

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PASİF OPTİK AĞLARIN OPTİMİZASYONU

Ayşe BURHAN SERT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı
Haberleşme Programı

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi N. Özlem ÜNVERDİ

Ağustos, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PASİF OPTİK AĞLARIN OPTİMİZASYONU

Ayşe BURHAN SERT tarafından hazırlanan tez çalışması 12.08.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Haberleşme Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi N. Özlem ÜNVERDİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi N. Özlem ÜNVERDİ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Lale ÖZYILMAZ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Arif DOLMA, Üye
Kocaeli Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi N. Özlem ÜNVERDİ sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Pasif Optik Ağların Optimizasyonu başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ayşe BURHAN SERT

İmza

Aileme



TEŞEKKÜR

Pasif optik ağların optimzasyonu konusunda hazırladığım yüksek lisans tezimde, bilgi ve tecrübeleri ile bana destek olan ve yol gösteren değerli Hocam ve Tez Danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi N. Özlem Ünverdi'ye teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her konuda yanımda olan sevgili aileme ve eşime teşekkürlerimi sunarım.

Ayşe BURHAN SERT

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
2 OPTİK AĞLAR	3
2.1 Optik Fiberin Çalışma Prensibi	3
2.2 Fiber Optik İletişim Teknolojisinin Avantajları	4
2.3 Fiber Optik İletişim Teknolojisinin Dezavantajları	4
2.4 Fiber Optik İletişim Teknolojisinin Kullanım Yerleri	5
2.5 Son Kullanıcıya Kadar Fiber Uygulamaları	5
2.6 Optik Ağ Türleri	6
2.6.1 Pasif Optik Ağ	6
2.6.2 Noktadan Noktaya Optik Ağlar	9
2.6.3 Aktif Optik Ağlar	9
2.7 Optik Ağların Karşılaştırılması	10
3 GİGABİT PASİF OPTİK AĞ UYGULAMALARI VE ANALİZLERİ	11
3.1 GPON Uygulamaları ve Analizleri	11
3.2 Mesafenin GPON Sistem Performansına Etkileri	12
3.2.1 Mesafenin GPON FTTH Sistem Performansına Etkileri	12
3.2.2 Mesafenin GPON FTTB Sistem Performansına Etkileri	16

3.3	Bit İletim Hızının GPON Sistem Performansına Etkileri	20
3.3.1	Bit İletim Hızının GPON FTTH Sistem Performansına Etkileri	20
3.3.2	Bit İletim Hızının GPON FTTB Sistem Performansına Etkileri	22
3.4	Dalgaboyunun GPON Sistem Performansına Etkileri	27
3.4.1	Dalgaboyunun GPON FTTH Sistem Performansına Etkileri	27
3.4.2	Dalgaboyunun GPON FTTB Sistem Performansına Etkileri	35
3.5	Dalgaboyu Bölmeli Çoğullamalı Pasif Optik Ağ (WDM-PON) Tasarımı ve Uygulamaları	47
3.5.1	Dalgaboyu Bölmeli Çoğullamalı Pasif Optik Ağ FTTH Tasarımı ve Uygulamaları	49
3.5.2	Dalgaboyu Bölmeli Çoğullamalı Pasif Optik Ağ FTTB Tasarımı ve Analizleri	57
3.6	Dalgaboyu Bölmeli Çoğullamalı Pasif Optik Ağ FTTH Tasarımında Kuvvetlendirici Analizleri	66
3.6.1	EDFA Optik Kuvvetlendiricinin WDM FTTH Sistemine Etkileri	68
3.6.2	Raman Optik Kuvvetlendiricinin WDM FTTH Sistemine Etkileri	75
3.7	Optik Filtrelerin WDM-PON Sistemine Etkileri	78
4	SONUÇ VE ÖNERİLER	87
	KAYNAKÇA	90
	TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	92

SİMGE LİSTESİ

bit/s	Bit/Second
λ	Dalgaboyu
dB	Desibel
db/km	Desibel/Kilometre
dBm	Desibel Miliwatt
f	Frekans
Gbit/s	Gigabits/Second
Gbps	Gigabits Per Second
GHz	Gigahertz
Hz	Hertz
C	Işık Hızı
n	Kırılma İndisi
km	Kilometre
Mbps	Megabit Per Second
m	Metre
mm	Milimetre
nm	Nanometre
π	Pi Sayısı
THz	Terahertz

KISALTMA LİSTESİ

AWG	Arrayed Waveguide Gratings
BER	Bit Error Rate
CW	Continuous Wave
DEMUX	Demultiplexer
DSL	Digital Subscriber Line
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier
FTTB	Fiber to the Building
FTTC	Fiber to the Curb
FTTH	Fiber to the Home
FTTN	Fiber to the Node
FTTX	Fiber to the X
GPON	Gigabit Passive Optical Network
ISP	Internet Service Provider
MAC	Media Access Control
MUX	Multiplexer
MZ	Mach-Zehnder
NRZ	Non-Return to Zero
ODN	Optical Distribution Network
OLT	Optical Line Termination
ONT	Optical Network Terminal
ONU	Optical Network Unit
P2MP	Peer to Multi Peer
P2P	Peer to Peer

PON	Passive Optical Networks
Q	Quality Factor
SNR	Signal to Noise Ratio
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Işık sinyalinin optik fiber içerisinde ilerlemesi	4
Şekil 2.2	FTTX mimarisi	6
Şekil 2.3	PON mimarisi	7
Şekil 2.4	Aşağı yönde ve yukarı yönde veri iletimi	8
Şekil 2.5	Pasif optik ağ topoloji türleri	9
Şekil 2.6	P2P, AON ve PON topolojileri	10
Şekil 3.1	OLT iç yapısı	11
Şekil 3.2	ONT iç yapısı	12
Şekil 3.3	Tasarlanan GPON FTTH sistemi	13
Şekil 3.4	1 Gbps veri iletimi için 3 km mesafesinde BER diyagramı	14
Şekil 3.5	1 Gbps veri iletimi için 10 km mesafesinde BER diyagramı	15
Şekil 3.6	1 Gbps veri iletimi için 20 km mesafesinde BER diyagramı	15
Şekil 3.7	GPON FTTB tasarımındaki bina iç yapısı	16
Şekil 3.8	Dört farklı binaya hizmet veren GPON FTTB tasarımı	17
Şekil 3.9	1 Gbps veri iletimi için 3 km mesafesinde BER diyagramı	18
Şekil 3.10	1 Gbps veri iletimi için 5 km mesafesinde BER diyagramı	19
Şekil 3.11	1 Gbps veri iletimi için 10 km mesafesinde BER diyagramı	19
Şekil 3.12	1 Gbps veri iletimi için 20 km mesafesinde BER diyagramı	20
Şekil 3.13	10 km mesafesinde 622 Mbps veri iletimi gerçekleştirildiğinde BER diyagramı	21
Şekil 3.14	10 km mesafesinde 1244 Mbps veri iletimi gerçekleştirildiğinde BER diyagramı	21
Şekil 3.15	10 km mesafesinde 2488 Mbps veri iletimi gerçekleştirildiğinde BER diyagramı	22
Şekil 3.16	3 km mesafesinde 622 Mbps, 1244 Mbps ve 2488 Mbps hızlarında veri iletildiğinde BER diyagramları	23
Şekil 3.17	5 km mesafesinde 622 Mbps, 1244 Mbps ve 2488 Mbps hızlarında veri iletildiğinde BER diyagramları	24
Şekil 3.18	10 km mesafesinde 622 Mbps, 1244 Mbps ve 2488 Mbps hızlarında veri iletildiğinde BER diyagramları	25

Şekil 3.19 20 km mesafesinde 622 Mbps, 1244 Mbps ve 2488 Mbps hızlarında veri iletildiğinde BER diyagramları	26
Şekil 3.20 Dalgaboyuna bağlı zayıflama karakteristiğinin incelendiği GPON-FTTH tasarımı	28
Şekil 3.21 OLT çıkış gücünün dalgaboyuna bağlı değişimi	29
Şekil 3.22 Fiber optik çıkış gücünün dalgaboyuna bağlı değişimi	30
Şekil 3.23 ONT giriş gücünün dalgaboyuna bağlı değişimi	30
Şekil 3.24 Maksimum kalite faktörünün dalgaboyuna bağlı değişimi	31
Şekil 3.25 GPON-FTTH sisteminde 850 nm dalgaboyunda BER diyagramı . . .	31
Şekil 3.26 GPON-FTTH sisteminde 1200 nm dalgaboyunda BER diyagramı . . .	32
Şekil 3.27 GPON-FTTH sisteminde 1310 nm dalgaboyunda BER diyagramı . . .	32
Şekil 3.28 GPON-FTTH sisteminde 1490 nm dalgaboyunda BER diyagramı . . .	33
Şekil 3.29 GPON-FTTH sisteminde 1550 nm dalgaboyunda BER diyagramı . . .	33
Şekil 3.30 GPON-FTTH sisteminde 1700 nm dalgaboyunda BER diyagramı . . .	34
Şekil 3.31 GPON-FTTH sisteminde 1800 nm dalgaboyunda BER diyagramı . . .	34
Şekil 3.32 Dalgaboyuna bağlı zayıflama karakteristiğinin incelendiği GPON-FTTB tasarımı	36
Şekil 3.33 OLT çıkış gücünün dalgaboyuna bağlı değişimi	37
Şekil 3.34 Fiber optik çıkış gücünün dalgaboyuna bağlı değişimi	38
Şekil 3.35 Kuvvetlendirici çıkış gücünün dalgaboyuna bağlı değişimi	38
Şekil 3.36 Saha dolabı çıkış gücünün dalgaboyuna bağlı değişimi	39
Şekil 3.37 Maksimum kalite faktörünün dalgaboyuna bağlı değişimi	39
Şekil 3.38 GPON FTTB sisteminde 850 nm dalgaboyunda veri iletimi esnasında BER diyagramları	40
Şekil 3.39 GPON FTTB sisteminde 1200 nm dalgaboyunda veri iletimi esnasında BER diyagramları	41
Şekil 3.40 GPON FTTB sisteminde 1310 nm dalgaboyunda veri iletimi esnasında BER diyagramları	42
Şekil 3.41 GPON FTTB sisteminde 1490 nm dalgaboyunda veri iletimi esnasında BER diyagramları	43
Şekil 3.42 GPON FTTB sisteminde 1550 nm dalgaboyunda veri iletimi esnasında BER diyagramları	44
Şekil 3.43 GPON FTTB sisteminde 1700 nm dalgaboyunda veri iletimi esnasında BER diyagramları	45
Şekil 3.44 GPON FTTB sisteminde 1800 nm dalgaboyunda veri iletimi esnasında BER diyagramları	46
Şekil 3.45 WDM-PON gösterimi	47
Şekil 3.46 AWG'lerin multiplexer-demultiplexer çalışma şekli	49
Şekil 3.47 WDM-PON teknolojisinde kullanılan lazerlerin frekansları	49

Şekil 3.48 WDM-PON tasarımındaki verici çıkışı WDM analizörü değerleri . . .	49
Şekil 3.49 Tasarlanan WDM-PON FTTH sistemi	50
Şekil 3.50 WDM-PON tasarımında 20 km mesafesinde alçak geçiren filtre kullanılmadan BER diyagramı	51
Şekil 3.51 WDM-PON tasarımında 20 km mesafesinde alçak geçiren filtre kullanıldığında BER diyagramı	52
Şekil 3.52 WDM-PON tasarımında 60 km mesafesinde veri iletimi esnasında BER diyagramı	53
Şekil 3.53 WDM-PON tasarımındaki verici çıkışı spektrum grafiği	54
Şekil 3.54 WDM-PON tasarımındaki optik kuvvetlendirici çıkışı spektrum grafiği	54
Şekil 3.55 WDM-PON tasarımındaki güç bölücü çıkışı spektrum grafiği	55
Şekil 3.56 WDM-PON tasarımındaki ONT 1 ve ONT 2 çıkışları spektrum analizi	56
Şekil 3.57 WDM-PON FTTB tasarımındaki OLT iç yapısı	57
Şekil 3.58 WDM-PON FTTB tasarımı	58
Şekil 3.59 OLT çıkışından WDM analizör ile alınan ölçüm sonucu	59
Şekil 3.60 WDM-PON FTTB tasarımındaki OLT çıkışı spektrum grafiği	59
Şekil 3.61 WDM-PON FTTB tasarımındaki optik kuvvetlendirici çıkışı spektrum grafiği	60
Şekil 3.62 WDM-PON FTTB tasarımındaki 20 km iletim hattı sonu spektrum grafiği	60
Şekil 3.63 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 1 spektrum grafiği	61
Şekil 3.64 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 2 spektrum grafiği	62
Şekil 3.65 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 3 spektrum grafiği	62
Şekil 3.66 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 4 spektrum grafiği	63
Şekil 3.67 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 1 BER diyagramı	64
Şekil 3.68 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 2 BER diyagramı	64
Şekil 3.69 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 3 BER diyagramı	65
Şekil 3.70 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 4 BER diyagramı	65
Şekil 3.71 WDM-PON FTTH sistemi	67
Şekil 3.72 EDFA optik kuvvetlendiricinin kullanıldığı WDM FTTH sistemi	68
Şekil 3.73 WDM FTTH referans sistemdeki ONT spektrum grafiği	69
Şekil 3.74 EDFA optik kuvvetlendirici kullanılarak elde edilen ONT spektrum grafiği	69
Şekil 3.75 WDM FTTH referans sistemdeki ONT BER diyagramı	70
Şekil 3.76 EDFA optik kuvvetlendirici kullanılarak elde edilen ONT BER diyagramı	70
Şekil 3.77 Gürültü ve sinyal gücünün dalgaboyuna bağlı değişim grafiği	71
Şekil 3.78 Gürültü ve sinyal gücünün CW Lazer gücüne bağlı değişim grafiği .	72
Şekil 3.79 ONT maksimum Q faktörünün CW lazer gücüne bağlı değişimi . . .	73

Şekil 3.80 Lazer gücünün 50 dBm olması durumunda ONT BER diyagramı . . .	73
Şekil 3.81 Lazer gücünün 60 dBm olması durumunda ONT BER diyagramı . . .	74
Şekil 3.82 Raman optik kuvvetlendiricinin kullanıldığı WDM FTTH sistemi . . .	75
Şekil 3.83 Raman optik kuvvetlendirici kullanılarak elde edilen ONT spektrum grafiği	76
Şekil 3.84 Raman optik kuvvetlendirici kullanılarak elde edilen ONT BER diyagramı	76
Şekil 3.85 Gürültü ve sinyal gücünün dalgaboyuna bağlı değişim grafiği	77
Şekil 3.86 ONT maksimum Q faktörünün CW lazer gücüne bağlı değişimi	78
Şekil 3.87 Gaussian optik filtre ile tasarlanan WDM-PON FTTH sistemi	79
Şekil 3.88 Bessel optik filtre ile tasarlanan WDM-PON FTTH sistemi	80
Şekil 3.89 Butterworth optik filtre ile tasarlanan WDM-PON FTTH sistemi	81
Şekil 3.90 Chebyshev optik filtre ile tasarlanan WDM-PON FTTH sistemi	82
Şekil 3.91 Rectangle optik filtre ile tasarlanan WDM-PON FTTH sistemi	83
Şekil 3.92 Gaussian optik filtre kullanılan tasarımda ONT BER diyagramı	84
Şekil 3.93 Bessel optik filtre kullanılan tasarımda ONT BER diyagramı	85
Şekil 3.94 Butterworth optik filtre kullanılan tasarımda ONT BER diyagramı . .	85
Şekil 3.95 Chebyshev optik filtre kullanılan tasarımda ONT BER diyagramı . . .	86
Şekil 3.96 Rectangle optik filtre kullanılan tasarımda ONT BER diyagramı . . .	86

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	Q faktörünün GPON FTTH tasarımında mesafeye göre değişimi . . .	16
Tablo 3.2	Q faktörünün bit iletim hızına göre değişimi	22



Pasif Optik Ağların Optimizasyonu

Ayşe BURHAN SERT

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi N. Özlem ÜNVERDİ

Yüksek hızlarda veri iletimi günümüzde ihtiyaç haline gelmiştir. İnternet üzerinden video, canlı yayın, çevrimiçi oyunlar ve video konferans gibi çeşitli uygulamaların artması ve internetin yoğun olarak kullanımı, bu ihtiyacı her geçen gün daha da arttırmaktadır. Optik haberleşme teknolojisi düşük maliyet, yüksek band genişliği, güvenilir ve hızlı veri iletimi ortamı ile artan kullanıcı ihtiyaçlarına çözüm sunmaktadır.

Bu çalışmada, son kullanıcıya kadar fiber teknolojisinin kullanıldığı FTTX (Fiber to the X, X'e kadar Fiber) ve FTTX teknolojilerinde yaygın olarak kullanılan GPON (Gigabit Passive Optical Network, Gigabit Pasif Optik Ağ) yapısı analiz edilmiştir. OptiSystem 16.0 ve OptiSystem 17.0 simülasyon programı kullanılarak GPON sistemi tasarlanmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Daireye kadar ve binaya kadar fiber iletim hattı ile veri iletiminin gerçekleştirildiği GPON FTTH (Fiber to the Home, Eve kadar Fiber) ve GPON FTTB (Fiber to the Building, Binaya kadar Fiber) sistemlerine, mesafenin, bit iletim hızının ve dalgaboyunun etkisi irdelenmiştir. GPON FTTH sisteminde, iletim hattının uzunluğu, 3 km, 10 km ve 20 km olarak seçilmiş ve veri iletimi sağlanmıştır. 622 Mbps, 1244 Mbps ve 2488 Mbps bit iletim hızlarındaki veri iletimi için sistem performansı incelenmiştir.

GPON FTTB tasarımında, optik güç bölücünden sonra 3 km, 5 km, 10 km ve 20 km fiber iletim hattının kullanıldığı dört farklı mesafedeki binalarda bulunan ONT (Optical Network Terminal, Optik Ağ Terminali)'lere veri iletilmiş ve mesafenin sistem

üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Bit iletim hızı, sırasıyla 622 Mbps, 1244 Mbps ve 2488 Mbps olarak belirlenerek aynı anda bit iletim hızı ve mesafenin sisteme etkileri analiz edilmiştir. GPON FTTH ve GPON FTTB tasarımında, verici bloğunda, 850 nm, 1200 nm, 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm, 1700 nm ve 1800 nm dalgalı boylarındaki CW (Continuous Wave, Sürekli Dalga) lazer kullanılmış ve dalgalı boyunun, sistemlerin alıcı kısmında elde edilen sinyale etkisi incelenmiştir.

PON (Passive Optical Network, Pasif Optik Ağ) teknolojisi ile WDM (Wavelength Division Multiplexing, Dalgalı boyu Bölmeli Çoğullama) teknolojisi birlikte kullanılarak Dalgalı boyu Bölmeli Çoğullamalı Pasif Optik Ağ (WDM-PON) sistemi tasarlanmıştır. EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier, Erbiyum Katkılı Fiber Kuvvetlendirici) ve Raman optik kuvvetlendiricilerin WDM-PON FTTH sistemine etkileri irdelenmiştir. WDM-PON FTTH tasarımında, Gaussian, Bessel, Butterworth, Chebyshev ve Rectangle alçak geçiren optik filtrelerin sistemdeki yeri ve etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İletişim teknolojileri, optik haberleşme, optik ağ, optik fiber, GPON

Optimization of Passive Optical Networks

Ayşe BURHAN SERT

Department of Electronics and Communications Engineering
Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. N. Özlem ÜNVERDİ

In today's world, data transmission at high speeds has become a necessity because of the new technologies. With the increase in various applications like online video platforms, live broadcast, online games, video conferencing applications, and intensive use of the internet this need is increasing day by day. Optical communication technology offers solutions to increasing user needs with low cost, high bandwidth, reliable and fast data transmission environment.

In this study, GPON (Gigabit Passive Optical Network) structure, which is more widely used than FTTX (Fiber to the X) and FTTX technologies, where fiber technology is used up to the last user has been analyzed. By using OptiSystem 16.0 and OptiSystem 17.0 simulation program, the GPON system was designed and the obtained results were evaluated.

The effect of distance, bit transmission rate, and wavelength on GPON FTTH (Fiber to the Home) and GPON FTTB (Fiber to the Building) systems, where data transmission is carried out by fiber transmission line up to the home and to the building, has been examined. In the GPON FTTH system, the length of the transmission line is selected as 3 km, 10 km and 20 km, and data transmission is provided. System performance for data transmission at bit rates of 622 Mbps, 1244 Mbps and 2488 Mbps is investigated.

After the optical power divider in the GPON FTTB design data was transmitted to the ONTs (Optical Network Terminal) located in the buildings at four different distances 3 km, 5 km, 10 km and 20 km where the fiber transmission line is used and the effects of the distance on the system were observed. Bit transmission rate was determined as

622 Mbps, 1244 Mbps, and 2488 Mbps, respectively, and the effects of bit transmission rate and distance on the system were analyzed at the same time. In the design of GPON FTTH and GPON FTTB, CW (Continuous Wave) laser with wavelengths of 850 nm, 1200 nm, 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm, 1700 nm and 1800 nm used in the transmitter block was used and the effect of the wavelength on the signal obtained in the receiver part of the systems was investigated.

Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network (WDM-PON) system was designed by using PON (Passive Optical Network) technology and WDM (Wavelength Division Multiplexing) technology together. The effects of EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) and Raman optical amplifiers on the WDM-PON FTTH system are examined. Eventually, in WDM-PON FTTH design, the place and effects of Gaussian, Bessel, Butterworth, Chebyshev and Rectangle low-pass optical filters in the system are evaluated.

Keywords: Communication technologies, optical communications, optical network, optical fiber, GPON

1.1 Literatür Özeti

Erişim ağındaki band genişliği talebi son yıllarda hızla artmaktadır. Güç kaynağına ihtiyaç duymayan ve maliyeti diğer FTTX mimarilerine göre daha düşük olan PON teknolojisi, erişim ağında yaygın kullanılmakta ve çok daha yüksek band genişliği sağlamak için geliştirilmektedir [1–3].

Dünyayı etkisi altına alan COVID-19 salgınıyla birlikte birçok ülkede evden çalışma sistemi benimsenmiş olup ilköğretim ve yükseköğretim programları uzaktan eğitim olarak devam etmiştir. Global Data'nın yayınlamış olduğu rapora göre, virüsün yayılmasını önlemek amacıyla evlerine kapanan insanların video konferans, dizi, film platformları ve özellikle elektronik oyuna yönelmeleri, sabit data kullanımlarını arttırmıştır. App Analitik firması Sensor Tower'ın rakamlarına göre, dünyada mobil oyun indirme oranlarında Şubat 2020'de yüzde 39'luk bir artış gerçekleşmiştir. Tencent Games firmasının popüler video oyunu Honor of Kings, Ocak 2020'nin son haftasında tüm zamanların en yüksek günlük ortalama kullanıcı sayısına ulaşmıştır. Video oyun dijital dağıtım platformu Steam, Mart 2020 ortalarında tarihinde ilk kez, saniye başına ortalama izleyici sayısında 20 milyonun üzerine çıktığı raporlanmıştır. Verizon'a göre, ABD'nin yoğun saatlerde online oynama oranı, karantinanın ilk haftasında yüzde 75 büyürken, Telecom Italia, sokağa çıkma yasağından sonra, online oyunlardan kaynaklanan web trafiği kullanımında yüzde 70'lik bir artış olduğu bildirilmiştir. Uzaktan eğitim ve evden çalışma modeli her ne kadar geçici gibi gözükse de gelecekte birçok sektörün yeni çalışma ve iş modelleri geliştirerek bu modelde devam edeceği öngörülmektedir. Son kullanıcı kısmında kullanılan servislerin çeşitlenmesi ve band genişliği ihtiyacının artması, FTTX teknolojilerinde de optimum çözümler geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir [4–7].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, son kullanıcıya kadar haberleşmenin fiber üzerinden sağlandığı GPON sisteminin FTTB ve FTTH olarak çalışması, WDM teknolojisi ile birlikte kullanılması incelenmiştir. GPON FTTH ve GPON FTTB sistemlerinde, optik iletim hattının uzunluğu, bit iletim hızı, dalgaboyu, kullanılan optik kuvvetlendirici ve optik filtre değiştirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

1.3 Hipotez

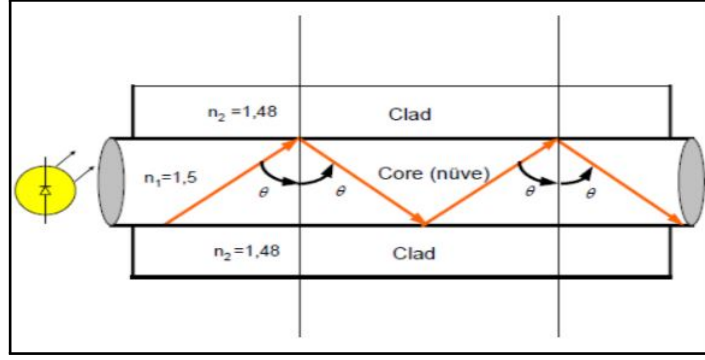
Güç kaynağına ihtiyaç duymayan ve maliyeti diğer FTTX mimarilerine göre daha düşük olan pasif optik ağ teknolojisinin, farklı iletişim teknolojileri ile birlikte kullanılması, sunduğu yüksek band genişliği ve hızlı veri iletimi sayesinde artan kullanıcı taleplerini karşılaması ile her geçen gün kullanımının artması düşünülmektedir.

Bilginin bir noktadan diğer bir noktaya daha hızlı taşınması, bir başka deyişle haberleşmenin daha hızlı gerçekleştirilmesi, iletişim teknolojilerinde önemlidir. Işık sinyalinin, elektrik sinyalinden daha hızlı iletildiğinin keşfedilmesiyle bu konudaki araştırmalar artmış ve beraberinde ışığın iletileceği ortam, araştırma konusu haline gelmiştir. İlk olarak ışık sinyali, yakınsak merceklerle iletmeye çalışılmış ancak hava koşullarından olumsuz etkilendiği için sadece havanın durgun olduğu zamanlarda birkaç yüz metre iletim sağlanabilmiştir. 1950'lerde metal tellerden yapılmış dairesel dalga kılavuzları ve yansıtma boruları denenmiş, ancak bunlar da ışığın iletiminde yetersiz kalmıştır. 1960'lı yıllarda lazerin kullanılmasıyla birlikte başarılı bir şekilde veri iletimi gerçekleştirilmiştir. Önceleri maliyeti çok yüksek olduğu için kullanımı yaygın değilken günümüzde son kullanıcıya kadar ulaşmıştır. Daha büyük ve çeşitli bilgilerin daha yüksek hızlarda iletilmesi için çalışmalar devam etmektedir [4, 5].

2.1 Optik Fiberin Çalışma Prensipleri

Optik fiberin çalışması, ışığın tam yansıma prensibine dayanır. Işık, optik fiberin çekirdek bölgesinde kılavuzlanır ve kılıf bölgesine çarpıp dengeli bir şekilde yansır. Işık demetinin optik fibere giriş açısının, diğer bir ifadeyle gelme açısının kritik açıdan büyük olması durumunda tam yansıma olur ve ilk başta doğrusal yol izleyen ışık ışareti, kılıf bölgesine çarparak yansır. Işık sinyali, Şekil 2.1'de görüldüğü gibi, yansır ve yoluna devam eder ve alıcı bloğuna ulaşır. Işık ışareti, kılıf bölgesi tarafından absorbe edilmez ve ışaretin tamamına yakın kısmı yansır. Optik fiber büküldüğü zaman ışaretin bir kısmı kayba uğrar.

İletilmek istenen veri, ses, video ya da görüntü ilk olarak elektriksel işaretlere dönüştürülür ve ışık kaynağında bu elektriksel işaretler ışığa çevrilir. Elektrik ışareti, ışık ışaretine dönüştürüldükten sonra optik fiber içinde dedektöre gelinceye kadar yol alır. Dedektörde ışık, tekrar elektriksel işarete dönüştürülür.



Şekil 2.1 Işık sinyalinin optik fiber içerisinde ilerlemesi

2.2 Fiber Optik İletişim Teknolojisinin Avantajları

Optik haberleşmenin avantajları aşağıda yer almaktadır:

- Fiberin hammaddesi olan cam ve silisyum doğada yaygın olduğu için maliyeti düşüktür.
- Büyük band genişliği ve yüksek hızlarda veri iletimini mümkün kılar.
- Diğer iletişim sistemleri ile birlikte kullanılabilir, varolan haberleşme sistemleri ile uyumludur..
- Hafif ve esnek olması yönüyle kullanımı kolaydır.
- İnce olduğu için daha az yer kaplar ve diğer sistemlerle entegrasyonu kolaydır.
- Cam, yalıtkan bir yapıya sahip olduğu için, diğer kablolara oranla hava olaylarından daha az etkilenir ve elektromanyetik girişimi azdır.
- Bakır ve koaksiyel kablo gibi iletim yapılarına kıyasla veri, daha uzun mesafelere daha az kayıpla iletilir. Bu durum fiberin daha çok tercih edilmesini sağlar.
- Fiber iletişim teknolojisi verinin güvenli bir şekilde iletilmesini sağlar.

2.3 Fiber Optik İletişim Teknolojisinin Dezavantajları

Optik haberleşmenin dezavantajları aşağıda verilmiştir:

- Fiber optik sistemlerinin kurulumu diğer sistemlere göre daha zor ve maliyeti daha yüksektir.
- Kırılgan bir yapıya sahiptir.
- Kemirici hayvanlar fiberin dış kılıfına zarar verdiği için daha sık bakım ihtiyacı oluşur.

2.4 Fiber Optik İletişim Teknolojisinin Kullanım Yerleri

Optik haberleşmenin kullanım yerleri aşağıda açıklanmıştır:

- Çevrimiçi video platformları, çeşitli online oyunlar ve canlı video konferansların artmasıyla son kullanıcı tarafında oluşan yüksek band genişliği ihtiyacını karşılamak için ev, okul ve ofislerde kullanılmaktadır.
- Askeri alanlarda, radar sistemleri ve insansız hava araçları gibi teknik ekipmanların haberleşmesinde fiber optik kullanılarak daha güvenli ve verimli sonuçlar alınır.
- Sağlık alanında endoskopi, mikroskopi ve biyomedikal gibi tıbbi yöntemlerde ve araştırmalarda fiber optikten yararlanılmaktadır.
- Elektronik devrelerin birbirleri ile bağlanmasında kullanılır.
- Sürücü ve yolcu güvenliğinin üst seviyelerde tutulduğu otomotiv sektöründe, çekiş kontrolü ve hava yastıkları gibi güvenlik uygulamalarında fiber optikten faydalanılır.
- Uçak iç donanımında, demiryolu sinyalizasyonu ve haberleşme sistemlerinde, trafik kontrol sistemlerinde ve nükleer enerji santrallerinde kullanılır.

2.5 Son Kullanıcıya Kadar Fiber Uygulamaları

FTTX tekniğinin kullanıldığı sistemlerde, fiber, doğrudan son kullanıcıya kadar ulaşır. Uygulamanın genel adı FTTX olup “X” terimi, uygulamalardaki farklılıkları belirtir. FTTB, santralde bulunan merkezi ekipmandan çıkan fiberin binaya kadar ulaştığı sistemdir. Buradan sonra genellikle bakır kablo ile binadaki evlere hizmet verilir [8, 9]. FTTC (Fiber to the Curb, Kaldırımaya kadar Fiber), merkezi ekipmandan çıkan fiber optik kablunun kaldırımaya kadar geldiği ve kaldırımdan sonra bakır kablo ya da koaksiyel ile dairelere iletiildiği sistemdir. FTTH, uygulamasında ise merkezi ekipmandan çıkan fiber optik kablo bina içerisindeki dairelere kadar gider [10]. Şekil 2.2’de FTTX mimarisi yer almaktadır. Pasif optik ağ mimarisinde de aynı isimlendirme geçerlidir. Uygulamalardaki farklılıklara bağlı olarak fiberin ulaştığı son noktaya göre FTTB GPON ve FTTH GPON gibi isimlendirilir.

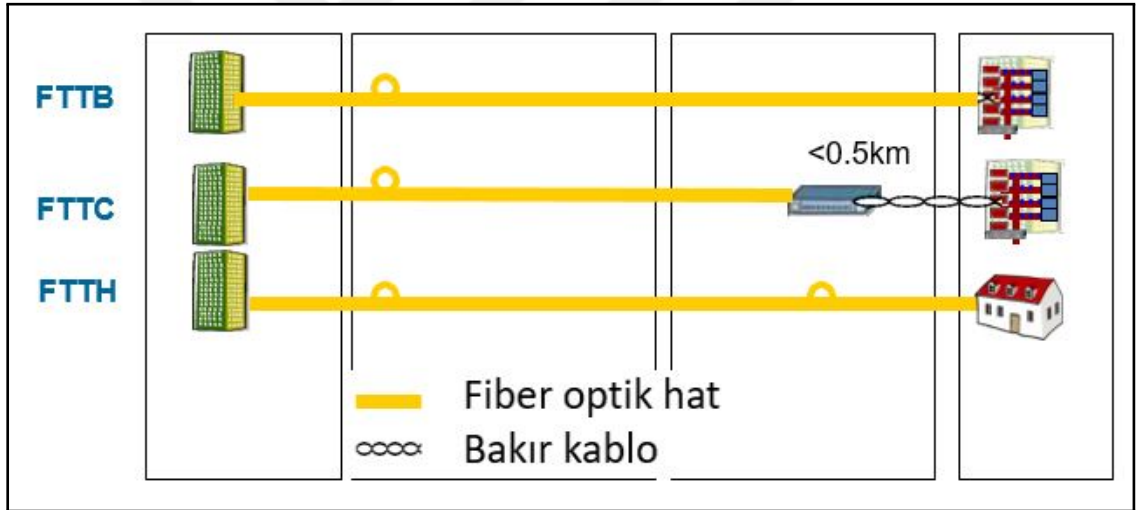
FTTX teknolojisinin avantajları aşağıda yer almaktadır:

- Uzak mesafelere geniş bantlı servislerin verilebilmesi ve bu sayede santral hizmet sahasının genişletilmesi, dolayısıyla santral sayısının ve santral binalarının azalması,

- Gün geçtikçe artan servis çeşitliliğine cevap verebilecek çok amaçlı bir erişim şebekesi altyapısının oluşturulması,
- İşletme ve bakım kolaylığı,
- Kablo tesisi için daha az yeraltı maliyetine ihtiyaç duyulmasıdır.

FTTX teknolojisinin dezavantajları aşağıda bulunmaktadır:

- Metropolitan sahalarda sistem için uygun yer bulma ve kazı işlemlerinin zor olması,
- Fiberin son noktaya kadar çekilme gereksinimi,
- Uç cihazların enerjisi optik fiberin eriştiği son noktadan beslendiği için kırsal alanlardaki uzun süreli elektrik kesintilerinden etkilenmesidir.



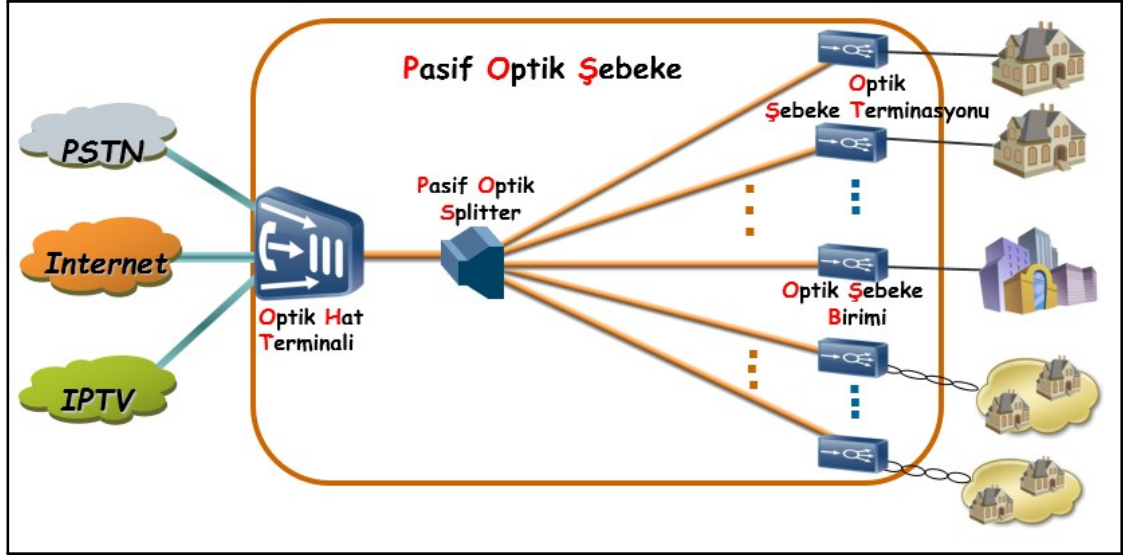
Şekil 2.2 FTTX mimarisi

2.6 Optik Ağ Türleri

2.6.1 Pasif Optik Ağ

Optik haberleşme teknolojisinde, AON (Active Optical Networks, Aktif Optik Ağ) ve PON yapılarından yararlanır. Pasif optik ağ yapısında, OLT (Optical Line Termination, Optik Hat Sonlandırıcı), ONT, ONU (Optical Network Unit, Optik Ağ Ünitesi) ve optik güç bölücü (optical power splitter) yer alır. OLT ile ONT arasındaki iletim ortamı ODN (Optical Distribution Network, Optik Dağıtım Ağı) olarak isimlendirilir. ODN içerisinde, bir iletim hattı ile taşınan sinyalin birden fazla iletim hattına dağıtılmasını sağlayan optik güç bölücü, fiber iletim hatları ve saha dolabı gibi pasif devre elemanları

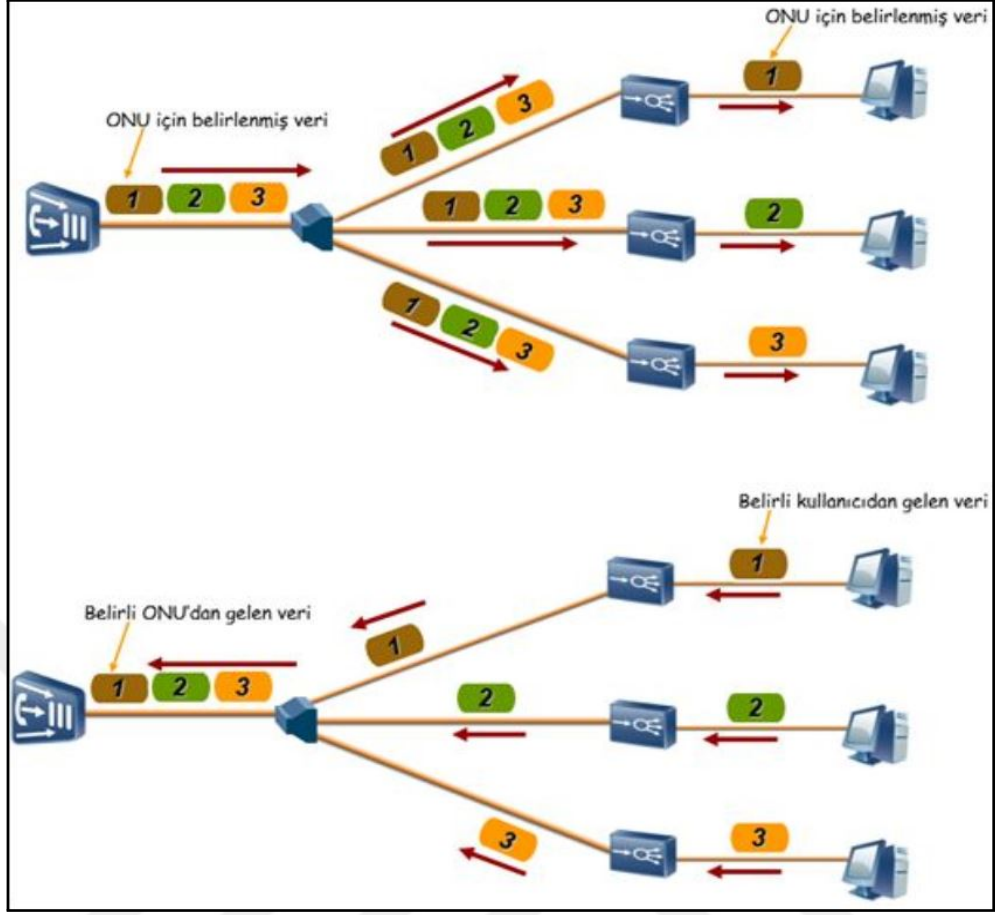
bulunur. OLT'den çıkan optik iletişim hattı, güç bölücü ile birden fazla ONU bloğuna iletilecek şekilde bölünür. PON sisteminin kullanıldığı bölgeye ve ihtiyaca göre güç bölücünden çıkan bir iletim hattı bir başka güç bölücü ile tekrar bölünerek ONU bloklarına iletilir. Pasif optik ağ yapısında merkezi cihazdan son kullanıcıya kadar bulunan fiber optik ağ içerisinde herhangi bir elektriksel ekipman yoktur, elektriksel dönüşüm, son kullanıcı bölümünde yapılır. Şekil 2.3'te temel PON mimarisi gösterilmiştir [10, 11].



Şekil 2.3 PON mimarisi

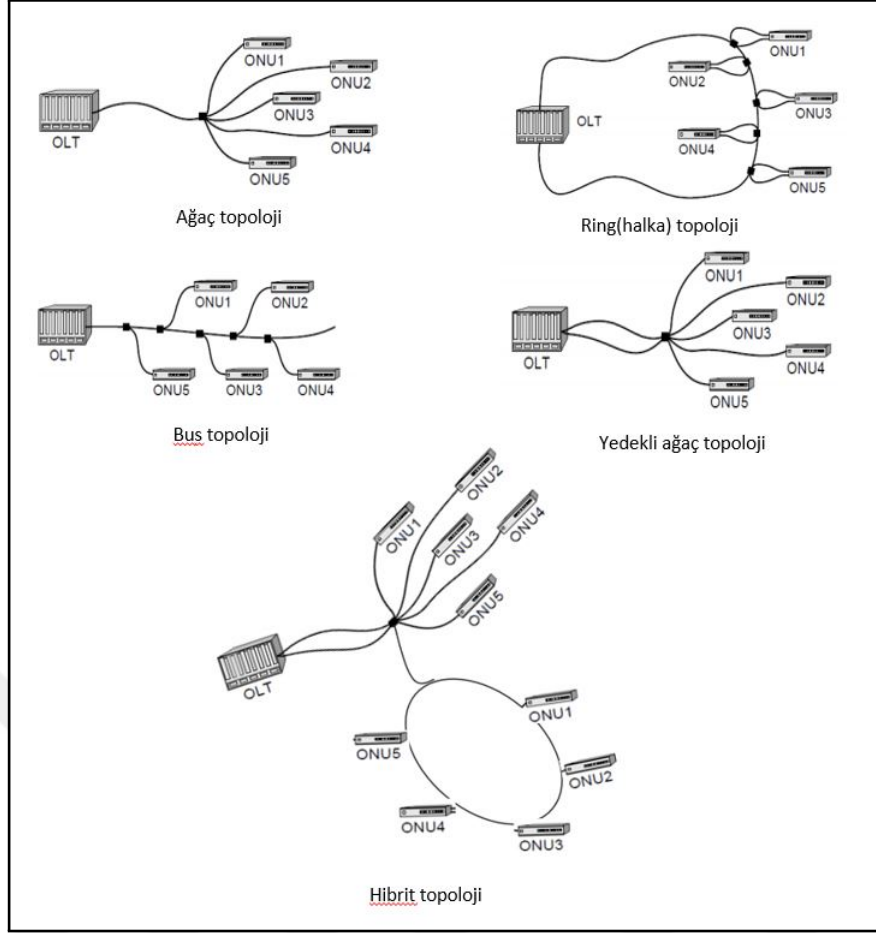
Merkezi ekipman olan OLT cihazı, çift yönlü veri iletimi gerçekleştirir. Yukarı yönde iletim, son kullanıcı bölümündeki ses, video, veri trafiğinin merkezi cihazlara iletilmesidir. Aşağı yönde iletim ise merkezi ekipmandan son kullanıcı katmanındaki ONT'lere kullanıcıların erişmek istediği verilerin dağıtılmasıdır.

Şekil 2.4'te aşağı yönlü ve yukarı yönlü veri iletimi görülmektedir. OLT'den çıkan her bilgi, optik güç bölücü ile tüm ONU'lara dağıtılır. ONU'lar, gelen bilgiyi kendilerine gönderilmiş ise bu bilgiyi alarak işler. ONU'ların kendilerine ait olmayan bilgiyi de alma durumu olduğu için geliştirilecek servislerin giden paketlerin gizliliğini sağlaması çok önemlidir [12]. Aynı şekilde bütün ONU'lardan OLT'ye gönderilecek olan bilgiler de optik güç bölücünden sonra tek bir fiber üzerinden gönderileceği için gönderilen verilerin hat üzerinde çakışmasını engelleyecek çoklu erişim sisteminin kullanılması gerekir. Günümüzde kullanılan PON yapılarında, genellikle TDMA (Time Division Multiple Access, Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) yöntemi kullanılır [13].



Şekil 2.4 Aşağı yönde ve yukarı yönde veri iletimi

Pasif optik ağ tipleri, bölgedeki kullanıcı sayısına, ihtiyaca ve maliyete göre ağaç topoloji, yedekli ağaç topoloji, bus topoloji, halka topoloji, ve hibrit topoloji şeklinde konumlandırılabilirler. Pasif optik ağ topolojileri, Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 Pasif optik ağ topoloji türleri

2.6.2 Noktadan Noktaya Optik Ağlar

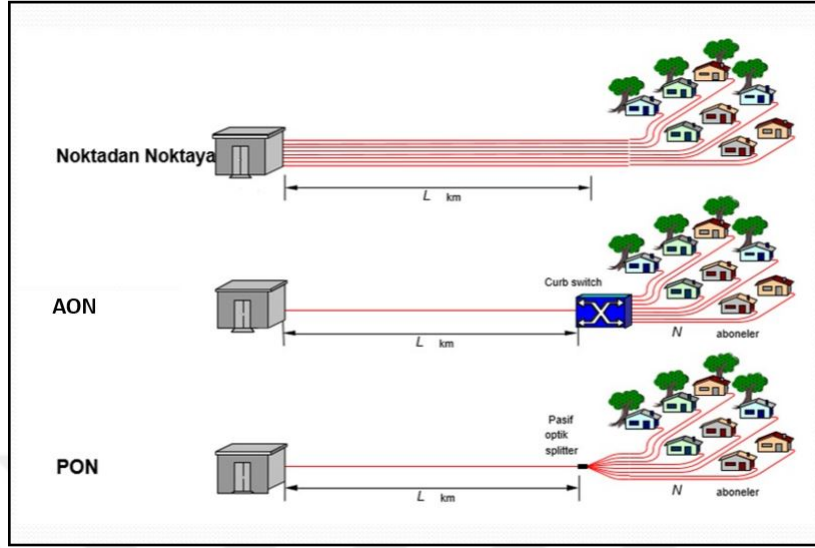
P2P (Peer to Peer, Noktadan Noktaya) bağlantılarda, her bir kullanıcı için merkezi ekipmandan son kullanıcıya kadar farklı bir iletim hattı döşenir. İleriye dönük istemin genişletilmesine imkan sunar ve son kullanıcılara yüksek kapasitede ve güvenilirlikte veri iletimi sağlar, ancak daha fazla fiber kullanıldığı için bakım ihtiyacı ve maliyeti fazladır.

2.6.3 Aktif Optik Ağlar

Aktif optik ağlar, merkezi ekipmandan çıkan optik fiberin, bütün trafiği aktif bir ekipmana kadar taşıdığı ve bu aktif ekipmanda çoğullanarak yeni bir aktif ekipmana, binaya veya daireye bağlandığı modeldir. Bölgedeki ihtiyaca göre optik fiber, aktif elemanlar arka arkaya kullanılarak bir kaç defa çoğullanabilir. AON'lar aktif devre elemanlarına sahiptir ve bu aktif ekipmanlar, iletilen verinin merkezi ekipman ile son kullanıcılar arasında ayrıştırılarak alınıp gönderilmesini sağlar. Merkezi ekipman ile son kullanıcı arasında kullanılan aktif ekipmanın enerji ihtiyacı ve bakım maliyeti

mevcuttur.

P2P, AON ve PON topolojileri, sırasıyla Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 P2P, AON ve PON topolojileri

2.7 Optik Ağların Karşılaştırılması

P2P, AON ve PON sistemlerinin kendi içlerinde avantaj ve dezavantajları mevcuttur. P2P yapı, her bir kullanıcı için farklı bir iletim hattı bulundurduğu için daha yüksek kapasitede ve daha güvenli veri iletimi sağlar ancak kullanılan optik fiber arttığı için maliyeti yüksektir. AON sisteminin maliyeti, P2P yapıya göre daha düşüktür. Aktif ara ekipmanlar kullanıldığı için enerji ihtiyacı mevcuttur. Ara ekipmanların korunaklı bir yapı içerisinde bulunması gerekir ve mahalle içlerinde uygun konumlar bulmak zordur.

AON yapısı, PON yapısına göre daha uzun mesafeler için kullanılabilir; örneğin 100 km'lik mesafede veri iletimi gerçekleştirilebilir. PON sistemi ise 30 km'den daha kısa olan mesafeler için kullanılır. Ancak 3.5 Bölüm'ünde yapılan uygulamada, WDM teknolojisi ile birlikte kullanıldığında 60 km'ye kadar veri iletimi sağlandığı görülmüştür.

