T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİBER OPTİK SİSTEMLERİNDE OPTİMİZASYON VE ALICI-VERİCİ YAPILARIN ANALİZİ

MEHMET KARABULUT

DANIŞMAN
PROF. DR. FIRAT KAÇAR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 14.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Prof. Dr. Fırat KAÇAR
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Yasin ÖZÇELEP
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Dr.Öğr.Üyesi Muhammed Emin BAŞAK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında sahip olduğu bilgi birikimiyle, bilimsel eleştiri ve yönlendirmeleriyle en büyük katkıyı sağlayan çok değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Fırat KAÇAR'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, hayatımın her anında olduğu gibi Yüksek Lisans eğitimim süresince de desteğini bir an olsun eksik etmeyen ve her daim yanımda duran sevgili eşime ve aileme çok teşekkür ederim.

Mayıs 2019 Mehmet KARABULUT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
TABLO LİSTESİ ..... **xi**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xiii**
SUMMARY ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
1.1 HABERLEŞME NEDİR ve İLGİLİ KAVRAMLAR……..…….1
1.2 FİBER OPTİĞE GENEL BAKIŞ VE TARİHÇESİ…….2
1.3 TEZİN AMACI…….3
2. GENEL KISIMLAR **4**
2.1 VERİ İLETİM ORTAMLARI……..4
2.1.1 Bakır Teller……...4
2.1.2 Optik Lifler……..……...…..5
2.1.3 Radyo Dalgaları…….....6
2.1.4 Haberleşme Uyduları…….....…6
2.1.5 Mikrodalga……...…….8
2.1.6 Kızılötesi Dalgalar……8
2.2 FİBER OPTİK NEDİR?.....8
2.2.1 F/O Kablonun Avantajları……9
2.3 FİBER OPTİKTE YANSIMA VE KIRILMA……...10
2.3.1 Işık Yayınım Hızı……10
2.3.2 Işığın Fiber Optikte Yansıması……...10
2.3.3 Yayınım Modu……10
2.3.4 Kırılma…….....……10
2.4 FİBERİN YAPISI…….....11
2.4.1 Tek Modlu Fiber…….…12

2.4.2 Çok Modlu Fiber…….…..13
2.4.3 Çok Modlu Dereceli İndisli Fiber……...….14
2.5 F/O KABLO ÇEŞİTLERİ ve KULLANIM ALANLARI…….…...…15
2.5.1 Yeraltı F/O Kablolar…….…….15
2.5.2 Havai F/O Kablolar……...……...16
2.5.3 Denizaltı F/O Kablolar……...17
2.5.4 Opgw F/O Kablolar…….…..…20
2.5.5 Ribbon (Şerit) F/O Kablolar……...…..21
2.6 F/O KABLODA İLETİM BOZULMASI……...…...21
2.6.1 Zayıflama ……..……..……..21
2.6.2 Kayıplar…….……..22
2.6.2.1 Soğurma Kayıpları…… 23
2.6.2.2 Rayleigh Kayıpları…….....23
2.6.2.3 Kilometrik Kayıplar…….....24
2.6.2.4 Çevresel Etkenli Oluşan Kayıplar…….....24
2.6.2.5 Bağlantı Kayıpları…….....24
2.7 SAÇILMA (DİSPERSİYON)……...…….....27
2.7.1 Malzeme Dispersiyonu……..…….....28
2.7.2 Dalga Klavuzu Dispersiyonu…….…….....28
2.7.3 Modal Dispersiyonu……..……..….29
3. MALZEME VE YÖNTEM……...30
3.1 F/O KABLODA ÖLÇÜ CİHAZLARI…….....30
3.1.1 OTDR (Optik zaman bölücü kırılım ölçer)…….……...….30
3.1.2 Powermetre (Güç ölçer)…..……..…..31
3.1.3 Işık Kaynağı-Powermetre…….....31
3.2 DWDM SİSTEMLERİ…….....31
3.2.1 DWDM (Yoğun dalgaboyu bölmeli çoğullama) Nedir?.....31
3.2.2 Dwdm'in Gelişimi…….....32
3.2.3 Dwdm Teknolojisinin Avantajları…….....33
3.2.4 WDM (Dalgaboyu bölmeli çoğullama) - TDM (Zaman bölmeli çoğullama) Karşılaştırılması……...…….....36
3.3 ALICI-VERİCİ YAPILAR ve KUVVETLENDİRİCİLER.....39
3.3.1 Yarıiletken Optik Yükselteçler…….....40

3.3.1.1 Fiber Raman Yükselteçler……..41
3.3.1.2 Fiber Brillouin Yükselteçler……..41
3.3.1.3 Erbiyum Katkili Yükselteçler……..42
3.3.2 Optik Yükselteçlerin Karşilştirilmasi…….44
4. BULGULAR…….45
4.1 OPTİMİZASYON VE SİMÜLASYON…….45
4.1.1 F/O Kablo Sistemlerinde Optimizasyon……..……. 45
4.1.2 Sistemden F/O Kablo Hattina Geçiş Aşamaları…….46
4.2 KANAL VE LİNK BAZLI ZAYIFLAMA GİDERME……..……47
4.2.1 Kanal Bazlı Optimizasyon Amacı……. 49
4.2.2 Link Bazlı Optimizasyon Amacı……..…..……...51
4.3 SİMÜLASYON ÇALIŞMASI……53
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 59
KAYNAKLAR.....65
ÖZGEÇMİŞ 68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 : Temel haberleşme sisteminin blok şeması……..…..1
Şekil 1.2 : Fiber optikle ilgili ilk çalışmalar……3
Şekil 2.1 : Bakır kablo ve koaksiyel kablo…….....4
Şekil 2.2 :Fiber optik lifleri görünümü……..…5
Şekil 2.3 :Radyo istasyonları……..…....6
Şekil 2.4 :Uydu haberleşmesi…….....7
Şekil 2.5 : Yayınım modları…….….10
Şekil 2.6 : Işığın kırılması …….…..11
Şekil 2.7 : Prizmatik kırılma…….....11
Şekil 2.8 : Fiber optik kablonun üstten görünümü..…… ……..…....11
Şekil 2.9 : Fiberin bölümleri…….....12
Şekil 2.10 : Fiber tipleri…….....14
Şekil 2.11 :Tipik yeraltı f/o kablolar……..….15
Şekil 2.12 :Havai f/o kablolar……...…..16
Şekil 2.13 : Dünyada denizaltı f/o kablo haritası…….……..17
Şekil 2.14 : OPGW kablolar……..….20
Şekil 2.15 : Şerit f/o kablo……..……....21
Şekil 2.16 : Kayıplara sebep olan etkenler…….....23
Şekil 2.17 : Rayleigh saçılması…….…....23
Şekil 2.18 : Fiber bağlantı (Füzyon) eki gösterimi…….…...25
Şekil 2.19 : Konnektör …….….26
Şekil 2.20 : Işığın temiz ve kirli ortamda iletimi……...27
Şekil 3.1 : OTDR cihazı……...…...30
Şekil 3.2 : DWDM çalışma prensibi prizma örneği……..…….....32
Şekil 3.3 : Optik sistemler ve gelişimi……..…….....33
Şekil 3.4 : DWDM le taşıma kapasitesi……...34
Şekil 3.5 : Huawei 100 GE DWDM transmisyon sistemleri görünümü……..35
Şekil 3.6 : Sinyalin DWDM teknolojisiyle taşınma aşaması……...35
Şekil 3.7 : Tek yönlü DWDM……..36
Şekil 3.8 : Çift yönlü DWDM……....……..36
Şekil 3.9 : DWDM Sistemi……..……37
Şekil 3.10 : TDM-DWDM karşılaştırılması……..……38
Şekil 3.11 : EDFA çalışma şeması……....43

Şekil 4.1 : Sinyalin sistemdeki kartlar arası geçişi……..….47
Şekil 4.2 : Flatness'i bozulmuş kanalların simülasyonu…….……..54
Şekil 4.3 : Bozulmuş kanalların değerleri……. ……..…….55
Şekil 4.4 : Kanal bazlı optimizasyon sonucu elde edilen simülasyon…… ……56
Şekil 4.5 : Kanal bazlı optimizasyon sonucu elde edilen kanal değerleri…….57
Şekil 4.6 : Link bazlı optimizasyon sonucu elde edilen simülasyon……..…..58
Şekil 4.7 : Optimizasyon sonucu elde edilen hata oranları……..…….58

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1 : Kilometrik kayıp değerleri…….....23
Tablo 2.2 : Splitter bölme kayıp değerleri……..…....24
Tablo 4.1 : Acıbadem-İncesu arası link değerleri…….....45
Tablo 4.2 : Düzce-Bolu arası hat zayıflama değerleri……...….47
Tablo 4.3 : Acıbadem-Gebze arası zayıflama değerleri…….…….....48
Tablo 4.4 : Fiber onarım sonrası değerler…….....48
Tablo 4.5 : Patch cord değişimi sonrası hattın son hali……..49

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
f	: Frekans
λ	: Dalga Boyu
c	: Işık Hızı
µm	: Mikrometre
µs	: Mikrosaniye
w	: Güç
nm	: Nanometre
w_j	: Resonans Frekansı
B_j	: Osilatör Gücü
n(w)	: Kırılma İndisi
B(Gb/s)	: Bit Oranı
D(ps/nm/km)	: Dispersiyon Parametresi
L_D	: Dispersiyon Uzunluğu
N	: Kanal Sayısı

Kısaltmalar	Açıklama
F/O	: Fiber Optik
E/O	: Elektiksel-Optik Dönüşümü
O/E	: Optik-Elektriksel Dönüşümü
SM	: Tekli Mod
MM	: Çoklu Mod
EM	: Elektromanyetik
RF	: Radyo Frekans
VLF	: Çok Düşük Frekans
LF	: Düşük Frekans
MF	: Orta Frekans
HF	: Yüksek Frekans
MUX	: Optik Çoğullayıcı

DEMUX : Optik Ayrıştırıcı

ADM : Ekle-Çıkar Çoğullayıcı

WDM : Dalga Boyu Bölmeli Çoğullayıcı

DWDM : Yoğun Dalga Boyu Bölmeli Çoğullayıcı

TDM : Zaman Bölmeli Çoğullayıcı

SNR : İşaret-Gürültü Oranı

OSNR : Optik İşaret-Gürültü Oranı

OA : Optik Yükselteç

ASE : Güçlendirilmiş Anlık Emisyon Gürültü

CD : Kromatik Saçınım

DB : Desibel

DCM : Saçınım Dengeleme Modülü

DCF : Saçınım Dengeleme Fiberi

ISI : Semboller Arası Karışım

BER : Bit Hata Oranı

FEC : İleri Hata Düzeltme Oranı

ES : Hatalı Saniye

EFS : Hatasız Saniye

SES : Şiddetli Hata

NSES : Şiddetli Hata Değil

RA : Raman Yükselteç

BA : Brillouin Yükselteç

SOA : Yarıiletken Lazer Yükselteç

EDFA : Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteç

SRS : Raman Saçılması

SBS :Brillouin Saçılması

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİBER OPTİK SİSTEMLERİNDE OPTİMİZASYON VE ALICI-VERİCİ YAPILARIN ANALİZİ

Mehmet KARABULUT

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Fırat KAÇAR

Son yıllarda fiber optik sistemleri ve sistem bileşenleri üzerinde yapılan çalışma uygulamaları hızla artmaktadır. Fiber optik sistemler daha düşük iletim kaybı, daha düşük maliyet ve yüksek performans sağlamaktadır.

Optik haberleşme sistemlerinde optik sinyallerde minimum kayıp ve en az seviyede gürültü iletmek çok önemlidir. Bununla birlikte iletim sırasında her zaman problem olan zayıflama ve kayıplar meydana gelebilir. Problemleri gidermek adına link bazlı ve kanal bazlı çalışma yapılır. Bu durumda link bazlı zayıflama kanal bazlı zayıflamaya göre daha kolaydır. Çünkü link bazlı zayıflamalarda genelde tüm kanallar etkilenir. Bu yüzden zayıflamanın kaynağı fiber optik kablo hattı veya sistemdeki kart problemlerinden kaynaklanabilmektedir. Kanal bazlı zayıflamalarda ise bir kaç kanalın sorunlu çalışmasıdır. Bunun iyileştirilmesi daha zordur. Bu yüzden problemli kanallar optimize edilerek düzeltilmeye çalışılır.

Tezin başlıca amacı; Fiber optikte temel alıcı-verici yapılar, hat zayıflamalarının nasıl giderildiği, kanal bazlı optimizasyon yapıldığı ve aşamaları simülasyonla gösterilmiştir. Tüm simülasyon sonuçları elde edilen veriler tezin son kısmında yorumlanarak değerlendirilmiştir.

Mayıs 2019, 68 sayfa.

Anahtar kelimeler: Fiber Optik, Optimizasyon, Zayıflama

SUMMARY

M.Sc. THESIS

OPTIMIZATION OF FIBER OPTIC SYSTEMS AND ANALYSIS OF RECEVIER-TRANSMITTER STRUCTURES

Mehmet KARABULUT

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Fırat KAÇAR

In recent years, the study and practice on optical fiber systems and system components are rapidly in creased because of optic systems have lower transmission loss, smaller design, lower costs and high performance.

In optical communication systems, it is very important to transmit optical signals with minimum loss and noise. However, attenuation and distortion occur during transmission, which has always been a problem. In this case, link-based attenuation is easier because the channel-based attenuation problem is a more difficult problem in identifying the problems.

The main aim of my dissertation is; how to troubleshoot more of the problems with transducer structures, how to eliminate line attenuation, what elements are arranged in the optimization results, and channel-level optimization, Simulation models are designed using Hubble optimization program. All simulation results and obtained data were evaluated by interpreting the last part of the thesis.

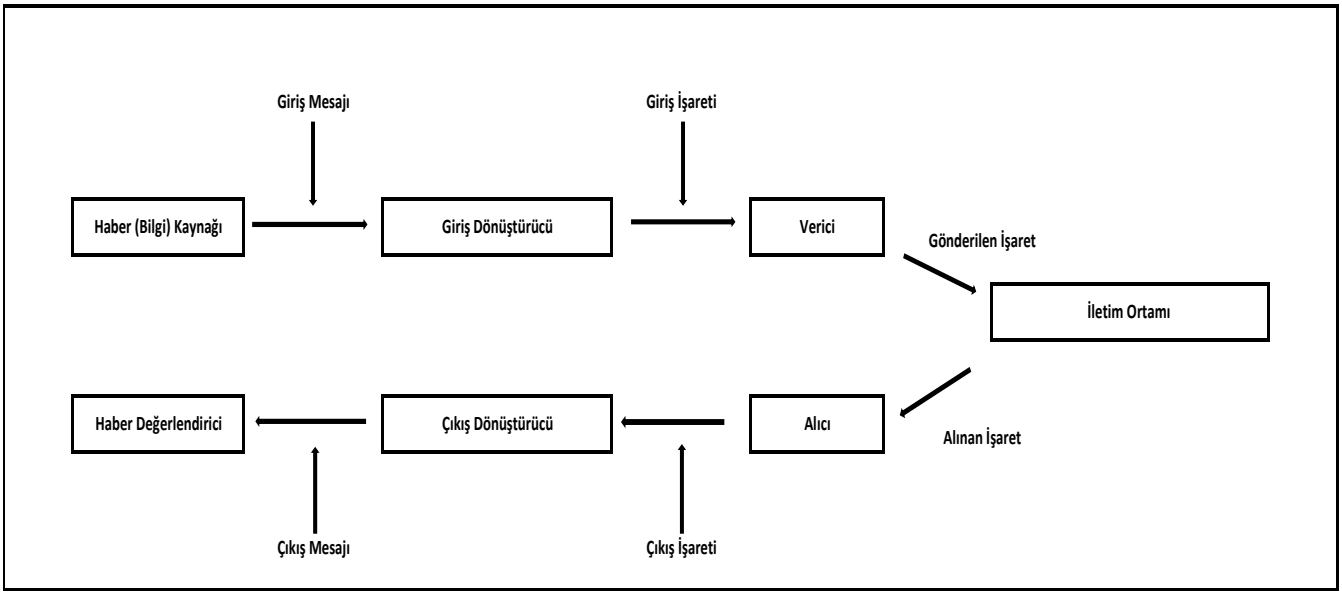
May 2019, 68 pages.

Keywords: Fiber Optic, Optimization, Attenuation

1. GİRİŞ

1.1. HABERLEŞME NEDİR VE İLGİLİ KAVRAMLAR

Haberleşme; Ses, görüntü, veri, video gibi sinyallerin veya bilgilerin bir noktadan diğer bir noktaya yüksek kalitede ve güvenli bir biçimde iletilmesidir. Haberleşme sistemi; verici, iletim ortamı ve alıcı olmak üzere üç ana unsurdan oluşur. Haberleşmenin amacı; iletilmek istenen bilgileri seçilen ortamda (bakır tel, koaksiyonel kablo, fiber optik kablo, uzay gibi) yayılabilcek bir taşıyıcı üzerine bindirilmesi modülasyon (verici) işlemidir. Bu bilgi iletim hattı üzerinden gelen modüleli sinyali ayrıştırarak tekrar bilgiye dönüştürülmesi ise demodülasyon (alıcı) işlemidir. İlk bilgi akışı, Mors kodları ile insan sesinin elektriksel olarak iletilmesidir. Daha sonra insanların ihtiyaçlarına göre televizyon, radyo, radar ve diğer haberleşme sistemleri bulunmuş ve daha da geliştirilerek insanlığın hizmetine sunulmuştur. Haberleşme cinsine ve iletişim türüne bağlı olarak değişiklik gösterse de bir bilginin bir yerden alınıp diğer bir yere aktarımı için kullanılacak haberleşme sistemi temel olarak Şekil-1'deki blok diyagramı ile gösterilmiştir[1].



Şekil 1.1: Temel haberleşme sisteminin blok şeması

1.2. FİBER OPTİĞE GENEL BAKIŞ VE TARİHÇESİ

1920 den bu yana fiber optik bilinen bir eleman olarak ortaya çıkmış olsada ilk uygulamaları son 20-25 yıl içinde kendini göstermiştir.İlk ticari uygulaması tıp alanında olmuştur.Fiber optik kablo, ışığı vücuda cerrahi müdahale olmaksızın ulaşılamayan bölgelerine iletmekte ve oranın görüntüsünün elde edilmesinde kullanılmıştır. Yakın bir geçmişte ise lazer tedavisinde kullanılmaya başlanılmıştır.Aynı zamanda fiberle asıl haberleşme alanında büyük değişiklikler ve gelişmeler meydana getirmiştir.Uzak mesafelerde kalın ve çok damarlı telefon kabloları yerine geniş bir bant aralığına sahip tek bir fiber optik koblo yeterli olmuştur.

Fiber kablonun tarihsel gelişimine bakılacak olursa;
*Tarih 1870 yılını gösterdiğinde John Tyndall, akarsularda tam yansımadan faydanılarak ışık iletiminin yapılabilirliğini gösterdi.

*1880 de Alexander Graham Bell photophone isimli bir cihaz icat ederek sesi ışık dalgaları üzerinden iletmeyi başardı.

*1958 de Laser'in bulunması. Bu buluş nobel ödülünü getirmiştir.

*1966 yılında Charles Kao cam fiberin ışık kılavuzu olarak kullanılabileceği ispatladı.

*1970 de Corning Glass Works'de Kapron Keck ve Maurer trafından 633nm λ (dalgaboyu) da 17 dB/km kayba sahip fiber optik geliştirdi ve üretti.

*1980 lerde ışık dalgalarıyla haberleşme ortaya çıktı.

*1983 de tek modlu fiber kablo üretildi.

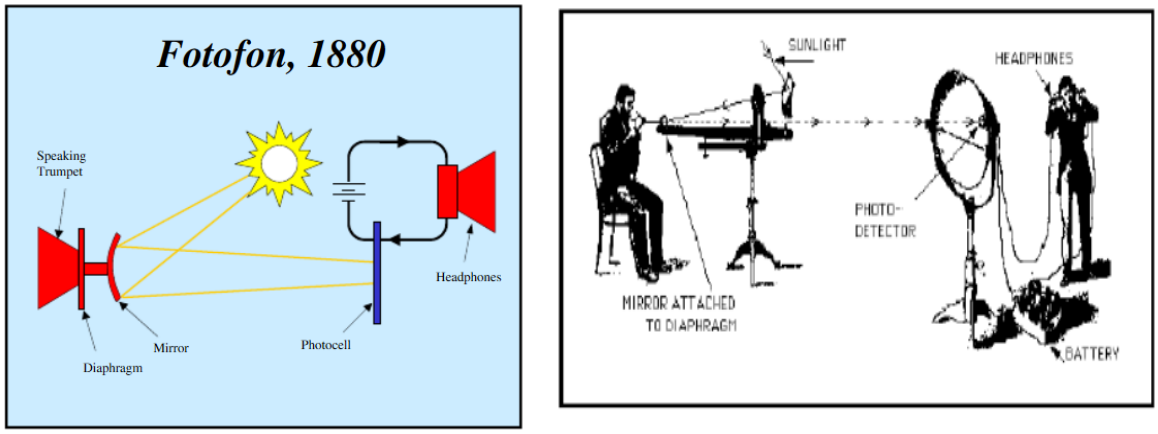
*1987 yılında optik liflerdeki zayıflama 0.20 dB/km değerine kadar düşürüldü.

