MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

WDM HATTI ÜZERİNDE FBG SENSÖRÜ TABANLI PERFORMANS UYGULAMALARI

SÜLEYMAN ALTINKAYNAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik-Elektronik
Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN
Dr.Öğr. Üyesi Veysel Gökhan BÖCEKÇİ

İSTANBUL, 2018

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

WDM HATTI ÜZERİNDE FBG SENSÖRÜ TABANLI PERFORMANS UYGULAMALARI

SÜLEYMAN ALTINKAYNAK

(523115002)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik-Elektronik
Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN
Dr.Öğr. Üyesi Veysel Gökhan BÖCEKÇİ

İSTANBUL, 2018

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Süleyman ALTINKAYNAK'ın "**WDM Hattı üzerinde FBG Sensörü Tabanlı Performans Uygulamaları**" başlıklı tez çalışması, 12 Eylül 2018 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Veysel Gökhan BÖCEKÇİ (Danışman)
Marmara Üniversitesi .....

Prof. Dr. Hüseyin Selçuk VAROL (Üye)
Doğuş Üniversitesi .....

Dr. Öğr. Üyesi Aynur AKAR (Üye)
Marmara Üniversitesi .....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 24./09/2018 tarih ve 2018/24-02 sayılı kararı ile Süleyman ALTINKAYNAK'ın Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Bülent EKİCİ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım ve değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Veysel Gökhan BÖCEKÇİ'ye teşekkürü borç bilirim.

Tüm öğrenim hayatım boyunca bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz, 2018 **Süleyman ALTINKAYNAK**

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR i

İÇİNDEKİLER ii

ÖZET iv

ABSTRACT v

SEMBOLLER vi

KISALTMALAR vii

ŞEKİL LİSTESİ ix

TABLO LİSTESİ xi

1. GİRİŞ 1

1.1. Literatür Taraması 2

1.2. Dalga Boyu Bölmeli Çoğullama (WDM) 3

1.2.1. Dalga boyu bölmeli çoğullama (WDM) tarihçesi 3

1.2.2. Dalga boyu bölmeli çoğullamanın (WDM) üstünlüğü 4

1.2.3. Dalga boyu çoğullamanın (WDM) yapısı 6

1.2.4. Dalga boyu çoğullama (WDM) çeşitleri 8

1.3. Fiber Bragg Izgara (FBG) 9

1.3.1. FBG yapısı ve çalışma prensibi 11

1.3.2. FBG çeşitleri 12

1.3.2.1. Tekdüze (uniform) FBG 12

1.3.2.2. Cıvıltılı (chirped) FBG 12

1.3.2.3. Apodize FBG 13

1.3.3. FBG ile sıcaklık değişimi tespiti 14

2. MATERYAL VE YÖNTEM 15

2.1. OptiSystem Simülasyon Programı 15

2.1.1. OptiSystem'e genel bakış 15
2.1.2. OptiSystem arayüzü 16
2.1.2.1. Proje Planı (Project Layout) 17
2.1.2.2. Sekmeler (Dockers) 17
2.1.2.3. Durum Çubuğu (Status Bar) 19
2.1.3. Proje simülasyonu ve sonuçların gösterilmesi 19
2.2. Bit Hata Oranı (BER) 21
2.3. Q-Faktörü 23
2.4. Q-Faktör ile BER arasındaki ilişki 24
2.5. Göz Diyagramı (Eye Diagram) 24
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 27
3.1. WDM'de FBG Tabanlı Performans Uygulamaları 27
3.1.1. Sıcaklığın dalga boyuna etkisinin FBG yardımıyla tespiti 27
3.1.2. WDM'de FBG yardımıyla performans iyileştirilmesi 31
3.1.2.1. BER değerinin iyileştirilmesi 33
3.1.2.2. Q-Faktör değerinin iyileştirilmesi 35
3.1.3. Kanal hızı performanslarının FBG yardımıyla karşılaştırılması 37
3.1.4. OSNR (Optik Sinyal Gürültü Oranı) değerlerinin FBG yardımıyla performans etkisinin analizi 38
3.1.5. AWGN (Toplamsal Beyaz Gauss Gürültü)'nin FBG yardımıyla performans etkisi analizi 40
3.1.5.1. BER değerinin incelenmesi 41
3.1.5.2. Q-Faktör değerinin incelenmesi 42
4. SONUÇLAR 43
KAYNAKLAR 45

ÖZET

WDM HATTI ÜZERİNDE FBG SENSÖRÜ TABANLI PERFORMANS UYGULAMALARI

Hızla gelişen teknolojiye paralel olarak ilerleyen ve her geçen gün yeni bir gelişmeyle karşımıza çıkan haberleşme sistemlerinin kullanımı, gün geçtikçe yaygınlaşmakta ve hayatımızda daha fazla yer almaktadır. Özellikle IOT (Nesnelerin İnterneti) kavramıyla birlikte veri trafiğinde artış meydana gelmiş bu da daha fazla bant genişliğine ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur. Bu ihtiyacın karşılanması için günümüzdeki en etkili teknoloji fiber teknolojisidir. Bu teknolojinin dallarından biri olan WDM (Dalga Boyu Bölümlemeli Çoğullama) farklı dalga boyları ile birden fazla kanal üzerinden yüksek miktarlarda veri iletimini sağlayabilmektedir. Bu hat üzerinde yapılan veri iletimlerinde FBG'lerden (Fiber Bragg Izgara) hem sensör olarak hem de performans iyileştirmelerinde yararlanılabilmektedir.

Bu çalışmada, WDM hattı üzerinde çeşitli FBG uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalarda FBG'nin hat üzerinde oluşan sıcaklık etkisinin tespiti ile hat değerlerinin iyileştirilmesindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu yönde çalışmalar gerçekleştirilerek tespit edilen değerler ile birlikte yorumlanarak paylaşılmıştır.

Çalışmanın ilk kısmında sıcaklık artışıyla birlikte WDM sinyalinde kayma olup olmadığının FBG aracılığıyla tespit edilmesi ve dalga boyunda oluşan kayma miktarının belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. WDM hatlarda veri iletimi yüksek hızlarda gerçekleştiğinden dolayı kanallar arası boşluklar çok küçük miktarlarda olmakta ve sıcaklık artışı hat üzerinde olumsuz etki yaratabilmektedir. İkinci kısmında ise WDM hattı üzerindeki sinyal değerlerinin FBG yardımıyla iyileştirilmesi ve bu iyileştirmenin niceliksel olarak ortaya konması sağlanmıştır. Değerlerin iyileştirilmesi uygulamasına gürültülü ortam ve farklı değerlerdeki sinyal değerleri gibi değişik durumlar da eklenmiştir. Bu durumlarda elde edilen değerler yorumlanarak paylaşılmıştır.

Temmuz, 2018 **SÜLEYMAN ALTIKAYNAK**

ABSTRACT

FBG SENSOR BASED PERFORMANCE IMPLEMENTATION ON WDM LINE

The use of the communication systems which progress parallel to the rapidly developing technology and come up with new developments day by day is spreading and takes more place in our lives. Especially with the concept of IOT (Internet of Things), the increase in data traffic has led to the need for more bandwidth. Fiber optics is the most effective technology available today to meet this need. WDM (Wavelength Division Multiplexing), which is one of the branches of this technology, can transmit data in high quantities over several channels with different wavelengths. In data transmissions on this line, FBGs (Fiber Bragg Grating) can be used both as sensors and in performance improvements.

In this study, various FBG applications were performed on the WDM line. In these applications, it is aimed to analyzed the effect of FBG on improving the line values by detecting the temperature effect on the line. This field is shared by interpreting the values determined by the studies.

In the first part of the study, determination of the shift in the WDM signal with temperature increase was determined by means of the FBG and the amount of shift in the wavelength was determined. As data transmission occurs in WDM lines at high speeds, gaps between channels are very small and temperature increase can have a negative effect on the line. In the second part, the signal values on the WDM line are improved with the help of FBG and quantification of this improvement is provided. The value improvement application has also added different situations such as noisy environment and signal values at different values. The values obtained in these cases are interpreted and shared.

July, 2018 **SÜLEYMAN ALTIKAYNAK**

SEMBOLLER

Θ **:** Teta

d : Mesafe

λ : Lamda

ε **:** Epsilon

α : Alfa

ξ : Ksi

^{o}C **:** Santigrat Derece

σ **:** Sigma

Π **:** Pi

γ : Gama

Δ : Delta

ζ **:** Zeta

μ **:** Mikro

dB : Desibel

KISALTMALAR

IOT : Internet Of Things

WDM : Wavelength Division Multiplexing

DWDM : Dense Wavelength Division Multiplexing

CWDM : Coarse Wavelength Division Multiplexing

FBG : Fiber Bragg Grating

DCF : Disperison Compensation Fiber

nm : Nano metre

Km : Kilo metre

pm : piko metre

mm : mili metre

GHz : Giga Hertz

THz : Tera Hertz

Gbps : Gigabits Per Second

Kbps : Kilobits Per Second

Mbps : Megabits Per Second

SDH : Synchronous Digital Hierarchy

SONET : Synchronous Optical Network

CATV : Community Access Television – Cable TV

TDM : Time Division Multiplexing

PON : Passive Optical Network

FTTx : Fiber To The X

FSO : Free Space Optics

ROF : Radio Over Fiber

BER : Bit Error Rate

OSA : Optical Spectrum Analyzer

OSNR : Optical Signal to Noise Ratio

SMF : Single Mode Fiber

EDFA : Erbium-Doped Fiber Amplifiers

NRZ : Non-Return to Zero

NDSF : Non Dispersion-Shifted Fiber

AWGN : Additive White Gaussian Noise to Signal

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. İki kanallı ilk WDM sistemi 3

Şekil 1.2. WDM'in gelişimi 4

Şekil 1.3. Telekomünikasyon ağı genel yapısı 5

Şekil 1.4. Huawei optix OSN 8800 T64 WDM cihazı 6

Şekil 1.5. WDM iletim yapısı 6

Şekil 1.6. DWDM ve CWDM kanalları 8

Şekil 1.7. Bir ışınımın kristal yapıda yansıtılması 10

Şekil 1.8. FBG genel yapısı 11

Şekil 1.9. FBG çalışma prensibi 12

Şekil 1.10. Tekdüze (uniform) FBG yapısı 12

Şekil 1.11. Cıvıltılı (chirped) FBG yapısı 13

Şekil 1.12. Gauss dağılımlı kırılma indis değişimi 13

Şekil 1.13. Yükseltilmiş-Kosinüs dağılımlı kırılma indis değişimi 13

Şekil 2.1. OptiSystem kullanıcı ara yüzü 16

Şekil 2.2. Proje Planı penceresi 17

Şekil 2.3. Bileşen Kütüphanesi penceresi 17

Şekil 2.4. Proje Tarayıcısı penceresi 18

Şekil 2.5. Açıklama penceresi 18

Şekil 2.6. Durum Çubuğu penceresi 19

Şekil 2.7. Bileşen parametreleri 19

Şekil 2.8. "Calculate" butonu konumu 20

Şekil 2.9. Optik Spektrum Analizör çıktısına ait görüntü 21

Şekil 2.10. İletilen ve alınan bit hatası 22

Şekil 2.11. İletim ortamında BER 22

Şekil 2.12. Sayısal sinyalin Q-faktörü 24

Şekil 2.13. Q-Faktör-BER ilişkisi 24
Şekil 2.14. Göz diyagramı oluşumu 25
Şekil 2.15. Göz diyagramının bileşenleri 26
Şekil 3.1. Sıcaklık değişimi tespiti simülasyon devresi 27
Şekil 3.2. 20°C'de yansıtılan sinyal 28
Şekil 3.3. 20°C'de iletilen sinyal 29
Şekil 3.4. 120°C'de yansıtılan sinyal 29
Şekil 3.5. 120°C'de iletilen sinyal 30
Şekil 3.6. Sıcaklık ile dalga boyu ilişkisi grafiği 31
Şekil 3.7. Simülasyon devresi düzeneği 33
Şekil 3.8. Kanal 2 için FBG'li sistemden alınmış göz diyagram görüntüsü 34
Şekil 3.9. Kanal 1 için BER değerleri 35
Şekil 3.10. Kanal 1 için Q-Faktör değerleri 36
Şekil 3.11. Kanal 2'nin farklı Gbps'lerdeki BER değerleri 37
Şekil 3.12. Kanal 2'nin farklı Gbps'lerdeki Q-Faktör değerleri 38
Şekil 3.13. Kanal 1'in farklı OSNR değerlerindeki BER değerleri 39
Şekil 3.14. Kanal 1'in farklı OSNR değerlerindeki Q-Faktör değerleri 40

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Dalga boyları ile frekans değerleri karşılığı 7

Tablo 1.2. CWDM ile DWDM Karşılaştırılması 9

Tablo 3.1. Sıcaklık değişimi tespiti simülasyonu parametreleri 28

Tablo 3.2. Sıcaklık değişimi ile dalga boyundaki kayma miktarları 30

Tablo 3.3. Simülasyon devresi bileşenlerinin parametreleri 32

Tablo 3.4. Kanal 1-2 ve 6 için FBG'li/FBG'siz BER değerleri 33

Tablo 3.5. Kanal 1-2 ve 6 için farklı FBG uzunluklarında BER değerleri 34

Tablo 3.6. Kanal 1-2 ve 6 için FBG'li/FBG'siz Q-Faktör değerleri 35

Tablo 3.7. Kanal 1-2 ve 6 için farklı FBG uzunluklarında Q-Faktör değerleri 36

Tablo 3.8. Kanal 2'nin farklı Gbps'lerdeki BER ve Q-Faktör değerleri 37

Tablo 3.9. Kanal 1-2 ve 6'nın farklı OSNR değerlerindeki BER değerleri 39

Tablo 3.10. Kanal 1-2 ve 6'nın farklı OSNR değerlerindeki Q-Faktör değerleri 39

Tablo 3.11. AWGN kanal parametreleri 41

Tablo 3.12. İdeal ortam ile AWGN kanal için OSNR değerleri 41

Tablo 3.13. İdeal ortam ile AWGN'nin BER değerleri değişimi 41

Tablo 3.14. AWGN kanal için FBG'li/FBG'siz BER değerleri 42

Tablo 3.15. İdeal ortam ile AWGN'nin Q-Faktör değerleri değişimi 42

Tablo 3.16. AWGN kanal için FBG'li/FBG'siz Q-Faktör değerleri 42

1. GİRİŞ

Haberleşme sistemlerinin kullanımının artması günümüzde bu alanın hayatımızdaki önemini de artırmaktadır. Önceki zamanlarda haberleşme sistemleri çoğunlukla telefon hatları üzerinden çalışmakta ve yazılı ve sözlü temel haberleşme ihtiyaçlarını karşılayabilmekteydi. Günümüzde ise hem internet kullanıcı sayısının artması hem de IOT (Nesnelerin İnterneti) kavramıyla birlikte her cihazın internete çıkabilecek seviyeye gelmesi, haberleşme sistemleri üzerinden geçen trafik miktarını artırmış oldu. Bu da daha büyük bant genişliğinin sağlanması ve de hızlı, kararlı hatlara olan ihtiyaçları beraberinde getirmiştir.

Haberleşme sistemleri arasında en güncel ve hız bakımından en üst limitleri sağlayan teknoloji Fiber Optik Teknolojisidir. Fiber teknolojisinin alt dallarından biri de Dalga Boyu Bölmeli Çoğullamalı (WDM) sistemlerdir. WDM sistemi dalga boyu çoğullaması yöntemiyle iletim hatlarında daha yüksek miktarda veri taşınabilmesini sağlayan bir teknolojidir. Bu teknolojide optik sinyaller dalga boylarına ayrılarak aynı kanal içerisinde birden fazla sinyal olacak şekilde iletilmektedir. Böylelikle hem daha fazla veri iletimi sağlanabilmekte hem de kanal içerisinde veriler ışık ile iletildiğinden elektromanyetik alan oluşmamakta ve de bundan kaynaklı bozulmalar yaşanmamaktadır.

WDM hatlarda sıcaklık ve gerilme gibi hat üzerinde performans sorunu yaratabilecek etkenlerin gözlemlenmesinde Fiber Bragg Grating (FBG) sensörler kullanılmaktadır. FBG'ler, optik fiberin genel yapısını bozmadan oluşturulmuş yapılardır. FBG, optik fiberin küçük bir uzunluğunda dalga kılavuzunun çekirdek bölgesindeki kırılma indisinin, fiber uzunluğu boyunca belirli periyotlar ile değişim oluşturulmasıyla elde edilmektedir. Çekirdek bölgesi kırılma indisinin n_1 ve kılıf bölgesi kırılma indisinin n_2 olduğu durumda, kırılma indisleri arasında $n_1 > n_2$ ilişkisi mevcuttur. Kırılma indisinde meydana gelen değişimden dolayı, optik fiberin çekirdek bölgesinde ızgara oluşumu meydana gelir. FBG girişine gelen ışığı, her bir ızgara saçağında bir miktar yansıtarak çıkışında toplam bir yansıtıcılık oluşturur. FBG'nin dalga boyunda maksimum bir seviyeye ulaşır. FBG sensörler yüksek sıcaklık ve yüksek basınç gibi insan eliyle kontrol sağlama durumunun olmadığı veya köprü, otoyol gibi yüksek maliyetli projelerin uzaktan kontrolüne olanak sağlayabilmektedir.[1-6]

1.1. Literatür Taraması

WDM üzerinde FBG ile ilgili literatür taramasında çoğunlukla FBG'nin WDM hat üzerinde kompanzasyon tekniği olarak kullanılması ile ilgili çalışmalarla karşılaşılmaktadır. WDM hattı üzerinde performans analizlerinde FBG ile DCF (Dispersiyon Kompanzasyon Fiberi) tekniğinin karşılaştırılması görülmektedir. DCF tekniği optik fiber hattına belirli aralıklarla kompanzasyon fiberi eklenmesidir. Bu fiberler çoğunlukla negatif dispersiyona sahiptir ve hattaki dispersiyonu azaltmakta kullanılmaktadır.