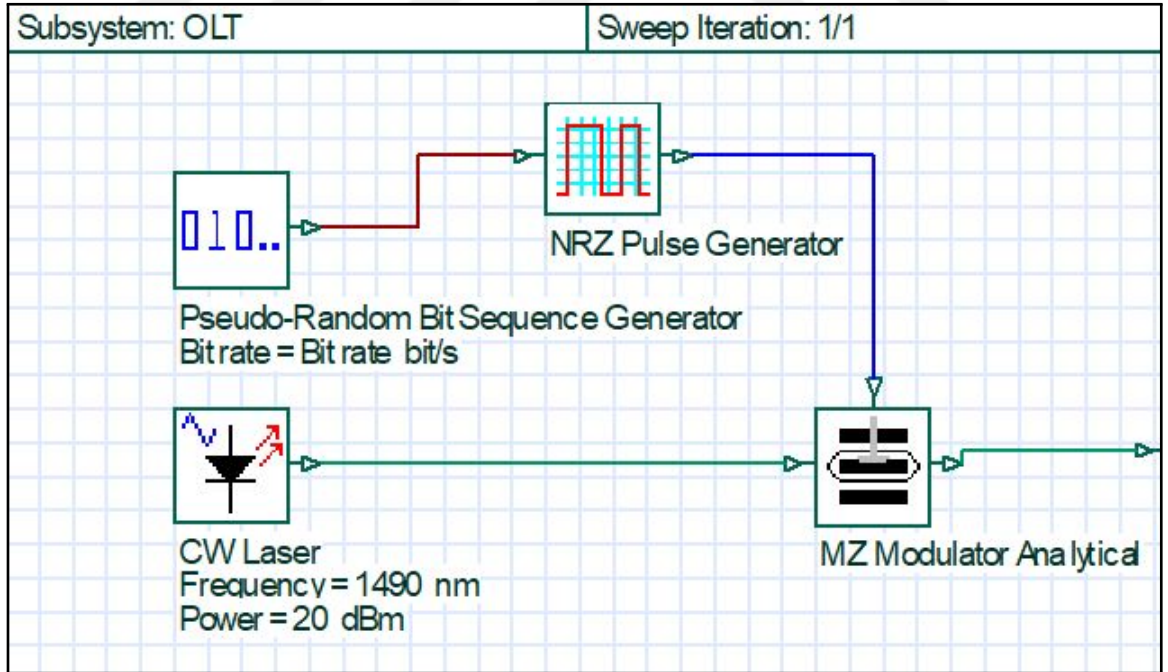
PON sisteminde, merkezi ekipman ile son kullanıcı arasında herhangi bir aktif ekipman olmadığı için AON sistemine göre maliyeti daha düşüktür ve daha az bakım gerektirir. Merkezi ekipman ile son kullanıcı arasındaki bir bölgede genel elektrik kesintisi yaşandığında, son kullanıcı, bu enerji kesintisinden etkilenmeden internet hizmeti almaya devam edecektir.

3

GİGABİT PASİF OPTİK AĞ UYGULAMALARI VE ANALİZLERİ

3.1 GPON Uygulamaları ve Analizleri

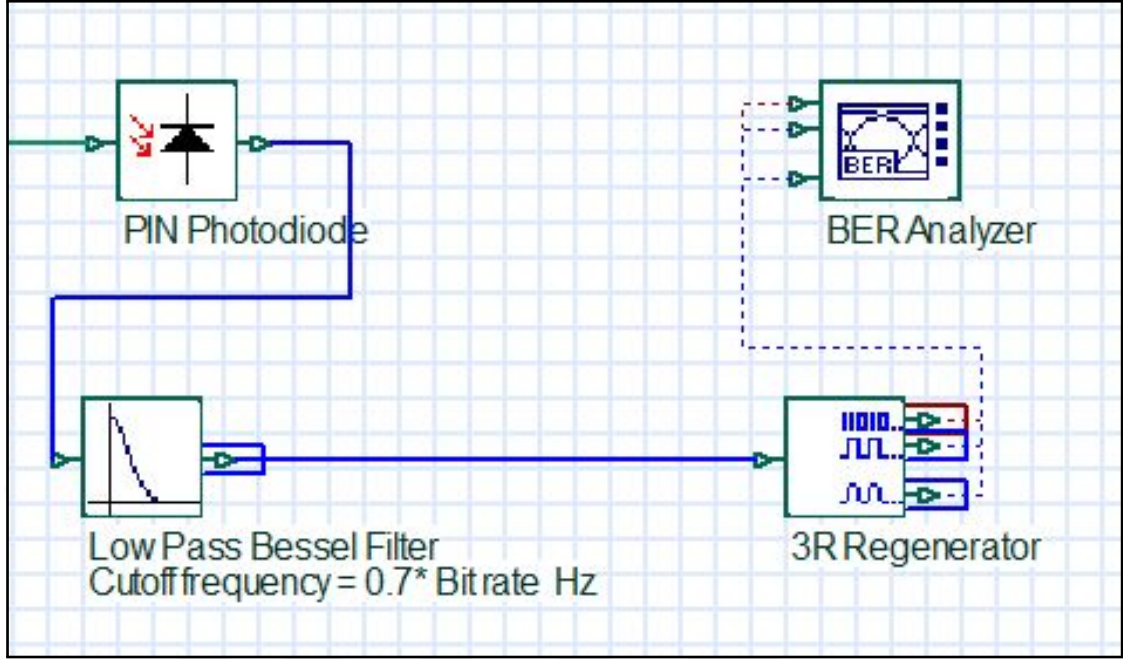
OptiSystem 16.0 simülasyon programı ile GPON pasif optik ağ tasarlanmıştır. Söz konusu olan sistemdeki verici, santralde bulunan OLT bloğudur ve OLT'nin iç yapısı, Şekil 3.1'de verilmiştir. Sistemin verici kısmında 1490 nm dalgaboyunda ve 20 dB gücünde CW lazer, NRZ (Non-Return to Zero, Dönüşsüz Sıfır) darbe üretici ve MZ (Mach-Zehnder) modülatör kullanılmıştır. CW lazerden üretilen ışık sinyali ile NRZ darbe üreticiden gelen elektrik sinyali, MZ modülatör yardımı ile modüle edilmiştir.



Şekil 3.1 OLT iç yapısı

Optik iletim hattındaki sinyalin güçlendirilmesi ve alıcı kısmında daha iyi bir sinyalin elde edilebilmesi için 10 dB gücünde ve 4 dB gürültüsü olan EDFA optik kuvvetlendiriciden yararlanılmıştır. Sistemin alıcı kısmında ise fotodiyot ve alçak

geçiren Bessel filtre kullanılmıştır. Sistemin alıcı bloğundaki ONT'nin iç yapısı, Şekil 3.2'de yer almaktadır.



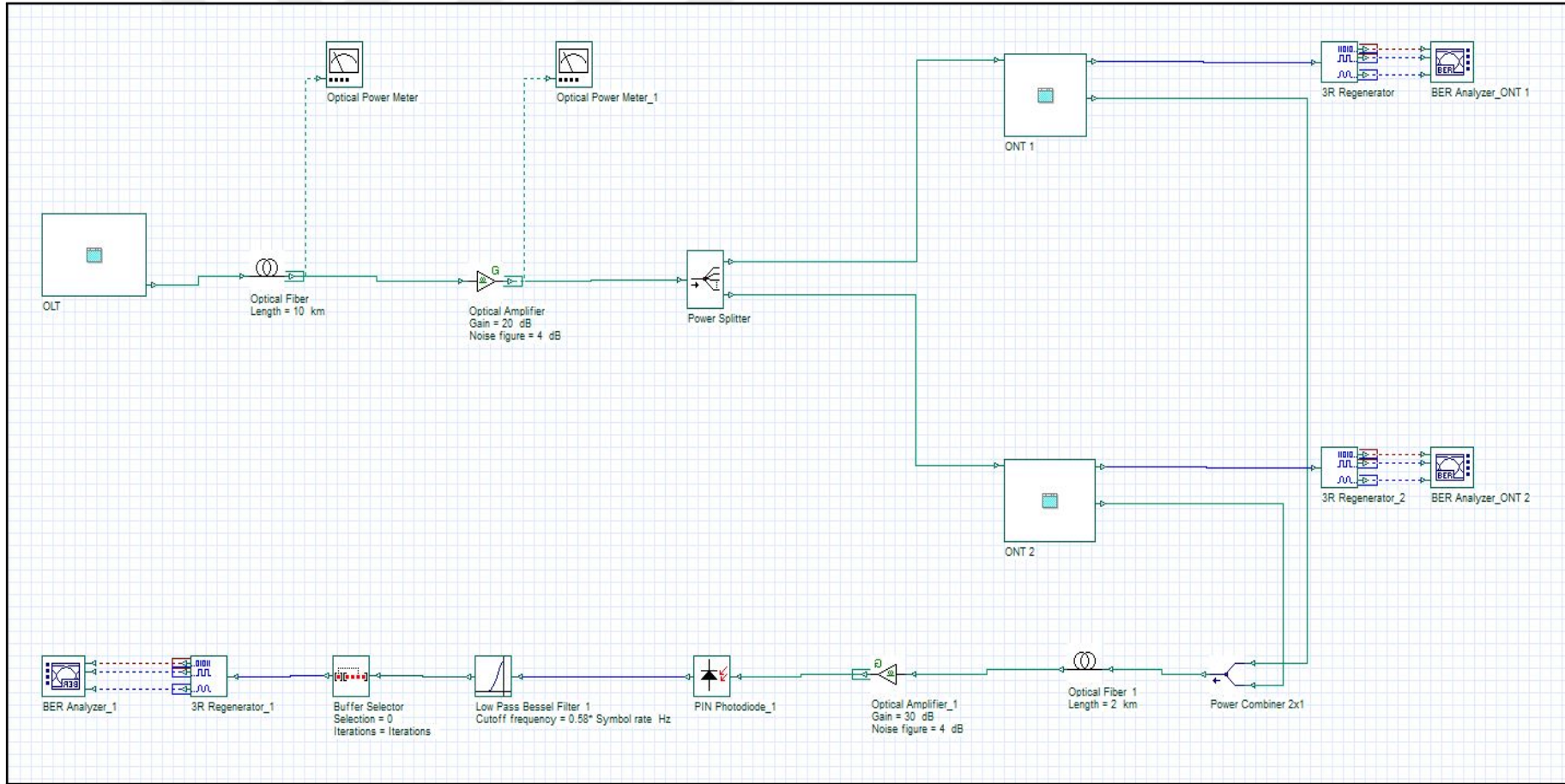
Şekil 3.2 ONT iç yapısı

3.2 Mesafenin GPON Sistem Performansına Etkileri

OptiSystem 16.0 ile GPON FTTH ve GPON FTTB sistemleri tasarlanmıştır. Optik iletim hattının uzunluğu değiştirilerek mesafenin GPON FTTH ve GPON FTTB sistemine etkileri incelenmiştir.

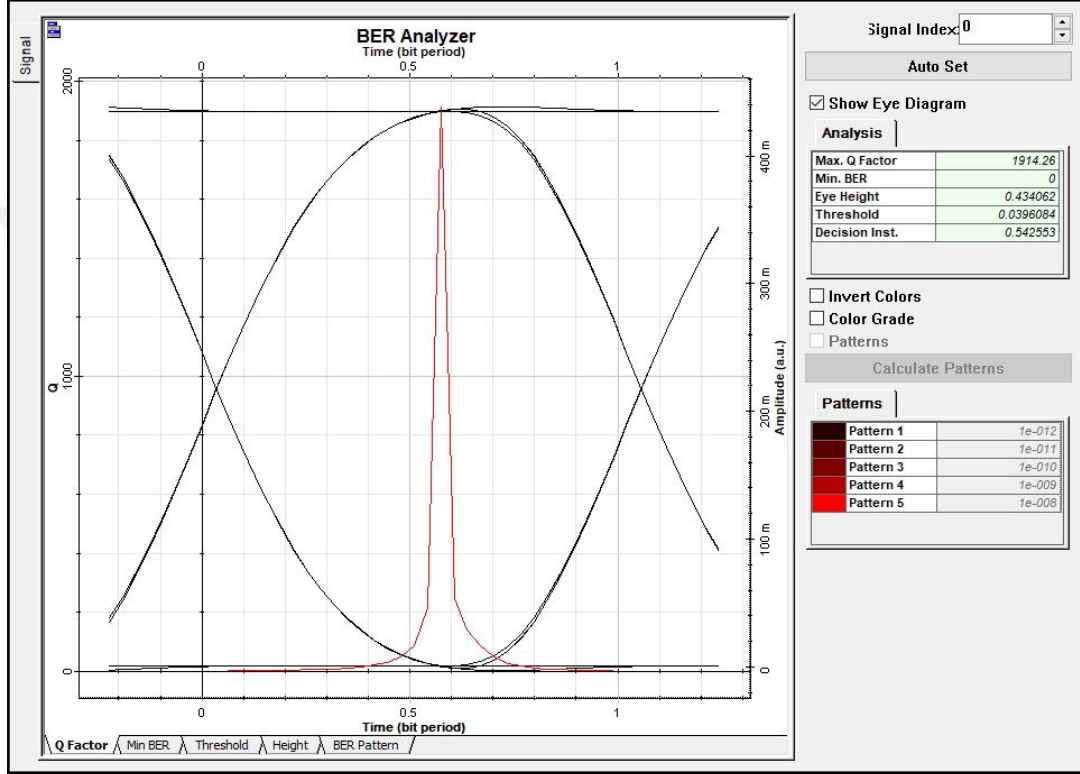
3.2.1 Mesafenin GPON FTTH Sistem Performansına Etkileri

Tasarlanan GPON FTTH sistemi, Şekil 3.3'te verilmiştir. Referans sistemde verici bloğu, optik iletişim hattı ve alıcı bloğu bulunmaktadır. Verici bloğundan çıkan fiber optik iletim hattı, 10 km mesafesindedir ve optik güç bölücü kullanılarak iki farklı alıcı bloğunda sonlandırılmıştır.

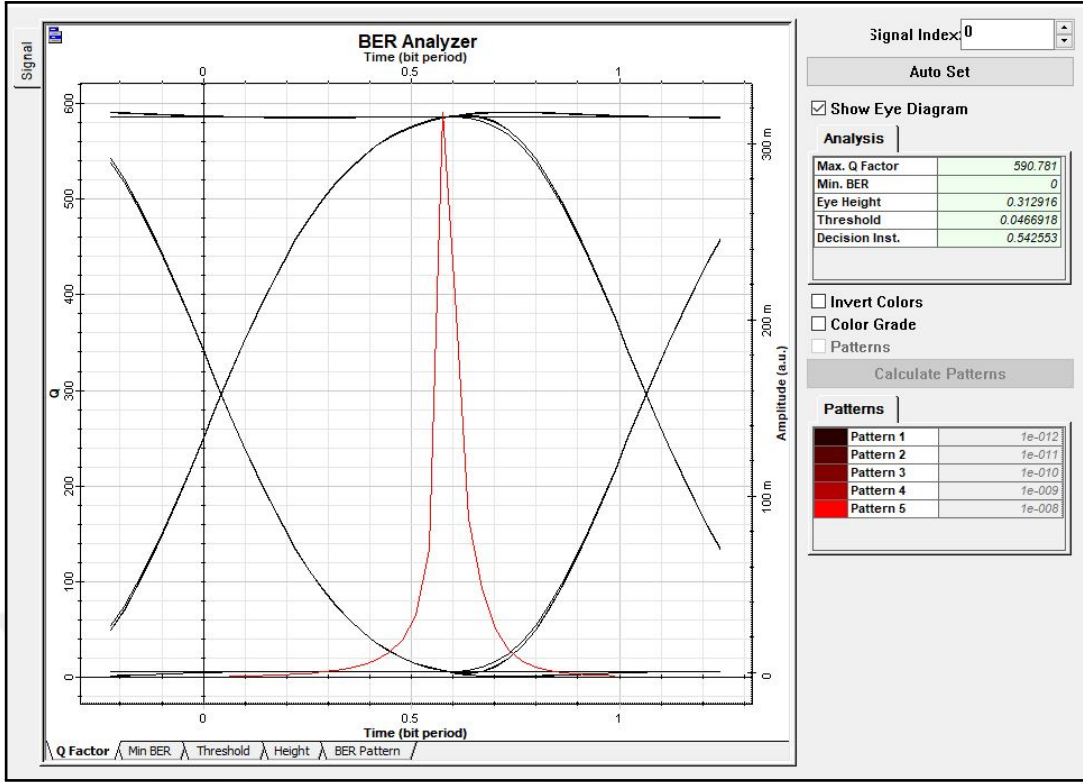


Şekil 3.3 Tasarlanan GPON FTTH sistemi

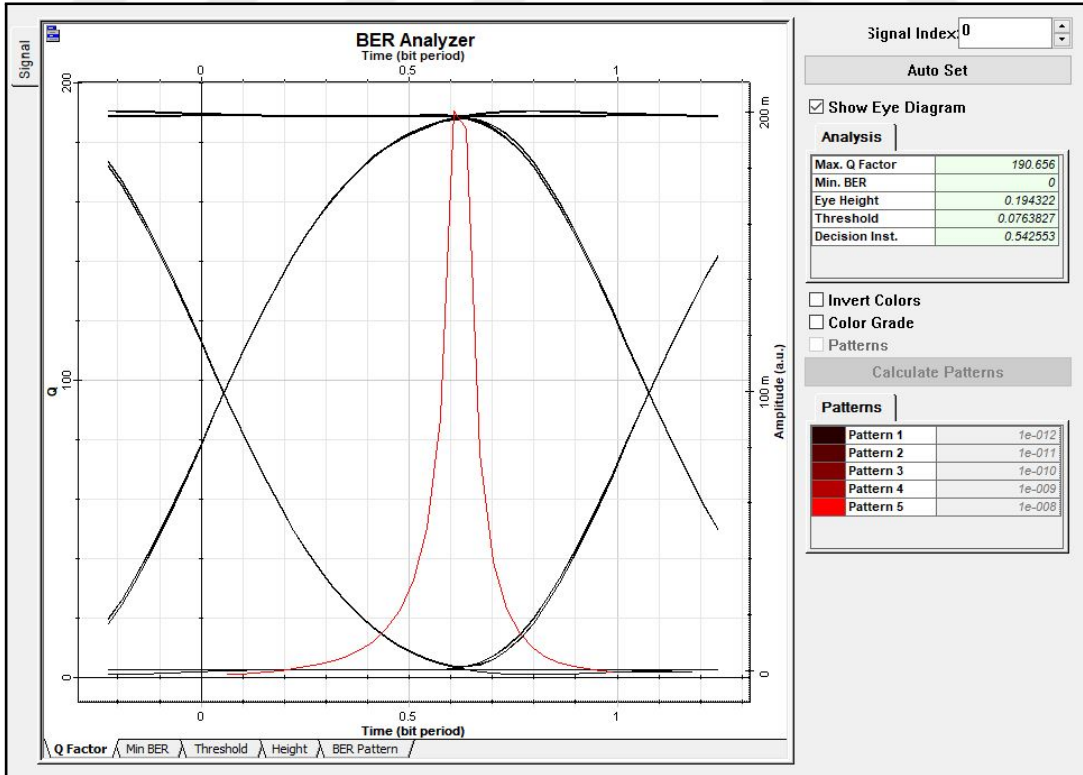
Şekil 3.3'teki sistemde, 1 Gbps veri iletiminde, optik iletişim hattının uzunluğu değiştirilerek mesafenin, sistem performansına etkileri incelenmiştir. 3 km, 10 km ve 20 km uzunluğundaki optik fiberler için inceleme yapılmış ve mesafenin artmasıyla BER (Bit Error Rate, Bit Hata Oranı) diyagramında da saçılmaların arttığı gözlenmiştir. BER diyagramı sonuçları, sırasıyla Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da görülmektedir. Maksimum Q faktörünün de mesafenin artmasına bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.4 1 Gbps veri iletimi için 3 km mesafesinde BER diyagramı



Şekil 3.5 1 Gbps veri iletimi için 10 km mesafesinde BER diyagramı



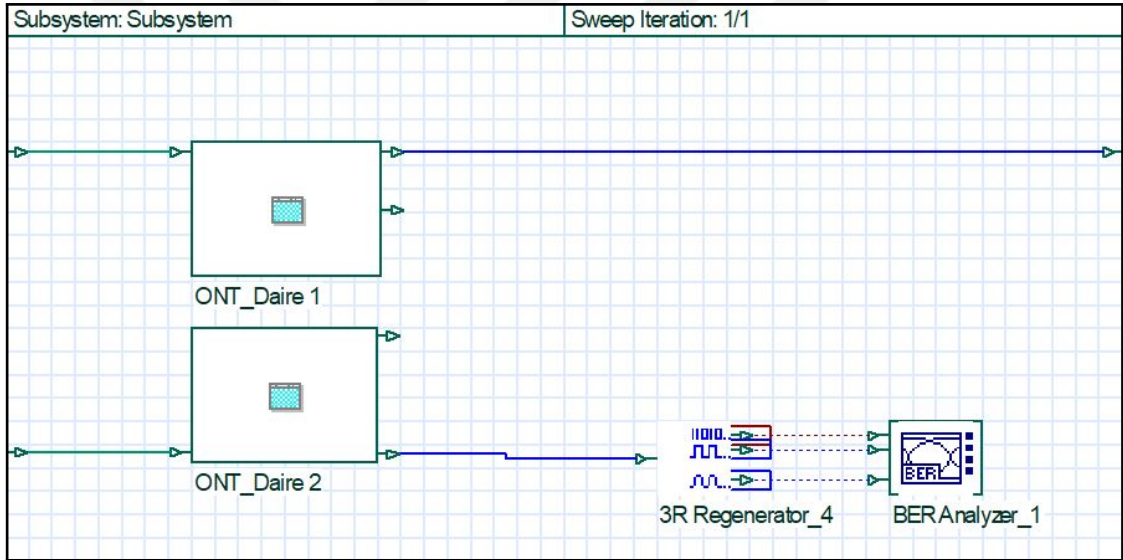
Şekil 3.6 1 Gbps veri iletimi için 20 km mesafesinde BER diyagramı

Tablo 3.1 Q faktörünün GPON FTTH tasarımında mesafeye göre değişimi

Optik İletim Hattının Uzunluğu	Maksimum Q Faktör
3 km	1914,26
10 km	590,781
20 km	190,656

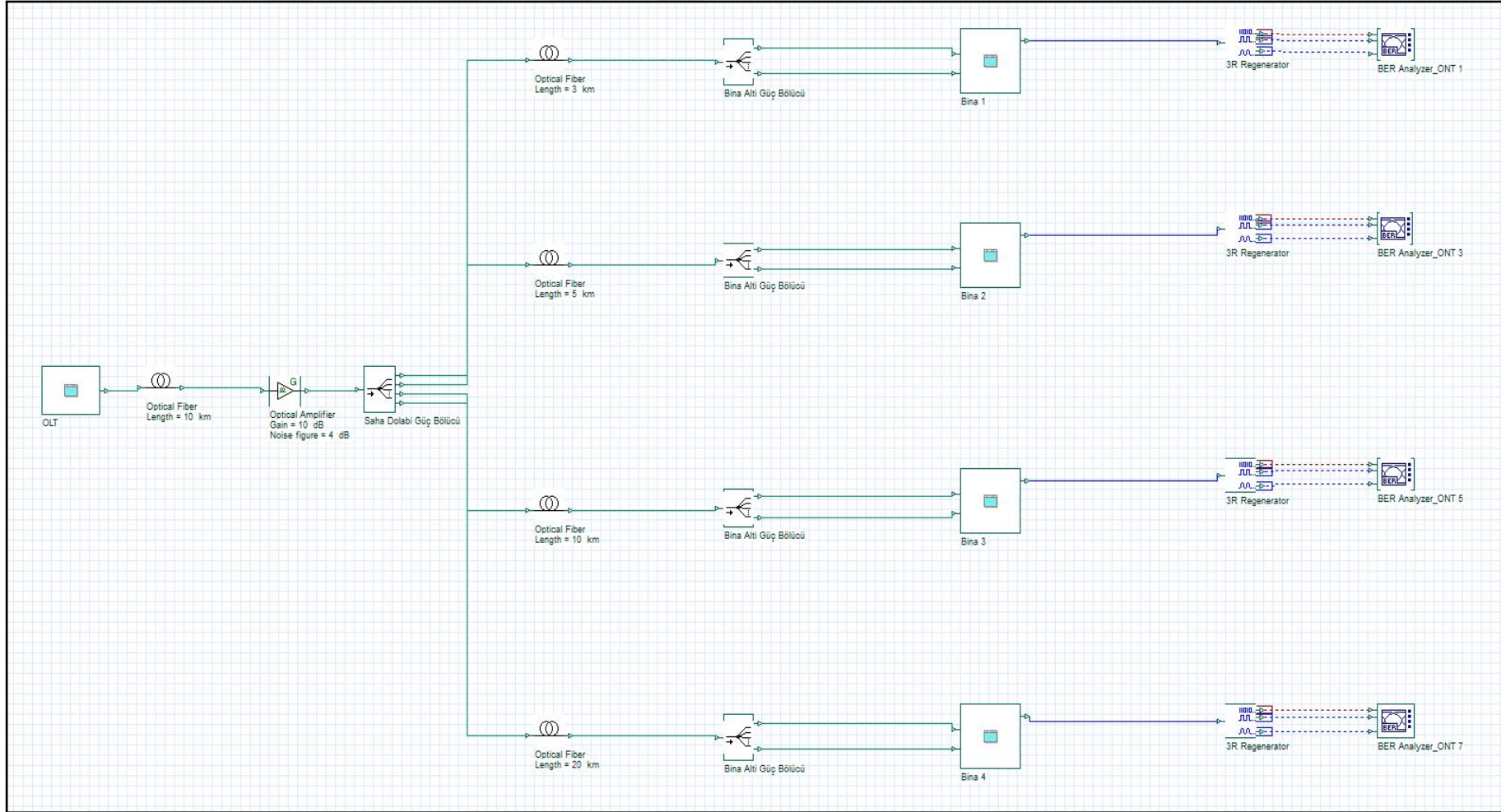
3.2.2 Mesafenin GPON FTTB Sistem Performansına Etkileri

Bu bölümde, merkezi ekipman olan OLT cihazından çıkan fiber optik iletişim hattı, saha dolabındaki optik güç bölücü ile bölünüp farklı mesafelerdeki dört farklı binada bulunan ONT cihazlarında sonlandırılmıştır. Şekil 3.7’de bina iç yapısı gösterilmiş ve her binada iki daire olacak şekilde planlanmıştır. Şekil 3.8’de gösterilen tasarımda, OLT ve ONT’nin iç yapısı, Şekil 3.3’teki tasarımdaki OLT ve ONT’nin iç yapısı ile aynı özelliklere sahiptir.

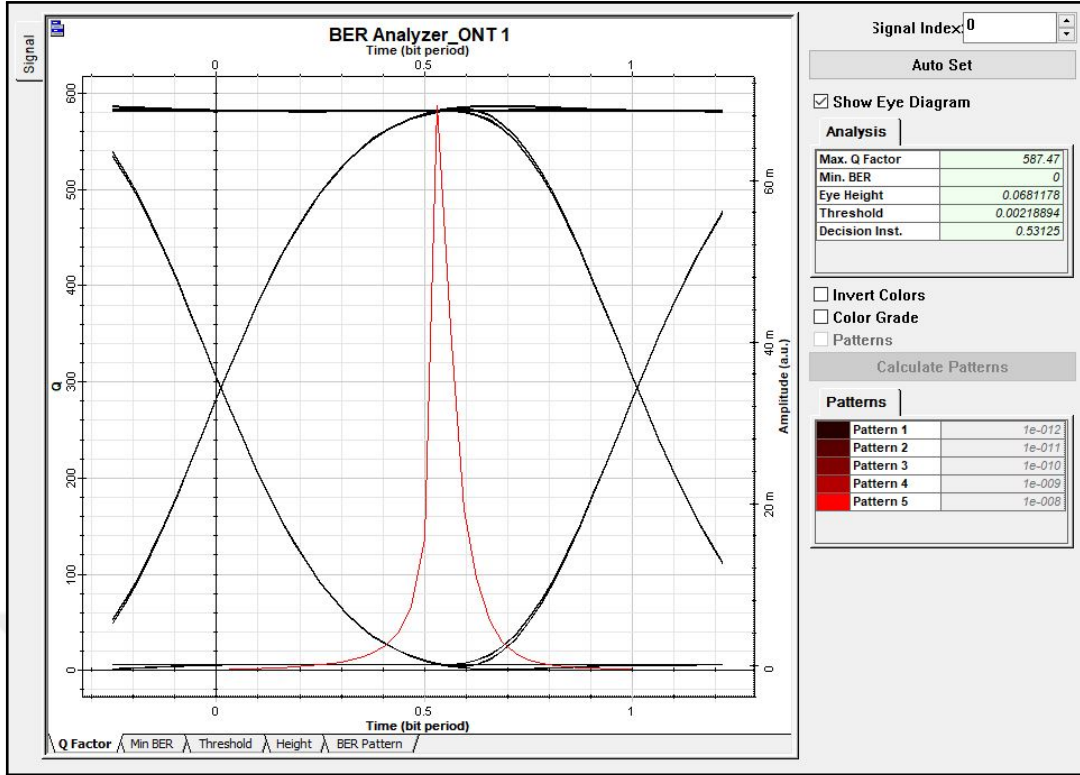


Şekil 3.7 GPON FTTB tasarımındaki bina iç yapısı

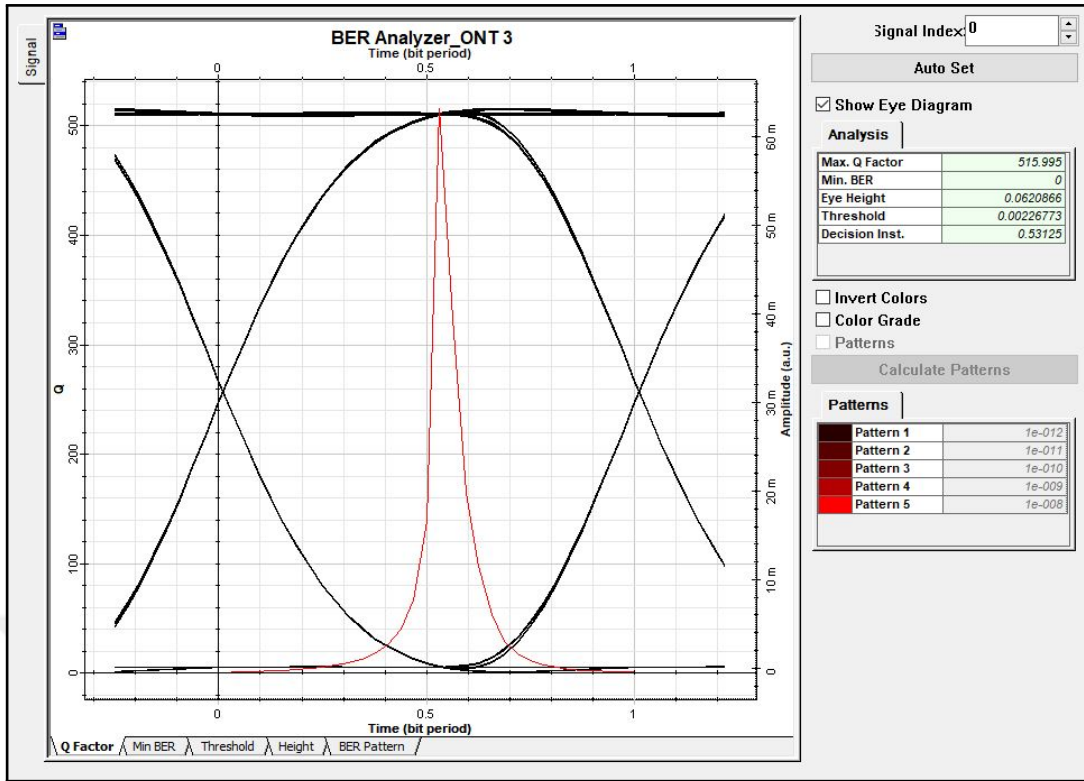
OLT cihazı ile saha dolabı içerisinde bulunan optik güç bölücü arasındaki optik iletim hattının uzunluğu 10 km’dir. Optik iletim hattındaki sinyalin güçlendirilmesi için 4 dB gürültüye sahip 10 dB gücünde EDFA optik kuvvetlendirici kullanılmıştır. Saha dolabındaki optik güç bölücü ile bina altı güç bölücüler arasındaki mesafe, sırasıyla 3 km, 5 km, 10 km ve 20 km’dir. Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de görüldüğü gibi güç bölücü ile bina arasındaki mesafe arttıkça BER diyagramında saçılmalar oluşmuştur ve kalite faktörü azalmıştır.



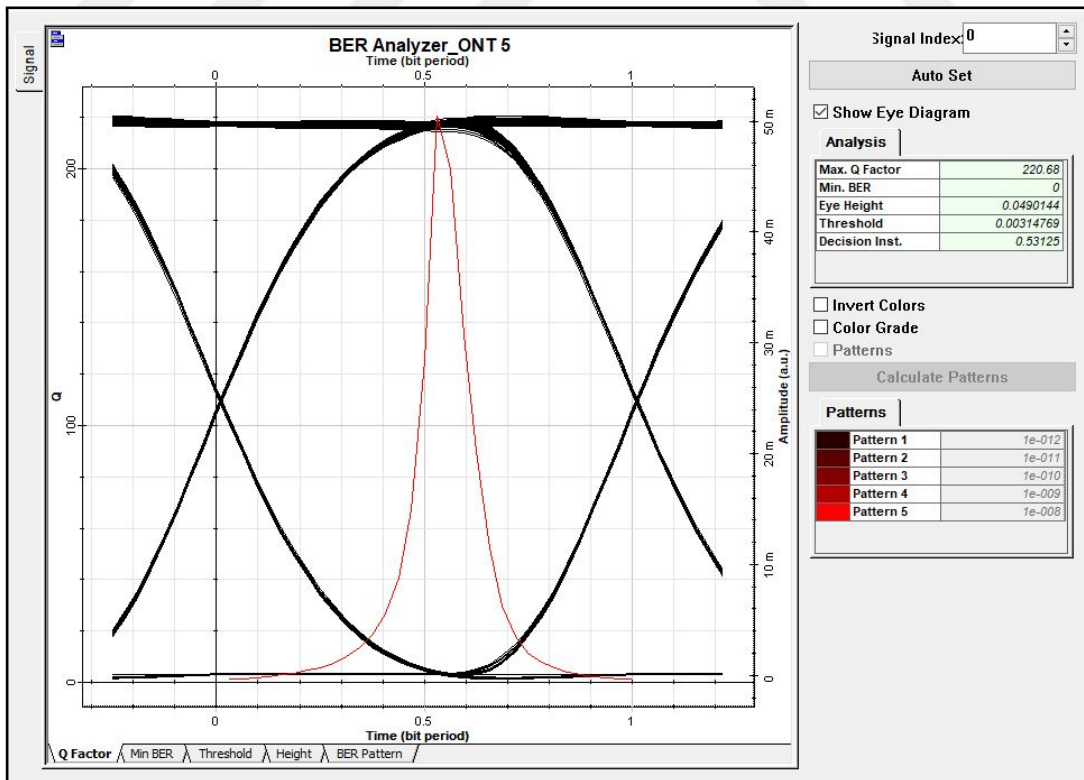
Şekil 3.8 Dört farklı binaya hizmet veren GPON FTTB tasarımı



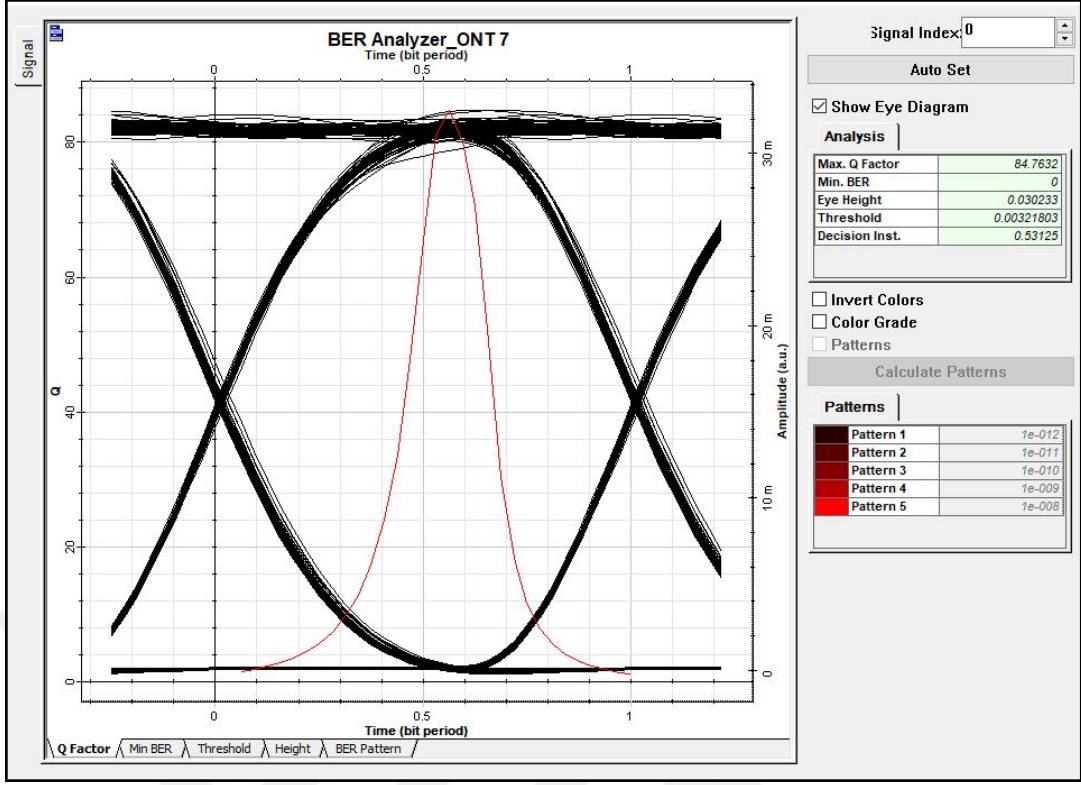
Şekil 3.9 1 Gbps veri iletimi için 3 km mesafesinde BER diyagramı



Şekil 3.10 1 Gbps veri iletimi için 5 km mesafesinde BER diyagramı



Şekil 3.11 1 Gbps veri iletimi için 10 km mesafesinde BER diyagramı



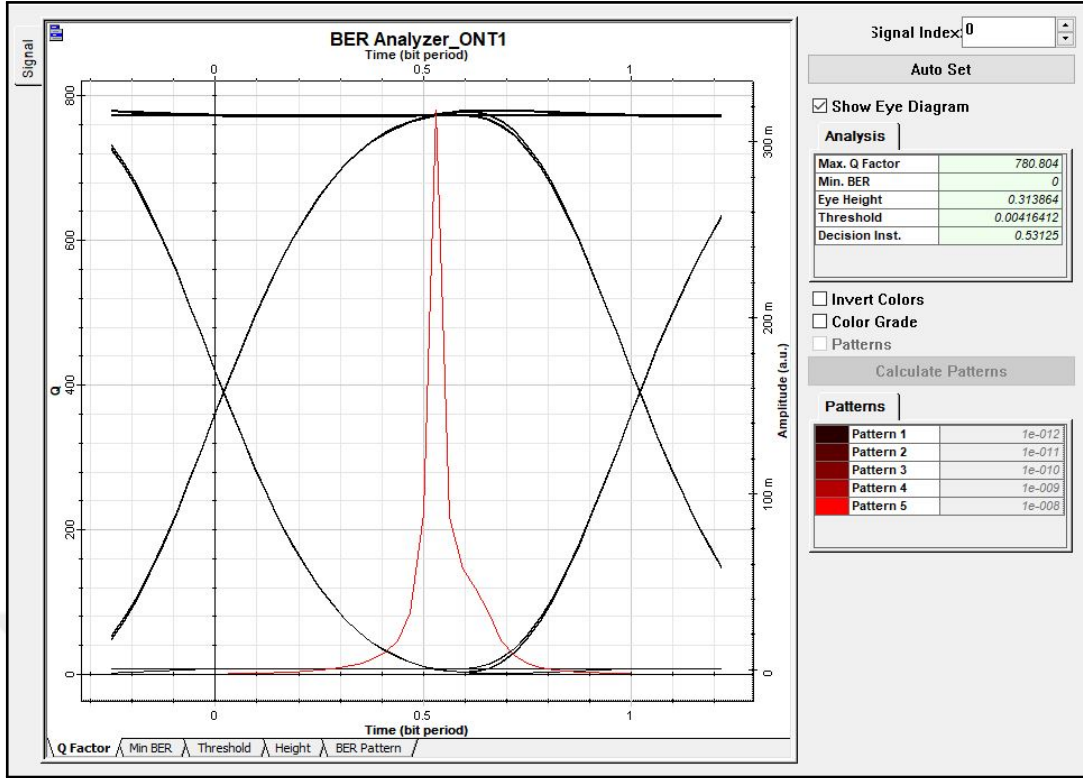
Şekil 3.12 1 Gbps veri iletimi için 20 km mesafesinde BER diyagramı

3.3 Bit İletim Hızının GPON Sistem Performansına Etkileri

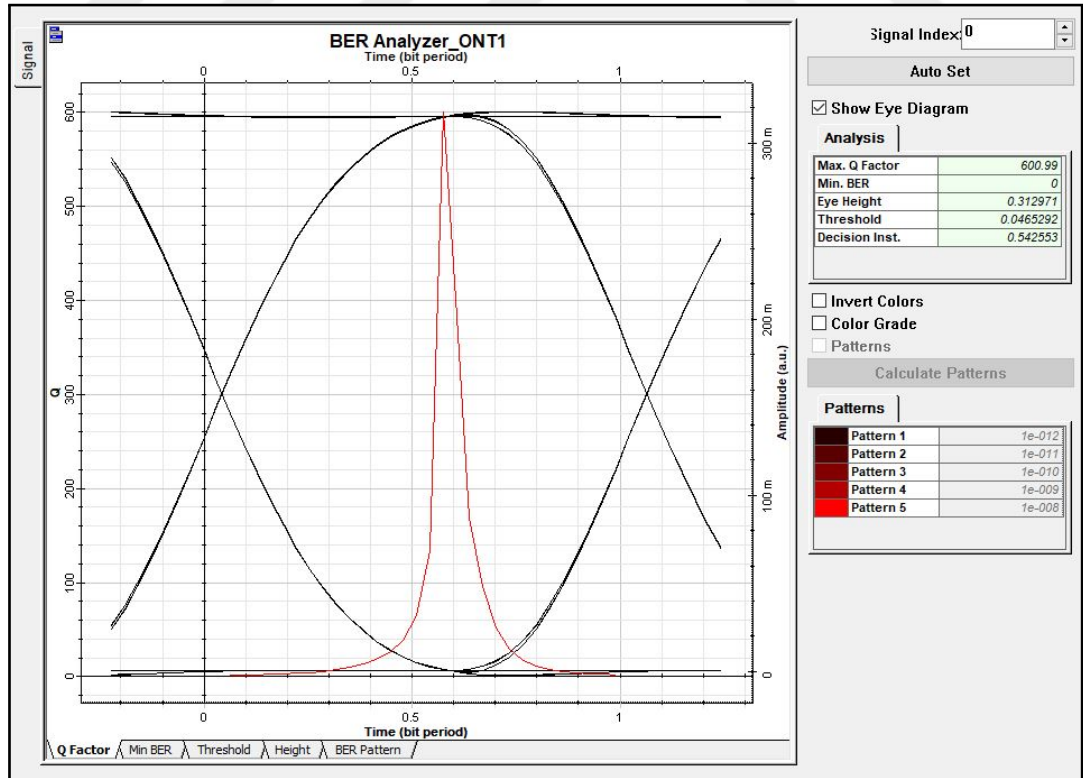
Tasarlanan GPON FTTH ve GPON FTTB sistemlerinde, farklı bit iletim hızlarında veri iletimi gerçekleştirilmiştir. Bit iletim hızının sistemler üzerindeki etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

3.3.1 Bit İletim Hızının GPON FTTH Sistem Performansına Etkileri

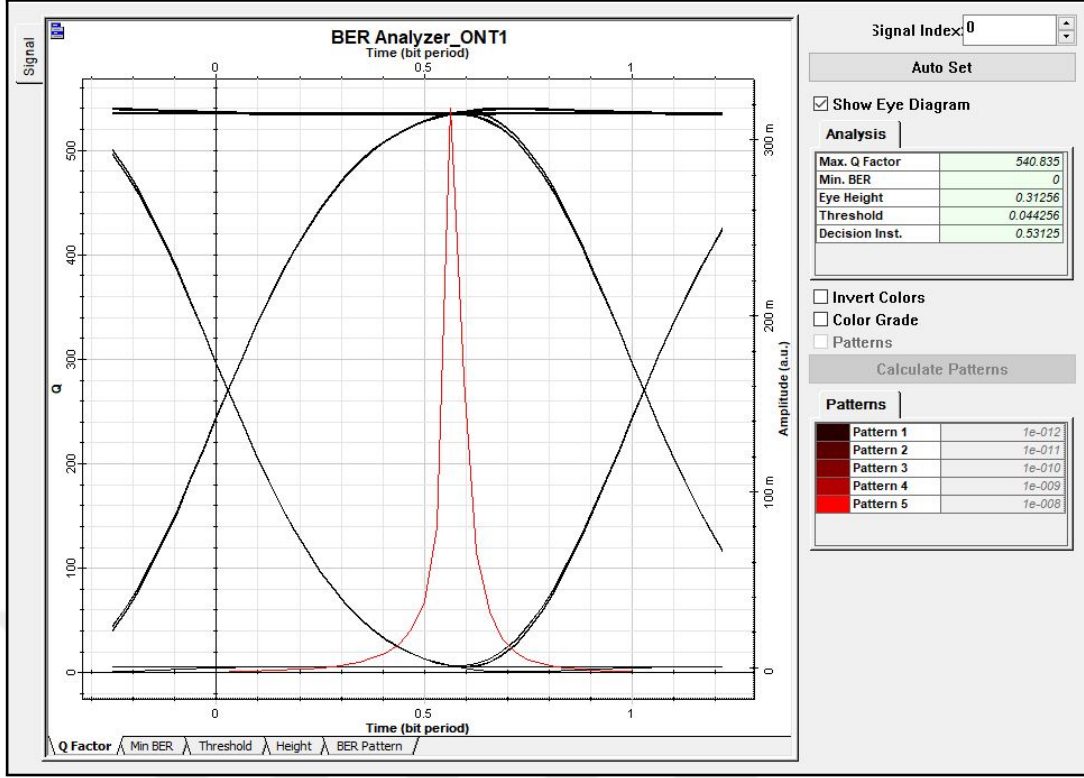
Şekil 3.3'te verilen sistem üzerinde, bit iletim hızları değiştirilerek bit iletim hızının sisteme etkisi incelenmiştir. 1490 nm dalgaboyunda çalışan ve 10 km uzunluğundaki optik fiberin kullanıldığı sistemde, 622 Mbps, 1244 Mbps ve 2488 Mbps bit iletim hızlarında BER diyagramları incelenmiştir. Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te görüldüğü gibi, bit iletim hızının artmasıyla BER diyagramında az miktarda saçılma olduğu gözlenmiştir. Bit iletim hızı arttığında, maksimum Q faktörü azalmıştır. Konuyla ilgili değerler, Tablo 3.2 'de yer almaktadır.



Şekil 3.13 10 km mesafesinde 622 Mbps veri iletimi gerçekleştirildiğinde BER diyagramı



Şekil 3.14 10 km mesafesinde 1244 Mbps veri iletimi gerçekleştirildiğinde BER diyagramı



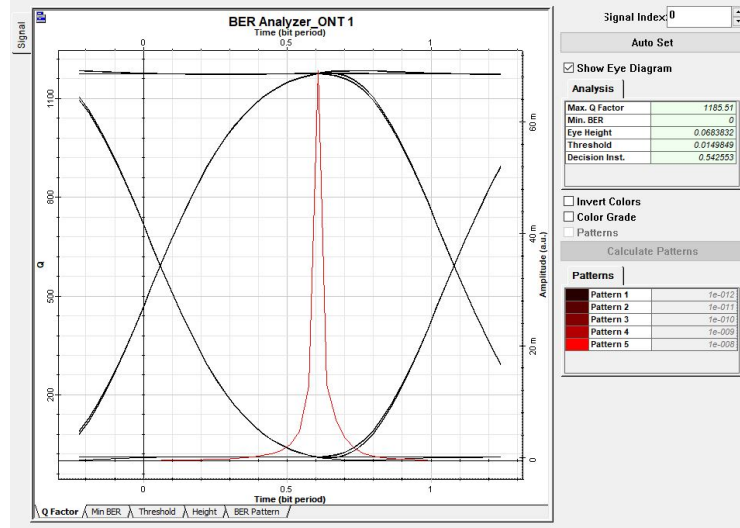
Şekil 3.15 10 km mesafesinde 2488 Mbps veri iletimi gerçekleştirildiğinde BER diyagramı

Tablo 3.2 Q faktörünün bit iletim hızına göre değişimi

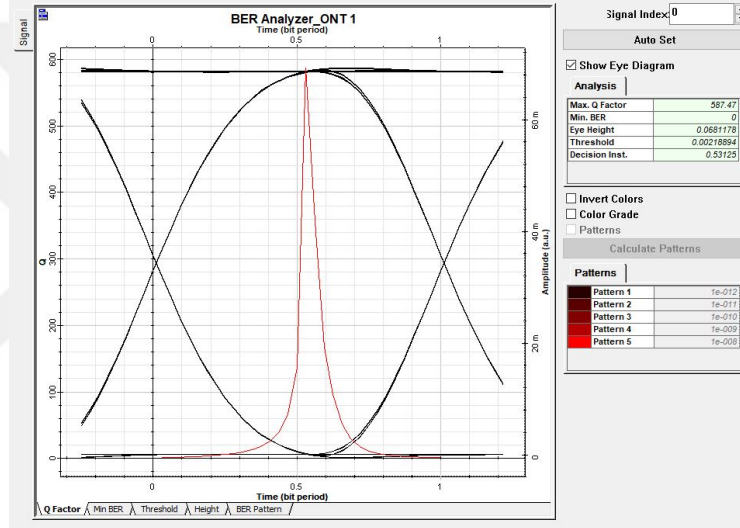
Bit İletim Hızı	Maksimum Q Faktör
622 Mbps	780,804
1244 Mbps	600,99
2488 Mbps	540,835

3.3.2 Bit İletim Hızının GPON FTTB Sistem Performansına Etkileri

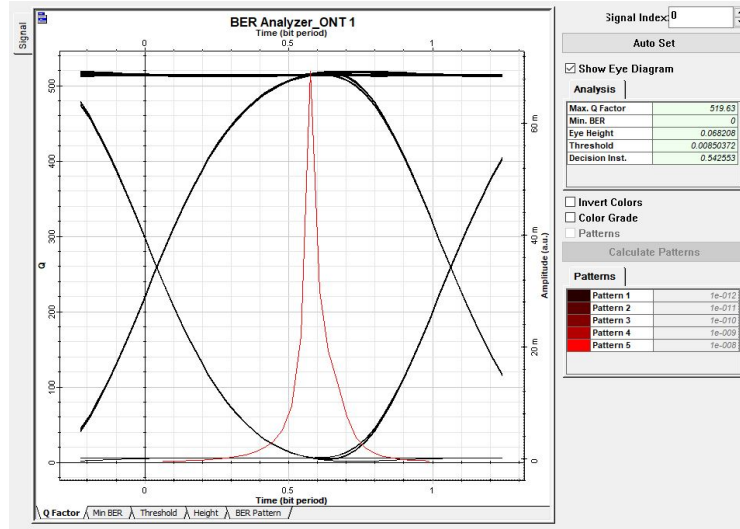
Şekil 3.8'de gösterilen, GPON FTTB tasarımında, güç bölücü ile bina arasındaki mesafe sabit tutulup bit iletim hızı 622 Mbps, 1244 Mbps ve 2488 Mbps olarak değiştirilmiştir. Farklı bit iletim hızlarında, 3 km, 5 km, 10 km ve 20 km mesafelerinde olan dört farklı binada ölçüm yapılmıştır. Binalardan alınan ölçüm sonuçları sırasıyla Şekil 3.16, Şekil 3.17, Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da verilmiştir. Bit iletim hızı arttıkça kalite faktörünün azaldığı görülmüştür.