*1990 yılında, aynı fiber lifi üzerinden birden fazla λ (dalgaboyun) da iletim sağlandı.

*1997 da, 40 Gb/sn'lik hızla 300 km'lik fiber üretildi.

*2000 yıllarında ise tek fiber üzerinden Tbit/s iletim hızlarına ulaşıldı.

Son yıllarda elektronik iletişime olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Radyolinkler, bakır tel veya koaksiyonel kablolar ile uydu haberleşmesi bu artan taleplere geçici çözüm getirmektedir. Ancak yeteri kadar bant genişliği ve hız elde edilememiştir. Yüksek kalitede ve hızda hizmet sağlamak için ışık kaynağının kullanıldığı fiber optik sistemeler bu ihtiyaçları karşılayabildiği için hızlı bir şekilde yaygınlaşmaktadır [3,4,5].



Şekil 1.2: Fiber Optikle ilgili ilk çalışmalar [41]

1.3. TEZİN AMACI

Söz konusu tezin amacı zayıflamalardan etkilenen sinyalin mühendislik çalışması olan optimizasyonla kanallardaki zayıflamaları giderilerek müşteri memnuniyeti, personel maliyeti, araç masrafı, zaman kayıplarını önlemek amaçlanmıştır. Optimizasyonla kısa vade de devrelerin çalıştırılması ana amaç olarak söyleyebiliriz. Yapılan çalışmamda Acıbadem-İncesu merkezleri linkinde zayıflamış olan kanalları optimize ederek çalışması yapılmıştır. Simülasyon sonuçları 'Sonuç' kısmında paylaşılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. VERİ İLETİM ORTAMLARI

Verinin iletiminde birçok ortam kullanılabilir. Bu ortamlar; bakır kablo/teller, optik cam lifler ve hava olarak söyleyebiliriz. Bakır kablo/tel kullanıldığında veriyi elektrik akımı kullanarak taşırız. Optik cam lifler ışık yardımıyla, hava ise radyo dalgaları, mikrodalga ya da kızılötesi ışınlarla aktarılarak taşınır. Boşlukta bütün elektromanyetik dalgalar, frekanslarından serbest olarak, aynı hızda ilerler. Bu hıza ışık hızı denir ve $3x10^8$ m/sn'dir. Işık hızı üst sınırdır ve hiçbir sinyal bundan daha hızlı gidemez. Bakırda ve camda yayılma hızı bunun 2/3'üne düşer ve frekansa bağımlı hale gelir. Frekans (f), dalga boyu (λ) ve boşluktaki ışık hızı (c) arasındaki ilişki: $\lambda \times f = c$ şeklinde ifade edilir.

2.1.1. Bakır Teller

Bakır kablolar metalik iletken sınıfında bir kablodur. Haberleşmede genellikle çift bükümlü olarak kullanılır. Çift bükümlü kablolarda, çıplak kabloların her biri bir yalıtım malzemesi (örneğin plastik) ile giydirilir ve kablolar çiftler halinde birbirine bükülür. Bu şekildeki basit bükümler, çıplak kablonun ürettiği elektromanyetik alanın etkisini sınırlayıp diğer kablolarda parazit oluşumunu önleyerek, kablo çiftini elektromanyetik alanın etkisine karşı daha az duyarlı yapıp diğer kablolardan kaynaklanan paraziti önleyerek, kabloyu haberleşmede kullanıma uygun hale getirir. Analog ve sayısal sinyal taşımak için kullanılabilir.

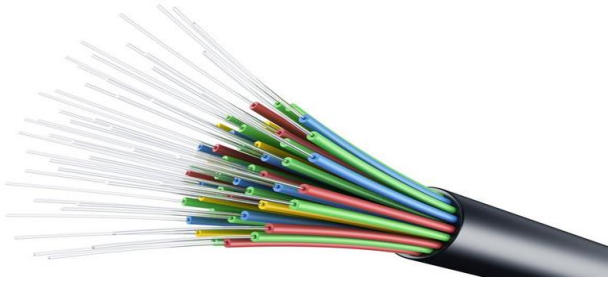


Şekil 2.1: Bakır kablo ve Koaksiyonel kablo [29]

Koaksiyel kablo; merkezde iletken kablo, kablonun dışında yalıtkan bir tabaka, onun üstünde tel zırh ve en dışta yalıtkan dış yüzeyden oluşur. Bakır örgü ve bakır tel kablonun ekseni aynı olduğu için bu kabloya eş eksenli (koaksiyel) kablo denir. Yüksek çalışma frekanslarında kayıpları azaltmak ve iletim yollarını yalıtmak için yaygın kullanılırlar. Yüksek frekanslarda dış iletken (bakır örgü) harici girişime karşı mükemmel kalkanlama sağlar. Ancak düşük frekanslarda bu kalkanlama pek etkili değildir. Bu yüzden düşük frekanslarda pek tercih edilmez, zaten maliyeti bakır kabloya göre daha fazladır.

2.1.2. Optik Lifler

Fiber optik iletim sistemleri üç temel bölümden oluşur: alıcı, verici ve iletim ortamı (çok ince cam lifler) dır. Optik lifin bir tarafında ışık kaynağı, diğer tarafına da alıcı olarak algılayıcı yerleştirerek tek yönlü bir iletim ortamı oluşturulur. Bakır tellerde görülen birbirine karışma problemi optik liflerde görülmez. Farklı veriler, aynı optik lif üzerinde aynı anda farklı dalgaboylarıyla taşınabilir. Bant genişliği çok geniş olduğu için taşıma kapasitesi ve hızı yüksektir.



Şekil 2.2: Fiber optik lifleri görünümü [30]

Öncelikle veri elektriksel olarak aktarılmışsa optik life girmeden önce sinyal ışığa dönüştürülerek aktarılır ve alıcıya ulaşan ışık daha sonra tekrar elektriksel sniyale dönüştürülerek taşınmış olur. Işık kaynağı olarak lazer veya led kullanılabilir. Ayrıca optik lifler içerisindeki ışık kilometrelerce bozulmadan gidebilir.80 km üzeri mesafeler için sinyali kuvvetlendirici olarak tekrarlayıcılar yerleştirilir. Bu kilometreye kadar verinin bozulma kaybolma olasılığı düşüktür. Buna karşın optik liflerdeki çekilmelerde veya gerilmelerde lifte meydana gelen kırık yerin onarımı güç olup eklemek için özel ekipman gerekmektedir. Optik liflerde tek modlu ve çok modlu olmak üzere iki

tip mevcuttur. Çok modlu liflerde ışın lif içinde birkaç farklı yol izler. Tek modlu liflerde, ışının ilerleyebileceği tek yol vardır.

2.1.3. Radyo Dalgaları

Radyo dalgaları elektromanyetik spektrumda en küçük frekansa yani dalga boyuna sahiptir. Radyo ve televizyon yayınlarında ki gibi elektromanyetik dalgalar verilerin aktarımında kullanılır. Radyoda frekans değiştirdikçe ilgili kanalın dalgaboyunu değiştirmiş oluyoruz. Bu da elektronmayetik dalgayı mekanik dalga olan ses dalgalarına dönüştürür. RF üzerinde ara bağlantılara ihtiyaç olmayıp sadece anten olması yeterlidir. Bu nedenle buna kablosuz haberleşme denir. RF ağlarında verinin aktarılacağı alana göre anten büyüklüğü değişir. VLF (çok düşük frekans), LF (düşük frekasn) ve MF (orta frekans) bantlarındaki radyo dalgaları yerkabuğunun şekline göre hareket ederler. HF (yüksek frekans) bandındaki radyo dalgaları ise atmosferdeki iyonosfer tabakası tarafından yansıtılırlar.

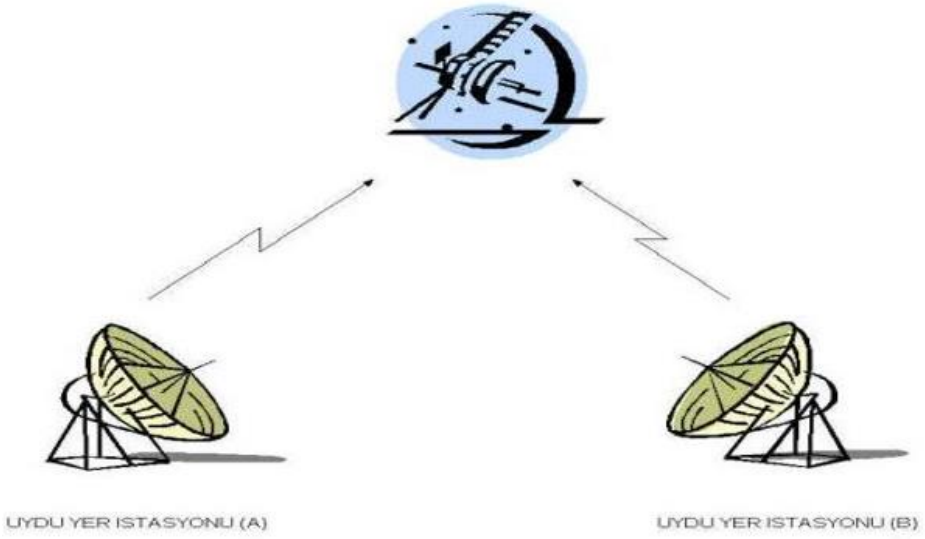


Şekil 2.3: Radyo istasyonları [41]

2.1.4. Haberleşme Uyduları

Kablosuz haberleşme araçlarından biri de uydu haberleşmesidir. Uydular gelen sinyali güçlendirir ve gelen sinyal ile karışmasın diye de farklı bir dalgaboyu üzerinden yeryüzüne gönderirler. Bazı uydularda birden fazla alıcılar ve vericiler bulunabilir. Uydu vericileri yayın yapılan alanın

boyutuna göre ayarlanabilir. Bir uydu birçok müşteriye hizmet verir. Uydunun yerleştirildiği yükseklik (yörüngesi) onun periyodunu da belirler. 35,800 km'ye yerleştirilen bir uydunun periyodu 24 saattir. Bu dünyanın dönüş hızına eşit olduğu için uydu her zaman bulunduğu yerde duruyormuş hissi uyandırır. Uyduların yerleri belirlenirken Van Allen kuşaklarına da dikkat edilmelidir. Bu kuşaklarda dünyanın manyetik alanı nedeniyle çok yüklü parçacıklar bulunur. Bu kuşaklara yerleştirilecek uydular bu yüksek enerjiye sahip parçacıklar tarafından kolayca yok edilebilirler. Haberleşme uydularının yerleştirileceği yükseklik, yörünge tipi, sinyalin iki uç arasındaki gecikmesi (latency) ve tüm yer kürenin kapsanması için gerekli uydu sayıları uyduların yörüngeleri ve yörüngelerin özellikleri belirlenmiştir. Yörüngenin yüksekliği arttıkça gecikme artacaktır. Bu da sinyalin daha geç bir sürede yerine gitmesi demektir. Yörünge yüksekliği azaldığında ise yeryüzünün tümünü kapsamak için gerekli uydu sayısı ve bunların koordinasyonunun karmaşıklığı artar. Diğer yörüngelerde olduğu gibi, yeryüzü ile eşzamanlı yörüngelere de dilediğiniz kadar uydu yerleştiremezsiniz.



Şekil 2.4: Uydu Haberleşmesi [31]

Örneğin; ekvator üzerindeki yörüngede yer kalmamış gibidir. Çünkü uydu sinyallerinin birbirine karışmaması için aralarında 4-8 derece fark olması gerekir. Bu da 360 derece düşünüldüğünde 90-45 uyduya karşılık gelmektedir.

2.1.5. Mikrodalga

Mikrodalgalar radyo dalgalrın yüksek frekans ucundaki kısımda yer alır ve teknolojik yöntemlerle radyo dalgalarından ayrıştırılır. Sinyalleri uzun mesafelerdeki telefon verilerini göndermek amacıyla kullanılır. Mikrodalgalar metalik yapılardan geçemezler bu yüzden iyi bir aktarım olması için görüş alanının açık olması gerekmektedir. Yüksek frekanslarda çalıştıkları için düşük frekanslardaki dalgalara göre daha fazla veri taşıyabilirler.

2.1.6. Kızılötesi Dalgalar

Kızılötesi dalgalarda veri aktarımı için uzaktan kumanda aygıtına ihtiyaç vardır. Küçük alanlarda kullanılır ve sinyal gönderilmek istenen alıcıya doğru yönlendirilmiş olması gerekmektedir. Antene ihtiyaç duyulmaz ve donanımı ucuzdur. Oda boyutunda bir alanda haberleşme yapılacaksa kızılötesi teknolojisi kullanılır. Buna örnek olarak bilgisayar ile yazıcının kızılötesi dalgalarla haberleşmesi olabilir.

2.2. FİBER OPTİK NEDİR?

Fiber; ışık kaynağından çıkan sinyalleri cam yüzey içerisinden taşıyarak hedefteki kaynağa iletilmesidir. Fiberi saran kılıflar, camı koruyan zarflar içerisinde ışığı taşıyan cam borunun kırılmasına ve sinyal zayıflamalarına ya da kayıplara karşı koruma görevi vardır. Fiberler yaklaşık insan saçı kalınlığı olan 100 mikron boyutlarındadır. Buna rağmen sinyal kayıplarına ve kırılmalara karşı korunmuş ve yapılandırılmışlardır. Fiberler tek modlu ve çok modlu olarak hat içerisinde yol alır. Fiber liflerini dış etkenlerden korumak amacıyla dairesel bir tüp içerisine yerleştirilir. Bu tüplerin esneklik katsayısı yüksektir. İçine konulan dolgu malzemesinden ve kimyasal maddelerden etkilenmezler. Kablo dolgu malzemelerini emmez. Sıkı ve gevşek tüpler olma üzere iki tipi mevcuttur. Fiber optik sisteminde haberleşme sinyal fotonlarla taşınarak yapılır. Fiberin çalışma prensibi temel optik kurallarına dayanır. Bir ışın demeti az yoğun bir ortamdan daha yoğun bir ortama geçerken geliş açısına bağlı olarak yansıması ya da kırılarak ortam dışına çıkması ile iletilir.

2.2.1. F/O Kablonun Avantajları

Fiber optik iletim hattı analog ya da sayısal elektriksel bilgi işareti ile modüle edilmiş ışık enerjisini taşımak için bir dielektrik dalga yönlendiricisi olarak davranır. Cam ya da plastik fiber kablolar üzerinden iletişim, çok daha küçük frekanslı elektromanyetik dalgaları taşıyan metalik ya da koaksiyel kablo üzerinden iletişime oranla önemli avantajlar sunar. Bunlar;

Fiber sistemler geniş bant genişliği özelliğine sahip oldukları için büyük bir kapasiteye sahiptir. Bakır veya metal özellikli kablolarda iletkenler arası kapasitans ve indüktans meydana gelmesinden dolayı bant genişlikleri sınırlı kalmaktadır. Bu özellikten ötürü bakır ve metalik özellikli kablolar alçak geçiren filtreler gibi hareket etmelerine neden olmaktadır.

Fiber sistemler, metalik kablolarda meydana gelen manyetik indüksiyondan dolayı kablolar arasında karışımdan etkilenmezler.

Cam fiberler elektriği iletmeyen malzemelerden yapıldığı için akım akısının meydana getirdiği manyetik alandan etkilenmezler.

Fiber optikler; Elektriği iletmeme özelliğinden dolayı yıldırımın, elektrik motorlarının ve diğer elektriksel gürültü kaynaklarının neden olduğu statik karışmalardan etkilenmezler. Ayrıca enerji yaymadıkları için de diğer iletişim sistemleriyle girişime yol açmazlar. Bu özellikten dolayı fiber optik sistemleri askeri uygulamalar gibi yerlerde çok avantaj sağlar.

Fiber optik kablolar; çevre koşullarına karşı sıcaklık, nem, aşındırıcı sıvılar ve gazlardan daha az etkilenirler. Fiberler iletken olmadıkları içinde herhangi bir patlama ve yangın riski oluşturmazlar.

Fiber kablolar metal kablolara göre daha hafif ve daha küçük olduklarından montajı ve bakımı daha kolaydır. Ayrıca daha az yer kaplarlar. İçinden geçen bilgiye erişmek zor olduğundan dolayı güvenli haberleşme sağlar.

Fiber sistemlerin malzeme yapısı metalik kablonun malzemesine göre daha uzun ömürlüdür. Çünkü çevre koşullarından daha az etkilenmektedir.

Kilometre başına düşen zayıflama 0,2 dB gibi düşük kayıplar fiberin daha uzak mesafelere taşınmasını sağlar.

Ham maddesi kum olup ucuz ve kolay elde edilir.

Sürekli gelişen teknoloji fiber optik sistemin maliyetini devamlı olarak düşürmekte, daha verimli ve hızlı sistemler üretilmektedir. Fiber sistemlerin tek dezavantajı başlangıç maliyetilerinin yüksek olması diyebiliriz[14].

2.3. FİBER OPTİKTE YANSIMA VE KRILMA

2.3.1. Işık Yayınım Hızı

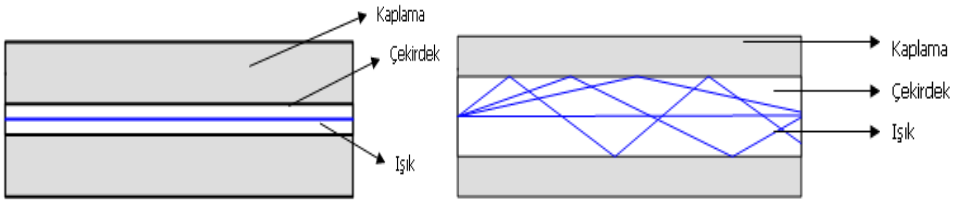
Işık; boşlukta aynı yaynınım hızıyla ilerler. Ancak daha yoğun ortamlara geçtikçe bu hız azalmaktadır. Ayrıca, boşluktan daha yoğun ortamlara doğru bütün ışık frekansları aynı hızda yayınım yapmazlar.

2.3.2. Işığın Fiber Optikte Yayınımı

Fiber optik kabloda ışık yansıma veya kırılma olarak yayınım yapar. Işığın nasıl yayınım yaptığı yayınım moduna ve fiberin indisine bağlıdır.

2.3.3. Yayınım Modu

Fiber optik kablo da tek bir yoldan yayınım sağlıyorsa buna tek modlu yayınım denir. Eğer ışık kabloda birden fazla yoldan yayınım yapıyorsa buna da çok modlu yayınım denir.



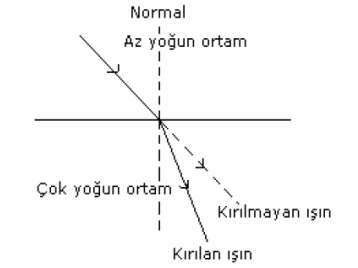
(a) (b)

Şekil 2.5: (a) Tek modlu yayınım(elektrik.gen.tr), (b) Çok modlu yayınım [30]

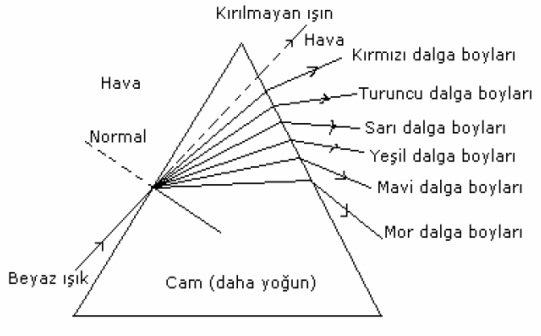
2.3.4. Kırılma

Şekil 2.3'de bir ışık ışınının, az yoğun ortamdan daha yoğun bir ortama geçerken nasıl kırıldığını gösteren şekildir. Diğer şekilde ise ışık frekanslarının tamamını içeren güneş ışığının, havadan daha yoğun bir ortama geçerken nasıl etkilendiğini göstermektedir. Hem havadan cama, hem de camdan havaya geçislerdeki sınırlarda kırılma meydana gelir. En çok kırılan dalga boyları mor, en

az kırılan ise kırmızı dalga boylarıdır. Beyaz ışık tayfının şekil 2.4'de de görüldüğü üzere bu şekilde ayrılmasına prizmatik kırılma denmektedir [16].



