uygulaması denilebilir.

#### 4.1. Ev Alt Sisteminin Analizleri

Saha dolabından 2 km uzaklıktaki optik fiber, ev üzerinde iç dağıtım noktasında sonlandırılmıştır. Sadece bir eve gittiği için iç dağıtım noktasında bölücü kullanılmamıştır. Şekil 6'da alt sistem yapısı yer almaktadır. Ev 1 olarak belirtilen yapı, bir ONU'dur. ONU bloğunun iç yapısı, Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6: Ev alt sistem yapısı.



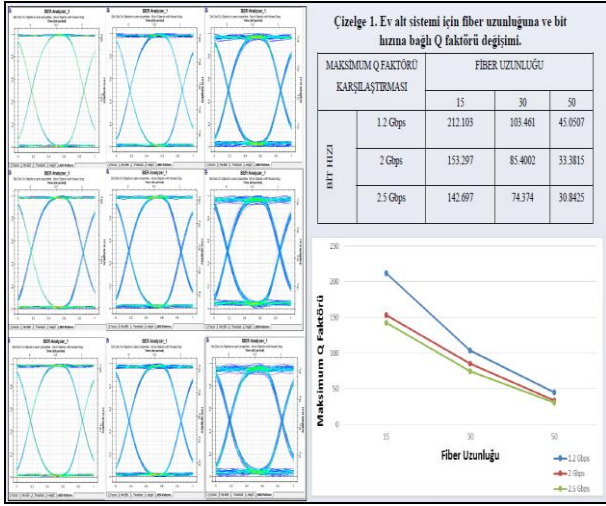
Şekil 7: Ev alt sistemindeki ONU iç yapısı.

ONU bloğunda bulunan Dinamik Y Seçici (Dynamic Y Select) devre elemanı TDM ile zaman aralıkları yaratılmasını sağlar. Dinamik Y Seçici (Dynamic Y Select) elemanlarına zaman aralığının başlangıç ve bitiş değerleri girilir. Burada tek ONU olduğundan tüm zaman aralığı kullanılır.

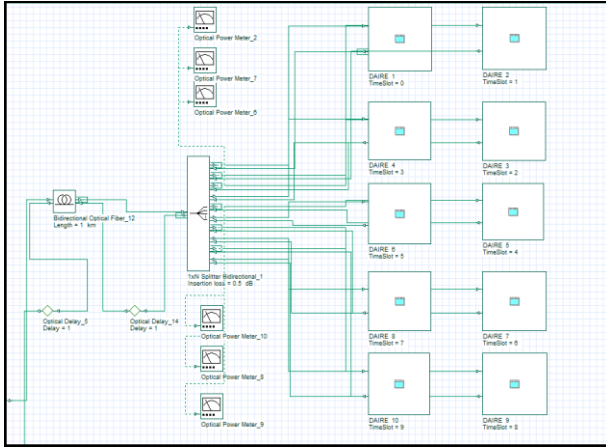
Ev alt sistemi için Çizelge 1'de belirtilen değerlere göre göz diyagramı analizleri yapılmıştır. Şekil 8'de görüldüğü gibi, her veri hızında optik fiber uzunluğunun artması, göz diyagramında bozulmalara sebep olmuştur. Sistemin verimini gösteren maksimum Q faktörü değeri giderek azalmıştır.

#### 4.2. Bina Alt Sisteminin Analizleri

Saha dolabından 1 km mesafe sonrasında optik fiber, bina altında MDU'da sonlandırılmıştır. Bölücü ile kullanıcılara bölünerek evlere kadar optik fiber ile çekilir. Bina içerisinde 10 tane daire olduğu için 10'lu bölücü kullanılmıştır. Binaya gelen toplam güç, 10 daireye bölünmüştür. Şekil 9'da bina alt sistem yapısı bulunmaktadır.