(a) 622 Mbps

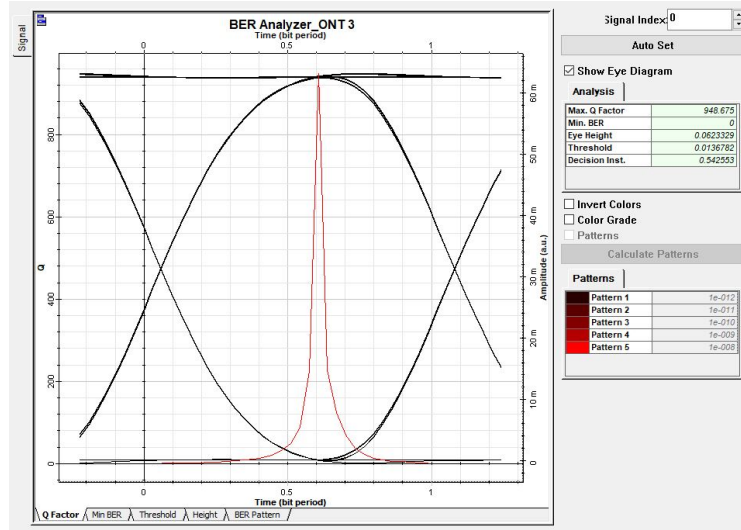


(b) 1244 Mbps

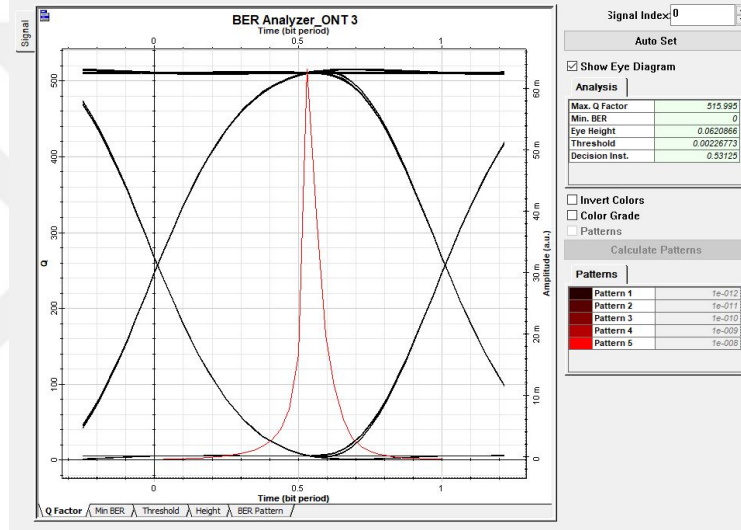


(c) 2488 Mbps

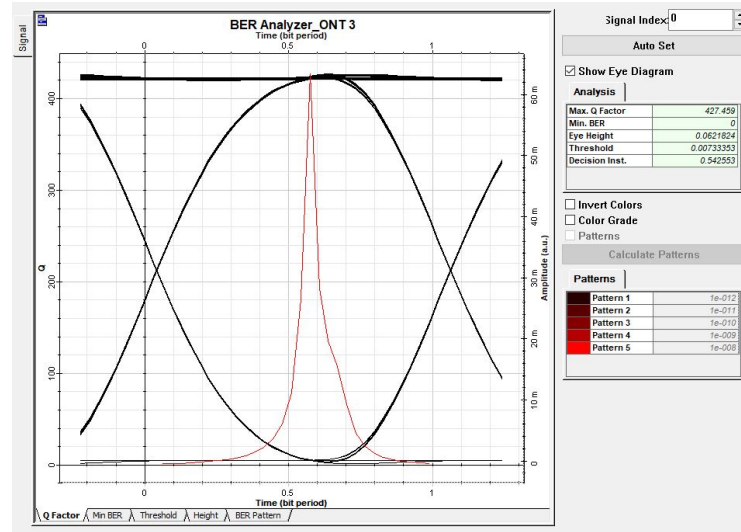
Şekil 3.16 3 km mesafesinde 622 Mbps, 1244 Mbps ve 2488 Mbps hızlarında veri iletildiğinde BER diyagramları



(a) 622 Mbps

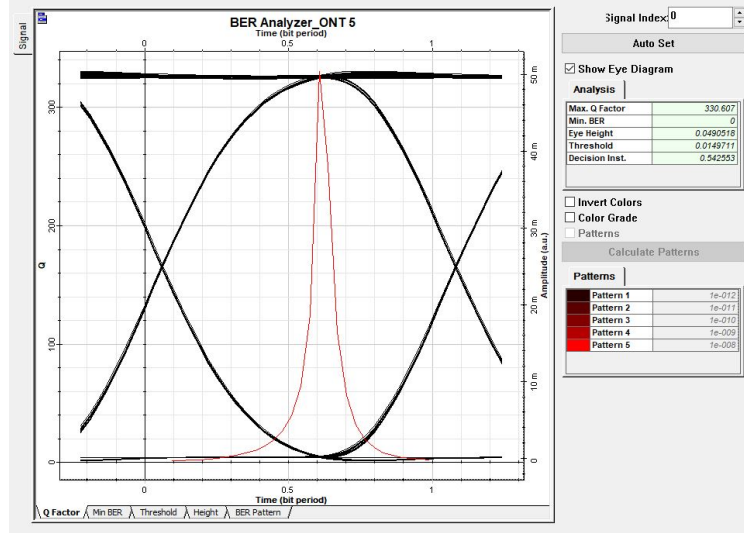


(b) 1244 Mbps

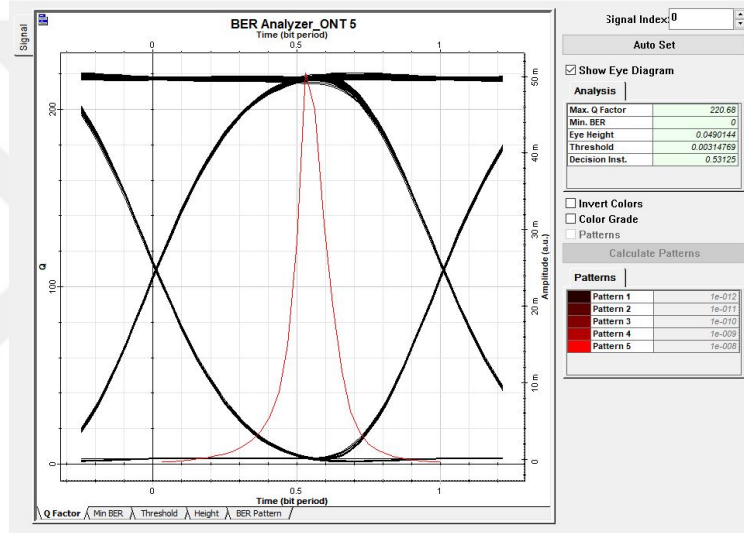


(c) 2488 Mbps

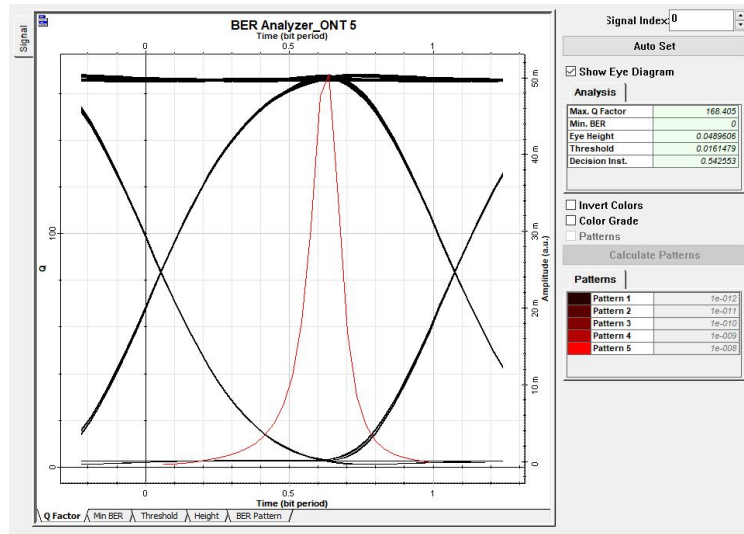
Şekil 3.17 5 km mesafesinde 622 Mbps, 1244 Mbps ve 2488 Mbps hızlarında veri iletildiğinde BER diyagramları



(a) 622 Mbps

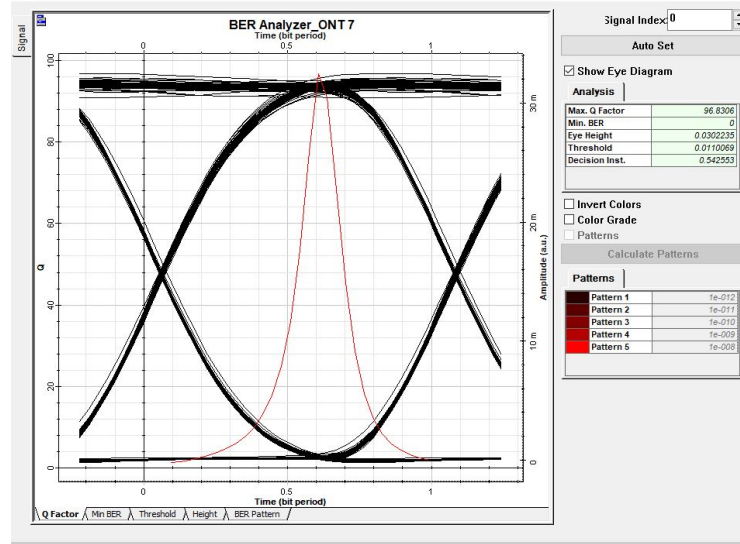


(b) 1244 Mbps

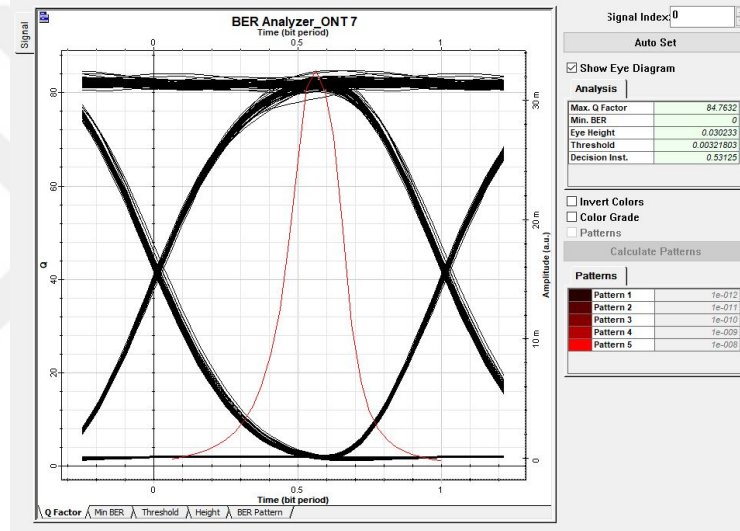


(c) 2488 Mbps

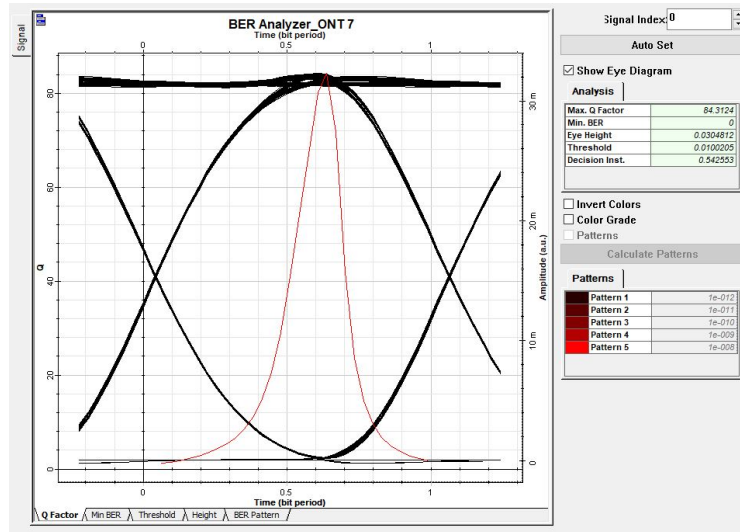
Şekil 3.18 10 km mesafesinde 622 Mbps, 1244 Mbps ve 2488 Mbps hızlarında veri iletildiğinde BER diyagramları



(a) 622 Mbps



(b) 1244 Mbps



(c) 2488 Mbps

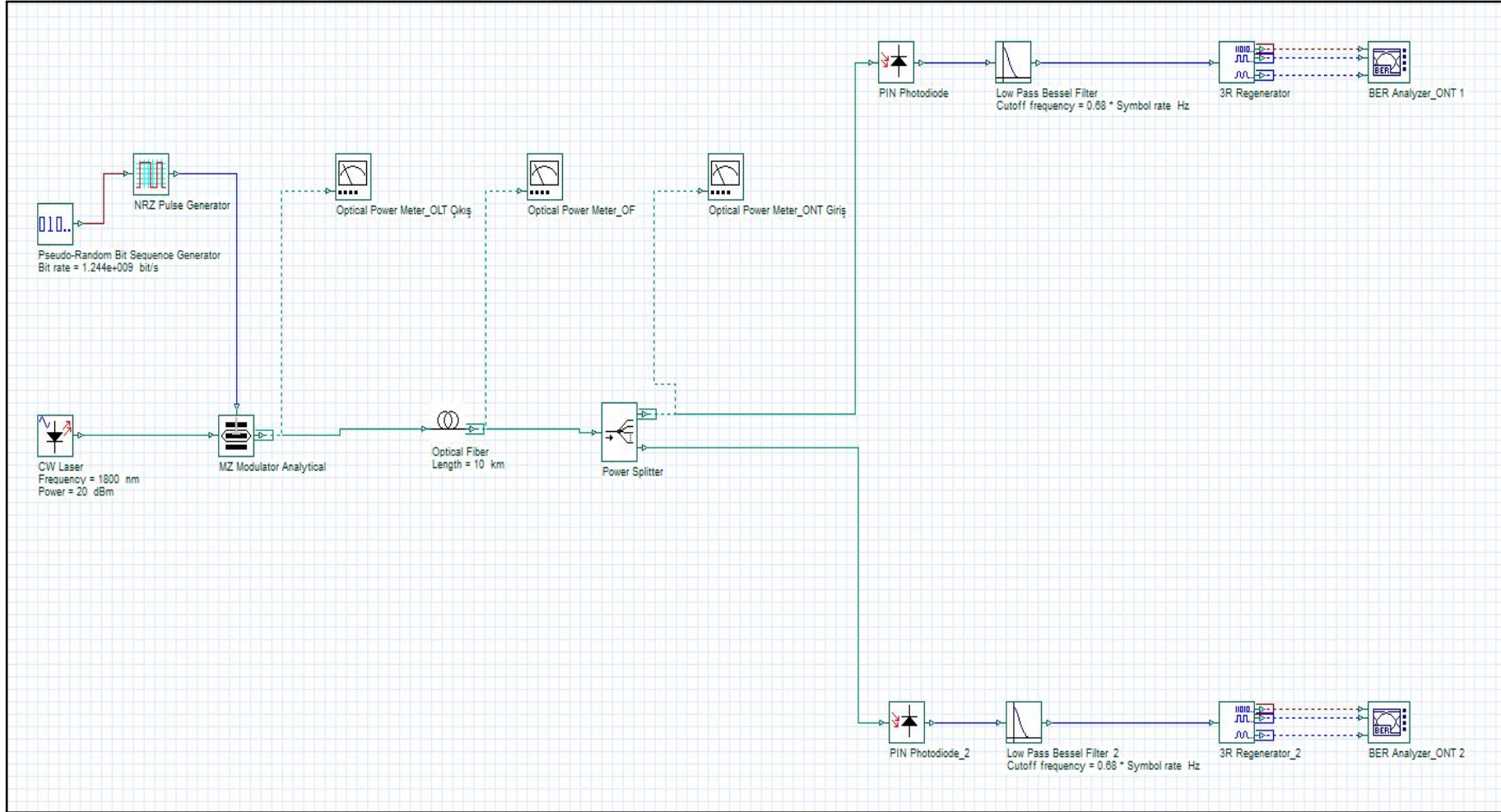
Şekil 3.19 20 km mesafesinde 622 Mbps, 1244 Mbps ve 2488 Mbps hızlarında veri iletildiğinde BER diyagramları

3.4 Dalgaboyunun GPON Sistem Performansına Etkileri

Işık sinyali, fiber optik iletim hattı içerisinde yol alırken bir miktar güç kaybı meydana gelir ve bu güç kaybı zayıflama olarak ifade edilir. Su iyonları ve cam kristallerin iletim hattı içerisinde rezonansa girmesine bağlı olarak zayıflama miktarı artar. Bu sebeple bazı dalgaboyu seviyelerinde optik iletim gerçekleşemez. Fiber optik iletimin gerçekleştiği, 800-850 nm olan birinci pencere bölgesi, 1300 ve 1350 nm olan ikinci pencere bölgesi, 1500-1550 nm olan üçüncü pencere bölgesi, 1700-1750 nm olan dördüncü pencere bölgesi mevcuttur. GPON FTTH ve GPON FTTB sistemlerinde, verici bloğunda kullanılan, CW lazerin dalgaboyu sırasıyla 850 nm, 1200 nm, 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm, 1700 nm ve 1800 nm olarak belirlenmiş ve dalgaboyunun, sistemlerin alıcı kısmında elde edilen sinyale etkisi incelenmiştir.

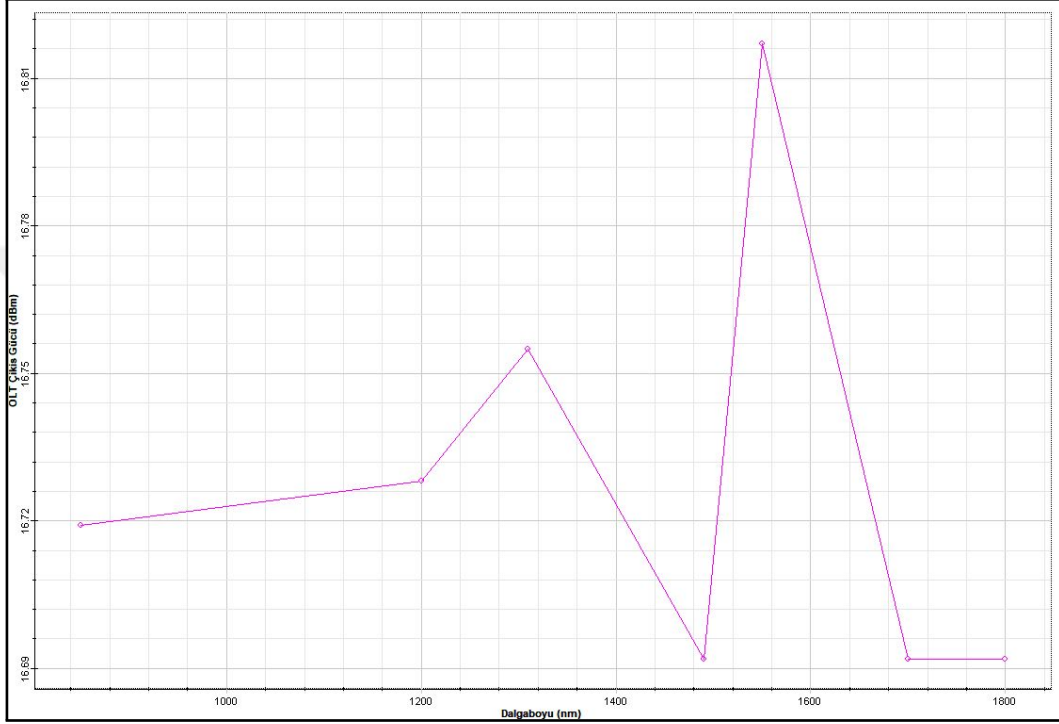
3.4.1 Dalgaboyunun GPON FTTH Sistem Performansına Etkileri

Şekil 3.20'deki GPON FTTH sistemi üzerinde farklı pencere bölgelerinde olan farklı dalgaboylarında veri iletimi gerçekleştirilmiştir. OptiSystem 17.0 simülasyon programı ile tasarlanan sistemin verici kısmında 20 dB gücünde CW lazer ve Mach-Zehnder modülatör kullanılmıştır ve OLT ve ONT arasındaki iletim hattının uzunluğu, 10 km olarak seçilmiştir.



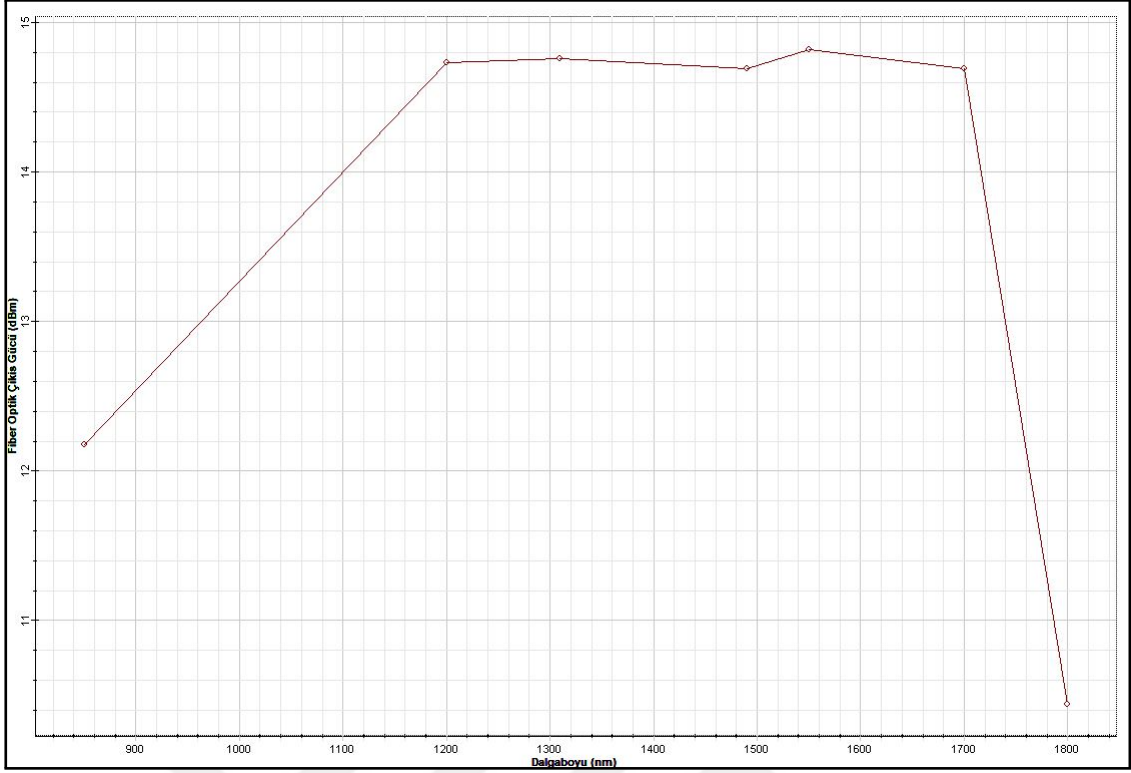
Şekil 3.20 Dalgaboyuna bağlı zayıflama karakteristiğinin incelendiği GPON-FTTH tasarımı

Şekil 3.20'deki tasarımda, sistemdeki tüm parametreler sabit tutulmuş, sistemin verici bloğu olan OLT içerisinde bulunan CW lazerin dalgaboyu değiştirilerek OLT çıkış gücü, fiber optik çıkış gücü, ONT giriş gücü ve maksimum kalite faktörünün dalgaboyuna bağlı değişimi incelenmiştir. CW lazerin dalgaboyu, sırasıyla 850 nm, 1200 nm 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm, 1700 nm ve 1800 nm olarak kullanılmıştır. Belirtilen dalgaboylarında OLT çıkış gücü ölçülüp, sonucu Şekil 3.21'de gösterilmiştir. 1310 nm ve 1550 nm dalgaboylarında OLT sinyal gücünün daha yüksek olduğu görülmüştür.

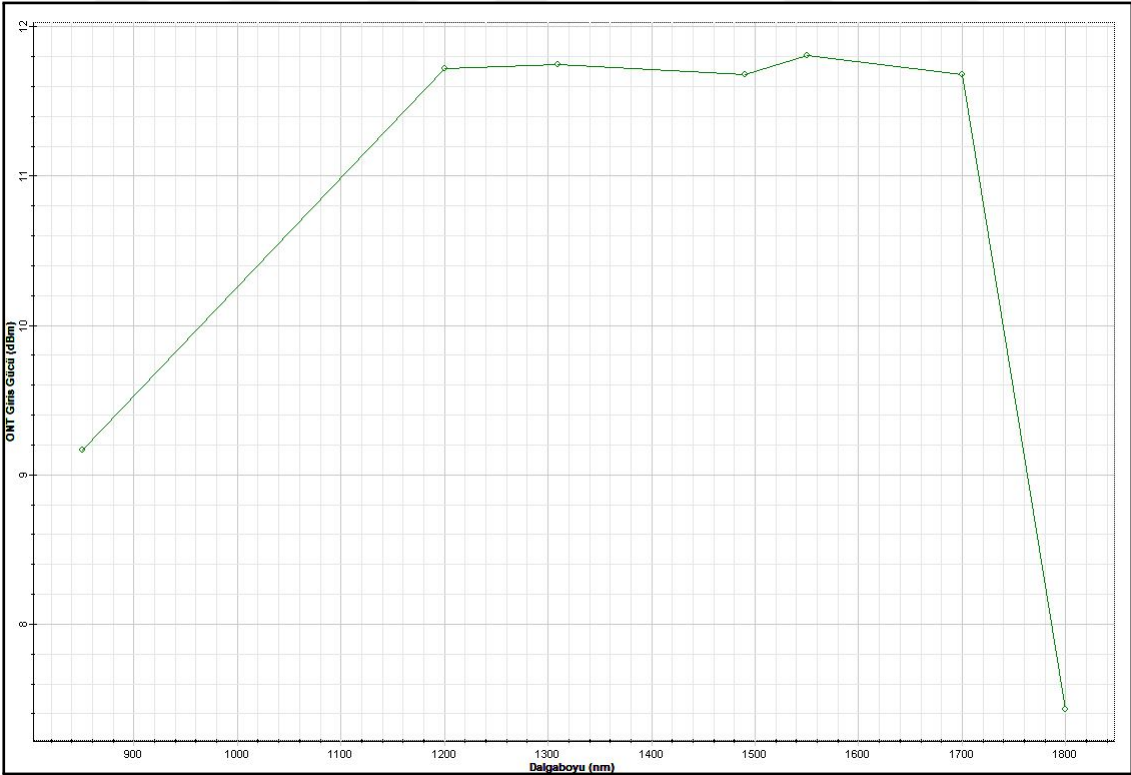


Şekil 3.21 OLT çıkış gücünün dalgaboyuna bağlı değişimi

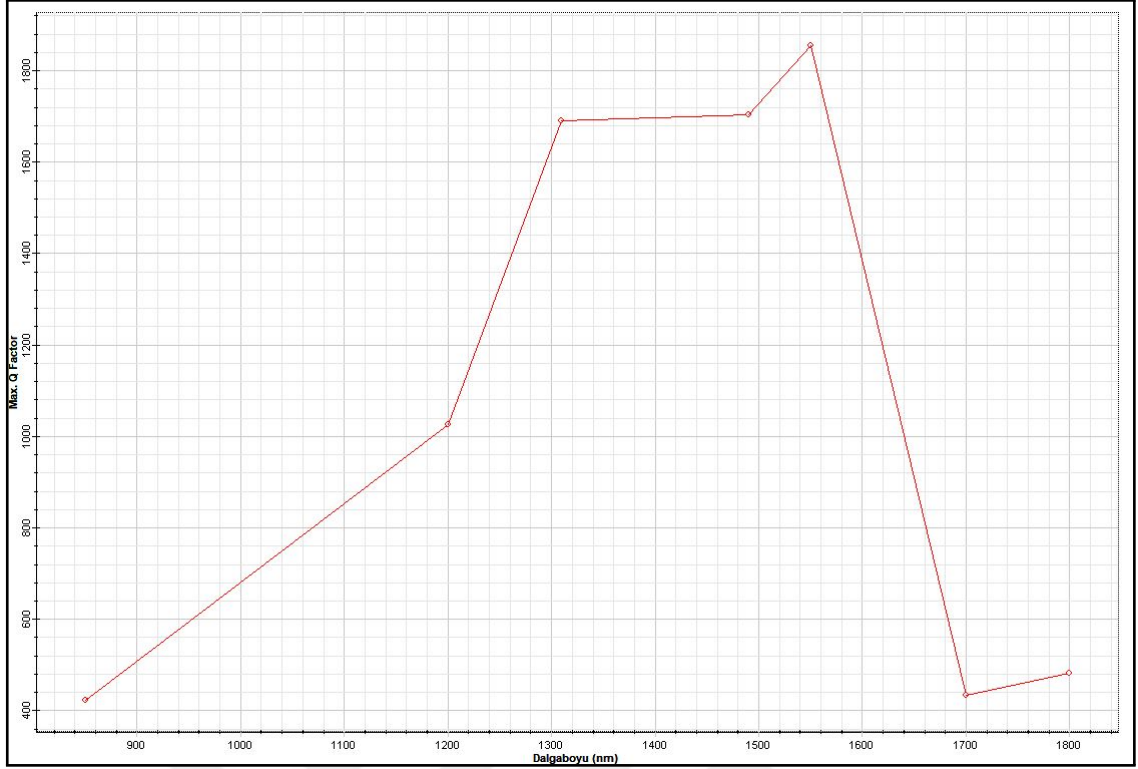
GPON FTTH tasarımında kullanılan 10 km uzunluğundaki optik fiberden alınan sinyal gücünün dalgaboyuna bağlı değişimi, Şekil 3.22'de verilmiştir. Fiber optik çıkış gücü, 850 nm'de 12,2 dBm ve 1800 nm'de ise 10,4 dBm olarak gözlenmiştir. Sinyal gücünün 1200-1700 nm dalgaboyu aralığında ise 14,8 dBm seviyelerinde olduğu görülmüştür. 1310 nm ve 1550 nm dalgaboyunda en yüksek fiber optik çıkış gücü elde edilmiştir. ONT giriş gücünün dalgaboyuna bağlı değişim grafiği, Şekil 3.23'te verilmiştir. Şekil 3.22'den alınan sonuçlarla karşılaştırıldığında, fiber optik ile ONT arasında optik güç bölücü kullanıldığı için yaklaşık 3 dBm zayıflama olduğu görülmektedir. Farklı dalgaboylarında ONT giriş gücü grafiği incelendiğinde, 1310 nm ve 1550 nm'de güç değeri, 11,8 dBm olarak en iyi çıkış gücü elde edilmiştir. Şekil 3.24'te verilen dalgaboyuna bağlı maksimum kalite faktörü grafiği incelendiğinde ise 1550 nm'de en yüksek kalite faktörü değeri okunmuştur. 850 nm, 1200 nm, 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm, 1700 nm ve 1800 nm dalgaboyu için ONT BER diyagramı sırasıyla Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27, Şekil 3.28, Şekil 3.29, Şekil 3.30 ve Şekil 3.31'de verilmiştir.



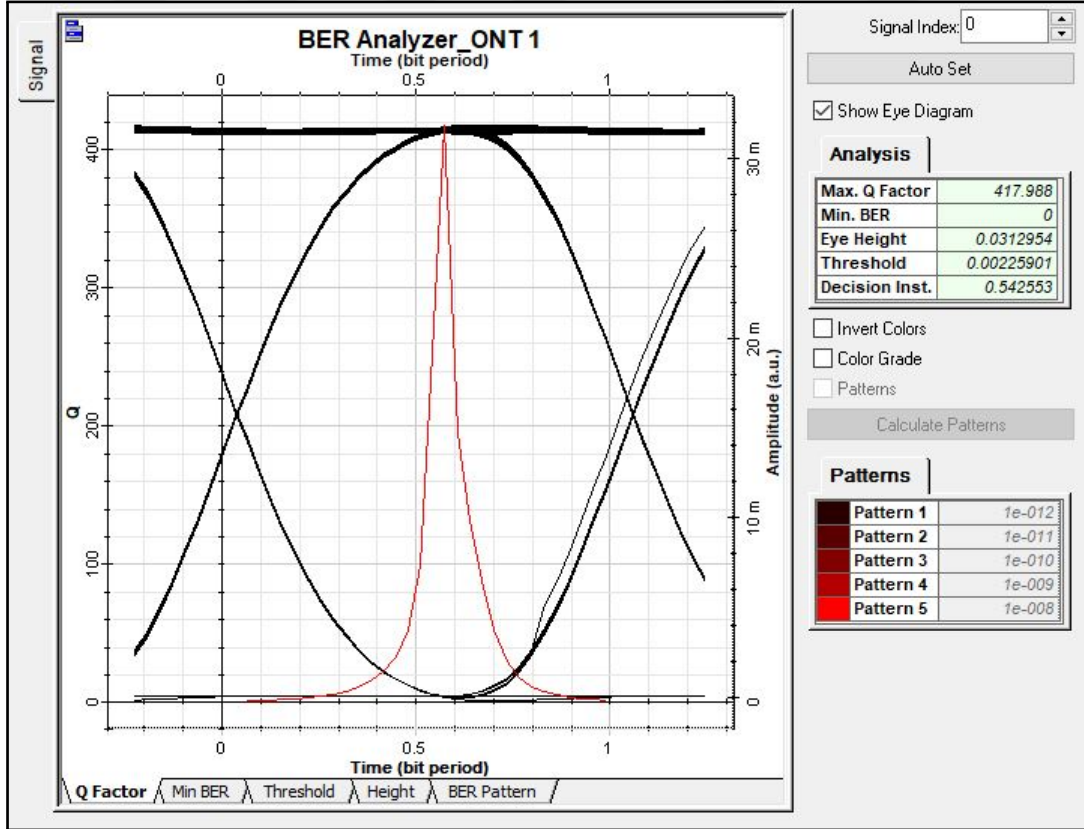
Şekil 3.22 Fiber optik çıkış gücünün dalgaboyuna bağlı değişimi



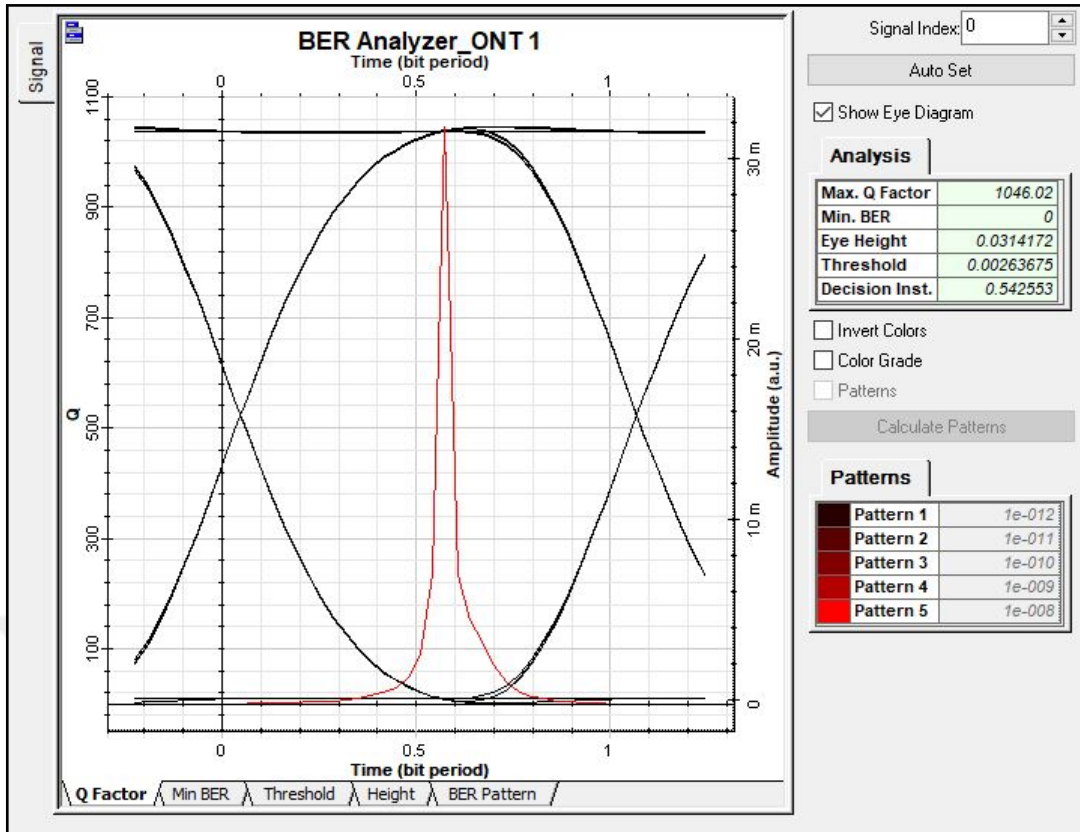
Şekil 3.23 ONT giriş gücünün dalgaboyuna bağlı değişimi



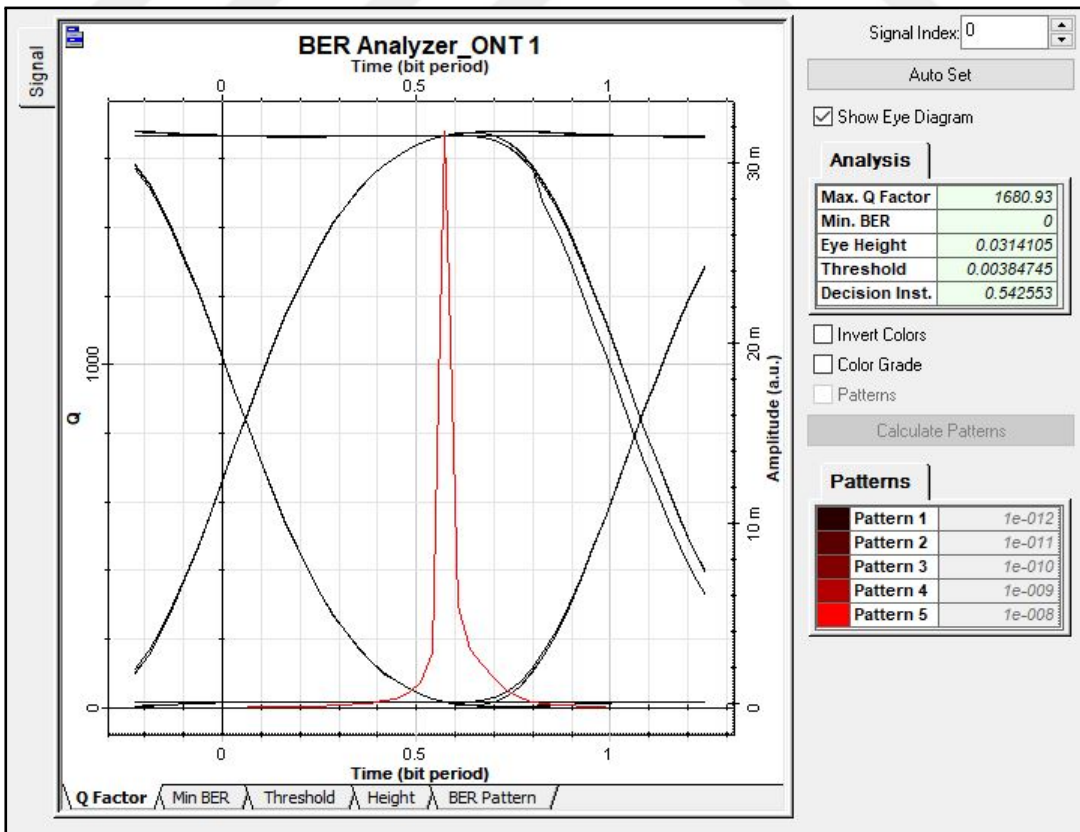
Şekil 3.24 Maksimum kalite faktörünün dalgaboyuna bağlı değişimi



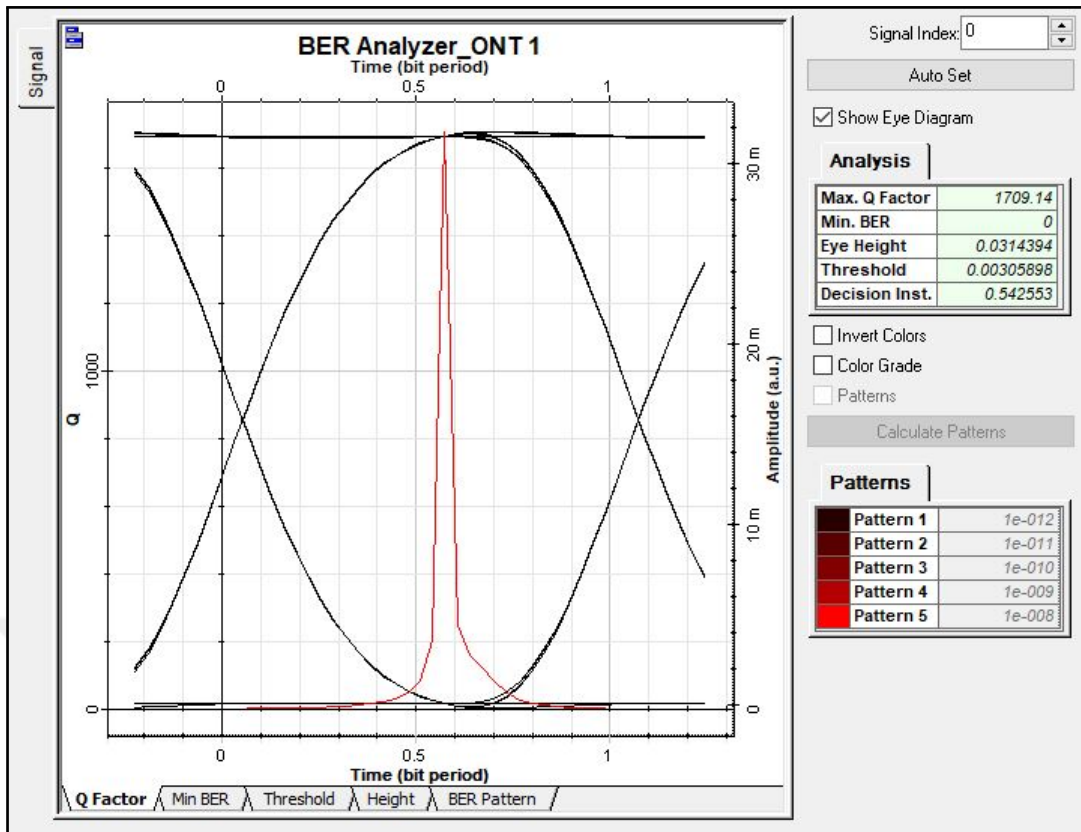
Şekil 3.25 GPON-FTTH sisteminde 850 nm dalgaboyunda BER diyagramı



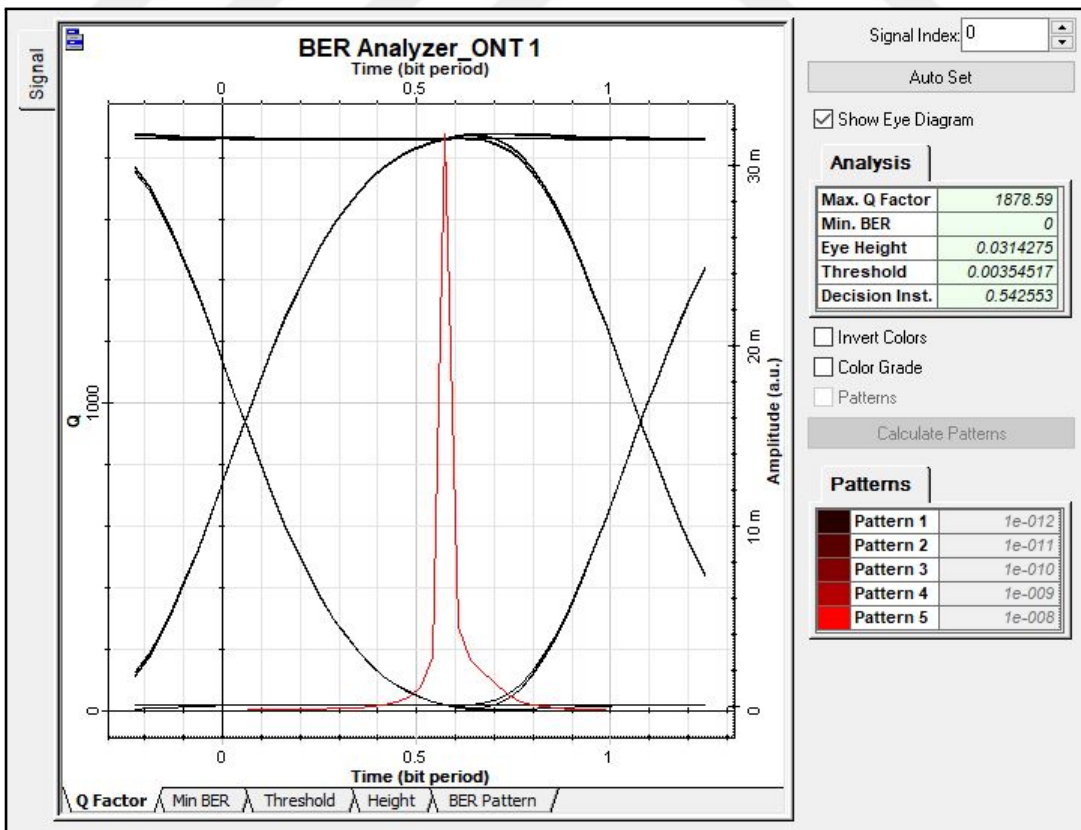
Şekil 3.26 GPON-FTTH sisteminde 1200 nm dalgaboyunda BER diyagramı



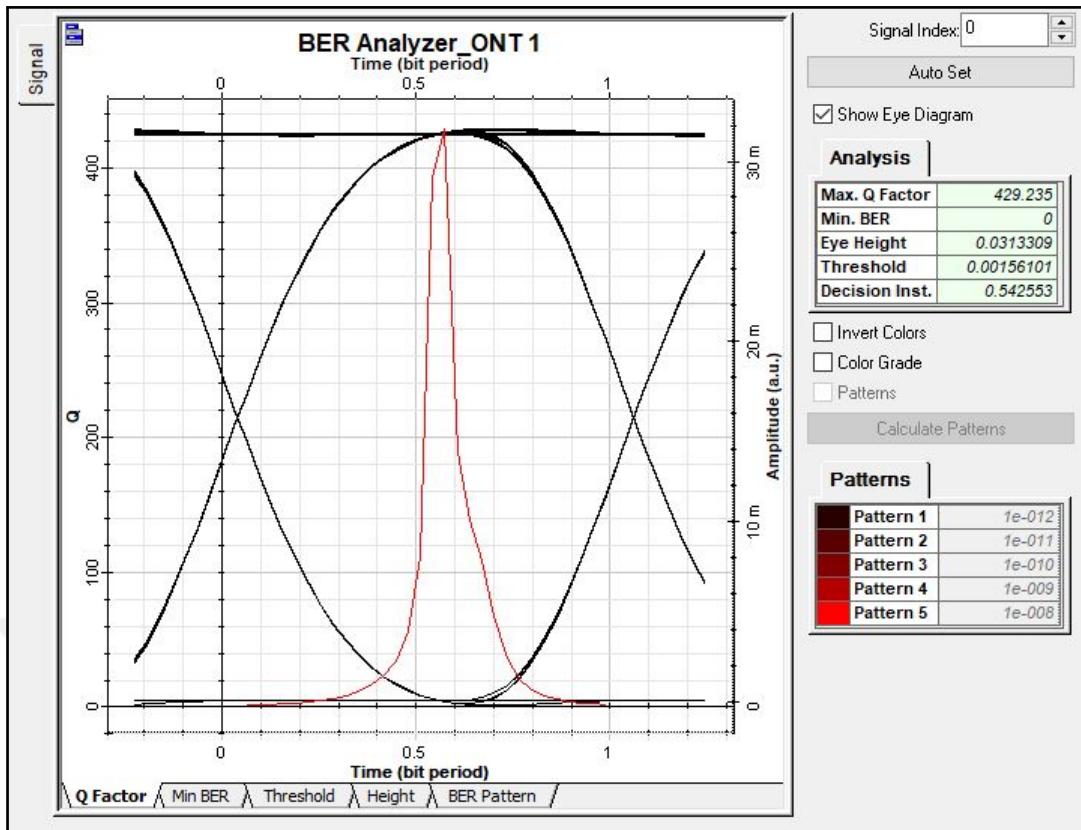
Şekil 3.27 GPON-FTTH sisteminde 1310 nm dalgaboyunda BER diyagramı