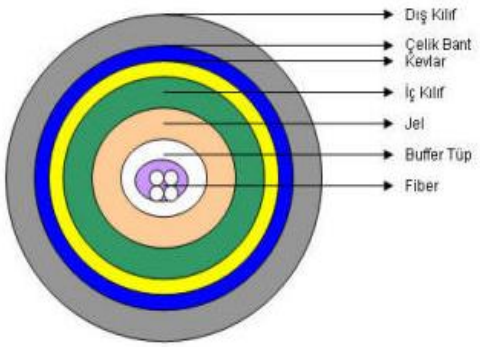
Şekil 2.6: Işığın kırılması [14]



Şekil 2.7: Prizmatik kırılma [14]

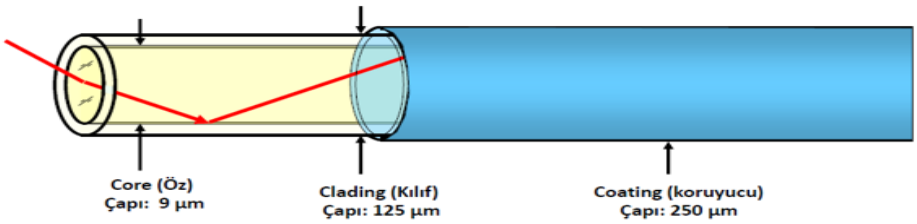
2.4. FİBERİN YAPISI

Günümüzde birçok farklı fiber optik kablo tasarımları mevcut olup genel olarak fiber optik kablolar şunlardan oluşur; Çekirdek, bir veya birden fazla koruyucu kılıf, koruyucu tüp, tamponlar vb. içerebilir. Gevşek tüplerde fiberler koruyucu bir tüpte muhafaza edilir. Koruyucu tüplerin içindeki bileşik fiberin çevresini sararak su ve nemin nüfuzunu önler. Tampon kılıflar; fiberi darbelere ve dış etkenlere karşı korur. Bu da fiberin krılmasını ya da aşırı zayıflamasını engeller. Kelvar, kablonun gerilmeye veya çekilmeye karşı dayanıklılığını artıran malzemedir. Ayrıca koruyucu tüp, poliüretanla doldurulmuş olup nemin fiber çekirdeğine temasını engeller[20].



Şekil 2.8: Fiber optik kablonun üstten görünümü [32]

Fiberler üç bölümden oluşur. Bunlar; Core (Çekirdek), Clad (Kabuk) ve Coating (Kaplama)'dır.



Şekil 2.9: Fiberin bölümleri [41]

Çekirdek (Core) : Işığın kırılarak yolculuk ettiği, iletimin sağlandığı silindirik kısımdır. Saf camdan yapılmış olup esnek yapıya sahiptir. Lifin tek modlu veya çok modlu oluşuna göre eğilebilirlik mevcuttur.

Koruyucu Zarf (Cladding) : Özün içindeki ışığın tam yansıma prensibi ile kırılabilmesi için gerekli olan silindirik örtü tabakasıdır. Çekirdeği saran ve ışığın özünden çıkmasını engelleyen bölümdür. Çekirdeği gibi camdan yapılmıştır [14].

Kılıf (Buffer Coating) : En üstte bulunan tabaka olup fiber liflerini darbelere ve diğer etkenlere karşı korumakla görevlidir. Optik özelliği olmayan plastik veya polimer özellikli bir kılıftır[14].
Fiber optikler, üretim yönüyle üç türe ayrılır:

– Tek Modlu Fiber (Single Mode, SM)
– Çok Modlu Fiber (Multi Mode, MM)
– Dereceli Çok Modlu Fiber (Graded Index, MM)

2.4.1. Tek Modlu Fiberler

Tek modlu fiberlerde sinyal kaybı minimum seviyededir ve teorik olarak 0,15 dB/km'dir. Yaklaşık olarak 200 km mesafeye iletim yapılabilir.
Küçük çaplı ince kablolardır. (9 mikron)
1300 ile 1550 nm arasında dalgaboyuna sahip lazer ışığını iletebilirler.
Bu kablo genelde veri zayıflamalarının az olması istenilen yerlerde kullanılmaktadır.
Konnektör maliyeti yüksektir.
Fiber optik kablo daha ucuzdur.

Sistem maliyet açısından yüksektir.

Daha az zayıflama veya kayıp için daha geniş band genişliğine sahiptir.

60 km üstü mesaferlere ulaşır.

Kampüs, Erişim, WAN ve MAN uygulamalarında kullanılır.

Tek Modlu Kademe İndisli Fiber ve Avantajları

Fiber optik kabloda yayınım yapan ışınlar hemen hemen aynı yolu katettikleri için aynı sürede ulaşırlar. Diğer fiberlere göre daha geniş band genişliği imkanı sağlar ve yüksek bilgi iletim hızına sahiptir[7,8,10].

Dezavantajları

Fiber liflerinin merkez çekirdeğinin çapı büyük olduğundan dolayı ışık kaynağından tekrar bu tür fiber liflerine veya ışık detektörüne bağlanması zordur. Tek modlu indisli fiber kaynak fiber açıklığı olarak en küçük olan fiber türüdür. Bu fiberlerin yapımı zor olmakla birlikte pahalıdır[7,8,10].

2.4.2. Çok Modlu Fiberler

Dereceli çok modlu fiberde, öz yarıçapı büyük olduğundan gönderilen mod sayısı artmakta bu da zayıflamalara veya kayıplara neden olmaktadır. Kısa mesafeler için kullanılır.

Çok modlu fiberlerde ince merkezlidir ancak tek modlu fiber yapısına göre daha kalındır.(62,5 mikron)

850 ile 1300 nm arasında dalgaboyuna sahip lazer ışığını iletirler.

Üretim maliyeti daha uygun olduğu için en çok kullanılan kablo türüdür.

Konnektör maliyeti daha düşüktür.

Zayıflama veya kayıplar tek modlu fiber kablolara göre daha da fazladır.

Daha yüksek kayıp ve daha az band genişliğine sahiptir.

En çok 2 km lik mesafelere erişim sağlar.

Veri merkezi, Merkez Ofis uygulamalarında kullanılabilir.

Çok Modlu Kademe İndisli Fiber ve Avantajları

Bu tür fiberin imalatı daha kolay olup daha ucuzdur. Geniş fiber açıklığından dolayı ışık kaynağını çok modlu indisli fiberlere ve ışık dedektörlerine bağlanması kolaydır.

Dezavantajları

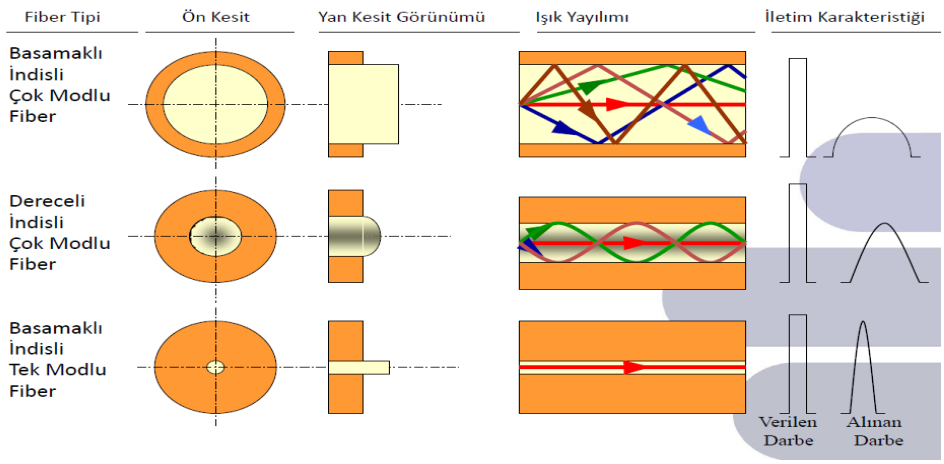
Işık ışınları fiber lifinde farklı farklı yollar izlediği için bu da yayınım sürelerinde farklılık gösterir. Bu nedenle bu fiberlerde ilerleyen ışınlar dağılarak yayılma eğilimi gösterir. Bu yüzden çok modlu indisli fiberde ışık darbesi daha fazla bozulmaya uğrar. Bu tür kabloda bant genişliği daha az ve bilgi iletim hızı diğer fiberlere göre daha yavaştır.

2.4.3. Çok Modlu Dereceli İndisli Fiber

Dereceli fiber çok modlu fiberdeki zayıflamaları ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir ve çekirdek bölgesinin ortasından kılıf tabakasına doğru kırılma indisi derece derece azalır.

Genel olarak önemli bir avantajı yoktur. Işığı kaynağında fibere veya fiberden başka yerine bağlamak tek modluya göre daha kolayken çok modlu kademeli fibere göre daha zordur.

Çok fazla yayınım yolu bulunmasından kaynaklı meydana gelen bozulma, tek modlu kademe indisli fiberden daha fazla olup çok modlu kademe indisli fibere göre daha azdır. İmalatıda tek modluya göre daha kolay olup çok modlu kademeye göre daha zordur [9,11,12].



Şekil 2.10: Fiber tipleri [33]

2.5. F/O KABLO ÇEŞİTLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Kullanım amacına göre fiber optik kablo çeşitleri;

•Yeraltı kabloları

•Havai kablolar

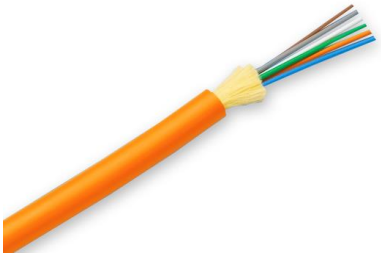
•Denizaltı kablolar

•OPGW kabloları

•Ribbon (Şerit) Kablolar

2.5.1. Yeraltı F/O Kablolar

Yeraltı fiber optik kablolar çoğunluğu gevşek tüp olarak tasarlanmış olup doğrudan yeraltına gömülebilen veya kanal tipi uygulanabilir biçimde tasarlanmıştır. Çevresel etmenlere karşı fiber liflerini korumak için korunaklı yapıya sahiptir[18].



Şekil 2.11: Tipik yeraltı f/o kablolar [34]

Özellikleri

- Tek kablo içerisinde 216 fiber liflerine kadar üretimi mevcuttur.
- Yüksek germelere / çekmelere karşı dayanıklıdır.
- Gevşek yapılı tüplerden tasarlanmıştır. Her tüp içinde 1-12 fiber lifleri bulunur.
- Kablonun içerisnde su geçirmemesi için jel dolgulu yapılmıştır.
- İsteğe bağlı olarak jelsiz üretimleri de vardır.
- Doğrudan toprağa gömülebilir.
- Kolaylık açısından renkli fiber lifleri kullanılır.

- Dış kılıf ultra viyole (U.V) katkılıdır.
- Fiber lifleri tüplerin boyutuna göre oranlıdır.
- Telekomünikasyon, video, ses gibi uzun mesafeli haberleşmeler için uygundur.

2.5.2. Havai F/O Kablo

Havai fiber optik kablolarda gevşek tüplü olarak tasarlanmıştır. Zor çevresel ve elektriksel şartlar için bile sorunsuz çalışmaktadır. Ayrıca yüksek gerilim hatlarında problem yaşamadan kesintisiz hizmet sağlar.



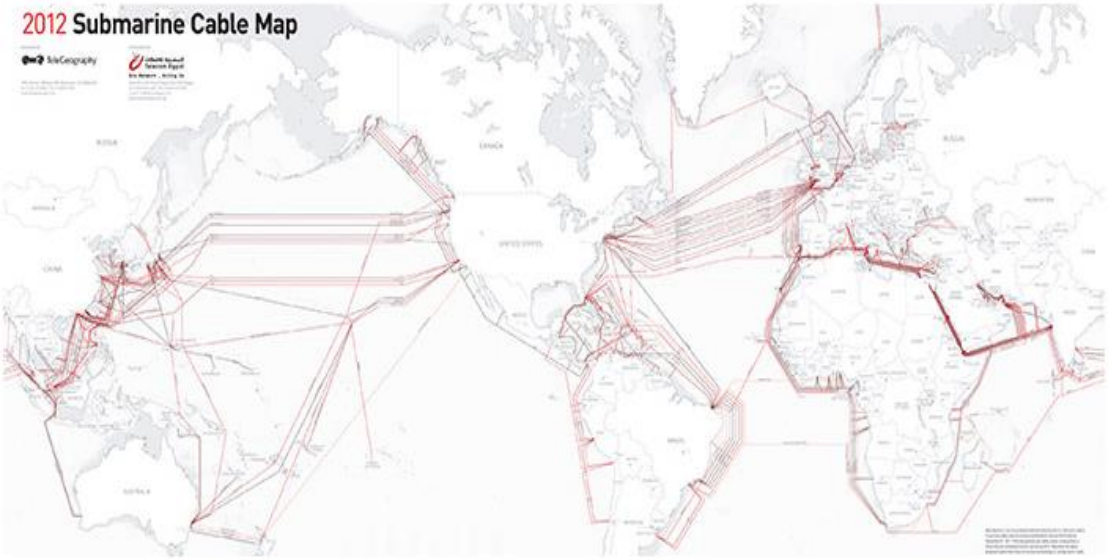
Şekil 2.12: Havai f/o kablolar [41]

Özellikleri

- Tek bir kablo da 192 fiber liflerine kadar üretimi mevcuttur.
- Gevşek yapılı tüplerden tasarlanmıştır. Her tüp içinde 1-12 fiber lifleri bulunur.
- Kablonun içerisi su geçirmemesi için jel dolgulu yapılmıştır.
- İsteğe bağlı olarak jelsiz üretimleri de vardır.
- Kolaylık açısından renkli fiber lifleri kullanılır.
- Dış kılıf Ultra Viyole katkılıdır.
- Montaj ve bakım kolaylığı sağlar.
- Fiber lifleri tüplerin boyutuna göre oranlıdır.
- Telekomünikasyon, video, ses gibi uzun mesafeli haberleşmeler için uygundur.

2.5.3. Denizaltı F/O Kablolar

Denizaltı kablolar sualtı uygulamaları için özel tasarlanmış olup çevresel veya mekanik etkenlere karşı fiber optik lifler korunaklı yapılmıştır.



Şekil 2.13: Dünya'da denizaltı f/o kablo haritası [35]

Fiber optik haberleşme çeşitlerinden günümüzde en çok kullanılan denizaltı fiber optik haberleşme sistemlerine değineceğiz. İletişim eski çağlardan itibaren insan hayatında hayati bir rol oynamaktadır ve bu ihtiyaç zamanla iletişimin çok daha ileriye taşınmasını sağlamıştır. Artık insanlar günümüzde farklı iletişim bağlantılarıyla dünya çapında bağlanmaktadır. Bu iletişim bağlantılarının ortamı, uzay, hava, yüzey veya su olabilir. Uydu ve su altı optik iletişim teknolojileri bu alandaki yeni gelişmelerdir.

Bilgiler, dünyanın herhangi bir yerinden gelebilir ve okyanusun tabanında bulunan kablolardan ulaşır. Kıtalar birbirleriyle dünya nüfus merkezlerini birleştiren bir deniz altı fiber optik kablolar ağıyla bağlantılıdır. Uluslararası web'de gezinen veya diğer kıtalarda uluslararası telefon görüşmesi yapan herkes denizaltı fiber optik kabloları kullanmaktadır. Optik fiber iletiminin yüksek kapasite, düşük devre maliyeti ve dijital ağlarla uyumluluk potansiyeli, denizaltı sistemi için oldukça cazip hale gelmektedir.

Denizaltı veri kabloları, İngiltere ve Fransa arasındaki ilk uluslararası telgraf kablosu ,(dakikada 10 kelime kapasiteli) 1850 yılına kadar uzanmaktadır. 1901 yılının başlarında, telgraf kabloları okyanusları çaprazladı ve Antarktika dışındaki tüm kıtalara bağlandı.

1950'lerden başlayarak, okyanusların altına çelik sarılmış bakırın analog koaksiyel kabloları yaygındı. Analog kablo bant genişliği 1960'lı ve 70'li yıllarda hızlı bir şekilde arttı ancak yüksek kapasiteli sistemlerde sinyali uzun mesafelere taşıyabilmek için her 6 – 9 kilometre arasında güçlendirmek için elektriksel tekrarlayıcılar gerekiyordu ve bu da okyanuslara kurulum için çok pahalı hale geliyordu. 1988'den başlayarak, bu bakır şebeke kablolarının büyük bir bölümünün uzun mesafeli fiber optik kablolarla yer değiştirmesiyle birlikte büyük bir on yıllık üretim gerçekleşti. Günümüzde hemen hemen tüm denizaltı uzun menzilli iletişim kabloları ve karada bulunan kablolar optiktir. Denizaltı veri kabloları; ülkeler ve kıtalar arasındaki IP, ses ve veri trafiğinin yüzde 95'inden fazlasını ve uluslararası internet trafiğinin yüzde 100'ünü gerçekleştirmektedir.

Su altı kablo ağı, küresel ticaret için kritik bir bileşendir ve büyümektedir. Bu büyümeyi hızlandıran, giderek artan IP trafiği, düşük dağıtım maliyetinde daha yüksek bant genişliği talebi ve esnekliği garanti eden ilave yollar ile yedek kablo sistemlerine duyulan gereksinimdir. Global Industry Analysts tarafından kapsamlı bir pazar araştırması raporuna göre, deniz altı optik fiber kablolarının kümülatif küresel kurulumunun 2018 yılınının sonuna kadar iki milyon kilometreye ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Özellikleri

- 144 fiber liflerine kadar üretimi bulunmaktadır.
- Gevşek yapılı tüpler içerir. Her tüp içinde 1 -12 fiber lifleri bulunur.
- Kablonun içerisindeki tüpler su geçirmemesi için jel ile dolgulu yapılmıştır.
- Su geçirmezlik özelliği için isteğe göre jelsiz veya kuru üretimi de yapılabilmektedir.
- Kolaylık açısından renkli fiber kullanılmaktadır.
- Dış kılıf Ultra Viyole katkılıdır.
- Fiber lifleri tüplerin boyutuna göre oranlıdır.
- Sualtı uygulamaları için uygun tasarlanmıştır.
- Telekomünikasyon, video, ses gibi uzun mesafeli haberleşmeler için uygundur.

Denizaltı Fiber Optik Haberleşme Sistemlerinin Avantajları

Denizaltı fiber optik haberleşmede temel avantaj, uzatılmış tekrarlayıcı aralığı nedeniyle alt kabloların güvenilirliğinin yüksek olmasıdır. Ayrıca, denizaltı kabloları, saniyede yalnızca megabite olan gecikme süresi gösteren veri sunarken veriyi saniyede terabite seviyesine kadar taşıyabilirler. Denizaltı kablo sisteminde, düşük kayıpları düşük kromatik dispersiyon ile birleştiren fiber optik gereklidir. Zorlu ortamlarda kullanım için iyi bir mekanik mukavemete sahiptir. Optik denzaltı haberleşmesi, özellikle bu alanlarda akustik iletişimin kullanımıyla ilgili tüm eksikliklerin üstesinden gelinmesi ve geniş bir yelpazeye yayılmasını sağlamak için sığ, kıyı ve taze iç su gibi bazı özel ortamlarda mevcut su altı teknolojisi için etkili bir alternatiftir. Bu şekilde, denizaltı optik sistemi, diğer optik sistemlere kıyasla birçok açıdan avantajlı olarak bulunmuştur.

Denizaltı Fiber Optik Haberleşme Sistemlerinin Dezavantajları

Denizaltı fiber optik haberleşmenin en yaygın tehdidi denizcilik ve balıkçılık faaliyetleridir. Çapa düşürme ile yapılan kablo hasarının yaklaşık yüzde 70'i suda 200 metreden daha az derinlikte gerçekleşir. Bugüne kadar ki en kötü hizmet bozulmalarından biri, 19 Aralık 2008'de France Telecom'un, üç büyük denizaltı optik kablosunun bir gemi çapa ya da kötü hava koşuluyla kesildiğini söylediğinde gerçekleşti. 31 Aralıkta onarılıncaya kadar Avrupa, Ortadoğu, Kuzey Afrika ve Hindistan ile bağlantı kuran internet hizmetinin% 75'ine zarar verdi. İletişimlerin diğer alanlara yönlendirilmesi internet bağlantılarında ve telefon görüşmelerinde önemli derecede yavaşlamaya neden oldu.

İnsani hataların dışında denizaltı fiber optik sistemlerinin en çok karşılaştığı sorunlar doğal çevreden kaynaklı sorunlardır. Çamur kayıkları ve tayfunlar gibi doğal felaketler denizaltı lifi için de bir tehdittir. 26 Aralık 2006'da Tayvan'da meydana gelen 7 büyüklükteki bir deprem, sekiz denizaltı kablosuna zarar verdi ve Hong Kong, Güneydoğu Asya ve Çin'e olan iletişimi felaketle kesti. Tayvan, Asya'nın sualtı ağının merkezinde yer aldığından, büyük bir kablo nüfusu ve büyük bir sismik kemerin ortasında yoğunlaşmıştır. Japonya sahilinden Mart 2011'de meydana gelen 9

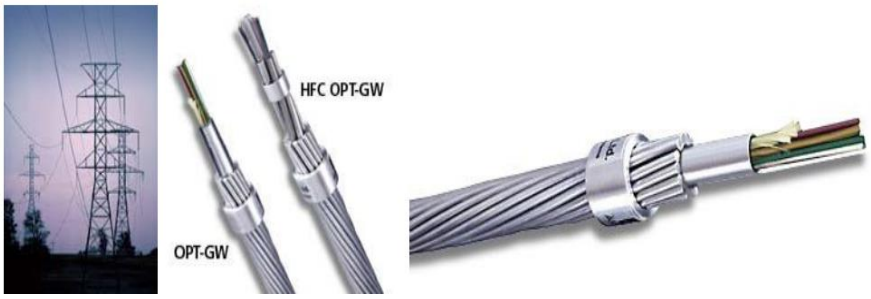
büyüklüğündeki deprem ile meydana gelen tsunami, mevcut transpasifik kabloların yaklaşık yarısına da zarar verdi. Şans eseri, kabloların diğer yarısı bozulmamıştı, bu nedenle şebeke operatörleri tam kesintileri en aza indirgemek için trafiği yeniden yönetebildiler.