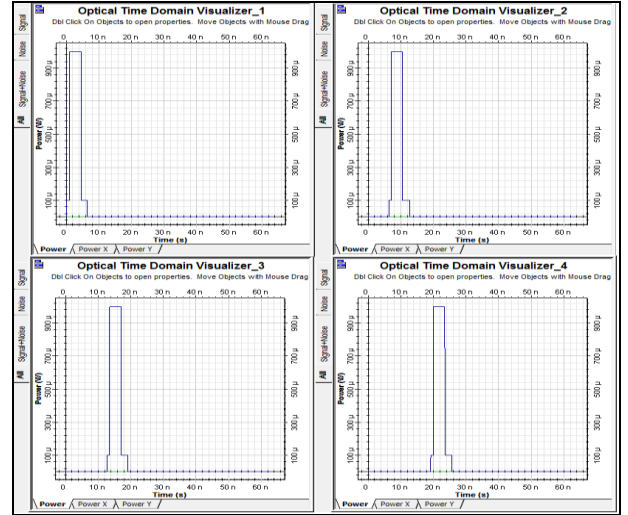
Şekil 8: Ev alt sistemi içerisindeki soldan sağa 15, 30 ve 50 km optik fiber uzunluklarında, yukarıdan aşağıya 1.2 Gbps, 2 Gbps ve 2.5 Gbps bit hızlarına bağlı BER diyagramları sistemi (2 Gbps/15 km).



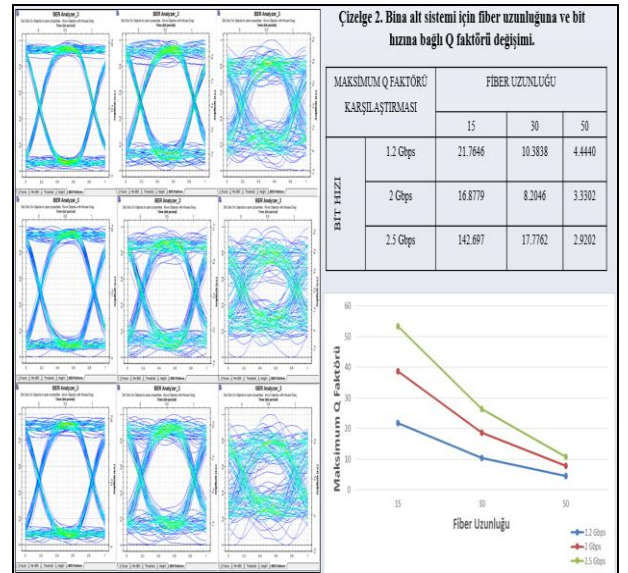
Şekil 9: Bina alt sistem yapısı.

Şekil 9'daki Daire 1 için optik fiber uzunluğu 0.1 km'dir. Her kat değişiminde 0.1 km'lik optik fiber çekilmiştir. Ev sisteminde tekli bir yapı olduğu için buradaki analizler farklılık gösterecektir. ONU bloğundaki üst hat, alıcı kısmı oluşturmaktadır. Altta ki hat ise verici yapısıdır. Burada tekrar verici yapısının kullanılmasının sebebi, GPON'un veri iletiminin çift yönlü olmasıdır. Referans şeklinde kullanılan verici yapısı, aşağı link gönderimler için kullanılmıştır. Buradaki ONU içerisinde bulunan verici ise yukarı link gönderimler içinidir. GPON yapısının yukarı link dalga boyu 1310 nm'dir. Burada 10 daire olduğu için tüm zaman aralığının 10'a bölünmesi ve TDM ile zaman aralıkları yaratılması gerekmektedir.

Başlangıç ve bitiş noktalarının belirlenebilmesi için Dynamic Y Select elemanının "Anahtarlama Zamanı (Switching Event Time)" özelliği kullanılır. Şekil 10'da ilk dört ONU yapısı için zaman aralıkları gösterilmiştir.



Şekil 10: İlk dört ONU için zaman domeni analizi.

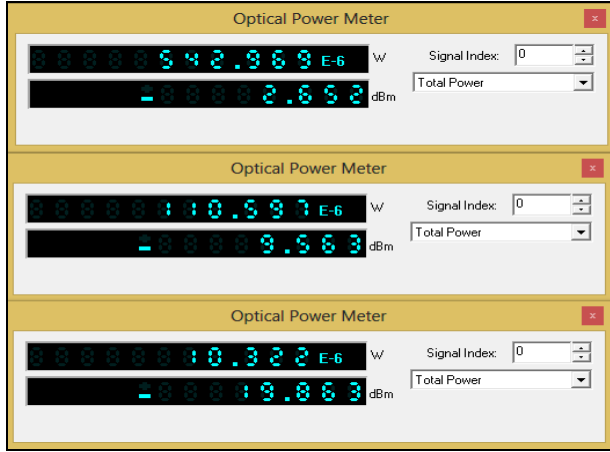


Şekil 11: Bina alt sistemi içerisindeki soldan sağa 15, 30 ve 50 km optik fiber uzunluklarında, yukarıdan aşağıya 1.2 Gbps, 2 Gbps ve 2.5 Gbps bit hızlarına bağlı BER diyagramları sistemi (2 Gbps/15 km).