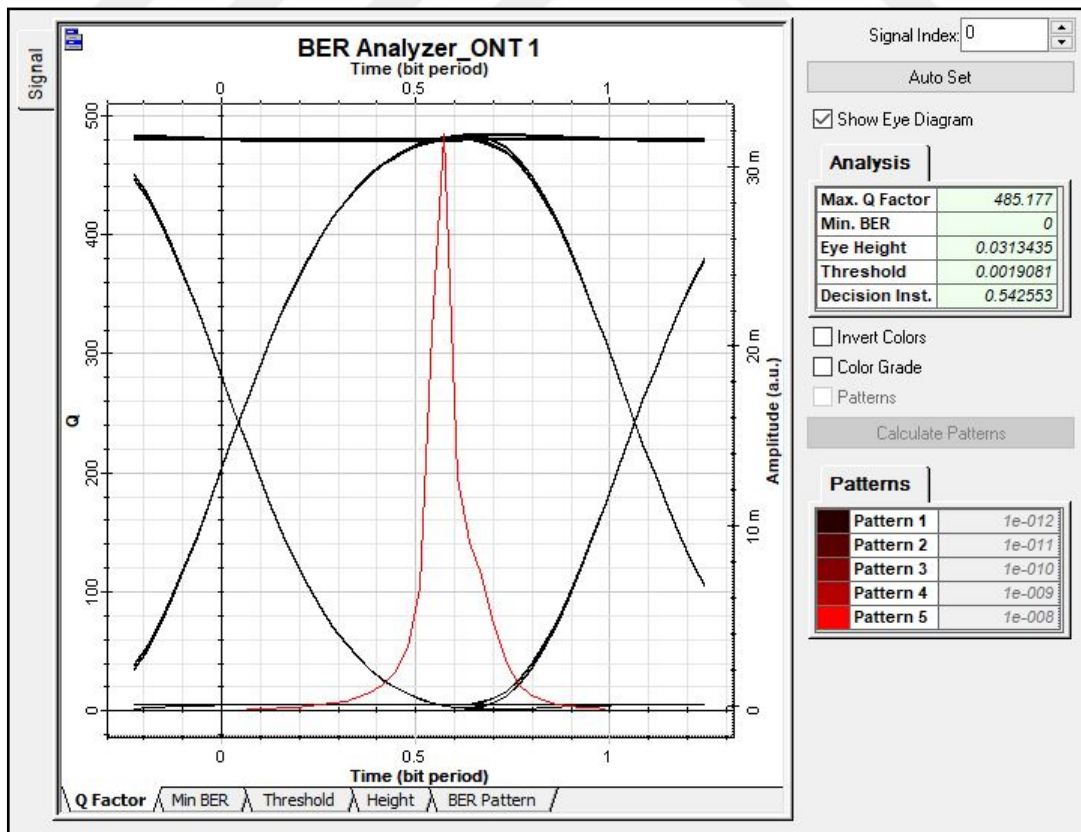
Şekil 3.28 GPON-FTTH sisteminde 1490 nm dalgaboyunda BER diyagramı



Şekil 3.29 GPON-FTTH sisteminde 1550 nm dalgaboyunda BER diyagramı



Şekil 3.30 GPON-FTTH sisteminde 1700 nm dalgaboyunda BER diyagramı

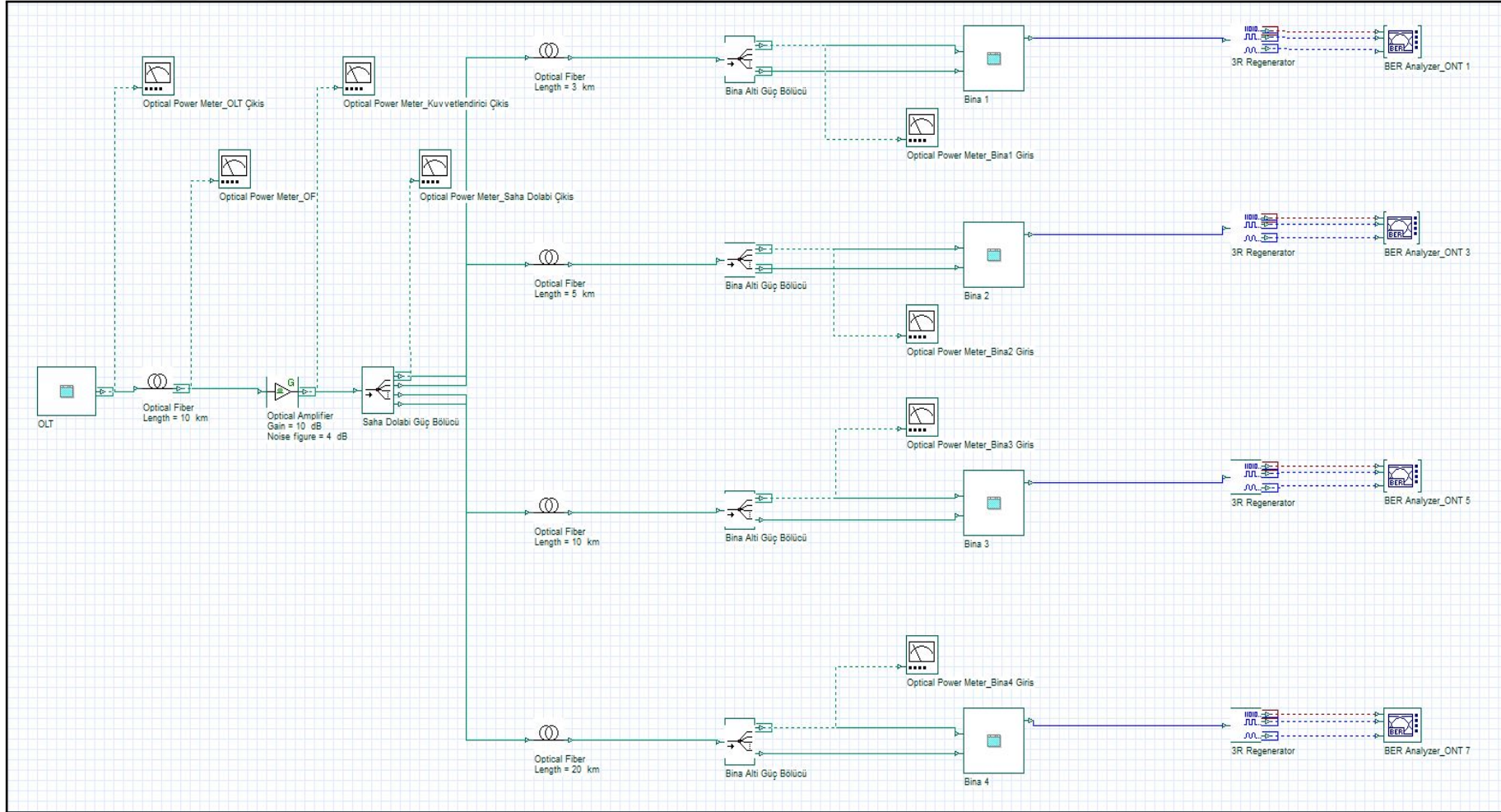


Şekil 3.31 GPON-FTTH sisteminde 1800 nm dalgaboyunda BER diyagramı

3.4.2 Dalgaboyunun GPON FTTB Sistem Performansına Etkileri

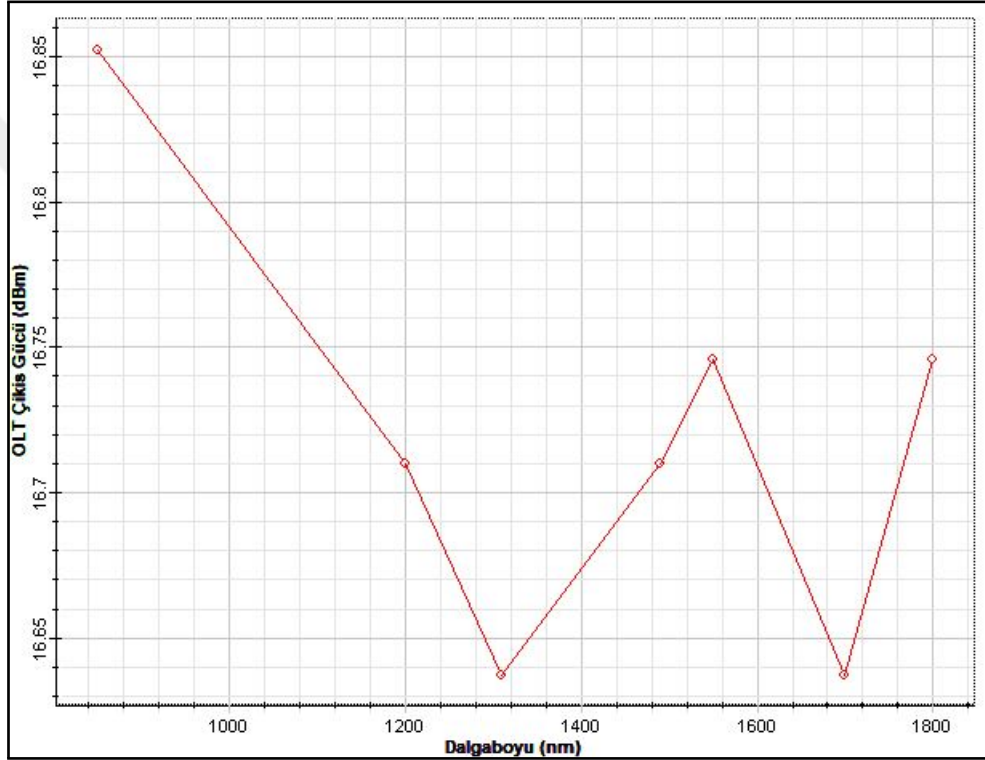
OptiSystem 17.0 simülasyon programı ile tasarlanan GPON FTTB sistemi, Şekil 3.32'de verilmiştir. Sistemin verici kısmında 20 dB gücünde CW lazer ve MZ modülatör kullanılmıştır. OLT iç yapısı Şekil 3.1'deki yapıdadır. OLT ve saha dolabı arasındaki iletim hattının uzunluğu, 10 km'dir. Saha dolabı ile binalar arasındaki mesafe, sırasıyla 3 km, 5 km, 10 km ve 20 km'dir. Her bina içerisinde, iki farklı dairede konumlandırılan iki ONT bulunmaktadır. Binalar içerisindeki iki ONT'nin birinden ölçüm alınmıştır. 850 nm, 1200 nm, 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm, 1700 nm ve 1800 nm dalgaboylarında veri iletimi gerçekleştirilmiştir. Farklı dalgaboylarının, tasarlanan GPON FTTB sistemine etkileri incelenmiştir.

OLT içerisindeki CW lazerin dalgaboyu 850 nm, 1200 nm, 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm, 1700 nm ve 1800 nm olarak seçilerek iletim gerçekleştirildiğinde, OLT çıkışına bağlı olan güç ölçerden okunan sonuç grafiği, Şekil 3.33'te verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi, farklı dalgaboylarında okunan OLT çıkış güçleri birbirine çok yakındır. En yüksek OLT çıkış gücü, 850 nm dalgaboyunda ve 16.86 seviyesinde iken ikinci en yüksek OLT çıkış gücü, 1550 nm ve 1800 nm dalgaboylarında ve yaklaşık olarak 16.745 olarak gözlemlenmiştir. Belirlenen dalgaboylarında, fiber optik çıkışından alınan güç değerleri grafiği Şekil 3.34'te verilmiştir. Fiber optik çıkışında en yüksek güç, 1550 nm dalgaboyunda ve 14.75 dB olduğu görülmüştür. OLT çıkış gücü en yüksek değerde olan 850 nm dalgaboyu için fiber optik çıkış gücünün en düşük değerde olduğu görülmüştür. 850 nm dalgaboyunda, 10 km uzunluğundaki fiber boyunca yaklaşık 4.7 dB zayıflama meydana gelmiştir. OLT çıkış gücü ikinci en yüksek ölçülen 1800 nm dalgaboyunda ise fiber optik çıkış gücü 12.75'tir. Kazancı 10 dB olan optik kuvvetlendirici çıkışından elde edilen grafik, Şekil 3.35'te verilmiştir. Şekil 3.34 ve Şekil 3.35 karşılaştırıldığında, ilgili dalgaboylarının kuvvetlendirici kazancına etkisinin olmadığı, tüm dalgaboylarında sinyal gücünün 10 dB arttığı gözlenmiştir. Kuvvetlendirici çıkışında elde edilen en yüksek güç değeri, 1550 nm dalgaboyunda, 24.75 dB'dir. Şekil 3.36'da, saha dolabı içerisindeki güç bölücü çıkışından ölçülen değerlerin grafiği verilmiştir. Yine en yüksek güç değerinin 1550 nm'de ölçüldüğü ve 16.72 değerinde olduğu görülmüştür. GPON FTTB tasarımında, ilgili dalgaboylarında iletim gerçekleştirilerek binalar içerisinde bulunan ONT'den ölçüm alınmış ve sonuç grafiği Şekil 3.37'de gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi, saha dolabına farklı mesafelerde bulunan her bir bina için farklı dalgaboyunda maksimum kalite faktörü gözlenmiştir. 3 km mesafede bulunan Bina1 için en yüksek kalite faktörü, 1700 nm dalgaboyunda elde edilirken, aynı dalgaboyunda 20 km mesafede bulunan Bina4 için en düşük kalite faktörü görülmüştür. Farklı mesafelerde bulunan binalar için, birbirine en yakın kalite faktörü değeri 1550 nm dalgaboyunda elde edilmiştir ve bu dalgaboyunun mesafeden daha az etkilendiği sonucuna varılmıştır.

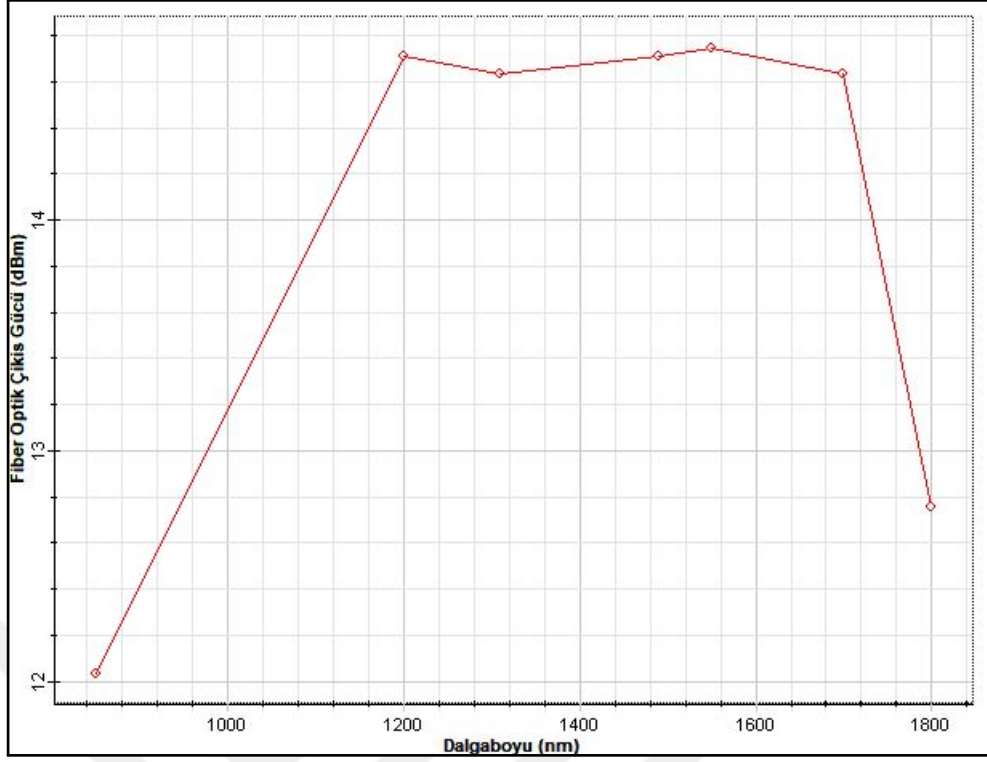


Şekil 3.32 Dalgaboyuna bağlı zayıflama karakteristiğinin incelendiği GPON-FTTB tasarımı

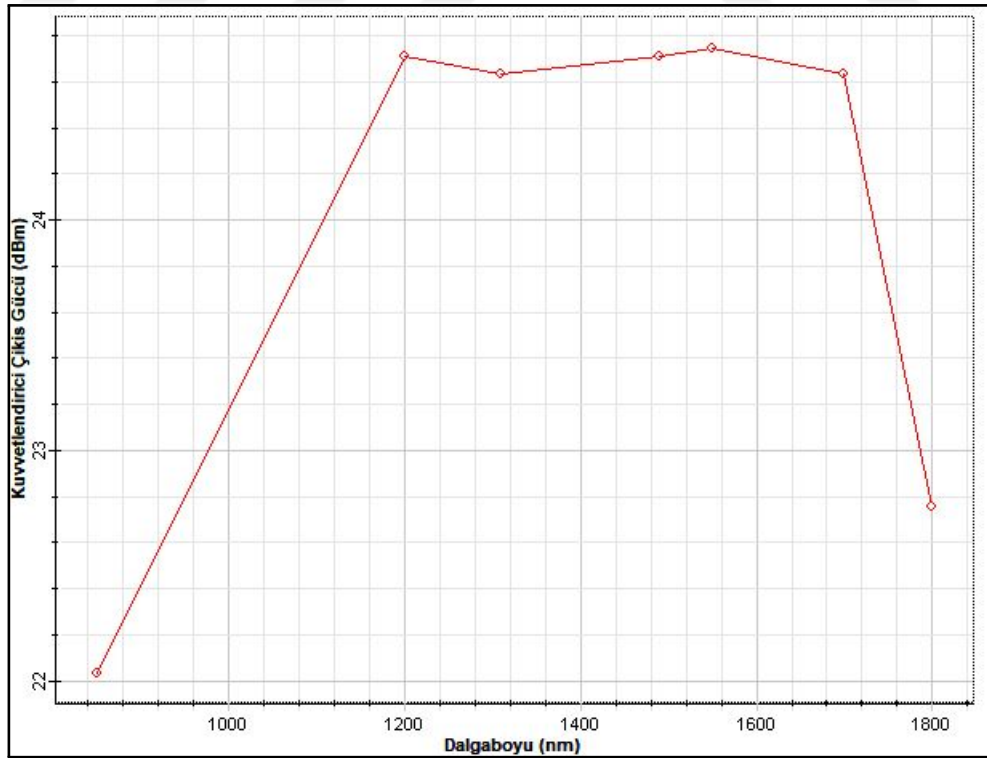
850 nm, 1200 nm, 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm, 1700 nm ve 1800 nm dalgaboyunda veri iletimi sağlanarak, 3 km, 5 km, 10 km ve 20 km mesafelerinde bulunan dört farklı binadan alınan BER diyagramları, sırasıyla Şekil 3.38, Şekil 3.39, Şekil 3.40, Şekil 3.41, Şekil 3.42, Şekil 3.43 ve Şekil 3.44'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 850 nm ve 1800 nm'de alınan BER diyagramlarında göz açıklığı olmadığı ve maksimum kalite faktörünün 1 seviyelerinde olduğu gözlenmiştir. 1200 nm, 1310 nm, 1490 nm ve 1550 nm dalgaboylarında iletim gerçekleştirildiğinde ise BER diyagramlarının net olduğu görülmüştür. Şekil 3.42 incelendiğinde, 1550 nm dalgaboyunda, mesafe değişiminin maksimum kalite faktörünü çok az etkilediği ve incelenen mesafelerde yakın performansta veri iletimi gerçekleştirildiği belirlenmiştir.



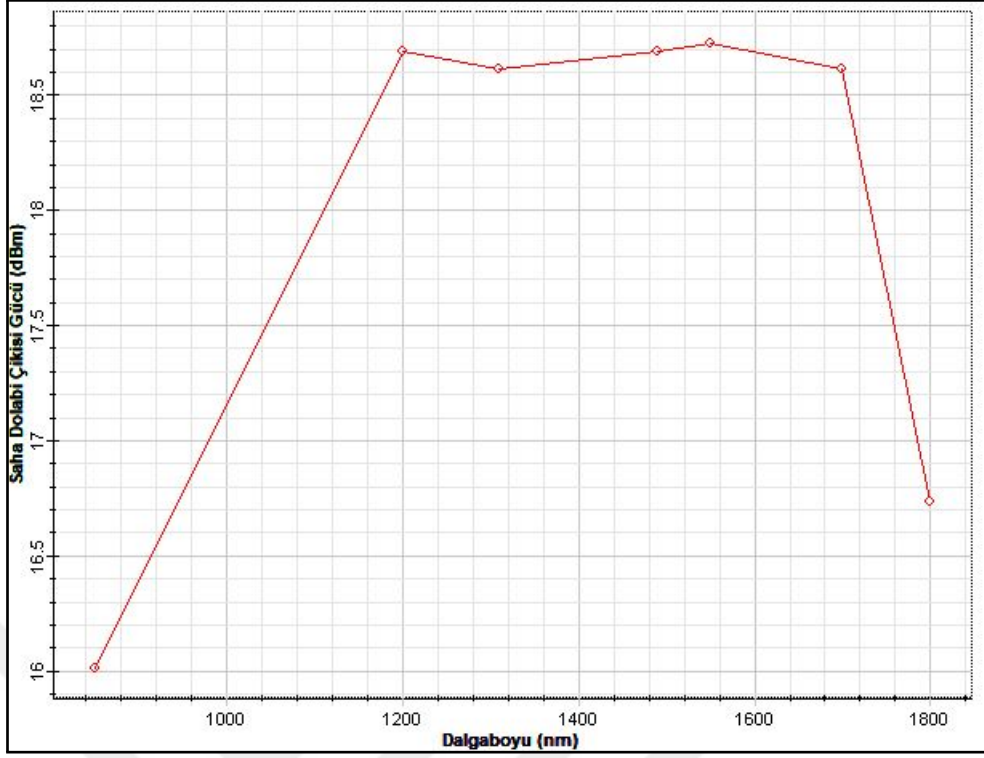
Şekil 3.33 OLT çıkış gücünün dalgaboyuna bağlı değişimi



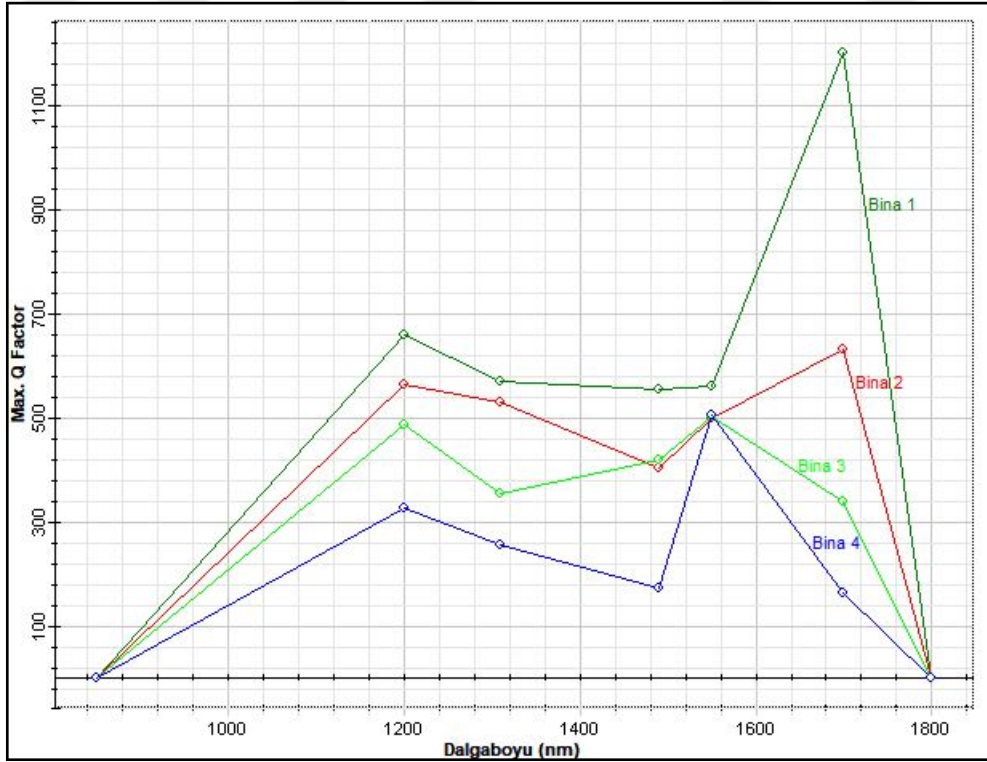
Şekil 3.34 Fiber optik çıkış gücünün dalgaboyuna bağlı değişimi



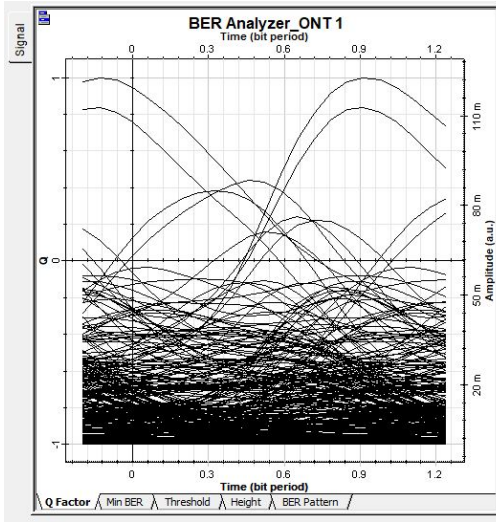
Şekil 3.35 Kuvvetlendirici çıkış gücünün dalgaboyuna bağlı değişimi



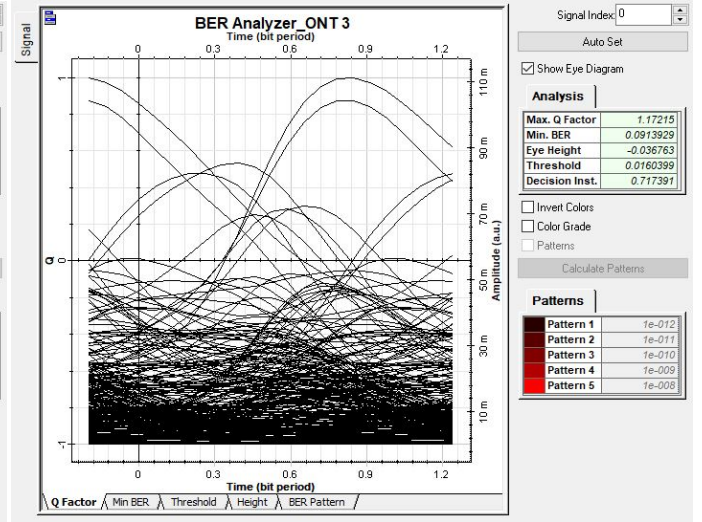
Şekil 3.36 Saha dolabı çıkış gücünün dalgaboyuna bağlı değişimi



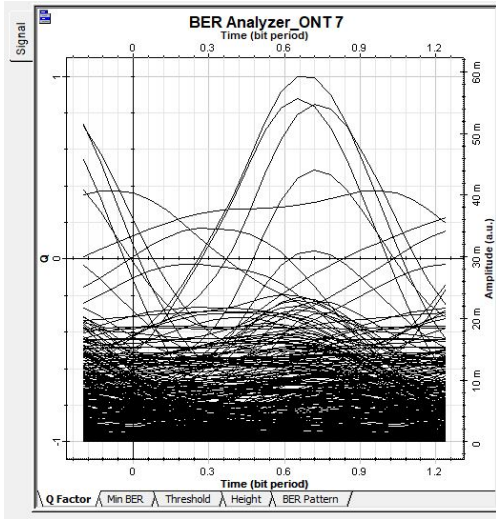
Şekil 3.37 Maksimum kalite faktörünün dalgaboyuna bağlı değişimi



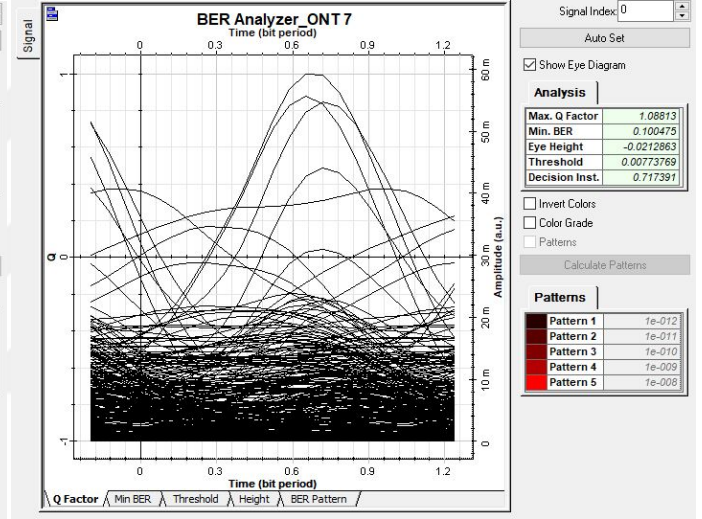
(a) 3 Km



(b) 5 Km

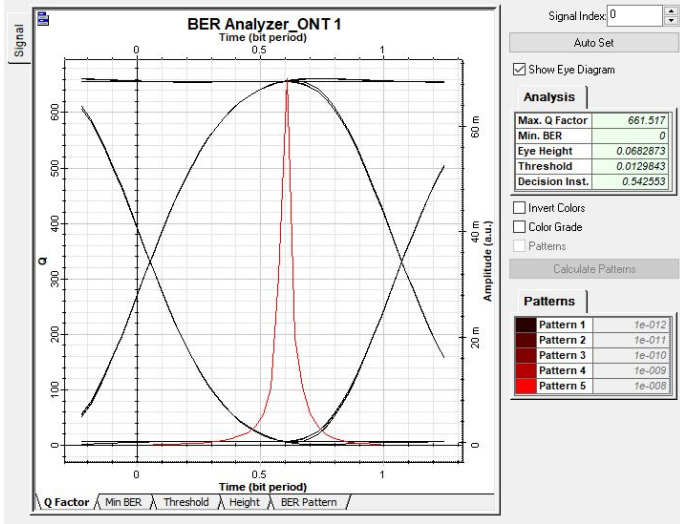


(c) 10 Km

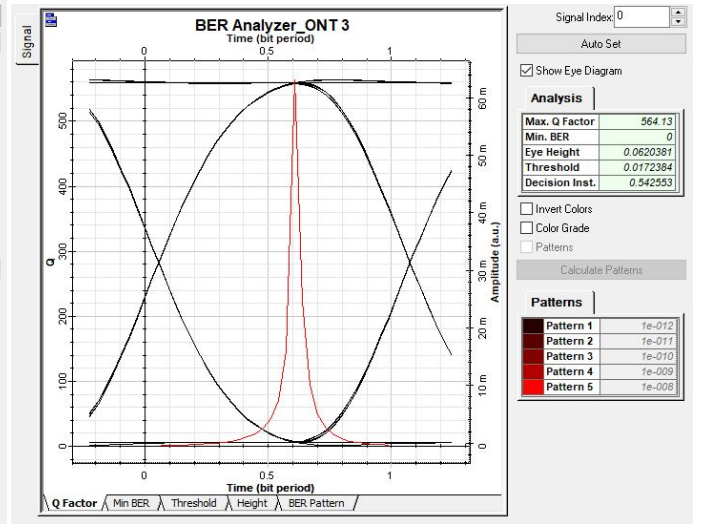


(d) 20 Km

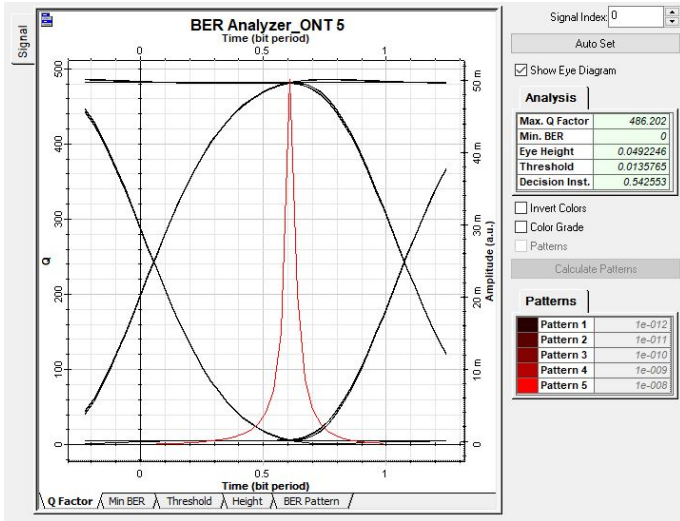
Şekil 3.38 GPON FTTB sisteminde 850 nm dalgaboyunda veri iletimi esnasında BER diyagramları



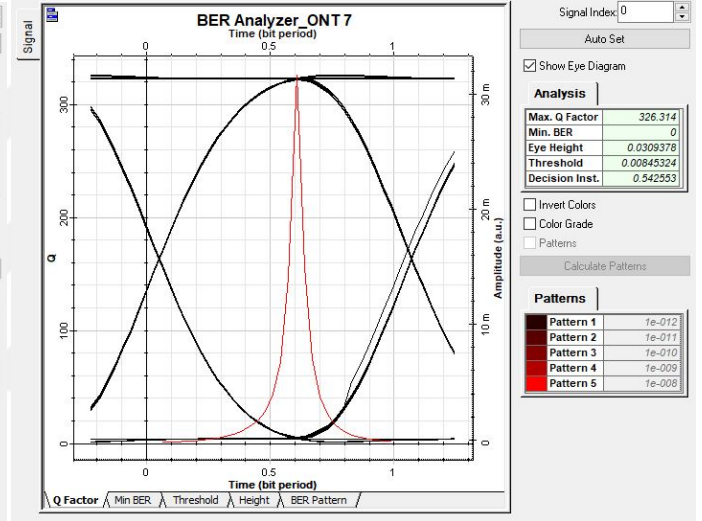
(a) 3 Km



(b) 5 Km

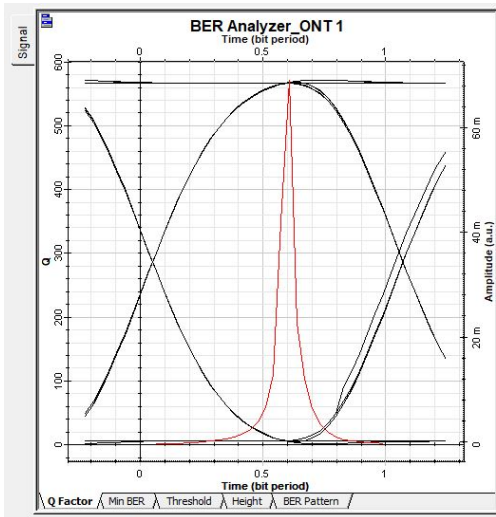


(c) 10 Km

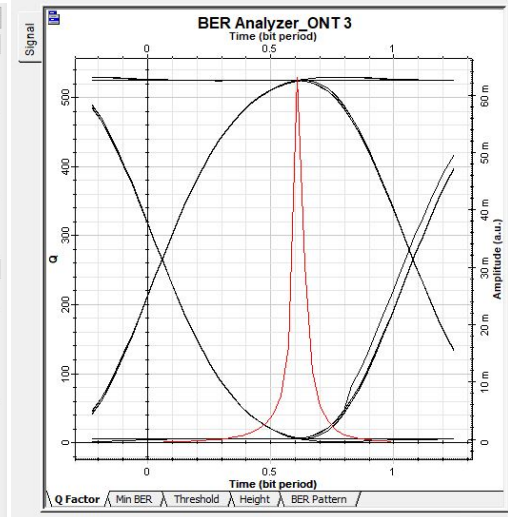


(d) 20 Km

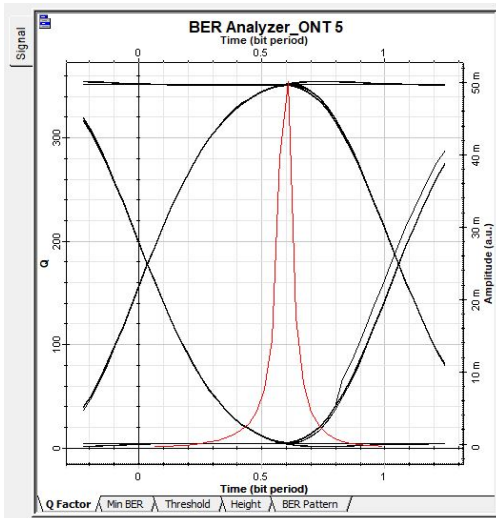
Şekil 3.39 GPON FTTB sisteminde 1200 nm dalgaboyunda veri iletimi esnasında BER diyagramları



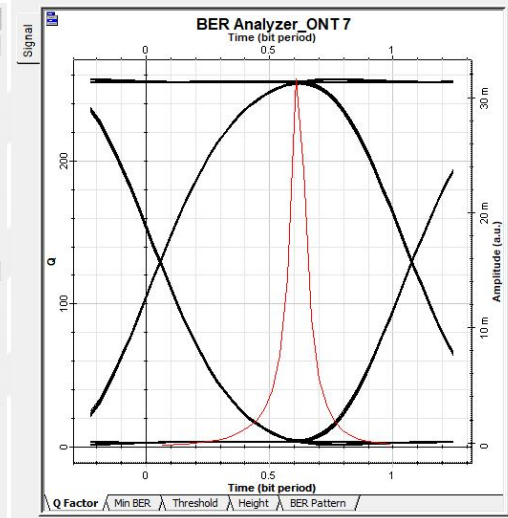
(a) 3 Km



(b) 5 Km

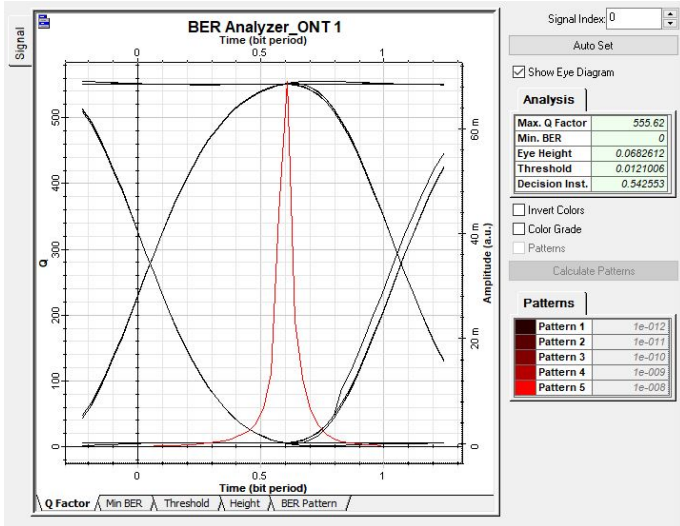


(c) 10 Km

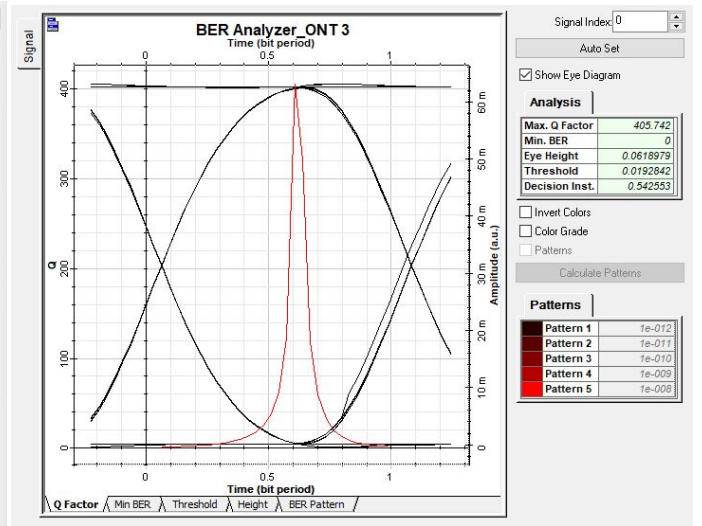


(d) 20 Km

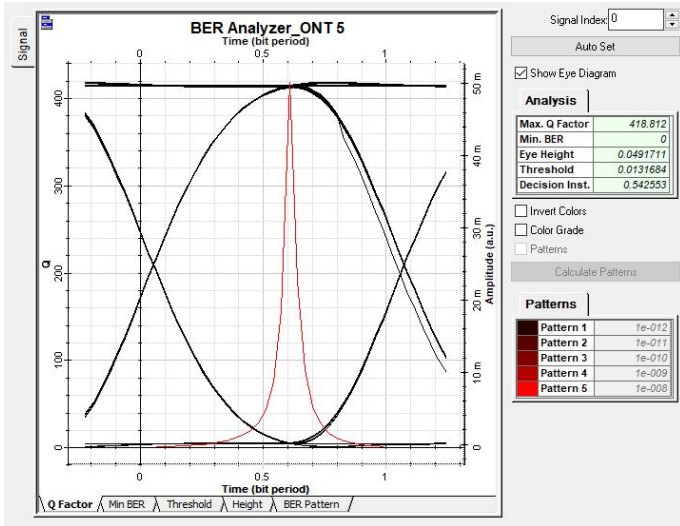
Şekil 3.40 GPON FTTB sisteminde 1310 nm dalgaboyunda veri iletimi esnasında BER diyagramları



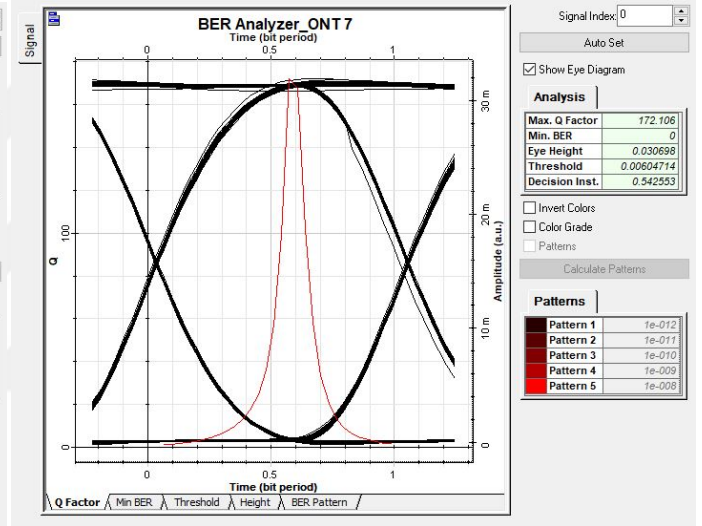
(a) 3 Km



(b) 5 Km

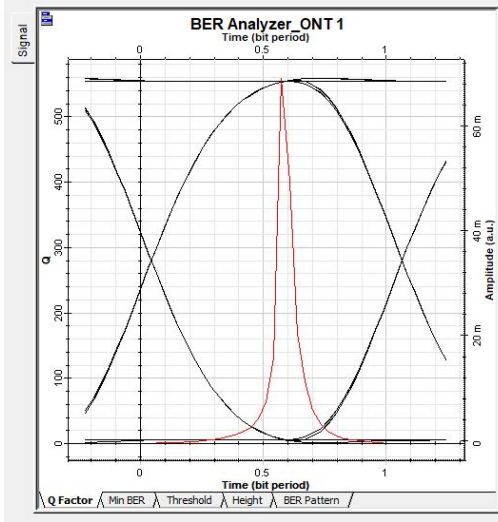


(c) 10 Km

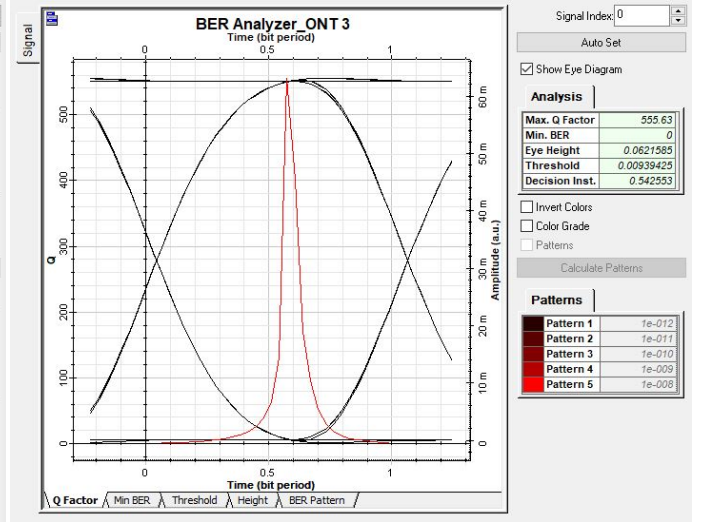


(d) 20 Km

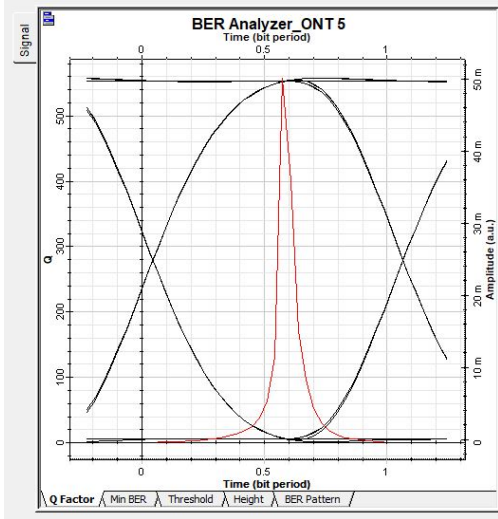
Şekil 3.41 GPON FTTB sisteminde 1490 nm dalgaboyunda veri iletimi esnasında BER diyagramları



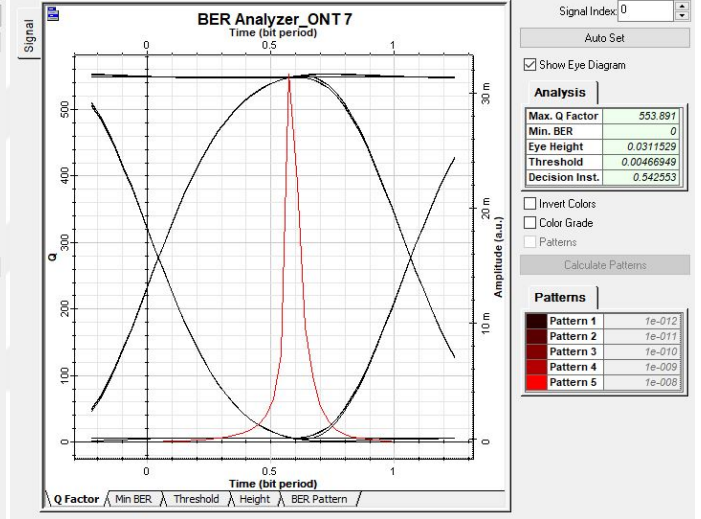
(a) 3 Km



(b) 5 Km

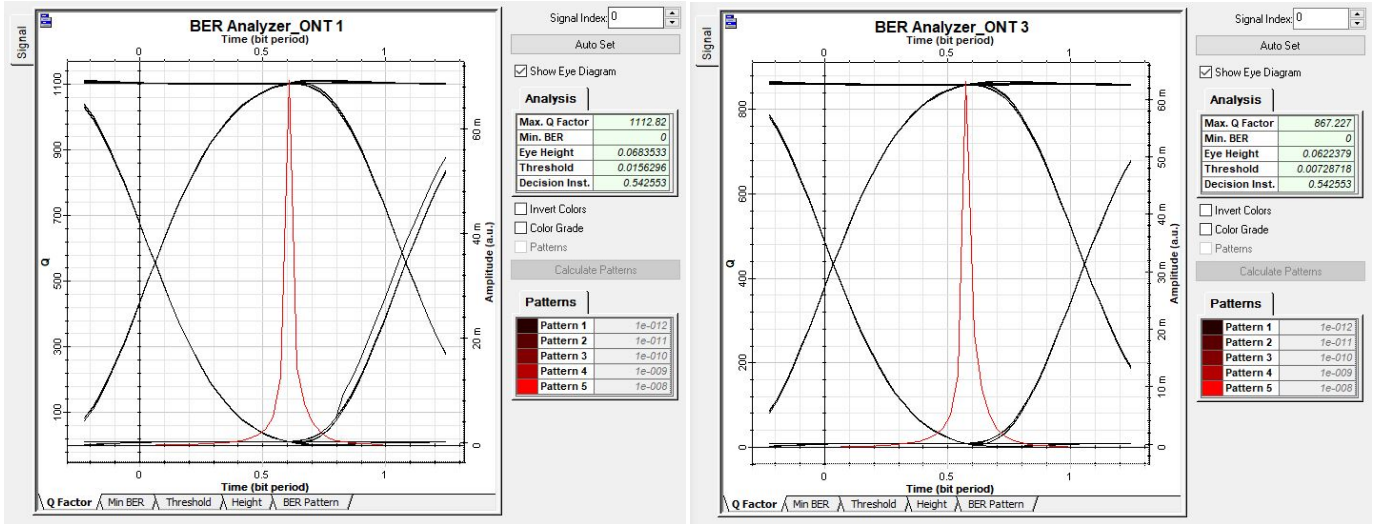


(c) 10 Km



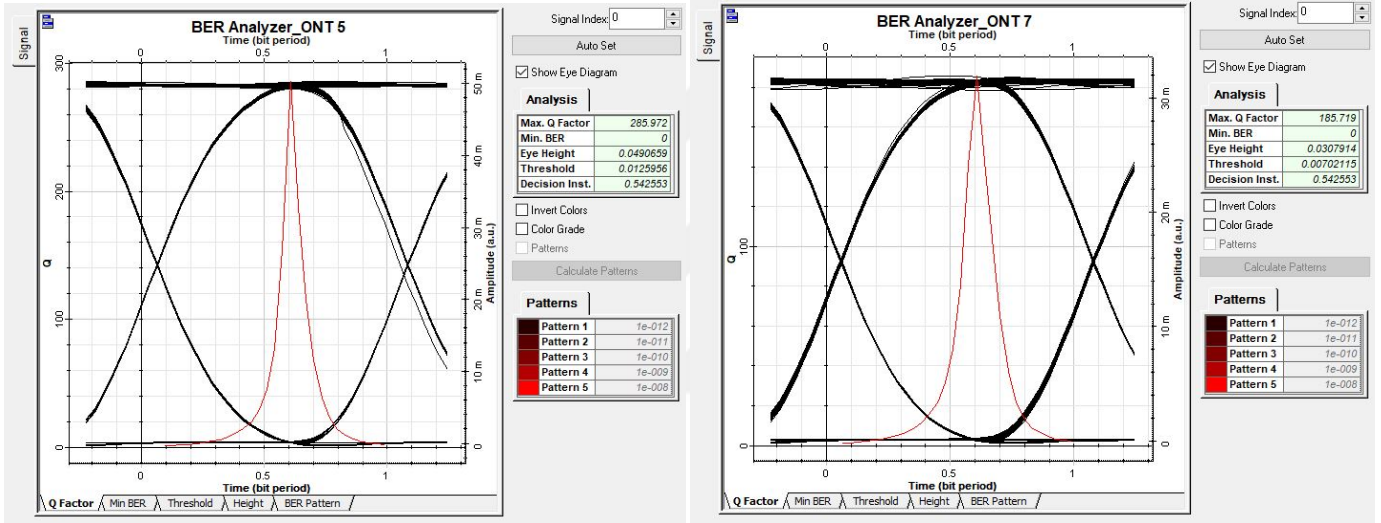
(d) 20 Km

Şekil 3.42 GPON FTTB sisteminde 1550 nm dalgaboyunda veri iletimi esnasında BER diyagramları