2.5.4. Optik Koruma Kabloları (OPGW)

OPGW (Optik koruma kabloları) kablolara optik topraklama kabloları da diyebiliriz. Elektrik iletim / dağıtım hatlarının yapımın da kullanılan bir çeşit kablo türüdür.Bu tür kabloların topraklama fonksiyonu iletişimin birleştirilmesini sağlamaktır.OPGW kabloları çelik zırhlı, alüminyum teller ile çevrilidir. Bir veya birden fazla olan optik lifler tüp şekilli yapılardan oluşur.Kablonun iletken kısmı toprağa bağlı olup yıldırm gibi yüksek gerilimlere karşı kalkan görevi görerek dış etkenlere karşı korumuş olur.Kablo içerisindeki optik lifler verilerin çok daha yüksek hızda iletimi için kullanılır. Bu optik lifler ses ve veri iletişimi için koruma ve ayrıca iletim hattının kontrolünü sağlar.

OPGW kablolar uzak mesafelere düşük zayıflamalarla yüksek hızlarda veri aktarımı sağlar ve tek modlu optik kıllar içerir.

OPGW kablonun birkaç farklı biçimde yapımı vardır. Bunlardan birincisi 8-48 lifli cam optik fiberler bir tüpün içine yerleştirilir. Cam tüpdeki gerilmeyi önlemek için lifler gevşek tipli, uzun ve çelikten yapılmış alüminyum kaplı tüpler içine yerleştirilir. Bu tüplerin içerisindeki fiber lifler su ve diğer maddelerden zarar görmemesi için çelik tüplerin arası yağ ile doldurulmuştur. OPGW kablo da 144 tane lif ve birden fazla tüp kullanılır. Bu liflerin iç çapı dış çapından büyük olduğundan gevşek tampon tüpler kullanılır. OPGW kabloların fiber optikleri kilometre başına kurulum maliyeti daha düşüktür [17].



Şekil 2.14: OPGW kablolar [17]

2.5.5. Ribbon (Şerit) Kablolar

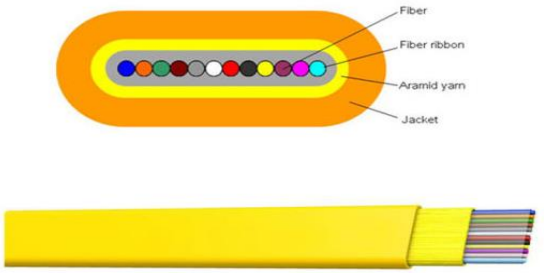
Fiberler içerisindeki kıllar aşağıdaki şekilden de görüleceği üzere üst üste ve yan yana dizilirler.

•Yoğun kablo paketlemesidir.

• 144 fiber kablo lifleri kullanılmaktadır.

•Ribbon kablolar dışardaki ortamdan etkilenmemesi ve su geçirmemesi için jel ile doldurulmuştur.

•Ancak bükülmelere karşı dayanıksızdır.



Şekil 2.15: Şerit f/o kablo [36]

2.6. FO KABLODA İLETİM BOZUKLUKLARI

WDM sistemi performansını ciddi şekilde düşürebilecek birkaç faktör vardır. Optik sinyal fiber içerisinde iletilirken lineer ve lineer olmayan bozucu etkilere uğrar. Güçlendirilmiş anlık emisyon gürültüsü (ASE), polarizasyon mod dispersiyonu (PDM) ve kromatik dispersiyon (CD) optik bozulma veya zayıflamaların lineer etkileridir. Zorlanmış Raman saçılması (SRS), zorlanmış Brillouin saçılması (SBS) ve Kerr etkisi bu bozulmaların ve zayıflamaların lineer olmayan etkileridir.

2.6.1. Zayıflama

Zayıflama, sinyalin tekrardan kuvvetlendirilmeden önce iletilebileceği maksimum uzunluğu belirleyen temel faktördür. Optik fiberdeki sinyal zayıflaması, genellikle desibel cinsinden logaritmik olarak ifade edilir. Burada fibere girilen güç ve fiberden optik çıkış olarak alınan güçtür. Optik fiber haberleşmesinde zayıflama genellikle birim uzunluk başına desibel cinsinden ifade edilir. Burada, birim uzunluk başına işaret zayıflaması ve fiberin uzunluğudur.

Fiber optikte sinyalin zayıflamasını etkileyen birçok neden vardır.Bunlar; malzeme soğurumu, malzeme tarafından saçılma (lineer ve lineer olmayan saçılma), eğrilik ve mikro bükülme kayıpları, mod bağlaşımı (coupling) ile ortaya çıkan radyasyon kayıplarını ve sızıntılı modlar yüzünden oluşan kayıpları ihtiva eden çeşitli ana gruplara ayrılabilir. Malzeme yapısı, hazırlık ve camı saflaştırma tekniği bu mekanizmalara etki eder. Bunlardan başka birleştirici (connector) ve bölücü (splitter) kayıpları da vardır. Tek modlu fiberlerde 1550nm için 0.2dB/km kayıp görülür. İletim zayıflamaların fazla olduğu dalga boyları 730-950 nm ve 1250-1380nm aralığıdır. Bu aralıkta çalışılmaması daha avantaj sağlar.

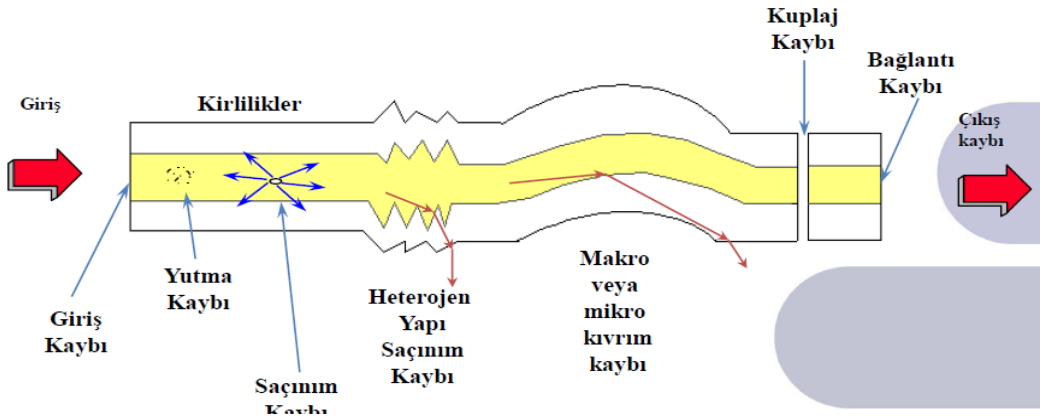
Malzeme soğurumu, fiberin fabrika çıkışı esnasında işleyiş biçimi ve fiberin kendi malzemesiyle alakalı bir kayıptır. Bu işleyiş, iletilen fiber optik gücün bir kısmının dalga kılavuzunda ısı olarak harcanmasına sebebiyet verir. Işığın soğurumu; camın yapısındaki bileşenlerin etkileşim yüzünden veya camdaki safsızlık sebep olur. Soğurum nedeniyle oluşan kayıplar genel kaybın % 3-5' ini oluşturur.

2.6.2. Kayıplar

Fiber kablonun bir ucundan verilen ışık diğer uçtan bir miktar azalmış olarak alınır. Azalan ışık miktarı kayıp olarak adlandırılır. Bu durum fiber optik kabloda kaçınılmazdır. Fiberdeki kayıplar, maliyetleri artırır. Bilgi iletilecek mesafeyi kısaltır.

Kayıp Sebepleri

•Soğurma kayıpları
•Rayleigh saçınım kayıpları
•Dış etkiler nedeniyle oluşan (bending) kayıplar
•Bağlantı kayıpları
•Modal yayılma
•Renk ayrılması (CD)
•Dağılım kayıpları (dispersiyon)



Şekil 2.16: Kayıplara sebep olan etkenler [41]

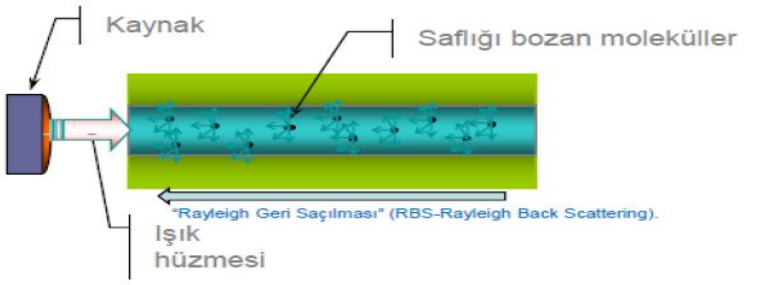
2.6.2.1. Soğurma Kayıpları

Fiber üretiminde kullanılan malzeme (cam) saf değildir ve içinde başka moleküller de bulunur. Işık bu farklı moleküllere çarptığında soğurulur (yutulur) ve bir miktar azalır. Bu azalmaya soğurma kaybı denir[6,13].

2.6.2.2. Rayleigh Saçılması

Bir ışık kaynağından gelen ışık farklı bir malzemeye çarptığında ışık geliş açısına bağlı olarak yansımaya uğrar. Fiber üretiminde kullanılan malzeme saf değildir. Işık saflığı bozan moleküllere çarparak saçılır. Bu saçılmaya Rayleigh Saçılması denir. Bu saçılma ışık miktarını azaltarak kayba sebep olur.

Daha uzun dalga boyundaki ışık daha az saçılıma uğrar. Rayleigh saçılımı Işık dalga boyuna göre değişir [1,7,8].



Şekil 2.17: Rayleigh saçılıması [37]

2.6.2.3. Kilometrik Kayıplar

Fiberin yapısı ile ilgili kayıplara (Saçılım, soruğlma gibi…) kilometrik kayıplar da denir. Kilometrik kayıp fiberin bir kilometre uzunluğunda oluşan kayıp olarak verilir. Birimi dB/km dir. Kilometrik kayıp sonradan değişmezi değiştirilemez. Kilometrik kayıp dalga boyuna göre değişir. Her dalga boyunda farklı kayıp değeri oluşur[15].

Optik Pencere	Dalga Boyu (nm)	Zayıflama (dB/km)
1.	850	3,2-4
2.	1310	0,36-0,4
3.	1550	0,18-0,22
4.	1625	0,22-0,25

Tablo 2.1: Kilometrik kayıp değerleri

2.6.2.4. Çevresel Etkenlerden Oluşan Kayıplar

Mikrobend

Fiber lifin dış etkilerle zedelenmesi sonucu oluşan kayıplardır. Kayıp miktarı hasarın büyüklüğüne bağlıdır.

Makrobend

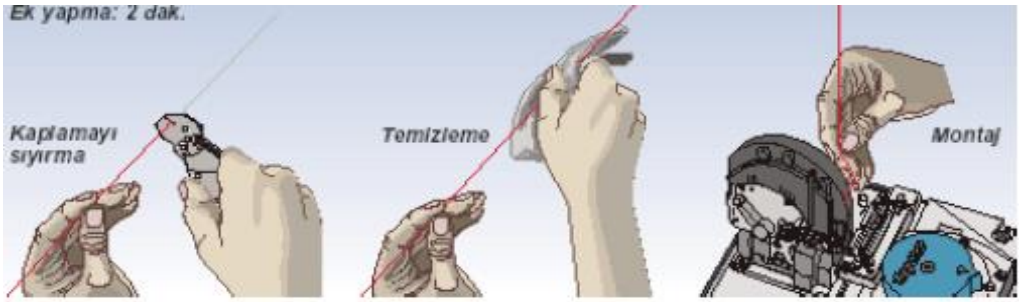
Fiberin çok fazla bükülmesi sonucu oluşan kayıptır. Bu durumda ışık kritik açıdan daha küçük bir açıyla kılıfa (Clading) çarpar ve yansımadan kırılarak dışarıya çıkar.

•G.652 Fiber tipinin bükülme yarıçapı: 30mm

•G.657 Fiber tipinin bükülme yarıçapı: 10mm

2.6.2.5. Bağlantı Kayıpları Füzyon Eki

Fiberin ısıtılıp birbirine kaynatılmasıyla yapılan eke Füzyon eki denir. Füzyon eki yapmak için özel ve pahalı cihazlar kullanılır.



Şekil 2.18: Fiber bağlantı (Füzyon) eki gösterimi [41]

Füzyon eki; ne kadar iyi yapılırsa yapılsın bir miktar kayba sebep olur. Bu kayba Füzyon ek kaybı denir. Füzyon ek kaybı: 0,01-0,02 dB'dir. 0.05 dB'den büyük kayıplı ekler kırılıp yeniden yapılır [15].

Bağlantı Kayıpları Mekanik Ek

Fiber liflerin kırılma indisi fiber core kırılma indisi ile aynı olan bir sıvı ile dolu özel bir aparat içinde, merkezlerin (core) karşılıklı gelecek şekilde yerleştirilmesi ile yapılan ektir.

Mekanik ek kaybı: 0,2 dB'dir. Mekanik eklerde açı hatası, bağlantıda kirlilik kayıplara sebebiyet verir.

Bağlantı Kayıpları Bölücü (Splitter) Kaybı

Splitter GPON sistemlerinde fiberi bölmek için kullanılır. İki ve katları şeklinde böler. Her ikiye bölmede 3 dB'lik kayıp oluşur.

Bölme Sayısı	Kayıp
2	3 dB
4	6 dB
8	9 dB
16	12 dB
32	15 dB
64	18 dB

Tablo 2.2: Splitter bölme kayıp değerleri

Bağlantı Kayıpları Konektör, U-Link Kaybı

Konektör ve U-Link ile birbirine eklenen fiberlerde ek yerinde kayıp oluşur. Buradaki kayıplar için temizliğe çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Konektörde ki U-Link kaybı 0,5 dB civarındadır.



Şekil 2.19: Konnektör [38]

Bağlantı Kayıpları Konektör Temizliği:

Kayıpsız bir fiber optik bağlantı için 3 temel prensip vardır;

•Mükemmel Çekirdek Hizası

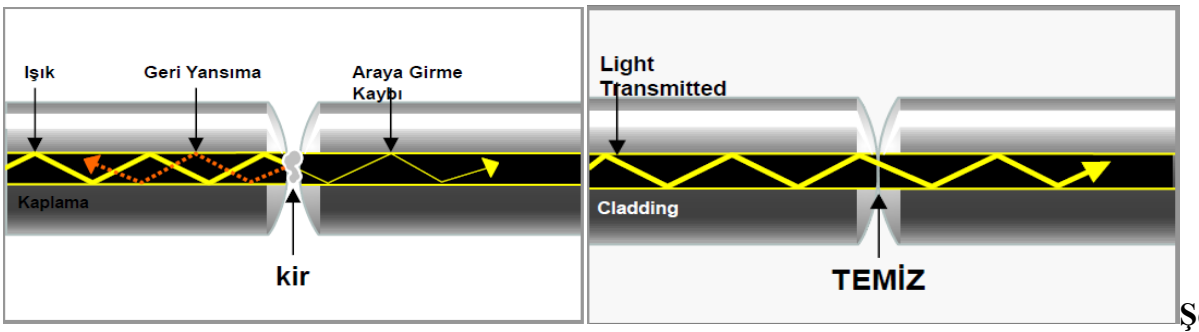
•Fiziksel Kontak

•Bozulmamış Konektör Arayüzüdür.

Günümüzde konektör dizaynı ve üretim teknikleri, çekirdek hizasını ve fiziksel kontağı elde etmede karşımıza çıkan çoğu zorluğu ortadan kaldırmıştır. En önemli sorun olarak temizlik kalmıştır. Temizlik sorunu kaliteli işçilik ile aşılabilir

Konnektör fiber networkünün en zayıf ve en problemli noktaları olarak bilinirler. Temiz olmaları çok önemlidir. Ferrül'ün çevresel etkilerden (çizilme, kırılma, hasar) korunması gerekir.

Bu yüzden Optik networklerde kirlenme en önemli arıza kaynağıdır. Bir fiberin çekirdeğine yerleşecek tek bir parçacık belirgin bir şekilde geri yansıma, araya girme kaybına ve hatta ekipman zararlarına yol açabilir [15].



Şekil 2.20: Işığın temiz ve kirli ortamda iletimi [41]

Bağlantı Kayıpları Konektör Temizliği:

Konektörlerin eşleştiği her seferinde çekirdek etrafındaki parçacıklar, parçalanır ve yayılır. 5µ'den büyük parçacıklar genellikle patlayarak çoğalırlar. Büyük parçacıklar fiziksel kontağı engelleyen bariyer (air gaps = hava boşluğu) oluşturabilir. 5µ'den küçük parçacıklar fiber yüzeyine çukur ve çentik oluşturarak yerleşirler.

2.7. SAÇILMA (DİSPERSİYON)

Dispersiyon (saçılma); fiber optik hattı boyunca hem analog hem de dijital sinyaller için bozulmalara sebebiyet verir. Dijital dispersiyon göz önüne alındığında ışık kaynağı kanal boyunca iletilirken komşu bilgi sembollerinin yani bitlerin birbirlerinin içine girmesine ve birbirleri ile karışmasına yol açmaktadır. Buna teknik olarak ISI (Inter Symbol Interference = Semboller Arası Karışım) denmektedir. Sonuç olarak bit hatalarına yol açarak bit hata performansını ve dolayısı ile de taşınan servislerin kalitesini etkilemektedir. Bu nedenle ISI daha belirginleştikçe, dijital optik kanalda artan sayıda hata ile karşılaşılabilir. Alıcı tarafta işaretlerin doğru algılanamamasına ölçüm ve testlerde BER (Bit hata oranı) olarak kendisini göstermektedir. Hata oranı, ayrıca hattaki işaret zayıflamasının ve alıcıdaki ardışık işaret - gürültü oranı (SNR)'nın da bir fonksiyonudur.

Tek başına sinyal dispersiyonu, özel bir optik fiber ile ulaşılabilir maksimum bant genişliğini sınırlar. Üç çeşit dispersiyon tipi vardır; malzeme dispersiyonu, modal dispersiyon ve dalga kılavuzu dispersiyonu.

2.7.1. Malzeme Dispersiyonu

Malzeme dispersiyonu yüzünden oluşan pals genişlemesi, optik kaynaktan fibere giren çeşitli spektral bileşenlerin farklı grup hızlarından kaynaklanır. Bu olay, dielektrik ortamda yayılan bir düzlem dalganın faz hızı (aslında ortam kırılma indisi), dalga boyu ile doğrusal olmayan bir şekilde değiştiği zaman ortaya çıkar.

2.7.2. Dalga Klavuzu Dispersiyon

Dalga kılavuzu dispersiyonu da tıpkı malzeme dispersiyonu gibidir. Farklı dalga boyları farklı hızlarda yayılır ancak bu dispersiyon modal ve malzeme dispersiyonuna göre çok ufaktır. Çok modlu fiberlerde dalga kılavuzu dispersiyonu ihmal edilebilir ama tek modlu fiberlerde bu dispersiyon önemlidir. Dalga kılavuzu dispersiyonunun miktarı, fiber tasarımına ve dalga boyuna bağlıdır. 1.55 μm seviyelerinde bir dalga boyu için düşük dispersiyonlu fiber tasarlamak mümkündür. Bu fiberler dispersiyon kaydırmalı (shifted) fiberlerdir. 1.3μm ve 1.6 μm aralarında da düşük sayılabilecek dispersiyonlu fiber tasarlamak mümkündür. Bu fiberlere de dispersiyon bastırılmış (flattened) fiberler denir.

Kromatik dispersiyon, materyal ve dalga kılavuzu dispersiyon etkilerini içerir. Kromatik dispersiyon, tek modda ortaya çıkan darbe yayılımıdır. Bu darbe genişlemesi, bitlerin üst üste binmesine ve mesajda semboller arası girişimden ötürü bozulmaya yol açabilir. Kromatik dispersiyon, dalga boyuna bağlıdır ve sinyal distorsiyonundaki etkisi optik sinyalin spektral genişliğiyle artar.

Aynı zamanda, kromatik dispersiyon optik sistemin iletim uzunluğuyla da ilgilidir. Dispersiyon uzunluğu;

L_D (km) bu etkiyi gösteren parametredir. Dispersiyon limiti aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$L_D = \frac{10^5}{D.B^2}$$

Formül: Dispersiyon limiti

B(Gb/s) : bit oranı , D(ps/nm/km) : dispersiyon parametresi

Buradan da görüldüğü gibi kromatik dispersiyon, bit oranıyla doğru orantılıdır.