WDM ağında dispersiyon kompanzasyon tekniği olarak FBG ile DCF yöntemlerinin karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda çıkan sonuçlara göre dispersiyon kompanzasyonunda, FBG tekniğinin DCF tekniğine göre daha iyi değerler verdiği fakat pratik olarak FBG'nin kablo içerisine monte edilmesi gerektiği için uygulamada DCF'nin daha uygun olacağına karar verilmiştir. [7]

WDM hattında FBG ve DCF yöntemleriyle kalite faktörü karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmalar ile sağlıklı bir iletişim için önemli olan kalite faktörü değerini artırmada FBG tekniğinin DCF tekniğine göre daha iyi değerler verdiği gözlemlenmiştir. [8,9]

FBG sensör ağları oluşturularak spektrumdaki dalga boyu kaymaları tespit edilmiştir. FBG sensöründen faydalanarak dalga boyunda sıcaklıktan kaynaklanan kayma miktarları çok küçük oranlarda bile tespit edilebilmiştir.[10-12]

Optik haberleşmede dispersiyon kompanzasyonuna FBG tabanlı çözüm analizi gerçekleştirilmiştir. Dispersiyon kompanzasyonu için fiber ızgaraların modellemesi yapılarak güç yansıtıcılığı ve zaman geçikmesi gibi kriterlerde hangi fiber ızgaranın faydalı olabileceği incelenmiştir.[4]

FBG'nin sıcaklık ve gerilim sensörü olarak petrol, gaz, biyomedikal, elektrik iletimi gibi alanlarda kullanılmasına ilişkin uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Çeşitli çalışmalarla FBG sensörünün sıcaklık sensörü olarak farklı uygulamaları üzerinde durulmuştur.[13-15]

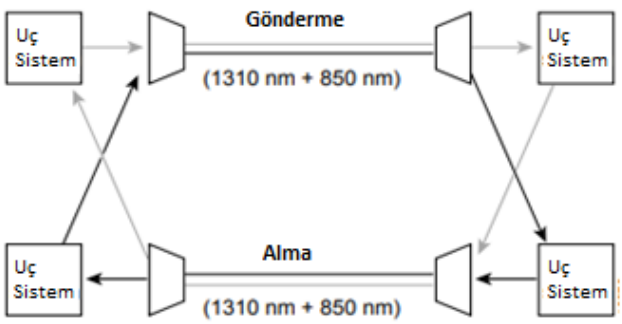
Bu çalışmayla literatürdeki çalışmalar da göz önünde bulundurularak WDM hat üzerinde FBG'den yararlanılarak farklı uygulamalar üzerinden çeşitli sonuçlar elde edilmiş ve bu sonuçlar analiz edilmiştir. Bu uygulamalarda FBG yardımıyla WDM hat

üzerinde sıcaklık artışıyla dalga boyunda yaşanan nanometreler mertebesindeki çok küçük kaymaların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bunun dışında mevcutta bulunan hat kalitesinin FBG yardımıyla artırılması da incelenmiş ve hat kalitesi parametrelerinden olan Bit Hata Oranı (BER) ve Q-faktör değerleri üzerinde karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalarda Optisystem programı ile değerler elde edilmiştir. Yapılan çalışmada, elde edilen değerler ile amaçlanan hedeflere ulaşılıp ulaşılmadığının tespiti yazının ilerleyen bölümlerinde aktarılmış ve sonuçlar kısmında değinilmiştir.

1.2. Dalga Boyu Bölmeli Çoğullama (WDM)

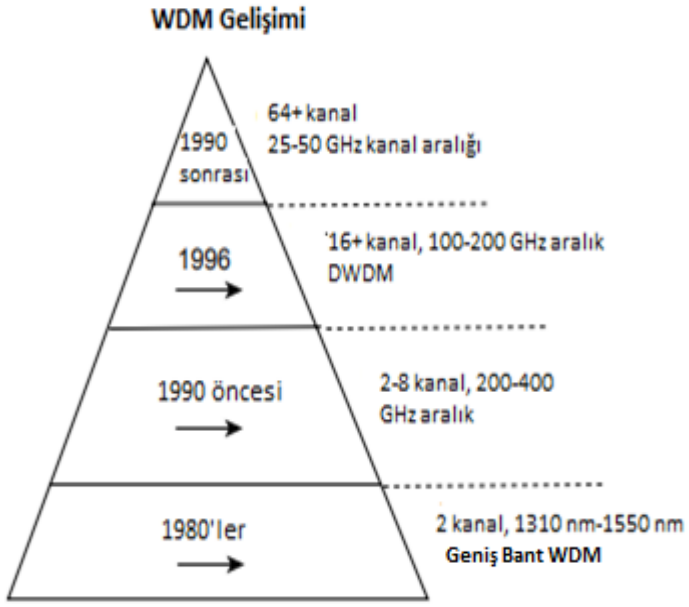
1.2.1 Dalga boyu bölmeli çoğullama (WDM) tarihçesi

İlk WDM sistemi 1980'lerin sonlarında, geniş bantlı WDM olarak adlandırılan 850 nm ve 1310 nm bölgelerindeki geniş aralıklı iki dalga boyunun kullanılmasıyla başlamıştır. Bu sistemde fiber kablonun biri veriyi göndermek için diğeri de almak için kullanılmıştır.



Şekil 1.1. İki kanallı ilk WDM sistemi

1990'ların başlarında iki ile sekiz kanalın kullanıldığı dar bantlı WDM olarak adlandırılan ikinci nesil WDM ortaya çıktı. Bu sistemde 1550 nm dalga boyunda 400 GHz'lik aralıklar kullanıldı. 1990'ların ortasına gelindiğinde ise 16 ile 40 kanal kapasiteli 100 ile 200 GHz aralığındaki yoğun WDM (DWDM) sistemler ortaya çıktı. 1990'ların sonlarında ise 50 hatta 25 GHz aralıklı 64 ile 160 kanal kapasiteli sistemlere doğru geliştirilmiştir.[16] Günümüzde ise tek kanalda bile 400 Gbps'lik veri iletimi sağlayabilen sistemler ticari olarak bulunmaktadır. [17]



Şekil 1.2. WDM'in gelişimi

1.2.2 Dalga boyu bölmeli çoğullamanın (WDM) üstünlüğü

Yüksek bant genişliği ve düşük sinyal zayıflaması bu teknolojinin tercih edilerek yaygınlaştırılmasını sağlamıştır. WDM teknolojisi dünya çapında telekomünikasyon şebekesi operatörleri tarafından çoğunlukla kullanılmış ve yaygınlaştırılmıştır. Noktadan noktaya haberleşme için kullanılmasının yanında halka ve örgüsel yapıdaki ağlarda da tercih edilmektedir. WDM, kapasitenin talebi karşılayamadığı durumlarda yeni bir fiber hat çekilmesine kıyasla daha uygun bir alternatif sunmaktadır. [18-20]

S. Melle'nin yaptığı bir çalışmaya göre üç olası çözüm yolu ile bir noktadan noktaya iletim yolu kapasitesini 2.5Gbps'ten 10Gbps'e yükseltme karşılaştırılmıştır. Çözüm yolları:

1) Ek fiber kablo çekilmesi ve sonlandırma cihazlarının kurulması,

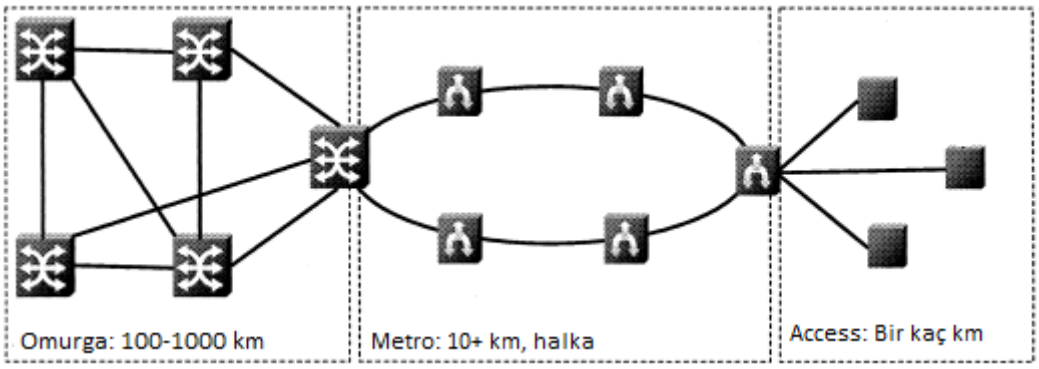
2) 4 kanallı bir WDM alıcı/vericisinin eklenmesi. Bu şekilde farklı dalga boylarında 4 kanalda bulunan veriler çoklayıcı ile birleştirilerek tek fiber kablo üzerinden gönderilerek alıcı ucundaki ayrıştırıcı ile ayrıştırılır.

3) 10Gbps hızında bir hat çözümü.

Bu çalışmadaki analiz doğrultusunda 50 km altındaki mesafeler için "çoklu-fiber" çözümün daha az maliyetli olacağı fakat 50 km üzerindeki mesafeler için WDM çözümünün daha az maliyetli olacağı sonucuna varılmıştır.[21]

S.Melle'nin yaptığı bu çalışma sonrası geçen zaman içerisinde teknolojideki ilerleme ve maliyetlerdeki düşüş nedeniyle günümüzde 50 km altındaki mesafelerde de WDM çözümünün, sunduğu hız kapasitesine kıyasla daha az maliyetli olacağı öngörülebilmektedir.

Şekil 1.3'de internet servis sağlayıcısı olan telekomünikasyon şirketlerinin kullandığı genel ağ yapısı gösterilmektedir. Bu yapıda servis sağlayıcı şirketlerin müşterilerine verdiği uç cihazlar sisteme toplama noktası üzerinden dahil edilir. Müşteri cihazı ile toplama noktası arasındaki uzaklık diğer kısımlara oranla daha kısa mesafelidir. Bu bölüm "Access" (bağlantı) olarak adlandırılır. Her biri bir toplama noktası olan cihazların birbiriyle bağlanmış oldukları kısım ise "Metro" bölümüdür. Bu bölümde omurga hattıyla uç cihazlar arasındaki bağlantı sağlanır. Bu bölümde cihazlar arasında 10 km ve üstü uzaklıklar bulunabilir. Servis sağlayıcısının ana hattını oluşturan kısım ise "Omurga" kısmıdır. Bu bölümde merkez cihazlar bulunur ve cihazlar arası mesafe 100 km ve üstüne çıkabilir. WDM hatlar genellikle bu bölümde tercih edilmektedir.



Şekil 1.3 Telekomünikasyon ağı genel yapısı [19]



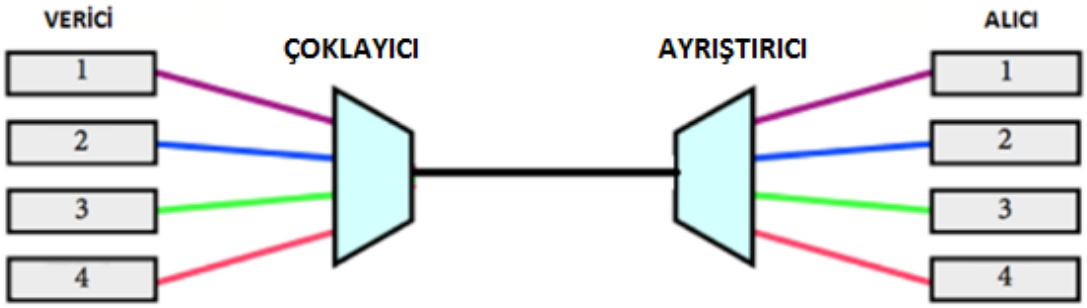
Şekil 1.4. Huawei optix OSN 8800 T64 WDM cihazı

Şekil 1.4'de internet omurga cihazları üreticilerinden biri tarafından üretilen ve ticari olarak satışı gerçekleştirilen bir WDM cihazının görseli paylaşılmıştır.

1.2.3. Dalga boyu çoğullamanın (WDM) yapısı

Fiber optik iletişimde, dalga boyu bölmeli çoğullama (WDM), lazer ışığının farklı dalga boylarını (renklerini) kullanarak, tek bir optik fiber üzerine bir dizi optik taşıyıcı sinyali çoğaltan bir teknolojidir. Bu teknik, kapasitenin artmasının yanı sıra optik lif üzerinde çift yönlü iletişim sağlar. [22]

Şekil 1.5'de dört kanallı bir WDM sistemi yapısı gösterilmiştir. Bu yapıda farklı dalga boylarında bulunan dört ayrı veri, çoklayıcı ile tek bir hat üzerinde birleştirilerek fiber kablo üzerinden karşı uça gönderimi sağlanmaktadır. Karşı uçta da tek fiber üzerinden alınan 4 farklı kanal içerisindeki veri dalga boylarına göre ayrıştırılarak birbirinden bağımsız olarak veriler alınabilmektedir.



Şekil 1.5. WDM iletim yapısı

Sistem bileşenleri ve görevleri şu şekildedir:

Sinyal üretilmesi: lazer veya farklı bir kaynak ile ışık üretilerek bunun dijital sinyal ile kodlanarak veri sinyalinin üretilmesi,

Sinyal birleştirilmesi: çok sayıda kanalda bulunan farklı dalga boylarındaki verileri tek kablodan iletilebilmesi için bunların birleştirilmesi,

Sinyalin iletilmesi: üretilen ve tek kablo üzerinde birleştirilen sinyalin fiber kablolarla karşı uca kadar minimum kayıp ile maksimum mesafeye iletilmesi,

Sinyalin ayrıştırılması: karşı uçta alınan sinyallerin yine farklı dalga boylarına göre ayrıştırılarak ilgili alıcısına iletilmesi,

Sinyalin alınması: ayrıştırılan sinyalin foto dedektör yardımıyla algılanması.

Tablo 1.1. Dalga boyları ile frekans değerleri karşılığı

Frekans (THz)	Dalga Boyu(nm)	Frekans (THz)	Dalga Boyu (nm)
193,0	1553,32	193,6	1548,51
193,1	1552,52	193,7	1547,71
193,2	1551,72	193,8	1546,91
193,3	1550,91	193,9	1546,11
193,4	1550,11	194,0	1545,32
193,5	1549,31	194,1	1544,52

Tablo 1.1'de optik iletimde kullanılan dalga boylarının frekans değer karşılıkları verilmiştir. Kanalda iletilen sinyal frekansları yüksek olduğundan dolayı kanallar arasındaki dalga boyu boşluklar çok küçük oranlardadır. Tablo 1.1'den de görüleceği üzere 0,1 THz'lik frekans değişikliği yaklaşık olarak 0.8 nm'lik bir dalga boyuna karşılık gelmektedir.

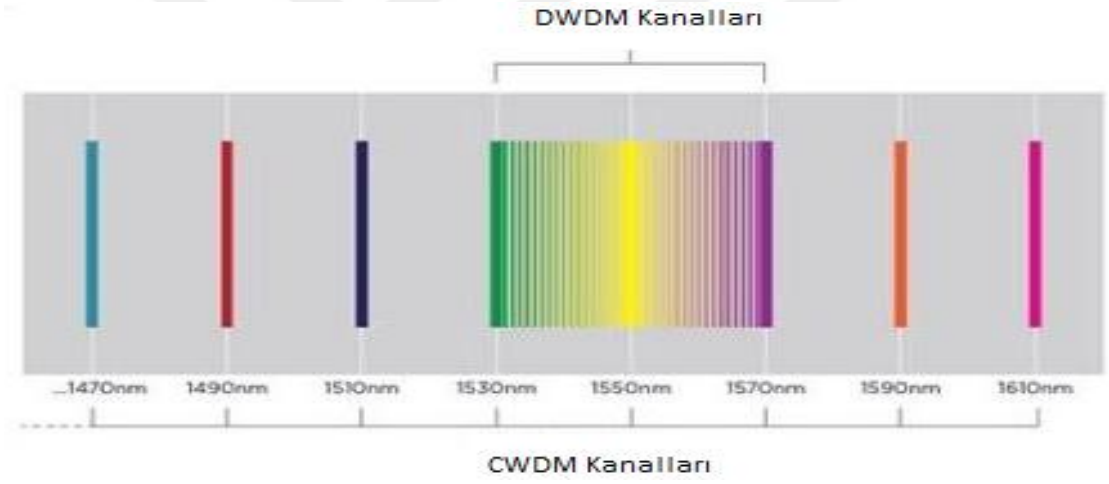
1.2.4. Dalga boyu çoğullama (WDM) çeşitleri

WDM sistemler Kaba-WDM (CWDM) ve Yoğun-WDM (DWDM) olmak üzere iki çeşittir. CWDM ve DWDM'in tek fiber üzerinde birden fazla dalga boyunda iletim yapması ortak yönleridir fakat taşıdıkları kanal sayıları ve dalga boyu aralıkları bakımından farklılık gösterir.

CWDM, tek bir kablo üzerinde 1470 nm'den 1610 nm'ye kadar 20 nm kanal aralığı bulunan 16 adet kanal kapasitesine sahiptir.

DWDM, tek bir kablo üzerinde 1530 nm ile 1565 nm dalga boyu arasında 0.8 nm kanal aralığında 40 kanal, 0.4 nm kanal aralığında ise 80 kanal kapasitesine, hatta geliştirilen yeni sistemlerle 0.2 nm kanal aralığıyla 160 kanal kapasitesine sahiptir.

Şekil 1.6'da DWDM ile CWDM'in kanal aralıkları gösterilmiştir.



Şekil 1.6. DWDM ve CWDM kanalları

DWDM sistemi kanal aralıklarının CWDM'e kıyasla birbirine çok yakın olmasından dolayı daha kararlı bir dalga boyuna sahip olması gerekmektedir. Lazer vericisindeki birkaç GHz'lik bir kayma bile kanalların birbiri üzerine binmesine neden olacaktır. Bu nedenle lazer vericilerinin hassas, sabit dalga boyunda ve de sıcaklık kontrollü olması gerekmektedir. DWDM sistemlerin daha yüksek kapasite sunmasından dolayı daha çok internet omurgasında ve büyük firmaların ana yapısında kullanılmaktadır.