(a) 3 Km

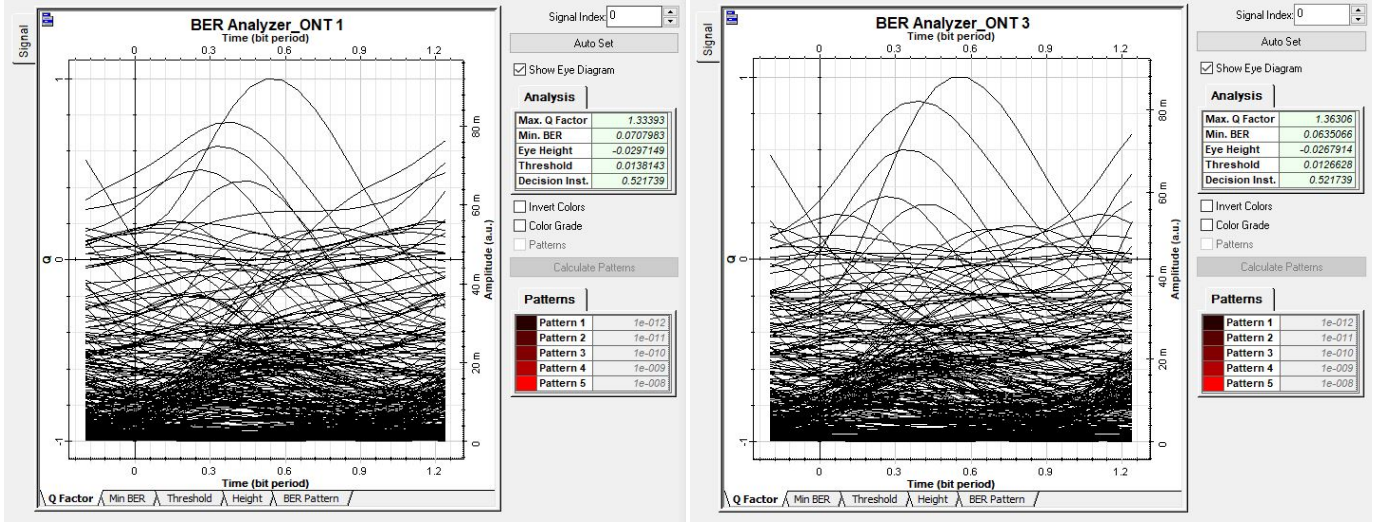
(b) 5 Km



(c) 10 Km

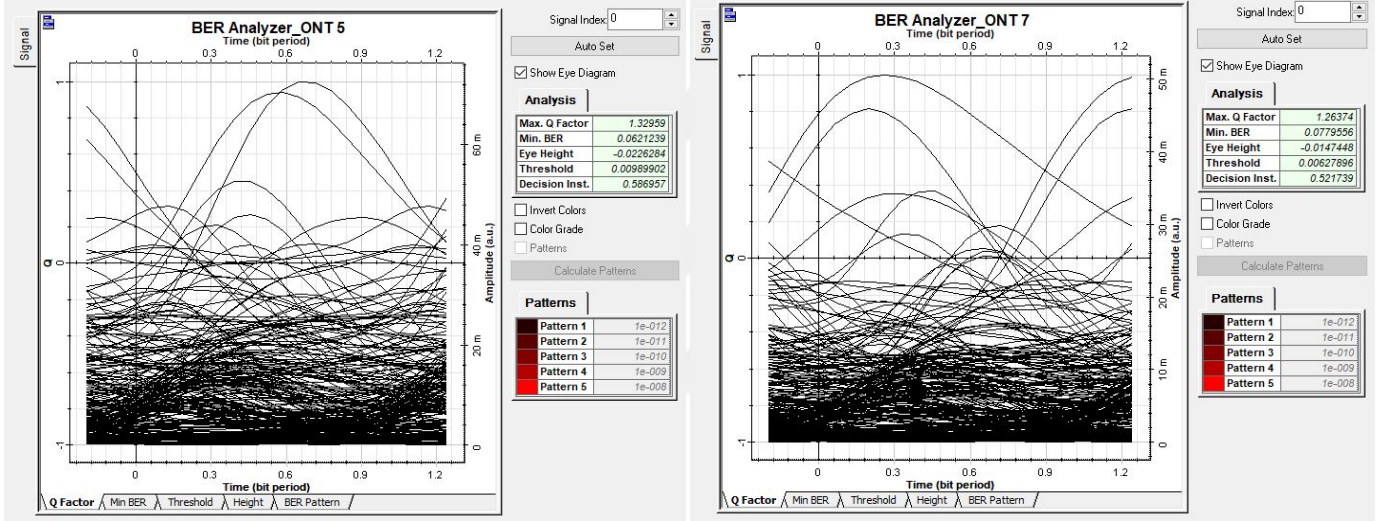
(d) 20 Km

Şekil 3.43 GPON FTTB sisteminde 1700 nm dalgaboyunda veri iletimi esnasında BER diyagramları



(a) 3 Km

(b) 5 Km



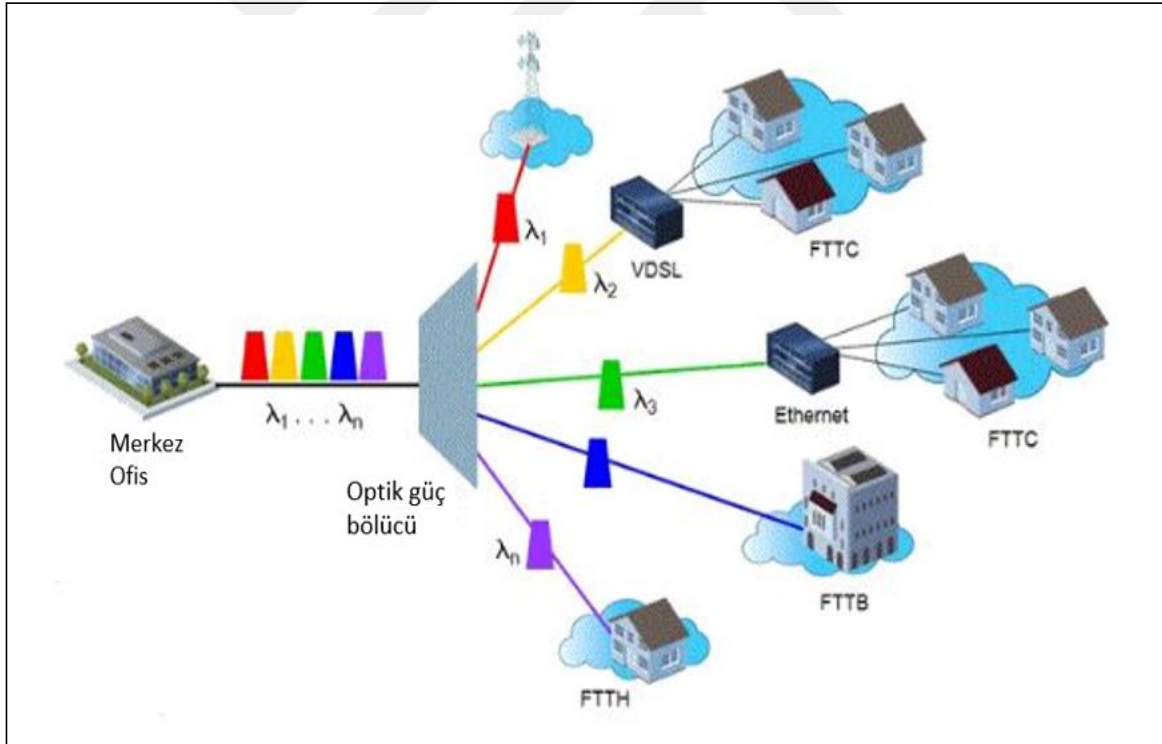
(c) 10 Km

(d) 20 Km

Şekil 3.44 GPON FTTB sisteminde 1800 nm dalgaboyunda veri iletimi esnasında BER diyagramları

3.5 Dalgaboyu Bölmeli Çoğullamalı Pasif Optik Ağ (WDM-PON) Tasarımı ve Uygulamaları

Son kullanıcı katmanında artan band genişliği talebini karşılamak için erişim ağında yaygın kullanılmakta olan pasif optik ağ (PON) teknolojisi geliştirilmeye devam etmektedir. PON, merkez ofiste bulunan OLT optik hat terminalinden çıkan bir optik iletim hattının bir ya da daha fazla 1:N optik güç bölücü kullanılarak farklı mesafelerdeki ONU optik hat terminallerine bağlandığı noktadan noktaya optik ağıdır. WDM-PON, daha uzak mesafelere daha düşük maliyetlerle yüksek band genişliği sağlayarak veri iletiminin sağlanması için geliştirilmiştir [14]. WDM teknolojisi, farklı dalgaboylarındaki optik taşıyıcı sinyallerin tek bir optik fiber üzerinden ihmal edilebilir bir girişimle taşınabilmelerini sağlar. Birden fazla optik taşıyıcı sinyalin, farklı dalgaboylarına ayrılarak bir iletim hattı üzerinden iletimini gerçekleştirir. Her dalgaboyunun band genişliğini tam kapasite kullanmasını sağlayarak kapasiteyi arttırmış olur. Yüksek kapasiteli olması ve maliyetinin yüksek olması sebebiyle genellikle ISP (Internet Service Provider, İnternet Servis Sağlayıcı) firmalarında kullanılır [14, 15]. Şekil 3.45'te WDM-PON yapısı gösterilmiştir.



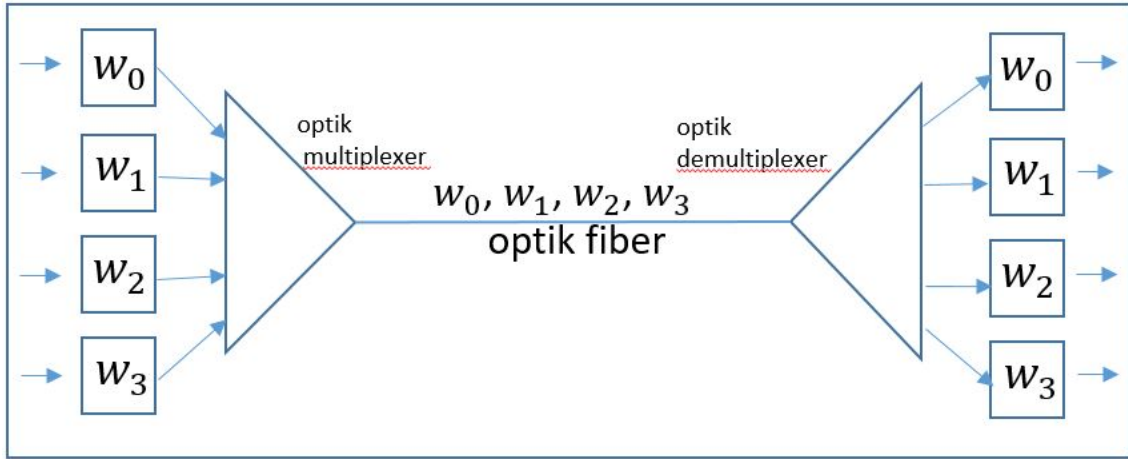
Şekil 3.45 WDM-PON gösterimi

TDM (Time Division Multiplexing, Zaman Bölmeli Çoğullama) ve WDM teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları vardır. TDM teknolojisinin dezavantajları, WDM teknolojisinde avantaja dönüştürülmüştür [15]. WDM-PON, TDM-PON ile rekabet eden aşağıdaki avantajlara sahip olduğu için aday bir çözüm olarak kabul edilmektedir:

- WDM-PON teknolojisinde, TDM teknolojisinde olan 64 veya daha fazla kullanıcı için aynı dalgaboyu üzerinden veri iletimi sağlanmaz, her ONU için farklı bir dalgaboyu kullanılır, böylece her abonenin dalgaboyunun barındırdığı tam band genişliğine erişmesine izin verir.
- WDM-PON, her kullanıcı için bir veya daha fazla dalgaboyu atanmasına izin verir. Böylece WDM-PON teknolojisi, her kullanıcı sadece kendi dalgaboyundaki veriyi alacağından daha güvenilir ve ölçeklenebilir.
- WDM-PON teknolojisinde, MAC (Media Access Control, Cihaz Erişim Yönetimi) katman kontrolü, TDM-PON teknolojisi ile karşılaştırıldığında daha basittir. Çünkü WDM-PON, OLT ve ONU arasında P2P (Peer to Peer, Noktadan Noktaya) bağlantı sağlar. Diğer PON teknolojilerinde ise P2MP (Peer to Multi Peer, Noktadan Çok Noktaya) veri iletimi gerçekleştirilir.

WDM-PON teknolojisinin avantajlarının yanında, uygulanmasını engelleyen bazı zorluklar ve diğer PON teknolojileriyle karşılaştırıldığında bazı dezavantajları da vardır. WDM-PON teknolojisinde, her ONT için bir OLT portu gereklidir, bu durum ek maliyet ve güç tüketimine sebep olur. WDM-PON teknolojisi uygulamalarında, ONU'lar için dalgaboyu yönlendiricileri veya güç bölücüler kullanılmalıdır ve her iki yöntemin de colourless (renksiz) bir ONU'ya ihtiyacı vardır. Uzun mesafeli WDM-PON sistemlerinde sinyal kalitesi ve sistem performansını sağlamak ve korumak oldukça önemlidir [16].

OLT'den çıkan ya da OLT'ye gelen WDM sinyallerini, birleştirmek ya da ayırmak için optik kuplörlerin kullanılması önerilir. Alternatif olarak iki basamaklı AWG (Arrayed Waveguide Gratings, Dizilmiş Dalgaboyu Izgaraları) kullanılabilir. AWG'ler, WDM sistemlerinde bir optik fiberin çok sayıda dalgaboyuna çoğullanmasını veya bir iletim hattından taşınan birden fazla dalgaboyunun farklı iletim hatlarına ayrıştırılmasını sağlayarak multiplexer (çoğullayıcı) ya da demultiplexer (çoğullama çözücü) olarak kullanılırlar. Böylece fiber iletim hattının kapasitesi artmaktadır. Şekil 3.46'da temel çalışma mantığı gösterilmiştir [10, 15].



Şekil 3.46 AWG'lerin multiplexer-demultiplexer çalışma şekli

3.5.1 Dalgaboyu Bölmeli Çoğullamalı Pasif Optik Ağ FTTH Tasarımı ve Uygulamaları

Şekil 3.49'daki tasarımda, sadece aşağı yönlü veri iletimi mevcuttur. Sistemin verici bloğunda ışık kaynağı olarak CW lazer dizisi kullanılmıştır. Işık sinyali, lazer dizisinden sonra 2x1 WDM multiplexer ile çoğullanıp NRZ darbe jeneratörü ile beslenip MZ modülatöre erişmektedir. 20 km olan iletim hattında, 20 dB güç kazancına ve 4 dB gürültüye sahip olan EDFA ile kuvvetlendirilen sinyal, 1x2 pasif optik güç bölücü ile bölünüp dairelerde bulunan ONT'lere iletilmektedir. Tasarımda kullanılan lazer frekansları, Şekil 3.47'de verilmiştir.

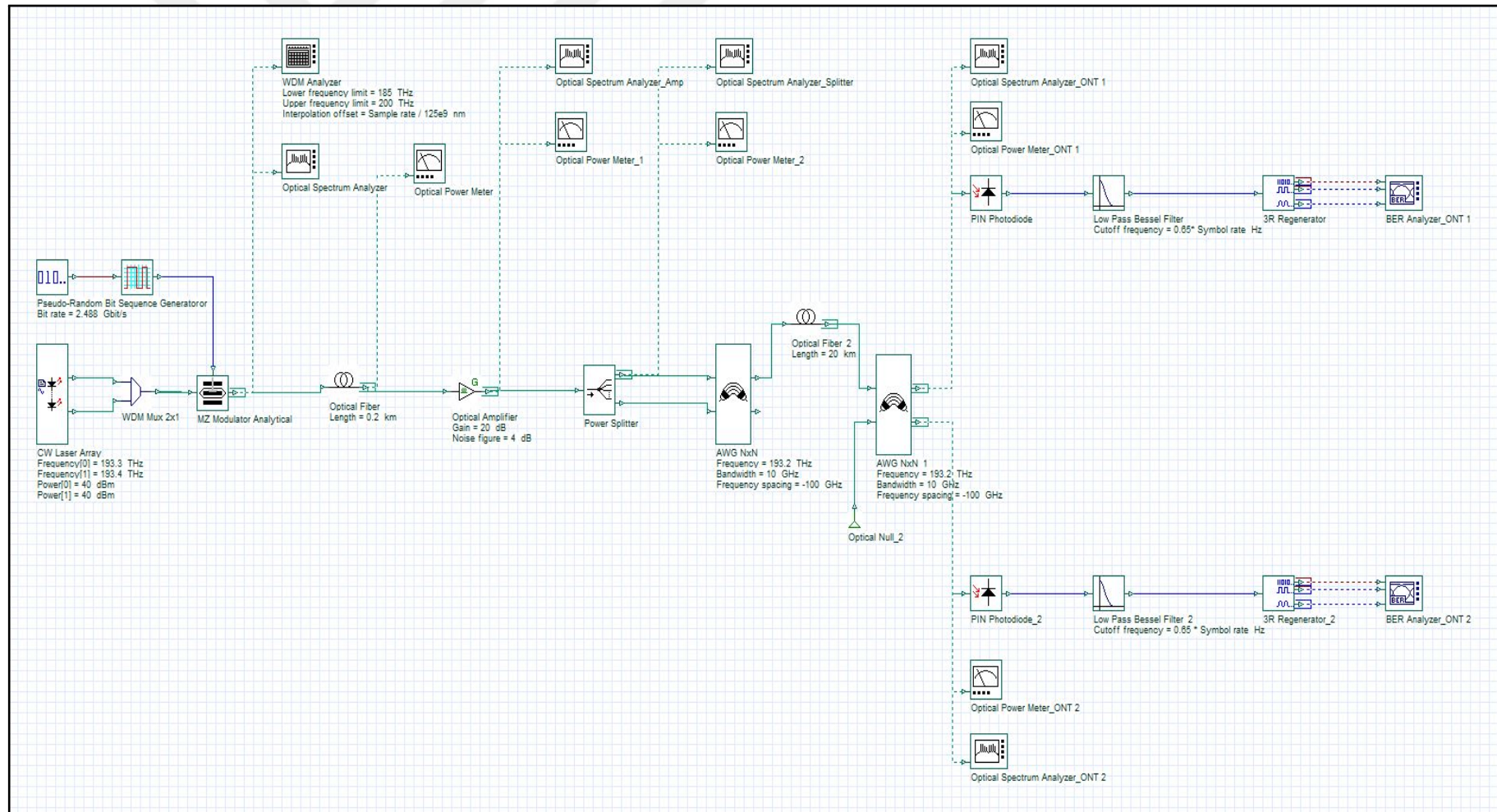
Component	Parameter	Value	Mode
CW Laser Array	Frequency[0] (THz)	193.3	Normal
CW Laser Array	Frequency[1] (THz)	193.4	Normal

Şekil 3.47 WDM-PON teknolojisinde kullanılan lazerlerin frekansları

Verici bloğu olan OLT çıkışındaki WDM analizörü ile CW lazer dizisinde üretilen 193.3 THz ve 193.4 THz frekanslarındaki ışık sinyallerinin dalgaboyu ve güç değerleri, Şekil 3.48'deki gibi izlenmiştir.

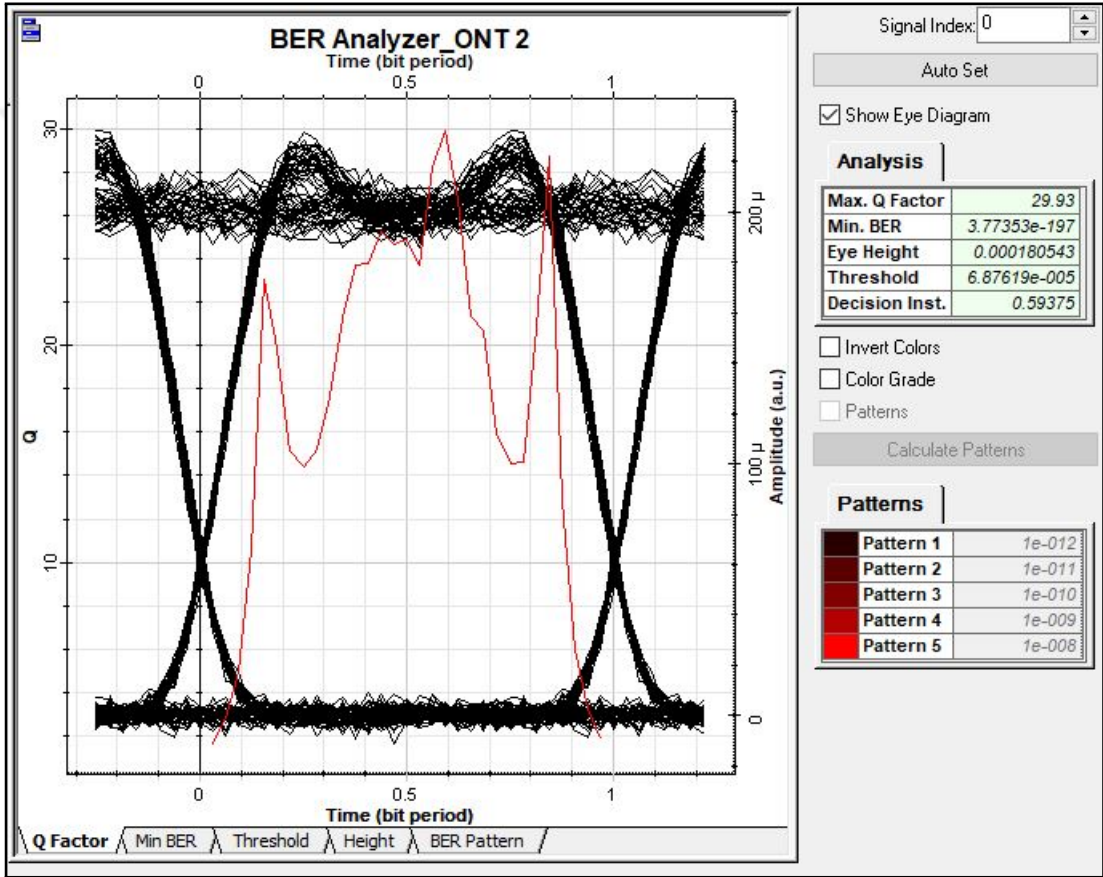
Wavelength (nm)	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	SNR (dB)	Noise Power: 0.1nm (dBm)
1550.918	-23.156259	-59.224357	36.068098	-55.224061
1550.1161	-23.154638	-59.663159	36.508521	-55.662862

Şekil 3.48 WDM-PON tasarımındaki verici çıkışı WDM analizörü değerleri

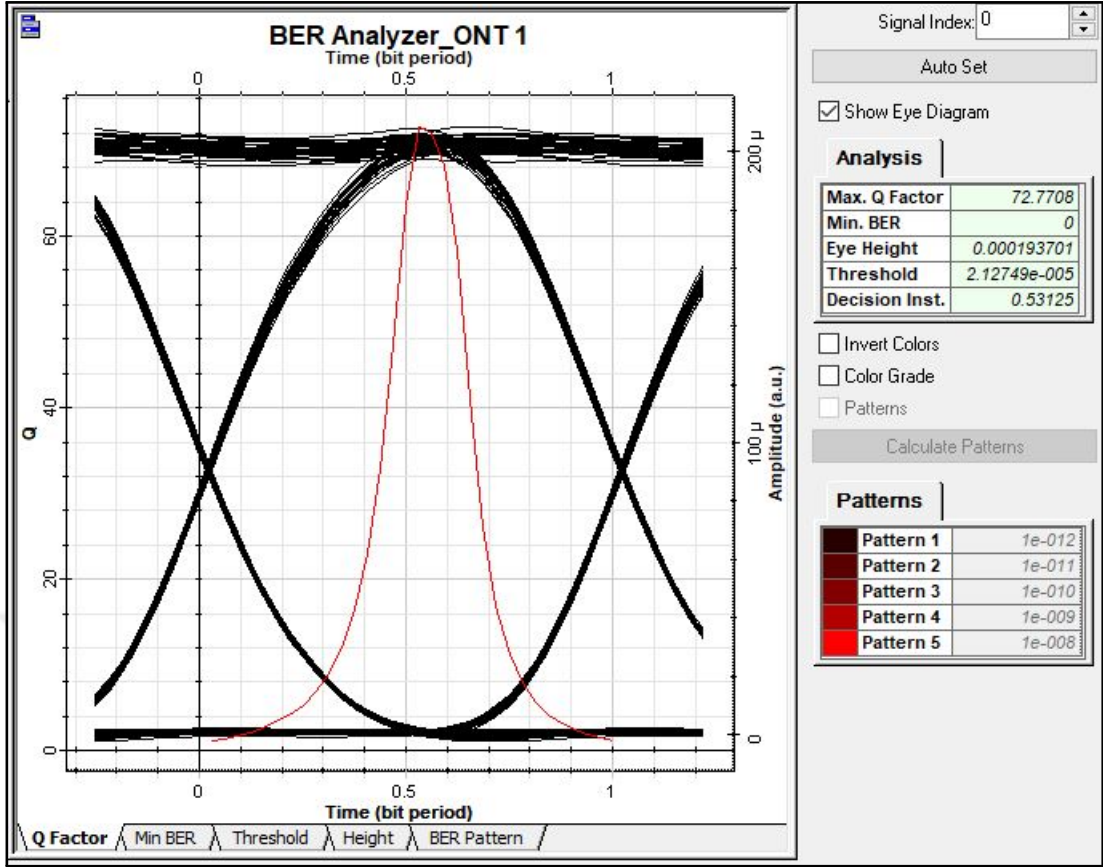


Şekil 3.49 Tasarlanan WDM-PON FTTH sistemi

Şekil 3.49'da verilen 20 km mesafesinde veri iletiminin gerçekleştirilmesi için tasarlanan WDM-PON sisteminin alıcı kısmında, alçak geçiren Bessel filtre kullanılmıştır. Alçak geçiren Bessel filtre kullanılmadan önce ONT BER diyagramı Şekil 3.50'de verilmiştir. ONT BER diyagramı incelendiğinde, göz açıklığının net olmadığı, sistem kalite faktörünün, veri iletimi periyodunda azalıp artan değerler olarak kararlı olmadığı ve düşük olduğu görülmüştür. Sinyal kaybını ifade eden minimum BER değeri 3.773×10^{-197} olarak izlenmiştir. Şekil 3.51'de ise alıcı kısmında alçak geçiren Bessel filtre kullanıldığında, ONT BER diyagramı sonucu verilmiştir. Şekil 3.50 ve Şekil 3.51 karşılaştırıldığında göz açıklığının netleştiği, kalite faktörünün iyileştiği ve minimum BER değerinin sıfır olduğu görülmektedir.

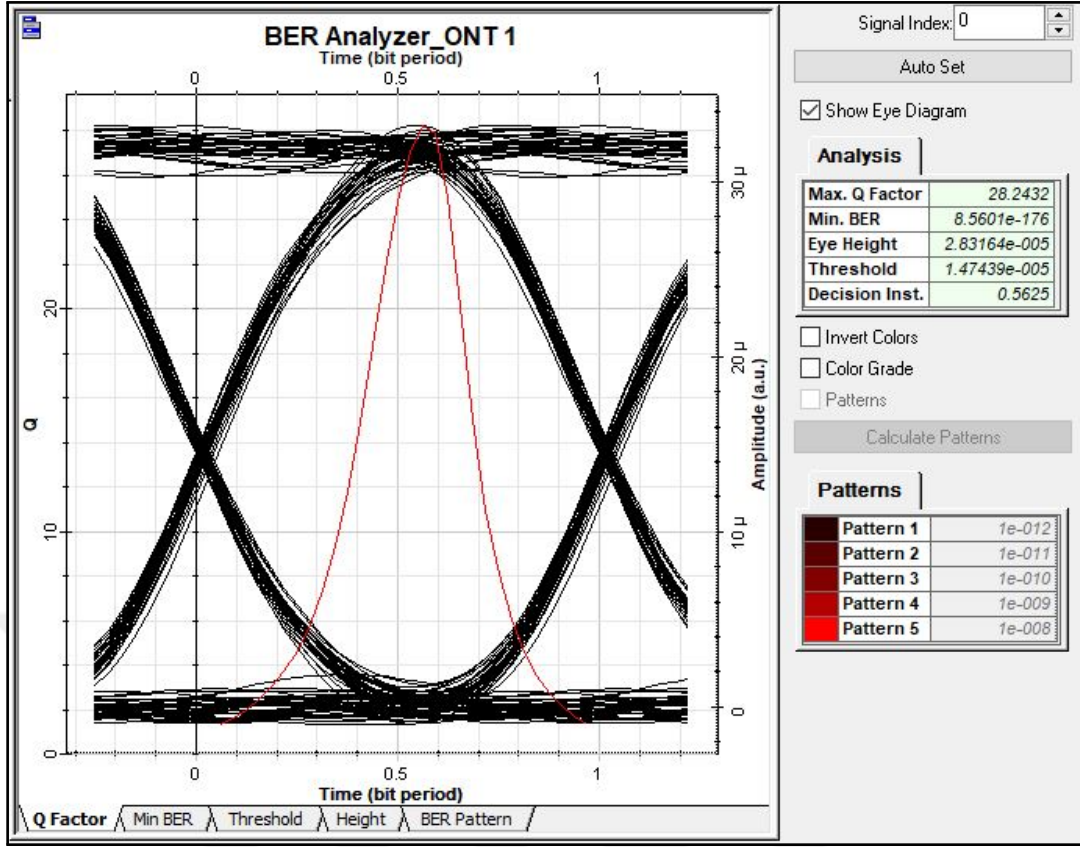


Şekil 3.50 WDM-PON tasarımında 20 km mesafesinde alçak geçiren filtre kullanılmadan BER diyagramı



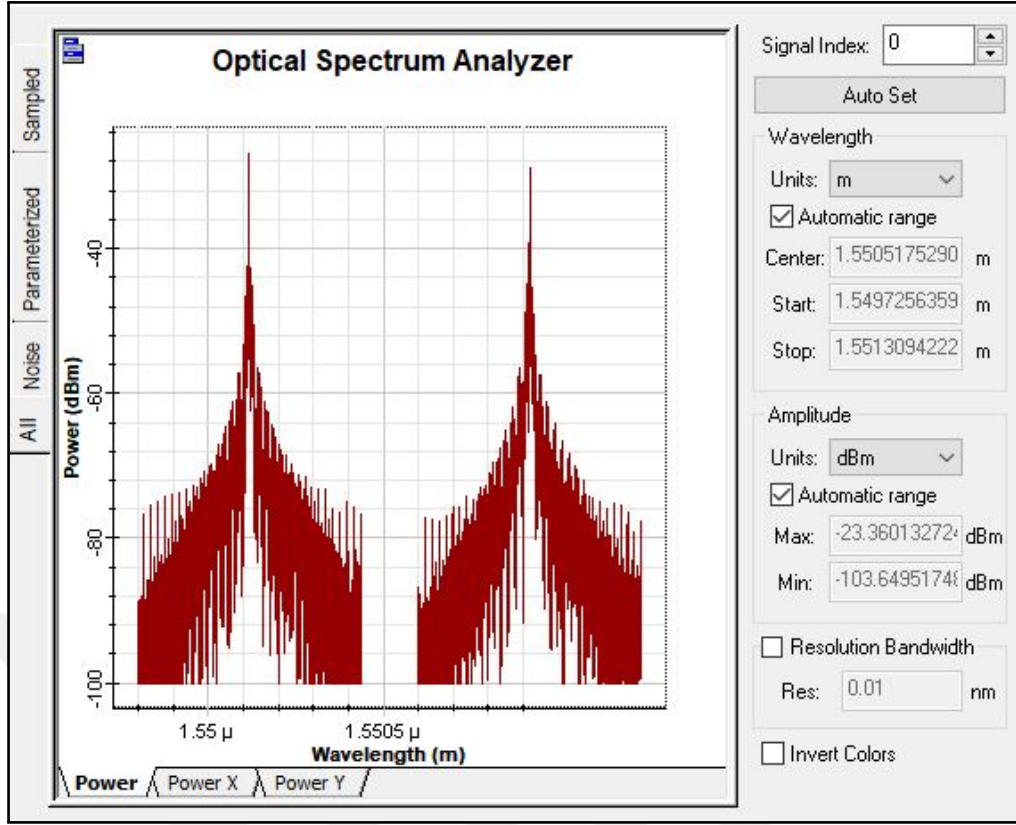
Şekil 3.51 WDM-PON tasarımında 20 km mesafesinde alçak geçiren filtre kullanıldığında BER diyagramı

WDM-PON tasarımında iletim hattı uzunluğu 60 km olarak belirlenmiştir. ONT BER diyagramı Şekil 3.52’de verilmiştir. İletim hattının uzunluğu 20 km’den 60 km’ye arttırıldığında göz açıklığında dalgalanmaların olduğu ve maksimum kalite faktörünün 72.77’den 28.24’e düştüğü görülmüştür. Ayrıca kayıp artmış ve minimum BER değeri, 8.56×10^{-176} olarak gözlenmiştir.

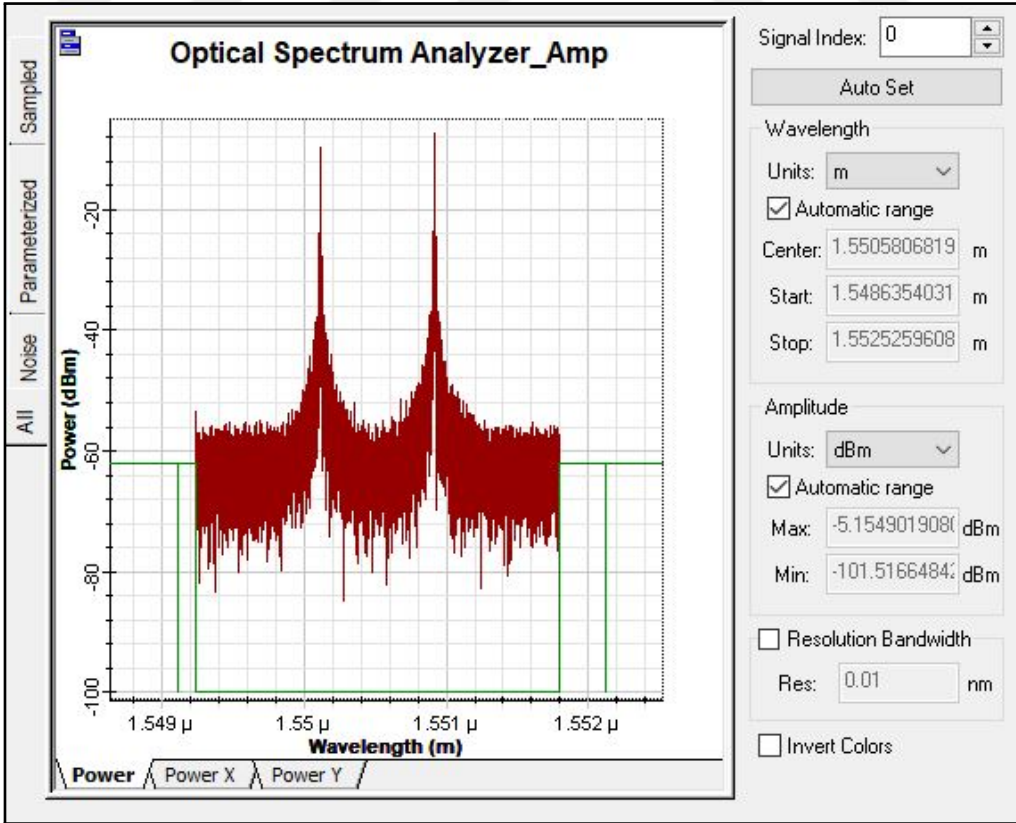


Şekil 3.52 WDM-PON tasarımında 60 km mesafesinde veri iletimi esnasında BER diyagramı

Şekil 3.53'de, WDM-PON tasarımındaki verici bloğu çıkışından alınan spektrum grafiği verilmiştir. OLT içerisindeki lazer dizisinde üretilen 193.3 THz ve 193.4 THz frekanslarındaki ışık sinyallerinin gücünün -23 dBm seviyelerinde olduğu görülmektedir. 20 dB güç kazancı olan EDFA optik kuvvetlendiricinin çıkışından alınan dalgaboyu-güç spektrum grafiği, Şekil 3.54'te verilmiştir ve grafikten görüldüğü gibi, güç değeri -5.15 dBm'dir. İletilmek istenen sinyaller, yaklaşık 18 dBm kuvvetlenmiştir. Şekil 3.54'te görüldüğü gibi gürültü sinyali de bir miktar kuvvetlenerek (-70) - (-60) dBm seviyelerine yükselmiştir.

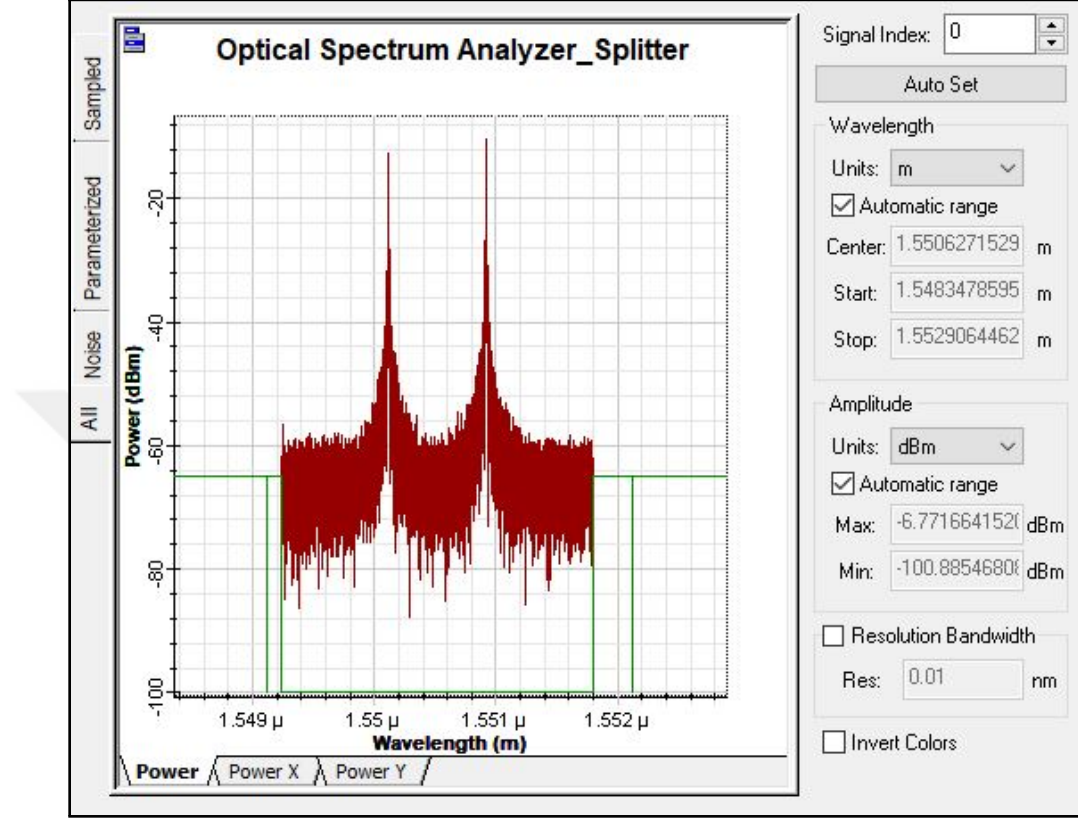


Şekil 3.53 WDM-PON tasarımındaki verici çıkışı spektrum grafiği



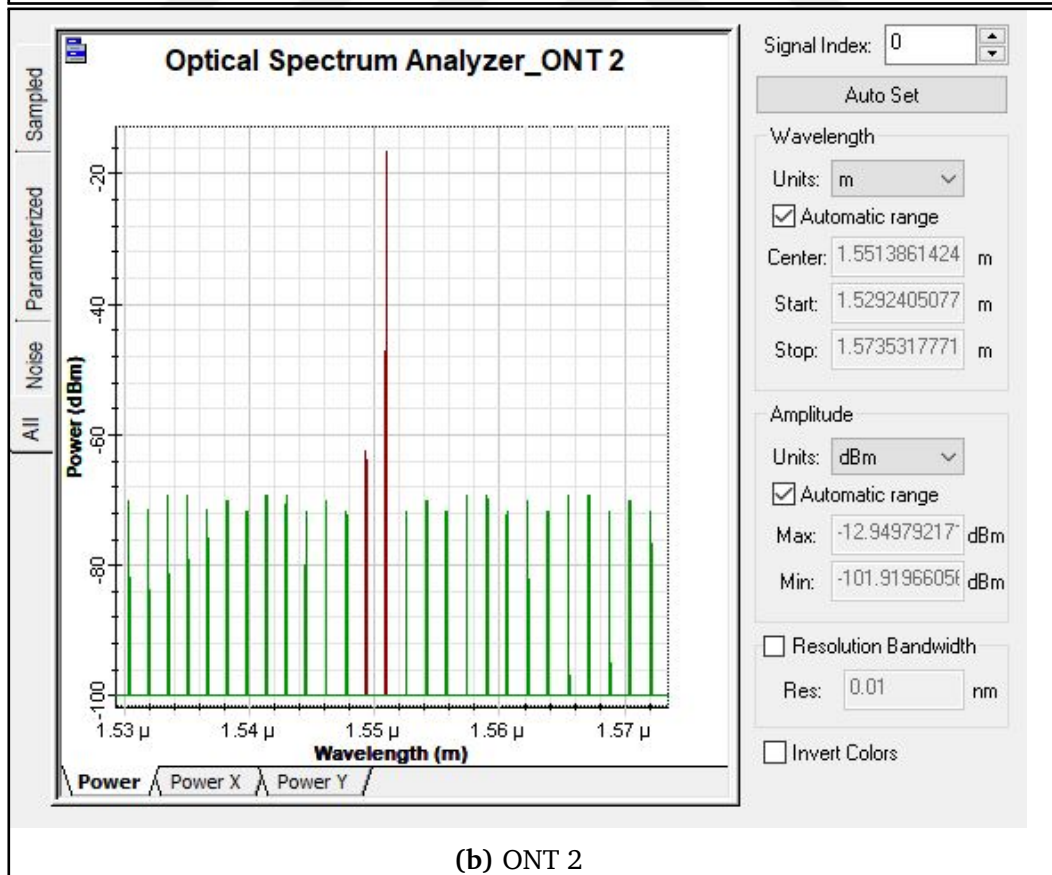
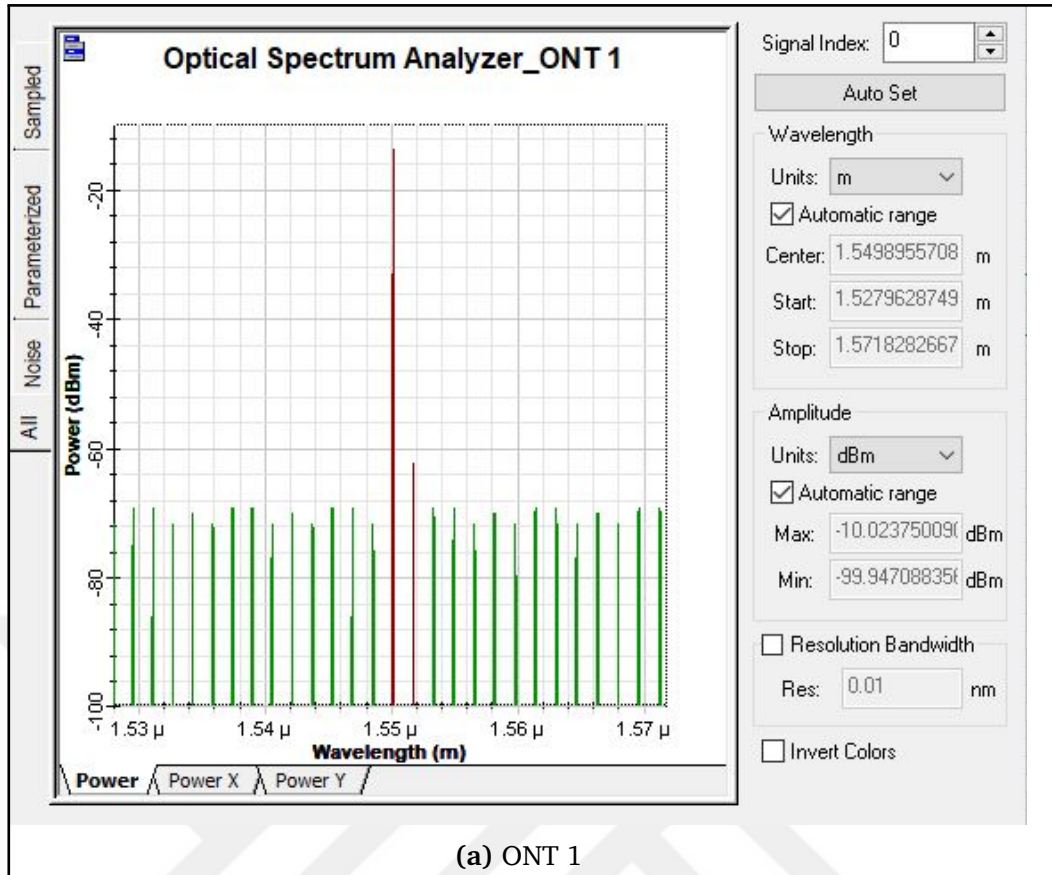
Şekil 3.54 WDM-PON tasarımındaki optik kuvvetlendirici çıkışı spektrum grafiği

Optik kuvvetlendiriciden sonra gelen güç bölücü çıkışından alınan spektrum grafiği, Şekil 3.55'te verilmiştir. Güç değerlerinin, -6.77 seviyelerinde olduğu ve yaklaşık 1 dB zayıfladığı görülmektedir. Bunun sebebinin optik bölücü üzerindeki güç kaybı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.55 WDM-PON tasarımındaki güç bölücü çıkışı spektrum grafiği

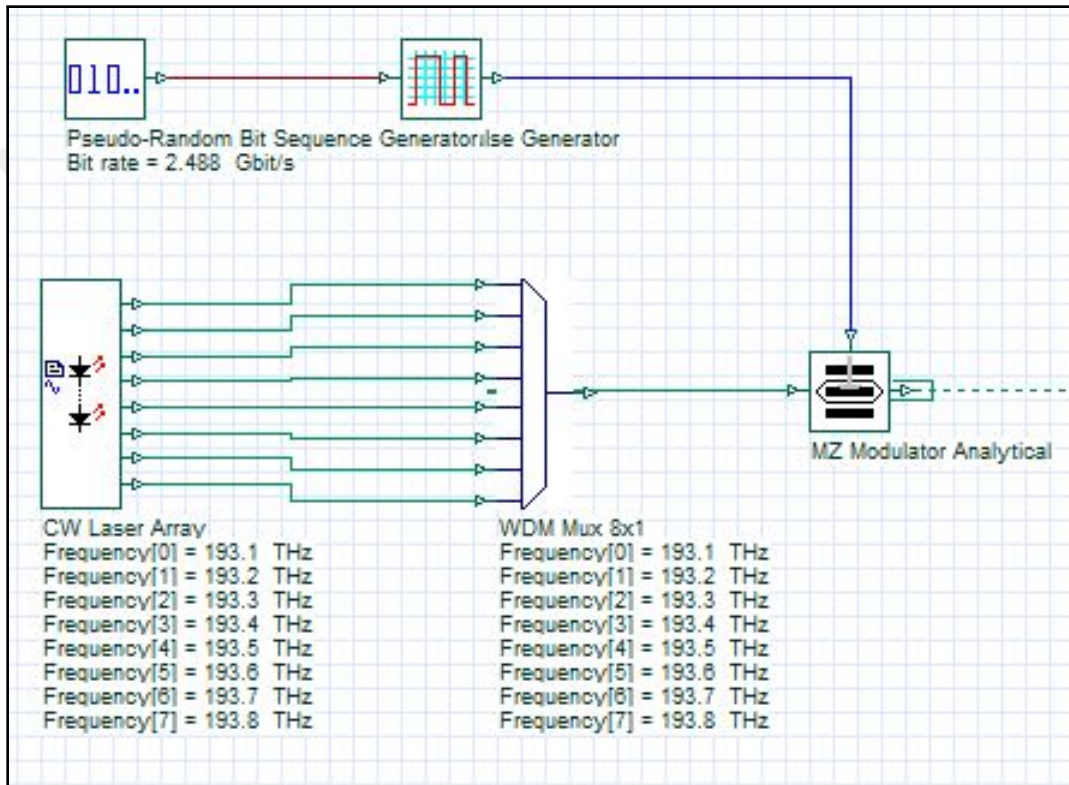
Şekil 3.56'da, ONT 1 ve ONT 2 spektrum grafikleri yer almaktadır. Grafiklerden görüldüğü gibi, verici bloğunda birden fazla dalgaboyu üretilerek tek bir fiber üzerinden farklı dalgaboylarında veri iletimin sağlanmıştır. ONT 1 ve ONT 2'nin güç değerinin sırasıyla -10 dBm ve -12.9 dBm ve gürültü gücünün -70 dBm olduğu görülmüştür.