2.7.3. Modal Dispersiyon

Modlar arası dispersiyon yüzünden oluşan pulse (darbe) genişlemesi, çok modlu bir fiber içindeki modlar arasındaki yayılma gecikme farklarından kaynaklanır. Çok modlu bir fiber içindeki bir palsı oluşturan farklı modlar, kanal boyunca farklı grup hızlarında ilerlediğinden, çıkıştaki pals genişliği en yavaş ve en hızlı modların iletim zamanına bağlıdır.

Tamamen tek mod durumunda hiçbir modlar arası dispersiyon yoktur ve bu yüzden pals genişlemesi sadece mod dışı dispersiyon mekanizmaları yüzündendir. Tek modlu fiberler en düşük pals genişlemesi sergilerler ve en büyük mümkün bant genişliklerine sahiptirler. Tek modlu fiberler sadece tek modlu kaynaklarla faydalı bir şekilde çalışabilirler.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. F/O KABLO DA ÖLÇÜM CİHAZLARI

Fiber Optik kablo ölçü Cihazları

•OTDR (Optik Zaman Bölücü Refloktemetre)

•Powermetre (Güç ölçer)

•Işık kaynağı

3.1.1. OTDR (Optik Zaman Bölücü Kırılım Ölçer)

Fiber optik lifleri içinde yansıyan ışığın süresi ve yopunluğunu ölçmek için ve daha da önemlisi bu ışık kaybının belirlenmesi amacıyla kullanılır.

OTDR ile;

•Fiber elyafların iletim kalitesini görme

•Kablo boyu ölçümü

•Ek ve Splitter yeri tespiti

•Ek ve Splitter kaybı ölçümü

•Arıza tespiti

•Arıza yeri ölçümü

•Toplam zayıflama ölçümü

•Kablo kayıtlarının tutulması

•Ölçüm izlerinin karşılaştırılması yapılabilir.



Şekil 3.1: OTDR cihazı [39]

OTDR Çalışma Prensibi

Darbe üreticisi kısa bir laser darbesi üretir. (3ns…20µs) .Bu darbe fiberin sonuna kadar gider ve geri döner. Algılayıcı gelen sinyali algılar. İşlemci üzerinden ekrana iz ve değer olarak yansıtır.

3.1.2. Powermetre (Optik Güç Ölçer)

Fiber optik hatlardaki veya fiber patchcord'lardaki zayıflama değerlerini ölçmek veya fiber optik port alış / veriş noktalarındaki optik güç değerini belirlemek için kullanılan yöntemdir.

Çalışan sistemde ölçüm yapılır ve toplam kaybı ölçer. Fiberin bir ucunda çalışan sistem bağlıyken, diğer ucuna powermetre bağlanır, Cihazın gönderdiği sinyalin ne kadarının diğer cihaza ulaştığını ölçülür. Sonucu kayıp olarak (-dB) ekranda gösterir.

3.1.3. Işık Kaynağı-Powermetre

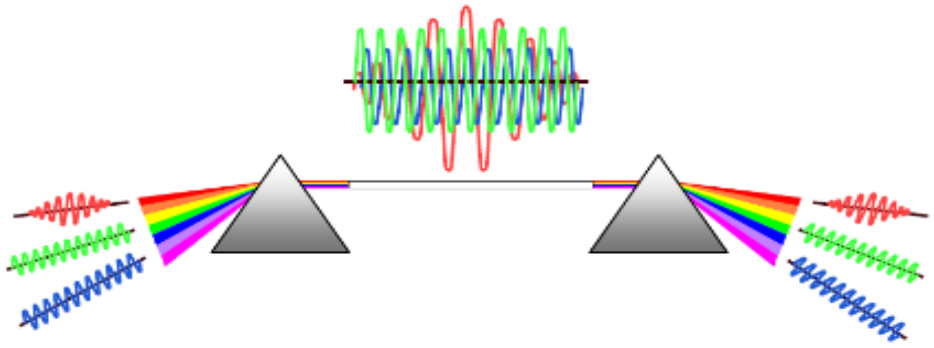
İki ucunda da çalışan sistem olmadan toplam kaybı ölçen cihazdır. Bir Işık kaynağı ve bir powermetreden oluşan settir. Fiberin bir ucuna ışık kaynağı, diğer ucuna powermetre bağlanır.
Işık kaynağının gönderdiği sinyalin ne kadarının diğer uca ulaştığını ölçülür. Sonucu kayıp olarak (-dB) ekranda gösterir.

3.2. DWDM SİSTEMLERİ

3.2.1. DWDM (Yoğun Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama) Nedir?

DWDM; optik spektrum içindeki dalgaboylarına bağlı olarak optik sinyali hem birleştirmek hem de ayırmak için kırılmış ışığın özelliklerini kullanan teknolojidir. Herbiri farklı dalga boyuna sahip sinyaller iletim için bir fiberde çoğullanmaktadır. Veri merkezli uygulamalar için geleneksel şebekeden daha uygun olan, daha geniş kapsamlı protokol iletimine olanak sağlamaktadır. Genel olarak bir tek optik lif üzerinden birden fazla bilginin birbirini etkilemeden taşınması için kullanılır. Optik fiberde bant genişliği geniştir. Pratik olarak sınırsız kabul edilebilir. Günümüzde kullanmakta olduğumuz 100Gbps hızlar bile optik fiber kablonun çok azını kullanır. Kapasitenin bu denli yüksek olması büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Yoksa denizaltı gibi zor yerlerde veya

metropol büyükşehirlerde hergün kazı yapılarak kablo döşemek elbette ki kolay olmayacaktır. DWDM sistemleri farklı bilgileri farklı dalgaboyu kullanan taşıyıcılar kullanarak iletmektedir. Her bir işaret farklı bir dalga boyu üzerinden iletildiği için aynı kablodan iletilen diğer bilgiyi etkilememektedir. DWDM (bir fiber kablo üstünde farklı λ (dalga boyu) da yüksek hızda veri taşıyan optik transmisyon teknolojisidir. DWDM Sistemi; Şehirlerarası çok yüksek sığalı transmisyon ihtiyaçları için kullanılır. Yoğun Dalga Boyunu Bölerek Çoğullama olarak dilimize çevirebileceğimiz DWDM verilerin gönderilmesinde, ışığın dalga boylarını kullanan bir fiber-optik iletim tekniğidir. DWDM temelde optik çoklama sistemlerinden biridir. Optik çoklama teknolojisinin temeli ise; farklı dalga boylarına sahip lazer gibi ışık kaynaklarının bir birleştirici ile fiber liflerine aktarılması ve bunların iletilmesine dayanmaktadır. Erişim noktalarında ise dalga boylarını birbirinden ayıran filtreler yardımı ile her bir dalga boyuna ait olan ışık ayrılarak optic / elektriksel dönüşüm yapılır. Sonuçta ışığın taşımakta olduğu bilgi yeniden üretilerek kullanıcıya sunulur. Bu teknikte veriler, bit katarları şeklinde paralel, karakter katarları şeklinde de seri biçimde gönderilebilir. DWDM bir optik ağın en önemli bileşenlerinden biridir. Bu ağ yapısını kullanarak e-posta, görüntü, çoklu ortam uygulamaları, veri ve diğer güncel yapılar kullanılabilir hale gelir[19].

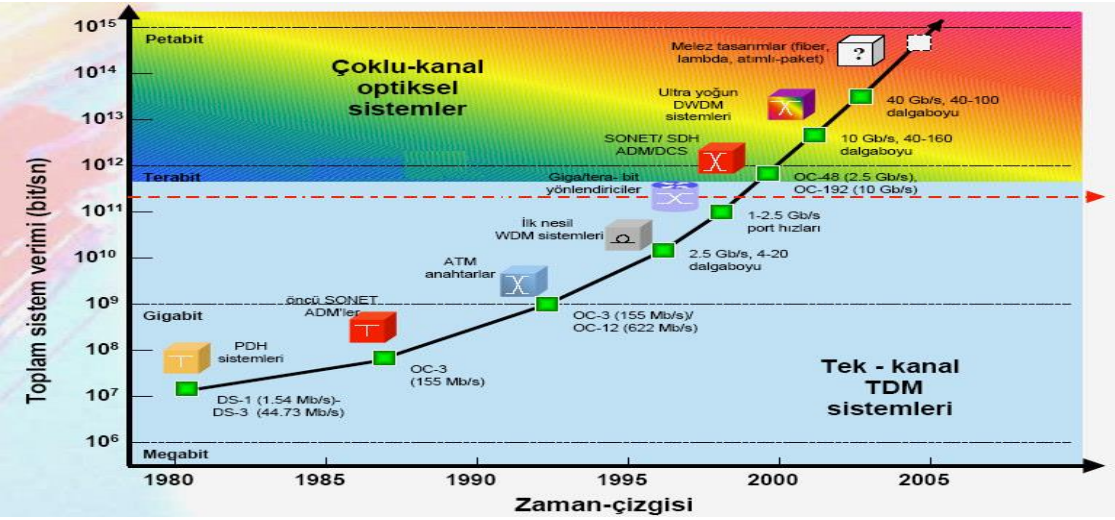


Şekil 3.2: DWDM çalışma prensibi prizma örneği [41]

3.2.2. DWDM' in Gelişimi

DWDM sistemleri üzerinde çalışan, optik iletim cihazlarını daha iyi anlayabilmek için önce optik iletimin geçmişine bakmakta fayda vardır. Önceleri ağ kullanıcılarının istekleri, kesin sayılarla hesaplanmış, bant genişliği ve bunun bir sonucu olan ulaşımla sağlanabiliyordu. Günümüzde

kullanılan yoğun internet ortamında ise, bu istekler çok daha büyük boyutlara ulaşmıştır. İnternet ortamında milyonlarca farklı kullanıcının herhangi bir videoyu izlemek istediğini düşündüğümüzde iletim hızının terabitlere kadar ulaşması zor olmasa gerek. Bu nedenlerden dolayı, gelecekte ağ kullanımındaki gelişmeleri kestirebilmek oldukça zordur. Yapılan çeşitli araştırmalar, bir önceki seneden bu seneye geçerken ağ kapasitesinin 7 kat arttığını göstermektedir. Bu bilgilerden yola çıkıldığında, DWDM'in getirileri ve kullanılma nedenleri daha da anlaşılır hale geliyor[19].



Şekil 3.3: Optik sistemler ve gelişimi (Alcatel 2001)[19].

3.2.3. DWDM Teknolojisinin Avantajları

Tek fiber çifti üzerinde çok sayıda yüksek hızda kanal taşıyabilir.

Ultra yüksek kapasite imkanı sunar.

Saydam veri iletimi yani WDM içerisindeki sinyalin çerçeve yapısında veya herhangi bir baytın da değişiklik olmaz.

Mevcut optik fiberlerle uyumlu olup kart ilaveleriyle kapasite artırılabilir.

Maliyete göre yüksek performans sağlar.

Yüksek şebekelendirme esnekliği, ekonomik ve güvenirlilik sağlar.

Modülarizasyon nedeniyle mevcut servisler üzerinde etkisi bulunmaz.

Başka sistemlerle entegreli çalışabilir.

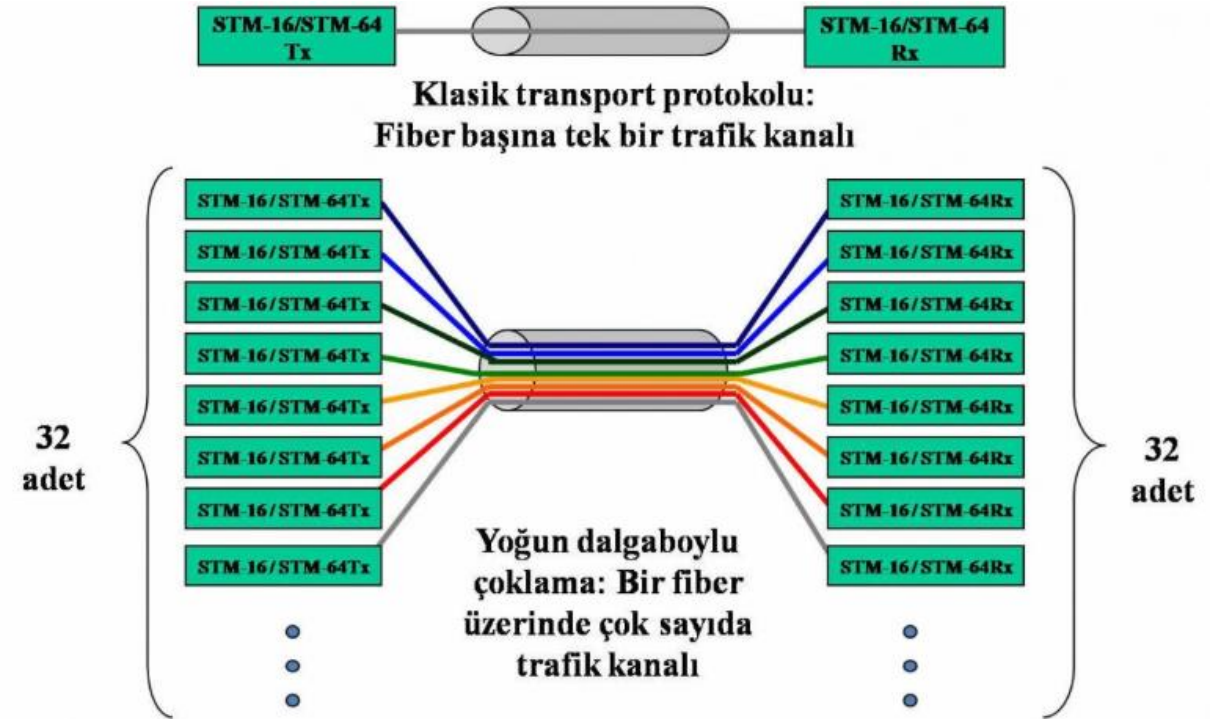
DWDM ile ulaşılan kapasite

•Bir çift kıldan 32, 80, 160, 210 adet kanal taşıyan DWDM sistemleri mevcuttur.

•Her kanaldan 10 Gb/s hızları kadar bilgi taşınabilir.

•160 kanallı sistem için 160x10Gb/s =1600Gb/s, 1.6Tb/s taşınabilir.

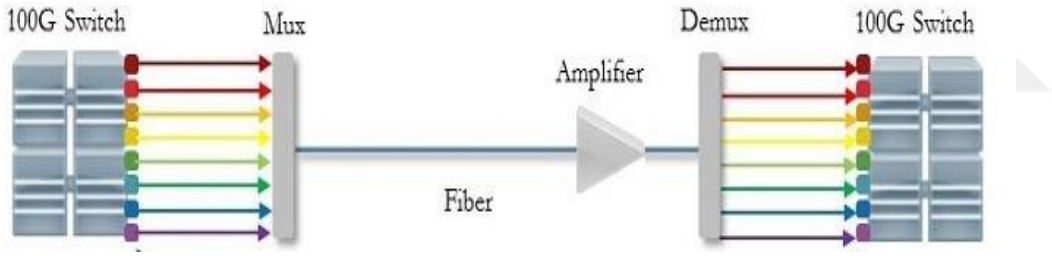
•320 Gb/s (32x10 Gb/s) ve 80 Gb/s (32x2.5 Gb/s) kapasiteli linkler ile birbirine bağlanmaktadır.



Şekil 3.4: DWDM le taşıma kapasitesi [41]



Şekil 3.5: Huawei 100 GE DWDM Transmisyon Sistemlerin Görünümü (Huawei 2014) [27]

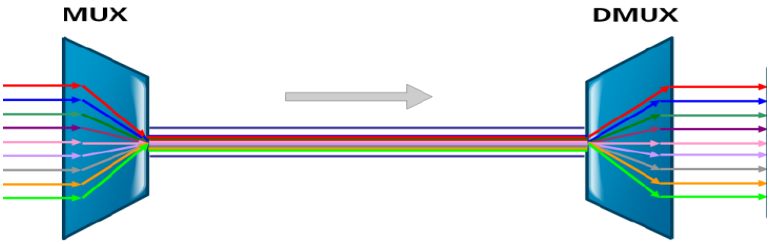


Şekil 3.6: Sinyalin DWDM teknolojisiyle taşınma aşaması [40]

Sinyal İletim Modları

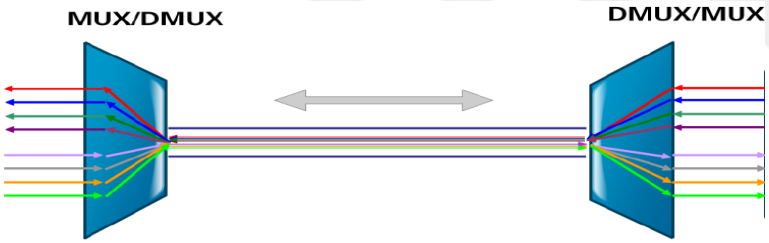
DWDM de iletim modları iki türdür. Bunlar tek yönlü ve çift yönlü iletim modlarıdır.

Tek Yönlü İletim: Tek fiberde tek yönlü iletim için alış/veriş ayrı kıllardan gerçekleşir. Tek yönlü WDM sistemi için iki fiber optik damar kullanır. Bir tanesi sinyallerin alış, diğeri veriş yönünde iletilmesini sağlar. Dünya çapında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [19].



Şekil 3.7: Tek Yönlü DWDM (2006 Huawei Technology)[27]

Çift Yönlü İletim: Tek fiberde çift yönlü iletim için alış/veriş aynı kıl üzerinden gerçekleşir. Çift yönlü dalga WDM sistemi yalnızca bir optik fiber damar kullanır. Tek bir damar optik sinyalleri eş zamanlı olarak her iki yöne de iletir ve farklı yönlerdeki sinyaller, farklı dalgaboylarına tahsis edilmelidir (yarı kapasite).

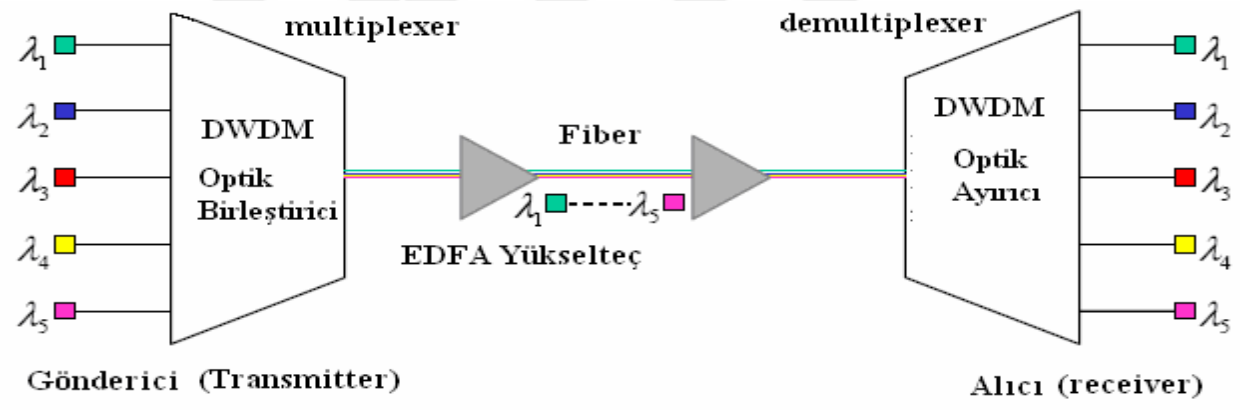


Şekil 3.8: Çift Yönlü DWDM (2006 Huawei Technology)[27]

3.2.4. WDM (Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama) ve TDM (Zaman Bölmeli Çoğullama) Karşılaştırması

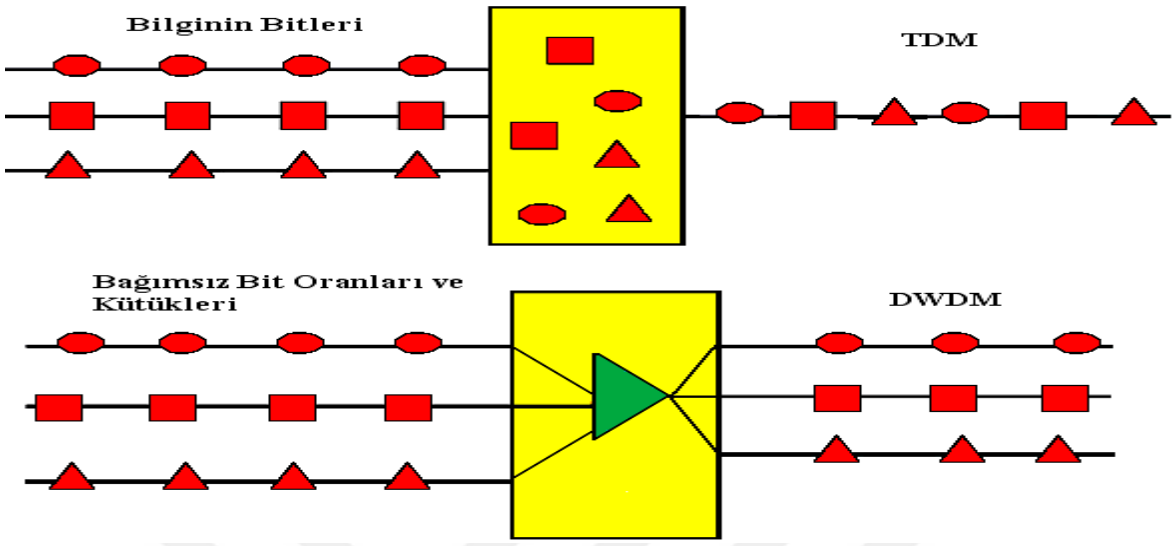
WDM, TDM'den tamamen farklı bir yöntem kullanarak fiziksel ortamın yani fiberin taşıma kapasitesini arttırır. WDM, gelen optik sinyalleri bilinen bir frekans bandı içinde ışığın belirli frekanslarına diğer bir deyişle dalga boylarına atar. Her kanal değişik frekanslarla iletildiği ve ışığın farklı renkleri bulunduğundan dolayı bu kanallar daha sonra gökkuşağı şeklinde görülür. Bir WDM sisteminde dalga boylarından her biri fiber içine yerleştirilir ve sinyaller alım noktasında toplanır. Sonuçta oluşan kapasite TDM'deki geniş sinyallerin bir kümesidir. Ancak WDM her giriş sinyalini diğerinden bağımsız bir şekilde taşır. Bu her kanalın kendine ait bir

band genişliğine sahip olduğu, tüm sinyallerin aynı zamanda ulaştığı anlamına gelmektedir. WDM ile DWDM arasındaki temel farklılık, DWDM de dalga boylarının WDM'den daha yakın olmasıdır. Bu nedenle de daha fazla taşıma kapasitesine sahiptir. DWDM ve WDM çoklu ışık dalgalarını farklı frekansta taşımak için tek durumlu fiber kullanırlar. TDM, senkron ve asenkron sinyalleri alır ve bunları fiber üzerinden ve tek bir dalga boyunda iletim için daha yüksek bir bit oranında çoklar. Kaynak sinyallerinin elektrikten optiğe çoklanmadan önce, yine optiğe dönüştürülmesi gerekebilir. DWDM ise çoklu sinyalleri alır, bunları ayrı ayrı dalga boyları şekline getirir ve bu dalga boylarını tek bir fiber üzerinden çoklar. TDM ile DWDM arasındaki diğer bir farklılıkta DWDM'in ortak bir sinyal biçimi kullanmadan çoklu protokolleri taşıyabilmesidir. TDM'de bu yoktur.