Tablo 1.2. CWDM ile DWDM Karşılaştırılması

Parametre	CWDM	DWDM
Kanallar Arası Boşluk (nm)	20	0,2
Kanal Sayısı	16	160
Haberleşme Mesafesi (Km)	40-80	200+
Verici	Sabit Lazer	Tunable Lazer
Maliyet	Daha Düşük	Daha Yüksek
Kullanılan Alan	Metro Ethernet, Büyük Kurumsallar,	İnternet Omurgası

Tablo 1.2'de CWDM ile DWDM'in kendilerine ait özellikleri verilmiş ve birbirleriyle kıyaslanmıştır. Hangisinin tercih edileceğine kullanılacağı alana ve de özellikleri göz önünde bulundurularak karar verilmelidir.

1.3. Fiber Bragg Izgara (FBG)

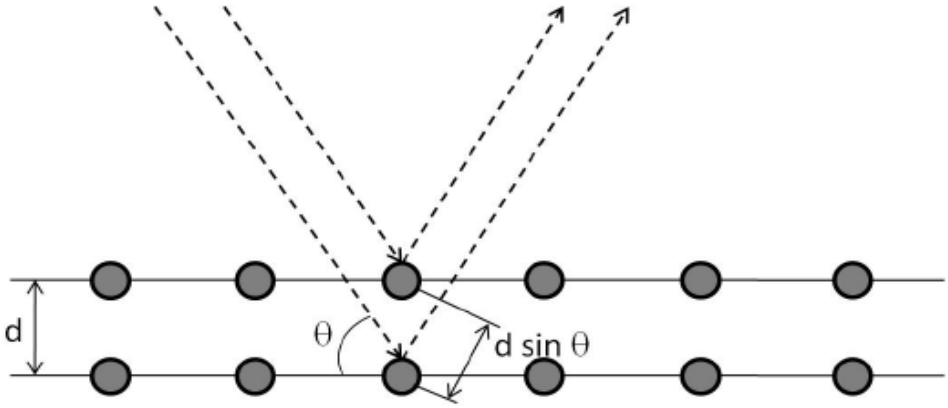
FBG teknolojisi, ışığın belirli dalga boylarını yansıtan ve diğer kısımlarını ileten, fiber optik kablonun belli bir parçasında oluşturulmuş dağıtık reflektör tipi bir yapıdır. Bu teknoloji gerilme ve sıcaklık ölçümü için kullanılan fiber optik sensörler arasında en popüler olanıdır. [24-25]

FBG terimi, ismini Bragg yasasından almış ve fiber kablo çekirdeği içine periyodik yapılarla uygulanmıştır. Fiber bragg ızgara yapısını anlamak için Bragg teorisini ve ismini veren W.L. Bragg'ı tanımak faydalı olacaktır.

Sir William Lawrence Bragg (31 Mart 1890 – 1 Temmuz 1971) Avustralya doğumlu İngiliz fizikçidir. Bragg, X-ray yasalarının ve X-ray kristalograferi kaşifidir. 1915 yılında babası William Henry Bragg ile kristallerin yapılarını x-ışınları yardımıyla analiz etmesindeki çalışmalarından dolayı Nobel ödülünü kazanmışlardır. [26]

Bragg kırınımı, dalga boyunun atomik aralığın büyüklüğü ile aynı bir elektromanyetik ışınım için kristalli bir materyale maruz kaldığında oluşur. Bu durumda ışınım, malzemenin atomları tarafından speküler bir biçimde dağıtılır ve Bragg yasasına uygun bir şekilde girişim meydana gelir. Kristal bir katı için d mesafe ile ayrılmış düzlemde,

dalgalar her bir dalganın yol uzunluğunun dalga boyunun bir tamsayı katsayısına eşit olması halinde dağılır.[24] Şekil 1.7'de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Bir ışınımın kristal yapıda yansıtılması [24]

Bragg yasası, yapıcı girişimin koşulunu kristal kafesin kristalografik düzlemlerinden d mesafesi ile ayırır:

$$2d \sin \theta = n\lambda \tag{1.1}$$

Geliş açısı θ, n bir tam sayı ve λ dalga boyudur. Dağınık ışınım yoğunluğunun geliş açısının bir fonksiyonu olarak ölçülmesiyle bir kırınım modeli elde edilir. Dağınık dalgalar Bragg koşulunu sağladığında, Bragg tepe noktası olarak bilinen kırınım modelinde kuvvetli bir yoğunluk gözlenir.[24]

Kırılma indeksinin periyodik modülasyonu nedeniyle, fiberin çekirdeği boyunca yönlendirilen ışık, Fresnel etkisi ile her bir ızgara düzlemi tarafından zayıf bir şekilde yansıtılacaktır. Her bir ızgara düzleminden yansıyan ışık, geriye doğru diğer yansımalar ile birleştirilecektir. Bu eklenmeler gelen ışığın dalga boyu denklem 1'de gösterildiği şekilde gerçekleşecektir.

Denklem 1'e göre θ = 90 ve d ise girişim patterninin zirveleri arasındaki mesafe, n=1 için λ = 2d yansıma tepesinin yaklaşık dalga boyudur. Buna göre fiber, gelen spektrumun bir bölümünü yansıtan dikroik ayna gibi davranır. [24] Dikroik aynalar, 45 derecelik açıyla yerleştirilen ve bazı renkleri geçirme, bazılarını ise yansıtma özelliği taşıyan yarı geçirgen özel aynalardır.

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda \quad (1.2)$$

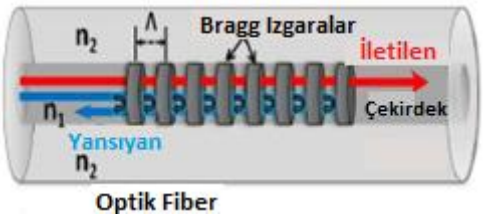
Bu nedenle, bir FBG'nin Bragg dalga boyu (λ_B), fiber lifinin etkili kırılma indeksinin (n_{eff}) ve ızgara periyodikliğinin bir fonksiyonudur.

İlk fiber lifli Bragg ızgarası 1978 yılında Ken Hill tarafından gerçekleştirildi. Başlangıçta, ızgaralar lif merkezi boyunca yayılan ve görünür bir lazer kaynak kullanılarak üretildi. Daha sonrasında dahili yazma (internal writing), holografi tekniği (holographic technique) ve faz maskesi (phase mask) gibi farklı teknikler uygulanmıştır. Bu teknikler arasında en çok kullanılanı ise faz maskesi tekniğidir. Bu yöntemde ultraviyole ışık, faz maskesine dik olacak şekilde maske üzerinden geçer ve faz maskesinin periyodik yapısına göre -1,0 ve +1 kırınımlarını oluşturur. Bu kırınımlara bağlı olarak fiber üzerinde belirlenen ızgara yapısı meydana gelir.[1,27]

1.3.1. FBG yapısı ve çalışma prensibi

FBG'ler, fiber optik kablonun yapısını bozmadan oluşturulabilen yapılardır. Çekirdek bölgesi kırılma indisini n_1, ve kılıf bölgesi kırılma indisinin n_2 olduğu durumda kırılma indisleri arasında $n_1 > n_2$ ilişkisi bulunur. Kırılma indisinden dolayı meydana gelen değişimden dolayı fiberin çekirdek bölgesinde ızgara yapısı oluşur.

FBG'nin genel yapısı şekil 1.8'de gösterilmiştir.

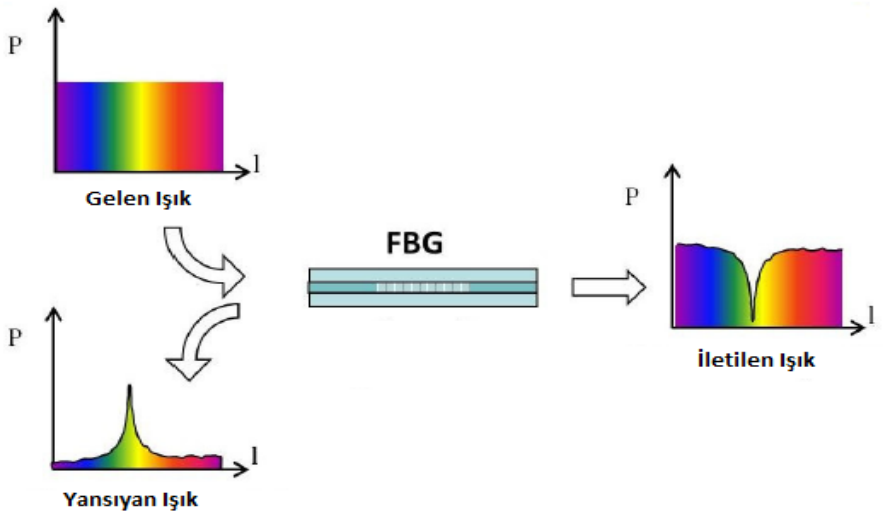


Şekil 1.8. FBG genel yapısı [28]

FBG, dar bir dalga boyu aralığında yüksek yansıtıcılık sağlamak için tek modlu bir fiber optik içerisinden krılma indisinin periyodik modülasyonunu içerir.[29]

FBG'ler en çok gerilme ve sıcaklık ölçümünde kullanılır.5000+ με'e kadar gerilme ve -40 ile +120 derece aralığında ölçüm yapabilmektedir.

FBG'lerin çalışma prensibi şekil 1.9'da gösterilmiştir.



Şekil 1.9. FBG çalışma prensibi

1.3.2. FBG çeşitleri

FBG'nin yapısı kırılma indisi ve ızgara periyoduna göre değişkenlik gösterebilir.

1.3.2.1. Tekdüze (uniform) FBG

Kırılma indisi ve ızgara periyodu ızgara boyunca sabit olan ızgara yapılarıdır.



Şekil 1.10. Tekdüze (uniform) FBG yapısı

1.3.2.2. Cıvıltılı (chirped) FBG

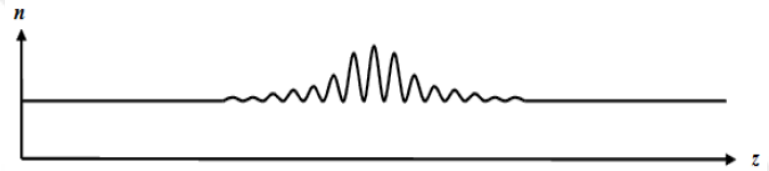
Izgara periyodu, fiber boyunca azalarak veya artarak değişiklik gösteren ızgara yapılarıdır. Doğrusal cıvıltılı fiber ızgaralarının yansıma band aralığı, tekdüze ızgaralara göre daha geniştir. Bu genişlik, cıvıltı oranı artırılarak daha da genişletilebilir. Ayrıca grup zaman gecikme eğrileri dalga boyu ile hemen hemen doğrusal değişmektedir. Ancak bu eğriler üzerindeki salınımlar, dispersiyon eğrisinde daha şiddetli anlık değişimlere neden olmaktadır. Bu durumda, cıvıltılı fiber ızgaraları apodize (optik sistemin giriş yoğunluğu profilini değiştirmek için kullanılan teknik) edilerek daha iyi sonuçlar elde edilebilir. [4]



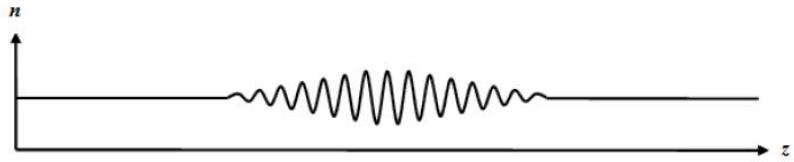
Şekil 1.11. Cıvıltılı (chirped) FBG yapısı

1.3.2.2. Apodize FBG

Apodize FBG'ler, kırılma indisinde meydana gelen değişim miktarının ızgara uzunluğu boyunca farklılık gösterdiği bir ızgara yapısına sahiplerdir. Kırılma indisinin değişim profilleri için genellikle, Gauss ya da Yükseltilmiş-Kosinüs dağılımları kullanılmaktadır. Şekil 1.12'de Gauss dağılımlı kırılma indis değişimi eğrisi, şekil 1.13'de ise Yükseltilmiş-Kosinüs dağılımlı kırılma indis değişimi eğrisi gösterilmiştir.[30].



Şekil 1.12. Gauss dağılımlı kırılma indis değişimi



Şekil 1.13. Yükseltilmiş-Kosinüs dağılımlı kırılma indis değişimi

1.3.3. FBG ile sıcaklık değişimi tespiti

FBG'ler sıcaklık değişimine karşı hassas optik bileşenlerdir. Sıcaklıkta meydana gelen değişiklik bragg dalga boyunda değişime neden olmaktadır. Bu sayede sıcaklık ölçümleri yapılabilmesine imkan sağlayabilmektedir. Sıcaklıktaki değişime (ΔT) karşılık gelen dalga boyu kayması denklemi şu şekilde verilmiştir:[31]

$$\Delta\lambda_{BT} = (\alpha + \xi)\Delta T \tag{1.3}$$

ξ : fiber termo-optik katsayısı

α : fiber termal uzama katsayısı

Silika fiber için, 800 nm ve 1550 nm dalga boyları için dalga boyunun sıcaklığa duyarlılığı sırasıyla ~ 6,8 pm/°C ve ~13 pm/°C olarak tespit edilmiştir.

Fiber bragg dalga boyu ile sıcaklığın doğru orantılı olduğu görülmektedir. Sıcaklık arttıkça dalga boyundaki kayma miktarı da artmaktadır. Bu kayma miktarının tespiti ile bragg ızgaralar sıcaklık sensörü olarak kullanılabilmektedir. Çok yüksek sıcaklıklar fiberin yapısına zarar verdiği için bragg ızgaralar belli sıcaklıklara kadar etkin çalışabilmektedir. Bu nedenle sıcaklık sensörü olarak fiber bragg sensörlerin kullanılması tercih edildiğinde sıcaklık değerlerinin 200 derecenin altında olması daha sağlıklı sonuçlar alınabilmesi için faydalı olacaktır.

FBG'ler, farklı rezonans dalga boylarına sahip olacak şekilde yazılabildiği için, bunlar farklı fiber optik uzunluğu boyunca farklı konumlarda farklı gerilimlerin veya sıcaklıkların ölçülebildiği bir sensör ağına çoğaltılabilirler. Bu kabiliyetin kullanılmasıyla FBG sensörleri, inşaat, havacılık, denizcilik, boru hatları gibi yapıların "in situ" sıcaklığını ve gerilmelerini ölçmek için "akıllı cilt" olarak bu yapılara entegre edilebilmekteler.

Oda sıcaklığına yakın iletişim dalga boylarında, λ_B yaklaşık 10 pm / ^oC sıcaklıkta değişir [32,33].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. OptiSystem Simülasyon Programı

2.1.1. OptiSystem'e genel bakış

OptiSystem, içerisinde çok sayıda optik bağlantı çeşiti bulunduran ve bu optik bağlantıların tasarımını, testini, optimasyonunu gerçekleştirmeyi sağlayan bir optik iletişim sistem tasarım simülasyon programıdır. Fiber optik iletişim sistemlerinin gerçekçi modellemesine dayanan bir sistem seviyesi simülatörü olan OptiSystem, güçlü bir simülasyon ortamına sahiptir. Kanada merkezli Optiwave Systems şirketi tarafından geliştirilmektedir. Optik haberleşme ile ilgilenen kişiler tarafından sıklıkla kullanılmakta ve zamanla yeni versiyonları yayınlanarak programa ek özellikler kazandırılmaktadır. 2018 yılı itibariyle en günceli 15 versiyonudur. OptiSystem, WDM ağ tasarımı ve SONET/SDH halka tasarımından, kanal, amplifikatör ve alıcı tasarımına kadar geniş bir uygulama yelpazesi sunar. Gelişen fiber optik teknolojisi için kapsamlı bir geliştirme ve test ortamı sunar.[34-35]

OptiSystem programının avantajları aşağıdaki şekildedir:

• Hızlı, düşük maliyetli prototipleme,

• Kapsamlı sistem karakterizasyonu,

• Tasarım seçeneklerinin ve sonuçların görselleştirilmesi,

• Fiziksel yatırım öncesi sonuçların önceden öngörülebilmesi.

OptiSystem'ın geniş uygulama yelpazesi şunları içerir:

• Bileşeninden sistem seviyesine kadar optik haberleşme sistemi tasarımı,

• CATV veya TDM / WDM ağ tasarımı,

• Pasif optik ağlar (PON) tabanlı FTTx,

• Serbest alan optiği (FSO) sistemleri,

• Fiber üzerinden radyo (ROF) sistemleri,

• SONET / SDH halka tasarımı,

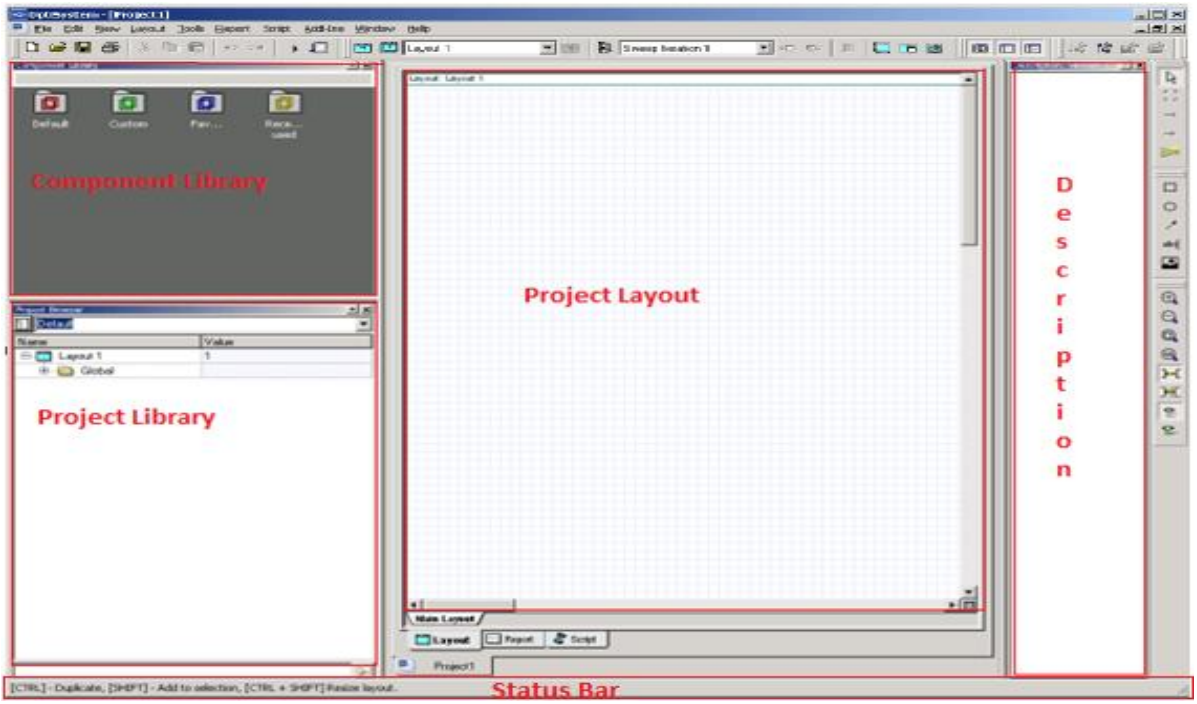
• Verici, kanal, amplifikatör ve alıcı tasarımı,

• Dispersiyon analizi,

• Farklı alıcı modelleriyle BER analizi.