Şekil 3.56 WDM-PON tasarımındaki ONT 1 ve ONT 2 çıkışları spektrum analizi

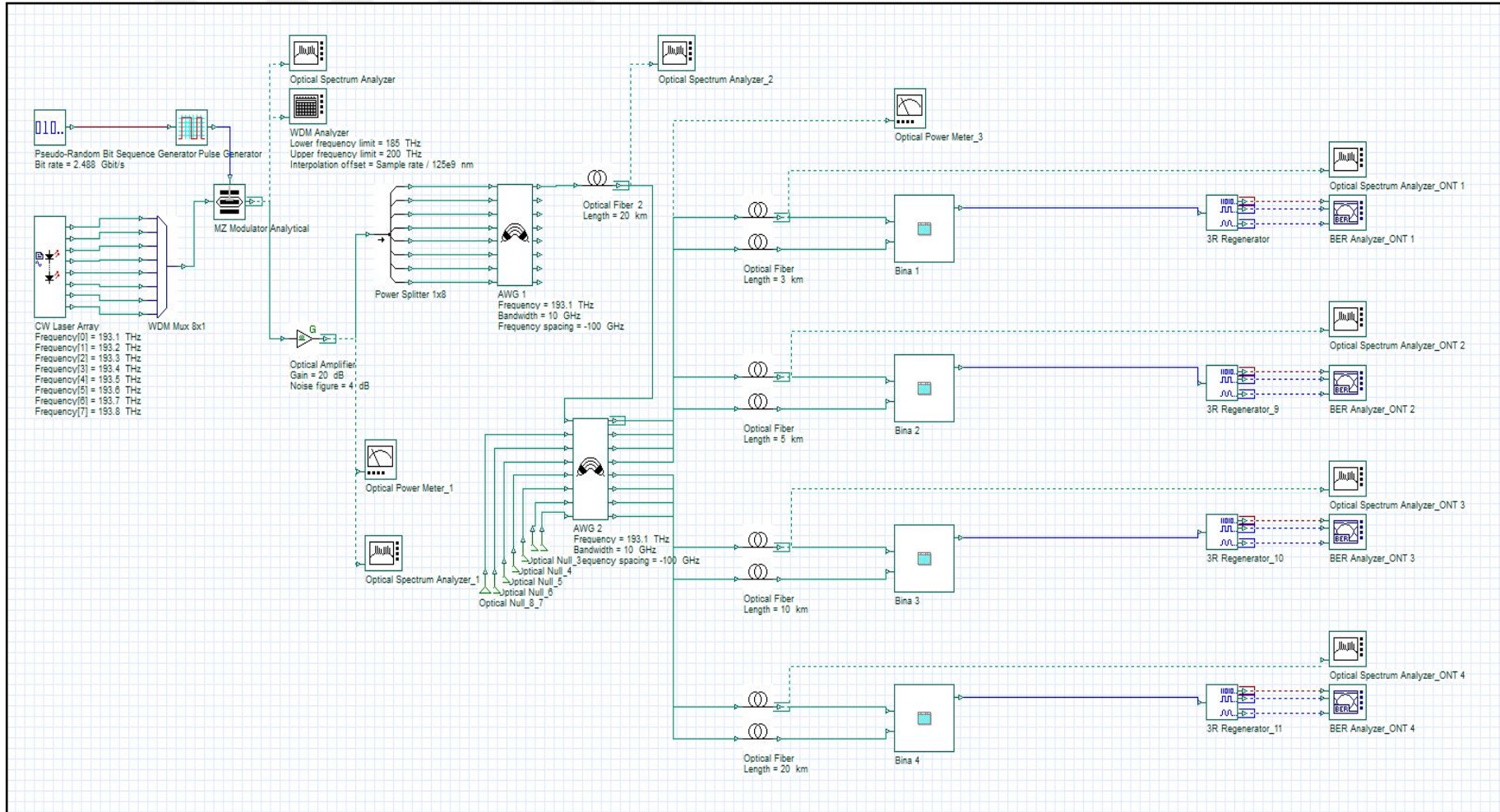
3.5.2 Dalgaboyu Bölmeli Çoğullamalı Pasif Optik Ağ FTTB Tasarımı ve Analizleri

Bu bölümde, dalgaboyu bölmeli çoğullama teknolojisi kullanılarak GPON FTTB uygulaması tasarlanmıştır. Farklı mesafelerdeki binalarda bulunan 8 ONT'ye WDM teknolojisi kullanılarak 8 farklı dalgaboyu üzerinden veri iletimi amaçlanmıştır. Sistemin verici bloğu olan ve iç yapısı Şekil 3.57'de verilen OLT'de, 8 kanallı bir CW lazer dizisi ve 8x1 WDM multiplexer kullanılmıştır. CW lazerden üretilen ışık sinyali WDM multiplexer ile çoğullanmış ve NRZ darbe üreticinden gelen elektrik sinyali ile birlikte MZ modülatör yardımıyla modüle edilmiştir.



Şekil 3.57 WDM-PON FTTB tasarımındaki OLT iç yapısı

Tasarlanan GPON FTTB referans sistemi, Şekil 3.58'de verilmiştir. OLT bloğundan sonra iletim hattı boyunca zayıflayan sinyalin kuvvetlendirilmesi ve alıcı kısmında daha iyi bir sinyal elde edilmesi için 20 dB gücünde ve 4 dB gürültüye sahip EDFA optik kuvvetlendirici kullanılmıştır. İletim hattının başında ve sonunda birden fazla dalgaboyunun tek bir fiberde toplanmasını veya bir fiber iletim hattından taşınan farklı dalgaboylarının birden fazla iletim hattına çoğullanmasını sağlamak için 8 basamaklı AWG'lere yer verilmiştir. Sistemin alıcı kısmında dört farklı bina ve her binada 2 daire olacak şekilde toplamda 8 ONT bulunmaktadır.



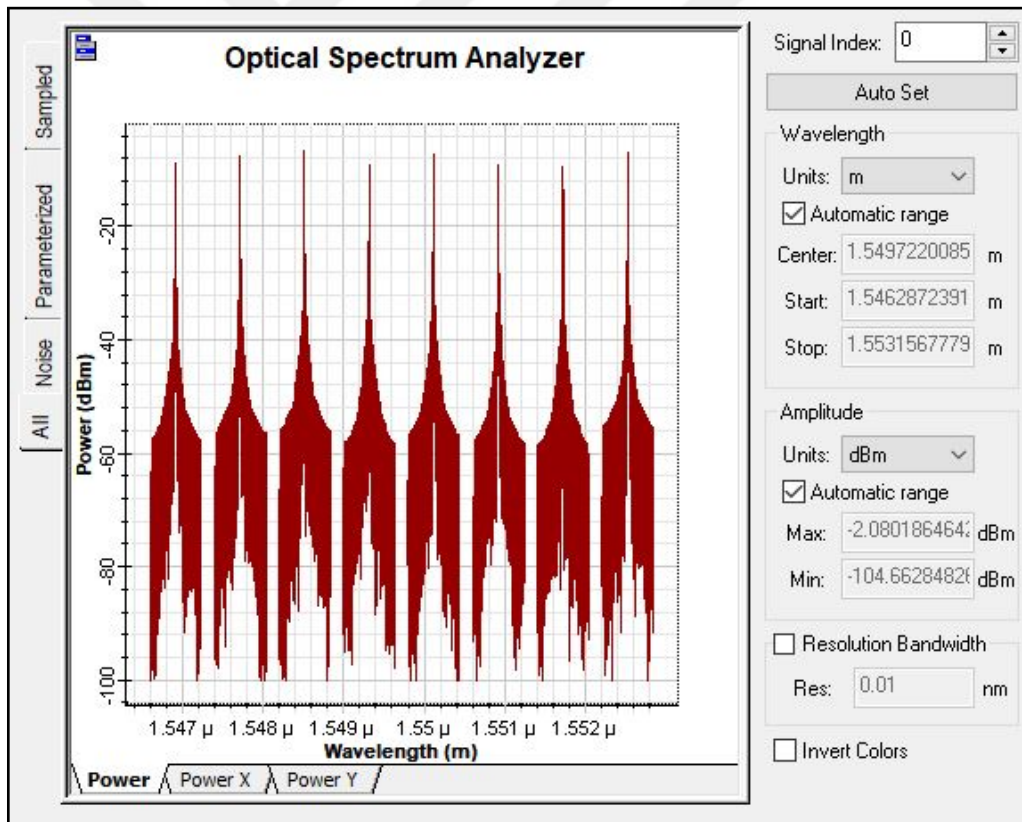
Şekil 3.58 WDM-PON FTTB tasarımı

OLT bloğu çıkışından WDM analizör ile alınan ölçüm sonucunda, CW lazer dizisinden üretilen sinyal parametreleri Şekil 3.59’da verilmiştir ve 1550 nm dalgaboyundan uzaklaştıkça SNR (Signal to Noise Ratio, Sinyal Gürültü Oranı)’ın ve gürültünün arttığı görülmektedir.

Wavelength (nm)	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	SNR (dB)	Noise Power: 0.1nm (dBm)
1552.5244	-3.3210152	-39.91786	36.596845	-35.917564
1551.7208	-3.3219991	-37.273429	33.95143	-33.273132
1550.918	-3.3219933	-37.267678	33.945684	-33.267381
1550.1161	-3.322792	-37.251158	33.928366	-33.250862
1549.315	-3.3219386	-37.277083	33.955144	-33.276786
1548.5148	-3.3224225	-37.279839	33.957416	-33.279542
1547.7153	-3.3224243	-37.277575	33.95515	-33.277278
1546.9167	-3.3210982	-39.968444	36.647346	-35.968148

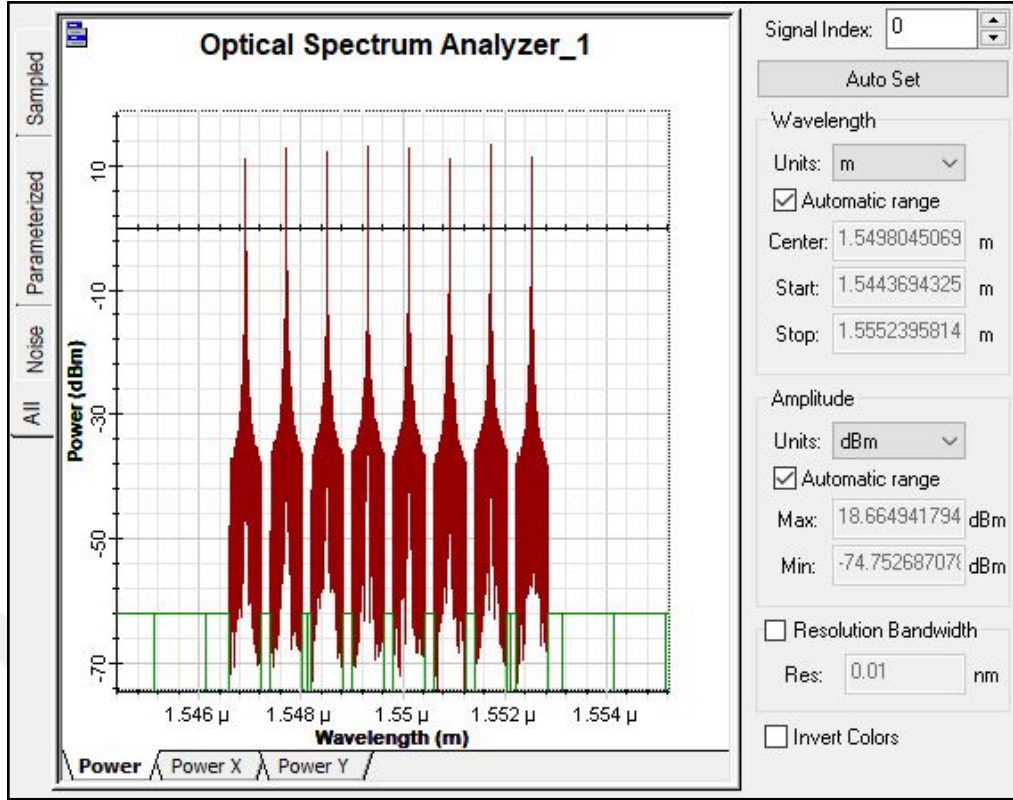
Şekil 3.59 OLT çıkışından WDM analizör ile alınan ölçüm sonucu

Şekil 3.60’da, optik spektrum analizörü kullanılarak OLT çıkışından alınan dalgaboyu-güç grafiği verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi 193.1-193.8 THZ frekans aralığındaki sinyallerin güç değerleri, yaklaşık olarak -2.08 dBm’dir.

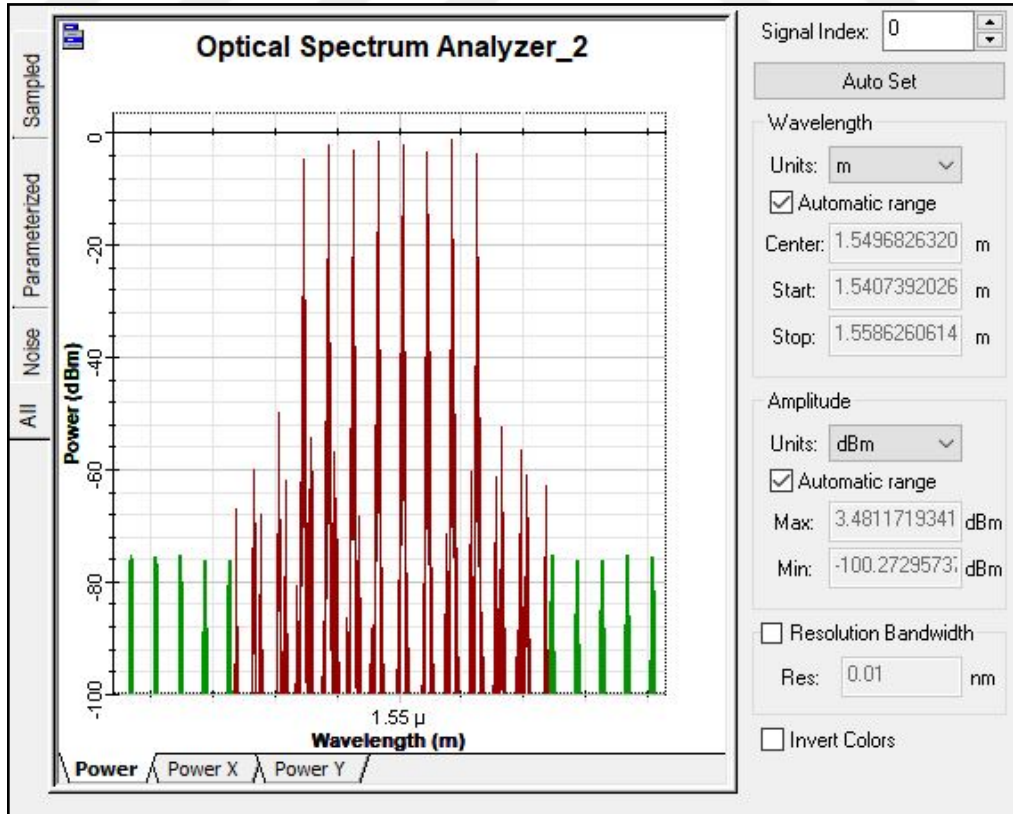


Şekil 3.60 WDM-PON FTTB tasarımındaki OLT çıkışı spektrum grafiği

20 dB güç ve 4 dB gürültüye sahip EDFA optik kuvvetlendirici çıkışından alınan dalgaboyu-güç grafiği Şekil 3.61’de verilmiştir. Spektrum grafiğinden ölçülen sinyal gücü değeri, 18.66 dBm ve gürültü gücü ise -60 dBm seviyelerindedir. Kuvvetlendirici kullanılmasıyla beraber sinyal gücü ve gürültü gücünün arttığı görülmüştür.



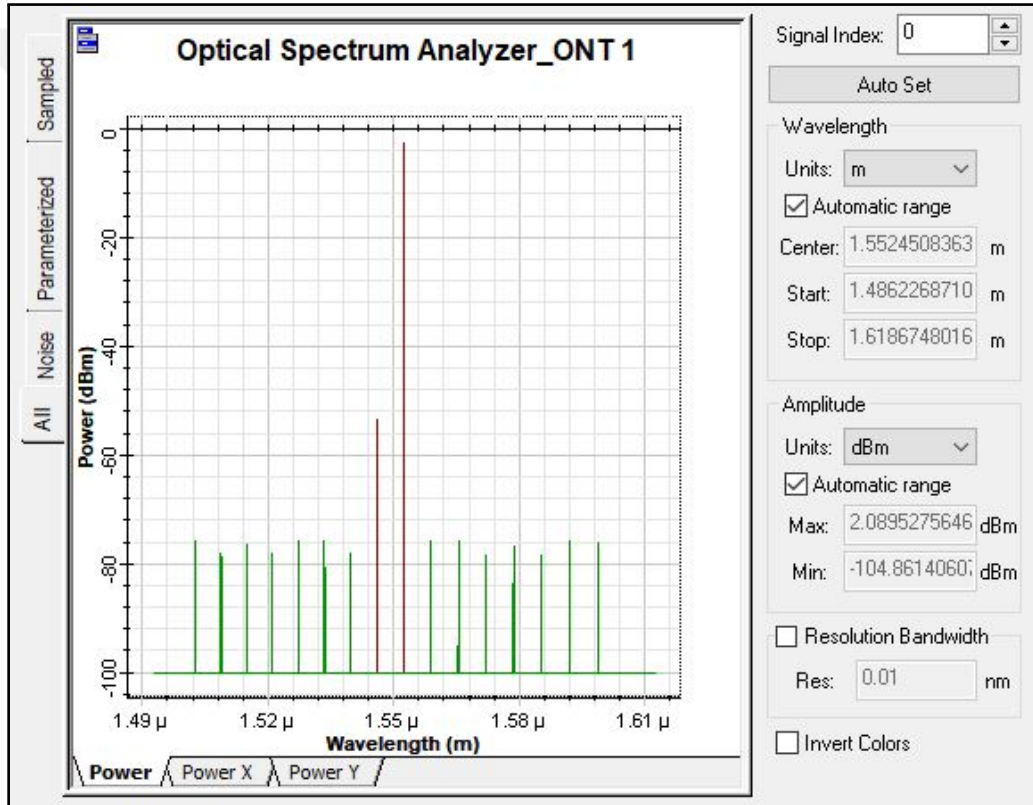
Şekil 3.61 WDM-PON FTTB tasarımındaki optik kuvvetlendirici çıkışı spektrum grafiği



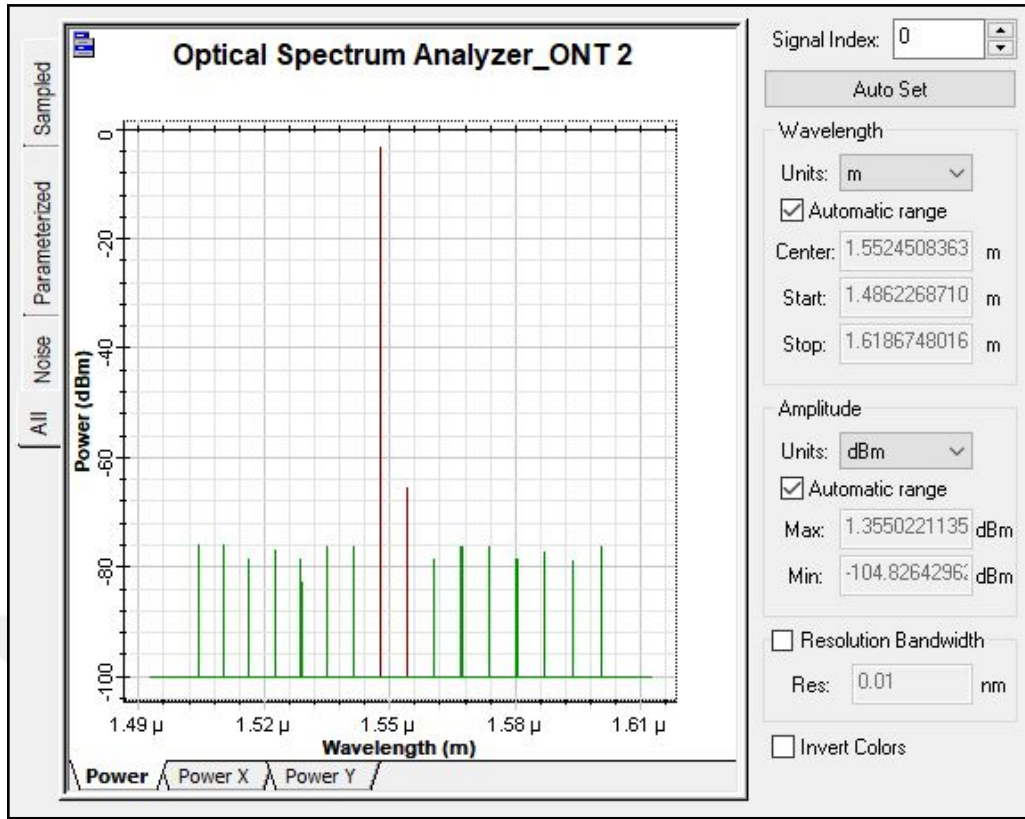
Şekil 3.62 WDM-PON FTTB tasarımındaki 20 km iletim hattı sonu spektrum grafiği

20 km olan iletim hattı sonundaki dalgaboyu-güç spektrum grafiği Şekil 3.62'de verilmiştir. Sinyal gücü, 3.02 dBm olarak gözlenmiştir. İletim hattı boyunca meydana gelen güç kaybının, optik iletim hattının uzunluğu, ek kayıpları ve güç bölücü kaybından kaynaklandığı belirlenmiştir.

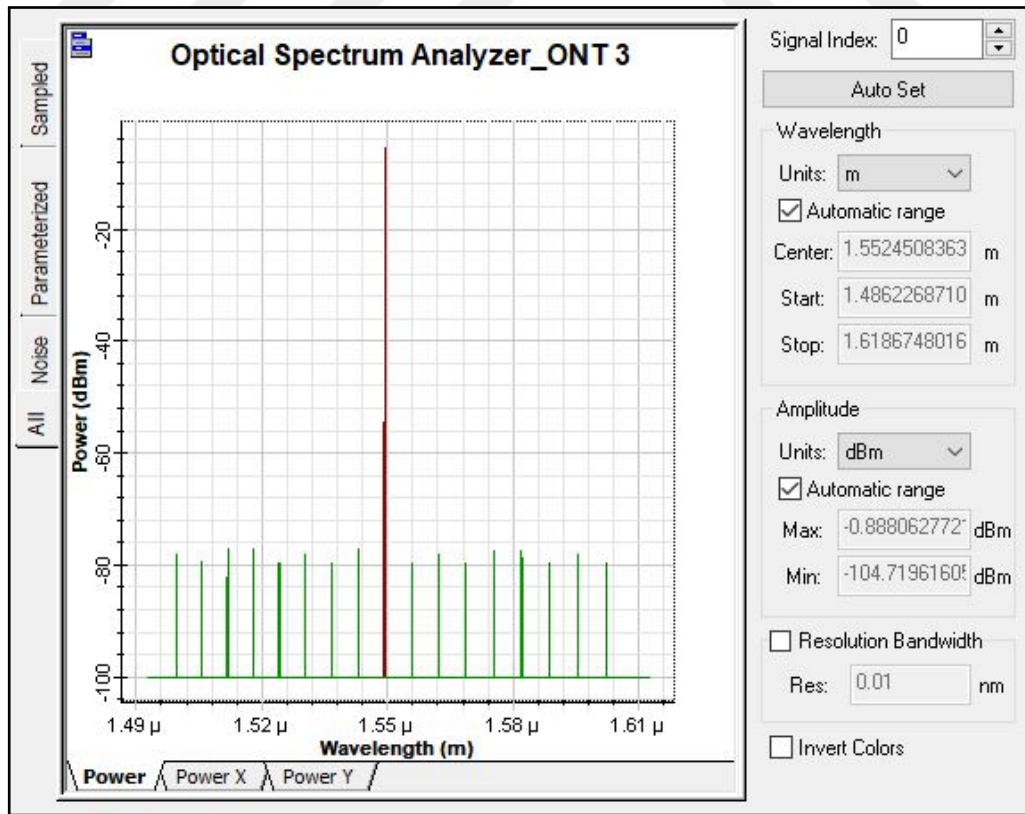
Şekil 3.58'de verilen tasarımda, multiplexer ve demultiplexer olarak kullanılan AWG 1 ve AWG 2 arasındaki iletim hattının uzunluğu 20 km'dir. AWG 2 ile her bina arasındaki iletim hattı mesafesi farklı olup sırasıyla 3 km, 5 km, 10 km ve 20 km'dir. Her bina içerisinde bulunan iki ONT'den sadece birinden ölçüm alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Optik spektrum analizörü kullanılarak ONT 1, ONT 2, ONT 3 ve ONT 4 girişlerinden alınan ölçüm sonuçları, sırasıyla Şekil 3.63, Şekil 3.64, Şekil 3.65, ve Şekil 3.66'da verilmiştir.



Şekil 3.63 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 1 spektrum grafiği

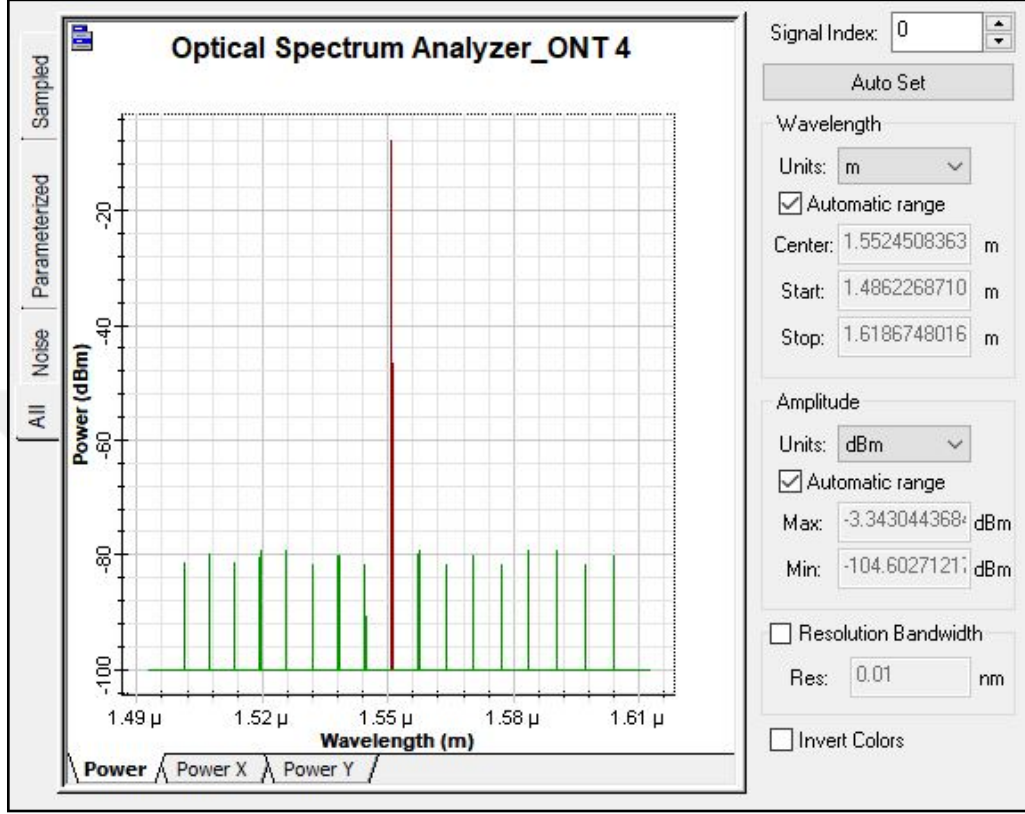


Şekil 3.64 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 2 spektrum grafiği



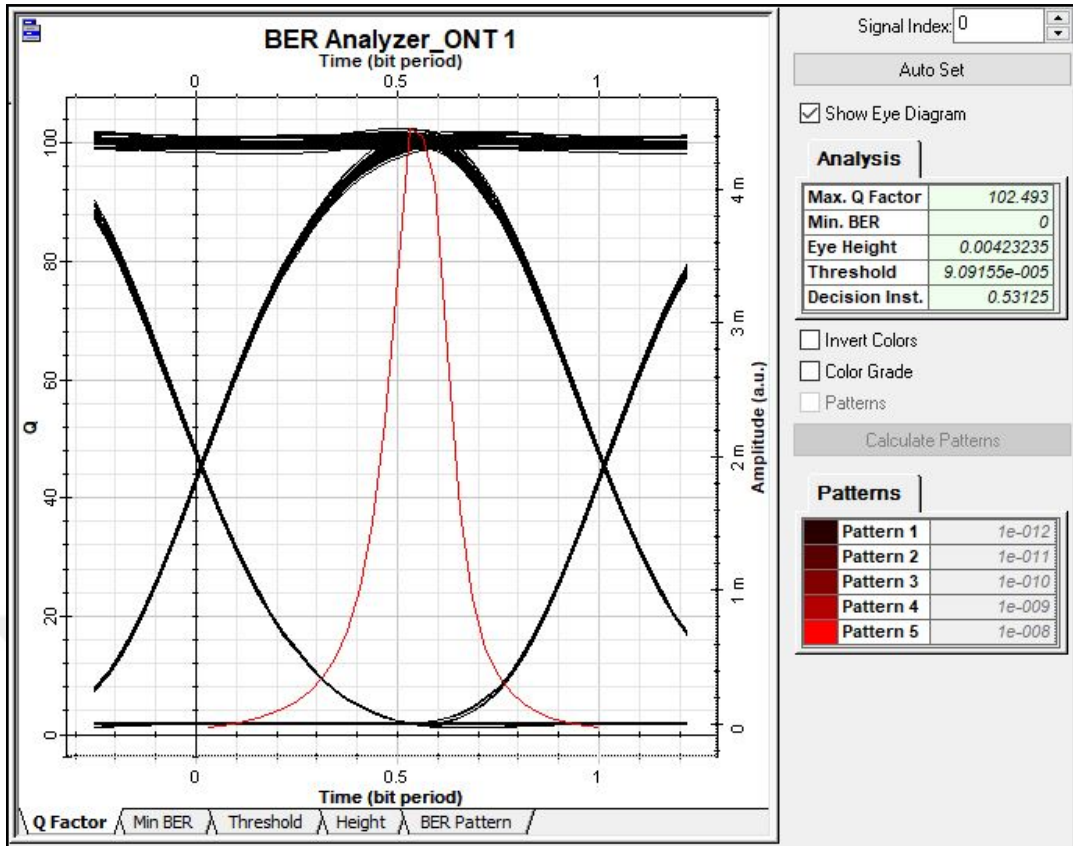
Şekil 3.65 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 3 spektrum grafiği

ONT'lerin spektrum grafikleri incelendiğinde, AWG 2'ye 3 km, 5 km, 10 km ve 20 km uzaklıklarındaki ONT'lerin sinyal güçleri sırasıyla 2.08 dBm, 1.35 dBm, -0.88 dBm ve -3.34 dBm olduğu görülmektedir. AWG 2 ile bina arasındaki mesafenin artmasıyla sinyal gücünün daha fazla zayıfladığı gözlenmiştir.

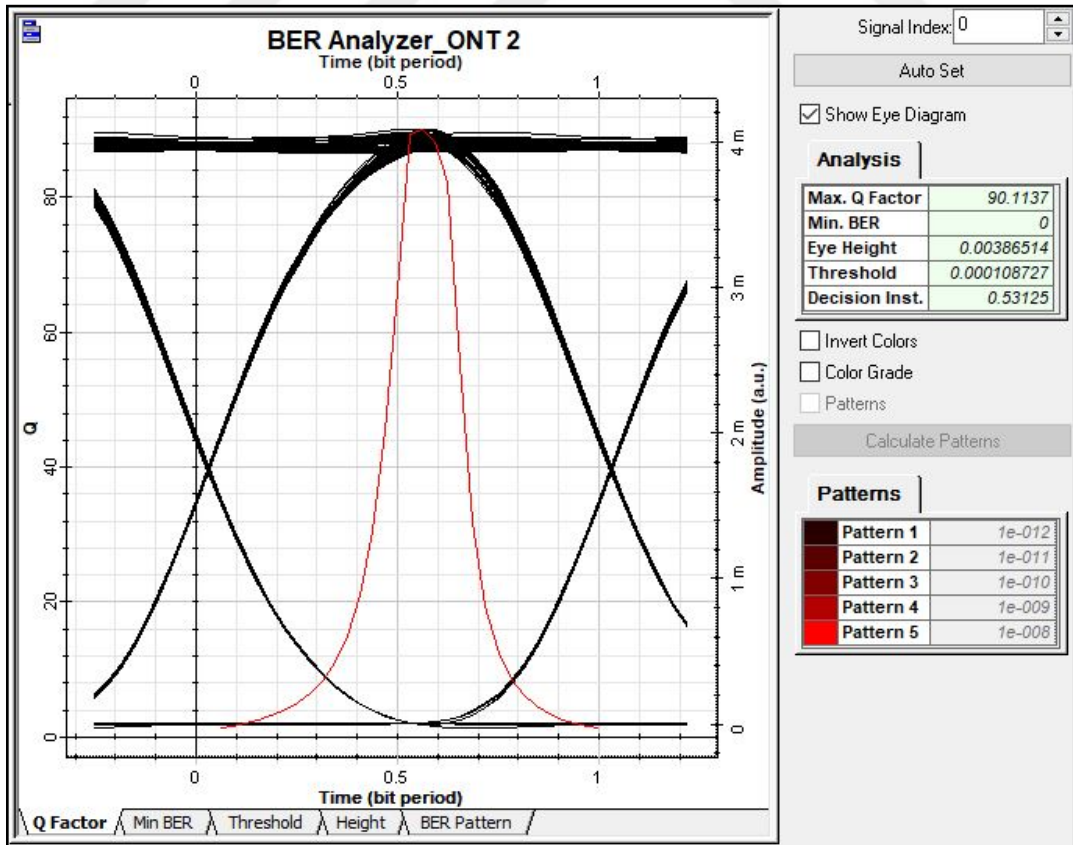


Şekil 3.66 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 4 spektrum grafiği

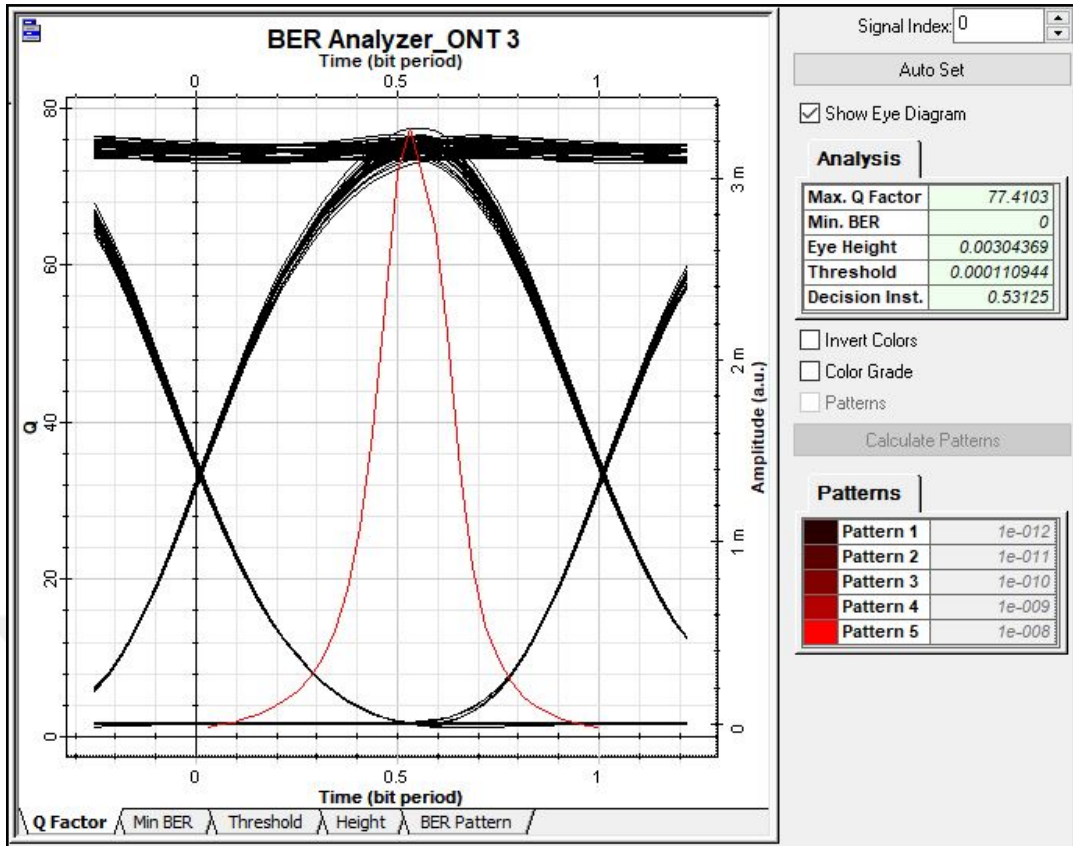
ONT'lerin BER diyagramları, Şekil 3.67, Şekil 3.68, Şekil 3.69 ve Şekil 3.70'de verilmiştir. Sinyal kalitesini ifade eden maksimum Q faktörünün, ONT 1, ONT 2, ONT 3 ve ONT 4 için sırasıyla 102.4, 90.1, 77.4 ve 76.9 olduğu AWG 2 ile bina arasındaki mesafenin artmasıyla Q faktörünün azaldığı ve BER diyagramında da saçılmaların oluştuğu görülmüştür.



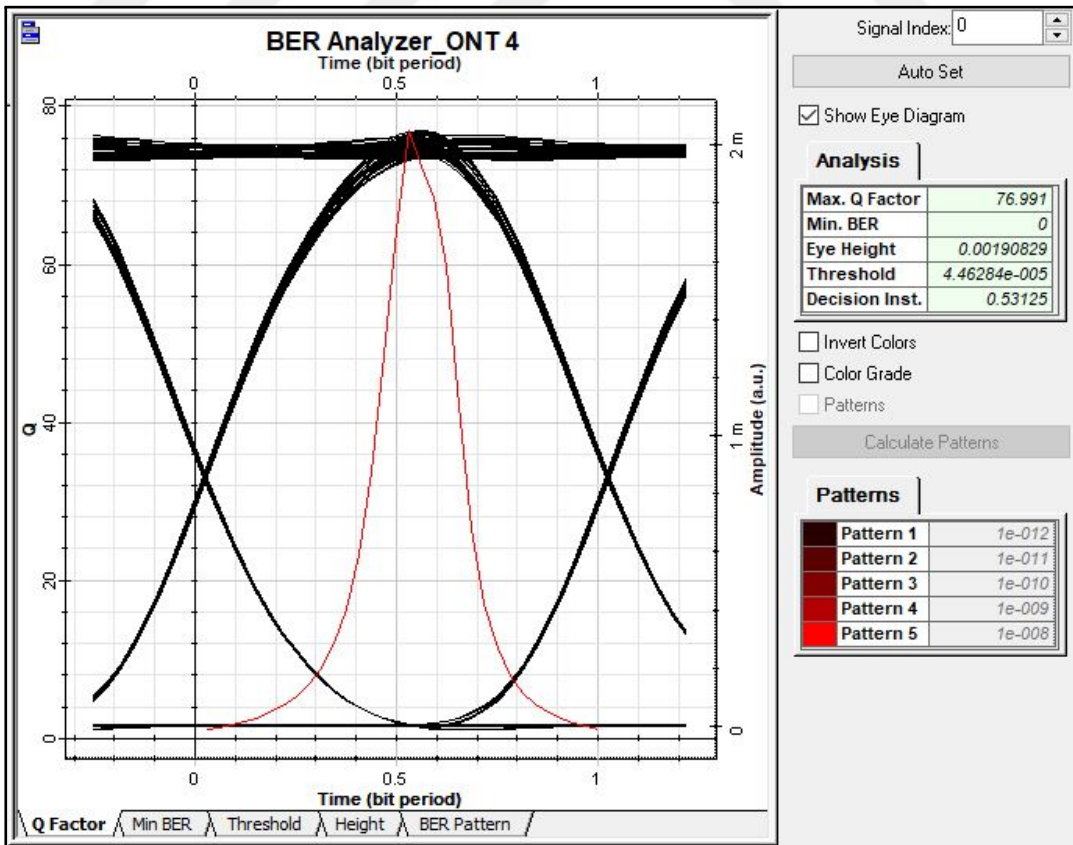
Şekil 3.67 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 1 BER diyagramı



Şekil 3.68 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 2 BER diyagramı



Şekil 3.69 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 3 BER diyagramı

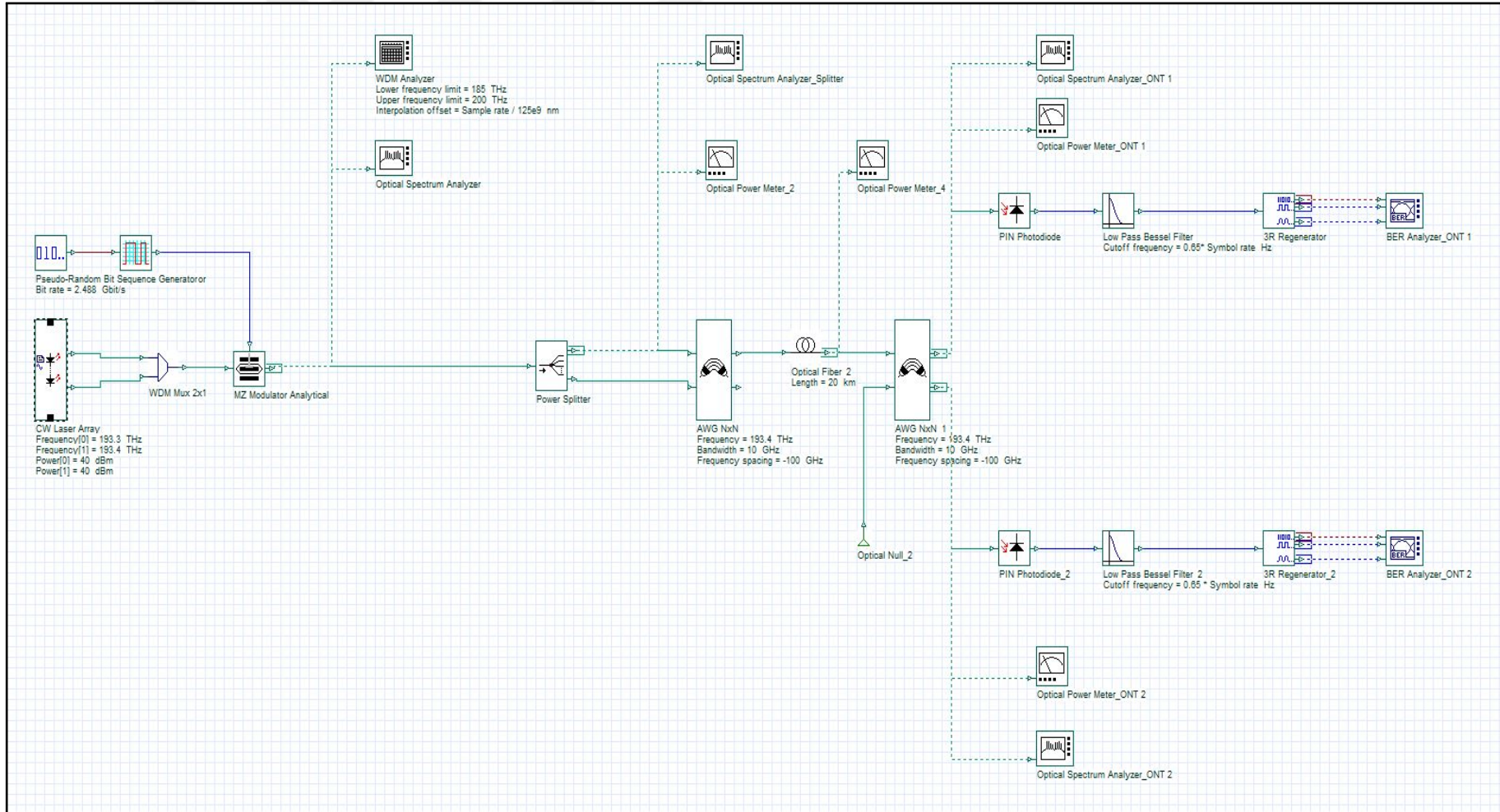


Şekil 3.70 WDM-PON FTTB tasarımında ONT 4 BER diyagramı

3.6 Dalgaboyu Bölmeli Çoğullamalı Pasif Optik Ağ FTTH Tasarımında Kuvvetlendirici Analizleri

Bu bölümde, dalgaboyu bölmeli çoğullamalı pasif optik ağ teknolojisi kullanılarak tasarlanan FTTH sistemine, optik kuvvetlendiricilerin etkisi incelenmiştir. OptiSystem 17.0 kullanılarak Şekil 3.71'deki düzenek tasarlanmıştır. Tasarımda sadece aşağı yönlü veri iletimi mevcuttur ve sistemin verici bloğunda ışık kaynağı olarak CW lazer dizisi kullanılmıştır. Lazer dizisinden sonra 2x1 WDM multiplexer ile çoğullanan ışık sinyali, NRZ darbe jeneratörü ile beslenip MZ modülatöre erişmektedir. Sinyal 20 km olan iletim hattından sonra pasif optik güç bölücü ile bölünerek dairelerde bulunan ONT'lere iletilmektedir. Tasarımın alıcı kısmında, fotodiyot ve alçak geçiren Bessel filtre kullanılmıştır. Şekil 3.71'deki WDM-PON FTTH tasarımına sırasıyla EDFA ve Raman optik kuvvetlendirici eklenmiş ve sistem performansına etkileri incelenmiştir.