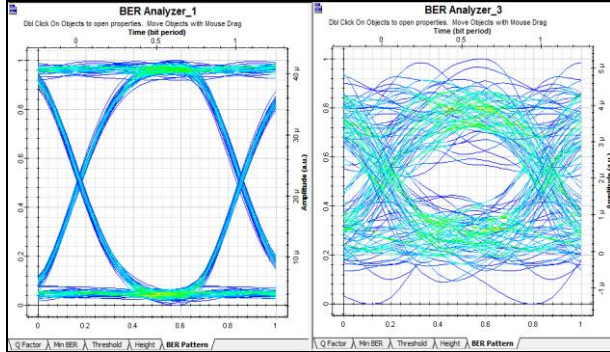
Mesafe arttıkça sistemin kalite faktörünün düştüğü gözlenmiştir. Bu veriler doğrultusunda, Şekil 11'de net olarak görüldüğü gibi, bit hızı arttıkça sistemin verimi azalmaktadır. 2.5 Gbps bit iletim hızında optik fiber uzunluğu biraz daha artırılarak 60 km yapıldığında, maksimum Q faktörünün 0 olduğu görülmüştür. Q faktörünün sıfır olması, minimum hata oranının 1 olduğu anlamına gelir ve teorik anlamda kullanıcıya verinin ulaşmadığını ifade eder. Bu durumda, bu parametrelerle incelenen yapı üzerinden haberleşmenin gerçekleştirilemeyeceği açıktır.

### 4.3. Ev Alt Sistemi ile Bina Alt Sisteminin Karşılaştırılması

Analiz edilen düzenekte, saha dolabındaki splitter ile güç yarıya bölünmüştü. Yarıya bölünen güç bir kez daha splitter kullanmadan ev üzerinde iç dağıtım noktasında sonlandırılmış ve OLT ile ONU'nun haberleşmesi sağlanmıştır. Yarıya bölünen bir diğer güç, bina üzerinde MDU'da sonlandırılmış ve splitter yardımıyla bina içerisindeki dairelerdeki kullanıcılara dağıtılmıştır. Şekil 12'de toplam güç ve son kullanıcılara iletilen güç verileri bulunmaktadır.



Şekil 12: Sırası ile toplam, ev alt sistemine aktarılan ve bina alt sistemindeki dairelere aktarılan güç değerleri.



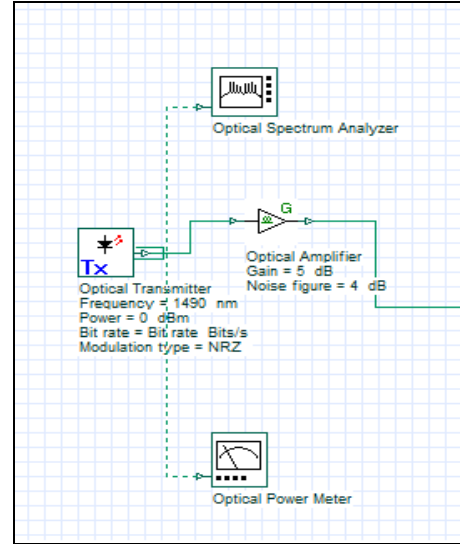
Şekil 13: Ev alt sistemi ile daire alt sisteminin karşılaştırılması (2 Gbps, 50 km).

Şekil 13'ün sol tarafında bulunan göz diyagramı, ev alt sistemine, sağ tarafında bulunan göz diyagramı ise daire alt sistemine aittir. İki göz diyagramına göre kalite faktörleri arasında belirgin farklar bulunmaktadır. Bunun en büyük sebebi, kullanıcıya aktarılan güçtür. Toplam güç, ilk aşamalarda sistemsel özelliklerde bulunan kayıplardan dolayı azalmıştır. Bölücü ile ikiye bölünen güç, üst hatta tek kullanıcıya, alt hatta ise 10 kullanıcıya gitmiştir. Tek kullanıcı ev alt sisteminin haberleşme kalitesi fark edilmektedir. Daire alt sistemi için yanlış güç ve eleman kayıplarından dolayı

haberleşmenin sağlanması çok güçtür. Bu yapıda haberleşmenin sağlanabilmesi için yapılması gerekli olan değişiklikler incelenmelidir. Kuvvetlendirici kullanılarak daire alt sisteminin haberleşme kalitesi artırılabilir.