2.1.2. OptiSystem arayüzü

OptiSystem programı kullanımı kolay, kullanıcı dostu bir ara yüze sahiptir. Gerekli olan bileşenler tek ekranda bulunmaktadır. Şekil 2.1'de OptiSystem programına ait kullanıcı ara yüzü görüntüsü bulunmaktadır. Programın Türkçe dil desteği bulunmadığından dolayı menü ve ara yüz simgeleri İngilizce olarak adlandırılmaktadır.



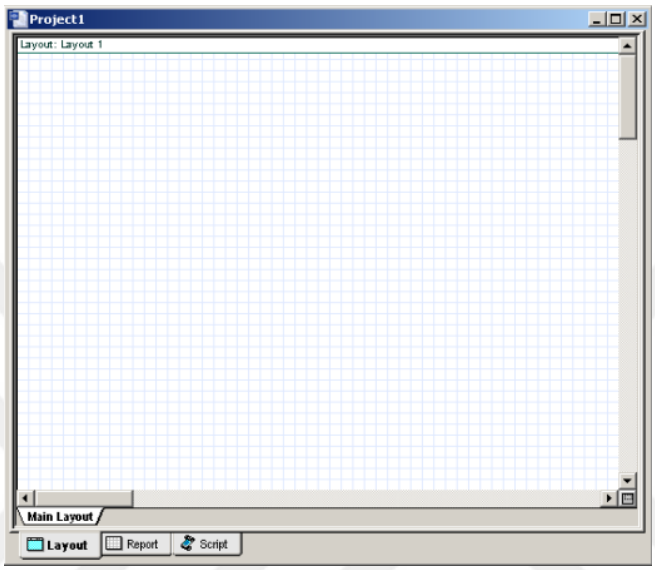
Şekil 2.1. OptiSystem kullanıcı ara yüzü

Program ara yüz ekranı 3 ana pencereden oluşmaktadır. Bunlar:

- Proje Planı (Project Layout)
- Sekmeler (Dockers)
  - Bileşen Kütüphanesi (Component Library)
  - Proje Kütüphanesi (Project Library)
  - Açıklama (Description)
- Durum Çubuğu (Status Bar)

2.1.2.1. Proje Planı (Project Layout)

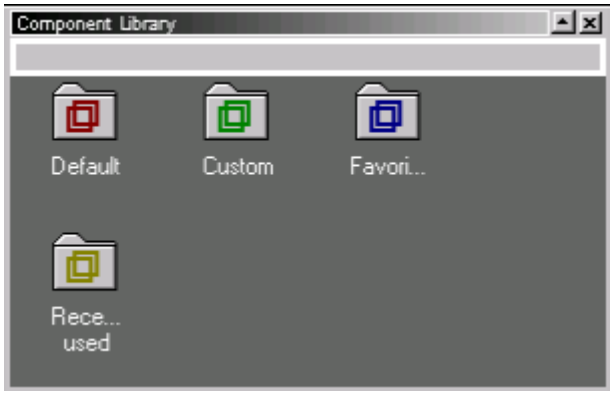
Bileşenlerin düzenek içine yerleştirildiği, bileşenlerin düzenlendiği ve bileşenler arasında bağlantıların oluşturulduğu ana çalışma alanıdır. Şekil 2.2'de Proje Planı penceresi gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Proje Planı penceresi

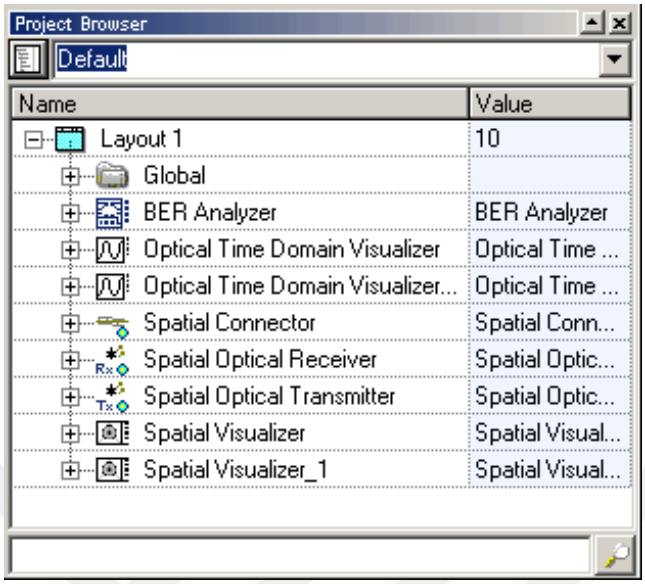
2.1.2.2. Sekmeler (Dockers)

Ana ekranda aktif kullanılan proje hakkında bilgi görüntülemek için kullanılan küçük pencerelerdir. Bileşen Kütüphanesi (Component Library), Proje Tarayıcısı (Project Browser) ve Açıklama (Description) olmak üzere 3 alt penceresi bulunmaktadır. Şekil 2.3, 2.4 ve 2.5'de bunlara ait pencereler bulunmaktadır.



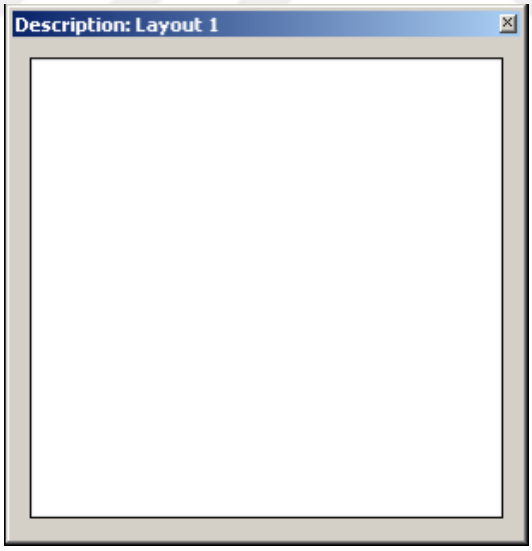
Şekil 2.3. Bileşen Kütüphanesi penceresi

Bileşen Kütüphanesi, sistem tasarımını oluşturmak için bileşenlere erişebilmeyi sağlamaktadır.



Şekil 2.4. Proje Tarayıcısı penceresi

Proje Tarayıcısı, mevcut projeyi daha verimli sonuçlar elde etmek için organize etmeyi sağlamaktadır.

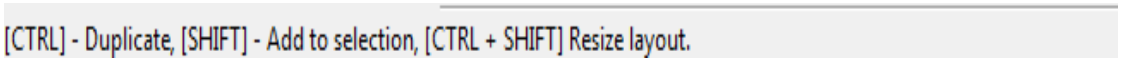


Şekil 2.5. Açıklama penceresi

Açıklama, mevcut proje hakkında ayrıntılı bilgi görüntülemeyi sağlamaktadır.

2.1.2.3. Durum Çubuğu (Status Bar)

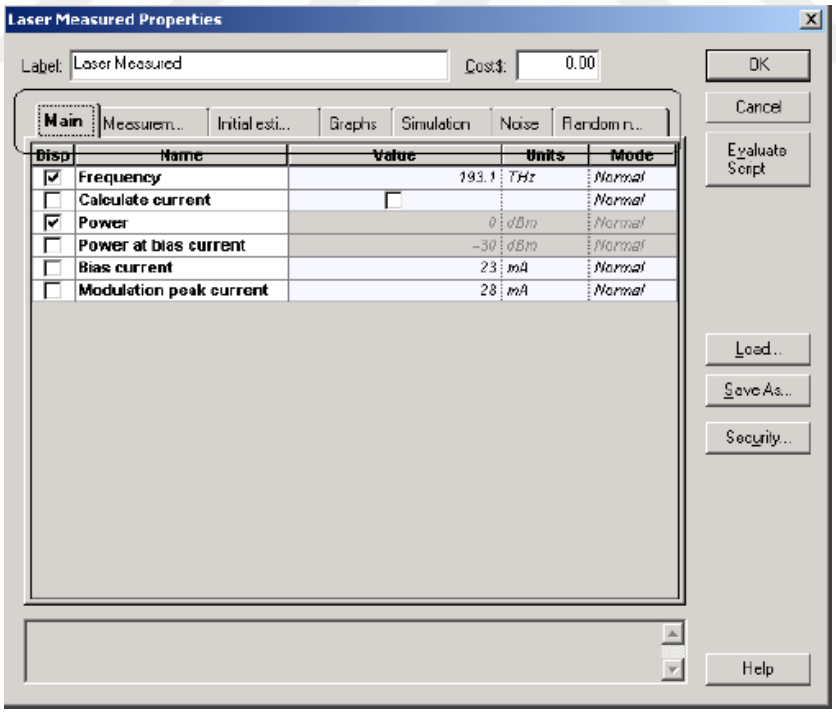
Mevcut proje ile ilgili OptiSystem kullanımı hakkında yararlı ipuçları ve yardım bilgileri bulunmaktadır. Proje Planı ve Bileşen Kütüphanesi pencerelerinin altında yatay bir penecere olarak bulunur.



Şekil 2.6. Durum Çubuğu penceresi

2.1.3. Proje simülasyonu ve sonuçların gösterilmesi

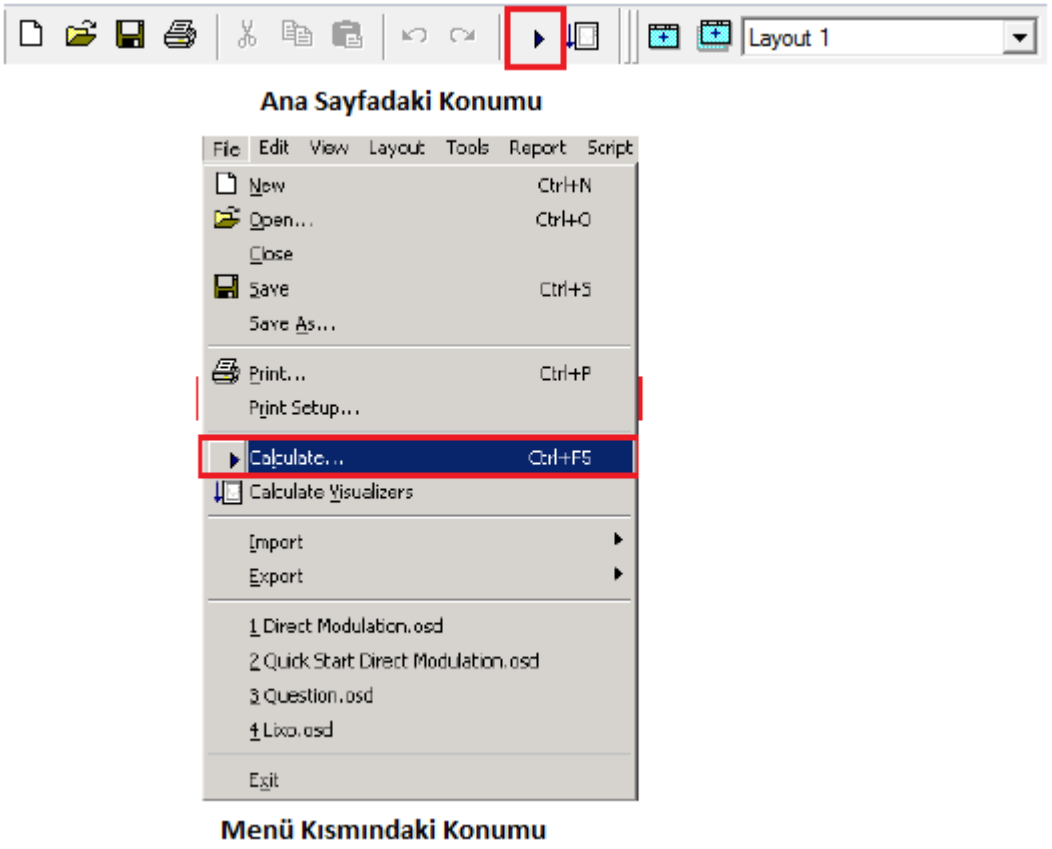
Proje için gerekli olan bileşenler kütüphaneden seçilerek Proje Planı penceresine alınır. Kütüphaneden seçilen bileşenler varsayılan değerlerle birlikte gelir. Proje özelinde bu değerler gerekli olan değerlerle değiştirilebilir. Bunun için istenen bileşene çift tıklanarak o bileşene ait parametrelerin bulunduğu pencere açılır. Bu pencerede birden fazla sekme bulunur ve bu sekmelerdeki birçok değer istenilen değerlerle değiştirilebilir. Şekil 2.7'de örnek olarak seçilen bir bileşene ait parametrelerin değiştirilebileceği pencere gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Bileşen parametreleri

Gerekli olan bileşenler seçildikten ve de istenilen değerlerle ayarlanmasından sonra bileşenler arasında bağlantı yolları gerçekleştirilir. Bu bağlantı yollarının tanımlanması

kullanıcıya bağlı olduğu kadar birbirlerine bağlanmasının gerçekleşmemesi gereken durumlarda sistemsel olarak program buna izin vermemektedir. Bu aşamaya kadarki işlemlerin tamamlanmasından sonra sıra projenin simüle edilerek sonuçlarının alınması aşamasıdır. OptiSystem programı sonuçları görsel olarak da vermesinden dolayı sonuçların daha anlaşılabilir ve de yorumlanabilir olmasını da sağlamaktadır. Programda projenin simüle edilmesi "calculate" butonu ile gerçekleştirilmektedir. "Calculate" butonuna hem menü kısmından hem de ana sayfadaki buton simgesinden ulaşılabilir. "Calculate" butonuna hem menü kısmından hem de ana sayfadan nasıl ulaşılabileceğine yönelik görüntüler Şekil 2.8'de gösterilmiştir.

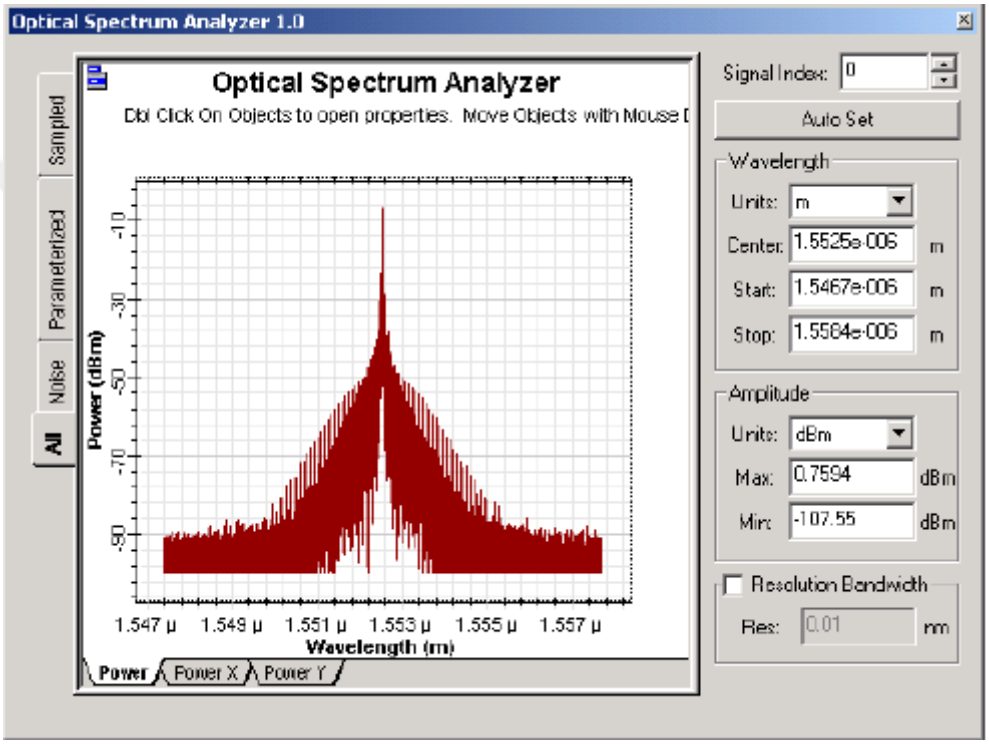


Şekil 2.8. "Calculate" butonu konumu

"Calculate" butonun kullandıktan sonra tekrar bir diyalog kutusu kullanıcının karşısına gelmekte burada da "Run" butonuna tıkladıktan sonra program projeyle ilgili hesaplamaları yapmaya başlamaktadır. Projede kullanılan bileşen sayısına ve projenin zorluk derecesine göre hesaplamada geçen süre değişebilmektedir. Program bu hesaplama sırasında proje aşamalarında veya bileşen değerlerinde bir hata varsa bunun hakkında uyarı yazısı ileterek bunun düzeltilmesini isteyebilmektedir. Bu aşamaların

sorunsuz geçilmesinin ardından program hesaplamanın tamamlandığına dair bilgi vermekte ve simülasyon çıktıları öğrenilebilmektedir.