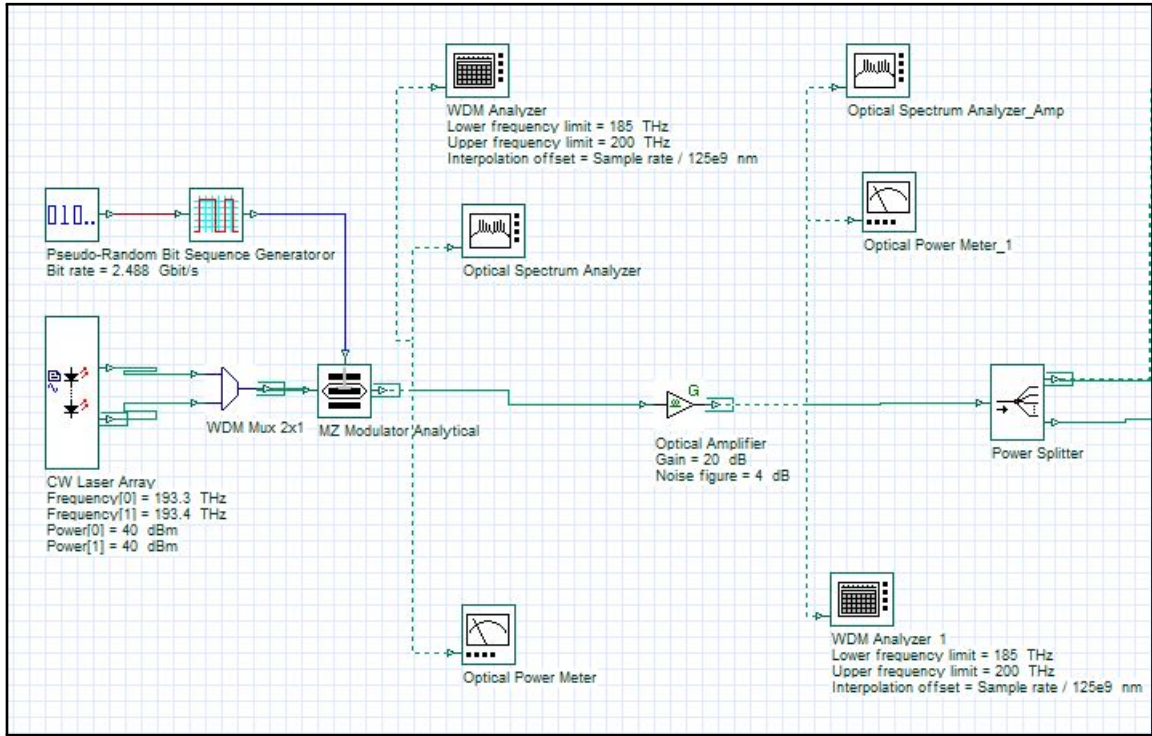




Şekil 3.71 WDM-PON FTTH sistemi

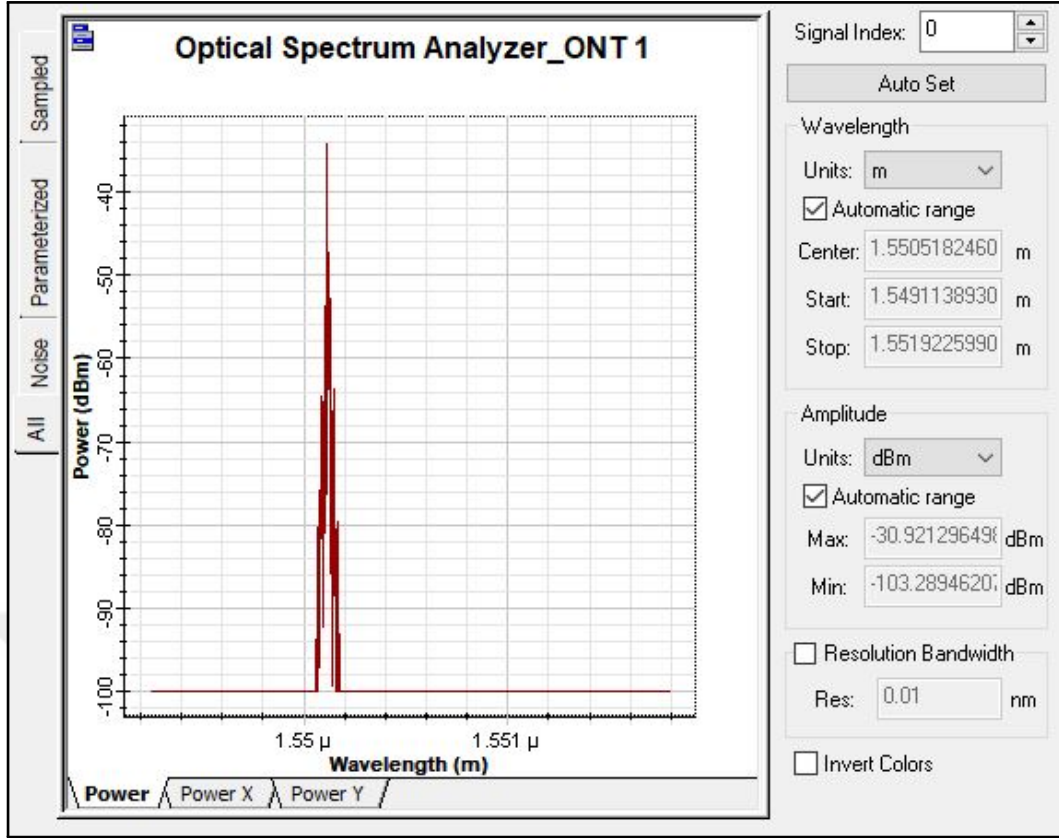
3.6.1 EDFA Optik Kuvvetlendiricinin WDM FTTH Sistemine Etkileri

Bu bölümde, Şekil 3.71'deki sisteme, 4dB gürültü ve 20 dBm güç kazancına sahip EDFA optik kuvvetlendirici eklenerek sisteme etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Verici bloğunda optik kaynak olarak 40 dBm gücü olan CW lazer kullanılmıştır. Şekil 3.71'deki referans sistemde, EDFA optik kuvvetlendiricinin eklendiği kısım, Şekil 3.72'de verilmiştir.

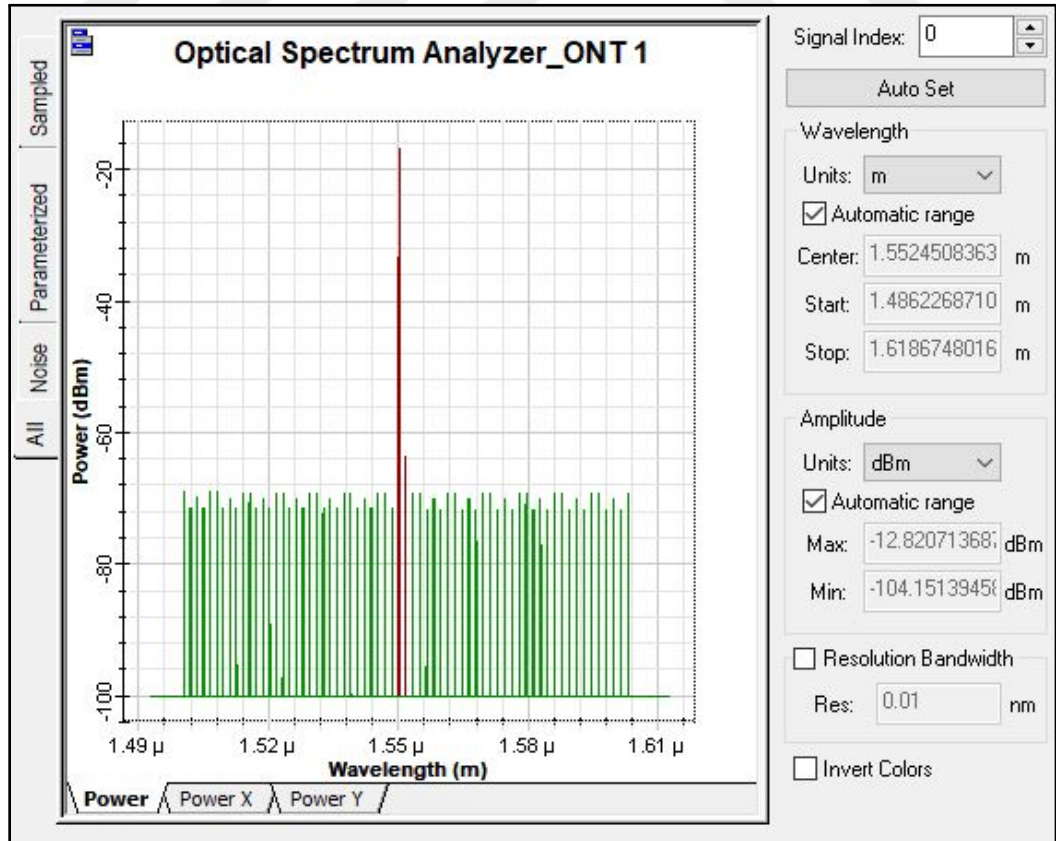


Şekil 3.72 EDFA optik kuvvetlendiricinin kullanıldığı WDM FTTH sistemi

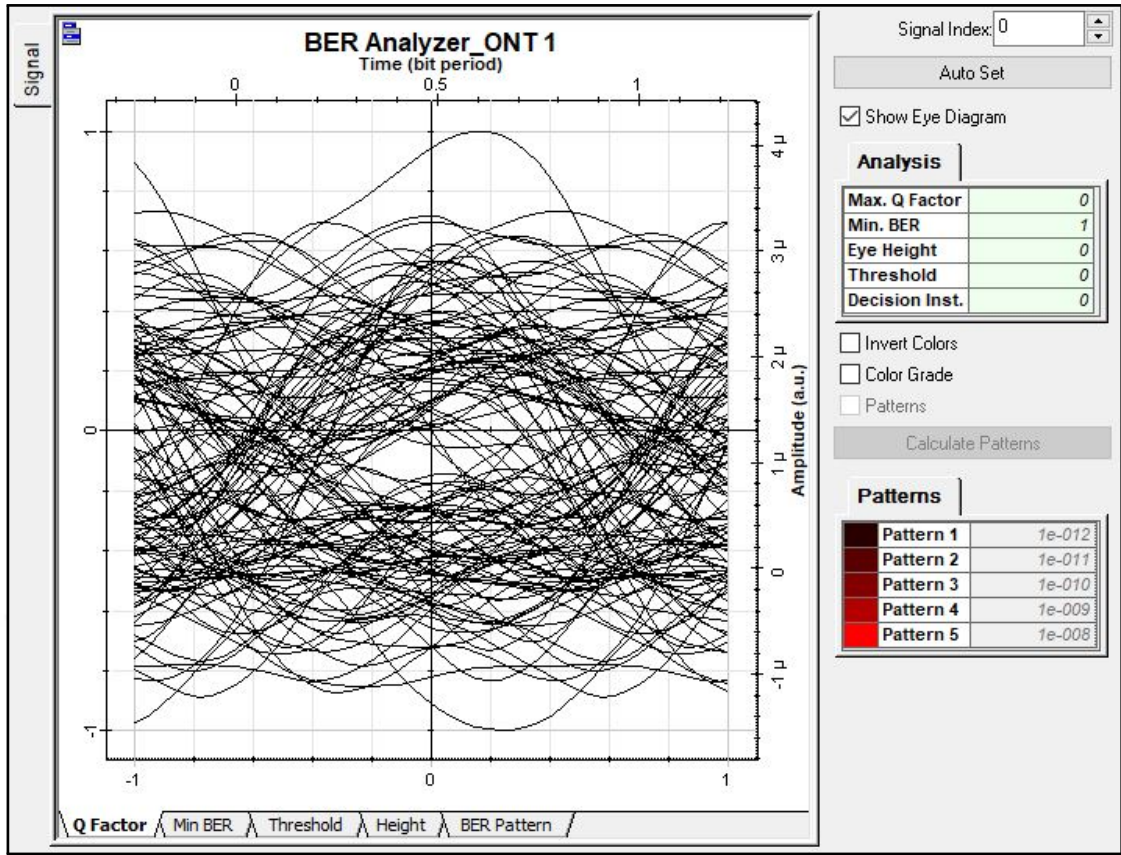
Kuvvetlendirici kullanılmadan tasarlanan referans sistemin ve EDFA optik kuvvetlendirici kullanılan sistemin ONT spektrum grafikleri sırasıyla Şekil 3.73 ve Şekil 3.74'te verilmiştir. Referans sistemdeki ONT sinyal gücü, -30.91 dBm iken sisteme EDFA optik kuvvetlendirici eklendikten sonra -12.82 dBm olmuştur. Sinyal gücü, yaklaşık olarak 18 dBm artmıştır. Şekil 3.75 ve Şekil 3.76'da ise her iki sistem için ONT BER diyagramları gösterilmiştir. Kuvvetlendirici kullanılmadan önce sistemin göz diyagramının karışık olduğu, maksimum kalite faktörünün sıfır olduğu görülmektedir. EDFA optik kuvvetlendirici kullanılan sistemin ONT BER diyagramı incelendiğinde ise göz diyagramının açık ve net olduğu, maksimum kalite faktörünün 69,63 olduğu görülmüştür.



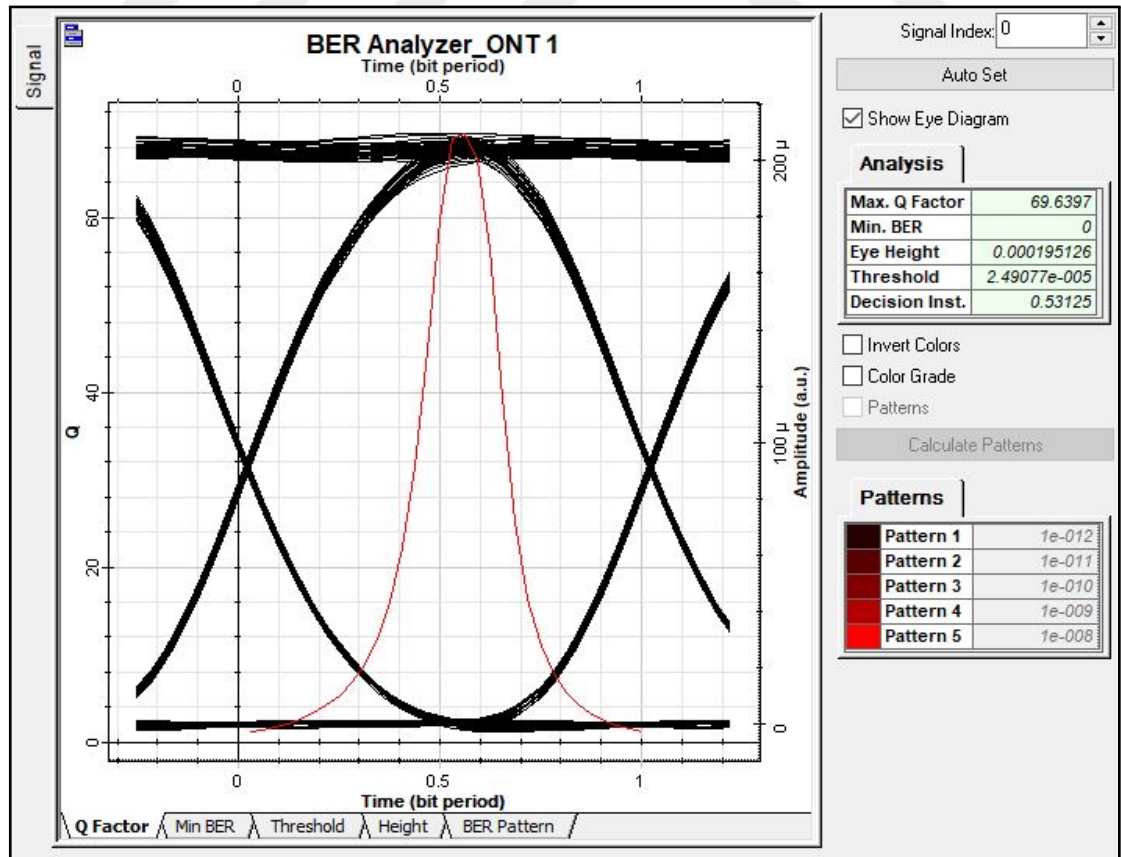
Şekil 3.73 WDM FTTH referans sistemdeki ONT spektrum grafiği



Şekil 3.74 EDFA optik kuvvetlendirici kullanılarak elde edilen ONT spektrum grafiği

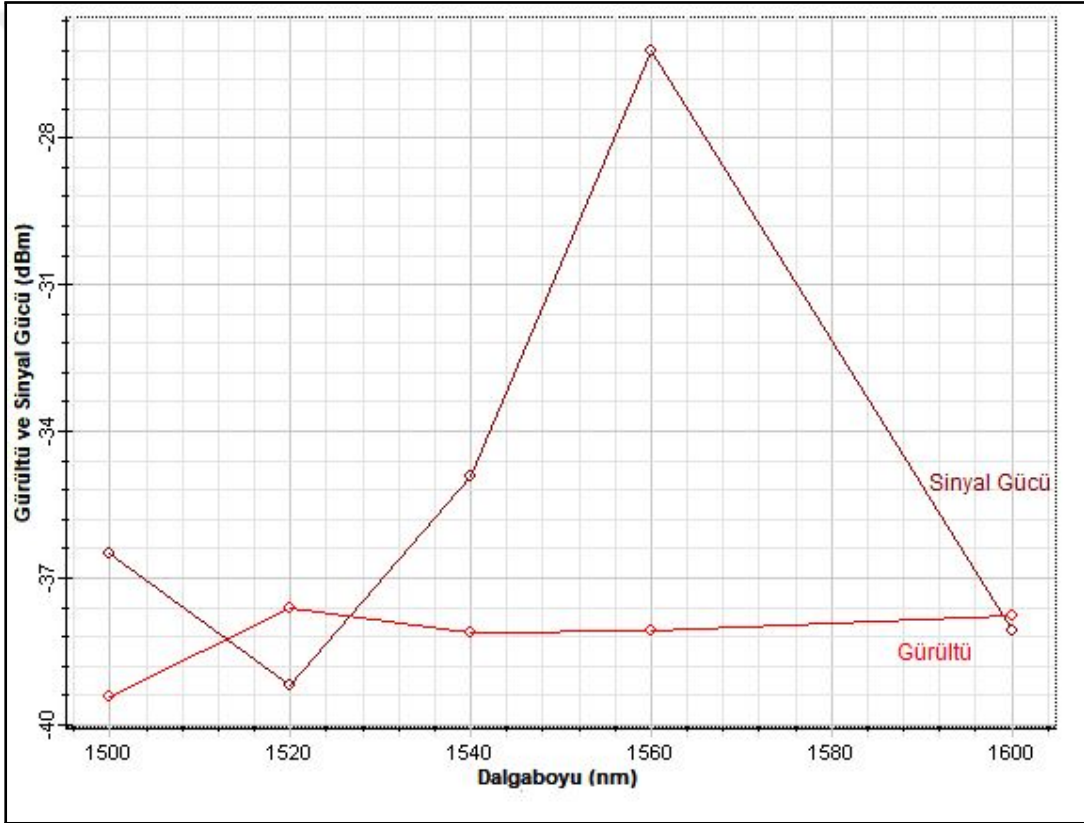


Şekil 3.75 WDM FTTH referans sistemdeki ONT BER diyagramı



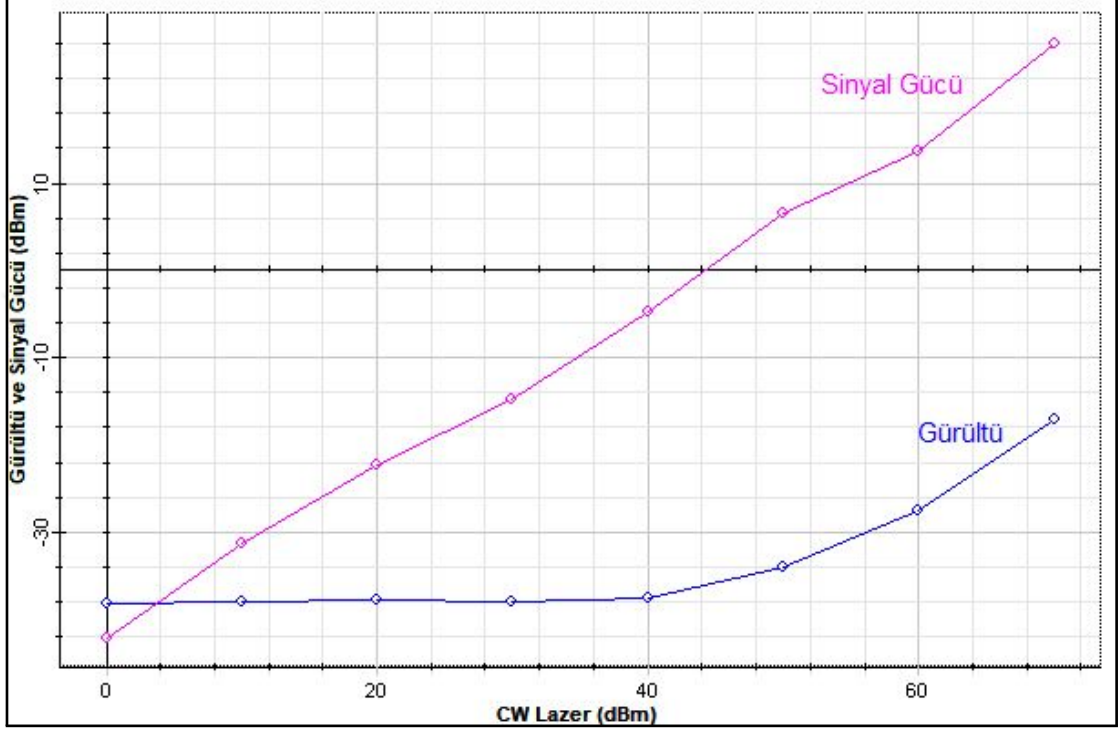
Şekil 3.76 EDFA optik kuvvetlendirici kullanılarak elde edilen ONT BER diyagramı

EDFA optik kuvvetlendirici kullanılan sistemde, tüm parametreler sabit tutulmuş ve kaynak olarak kullanılan sürekli dalga lazerin dalgaboyu, 1500 nm ile 1600 nm arasında değiştirilerek dalgaboyundaki değişimin, sisteme etkisi incelenmiştir. Lazerin gücü, 40 dBm olarak belirlenmiştir. Şekil 3.72’de gösterilen EDFA optik kuvvetlendirici çıkışına bağlanan WDM analizörü yardımıyla gürültü ve sinyal gücü değerleri okunmuştur. Şekil 3.77’de gösterildiği gibi, dalgaboyuna bağlı gürültü sinyal gücü değişimi raporlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, 1500-1520 nm aralığında, sinyal gücünün azaldığı gürültü gücünün arttığı ve 1520 nm’de, gürültü gücünün sinyal gücünden büyük olduğu görülmüştür. 1500-1560 nm aralığında sinyal gücü giderek artmış ve 1560 nm’de en yüksek çıkış gücü elde edilmiştir. 1560-1600 nm aralığında ise sinyal gücünün giderek azaldığı ve 1600 nm’de gürültü gücünün altına düştüğü görülmüştür.



Şekil 3.77 Gürültü ve sinyal gücünün dalgaboyuna bağlı değişim grafiği

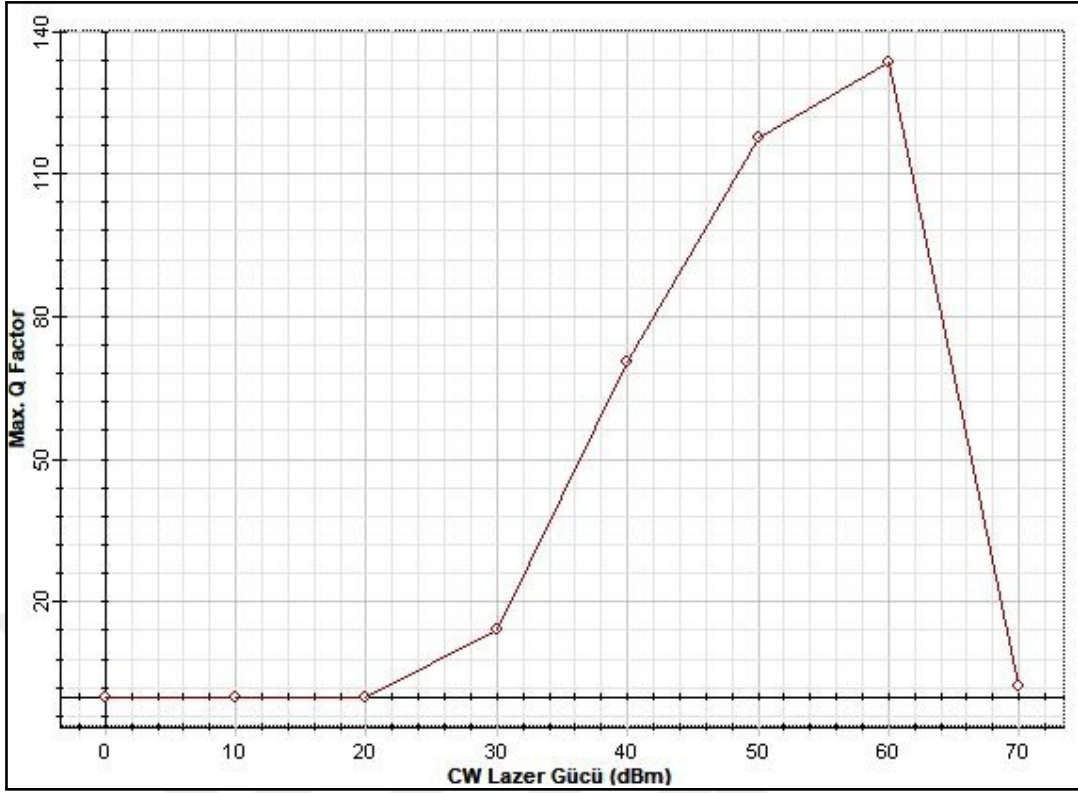
Bu adımda, tüm parametreler sabit tutulmuş ve CW lazerin gücüne 0 dBm ile 70 dBm aralığında 10 dBm arttırılarak 8 farklı değer verilmiştir. Erbiyum katkılı optik kuvvetlendiricinin çıkışından alınan ölçüm sonucu Şekil 3.78'de verilmiştir. Lazer gücü, 0-40 dBm aralığında iken gürültü, -38 dBm seviyelerindedir. 40-70 dBm aralığında gürültünün giderek arttığı görülmektedir. Sinyal gücü ise 0-70 dBm aralığında sürekli artmıştır.



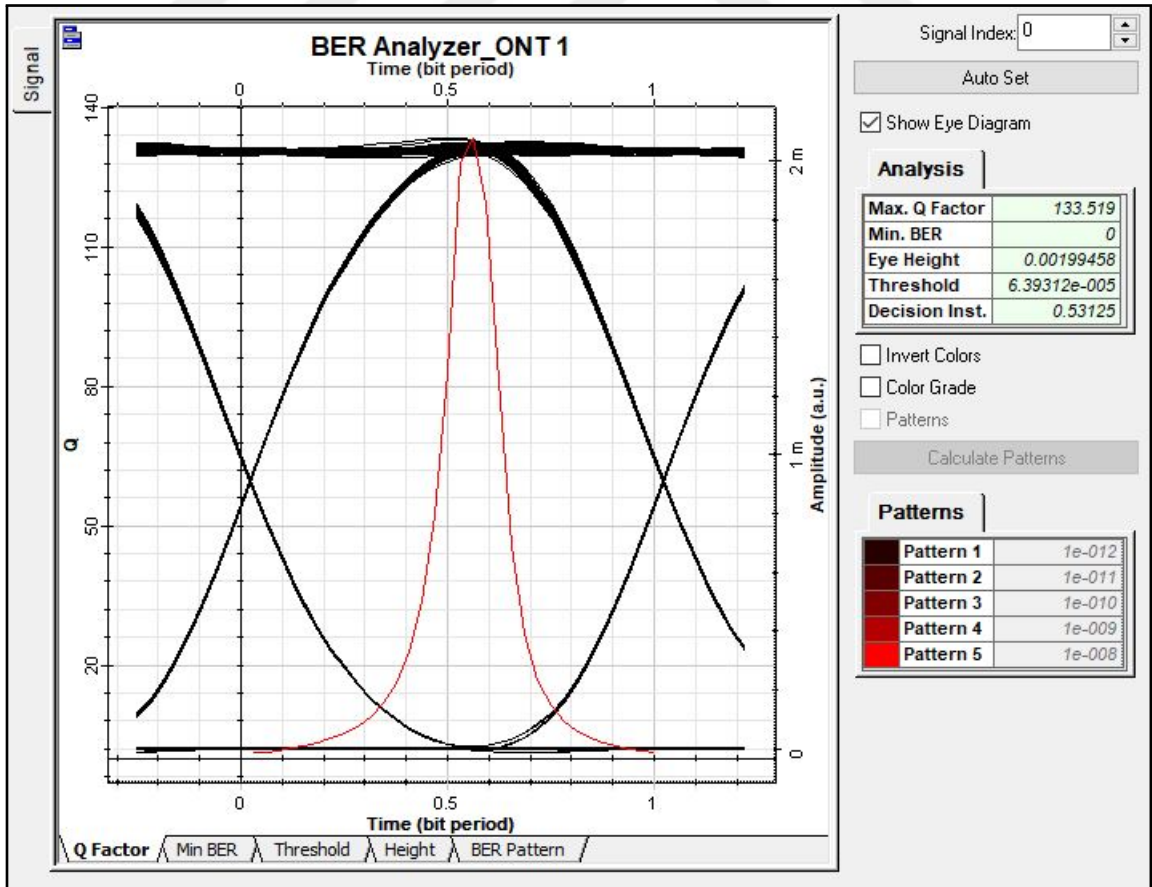
Şekil 3.78 Gürültü ve sinyal gücünün CW Lazer gücüne bağlı değişim grafiği

Lazer gücünün 0-70 dBm aralığındaki değişiminin, ONT çıkışında ölçülen maksimum kalite faktörüne etkisi incelenmiş ve inceleme sonucu Şekil 3.79'da verilmiştir. Lazer gücü, 0-20 dBm arasında ya da 70 dBm'den fazla olduğu durumlarda maksimum kalite faktörünün sıfır olduğu görülmüştür. Maksimum kalite faktörü, 20-60 dBm aralığında artmış ve 60 dBm'de en iyi sonuç elde edilmiştir. Burada, kalite faktörünün yaklaşık olarak 135 olduğu izlenmiştir.

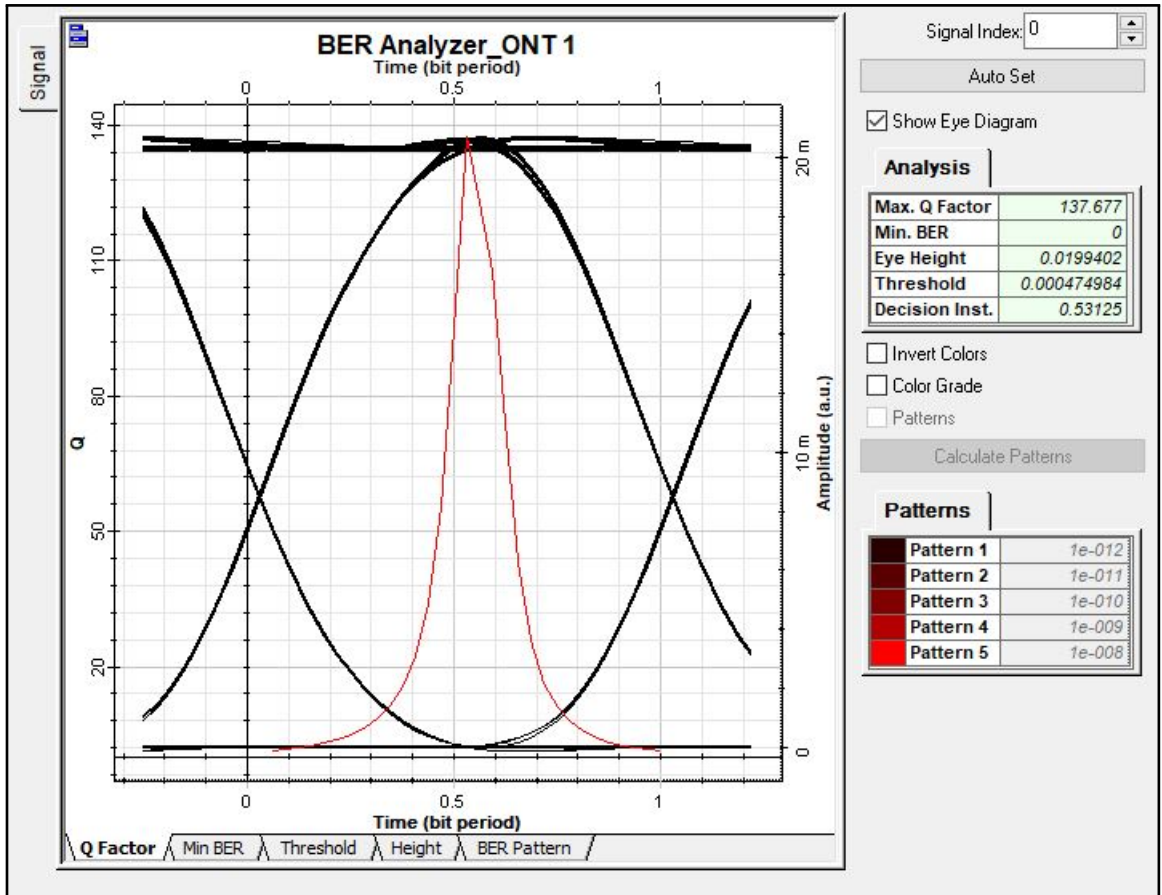
Şekil 3.78 ve 3.79'da elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, sürekli dalga lazer gücü, 50-60 dBm aralığında bir değer aldığı anda alıcı kısmında daha iyi sonuç elde edilmiştir. Lazer gücü, sırasıyla 50 dBm ve 60 dBm olarak belirlendiğinde, ONT çıkışından alınan BER diyagramı sonuçları, Şekil 3.80 ve Şekil 3.81'de verilmiştir. ONT çıkışında elde edilen maksimum kalite faktörünün sırasıyla 133,519 ve 137,677 olduğu gözlenmiştir.



Şekil 3.79 ONT maksimum Q faktörünün CW lazer gücüne bağlı değişimi



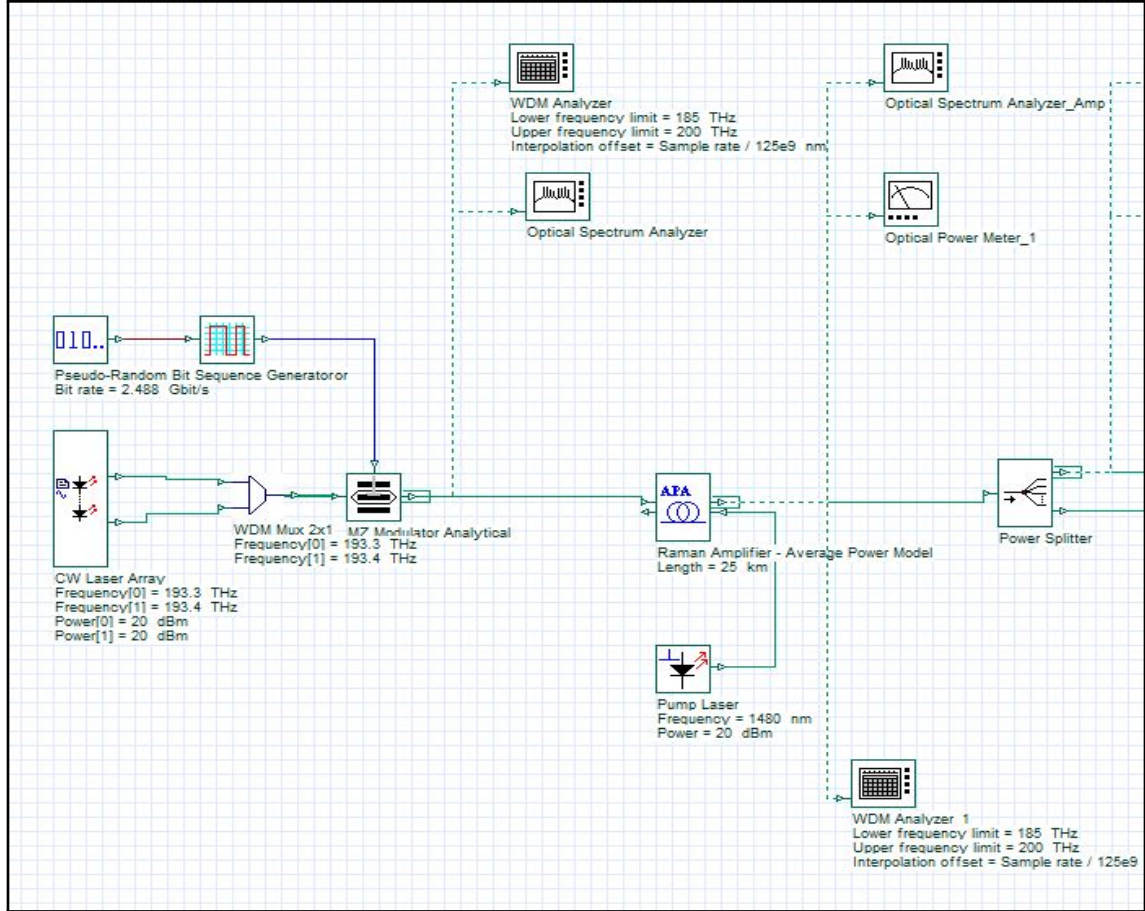
Şekil 3.80 Lazer gücünün 50 dBm olması durumunda ONT BER diyagramı



Şekil 3.81 Lazer gücünün 60 dBm olması durumunda ONT BER diyagramı

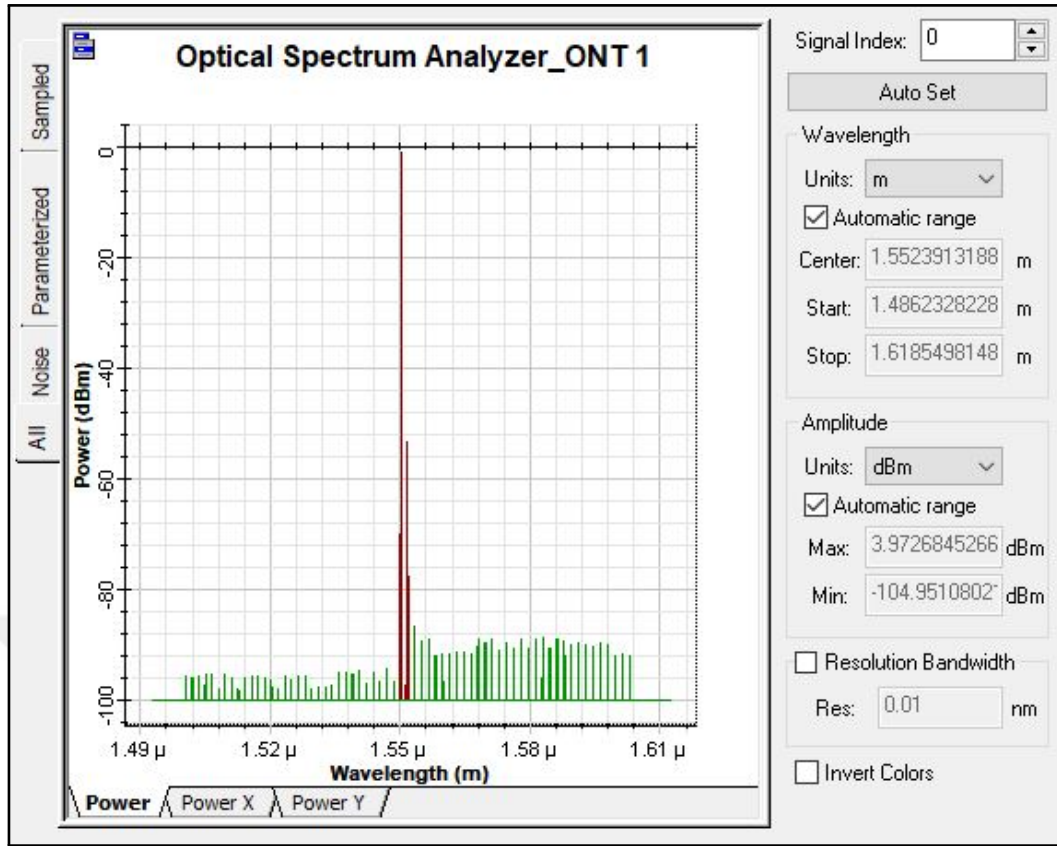
3.6.2 Raman Optik Kuvvetlendiricinin WDM FTTH Sistemine Etkileri

Bu bölümde, Şekil 3.71'deki sisteme Raman optik kuvvetlendirici eklenerek sisteme etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Verici bloğunda optik kaynak olarak 20 dBm gücü olan CW lazer kullanılmıştır. Şekil 3.71'deki referans sistemde, Raman optik kuvvetlendiricinin eklendiği kısım, Şekil 3.82'de verilmiştir.

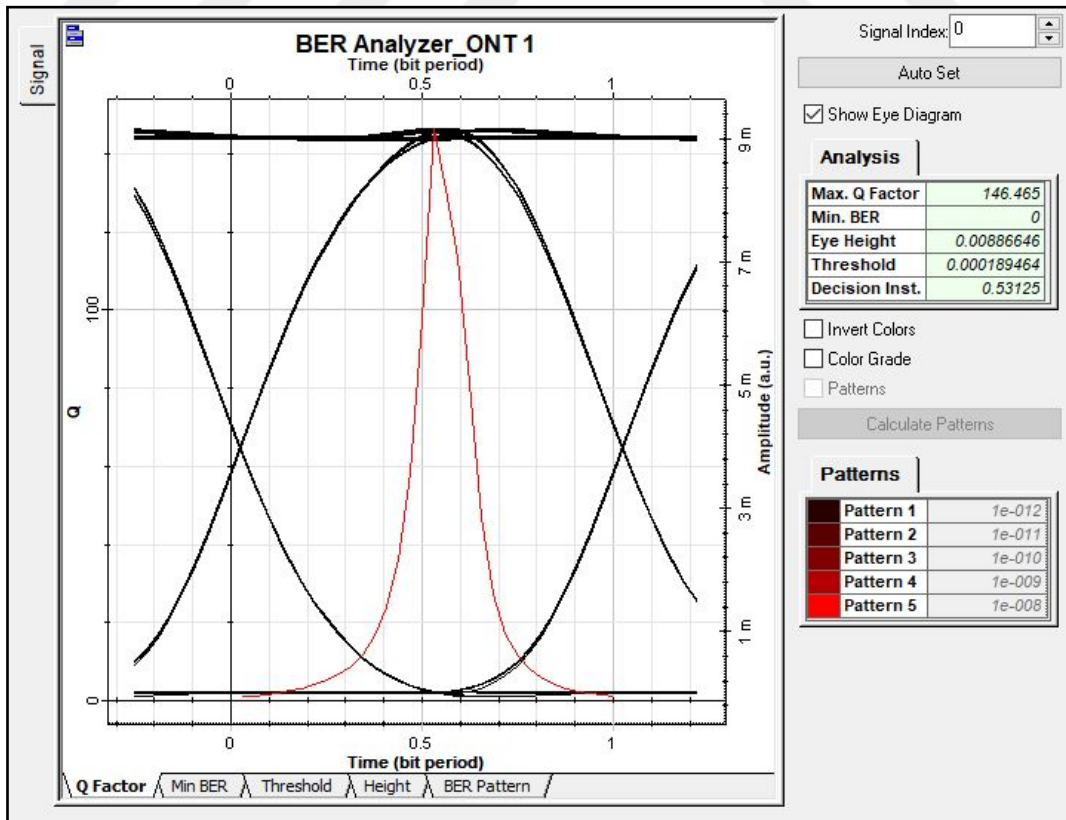


Şekil 3.82 Raman optik kuvvetlendiricinin kullanıldığı WDM FTTH sistemi

Raman optik kuvvetlendirici kullanılan sistemin ONT spektrum grafiği ve BER diyagramı, sırasıyla Şekil 3.83 ve Şekil 3.84'te verilmiştir. Referans sistemdeki ONT sinyal gücü, -30.91 dBm iken sisteme Raman optik kuvvetlendirici eklendikten sonra 3.97 dBm olmuştur. Sinyal gücü, yaklaşık olarak 33 dBm artmıştır. ONT BER diyagramı incelendiğinde ise göz diyagramının açık ve net olduğu, maksimum kalite faktörünün 146.465 olduğu görülmüştür. Tüm parametreler sabit tutulmuş ve CW lazerin gücü, 0 dBm ile 70 dBm aralığında 10 dBm arttırılarak 8 farklı değer verilmiştir. Raman optik kuvvetlendiricinin çıkışından alınan ölçüm sonucu Şekil 3.85'te verilmiştir. Lazer gücü, 0-30 dBm aralığında iken gürültü ve sinyal gücü sürekli artmıştır ve lazer gücü 30 dBm iken sinyal gücü 26 dBm seviyelerinde ölçülmüştür. Lazer gücü 30-40 dBm aralığında iken sinyal gücü giderek azalmış ve lazer gücünün 40 dBm ve üzerindeki değerlerde sinyal gücü, -100 seviyelerine inmiştir ve ölçüm

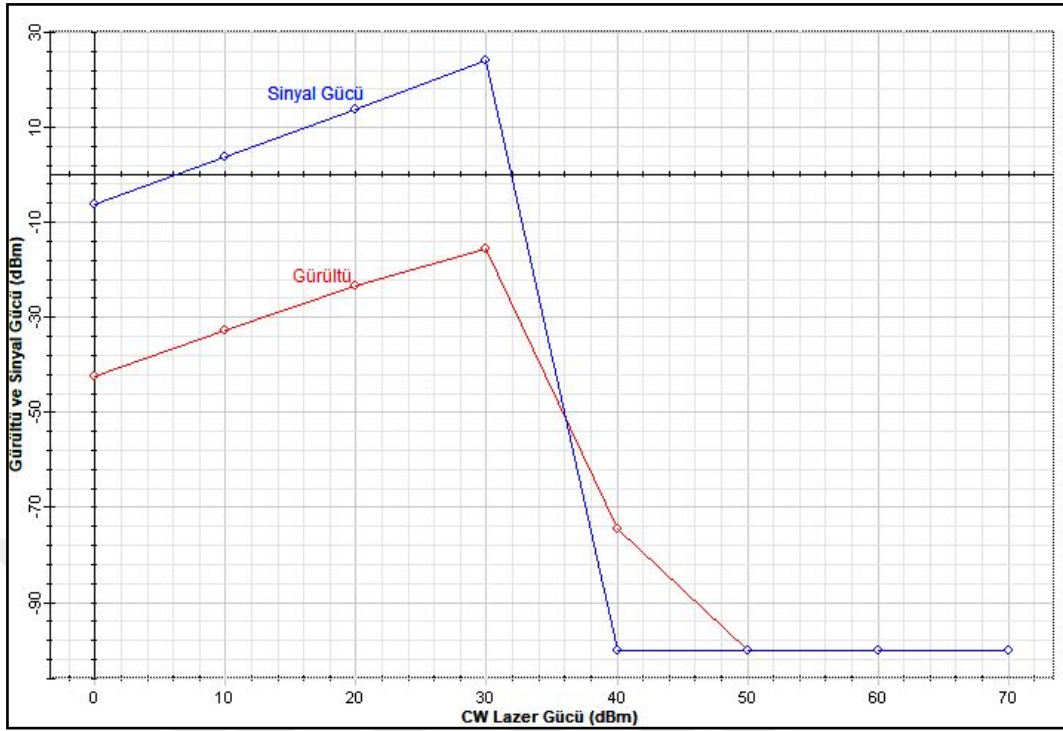


Şekil 3.83 Raman optik kuvvetlendirici kullanılarak elde edilen ONT spektrum grafiği



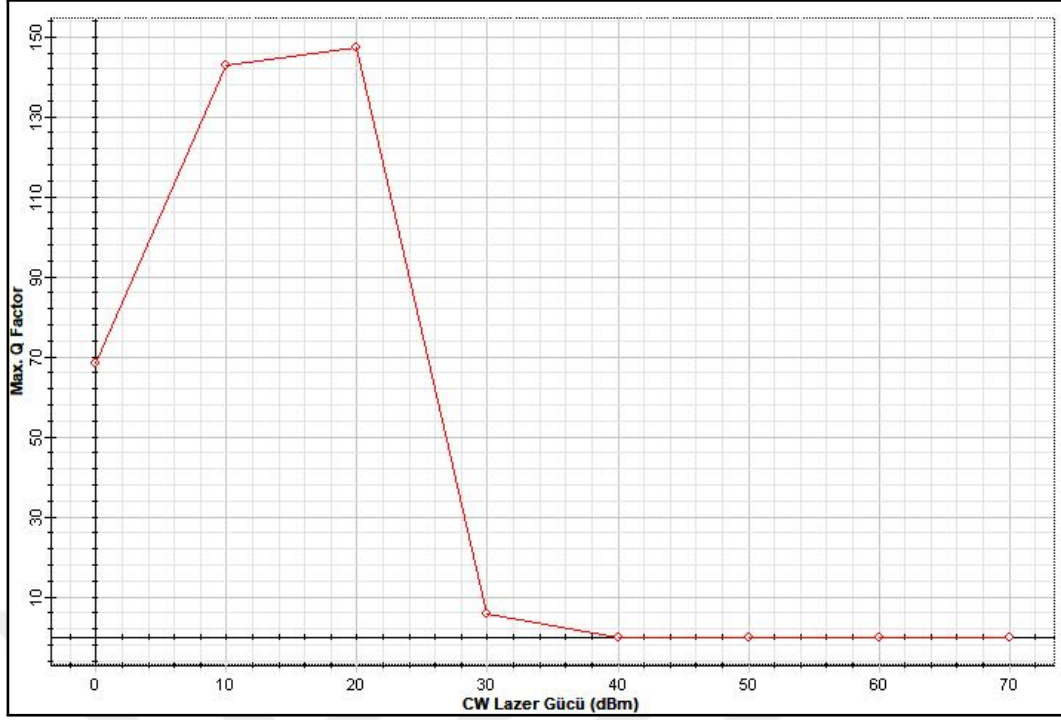
Şekil 3.84 Raman optik kuvvetlendirici kullanılarak elde edilen ONT BER diyagramı

alınamamıştır.