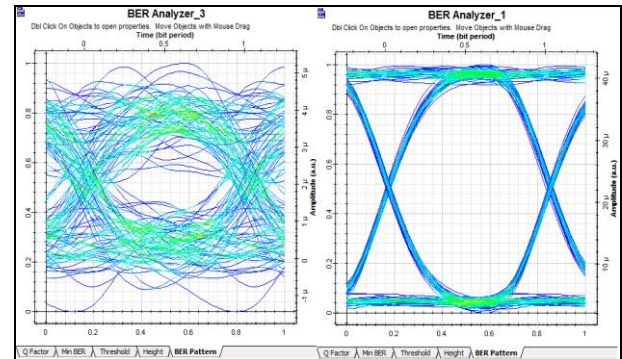
### 4.4. Sistem Üzerindeki Kuvvetlendiricinin Etkisi

Bu bölümde, Şekil 5'teki referans yapısı, 2 Gbps/50 km için incelenmiştir. Referans yapısında kuvvetlendirici etkisini görmek adına devre yapısında Şekil 14'teki gibi bir değişiklik yapılmıştır.



Şekil 14: Referans yapısına kuvvetlendirici eklenmiş hali.

Verici yapısının hemen ardına yerleştirilen optik kuvvetlendirici elemanın kazanç değeri 5 dB ve gürültüsü 4 dB'dir. Şekil 13'te görülen bina alt sisteminin 2 Gbps ve 50 km değerleri için BER diyagramındaki göz örneğinin bozulduğu görülmüştü. Şekil 14'teki kazanç üzerine çalışan kuvvetlendirici ile diyagramdaki göz ifadesi tekrar elde edilmeye çalışılmıştır. Şekil 15'te optik kuvvetlendiricinin sistem üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 15: Optik kuvvetlendiricinin sistem yapısına etkisi.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, optik erişim ağ tipleri ele alınarak ağ yapıları incelenmiştir. FTTX uygulamalarındaki optik dağıtım mimarileri, pasif ve aktif olmak üzere irdelenmiş ve bu mimarilerde kullanılan teknik ekipmanlar açıklanmıştır. Genel çoklu erişim tekniklerinin FTTX uygulamaları ile olan ilişkileri irdelenmiştir. Yeni nesil şebekeler ve bu şebekelerin geçiş süreçleri hakkında bilgi verilmiş ve yeni nesil erişim şebekelerinden olan FTTX teknolojisinin türleri incelenmiştir.

Çalışmada, internet kullanımının önemli hale gelmesi ve kullanım alanlarının artması ile optik haberleşme teknolojisinin geniş band genişliği ve yüksek verim özelliklerinden dolayı belirtilen gereksinimler karşılanmıştır. OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile hazırlanan düzenek, çeşitli parametrelere göre analiz edilmiştir. Pasif optik ağ yapısı olan GPON FTTH ve GPON FTTB uygulamaları yapılmış ve bit iletim hızının ve optik fiber uzunluğunun sistem üzerindeki etkileri görülmüştür. Bu iki uygulama arasındaki kullanıcı farklılıkları yorumlanmıştır. Optik spektrum analizörü ile son kullanıcıya gelen güç değerleri ölçülmüş ve bu güç değerlerinin sistemin verimi üzerindeki olumlu etkisi görülmüştür. Sistem veriminin düşük olduğu

yapılarda, optik kuvvetlendirici kullanılarak verim artırılmış ve kullanıcılara kaliteli bir haberleşme tahsis edilmiştir.

## 6. Kaynaklar

- [1] Uzar, İ., *Optik Haberleşme Sistemlerinde Kullanılan FTTX Uygulamaları ve Analizleri*, Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik – Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2014.
- [2] Turna, Ö. C., Aydın, M. A. ve Zaim, A. H., “Pasif Optik Erişim Ağlarının Gelişimi”, *11. Akademik Bilişim (AB'09)*, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 11-13 Şubat 2009.
- [3] Nakanishi, K., *Standardization of Broadband Optical Access Network*, NTT Access Network Service Systems Laboratories, 2007.
- [4] Güre, Ö., *Pasif Optik Ağlar ve Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- [5] Farmer, J. and Ray, L., *Fiber-to-the-Home Overview Technical Tutorial*, Fiber-to-the-Home Council, 2003.
- [6] Optiwave, *OptiSystem 7.0 Component Library*, 2007.