Simülasyonun tamamlanmasının ardından projede kullanılan sonuç paylaşan bileşenler yardımıyla görsel olarak sonuçlar elde edilebilmektedir. Projede kullanılan sonuç paylaşan bileşenlere çift tıklanarak sonuçlar görsel olarak öğrenilebilmektedir. Şekil 2.9'da örnek olarak Optik Spektrum Analizör'e (OSA) ait bir simülasyon çıktısı paylaşılmıştır.



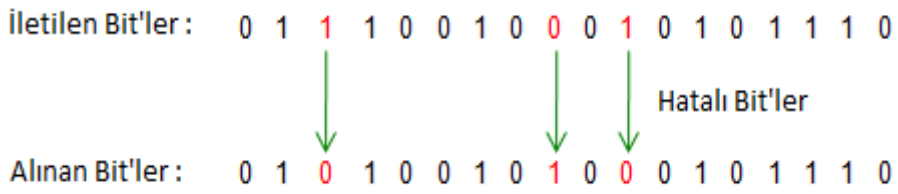
Şekil 2.9. Optik Spektrum Analizör çıktısına ait görüntü

2.2. Bit Hata Oranı (BER)

Dijital iletim ortamında gürültü, parazit, bozulma veya bit senkronizasyonu gibi durumlardan dolayı bit'ler kaynağına göre değiştirilmiş olarak hatalı olarak karşı tarafa aktarılabilirler.

BER, birim zaman başına bit hatalarının sayısıdır. BER, incelenen zaman aralığı boyunca bit hatalarının toplam aktarılan bit sayısına bölünmesiyle elde edilen sayıdır. BER, genellikle yüzde olarak ifade edilen, bir birim performans ölçümüdür. [36]

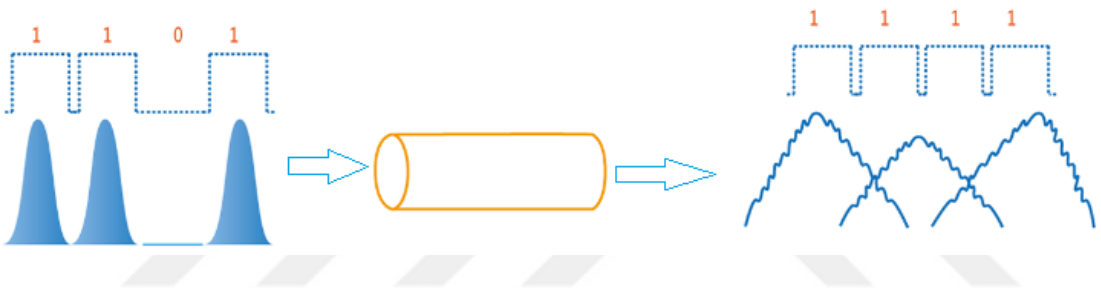
Örnek olarak, şekil 2.10'da iletilen ve alınan bit dizisi verilmiştir;



Şekil 2.10. İletilen ve alınan bit hatası

Bit hatalarının sayısı (kırmızı renkli bitler), üç tanedir. BER, toplam on sekiz bit iletiminde üç bitlik hatadır. Bu durumda BER 0,16 veya %16 oranında ifade edilebilir.

Bir iletim sisteminde alıcı taraftaki BER değerlerini, iletim kanalındaki gürültü, parazit, bozulma, bit senkronizasyon sorunları, zayıflama gibi etkenler belirler.



Şekil 2.11. İletim ortamında BER

BER, hata olasılığı (POE) olarak da tanımlanabilir. Buna göre aşağıdaki formülde,

$$BER(POE) = \frac{1}{2}(1 - erf)\sqrt{E_b/N_o} \quad (2.1)$$

erf; hata fonksiyonunu, E_b bitin enerjisini, N_o spektral yoğunluktaki gürültü gücünü (1 Hz bant genişliğindeki gürültü gücü), gösterir. Hata fonksiyonu her bir modülasyon yönetimine göre farklılık gösterir. [37]

Genellikle bir dijital iletişim sisteminin performansını tanımlamak için BER eğrileri çizilir. Optik iletişimde, BER (dB) - Alınan Gücü (dBm) genellikle kullanılır; kablosuz iletişimde ise, BER (dB) ve SNR (dB) kullanılır.

Herhangi bir iletişim sisteminin kritik işlevlerinden (hedeflerinden) biri, hata olmadan veri iletmek ve almaktır. Kısaca, iletişim sistemi, iletim ve alım işlemleri sırasında mümkün olduğunca az BER'e sahip olmalıdır. Bu nedenle BER, bir iletişim sisteminin ne kadar iyi tasarlandığını gösteren çok önemli bir göstergedir.[38]

2.3. Q-Faktörü

Fiber optik iletişim sisteminde alıcıdaki sinyal gücünün, gürültü gücüne oranı sistem performansı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Gürültü, istenen veya beklenenden farklı herhangi bir istenmeyen veya müdahale eden "sinyal" olarak tanımlanabilir. SNR (Sinyal Gürültü Oranı)'nin bir fonksiyonu olan Q faktörü, alıcı performansının niteliksel bir tanımını sağlar ve hattın ne kadar gürültülü olduğunun ölçüsüdür.[39-41]

Q-faktör matematiksel denklemi şu şekildedir:[42]

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \tag{2.2}$$

Burada I_1 ve σ_1 değerleri, Gauss darbesinin varyans çıkışı ve ortalama değerini, I_0 ve σ_0 değerleri ise Gauss darbesinin varyans çıkışı ve ortalama değerini belirtir.

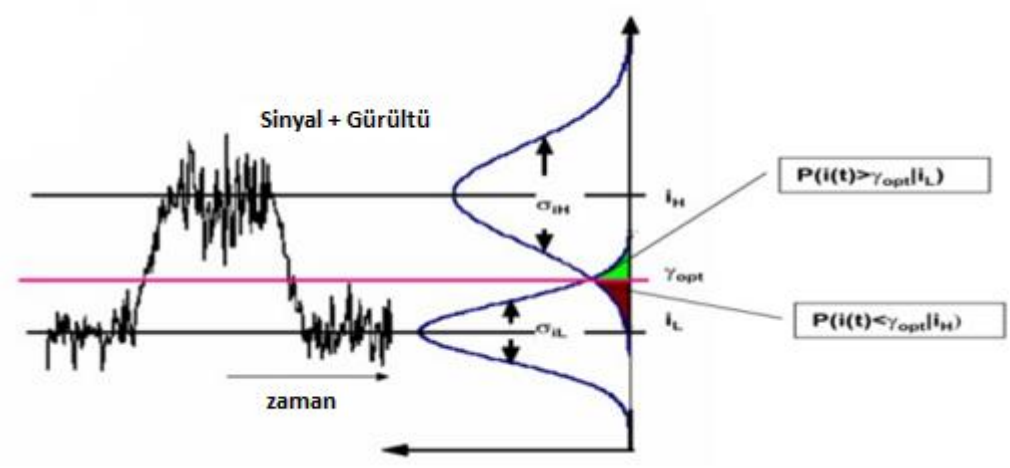
OSNR(Optik Sinyal Gürültü Oranı), belirli bir optik sinyalle ilişkili en önemli parametredir. Verilen bir ağ için ölçülebilir bir miktardır ve verilen sistem parametrelerinden hesaplanabilir. Aşağıda OSNR'nin nasıl hesaplanacağı ve OSNR'nin Q-faktörüne olan ilişkisi gösterilmektedir.

$$Q_{db} = 20log\sqrt{OSNR}\sqrt{\frac{B_0}{B_c}} \tag{2.3}$$

Denklemde B_0, uç aygıtın optik bant genişliği (foto detektör) ve B_c ise alıcı filtrenin elektriksel bant genişliğidir. Buna göre;

$$Q = OSNR + 10log\frac{B_0}{B_c} \tag{2.4}$$

Denkleme göre, Q bir şekilde OSNR ile orantılıdır. Genel olarak, gürültü hesaplamaları optik spektrum analizörleri (OSA) veya örnekleme osiloskopları tarafından gerçekleştirilir ve bu ölçümler, B_m (ölçülen spektral genişlik)'nin belirli bir ölçüm aralığı üzerinden taşınır. Tipik B_m, belirli bir OSA için yaklaşık 0.1 nm veya 12.5 GHz'dir. [41]



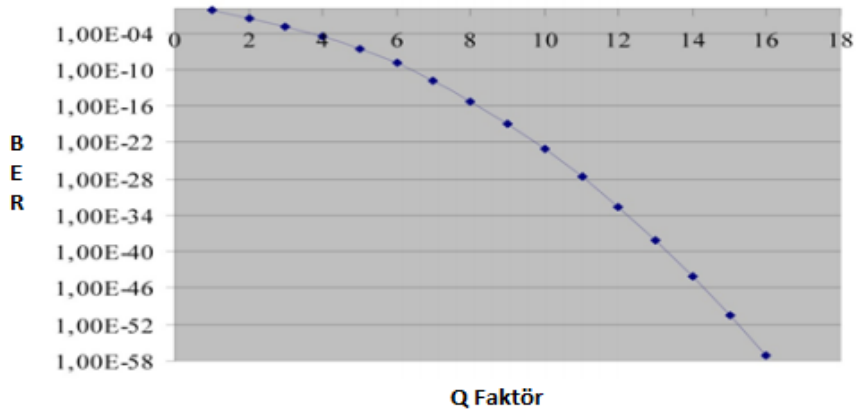
Şekil 2.12. Sayısal sinyalin Q-faktörü [43]

2.4. Q-Faktör ile BER arasındaki ilişki

Q-faktör ile BER arasındaki ilişki aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.[45]

$$BER = P(Error) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{iL}^2}} \int_{\gamma_{opt}}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{i-i_L}{\sigma_{iL}}\right)} di = erfc(Q) \qquad (2.5)$$

Q-faktör ile BER arasında ters orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Buna ait grafik şekil 2.13'de gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Q-Faktör-BER ilişkisi

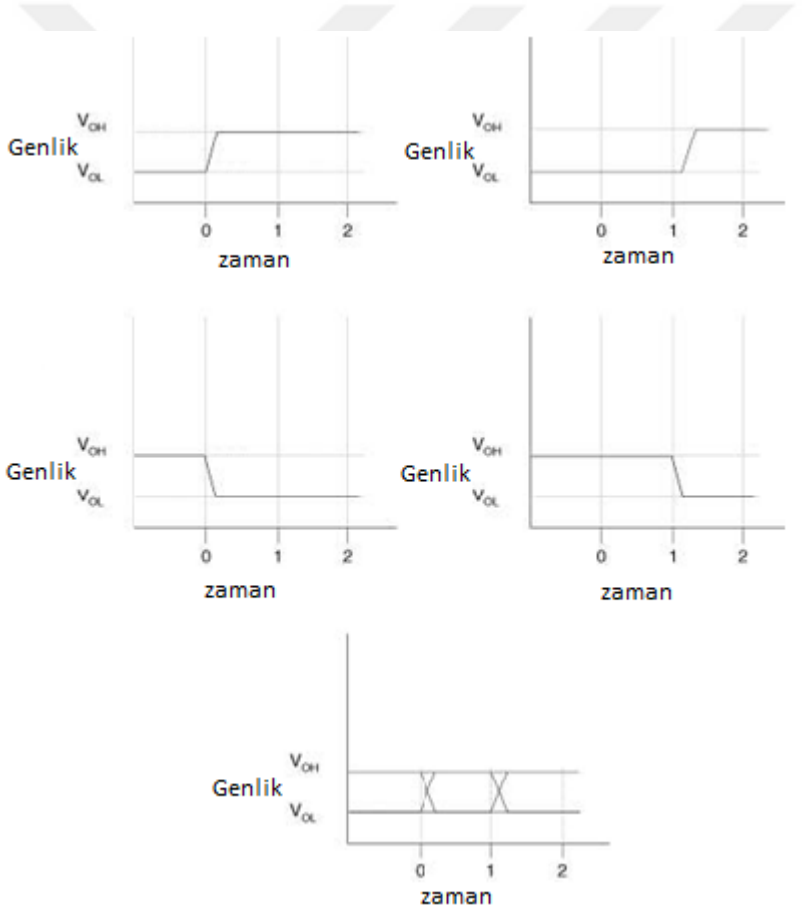
2.5. Göz Diyagramı (Eye Diagram)

Bir göz diyagramı, yüksek hızlı dijital iletimlerde sinyal kalitesinin ortak bir göstergesidir. Bir osiloskop, bir ana saat tarafından sürülen uzun bir veri akışının farklı bölümlerinin taramalarını üst üste bindirerek bir göz diyagramı oluşturur. Tetikleme

kenarı pozitif veya negatif olabilir, ancak gecikme süresinden sonra görünen görüntülenen darbe her iki yönde de gidebilir. Birçok bitin üst üste gelmesi, ortaya çıkan görüntünün bir göz şekli gibi göründüğü için göz diyagramı adı verilir.[44]

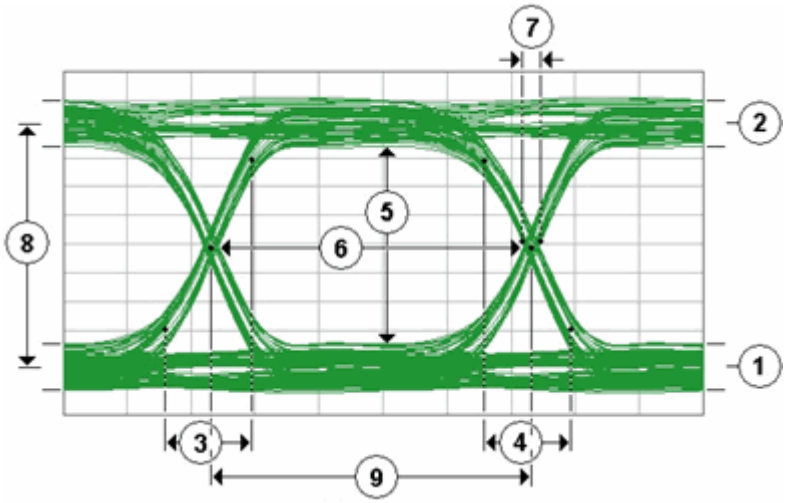
İdeal bir dünyada, göz diyagramları dikdörtgen kutulara benzemektedir. Gerçekte, iletişim kusursuz değildir, bu yüzden geçişler birbirinin üzerinde mükemmel bir şekilde hizalanmaz ve göz şeklinde bir model ortaya çıkar. Bir osiloskopta, bir göz diyagramının şekli, saat tetikleyicileri, bölünmüş saat tetikleyicileri ve desen tetikleyicileri gibi çeşitli tetikleyici sinyal tiplerine bağlı olacaktır. Zamanlama ve genlikten bit'e bit farkları, göz açıklığının küçülmesine neden olur.[44]

Şekil 2.14'de bir göz diyagramının nasıl oluştuğu gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Göz diyagramı oluşumu

Şekil 2.15'de göz diyagramını oluşturan bileşenler gösterilmiş ve bu bileşenlerin bilgileri paylaşılmıştır.



Şekil 2.15. Göz diyagramının bileşenleri [45]

1) Sıfır Seviyesi (Zero Level): Sinyalin mantıksal olarak “0” seviyesini gösterir.

2) Bir Seviyesi (One Level): Sinyalin mantıksal olarak “1” seviyesini gösterir.

3) Yükselme Süresi (Rise Time): Sinyalin yükselen kenarının %10 seviyesinden %90 seviyesine geçiş süresini gösterir.

4) Düşme Süresi (Fall Time): Sinyalin düşen kenarının %90 seviyesinden %10 seviyesine geçiş süresini gösterir.

5) Göz Yüksekliği (Eye Height): Sinyale ait göz diyagramının dikey açıklığını gösterir. İdeal bir göz yüksekliği, “1” seviyesinden “0” seviyesine kadar ölçülmekte fakat sinyaldeki gürültü gözün kapanmasına ve göz yüksekliğinin düşmesine neden olur.

6) Göz Genişliği (Eye Width): Göz diyagramının yatay açıklığını gösterir. İdeal olarak, göz genişliği, gözün geçiş noktaları arasında ölçülmektedir. Ancak, dalga formunda jitter görünebilir ve göz açıklığını etkileyebilir.

7) Deterministik Jitter (Deterministik Jitter): Bir geçişin, diğer geçişlere göre yansımalardan kaynaklanan ideal zamanından sapmasıdır.

8) Göz Genliği (Eye Ampplitude): Göz diyagramının “1” ile “0” seviyeleri histogram ortalama değerleri arasındaki farkı gösterir.