Şekil 3.9: DWDM Sistemi [19]

TDM başlangıçta optik ortamda fiberin kapasitesi küçük zaman dilimlerine bölünerek artırılmıştır. Daha sonra SONET ağıyla kapasite de 10 Gb/s'den 40 Gb/s'ye geçis mümkün hale gelmiştir. Ancak TDM ile yakın gelecekteki teknolojilerin uyum sorunu olacağı ön görüldüğünden DWDM sistemleri daha da önem kazanmıştır. TDM yöntemi, otobanın tek şeridini kullanan bir trafik yönetimi gibi düşünülebilir. Bu tek yöndeki trafik akışını denetleyip hızlandıracak koşul, şerit içindeki hareketin hızlandırılması, yani zaman paylaşımının küçük aralıklarda yapılmasının sağlanmasıdır.



Şekil 3.10: TDM ve DWDM karşılaştırması [19]

Eğer otobanda DWDM trafik yöntemi kullanılıyor ise TDM' in kullanamadığı diğer şeritler kullanıma açılmış demektir. Burada en önemlisi DWDM in trafik akışında şeklin veya biçimin önemi yoktur. Yani kullanılan şerit içinde, düzenlemeler yapılsa da TDM de birden fazla farklı sinyaller uyumlu biçimde taşınabilir. DWDM de ise şeritin ne taşıdığının önemi yoktur. Bu da DWDM de yüksek kapasite nedeni ile tıkanıklığın oluştuğu bölgeler için çok iyi bir çözümdür. DWDM uzun mesafeli ağ yapılarında maddi açıdan da büyük yararlar sağlar. Sistemde optik işaret güçlendiricileri, gelen işaretleri elektriksel işaretlere dönüştürmeden çalıştıkları için, donanım karmaşası azalır ve kararlılık artar. Çok fazla bant genişliği ihtiyacı olan ağlar için uygun olan bir sistemdir. Ancak DWDM'in gerektirdiği ön şartlar da vardır. Öncelikle bir DWDM sistemi en başından itibaren ölçeklenebilir olmalıdır. Aslında kullanıcılar, optik ağ katmanları ile diğer ağların kullanıldığı teknolojileri, tek fiziksel alt yapıda birleştirmek isterler. DWDM sistemleri biçimden bağımsız olmaları ile eş zamanlı ve eş zamanlı olmayan farklı olasılıkları aynı fiber üstünde aynı anda taşıyabilecek özeliklere sahiptir. Eğer bir taşıyıcı ATM ve SONET ağının her ikisinde birden çalışabiliyorsa, DWDM ağı üstünde taşınabilmesi için çoklanması gerekmez. İşte bundan dolayı DWDM teknolojisinin önemli bir adımı olarak görülmektedir. Optik ağlarda taşıyıcı sistem olarak DWDM sistemi kullanılır. Bir DWDM sisteminin en önemli yapıtaşları şunlardır;

Göndericiler (transmitters); Elektrik sinyalini optik sinyale dönüştüren aktif devre elemanıdır. Alıcılar (receivers); Optik sinyali elektrik sinyaline dönüştüren aktif devre elemanıdır. Erbium Katkılı Fiber Yükselteci (EDFA); Optik sinyalleri kuvvetlendirmek için iç yüzeyi erbiyum ile katkılanmış fiberdir. Optik Çoğullayıcılar (MUX); Farklı dalga boylarında olan ışıkları tek bir optik sinyal gibi birleştiren çok girişli tek çıkışlı pasif devre elemanıdır. Optik Ayırıcılar (DEMUX); Çoğullanmış olarak gelen, farklı dalga boylarındaki optik sinyali dalga boyuna göre ayıran pasif devre elemanı. Ekle Çıkar Çoğullayıcı (Add/Drop Multiplexers) Değişik dalga boylarındaki optik sinyalleri karıştırmadan ayırıp istenilen sinyali alıp, ana sinyale ekleyebilen çoğullama sistemidir. Optik anahtarlar ağ içindeki ışığı değişik yollara göndermek için kullanılır. Işığın kat edeceği yolun korunması, sinyali takip etme, ya da bant genişliğinin ayarlanması gibi görevleri de vardır. Optik Çaprazlayıcı (OXC; Optical Cross Connect) Gerek optik hat donanımlarını gerekse çoğullayıcıları daha verimli kullanmak için alternatif iletim ortamlarına bağlantı yapabilen aktif iletişim elemanı. Optik filtreler, Işığın belirli bantlarını geçirmek ve sönümlemek amacı ile kullanılan pasif devre elemanı. Genellikle optik ayrıştıcılar ve optik birleştiriciler gibi devre elemanları ile birlikte kullanılır[19].

3.3. ALICI – VERICI YAPILAR VE KUVVETLENDiRiCiLER

Optik Yükselteçler

Optik fiber iletiminin başarısı uzun mesafelere erişim ve yüksek veri hızlarına çıkarabilmesinden doğmaktadır. Uzun mesafelere erişim, günümüzde üretilen fiber optik kablolarda çok düşük zayıflama sağlandığı ve zayıflama, sinyalin iletim hızından bağımsız olduğu için mümkündür. Yüksek veri hızlarına çıkabilme, sadece sinyal aktarım hızı zayıflamadan bağımsız olduğu için değil aynı zamanda sistem çok küçük dağılma oluşturacak şekilde yapabildiği için gerçekleştirilir. Sonuç da fiber boyunca bir işaret ilerliyor iken bozulma yalnızca lineer zayıflama şeklindedir ve zayıflamayı dengeleyecek bir optik yükselteç geliştirme eğilimi vardır. Düşük kayıplı olmasına rağmen, uzun mesafelere sahip hatlarda, sinyalde zayıflama oranı artmakta ve iletişimi

bozmaktadır. Bunu gidermek için ilk olarak elektriksel tekrarlayıcılar kullanılmıştır. Bu tekrarlayıcılar optik sinyali önce elektriksel sinyale çeviriyor, güçlendikten sonra modüle edip tekrar optik sinyale çeviriyorlardır. Ancak ışığı optik ortamda yükseltme arayışları, doğada az bulunan, nadir toprak elementlerinden (rare-earth) yararlanılarak optik yükselteçlerin gelişmesini sağlamıştır. Optik yükselteçler bir lazer gibi düşünülebilir fakat aralarında bir fark vardır. Optik yükselteçlerde geri besleme yoktur. Bunun yerine pompalama denilen foton pompalayıcı ile taşıyıcı sinyal uyarılarak iletim hattı boyunca zayıflayan sinyali yükseltir. Yani yükseltme işlemi yine optik ortamda yapılır. Doğal olarak sinyali optik ortamda yükseltmek daha kullanışlı ve avantajlıdır. Bu sayede dönüşüm işlemine gerek kalmaz ve hız yanında istenilen sayıda farklı dalga boylarında sinyalin iletilmesine izin verir. Optik yükselteçler temelde dört çesittir[25].

1. Yarıiletken optik yükselteçler (SOA)
2. Fiber Raman yükselteçler (RA)
3. Fiber Brillouin yükselteçler (BA)
4. Erbiyum katkılı fiber yükselteçler (EDFA)

3.3.1. Yarıiletken Optik Yükselteçler

Yarı iletken lazer yükselteç teknolojisi kazanç kadar yüksek hızlı anahtarlama yeteneği, yüksek sönüm oranı ve yüksek birleştirme potansiyeli sağlar. Bundan başka, diğer çeşitli fonksiyonlar için anahtar bir teknolojisidir.Tüm optik dalga boyu dönüşümü, tekrarlama, dalga boyu seçme, güçlendirme ve hat yükseltmesi, optik ön yükseltme ve ortamda spektral yayılım çevirimi yapar (Bernard ve Renand 2001). Bir SOA temelde bir Fabry-Perot lazer diyota benzer. Böyle bir lazer, ortam içerisine yerleştirilmiş bir oyuk yankısının (Fabry-Perot tipi) yükseltilmesine bağlıdır. Yükseltme fonksiyonu malzeme enerji seviyelerinin dışarıdan pompalanması ile sağlanır. Yalnızca yükseltme fonksiyonunu elde etmek için lazer etkisiyle meydana gelen aynı osilasyonlara karşı cihazın korunması gereklidir. Bu, çip yüzeyi ayırma açısı tekniği ve yansıma olmaya bir yayılmanın her ikisini de kullanarak oyuk yansımasının engellenmesi ile başarılabilir. Optik olarak pompalanan EDFA' lardan farklı, SOA'lar enjekte edilen akım tarafından elektriksel olarak pompalanırlar. SOA temelde, her bir 100 μm uzunluğu etrafında çipin giriş ve çıkış kenarlarında ki iki pasif geçiş bölgeleri ve 600 μm uzunluğu civarında merkez bir aktif bölgeye bağlıdır. Merkez

aktif tabaka bir sınırlı hetero yapıya dayanır ve 0.1 μm kalınlığında iki dörtlü tabaka arasına gömülmüş aktif tabaka hacminin 0.2 μm kalınlığa düşmesine bağlıdır. 150μm uzunluğun üzerindeki konik, pasif dalga kılavuzunun altında bulunan optik kuplaja izin verir. Bu yapının tip yüksek bir optik sınırlama faktörü meydana getirir. Çünkü kazanç bölgesindeki tabakalar arasındaki 28 kırılma indisi uyumsuzdur. Yüzeydeki geniş bir benek çapı ile birlikte çipten fibere yüksek bir kuplaj verimi sağlanabilir (Bernard ve Renand 2001). Bu yükselteçler yürüyen dalga (TW) olarak isimlendirirler ve sadece ileri yönde hareket eden ışınım yükseltilmesini vurgularlar. Yarıiletken lazerler oldukça geniş bir geri besleme deneyimine sahiptir. Çünkü yüzeyden ayrılan yansımalar meydana gelir [21].

3.3.1.1. Fiber Raman Yükselteçler

Bir fiber raman yükselteç, yoğun ışın yayılırken fiber içinde meydana glen uyarılmış Raman saçılması (SRS) kullanılır. SRS' yi uyarılmış yayılmadan ayıran temel yanı; SRS durumunda, düşen pompalama fotonu enerji kaybeder, azalan enerji ile düşük bir frekansta diğer foton oluşturulur; moleküller titreşimler (optik fotonlar) şeklinde ortam tarafından kalıcı enerji soğurulur; oysa uyarılmış yayılma durumunda düşen bir foton enerji kaybı olmadan diğer
özdeş fotonu uyararak yayılır. Böylece fiber Raman yükselteçlerde kazanç sağlamak için pompalama optik olmak zorundadır. Buna karşılık SOA 'larda pompalama elektriksel olabilir. En önemli fark SOA durumundaki ters birikime ters birikme fiber Raman yükselteçler için gerekli değildir. Gerçekte, SRS rezonans olmayan görüngüsel yapısı ile enerji seviyeleri arasında ters birikme gerektirmez. Pompalama ışını ve sinyal ışının frekansları ωp ve ωs, bir dalga boyu seçici kuplörden fiber içinde enjekte edilir. SRS yoluyla pompalama ışınından sinyal ışınına enerji transfer edilir ve iki ışın fiber boyunca zıt yönde yayılır. Pompalama ve sinyal ışınlarını enjekte eden diğer bir yolda fiber içinde karşılıklı yayılmadır. Her iki konfigürasyonda da geniş ölçüde çalışmalar olmuştur[22].

3.3.1.2. Fiber Brillouin Yükselteçler

Brillouin yükselteçlerinin çalışma mantığına bakıldığında raman yükselteçlerle aynı olup raman saçılması yerine Brillouin saçılması (SBS) meydana gelmesidir. Ancak tek bir fark olarak optik

kazanç sağlama özelliğini belirtmek gerekir. Bu nedenle fiber Brillouin yükselteçler aynı zamanda optik olarak pompalanırlar ve pompalama gücünün bir kısmı SBS aracılığı ile sinyal dalga boyu transfer ederler. Fiziksel olarak, kalıcı enerji akustik bir fotonu uyarmada kullanıldığında, her bir pompalama foton enerji ħωp bir sinyal fotonunun yarattığı enerjiden ħωs daha fazla enerji kullanılır. Klasik olarak, ses hızındaki bi ortamda akustik dalga hareketinden dolayı pompalama ışını saçılır. SBS ve SRS arasındaki biçimsel benzerliğe rağmen, fiber Brillouin yükselteçlerin çalışmasını oldukça etkileyerek, Brillouin saçılmasının Raman saçılmasından ayıran 3 yönü vardır.

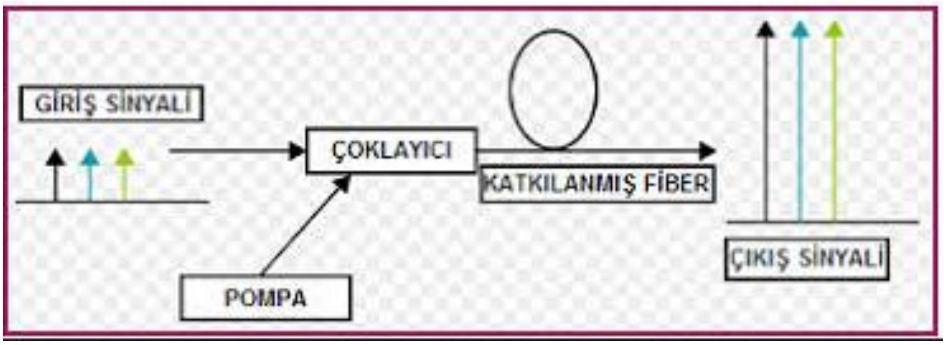
1) Sinyal ışını pompalama ışınına göre ters yönde yayıldığından dolayı sadece yükseltme meydana getirmektedir.

2) Pompalama frekansına bakacak olursa, Brillouin saçılması raman saçılmasına göre stokez kayması %0,1 den daha küçüktür. (~10 GHz) [26].

3) Brillouin yükseltecinin kazanç spektrumu dar bir band genişliği kullanır. ($\Delta\nu$< 100MHz). Fiber Brillouin yükselteçleri kullanmış olduğu dar band genişliğinden ötürü optik sistemlerde güç yükselteci olarak kullanıma daha az uyumludur. Bu nedenle karışık ve çok kanallı haberleşme sistemlerinin bazı yeni uygulamaları için kullanılmıştır[22].

3.3.1.3. Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçler

1530 ile 1565 nm dalga boyunda bulunan bir sinyal, içinde yarı kararlı (metastable) durumda iyon bulunan bu katkılı fiberin içine bağlayıcı (coupler) ile eklenirse, Erbium katkılı sonunda enerjisinin bir kısmını 1550 nm bölgesinde serbest bırakır. Giriş sinyali içindeki iyon sayısına bağlı olarak, Erbium katkılı fiberden dışarı iyon bırakılır. Gelen 1 tane iyon için, dışarıya 1000 iyon bırakılabilir. Yani 10xLog (1000/1) = 30 dB kazanç elde edilebilir.
İzolatörler, gelen sinyalin geriye yansımasını önlemek için kullanılır.



Şekil 3.11: EDFA çalışma şeması [42]

Avantajları;

Repeater'dan daha basit bir yapısı vardır ve daha ucuzdur.

Yüksek güç çıkışı sağlar.

DWDM uygulamalarında 20 dB'nin üzerindeki kazanç değerlerinde dahi band boyunca düzgün bir kazanç sağlar.

Sinyallerde hata algılaması yapabilir.

Düşük SNR gürültü fatörüne sahiptir.

Kaskad bağlanabilirler.

1530 ile 1565 nm arasında kuvvetlendirme yapabilir.

Sinyal Polarizasyonundan etkilenmeden kuvvetlendirme yapabilir.

Dezavantajları;

Hiçbir sinyal girişi olmadığında dahi fiber girişinden istenmeyen bazı iyonlar geldiği için Güçlendirilmiş anlık emisyon gürültüsü (ASE) denen bir gürültü üretir.

DWDM'de çapraz (crosstalk) denen kanalların birbirine karışma etkisi oluşturur.

Belli bir kazanç seviyesinin üzerine çıkıldığında satüre olur ve kazanç seviyesi artmaz.

Erbium pahalı bir element olduğundan maliyeti yüksektir.

3.3.2. Optik Yükselteçlerin Karşılaştırılması

Erbiyum yükselteçler Raman yükselteçlere (RA), Brillouin yükselteçlere (BA) ve yarıiletken lazer yükselteçlere (SOA) göre avantajlarını kanıtlamıştır. SOA'lar küçük boyut ve yüksek kazanç güvenirliği ile yüksek kazanç, geniş band genişliği ve çok düşük güç tüketimine sahiptirler. SOA'lar iki yönlü yükselteçlerdir ve sadece kümelenmiş yükselteçlerle kullanırlar. Erbiyum yükselteçler ile SOA'ları karşılaştırılırsa, SOA'lar da geri dönüş zamanında düşük kazançtan dolayı doyum bölgesinde komşu darbeler arasında girişim meydana gelmesi bir dezavantajdır. Geri dönüş zamanındaki düşük kazanç, darbe örneği bağımlı semboller arası girişim sonucundaki zaman aralığını izleyerek nispeten küçük sayıda darbe etkisi veren yükseltme şartlarına izin verir. Bu maksimum bit hızını sınırlar ve giriş sinyal gücü kabul edilebilir şekilde azaltılır. 100 Gbps in üzerinde erbiyum yükselteçler ile önemli olmayan bozulma gözlemlenirken SOA'lar 25 Gbps çıkış sinyalinde önemli bozulmuş (distorsiyonlu) darbe örneği üretirler. Ek olarak SOA'ların dezavantajı SOA ile optik fiber arasında yüksek ek (kuplaj) kaybıdır. Kayıplar fiberden fibere kazanç ve etkin gürültü şekli ile azaltılır. Kayıplar 10 dB'e kadar ulaşabilir. Raman ve erbiyum yükselteçlerin her ikisi de fiberde optik sinyali yükseltirken pompalamadan sinyale enerji transfer ederler. RA'lar da fiber içindeki enerji transferinin etkisi uyarılmış Raman saçılması olarak bilinir. RA'lar düşük gürültü şekli, düşük bağlantı kaybı, yüksek kazanç, yüksek çıkış gücü ve geniş band genişliğine sahiptir. Erbiyum yükselteçlerle karşılaştırılınca RA'ların başlıca dezavantajları başlıca verimlerinin düşük olmasıdır. (80 km fiberde 100mW pompalama güçü ile 8 dB fiber kaybı telafi edilebilir.) 35 BA'lar pompalama ve sinyal frekanslarının çok küçük olması fakı ile RA'lardan ayrılır. Yükseltme işlemi benzerdir ve uyarılmış Brillouin saçılması olarak adlandırırlır. BA'lar yüksek kazanç, yüksek verim ve düşük bağlantı kaybı sağlarlar. Başlıca dezavantajı pompalama sinyali için dar band gerektirmesi, ısıl gürültüden dolayı yüksek bir gürültü şeklinin olması ve düşük çıkış gücüdür. Sonuçta erbiyum yükselteçler, girişim karakteristikleri, çok yüksek güçte çalışmaları ve çok düşük çevirim kaybı ile SOA lardan, çok yüksek verimle RA'lardan ve geniş band genişliği ve çok düşük gürültü şekli ile BA'lardan daha iyidir. İlaveten, erbiyum yükselteçler sadece yükselteç olarak kullanılabileceği gibi telekomünikasyonda dağıtılmış ve toplanmış yükselteç olarak da kullanılabilir[24,26].