Şekil 3.85 Gürültü ve sinyal gücünün dalgaboyuna bağlı değişim grafiği

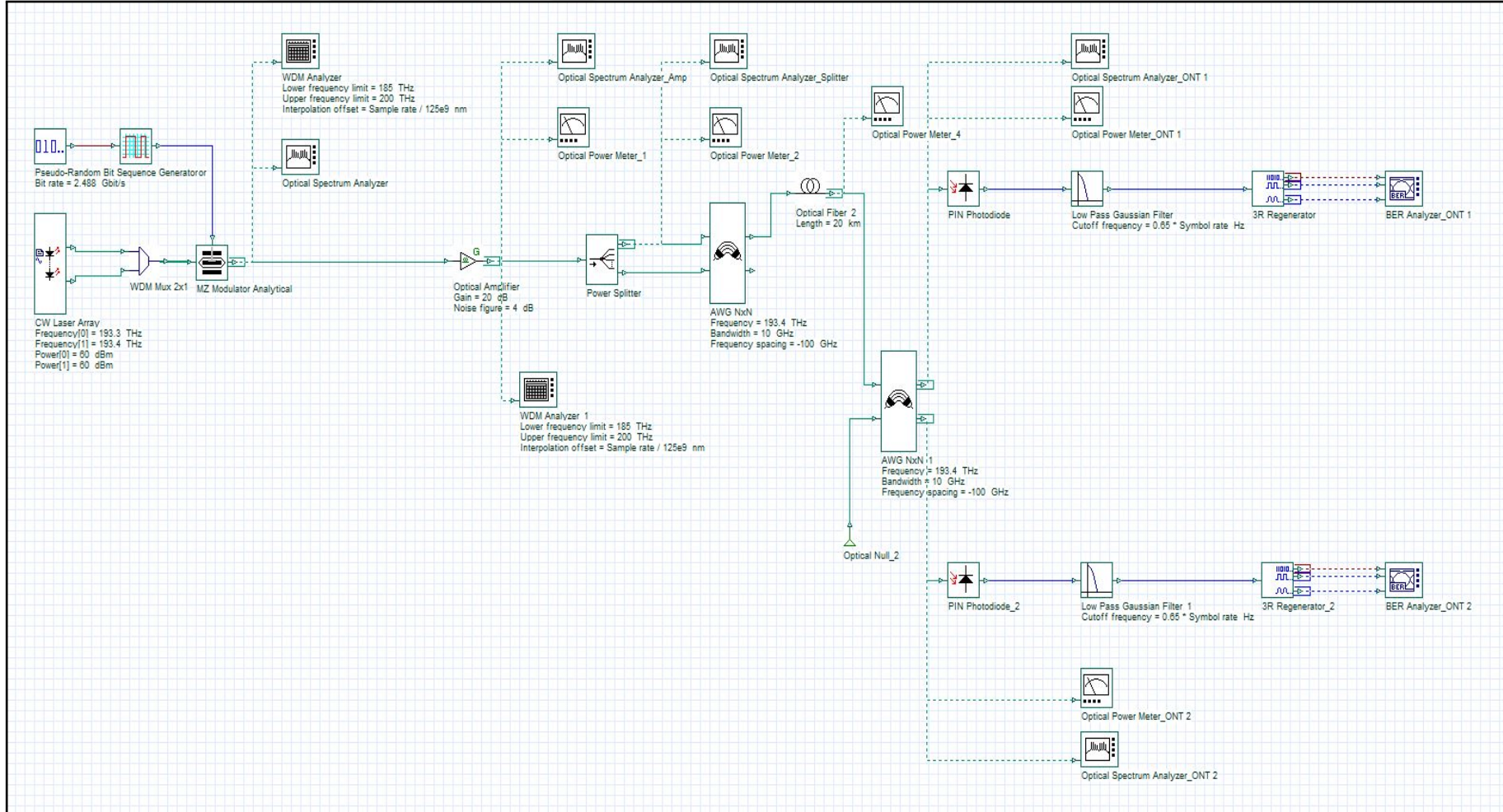
Raman optik kuvvetlendirici kullanılan tasarımda, lazer gücünün 0-70 dBm aralığındaki değişiminin, ONT çıkışında ölçülen maksimum kalite faktörüne etkisi incelenmiş ve inceleme sonucu Şekil 3.86'da verilmiştir. Lazer gücü, 10-20 dBm arasında iken maksimum kalite faktörü, 140-150 aralığında ve en yüksek değer olarak gözlenmiştir. 20-30 dBm aralığında ise maksimum kalite faktörünün azaldığı ve 40 dBm'den fazla olduğu durumda sıfır olduğu görülmüştür. CW lazer dalgaboyu, 1550-1560 nm aralığı dışında iken Raman optik kuvvetlendirici kullanılması durumunda alıcı kısmında iyi bir sinyal elde edilememiştir. Raman ve EDFA optik kuvvetlendiricinin sisteme etkisini karşılaştırıldığında, Raman optik kuvvetlendirici kullanılan tasarımda, daha düşük giriş gücü uygulanıp daha yüksek güçlü çıkış sinyali elde edildiği ve kalite faktörünün daha yüksek olduğu görülmektedir. Tasarımda EDFA kullanıldığında ise daha geniş dalgaboyu aralığında sistemden çıkış sinyali elde edilmiştir. İhtiyaca göre Raman ya da EDFA optik kuvvetlendirici kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.



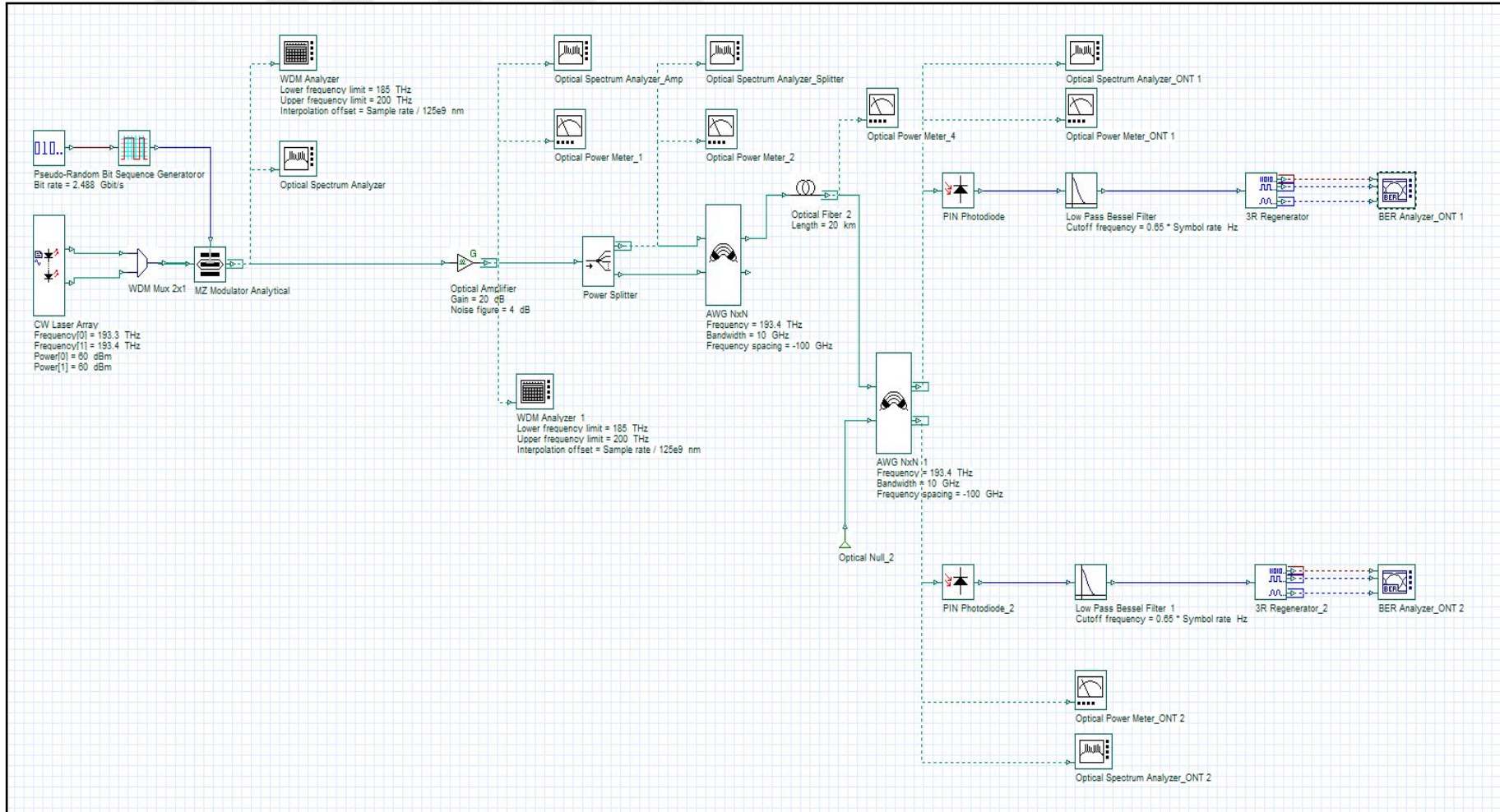
Şekil 3.86 ONT maksimum Q faktörünün CW lazer gücüne bağlı değişimi

3.7 Optik Filtrelerin WDM-PON Sistemine Etkileri

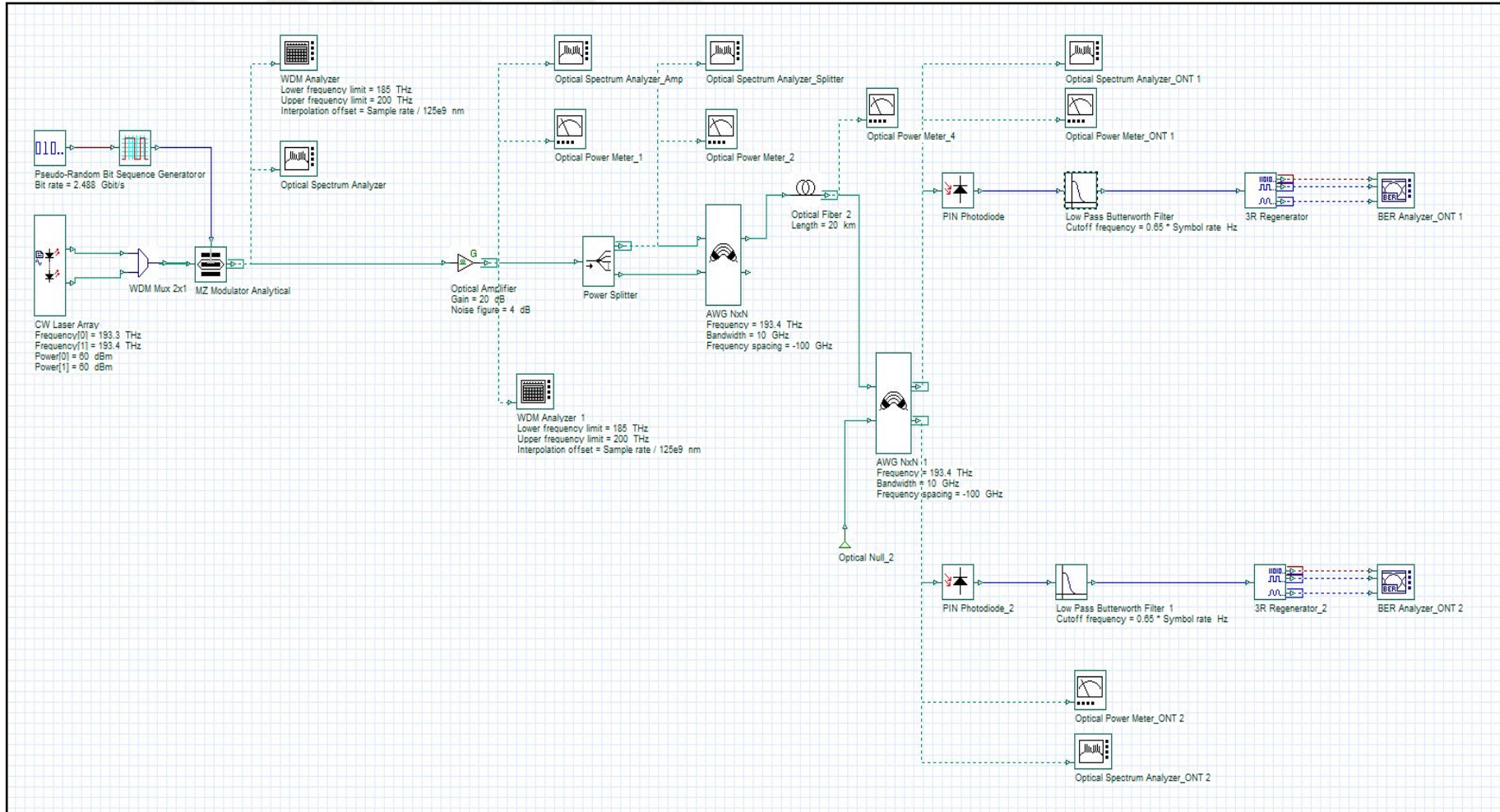
Optik filtreler, belirli bir dalgaboyu ya da frekanstaki sinyalin absorbe edilmesi ya da yansıtılması için kullanılır. Bu bölümde, tasarlanan WDM-PON sistemine alçak geçiren optik filtrelerin etkisi incelenmiştir. Gaussian, Bessel, Butterworth, Chebyshev ve Rectangle optik filtrelerinin kullanıldığı tasarımlar, sırasıyla Şekil 3.87, Şekil 3.88, Şekil 3.89, Şekil 3.90 ve Şekil 3.91’de verilmiştir. Gaussian optik filtre kullanıldığında elde edilen BER diyagramı, Şekil 3.92’de görülmektedir. Maksimum kalite faktörü, 140.55’dir ve göz açıklığı nettir. Şekil 3.93’de, Bessel filtre kullanıldığında elde edilen BER diyagramı verilmiştir. Bu diyagram, Şekil 3.92 ile karşılaştırıldığında göz diyagramında küçük bir saçılma olduğu görülmüş ve maksimum kalite faktörü 135.68 olarak izlenmiştir. Chebyshev optik filtre kullanıldığında ise maksimum kalite faktörü 195.25 olarak görülmüş ve BER diyagramı, Şekil 3.95’de yer verilmiştir. Butterworth ve Rectangle optik filtre kullanıldığında elde edilen BER diyagramları, sırasıyla Şekil 3.94 ve Şekil 3.96’da gösterilmiştir. Kalite faktörü, sırasıyla 37.9 ve 8.16 olarak ölçülmüş ve göz açıklığının net olmadığı görülmüştür. Chebyshev optik filtre kullanılması durumunda maksimum kalite faktörünün, elde edilen diğer sonuçlardan iyi olduğu gözlenmiştir, ancak göz açıklığı net olmayıp dalgalı bir sinyal elde edilmiştir. Gaussian ve Bessel optik filtre kullanıldığında elde edilen sinyallerin göz açıklığının daha net olduğu görülmüştür.



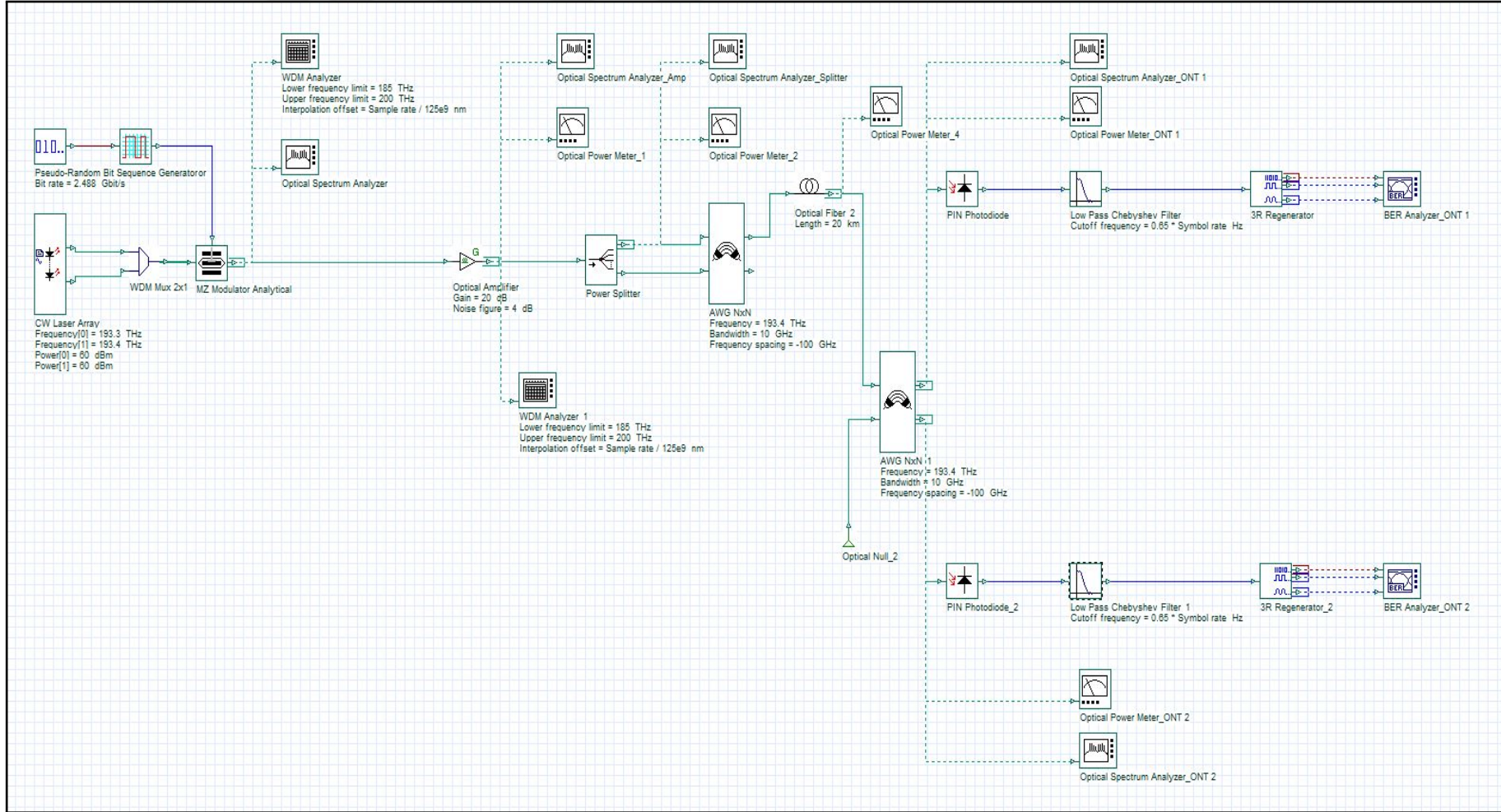
Şekil 3.87 Gaussian optik filtre ile tasarlanan WDM-PON FTTH sistemi



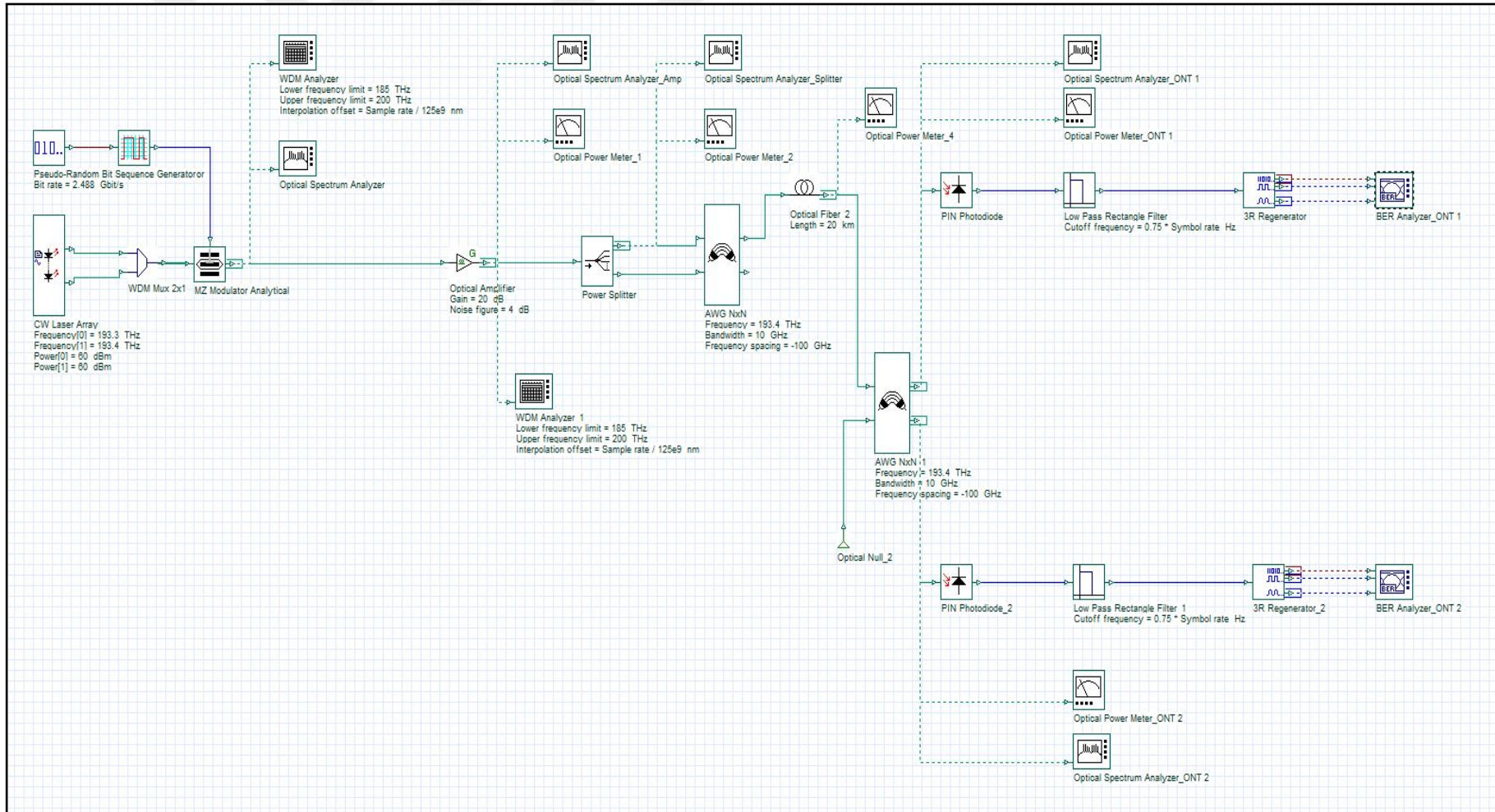
Şekil 3.88 Bessel optik filtre ile tasarlanan WDM-PON FTTH sistemi



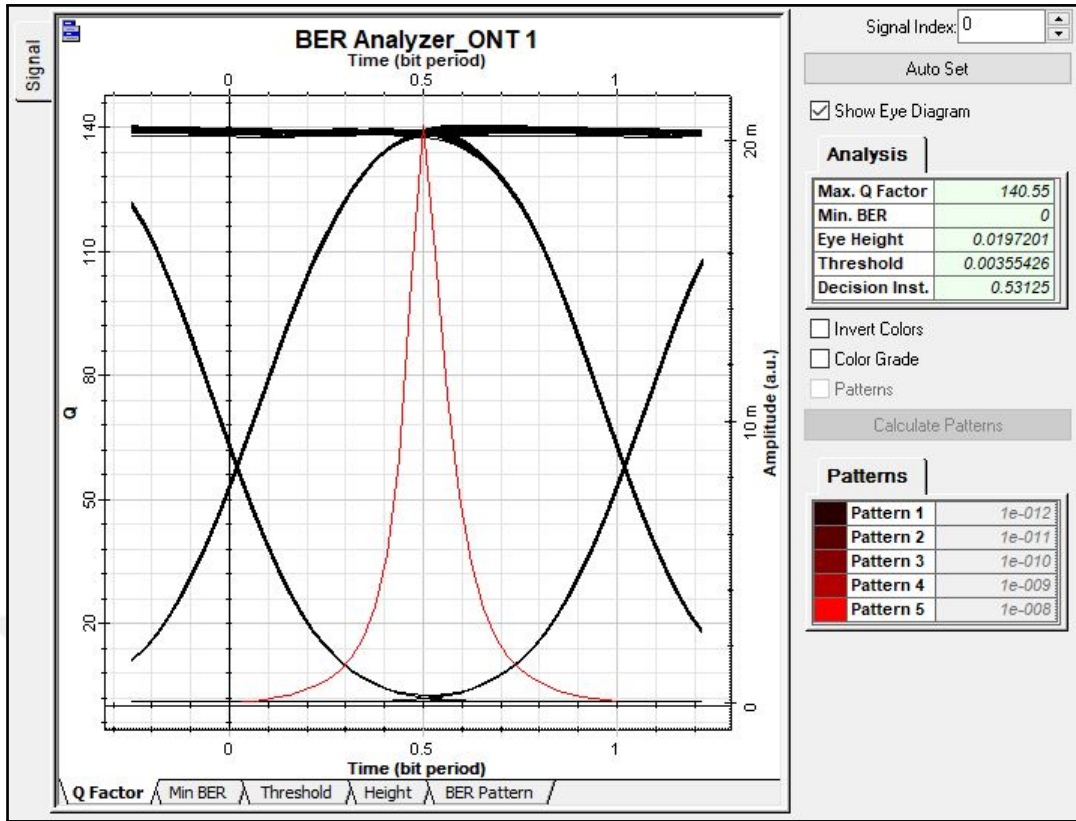
Şekil 3.89 Butterworth optik filtre ile tasarlanan WDM-PON FTTH sistemi



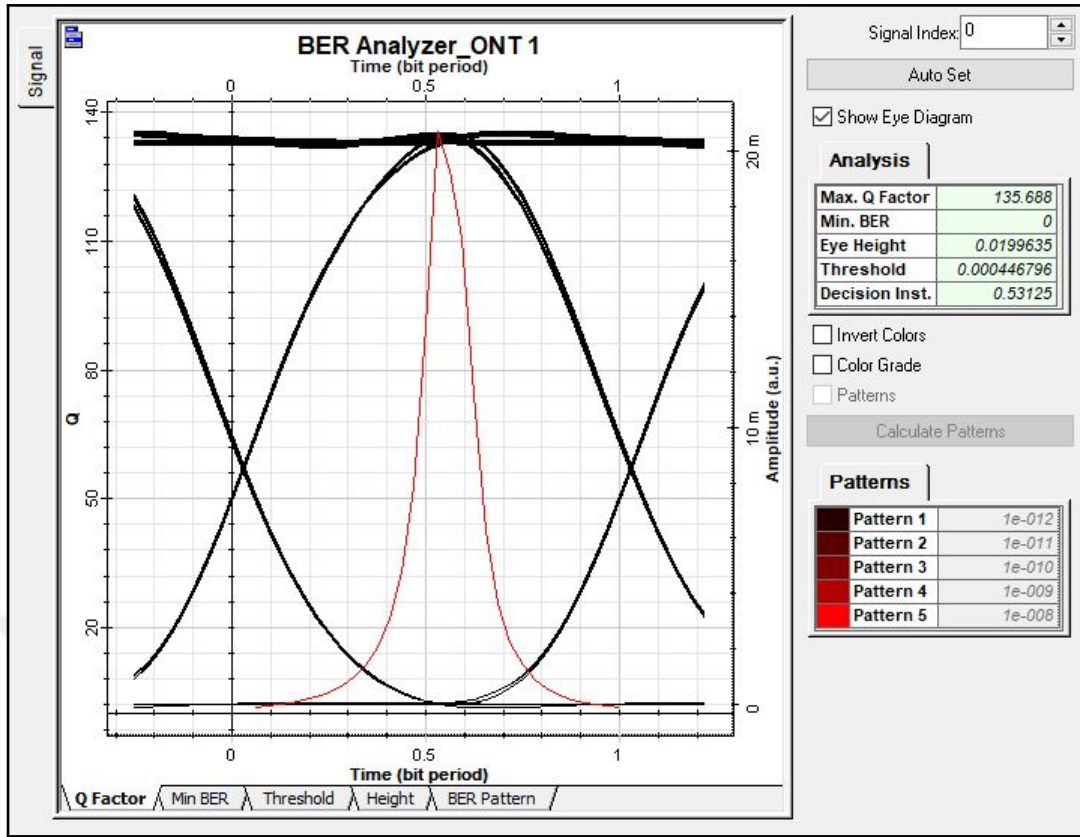
Şekil 3.90 Chebyshev optik filtre ile tasarlanan WDM-PON FTTH sistemi



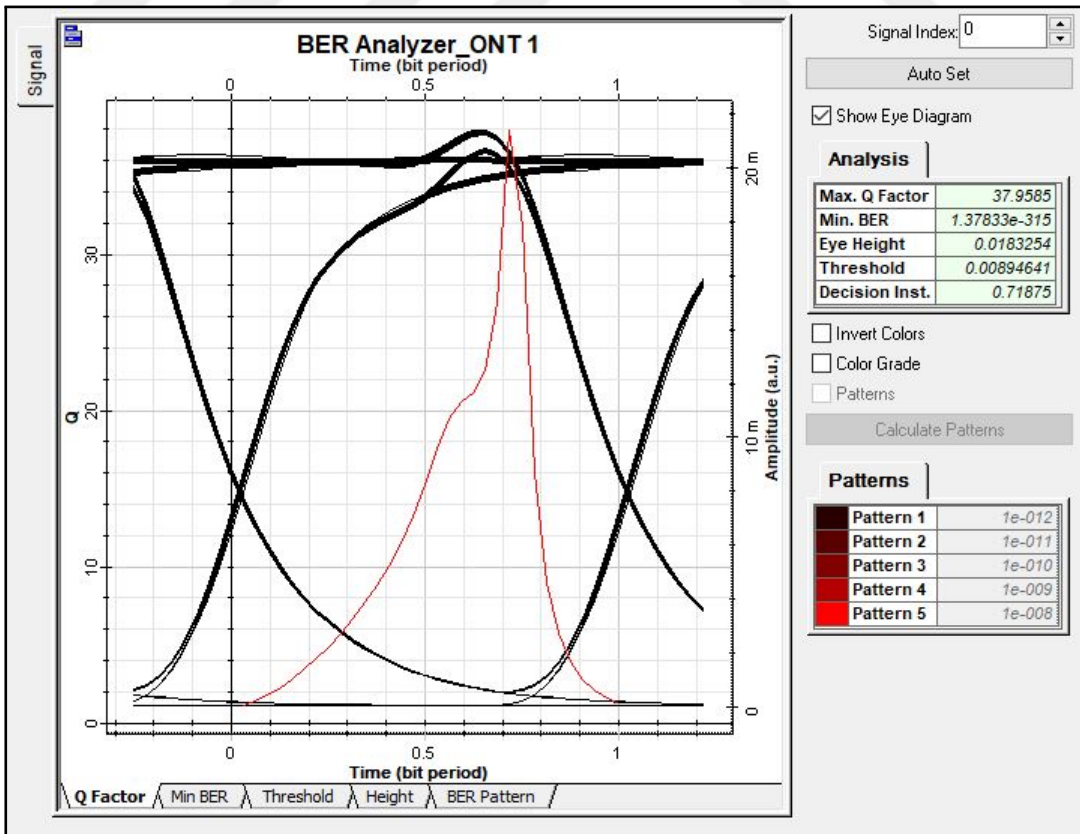
Şekil 3.91 Rectangle optik filtre ile tasarlanan WDM-PON FTTH sistemi



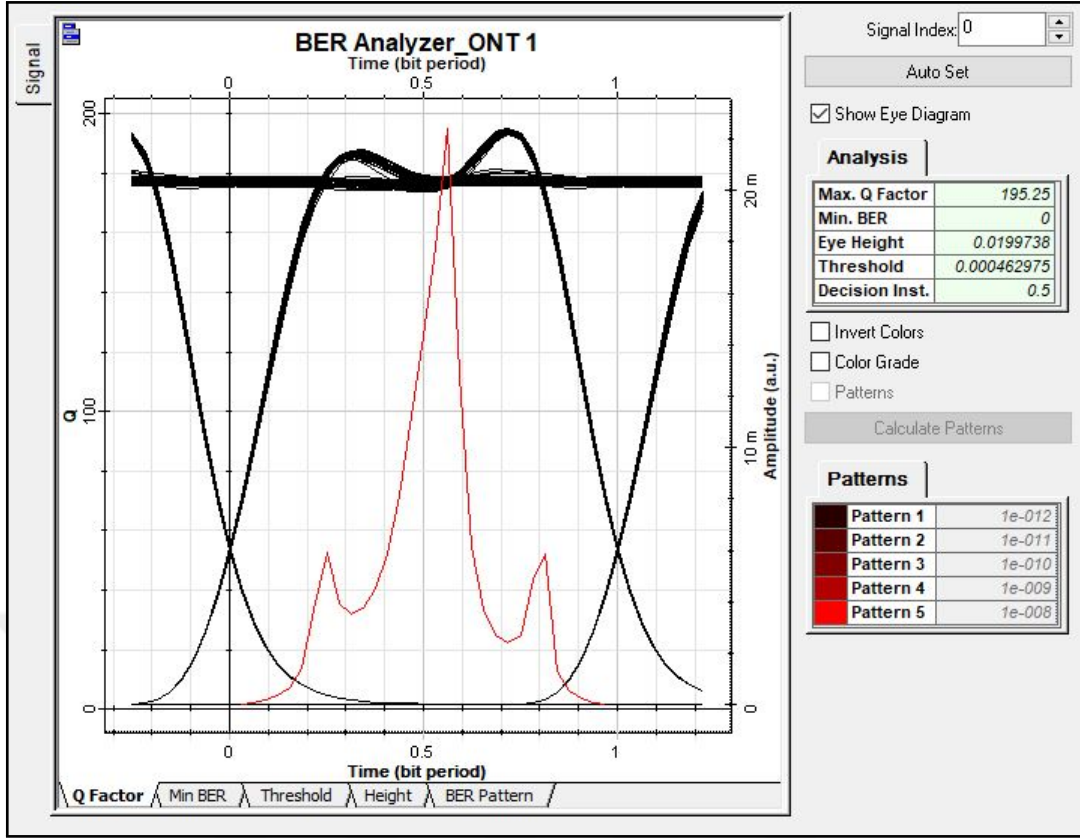
Şekil 3.92 Gaussian optik filtre kullanılan tasarımda ONT BER diyagramı



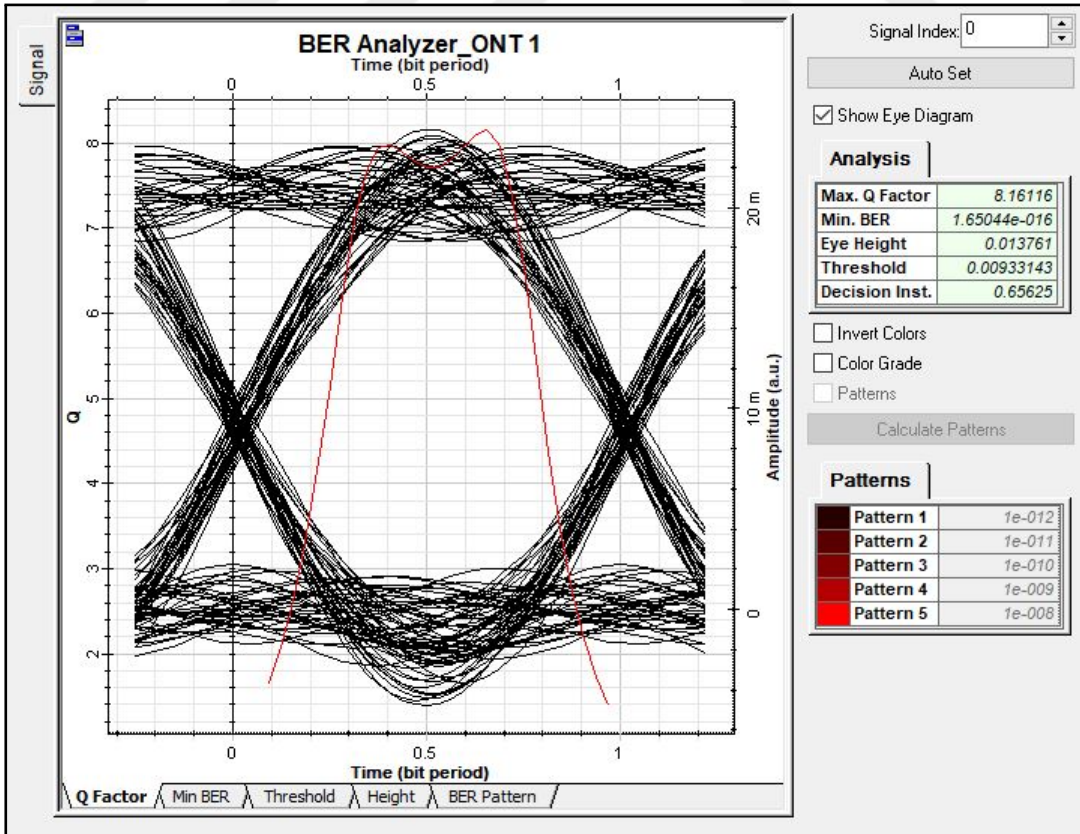
Şekil 3.93 Bessel optik filtre kullanılan tasarımda ONT BER diyagramı



Şekil 3.94 Butterworth optik filtre kullanılan tasarımda ONT BER diyagramı



Şekil 3.95 Chebyshev optik filtre kullanılan tasarımda ONT BER diyagramı



Şekil 3.96 Rectangle optik filtre kullanılan tasarımda ONT BER diyagramı

4

SONUÇ VE ÖNERİLER

İletişim teknolojilerindeki her geçen gün artan ihtiyacın karşılanmasında optik haberleşme sistemleri kilit konumda yer almaktadır. Sağladığı avantajlar nedeniyle tercih edilen optik haberleşme sistemlerinde FTTX mekanizmasından yararlanır. İletişimde, aktif optik ağlar ve pasif optik ağlar amaca göre belirlenerek kullanılır. Günümüzde, iletişim teknolojileri içinde GPON yapısı önemli bir yere sahiptir. Pasif optik ağ teknolojisinin incelendiği bu çalışmada, veri iletimi, daireye ve binaya kadar fiber üzerinden gerçekleştirilmiştir.

1. Bölüm’de, tez konusu hakkında literatürde yer alan çalışmalara yer verilmiş ve tezin amaç ve hipotezi açıklanmıştır.

2. Bölüm’de, pasif optik ağların karakteristik özellikleri ve FTTX tekniği ile birlikte kullanımı değerlendirilmiştir.

3. Bölüm’de, Gigabit pasif optik ağ yapıları analiz edilmiştir. Pasif optik ağ tasarımlarında OptiSystem 16.0 ve OptiSystem 17.0 simülasyon programı kullanılmıştır. GPON FTTH ve GPON FTTB tasarımlarının verici kısmında 1490 nm dalgaboyunda ve 20 dB gücünde CW lazer, NRZ darbe üretici ve MZ modülatör kullanılmıştır. GPON FTTH sisteminde, merkezi ekipman olan OLT cihazından çıkan iletim hattı, optik güç bölücü kullanılarak iki farklı alıcı bloğunda sonlandırılmıştır.

3.2 Bölümü’nde, optik iletişim hattının uzunluğu değiştirilerek mesafenin, sistem performansına etkileri incelenmiştir. 3 km, 10 km ve 20 km uzunluğundaki optik fiberler için inceleme yapılmış ve mesafenin artmasıyla BER diyagramında da saçılmaların oluşup arttığı gözlenmiştir. GPON FTTB tasarımında ise fiber optik iletişim hattı, saha dolabındaki optik güç bölücü ile bölünerek farklı mesafelerdeki dört farklı binada bulunan ONT cihazlarında sonlandırılmıştır. Saha dolabındaki optik güç bölücü ile arasındaki mesafe, sırasıyla 3 km, 5 km, 10 km ve 20 km olan dört binaya veri iletimi gerçekleştirildiğinde, bina mesafesi arttıkça BER diyagramında saçılmaların oluştuğu ve kalite faktörünün azaldığı görülmüştür.

3.3 Bölümü'nde, tasarlanan GPON FTTH ve GPON FTTB sistemlerinde, diğer parametreler sabit tutulmuş ve farklı bit iletim hızlarında veri iletimi gerçekleştirilerek bit iletim hızının sistemlere etkisi incelenmiştir. 622 Mbps, 1244 Mbps ve 2488 Mbps bit iletim hızlarında veri iletimi gerçekleştirildiğinde, iletim hızı arttıkça kalite faktörünün azaldığı gözlenmiştir.

3.4 Bölümü'nde, GPON FTTH ve GPON FTTB sistemlerinde, verici bloğunda kullanılan, CW lazerin dalgaboyu sırasıyla 850 nm, 1200 nm, 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm, 1700 nm ve 1800 nm olarak belirlenmiş ve dalgaboyunun, sistemlerin alıcı kısmında elde edilen sinyale etkisi incelenmek istenmiştir. GPON FTTH tasarımında, 1310 nm ve 1550 nm dalgaboylarında OLT, fiber optik çıkış gücünün ve ONT giriş gücünün daha yüksek olduğu izlenmiştir. ONT BER diyagramları incelendiğinde kalite faktörünün 1550 nm dalgaboyunda daha yüksek olduğu görülmüştür. GPON FTTB sisteminde ise, en yüksek OLT çıkış gücü, 850 nm dalgaboyunda ve 16.86 seviyesinde iken ikinci en yüksek OLT çıkış gücü, 1550 nm ve 1800 nm dalgaboylarında ve 16.745 olarak gözlemlenmiştir. OLT çıkış gücü en yüksek değerde olan 850 nm dalgaboyu için fiber optik çıkış gücünün en düşük değerde olduğu görülmüştür. 850 nm dalgaboyunda, 10 km uzunluğundaki optik fiber boyunca yaklaşık olarak 4.7 dB zayıflama meydana gelmiştir. OLT çıkış gücü ikinci en yüksek ölçülen 1800 nm dalgaboyunda ise fiber optik çıkış gücünün 12.75 olduğu görülmüştür. Optik kuvvetlendirici çıkış güçleri karşılaştırıldığında, ilgili dalgaboylarının kuvvetlendirici kazancına etkisinin olmadığı, tüm dalgaboylarında sinyal gücünün 10 dB arttığı gözlenmiştir. Kuvvetlendirici çıkışında elde edilen en yüksek güç değerinin 1550 nm dalgaboyunda, 24.75 dB olduğu izlenmiştir. Maksimum kalite faktörünün dalgaboyuna bağlı değişimi her bir bina için incelendiğinde, farklı dalgaboyunda maksimum kalite faktörü gözlenmiştir. 3 km mesafede bulunan Bina1 için elde edilen en yüksek kalite faktörü 1700 nm dalgaboyunda elde ediliyorken, aynı dalgaboyunda 20 km mesafede bulunan Bina4 için en düşük kalite faktörü görülmüştür. Farklı mesafelerde bulunan binalar için, birbirine en yakın kalite faktörü değeri 1550 nm dalgaboyunda elde edilmiştir ve bu dalgaboyunun mesafeden daha az etkilendiği sonucu çıkarılmıştır.

3.5 Bölümü'nde, WDM-PON çalışma prensibi açıklanmış ve OptiSystem 17.0 ile WDM-PON FTTH ve WDM-PON FTTB sistemleri tasarlanmıştır. Farklı dalgaboylarındaki optik sinyallerin, farklı dalgaboylarına ayrılarak bir iletim hattı üzerinden iletilmesi sağlanmıştır. WDM-PON FTTH tasarımında, iletim hattı uzunluğu 20 km'den 60 km'ye artırıldığında göz açıklığında dalgalanmaların olduğu ve maksimum kalite faktörünün 72.77'den 28.24'e düştüğü gözlenmiştir. OLT bloğu çıkışından WDM analizör ile alınan ölçüm sonucunda, CW lazer dizisinden üretilen sinyal, 1550 nm'den uzaklaştıkça SNR ve gürültünün arttığı görülmüştür.

3.6 Bölümü'nde, WDM-PON tasarımında kuvvetlendirici kullanmadan ve kullanıldıktan sonra elde edilen çıkış sinyalleri karşılaştırılmıştır. EDFA ve Raman optik kuvvetlendiricinin WDM-PON FTTH sistemine etkisi incelenmiştir. EDFA kullanılan referans sistemde, 1500 nm ve 1600 nm aralığında veri iletiminin gerçekleştiği ancak 1560 nm'de en yüksek çıkış gücü elde edildiği görülmüştür. Lazer gücü 0-70 dBm aralığında değiştirildiğinde 20 dBm'e kadar maksimum kalite faktörünün sıfır olduğu, lazer gücü 20 dBm'den 60 dBm'e kadar artırıldığında maksimum kalite faktörünün arttığı, 60 dBm'den sonra azalıp 70 dBm'de sıfır olduğu görülmüştür. Raman optik kuvvetlendiricinin kullanıldığı sistemde ise CW lazer dalgaboyu 1550-1560 nm aralığı dışında iken Raman optik kuvvetlendirici kullanılması durumunda alıcı kısmında iyi bir sinyal elde edilememiştir. Lazer gücü 10-30 dBm arasında iken maksimum kalite faktörünün 140-150 aralığında olup en yüksek değer gözlemlenmiştir. 40 dBm'den fazla olduğu durumlarda maksimum kalite faktörünün sıfır olduğu görülmüştür. Raman ve EDFA optik kuvvetlendiricinin sisteme etkisi karşılaştırıldığında, Raman optik kuvvetlendirici kullanılan tasarımda, daha düşük giriş gücü uygulanıp daha yüksek güçlü çıkış sinyali elde edilmiştir ve kalite faktörünün daha yüksek olduğu görülmüştür. Tasarımda EDFA kullanıldığında ise daha geniş dalgaboyu aralığında sistemden çıkış sinyali elde edilebilmiştir. İhtiyaca göre Raman ya da EDFA optik kuvvetlendirici kullanılabileceği sonucu çıkarılmıştır.

3.7 Bölümü'nde, tasarlanan WDM-PON FTTH sistemine Gaussian, Bessel, Butterworth, Chebyshev ve Rectangle alçak geçiren optik filtrelerin etkisi incelenmiştir. Chebyshev optik filtre kullanılması durumunda maksimum kalite faktörünün, elde edilen diğer sonuçlardan iyi olduğu gözlenmiş ancak göz açıklığı net olmayıp dalgalı bir sinyal elde edilmiştir. Gaussian ve Bessel optik filtre kullanıldığında elde edilen sinyallerin göz açıklığının daha net olduğu belirlenmiştir.

-
- [1] L. A. Neto, J. Maes, P. Larsson-Edefors, J. Nakagawa, K. Onohara, S. J. Trowbridge, "Considerations on the use of digital signal processing in future optical access networks," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 38, no. 3, pp. 598–607, 2019.
- [2] M. Kumari, R. Sharma, A. Sheetal, "Passive optical network evolution to next generation passive optical network: A review," in *2018 6th Edition of International Conference on Wireless Networks & Embedded Systems (WECON)*, IEEE, 2018, pp. 102–107.
- [3] A. E. Eltraify, M. O. Musa, A. Al-Quzweeni, J. M. Elmirghani, "Experimental evaluation of passive optical network based data centre architecture," in *2018 20th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, IEEE, 2018, pp. 1–4.
- [4] M. Abdujapparova, S. Sadchikova, D. Normatova, "Impact of different optical cable length values on gpon access network parameters," in *2020 IEEE 14th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*, IEEE, 2020, pp. 1–4.
- [5] J.-i. Kani, J. Terada, T. Hatano, S.-Y. Kim, K. Asaka, T. Yamada, "Future optical access network enabled by modularization and softwarization of access and transmission functions," *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 12, no. 9, pp. D48–D56, 2020.
- [6] N. F. Naim, R. Wahab, S. S. Sarnin, N. Ya'acob, A. Idris, M. S. D. Zan, W. N. W. Muhamad, "Design of time-wavelength division multiplexed passive optical network (twdm-pon) with monitoring system based on fiber bragg grating (fbg)," in *2020 IEEE 5th International Symposium on Telecommunication Technologies (ISTT)*, IEEE, 2020, pp. 1–6.
- [7] J. A. Hernandez, M. Quagliotti, L. Serra, L. Luque, R. L. da Silva, A. Rafel, O. G. de Dios, V. López, A. Eira, R. Casellas, *et al.*, "Comprehensive model for techno-economic studies of next-generation central offices for metro networks," *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 12, no. 12, pp. 414–427, 2020.
- [8] W. Awalia, A. Pantjawati, "Performance simulation of fiber to the home (ftth) devices based on optisystem," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, vol. 384, 2018, p. 012051.
- [9] X. Li, C. Gan, Y. Yan, H. Qiao, "Grid architecture of a metro-access optical network to support discretionary peer-to-peer intracommunication and intercommunication between onus," *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 11, no. 3, pp. 130–139, 2019.

- [10] Ö. Güre, N. Ö. Ünverdi, “Performance analysis and applications of passive optical networks,” *Istanbul University-Journal of Electrical & Electronics Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 1843–1848, 2014.
- [11] R. Kaler, P. Teotia, R. Kaler, “Simulation of ftth at 10 gbit/s for 8 otu by ge-pon architecture,” *Optik*, vol. 122, no. 22, pp. 1985–1989, 2011.
- [12] İ. Uzar, N. Ö. Ünverdi, “Optik haberleşme sistemlerinde kullanılan fttx teknolojisi ve uygulamaları,” in *Elektrik - Elektronik, Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu (ELECO 2014)*, 2014, pp. 597–602.
- [13] G. Pekküçük, N. Ö. Ünverdi, “Optik kuvvetlendiriciler ve uygulamaları,” in *Elektrik - Elektronik, Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu (ELECO 2014)*, 2014.
- [14] A. Singh, L. Tharani, “Design and performance evaluation of bidirectional ss-wdm-pon using ftth architecture,” in *2018 2nd International Conference on Micro-Electronics and Telecommunication Engineering (ICMETE)*, IEEE, 2018, pp. 281–285.
- [15] M. Abrams, P. C. Becker, Y. Fujimoto, V. O’Byrne, D. Piehler, “Fttp deployments in the united states and japan-equipment choices and service provider imperatives,” *Journal of Lightwave Technology*, vol. 23, no. 1, p. 236, 2005.
- [16] V. Bobrovs, J. Porins, S. Spolitis, G. Ivanovs, “Design and implementation of wdm-pon solutions,” *Advances in Optical Communication*, p. 1, 2014.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgileri:

Makale

1. A. Burhan Sert, N. Ö. Ünverdi, "Modeling of Gigabit Passive Optical Networks" Sigma Journal of Engineering Natural Sciences, 2021 (Yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.)

Konferans Bildirisi

1. A. Burhan Sert, N. Ö. Ünverdi, "Pasif Optik Ağların Modellenmesi" 29. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU 2021), 9-11 Haziran 2021, İstanbul.