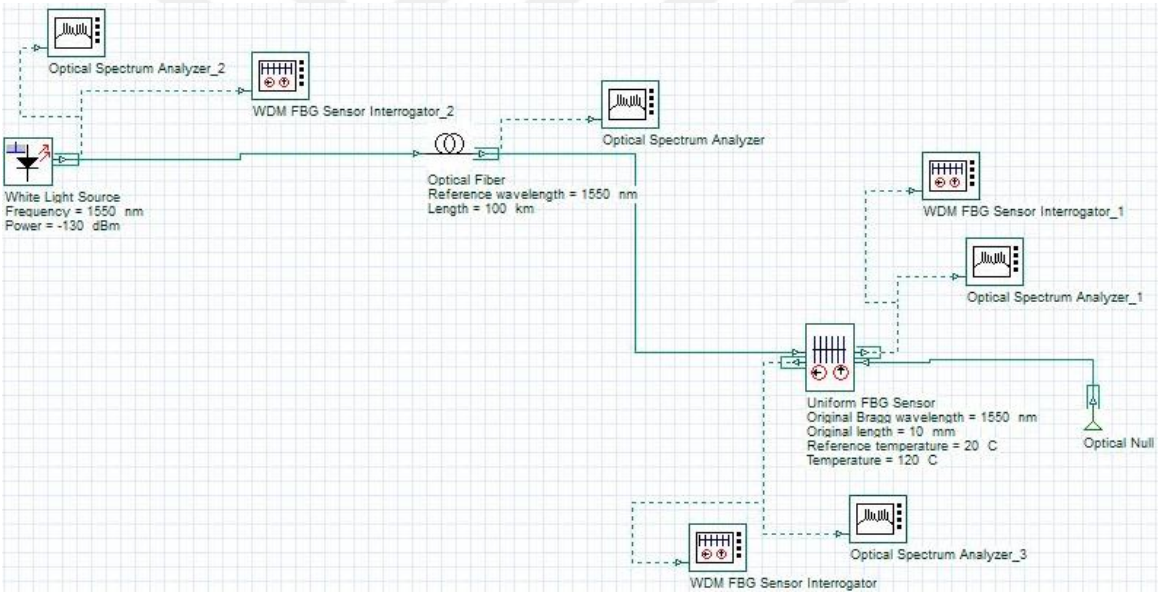
9) Bit Hızı (Bit Rate): Bit hızı (veri hızı) bit periyodunun tersidir (1 / bit periyodu). Bit periyodu, gözün geçiş noktalarında bir göz diyagramının yatay açıklığının bir ölçüsüdür.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. WDM'de FBG Tabanlı Performans Uygulamaları

3.1.1. Sıcaklığın dalga boyuna etkisinin FBG yardımıyla tespiti

WDM hatları yüksek hızlarda veri iletimi sağlamasından ve kanallar arası boşlukların çok az olmasından dolayı sıcaklık etkisinden dolayı hat üzerinde oluşabilecek olumsuz etkilerin tespit edilmesi hassas bir noktadır. Sıcaklık değişiminin tespiti ile ilgili FBG'ler önemli fiber bileşenlerdir. Şekil 3.1'de dalga boyundaki kaymadan yararlanarak sıcaklık değişiminin tespitini sağlayan simülasyon devresi gösterilmiştir. Dalga boyunda meydana gelen kayma miktarı FBG sensörü yardımıyla tespit edilebilmektedir.



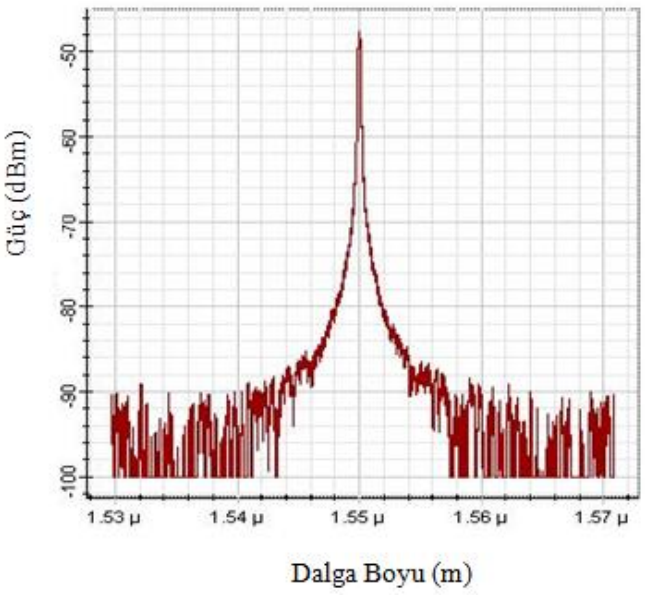
Şekil 3.1. Sıcaklık değişimi tespiti simülasyon devresi

Simülasyon devresinde kullanılan bileşenlerin parametrelerine ait bilgiler Tablo 3.1 'de gösterildiği şekildedir.

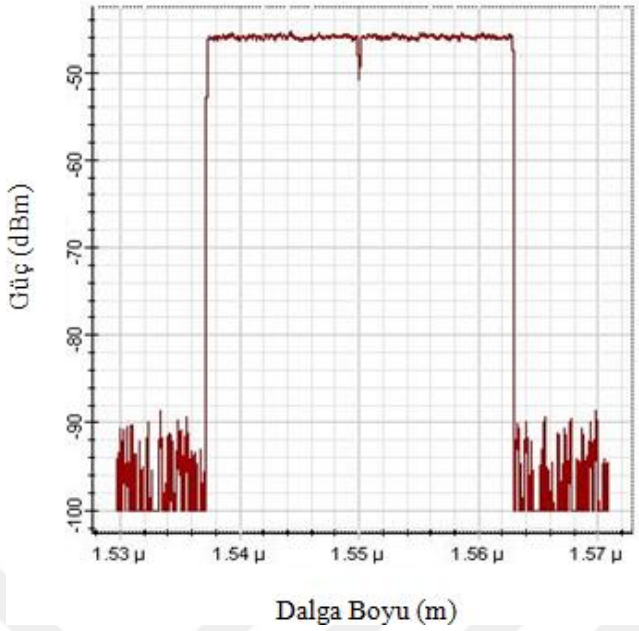
Tablo 3.1. Sıcaklık değişimi tespiti simülasyonu parametreleri

Parametre	Değer
Kaynak Dalga Boyu (nm)	1550
Kaynak Gücü (dBm)	-130
Kablo Uzunluğu (Km)	100
Kablo Dalga Boyu (nm)	1550
Kablo Zayıflaması (dB/Km)	0,25
FBG Dalga Boyu (nm)	1550
FBG Uzunluğu (mm)	10
FBG Ref. Sıcaklığı (^{o}C)	20

Optisystem simülasyonunda, WDM'de farklı sıcaklıklara karşı dalga boyunda sıcaklık artışıyla birlikte artan miktarlarda değişimlerin ve kaymaların olduğu gözlemlenmiştir. Farklı sıcaklıklarda gözlemlenen dalga boyu değerleri şekil 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5'de gösterilmiştir.

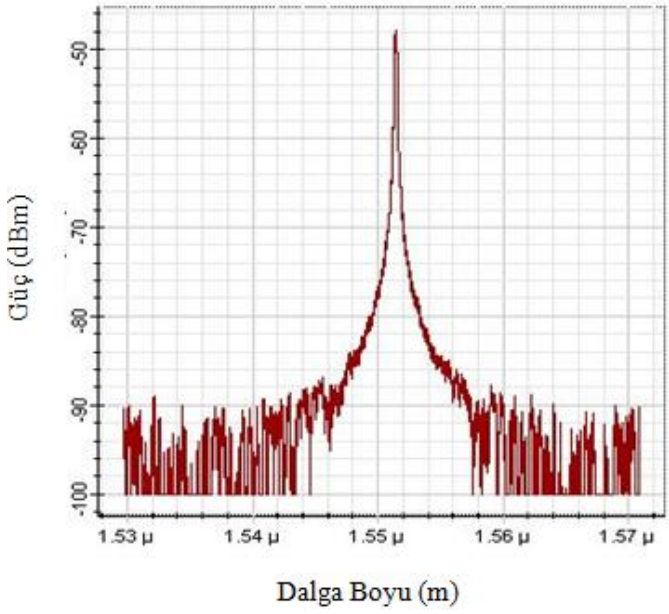


Şekil 3.2. 20°C'de yansıtılan sinyal

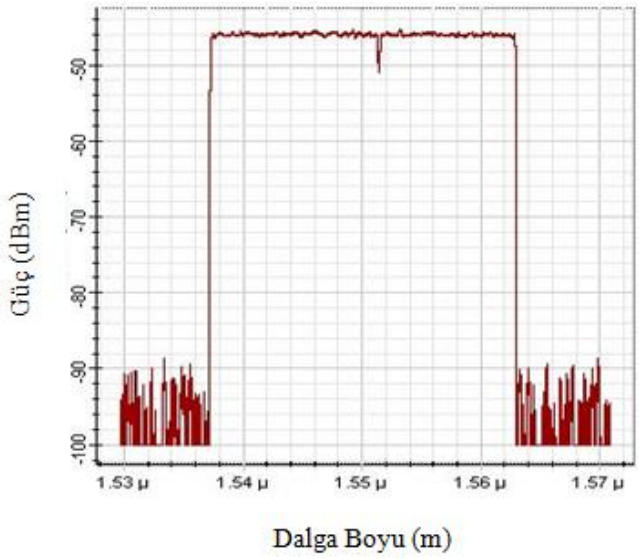


Şekil 3.3. 20°C'de iletilen sinyal

Referans olarak kabul edebileceğimiz ve oda sıcaklığına yakın bir sıcaklık değeri olan 20°C sıcaklıkta iletilen ve yansıtılan dalga boyu değerleri kaynak dalga boyu referans değeri olan 1550 nm'dir. Şekil 3.2 ve 3.3'de FBG yardımıyla alınmış olan dalga boyu değerleri bulunmaktadır. Şekillerde de görüldüğü üzere bu sıcaklıkta dalga boyunda herhangi bir kayma bulunmamaktadır.



Şekil 3.4. 120°C'de yansıtılan sinyal



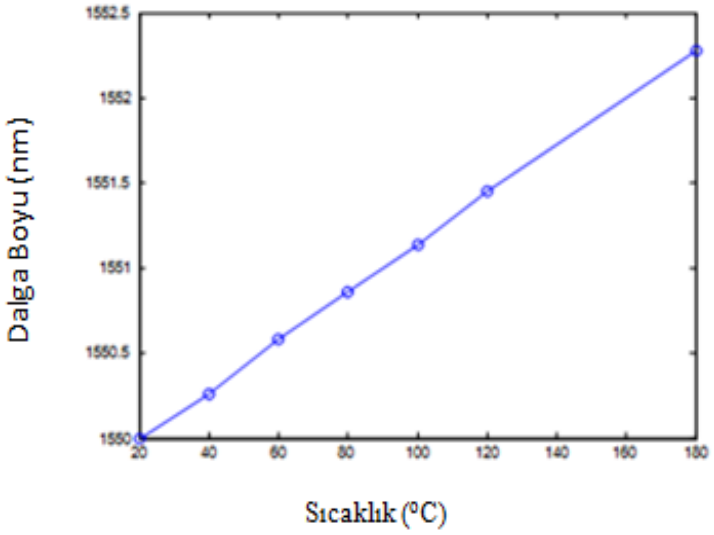
Şekil 3.5. 120°C'de iletilen sinyal

Sıcaklık değeri arttığında dalga boyunda kayma meydana geldiği Şekil 3.4 ve 3.5'de görülmektedir. Önceki şekillerde sıcaklığın oda sıcaklığına yakın değerlerde olduğunda hat dalga boyunun kaynak referans dalga boyunda olduğunu görmüştük. Burada ise sıcaklığın arttığında dalga boyunda nasıl bir kaymaya neden olduğu ve kayma miktarı görülmektedir. İki uç değer olan 20°C ve 120°C'ye ait sinyal çıktıları paylaşılmıştı ara değerlerdeki sıcaklıklarda meydana gelen kayma miktarı değerleri ise Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Sıcaklık değişimi ile dalga boyundaki kayma miktarları

Sıcaklık (^{o}C)	Dalga Boyu (nm)	Kayma Miktarı (nm)
20	1550	0
40	1550,29	0,29
60	1550,58	0,58
80	1550,84	0,84
100	1551,14	1,14
120	1551,45	1,45
180	1552,27	2,27

Tablo 3.2'de verilen değerlerle sıcaklık ile dalga boyu ilişkisini gösteren ve Matlab ile çizdirilen grafik Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Sıcaklık ile dalga boyu ilişkisi grafiği

WDM hatları genellikle omurga hatlarında kullanıldığından ve uzun mesafeli hatlar olduğundan, iki nokta arasında kablolama yeraltında sağlanır. Yeraltı kablolamanın sağlanması dış etkenlere karşı yüzde yüz koruma sağlamaz. Kablolar fiziksel koşullara göre üretilebilir, ancak dış faktörlerin tamamen kontrol altına alınmasına izin vermez. Bunların başında sıcaklık faktörü gelir. Fiber optik kablolar, optimum seviyede çalışmak için belirli dalga boylarında iletim yapmak zorundadır. Hattın sıcaklık gibi harici faktörlere maruz kalması, optimal seviyede çalışmasını önleyen dalga boyu kaymasına neden olur. Kanallar arasında çok küçük bant genişlikleri olduğundan dolayı birden fazla kanallı WDM tabanlı iletimlerde, kanalların birbiriyle çakışmasına neden olur. Bu, kanallarda taşınan verilerin bozulmasına hatta kaybolmasına yol açabilir. WDM hatlarında yüksek miktarda veri taşıma kapasitesi bulunduğundan, dalga boyundaki kaymalar önemli performans sorunlarına neden olacaktır. Bu nedenle, WDM hattındaki performans sorunlarının ön izlenmesi, veri iletimi için önemli bir noktadır.

3.1.2. WDM'de FBG yardımıyla performans iyileştirilmesi

Herhangi bir iletişim sisteminde ana amaç iletim mesafesini arttırmaktır. Kayıp ve dispersiyon, sinyal bozulmalarına neden olan ve yüksek kapasiteye sahip fiber optik iletişimi etkileyen ana faktördür. Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçler (EDFA) 1550 nm dalga bandında çalıştığı için, bu dalga bandındaki ortalama tek modlu fiber (SMF) dispersiyon değeri çok büyüktür, yaklaşık 15-20ps / (nm.km^{-1}) [46]. Dispersiyonun, bit

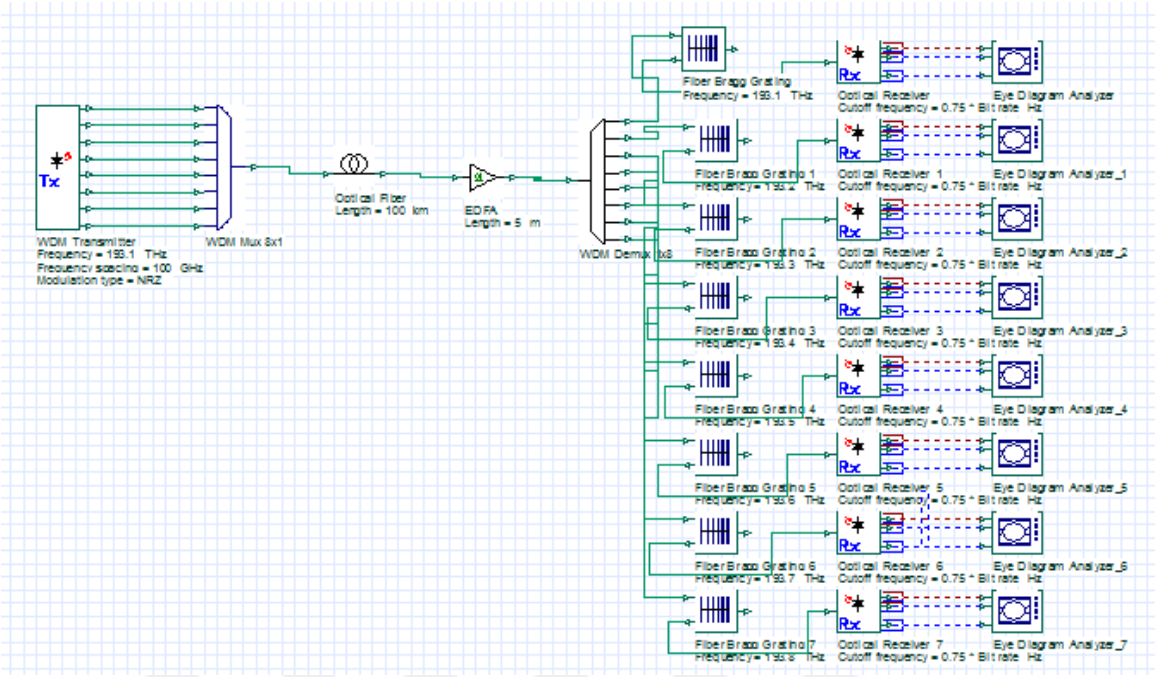
hızı arttıkça uzun mesafe fiber optik transferleri kısıtlayan ana faktör haline geldiğini görmek kolaydır [47,48].

Simülasyon devresinin verici tarafı, 1552.52nm'den 1546.91nm'ye kadar farklı dalga boylarında 8 kanallı WDM vericiden ve 0.8nm kanal aralığından oluşmaktadır. Kanal bit hızı, sıfır hat modülasyon tipine dönüşsüz (NRZ) 10 Gbps olarak kullanılmıştır. İletim uzunluğu, Sıfır olmayan dispersiyon kaydırmalı fiber (NDSF) için 0.2 dBm / Km zayıflama ile 100 km'dir. Kanal hızı 10 Gbps'tir. Simülasyon devresi bileşenlerine ait parametreler Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Simülasyon devresi bileşenlerinin parametreleri

Parametre	Tür	Değer
Fiber Uzunluk (Km)	NDSF	100
Ref. Dalga Boyu (nm)		1550
Zayıflama (dB/Km)		0,2
Dağıtım Değeri (ps/nm/Km)		16,75
Dağıtım Eğimi (ps/nm^2/Km)		0,075
Frekans (GHz)	FBG	193,1-193,8
Uzunluk (mm)		2-8
Uzunluk (m)	EDFA	5

Simülasyon devresi düzeneği Şekil 3.7'deki şekildedir.



Şekil 3.7. Simülasyon devresi düzeneği

Aynı devre düzeneği ve bileşen parametreleri kullanılarak BER ve Q-Faktör değerleri incelenmiş ve bunlara ait inceleme sonuçları sonraki sayfalarda ayrı başlıklar altında aktarılmıştır.

3.1.2.1. BER değerinin iyileştirilmesi

Daha önce paylaşılmış olan devre ve bileşen parametreleri bilgileriyle alınan BER değerleri Tablo 3.4'de verilmiştir. Bu tabloda WDM kanallarından 1-2 ve 6 için FBG'li ve FBG'siz olarak alınan değerler paylaşılmıştır.