4. BULGULAR

4.1. OPTİMİZASYON VE SİMÜLASYON

4.1.1. F/O KABLO SİSTEMLERİNDE OPTİMİZASYON

Optik Güç Optimizasyonu

DWDM networklerinde kanal sayılarının artmasıyla güç optimizasyon ihtiyaçları doğmuştur.Güç optimizasyonuna dikkat edilmeyen linkler için devre performanslarının düştüğü, veri trafiklerinde kesintilerin yaşandığı görülmüştür.

• WDM tarafı optik güçlerinin minimum eşik (threshold) değerlerinin altına düşmesi, bilgi sinyallerinin bozulmasına yol açacaktır.

• Booster'lar (yükselteç) ile güçlendirilen kanal güçlerindeki dengesizlikler, kanalların ve dolayısıyla taşıdığı bilgi sinyallerinin bozulmasına yol açacaktır. Normalden daha güçlü kanalların booster çıkışında yan bandları da aşırı arttırmakta ve komşu kanallar ile girişim (interference) etkisi yaratmaktadır.

Optimizasyonun amacı; kanal güç dengelerinin sağlanması ve WDM alış güç değerlerinin uygun değerlerde tutulmasının sağlanmasıdır. Optik kanal güçlerinin her hatta amplifier çıkışında birbirine en yakın seviyede tutulması gerekmektedir. DWDM'lerde kullanılan amplifier'ların (yükselteç) kazanç değerleri her kanal için bu kazanç değerinin birbirine yakın olması (fark<2 dB) beklenir. Dolayısıyla yapılacak ayarlamalarla kanal güç seviyeleri amplifier girişinde dengelendiğinde çıkışında da dengelenmiş olacak ve bu şekilde hatta çıkacaktır. Hattaki zayıflama tüm kanallara (az bir farkla) yakın değerlerde etki edeceğinden karşı merkezdeki alış amplifier'ında da flat bir spektrum elde edilmiş olacaktır. Kanal güç değerleri en uygun seviyelerde tutulduğunda amplifier'ların kazanç doğrusallığı en iyi durumda olacaktır. Bu sayede kanalların birbirlerine etkisi minimum düzeyde olacak ve Optik sinyal gürültü oranı (OSNR) seviyeleri istenen düzeye gelecektir.

İki tip amplifier'lar bulunur.Bunların birinde kazanç ayalanabilir iken diğer tip amplifier da kazanç ayarlanması yapılamaz.Amplifier'ların Mon (Monitor) portları çıkış sinyalini gösterdiğinden, çalışmalarda bu değerler kullanılacaktır.

Çıkış Gücü (dBm)=Giriş Gücü (dBm) + Kazanç (dB)
Toplam optik güç değerleri ise aşağıdaki formülle elde edilebilir.

Formül: $P_{toplam} = P_{tek} + 10 * logN$

Burada N toplam kanal sayısıdır. Kanal sayısı arttıkça toplam güç değeri de artmaktadır. Kanal güç değerleri amplifierların çalışabilceği standart threshold değerlere yakın olmalıdır.

4.1.2. Sistemden F/O Kablo Hattına Geçiş Aşamaları

DWDM tarafında optik güçlerinin minimum threshold değerlerinin altına düşmesi, bilgi sinyallerinin bozulmasına neden olmaktadır. Optik Güç Kuvvetlendiricileri (Booster) ile güçlendirilen kanal güçlerindeki dengesizlikler, kanalların ve dolayısıyla taşıdığı bilgi sinyallerinin bozulmasına yol açacaktır.Normalden daha güçlü kanalların booster çıkışında yan bantları da aşırı artmakta ve komşu kanallar ile interference etkisi yaratmaktadır.
Optimizasyonun amacı kanal güç dengelerinin sağlanması ve alış güç değerlerinin uygun değerlerde tutulmasının sağlanmasıdır. Kanal güçlerinin dengelenmesi için belirli referans değerler gereklidir.
Boosterlar sabit kazanç prensibiyle çalışmaktadır. Yani booster çıkış gücü, kanal sayısı arttıkça artacaktır.Boosterların standart kanal güç değerleri bulunmaktadır. Bu değerler sağlanamadığında kazanç doğrusallığının bozulduğu testlerde görülmüştür. Özellikle kanal güçlerinin ideal seviyenin üzerine çıkması booster çıkışında düzlüğün (flatness) bozulmasına sebep olmaktadır. Kanal güçlerinin ideal seviyenin altına düşmesi ise, spektrumda flatness bozulmasa dahi, bir noktadan sonra transponder'da sinyalin sağlıklı demodüle edilememesine sebep olacaktır ve bu durum trafik kesintilerine sebep olmaktadır.
Kanal güçleri OSA cihazları ile ölçülür. Veriş ve Alış boosterlarına Optik spektrum analizatörü (OSA) cihazları bağlanarak sistemden spektrumlar alınır. Alınan spektrumlar bize sinyal hakkında bilgi vermektedir. Spektrumun doğruluğunun kontrol edilmesi için öncelikle kanal güç değerleri toplamının, booster çıkış gücüyle karşılaştırılması gereklidir. İki değer arasındaki fark >2 dB ise burada optik geçişte bir zayıflama söz konusu olabilir. Optimizasyon, spektrum izlenerek sağlanacağından ilk bağlantıda bu problemlerin giderilmesi gereklidir. Spektrumda görülmeyen

çok düşük güçteki kanalların görünür hale gelebilmesi için, çok güçlü kanalların güçlerinin optimizasyon prensiplerine uygun olarak düşürülmesi gereklidir. Optimizasyon yapılırken tek doğrultuda çalışılmalıdır, bir doğrultuda yapılan işlemler diğer doğrultuyu etkilememektedir. Optimizasyon yapılırken trafiklerin kesilmemesi için gerekli düzenlemeler yapılarak devam edilmelidir. Aşağıdaki şekilden de anlaşılacağı üzere transponder (elektriksel katmanda gerçekleşen çoklamayı sağlar) dan çıkan sinyal line kartına (elektriksel gelen sinyali optik lazere dönüştürür/optik gelen lazeri elektriksele dönüştürür) girmektedir. Burada kanallar mux kartlarından sonra birleştirilerek tekrardan kanallar kuvvetlendirilir. Kuvvetlene sinyallerin biri denetim kanalına diğer sinyal ise fiber optik hattına girmek üzere çıkış yapar. Karşı hatta ulaşan sinyal optik kuvvetlendiricilerle takrar kuvvetlendirilir ve demux kartlarından geçerek kanallar çözülür. Buradan line kartından transponder kartına gelerek sinyal bir uçtan bir uca taşınmış olur.



Şekil 4.1: Sinyalin Sistemdeki kartlar arası geçişi

4.2. KANAL VE LİNK BAZLI ZAYIFLAMALARIN GiDERiLMESİ

Link bazlı zayıflamalarda öncelikle fiber hattı kontrol edilerek OTDR cihazıyla ölçüm alınması gerekmektedir. Bu cihaz ölçümüyle fiber hattının kaçıncı km de zayıflama veya kayıp olduğunun bilgisini verir. Günümüzde fiber kablonun zayıflaması 0,2 dB/km-0,25 dB/km civarına indirilmiştir. Bu zayıflama işaretimiz iletim hattında uzun mesafelerde iletildiği zaman işaretimizde büyük zayıflama olur. İşaret 100 km ilerlediğinde yaklaşık 20-25 dB zayıflamış olacaktır. Kilometrik kayıp fiberin bir kilometre uzunluğunda oluşan kayıp olarak adlandırılır. Bu zayıflamalar için SNR değeri düşmüş, BER seviyesi çok yüksek değerlere çıkmış olacaktır. Bu olması gereken zayıflamadır. Bunun üzerindeki zayıflamalar için hatta problem olduğunu anlayabiliriz. Aşağıdaki tablolardan anlaşılacağı üzere iki merkez arası hat uzunluğu, hat zayıflamasında olması gereken değer, alış-veriş merkezlerdeki kartların çıkışı ve kartlara gelen

seviyeler, perlerde meydana gelen zayıflamalar ve son olarak nominal zayıflamadan sapmalar gösterilmiştir. Sistemden çıkış sinyali sağlayan kartlar tüm merkezlerde aynı kartlardır. Bu yüzden bütün merkezlerdeki kartların çıkış sinyali 16 dB olarak görülmektedir. Alış merkezindeki kartlara gelen sinyal hattın uzunluğundan veya transmisyon kaynaklı zayıflamalardır.Aşağıdaki bu değerler ele aldığımız Acıbadem-İncesu arası geçiş merkezlerindeki hat uzunluğu, hat zayıflaması, alış-veriş değerleri vb. görülmektedir.

Acıbadem-Gebze	
Hat Uzunluğu	Hat Zayıflaması Nominal
61,9 km	12,5 dB
Acıbadem Veriş	Gebze Alış
16 dB	_1,5dB
1. Per Toplam Zayıflama 17,5 dB	
Gebze Veriş	Acıbadem Alış
16 dB	_4 dB
2. Per Toplam Zayıflama 20 dB	
Nominalden Sapma, 1. kılda 5 dB 2. kılda 7,5 dB sapma mevcuttur.	

GEBZE-İZMİT	
Hat Uzunluğu	Hat Zayıflaması Nominal
57,7 km	11,6 dB
Gebze Veriş	İzmit Alış
16 dB	4 dB
1. Per Toplam Zayıflama 12 dB	
izmit Veriş	Gebze Alış
16 dB	3,4 dB
2. Per Toplam Zayıflama 12,6 dB	
Nominalden Sapma 1. kılda 0,4 dB 2. kılda 1 dB sapma mevcuttur	

İZMİT-DÖRTYOL	
Hat Uzunluğu	Hat Zayıflaması Nominal
45,5 km	9,1 dB
İzmit Veriş	Dörtyol Alış
16 dB	5,5 dB
1. Per Toplam Zayıflama 10,5 dB	
Dörtyol Veriş	İzmit Alış
16 dB	6,2 dB
2. Per Toplam Zayıflama 9,8 dB	
Nominalden Sapma 1. kılda 1,4 dB 2. kılda 0,7 dB sapma mevcuttur	

DÖRTYOL-DÜZCE	
Hat Uzunluğu	Hat Zayıflaması Nominal
81,2 km	16,3 dB
Dörtyol Veriş	Düzce Alış
16 dB	_0,5 dB
1. Per Toplam Zayıflama 16,5 dB	
Düzce Veriş	Dörtyol Alış
16 dB	_0,8 dB
2. Per Toplam Zayıflama 16,8 dB	
Nominalden Sapma 1. kılda 0,2 dB 2. kılda 0,5 dB sapma mevcuttur	

DÜZCE-BOLU	
Hat Uzunluğu	Hat Zayıflaması Nominal
54,9 km	11 dB
Düzce Veriş	Bolu Alış
16 dB	4,7 dB
1. Per Toplam Zayıflama 11,3 dB	
Bolu Veriş	Düzce Alış
16 dB	2,4 dB
2. Per Toplam Zayıflama 13,6 dB	
Nominalden Sapma, 1. kılda 0,3 dB 2. kılda 2,6 dB sapma mevcuttur.	

BOLU-GEREDE	
Hat Uzunluğu	Hat Zayıflaması Nominal
67,3 km	13,5 dB
Bolu Veriş	Gerede Alış
16 dB	1,6 dB
1. Per Toplam Zayıflama 14,4 dB	
Gerede Veriş	Bolu Alış
16 dB	1,7 dB
2. Per Toplam Zayıflama 14,3 dB	
Nominalden Sapma 1. kılda 0,9 dB 2. kılda 0,8 dB sapma mevcuttur	

GEREDE-ÇELTİKÇİ	
Hat Uzunluğu	Hat Zayıflaması Nominal
73,5 km	14,7 dB
Gerede Veriş	Çeltikçi Alış
16 dB	0,7 dB
1. Per Toplam Zayıflama 15,3 dB	
Gebze Veriş	Acıbadem Alış
16 dB	1,2 dB
2. Per Toplam Zayıflama 14,8 dB	
Nominalden Sapma 1. kılda 0,6 dB 2. kılda 0,1 dB sapma mevcuttur	

ÇELTİKÇİ-İNCESU	
Hat Uzunluğu	Hat Zayıflaması Nominal
86,2 km	17,5 dB
Çeltikçi Veriş	İncesu Alış
16 dB	_2 dB
1. Per Toplam Zayıflama 18 dB	
Gebze Veriş	Acıbadem Alış
16 dB	_2,5 dB
2. Per Toplam Zayıflama 18,5 dB	
Nominalden Sapma 1. kılda 0,5 dB 2. kılda 1 dB sapma mevcuttur	

Tablo 4.1: Acıbadem-İncesu arası link değerleri

Zayıflamalara sebebiyet veren başka bir etkende dispersiyondur. Dispersiyon (saçılma), fiber optik hattı boyunca hem analog hem de dijital sinyaller için bozulmalara sebebiyet verir. Dijital dispersiyon göz önüne alındığında ışık kaynağı kanal boyunca iletilirken komşu bilgi sembollerinin yani bitlerin birbirlerinin içine girmesine ve birbirleri ile karışmasına yol açmaktadır. Sonuç olarak bit hatalarına yol açarak bit hata performansını ve dolayısı ile de taşınan servislerin kalitesini etkilemektedir. Hata oranı, ayrıca hattaki işaret zayıflamasının ve alıcıdaki ardışık işaret - gürültü oranı (SNR)'nın da bir fonksiyonudur. Bu durumda bozulan kanallar sistem üzerinden optik güç ayarlayıcısıyla sinyalleri optimum noktaya getirilebilir. Böyle kanal bazlı zayıflamalarda direkt hatta müdahale edilmeden sorun optimize edilmiş olur.

4.2.1. Kanal Bazlı Optimizasyonun Amacı

Fiber optik hattında optimizasyon yaplacaksa öncelikle zayıflamanın en fazla meydana geldiği iki merkez (transponder-transponder) arası tespit edilir. Transponder kartları sinyalin ulaşacağı son noktadır. Burada transponderlar hem modülasyon hem de demodülasyon yaparlar. Bu tespit işlemi yine transponder kartlarının alış-veriş ve booster (yükselteç) lara geliş veriş boster ların çıkış seviyeleri gözetilerek tespit etmiş oluruz. Optimizasyon yapılırken trafiklerin kesilmemesine dikkat edilmelidir. Kanal bazlı çalışma yapılırken her adımda maksimum 1 dB aralıklarla güç

seviyeleri değiştirilmelidir. Booster giriş ve çıkışlarındaki toplam güçler üzerinde değişiklikler her adımda maksimum 0,5 dB olmalıdır. Her değişiklik sonrası trafik durumları gözlemlenmelidir.

Bu çalışma kanal bazlı zayıflamaların tespiti ve çözümü olmuştur. Kanalların Düzce'ye kadar normal geldiği görülmektedir. Ancak Bolu merkezden sonra kanalların İncesu merkeze kadar bazı kanallarda bozulmalar meydana geldiği görülmüştür. İlgili kanallara sadece kanal bazlı optimizasyon yapılmıştır. Öncelikle 4 numaralı kanalın güç değeri artırılarak kanalın flatness e yakın bir değere getirildi. Kanalın performansına bakıldığında bit hatalarına rastlanmamıştır. 4, 26, 39, 41, 55, ve 58. numaralı kanalların çalışması diğer kanalların etkisini bozmayacak biçimde belirtilen numaralı kanallar için çalışma yapılmıştır. Bu yapılmış çalışmayla ilgili olarak 4.3) Simülasyon Çalışması Bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır.

Optimizasyon çalışmasının verimli olabilmesi için kanalların İncesu'ya gelene kadar kanalların ilk olarak hangi merkezde bozulmaya başlamışsa o merkezden kanalların optimizasyonuna başlanmalıdır.

Aşağıda verilen tabloda Düzce-Bolu arası linkte kanalların bazılarının flatness i yakalayamadığı ve ayrıca performansta BER, SES gibi bit hataları görülmeye başlanmıştır. İlgili merkezlerdeki zayıflama değeri devrelerin çalışması için uygun dB/km aralığındadır. Buradaki 54,9 km'lik mesafedeki toplam zayıflama 11-13,75 dB aralığı yeterlidir. Mevcut her iki perdeki zayıflama bu aralıkta olsa bile bit hatalarından ötürü etkilenen kanallar olmuştur. Bu kanallarla ilgili çalışma yukarıda bahsedilmiştir.

DÜZCE-BOLU	
Hat Uzunluğu	Hat Zayıflaması Nominal
54,9 km	11 dB
Düzce Veriş	Bolu Alış
16 dB	4,7 dB
1. Per Toplam Zayıflama 11,3 dB	
Bolu Veriş	Düzce Alış
16 dB	2,4 dB
2. Per Toplam Zayıflama 13,6 dB	
Nominalden Sapma, 1. kılda 0,3 dB 2. kılda 2,6 dB sapma mevcuttur.	

Tablo 4.2: Düzce-Bolu arası hat zayıflama değerleri

4.2.2. Link Bazlı Optimizasyonun Amacı

Link bazlı optimizasyon da yükselteçlerden seviye ayarı yapıldığı için içerisinden çalışan bütün kanallar etkilenecektir. Öncelikle çalışma yapılacak merkezlerin spektrum ölçümleri OSA (Optical Spectrum Analyser) ile yapılmıştır. Çalışmanın daha sağlıklı olabilmesi için ölçümlerin hem veriş hem alış yönünde yapılması daha uygun olacaktır. Yükselteçlerin (Monitor) portlarındaki sinyal, yükseltecin çıkış sinyalinin 20 dB zayıflamış halidir. Dolayısıyla ölçülen güç seviyelerine 20 dB ekleyerek değerlendirmek gerekecektir. Link bazlı seviye ayarlamasında yükselteçlerden bir kaç dB değiştirilerek yapılır. Linkteki kanaların tamamını etkileyeceği için kanalların hepsi kontrol edilir. Kanallarda kayıp, zayıflama, flatness'i yakalayamama gibi problemlerde bir sonraki merkezin yükseltecin alış ve çıkış seviyeleri kontrol edilerek en uygun değerler yakalanana kadar çalışmaya devam edilir. Link bazlı optimiasyonda birden fazla problemli kanalları tek hamlede optimize edebilmeyi sağlar.

Acıbadem-İncesu merkezleri arası linkte yapılan OTDR ölçümde Acıbadem-Gebze merkezlerindeki nominal zayıflamadan oldukça yüksek olduğu tablo da görülmektedir. Zayıflamayı tespit edebilmek için öncelikle her iki merkezde ölçüm yapılmıştır. 1. Perdeki zayıflamayı tespit edebilmek için Gebze'nin alışı ölçülmüştür. 2. Perdeki zayıflama içinse

Acıbadem in alışı ölçülerek tablodaki değerler görülmüştür. OTDR ölçüm sonucunda Gebze den 26,2 km uzaklıkta iki per için 3,5 dB zayıflama görülmüştür. Arıza noktasında zayıflamanın olduğu nokta tespit edilerek fiber kılları kırılarak tekrar eklenmiştir. Problemin ıslahı öncesi ve sonrası değerler aşağıdaki tablo da verilmiştir. Km başına düşen zayıflama 0,2-0,25 dB normal kabul edildiği için 61,9 km de 12,5-15,5 dB arasındaki zayıflama değerleri kabul edilebilir bir değerdir.

Acıbadem-Gebze	
Hat Uzunluğu	Hat Zayıflaması Nominal
61,9 km	12,5 dB
Acıbadem Veriş	Gebze Alış
16 dB	_1,5dB
1. Per Toplam Zayıflama 17,5 dB	
Gebze Veriş	Acıbadem Alış
16 dB	_4 dB
2. Per Toplam Zayıflama 20 dB	
Nominalden Sapma, 1. kılda 5 dB 2. kılda 7,5 dB sapma mevcuttur.	

ACIBADEM- GEBZE	
Hat Uzunluğu	Hat Zayıflaması Nominal
61,9 km	12,5 dB
Acıbadem Veriş	Gebze Alış
16 dB	2 dB
1. Per Toplam Zayıflama 14 dB	
Gebze Veriş	Acıbadem Alış
16 dB	0,5 dB
2. Per Toplam Zayıflama 16,5 dB	
Nominalden Sapma 1. kılda 1,5 dB 2. kılda 4 dB sapma mevcuttur	

Tablo 4.3: Acıbadem-Gebze arası zayıflama değerleri **Tablo 4.4:** Fiber onarım sonrası değerler

Zayıflamanın onarılması sonrasında yine de iki per arasında 4 dB lik fark oluşmuştur. Buradaki farkın bulunabilmesi için hattan karta kadar gelen patch cord kontrol edilmiştir. Hat ile sistem arasındaki patch cord sağlam olup olmadığını anlamak için önce patch corda gelen seviye ölçülmüştür. Bu ölçüm sonucunda gelen sinyal 13 dB iken karta gelen seviye 16,5 dB ölçülmüştür. İlgili ölçümleri ölçü cihazlarıyla yapılmaktadır. Hat ile kart arasındaki patch cord değiştirilerek 3,5 dB zayıflama sorununun düzeldiği görülmüştür.