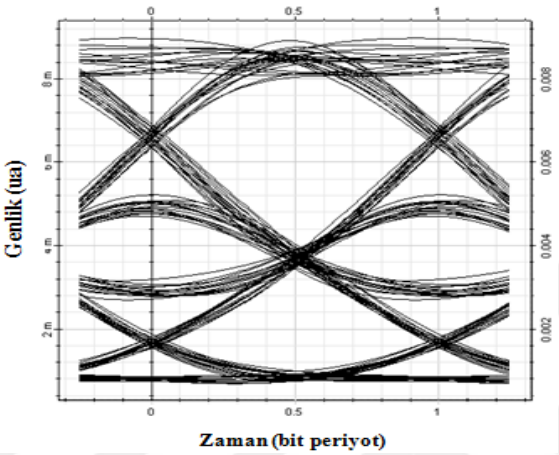
Tablo 3.4. Kanal 1-2 ve 6 için FBG'li/FBG'siz BER değerleri

Kanal	FBG'siz	2 mm FBG'li	Fark
Kanal 1	176,172	115,693	- 60,479
Kanal 2	225,88	168,024	-57,856
Kanal 6	420,215	230,954	-189,261

Daha önce Bit Hata Oranı başlığında anlatıldığı üzere BER, birim zamanda bit hatalarının sayısıdır. BER sayısının yüksek olması dolayısıyla da bit hatalarının çok olması sağlıklı bir iletişim için istenmeyen durumdur. Günlük yaşamımızda kusursuz bir iletim ortamı olmadığı için BER değeri sıfır olarak gerçekleşmemektedir. Bu durumda

önemli olan BER değerini mümkün olduğunca düşük değerlere çekebilmektir. Tablo 3.4'de görüleceği üzere sistemde FBG sensörünün kullanılması iletim performansına olumlu yönde bir katkıda bulunmakta ve BER değerinin FBG'siz bir sisteme göre daha düşük bir değer çıkmasını sağlamaktadır. Bu da hat kalitesini artırmaktadır.

Şekil 3.8'de kanal 2 için FBG'li bir sistemden alınmış göz diyagram görüntüsü paylaşılmıştır.



Şekil 3.8. Kanal 2 için FBG'li sistemden alınmış göz diyagram görüntüsü

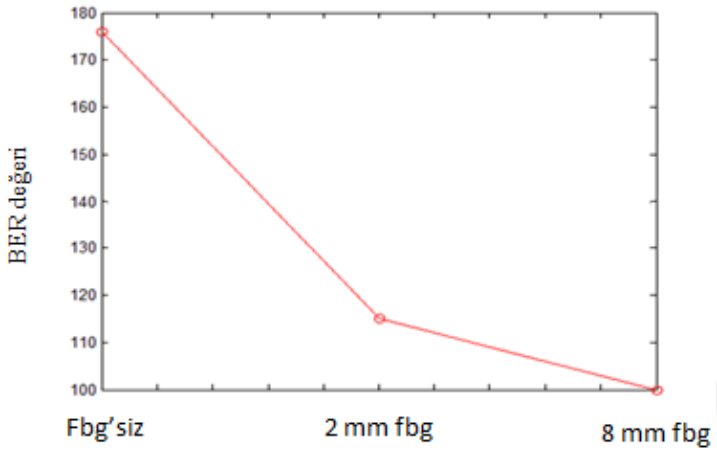
Tablo 3.4'de WDM hattında FBG kullanımının hat kalitesine olumlu yönde katkı yaptığı ve kaliteyi arttırdığı gösterilmiştir. Kullanılan FBG uzunluğunun artırılması, hat kalitesini daha da arttırarak yine olumlu yönde katkı sağlamaktadır. Tablo 3.4'de FBG uzunluğunun 2 mm olması durumunda alınan değerlerdir. Tablo 3.5'de ise FBG uzunluğunun arttırılması ile farklı uzunluklarda alınan değerler karşılaştırılarak verilmiştir.

Tablo 3.5. Kanal 1-2 ve 6 için farklı FBG uzunluklarında BER değerleri

Kanal	2 mm	8 mm	Fark
Kanal 1	115,693	100,307	-15,386
Kanal 2	168,024	115,007	-53,017
Kanal 6	230,954	199,755	-31,199

Tablodan da görüleceği üzere daha önce FBG kullanılarak arttırılmış olan hat kalitesi, FBG uzunluğunun arttırılmasıyla daha da iyileştirilmiştir.

Şekil 3.9'da BER değerlerinin değişimi Matlab ile çizdirilmiş olan grafik ile de gösterilmiştir. Grafikte gösterilen kanal 1 için FBG'siz ve 8 mm uzunluğa sahip FBG değerleri arasında yaklaşık olarak % 44'lük bir iyileştirme sağlandığı görülmektedir.



Şekil 3.9. Kanal 1 için BER değerleri

3.1.2.2. Q-Faktör değerinin iyileştirilmesi

Optik vericideki sinyalde yüksek Q-faktör değerleri bulunur fakat kablo mesafesi arttıkça bu değerlerde değişimler yaşanmaya ve baştaki değerler tersine dönmeye başlar. Bu, sinyal kalitesinin bozulmasına ve dispersiyona neden olur. FBG, Q-faktörü değerini arttırır. Böylece, hattın kalitesi arttırılmakta ve dispersiyon engellenmiş olur.

Daha önce BER için iletmiş olduğumuz durumun tersi Q-faktör için geçerlidir. Hat kalitesinin iyi olması için Q-faktör değerlerinin yüksek olması gerekmektedir

Daha önce Tablo 3.3'de paylaşılmış olan parametre bilgileriyle alınan Q-faktör değerleri Tablo 3.6'da verilmiştir. Bu tabloda WDM kanallarından 1-2 ve 6 için FBG'li ve FBG'siz olarak alınan değerler paylaşılmıştır.

. **Tablo 3.6.** Kanal 1-2 ve 6 için FBG'li/FBG'siz Q-Faktör değerleri

Kanal	FBG'siz	2 mm FBG'li	Fark
Kanal 1	3,56304	3,66454	+0,1015
Kanal 2	3,50337	3,57923	+0,07586
Kanal 6	3,33686	3,49534	+0,15848

İyi bir iletişim için Q-faktör değerinin mümkün olduğunca yüksek değerde olması gerekir. Dış etkenlerden dolayı bu değerler düşebilmektedir. FBG yardımıyla bu değerlerin yükseltilebilmesi sağlanabilmektedir. Tablo 3.6'da FBG'nin Q-faktör değerlerini artırmada olumlu katkı sağladığı değerlerdeki değişimlerden görülebilmektedir.

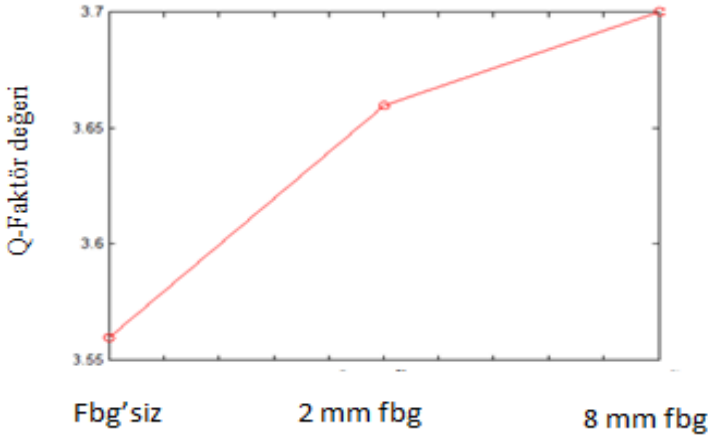
Tablo 3.6'de FBG uzunluğunun 2 mm olması durumunda alınan değerlerdir. Tablo 3.7'de ise FBG uzunluğunun arttırılması ile farklı uzunluklarda alınan değerler karşılaştırılarak verilmiştir.

Tablo 3.7. Kanal 1-2 ve 6 için farklı FBG uzunluklarında Q-Faktör değerleri

Kanal	2 mm	8 mm	Fark
Kanal 1	3,66454	3,70116	+0,03662
Kanal 2	3,57923	3,67485	+0,09562
Kanal 6	3,49534	3,53070	+0,03536

Tablodan da görüleceği üzere daha önce FBG kullanılarak arttırılmış olan hat kalitesi, FBG uzunluğunun arttırılmasıyla daha da iyileştirilmiştir.

Şekil 3.10'da Q-faktör değerlerinin değişimi Matlab ile çizdirilmiş olan grafik ile de gösterilmiştir. Grafikte gösterilen kanal 1 için FBG'siz ve 8 mm uzunluğa sahip FBG değerleri arasında yaklaşık olarak % 4'lük bir iyileştirme sağlandığı görülmektedir.



Şekil 3.10. Kanal 1 için Q-Faktör değerleri

3.1.3. Kanal hızı performanslarının FBG yardımıyla karşılaştırılması

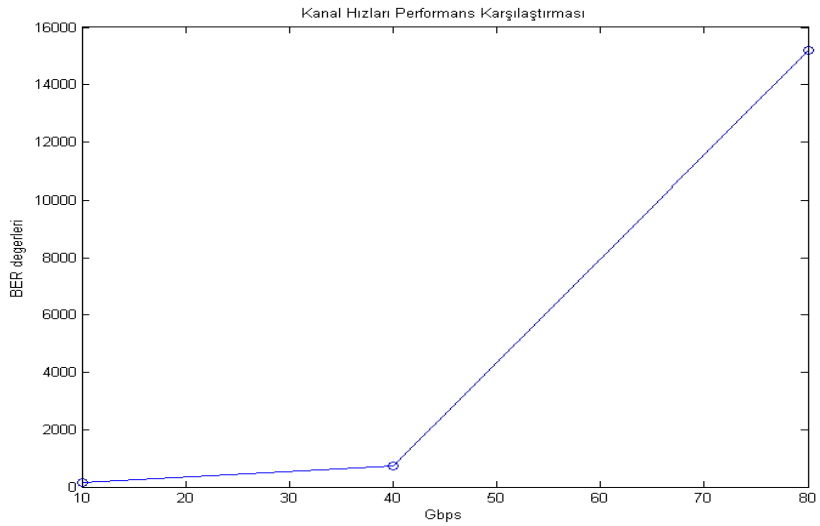
Bit hızı (Bit rate), dijital iletişimde belirli bir süre içerisinde – genelde referans olarak saniye kabul edilir- iletilen bit sayısını tanımlamaktadır. Bunu ifade eden sayılar yüksek miktarlarda olduğu için Kbps (Kilobit per second), Mbps (Megabit per second) ve Gbps(Gigabit per second) gibi terimlerle ifade edilir.

Yazıda anlatılan çalışmalar 10 Gbps hızına göre gerçekleştirilmiş ve değerler ile karşılaştırmalar buna göre gerçekleştirilmişti. FBG yardımıyla 10 Gbps ve diğer kanal hızlarında da performans değerleri alınarak bunlar birbirleriyle kıyaslanmıştır. Karşılaştırmalar 10,40 ve 80 Gbps hızları için gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.8'de bu hızlara göre kanal 2 için alınmış olan BER ve Q-faktör değerleri bulunmaktadır.

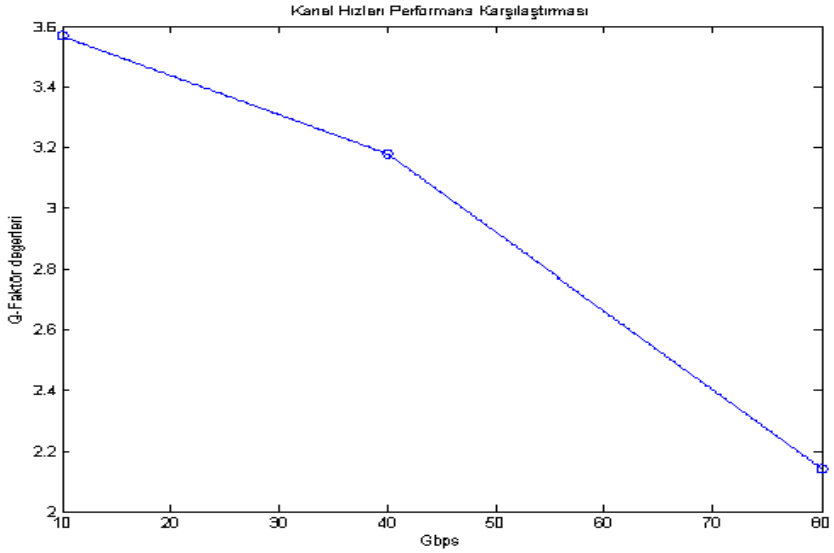
Tablo 3.8. Kanal 2'nin farklı Gbps'lerdeki BER ve Q-Faktör değerleri

Hız	BER	Q-Faktör
10 Gbps	168,024	3,57923
40 Gbps	726,601	3,18068
80 Gbps	15.269,00	2,14286

Şekil 3.11 ve 3.12'de ise 10,40 ve 80 Gbps kanal hızlarına ait BER ve Q-faktör değerlerine ait Matlab grafikleri paylaşılmıştır.



Şekil 3.11. Kanal 2'nin farklı Gbps'lerdeki BER değerleri



Şekil 3.12. Kanal 2'nin farklı Gbps'lerdeki Q-Faktör değerleri

Şekillerden de görüleceği üzere kanal hızı arttıkça hattaki BER değeri artmakta ve Q-faktör değeri azalmaktadır. Bu da hat kalitesini düşürmekte ve sağlıklı bir iletişim için istenmeyen bir durumdur. Günümüzde veri trafiği artmakta olduğu için kanal hızının arttırılması ve bu hızlarda hat kalitesinin yükseltilmesi için geliştirmeler ve ar-ge çalışmaları teknoloji şirketleri tarafından sürdürülmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen senaryolar ve alınan değerler arasında en sağlıklı veri iletimi 10 Gbps hızında olduğu görülmüştür.

3.1.4. OSNR (Optik Sinyal Gürültü Oranı) değerlerinin FBG yardımıyla performans etkisinin analizi

OSNR (Optik Sinyal-gürültü oranı), optik ortamdaki gürültü seviyesiyle iletilmek istenen optik sinyalin düzeyini karşılaştıran bir orandır. Gürültü gücünün sinyal gücüne oranı olarak tanımlanır. Genellikle desibel ile tanımlanır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada OSNR değerlerinin WDM hatta veri iletimine ne yönde etki ettiği de incelenmiştir. Tablo 3.9 ve 3.10'da farklı OSNR değerlerinde BER ve Q-faktör değerlerindeki değişim miktarları gösterilmiştir.

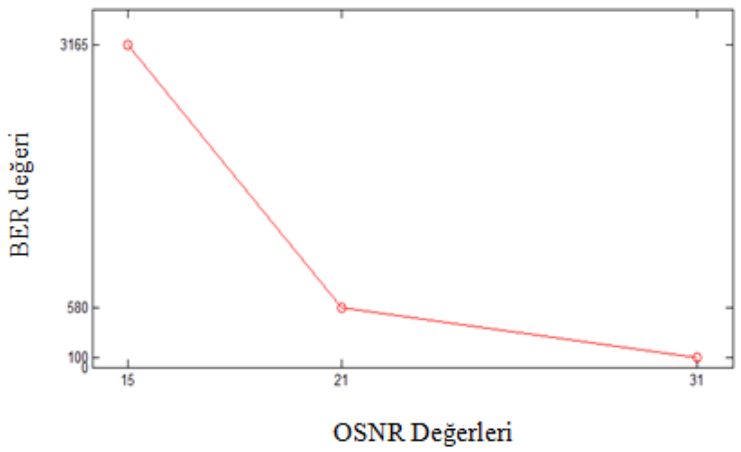
Tablo 3.9. Kanal 1-2 ve 6'nın farklı OSNR değerlerindeki BER değerleri

Kanal Sayısı	OSNR 15	OSNR 21	OSNR 31
Kanal 1	3165,22	579,166	100,307
Kanal 2	1778,00	400,633	115,007
Kanal 6	5247,80	1084,23	199,755

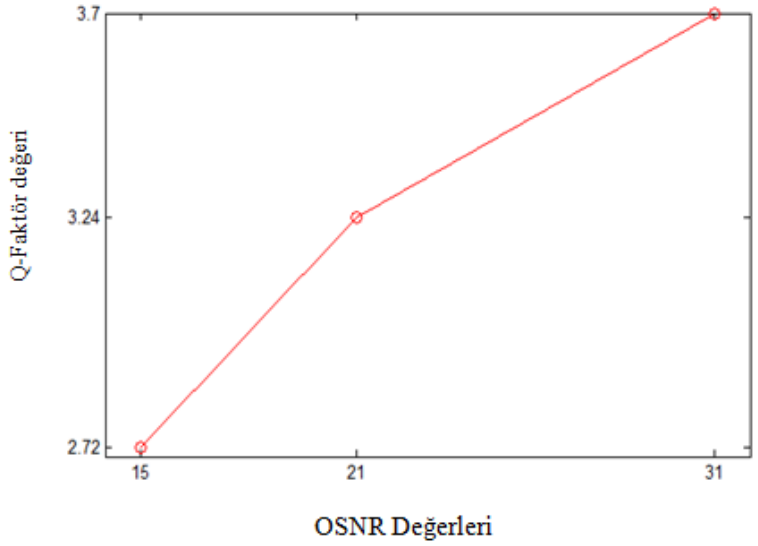
Tablo 3.10. Kanal 1-2 ve 6'nın farklı OSNR değerlerindeki Q-Faktör değerleri

Kanal Sayısı	OSNR 15	OSNR 21	OSNR 31
Kanal 1	2,72673	3,24739	3,70116
Kanal 2	2,90967	3,52040	3,67485
Kanal 6	2,55437	3,06555	3,53070

Tablolardaki değerlerle OSNR değerlerinin artmasıyla BER değerinin düşerek Q-faktör değerinin arttığı görülmüştür. Bu da WDM hat için veri iletimine olumlu yönde bir etki yapmaktadır. Kanal 1 için farklı OSNR değerlerinde elde edilmiş olan BER ve Q-faktör değerlerinin grafikleri Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'de paylaşılmıştır.



Şekil 3.13. Kanal 1'in farklı OSNR değerlerindeki BER değerleri



Şekil 3.14. Kanal 1'in farklı OSNR değerlerindeki Q-Faktör değerleri

3.1.5. AWGN (Toplamsal Beyaz Gauss Gürültü)'nin FBG yardımıyla performans etkisi analizi

Toplamsal beyaz Gauss gürültüsü (AWGN), doğada meydana gelen birçok rastlantısal sürecin etkisini taklit etmek için iletişim ortamları için kullanılan temel bir gürültü modelidir. İsminde geçen kelimelerin özellikleri aşağıdaki şekildedir:

Toplamsal olması, iletişim ortamına özgü olabilecek herhangi bir gürültüye eklenebilecek olmasından dolayı,

Beyaz olması, iletişim ortamı için frekans bandında eşit bir güce sahip olmasından ve görünür spektrumdaki tüm frekanslarda eşit yayılıma sahip beyaz renkten dolayı,

Gauss olması, zaman domaininde ortalama bir zaman alanı değeri sıfır olan normal bir dağılıma sahip olmasından dolayı.[49]

Daha önce performans iyileştirmesi yapılan devre düzeneği ideal bir WDM iletim ortamı üzerinde gerçekleştirilmiştir. AWGN kanal modelinde ise gerçekleştirilen devre düzeneğine gürültü de eklenerek performans analizi yapılarak FBG'nin WDM hattı üzerinde performans iyileştirmesine olan katkısı incelenmiştir.

AWGN kanal parametreleri Tablo 3.11'de gösterilmiştir.

Tablo 3.11. AWGN kanal parametreleri

Parametre	Değer
Frekans (Thz)	193,1-193,8
Güç (dBm)	-130
Gürültü frekansı (GHz)	10

AWGN kanal modeli ile ortama gürültü faktörü eklenmesiyle hattın OSNR oranında düşüş olması beklenir, Tablo 3.12'de ideal ortam ile AWGN kanal arasında kanal 1,2 ve 6 için OSNR değerlerindeki değişimleri gösterilmiştir. Alınan değerler beklendiği şekilde AWGN sonrası düşüş olması yönünde gerçekleşmiştir.

Tablo 3.12. İdeal ortam ile AWGN kanal için OSNR değerleri

Kanal Sayısı	İdeal Ortam	AWGN Kanal
Kanal 1	31,65	24,05
Kanal 2	31,65	24,18
Kanal 6	31,60	24,02

AWGN kanal modeline ait paylaşılmış olan parametrelerle birlikte BER ve Q-faktör değerlerinin incelenmesi ve bunlara ait inceleme sonuçları değerleri ayrı başlıklar altında aktarılmıştır.

3.1.5.1. BER değerinin incelenmesi

Daha önce paylaşılmış olan parametrelerle alınan AWGN kanal modelinin ideal ortama göre BER değerleri değişimi Tablo 3.13'de verilmiştir. Bu değerler her iki ortamda da FBG kullanılmadan alınmış olan değerlerdir.

Tablo 3.13. İdeal ortam ile AWGN'nin BER değerleri değişimi

Kanal	İdeal Ortam	AWGN	Fark
Kanal 1	176,172	1631,04	+1454,86
Kanal 2	225,88	1832,45	+1606,57
Kanal 6	420,215	1068,20	+647,98

AWGN kanal modelinde de FBG yardımıyla performans değerleri iyileştirilmesi sağlanabilmekte ve BER değerleri aşağıya çekilebilmektedir. Daha önce ideal ortamda BER değerleri paylaşılmıştı aynı şekilde AWGN'de de alınan BER değerleri sonuçları Tablo 3.14'de paylaşılmıştır.

Tablo 3.14. AWGN kanal için FBG'li/FBG'siz BER değerleri

Kanal	FBG'siz	FBG'li	Fark
Kanal 1	1631,04	1177,18	-453,86
Kanal 2	1832,45	1640,64	-191,81
Kanal 6	1068,20	657,37	-410,43

3.1.5.2. Q-Faktör değerinin incelenmesi

Daha önce paylaşılmış olan parametrelerle alınan AWGN kanal modelinin ideal ortama göre Q-Faktör değerleri değişimi Tablo 3.15'de verilmiştir. Bu değerler her iki ortamda da FBG kullanılmadan alınmış olan değerlerdir.

Tablo 3.15. İdeal ortam ile AWGN'nin Q-Faktör değerleri değişimi

Kanal	İdeal Ortam	AWGN	Fark
Kanal 1	3,56304	2,94109	-0,62195
Kanal 2	3,50337	2,85231	-0,65106
Kanal 6	3,33686	3,07057	-0,26629

AWGN kanal modelinde de FBG yardımıyla performans değerleri iyileştirilmesi sağlanarak Q-faktör değerleri yukarı çıkarılabilmektedir. AWGN'de alınan Q-faktör değerleri sonuçları Tablo 3.16'da paylaşılmıştır.

Tablo 3.16. AWGN kanal için FBG'li/FBG'siz Q-Faktör değerleri

Kanal	FBG'siz	FBG'li	Fark
Kanal 1	2,94109	3,04146	+0,10037
Kanal 2	2,85231	2,93932	+0,08701
Kanal 6	3,07057	3,21138	+0,14081

Tablolarda verilen değerlerden de anlaşılacağı üzere FBG, AWGN kanalda da ideal ortamda olduğu gibi hat üzerinde BER değerinin düşmesini Q-faktör değerini arttırarak performans iyileştirilmesine olumlu yönde katkı sunmaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, WDM hattı üzerinde çeşitli FBG uygulamaları analiz edilmiştir. İlk uygulamada, FBG sensörü sıcaklık sensörü olarak kullanılıp dalga boyundaki değişim gözlemlenmiştir. WDM hatlarında yüksek miktarda veri iletim kapasitesi olduğundan dolayı dalga boyunda yaşanacak kaymalar önemli performans sorunlarına neden olmaktadır. Bu nedenle, WDM hattındaki performans sorunlarının takip edilebilmesi, veri iletimi açısından önemli bir noktadır. FBG sensörü ile hattaki sıcaklık gibi dış etkenlerden dolayı oluşabilecek problemler tespit edilebilmekte ve karşı önlemler alınabilmektedir. Simülasyon sırasında 100 km fiber uzunluğu ve 20°C - 180°C sıcaklık aralığı kullanılmıştır. İleriki çalışmalarda FBG sensörü yardımıyla elde edilen veriler yazılım dilleriyle yazılacak program ile hat sıcaklığı devamlı takip edilebilir bir duruma getirilebilir. Sıcaklık değerinin eşik değerini geçmesi durumunda ise alarm durumu oluşturacak bir anlık izleme sistemi hayata geçirebilinir.

İkinci uygulamada, WDM'de FBG ile dispersiyon kompanzasyonu analiz edilmiştir. WDM sistemi, 1552.52nm'den 1546.91nm'ye kadar farklı dalga boylarında 8 kanal olup, kanal aralığı 0.8nm'dir. Kanal bit hızı 10Gbps'dir. Fiber kablo uzunluğu 100 km'dir. WDM hattında FBG kullanımı, BER değerini düşürerek Q faktörünü arttırır, böylece hat kalitesi arttırılmış olur. Hat kalitesinin arttırılması, veri iletiminin daha sağlıklı ve kaliteli olması açısından önemli bir noktadır.

İkinci uygulamanın sonrasında aynı devre düzeneği üzerinde farklı senaryolarla uygulamalar da gerçekleştirilmiştir. Bunlardan biri farklı kanal hızlarının BER ve Q-Faktör değerleri de ölçülmesi olmuştur. Bu yolla kanal hızları arasında hat kalitesi açısında karşılaştırılabilir bir durum oluşturulmuş ve alınan değerler doğrultusunda hangi kanal hızının iletim açısından daha stabil olduğu tespit edilmiştir. Diğer uygulamalarda ise farklı OSNR değerlerinde ve ortama AWGN kanal modeline göre gürültü eklenmesiyle hat kalitesinin nasıl etkilendiği incelenmiştir.

Gerçekleştirilen uygulamalar ile FBG sensörünün WDM hat üzerindeki etkisi yoluyla fiber teknolojisine olan katkısı incelenmiştir. FBG sensörünün, fiber altyapısını iyileştirmek ve veri iletimini hızlandırmak açısından önemli bir bileşen olduğu görülmüştür. FBG sensöründen yararlanılarak daha farklı teknolojilerin geliştirilmesi veya var olan teknolojinin ilerletilmesi, veri aktarım hızı ile birlikte kalitenin daha da

artırılabilmesini sağlayacaktır. WDM de veri transfer hızı ve miktarının artması konusunda önemli katkı sunmakta ve günümüzde kullanılan internet hızlarının ve kalitenin artmasında etkileri bulunmaktadır. Bu konuda WDM ile FBG alanları teknik ve bilimsel gelişime açıktır.

KAYNAKLAR

[1] Karaman L, "Fiber Bragg IzgraTabanlı Optik Sensörlerin Analizi", Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.

[2] M. S. Islam and S. P. Majumder, “Bit error rate & cross talk performance in optical cross connect with wavelength converter,” J. Optical Networking, vol. 6, no. 3, pp. 295–303, March 2007.

[3] Coskun S., 2009, Sıcaklık ve EKG Takibi için Fiber Optik Izgara Sensör Ağı Tasarımı, Ege Üniversitesi ,Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

[4] N. Fatma GÜLER, İsa NAVRUZ, Optik Haberleşme Sistemlerinde Dispersiyon Kompanzasyonunda Optik Izgara Tabanlı Çözümler, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. , Cilt 21, No 1, 129-136, 2006

[5] Özcan H.İ. , 2014, Fiber Bragg Izgara (FBG) Sensör Tabanlı Fiber Optik izleme Sistemleri Tasarımı, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

[6] Varol H.S. , Yağımlı M. , (2008), Optoelektronik ve Fiber Optik , Beta Basım , İstanbul

[7] M. Tosson, W.S.El-Deeb, A.E. Abdelnaiem, "Dispersion Compensation Techniques for DWDM Optical Networks", International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 4, Issue 8, August 2015

[8] G. Singh, S. Devra, K. Singh, "Performance Evaluation of DCF and FBG in a WDM System With Eigth Channels in Term of Quality Factor", International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, Singh et al.,5,May 2016

[9] T. Panda, R.K. Mishra, S. Shikarwar, P. Ray, "Performance Analysis and Comperation of Dispersion Compensation using FBG and DCF in DWDM System", International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, JIRASET, ISSN: 2321-9653, 2017

[10] H. Jiang, J.Chen, T. Liu, W. Huang "A Novel Wavelength Detection Technique of Overlpping Spectra in the Serial WDM FBG Sensor Network", Sensors and Actuators A 198, 31-34, 2013

[11] N. Zeng, C.Z. Shi, C.C. Chan, M. Zhang, X.Y. Dong, Y.B. Liao, S.R. Lai, "Enhancement of the measurement range of FBG sensors in a WDM network: a self-organizing network solution", Sensors and Actuators A 118, 233-237, 2005

[12] Z. Luo, H. Wen, H. Guo, M. Yang, "A time- and wavelength-division multiplexing sensor network with ultra-weak fiber Bragg gratings", OPTICS EXPRESS, Vol.21, No.19, 2013

[13] S. Udoh, J. Njuguma, R. Prabhu, "Modelling and Simulation of Fiber Bragg Grating Characterization for Oil and Gas Sensing Applications", 2014 First International Conference on Systems Informatics, Modelling and Simulation, 2014

[14] G. Gopalakrishnan, I.M. Serene, R. Jacob, G. Amit, S.K. Sudheer, Z.C. Alex, S. Abraham, S.M. Hardas, A.R. Krishnan, "Fiber Bragg Grating based temperature and strain sensor simulation for biomedical applications", OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS – RAPID COMMUNICATIONS, Vol.2, No.1, January 2008

[15] O.O. Olowo, A. Abdulkareem, "Modelling and Analysis of Powerline Temperature Surveillance with Optisystem Simulation", The International Journal of Engineering and Science,IJES,Volume.6, Issue.8, 14-20, 2017

[16] https://www.cisco.com/c/dam/global/de_at/assets/docs/dwdm.pdf , Erişim Tarihi: 17.04.2018

[17] B. Mukherjee, "Optical WDM Networks", XLIV, 956 p. 353 illus., 2006

[18] http://e.huawei.com/tr/products/fixed-network/transport/wdm/osn-8800 , Erişim Tarihi: 17.04.2018

[19] C.S. ou, B. Mukherjee, "Survivable Optical WDM Networks", XXVI, 182 p., 2005

[20] B. Mukherjee, H. Zang, "Optical WDM NetworksPrinciples and Practice", XII, 352 p., 2002

[21] S. Melle, F. Diner, C.P. Pfistner, "Amplifier and multiplexing technologies expand network capacity", Lightwave Magazine, pages 42–46, 1995

[22] https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength-division_multiplexing, Erişim Tarihi: 16.04.2018

[23] http://www.fiber-optic-components.com/differences-between-cwdm-and-dwdm-2.html, Erişim Tarihi: 18.04.2018

[24] M.M. Werneck, R.C.S.B. Allil,B.A. Ribeiro, F.V.B. Nazare, "A Guide to Fiber Bragg Grating Sensors", http://dx.doi.org/10.5772/54682, Chapter 1, 2013, Erişim Tarihi: 23.04.2018.

[25] https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_Bragg_grating, Erişim Tarihi: 23.04.2018

[26] https://tr.wikipedia.org/wiki/William_Lawrence_Bragg, Erişim Tarihi: 23.04.2018

[27] Hill, K. O. ve Meltz, G., "Fiber Bragg Grating Technology Fundamentals and Overview", J. Lightwave Technology, 15(8):1263-1276, 1997.

[28] E. Akyıldız, "WDM'in temelleri ve dispersiyon analizi", Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2013

[29] İ. Navruz, "Uzun Mesafeli ve Yüksek Hızlı Fiberoptik Haberleşme Sistemlerinde Optik Izgara Tabanlı Dispersiyon Kompanzasyonu", Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006

[30] T. Erdoğan, "Fiber Grating Spectra", J. Lightwave Technology, 15(8) , 1277-1294, 1997

[31] Y. Zhao, Y. Liao, "Discrimination methods and demodulation techniques for fiber Bragg grating sensors", Optics and Lasers in Engineering, 41, 1-18, 2004.

[32] S.J. Mihailov, "Fiber Bragg Grating Sensors for Harsh Environments", Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), Sensors, 12(2), 1898-1918, 2012

[33] Kersey, A.D.; Davis, M.A.; Patrick, H.J.; LeBlanc, M.; Koo, K.P.; Askins, C.G.; Putnam, M.A.; Friebele, E.J. Fiber grating sensors. J. Lightwave Technol. 1997, 15, 1442–1463.

[34] Optisystem, Optiwave, "OptiSystem Getting Started", https://optiwave.com/resources/applications-resources/optical-system-lesson-1-transmitter-external-modulated-laser, Erişim Tarihi: 27.04.2018

[35] https://www.mathworks.com/products/connections/product_detail/optisystem.html, Erişim Tarihi: 27.04.2018

[36] https://en.wikipedia.org/wiki/Bit_error_rate , Erişim Tarihi: 01.05.2018

[37] G. Breed, "Bit Error Rate: Fundamental Concepts and Measurement Issues", High Frequency Electronics, 2003 Summit TechnicalMedia, LLC, 2003

[38] http://www.sharetechnote.com/html/Handbook_Communication_BER.html , Erişim Tarihi: 01.05.2018

[39] Maxim Integrated, "Optical Signal-to-Noise Ratio and the Q-Factor in Fiber-Optic Communication Systems", Application Note HFAN-9.0.2 (Rev.1; 04/08)

[40] https://www.slideshare.net/sanmap/what-is-q-factor , Erişim Tarihi: 02.05.2018

[41] http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=30886&seqNum=5 , Erişim Tarihi: 02.05.2018

[42] http://support.huawei.com/onlinetoolsweb/resources/en/16_osnr.html , Erişim Tarihi: 02.05.2018

[43] T. Ivaniga, P. Ivaniga, "Evaluation of the bit error rate and Q-factor in optical networks", IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE), e-ISSN: 2278-2834,p- ISSN: 2278-8735.Volume 9, Issue 6, Ver. I (Nov - Dec. 2014), PP 01-03

[44] https://www.edn.com/design/test-and-measurement/4389368/Eye-Diagram-Basics-Reading-and-applying-eye-diagrams , Erişim Tarihi: 03.05.2018

[45] http://na.support.keysight.com/plts/help/WebHelp2015/Analyzing/Analyzing_Data_using_Eye_Diagrams.html , Erişim Tarihi: 03.05.2018

[46] Amin Mohammad. Amin. Dallaali, "Malin Premaratne Power and dispersion constrained optimization of optical links with unequally spaced repeater modules", Optical Fiber Technology, Vol 13, No 4, pp.309-317, October. 2007

[47] Bo-ning HU, Wang Jing, Wang Wei and Rui-mei Zhao, "Analysis on Dispersion Compensation with DCF based on Optisystem", 2nd International Conference on Industrial and Information Systems, 2010

[48] Zou X Y, Hayee M I, H wang S M, et al. Limitations in 10Gb/s WDM optical-fiber transmission when using a variety of fiber types to manage dispersion and nonlinearities[J]. Lightwave Technol., PP: 1144-1152,June,1996

[49] https://en.wikipedia.org/wiki/Additive_white_Gaussian_noise , Erişim Tarihi: 13.06.2018

[50] http://websitem.karatekin.edu.tr/user_files/emreozdemirci/files/sembol-ve-anlamlari.pdf , Erişim Tarihi: 18.06.2018

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Kütahya/Gediz'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2007 yılında Haydarpaşa Anadolu Meslek Lisesi'nden mezun oldu. Lisans eğitimini 2008 yılında başladığı Marmara Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Öğretmenliği'nden 2013 yılında mezun olarak tamamladı. Yüksek lisans eğitimine 2015 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde başlayarak halen eğitimine devam etmektedir. Çalışma hayatına Barikat İnternet Güvenliği şirketinde Yönetilen Güvenlik Servisleri Uzmanı olarak devam etmektedir.