ACIBADEM- GEBZE	
Hat Uzunluğu	Hat Zayıflaması Nominal
61,9 km	12,5 dB
Acıbadem Veriş	Gebze Alış
16 dB	2 dB
1. Per Toplam Zayıflama 14 dB	
Gebze Veriş	Acıbadem Alış
16 dB	3 dB
2. Per Toplam Zayıflama 13 dB	
Nominalden Sapma 1. kılda 1,5 dB 2. kılda 0,5 dB sapma mevcuttur	

Tablo 4.5: Patch cord değişimi sonrası hattın son hali

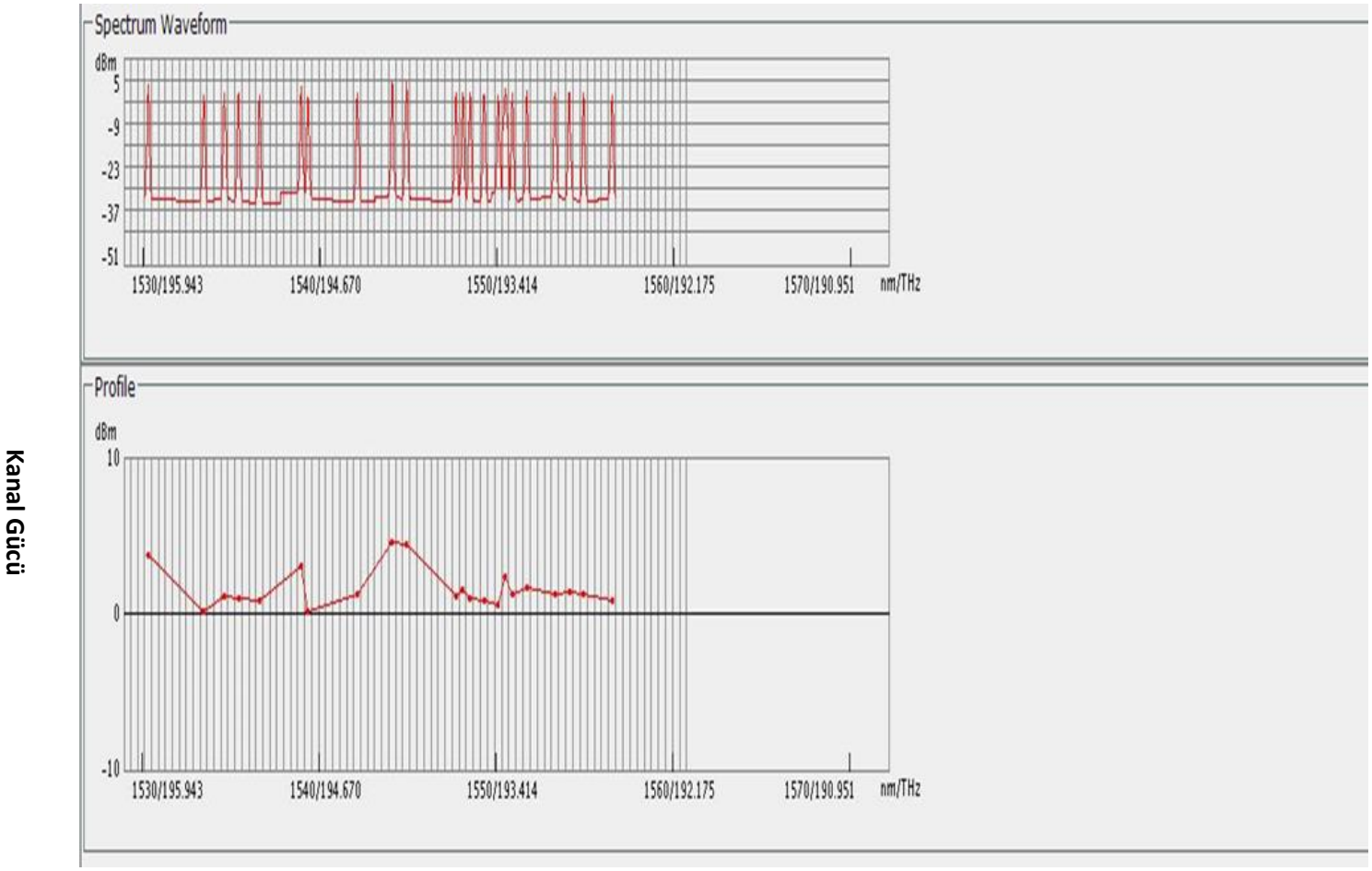
Şekilden de görüleceği üzere bu zayıflama probleminin düzeltilmesinden sonra kanalların genelinde bir düzelme olmuştur. Bu çalışma fiber ve patch cord kaynaklı sorunlardan oluştuğu için kanalların geneli etkilenmekteydi. Link bazlı çalışmadan sonra kanalların tümünde iyileşme olduğu görülmüştür. İlgili çalışma sonuçları 4.3. Simülasyon Çalışması Bölümünde anlatılmıştır.

Fiber optik ve patch cord probleminden dolayı linkteki zayıflama onarıldıktan sonra yükselteçlerden optimize edilmeye gerek duyulmamıştır. Eğer bu kadar zayıflama farkı meydana gelmediği halde kanalların genelinde flatness sağlanamasaydı yükselteçlerden değerler girilerek optimum değerler yakalanmaya çalışılmış olacaktı.

4.3. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Çoklu taşınan kanalların performansını değerlendirmek için Hubble/Simulink platformunda test devresi modellenmiştir. Yaklaşık 80 kanallı sinyal taşıyıcı sistemde bazı kanalların düzgün bir şekilde taşınmadığı görülmektedir. Bizim amacımız kanalların hepsinde flatness i sağlamaktır.

Acıbadem-İncesu hattında (Acıbadem-Gebze-İzmit-Dörtyol-Düzce-Bolu-Gerede-Çeltikçi-İncesu) merkezler arası hat zayıflamaları ve olması gereken değerler verilmiştir. Öncelikle Düzce-Bolu arası kanal bazlı zayıflamaların simülasyonundan bahsedelim.



Şekil 4.2: Flatness'i bozulmuş kanalların simülasyonu

Spectrum Data

No.	Wavelength No.	Standard Wavelength (nm)/Frequency (THz)	Central Wavelength (nm)/Frequency (THz)	Wavelength Deviation (nm)	Optical Power (dBm)	OSNR(dB)
1	4	1530.33/195.900	1530.31/195.903	-0.02	3.7	34.9
2	12	1533.47/195.500	1533.45/195.502	-0.02	0.2	31.8
3	15	1534.64/195.350	1534.63/195.352	-0.01	1.1	32.4
4	17	1535.43/195.250	1535.42/195.251	-0.01	1.0	32.8
5	20	1536.61/195.100	1536.6/195.101	-0.01	0.8	33.2
6	26	1538.98/194.800	1538.97/194.801	-0.01	3.1	32.4
7	27	1539.37/194.750	1539.35/194.753	-0.02	0.1	30.9
8	34	1542.14/194.400	1542.14/194.400	0.0	1.2	32.9
9	39	1544.13/194.150	1544.11/194.152	-0.02	4.5	34.6
10	41	1544.92/194.050	1544.91/194.052	-0.01	4.4	35.2
11	48	1547.72/193.700	1547.71/193.701	-0.01	1.1	32.5
12	49	1548.11/193.650	1548.1/193.652	-0.01	1.5	32.1
13	50	1548.51/193.600	1548.51/193.601	0.0	1.0	32.7
14	52	1549.32/193.500	1549.3/193.502	-0.02	0.8	32.7
15	54	1550.12/193.400	1550.11/193.401	-0.01	0.6	29.9
16	55	1550.52/193.350	1550.51/193.351	-0.01	2.3	13.4
17	56	1550.92/193.300	1550.91/193.301	-0.01	1.2	32.6
18	58	1551.72/193.200	1551.72/193.200	0.0	1.6	32.8
19	62	1553.33/193.000	1553.32/193.001	-0.01	1.3	31.4
20	64	1554.13/192.900	1554.12/192.902	-0.01	1.4	32.2
21	66	1554.94/192.800	1554.93/192.801	-0.01	1.3	33.0
22	70	1556.55/192.600	1556.54/192.602	-0.01	0.8	31.9

Şekil 4.3: Bozulmuş kanalların değerleri

Bizim kullandığımız 80 kanallı amplifier'in gücü sabit olarak 20 dbm dir. Ancak 80 kanalın 70 kanalı kullanılmıştır. 70 kanallı sistemin tek bir kanal başına düşen gücü hesaplayacağız.

$P_{toplam} = P_{tek} + 10 * logN$ formülünden yola çıkarak;

$P_{toplam} = 20\ dbm$ kullanmış olduğumuz yükseltecin max. çıkış gücü, tüm kanallar için.

20=P_{tek}+10 x $log80$ ↔ P_{tek}= 0,96 dbm Tek bir kanal çıkış gücü

Ancak bizim sistemimizde 70 kanal mevcut. Bu yüzden 70 kanalda tek bir kanalın gücünü hesaplayalım.

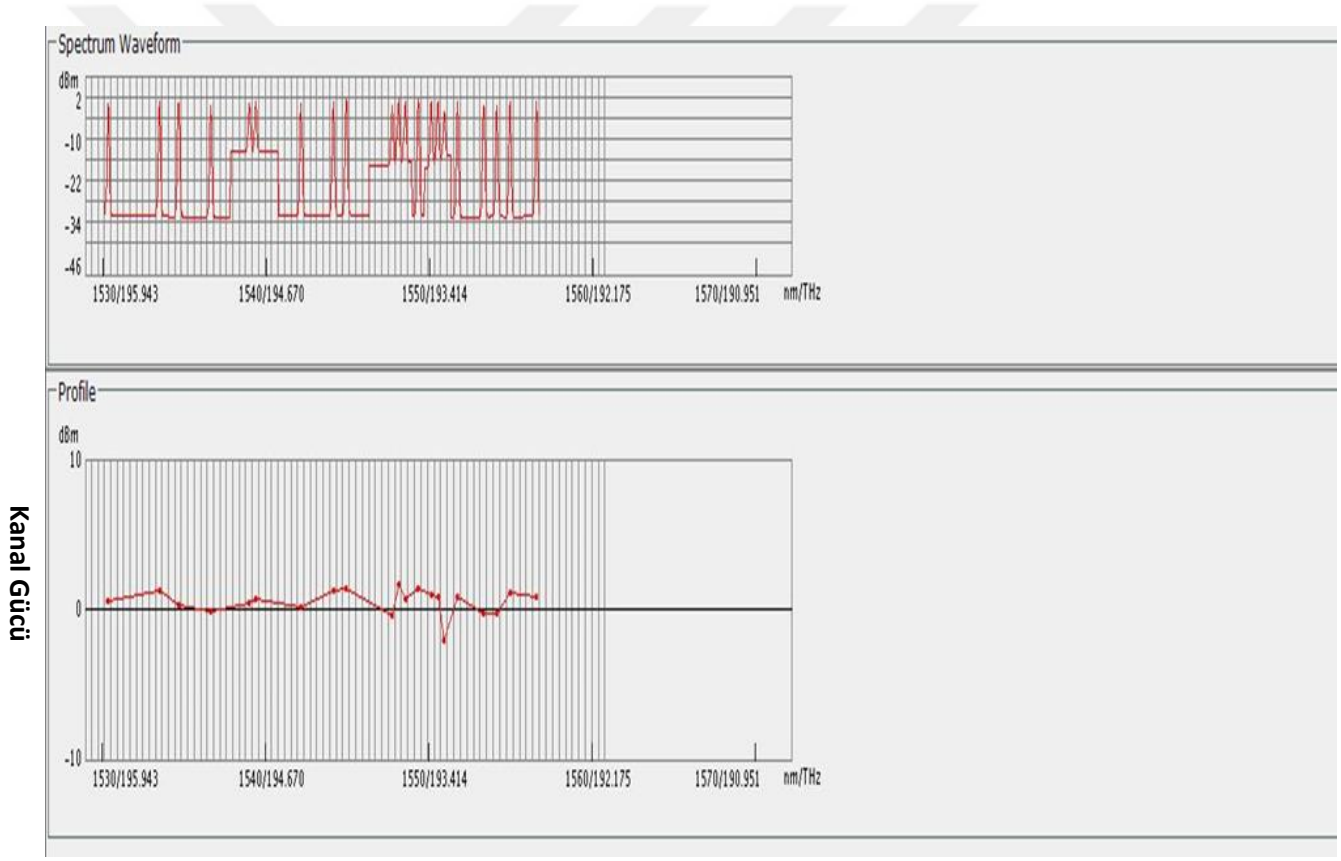
20=P_{tek}+10 x $log70$ ↔ P_{tek}= 1,54 dbm olarak bulunur. Sistemizde kanalın gücü 1,54 dbm üzerinde ise kanal bazlı performans hataları veya kanal bazlı kesik görebiliriz.

Şekil 4.4'den de görüleceği üzere 4, 26, 39, 41, 55 ve 58. Kanallarda 1,54 dbm üzerinde olduğundan dolayı aşırı bozulmalar meydana geldiği görülmektedir.

4 numaralı kanal için sistemde gücü 3,7 dbm görülmektedir. Bu kanalın alış gücünü 3,2 dbm kadar zayıflatarak düzelme sağlanmıştır.

26 numaralı kanal ise 3,1 dbm dir. Bunu da 1,9 dbm zayıflatılarak 1,2 dbm seviyelerine getirilmiştir.

Aynı şekilde 39, 41, 55, ve 58. Kanallarda gerekli zayıflatılma yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak kanal bazlı çalışma sonrasında aşağıdaki yeni değerler ve grafik elde edilmiştir.



Şekil 4.4: Kanal bazlı optimizasyon sonucu elde edilmiş simülasyon

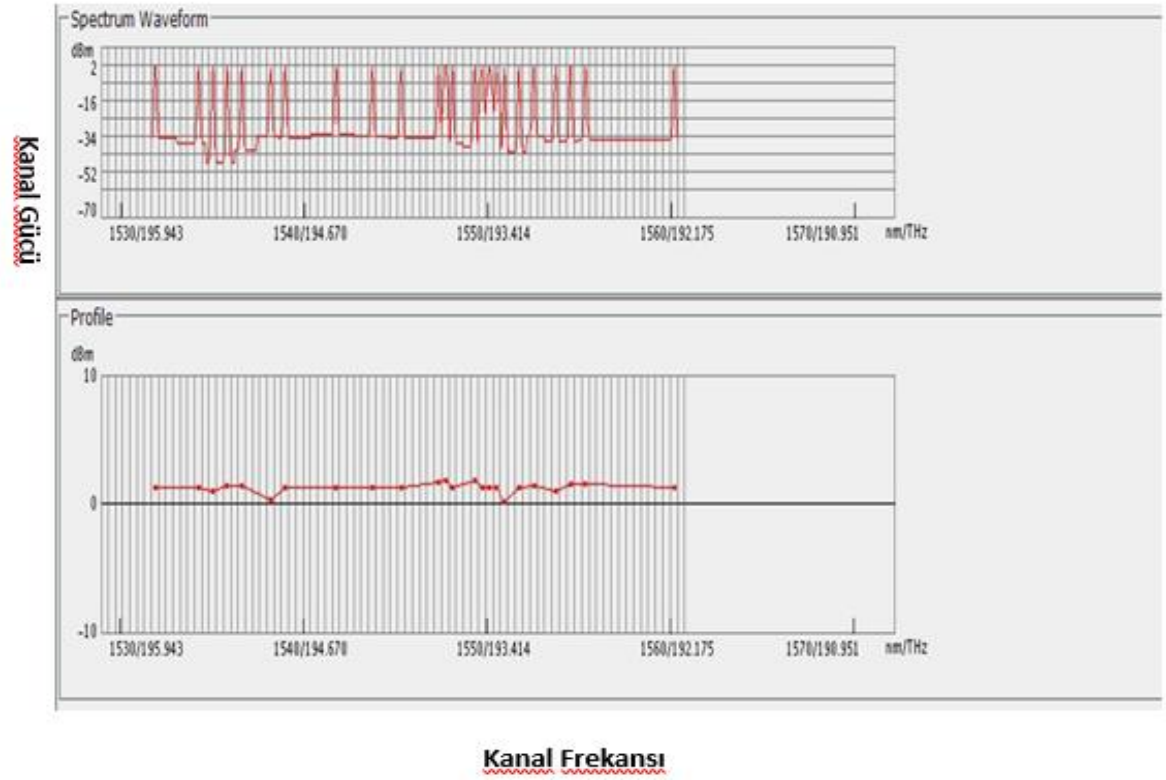
Spectrum Data

No.	Wavelength No.	Standard Wavelength (nm)/Frequency (THz)	Central Wavelength (nm)/Frequency (THz)	Wavelength Deviation (nm)	Optical Power (dBm)	OSNR(dB)
1	4	1530.33/195.900	1530.34/195.899	0.01	0.5	30.3
2	12	1533.47/195.500	1533.48/195.498	0.01	1.2	31.2
3	15	1534.64/195.350	1534.65/195.349	0.01	0.3	30.6
4	20	1536.61/195.100	1536.62/195.099	0.01	-0.2	30.1
5	26	1538.98/194.800	1538.99/194.798	0.01	0.4	13.0
6	27	1539.37/194.750	1539.38/194.749	0.01	0.7	13.3
7	34	1542.14/194.400	1542.15/194.399	0.01	0.2	30.0
8	39	1544.13/194.150	1544.13/194.150	0.0	1.2	31.1
9	41	1544.92/194.050	1544.93/194.049	0.01	1.4	31.2
10	48	1547.72/193.700	1547.73/193.698	0.01	-0.4	16.1
11	49	1548.11/193.650	1548.12/193.649	0.01	1.6	17.3
12	50	1548.51/193.600	1548.53/193.598	0.02	0.7	15.9
13	52	1549.32/193.500	1549.33/193.498	0.01	1.4	31.4
14	54	1550.12/193.400	1550.13/193.398	0.01	0.9	17.9
15	55	1550.52/193.350	1550.53/193.348	0.01	0.8	16.0
16	56	1550.92/193.300	1550.93/193.299	0.01	-2.1	11.8
17	58	1551.72/193.200	1551.73/193.199	0.01	0.8	31.1
18	62	1553.33/193.000	1553.34/192.999	0.01	-0.3	30.0
19	64	1554.13/192.900	1554.14/192.899	0.01	-0.3	29.9
20	66	1554.94/192.800	1554.95/192.799	0.01	1.1	31.6
21	70	1556.55/192.600	1556.56/192.599	0.01	0.8	30.9

Şekil 4.5: Kanal bazlı optimizasyon sonucu elde edilen kanal değerleri

Simülasyon çalışmasında elimizde bulunan kanalların herhangi bir bozulmaya uğratmadan sinyalin taşınması amaçlanmıştır. Öncelikle zayıflama varsa sebep araştırması yapılmıştır. İstanbul-Ankara güzergahında ki fiber hattı ele alınarak buradaki zayıflamanın hattan kaynaklanıp kaynaklanmadığı tespit edilmiştir. OTDR ölçümü alınarak hatta ki zayıflamanın normal olduğu görülmüştür. 4, 26, 39, 41, 55, ve 58. Kanallarda ki bozulmaları alış güçlerinde ayarlamalar yapılarak sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır. Simülasyon çalışmasında da anlaşılacağı üzere kanalların performansı için flatness yakalanmaya çalışılmıştır. Çalışmanın amacı kanallardaki performans kaybını önlemektir. Müşteriye sağlanan bilgi taşınmasının sağlıklı bir şekilde iletilmesi amaçlanmıştır. Maliyet açısından kanal bazlı problemlerde direkt fiber hattına müdahale etmeden kanallar çalıştırılarak personel, araç masrafı, zaman kaybı gibi operasyonel maliyetten kazanç sağlanmıştır.

Son olarak sıfırın altındaki değerleri ve biraz daha flatnessi sağlamak adına hem alış hem veriş amplifier da bir kaç dbm güçlendirme yapılarak aşağıdaki son hali yakalanmıştır.



Şekil 4.6: Link bazlı optimizasyon sonucu elde edilen simülasyon

Simülasyon çalışmamızın sonunda performans hatalarına bakıldığında optimizasyon sonrası BER değerleri normal olduğu ve ES, SES, FEC hatalarına rastlanmadığı görülmüştür.
Aşağıdaki tablodanda görüleceği üzere performans da '0' değerleri yakalanmıştır.

Performance Event	Value CUR	Value MIN	Validity
BBE(block)	0	-	Valid
ES(s)	0	-	Valid
SES(s)	0	-	Valid
UAS(s)	0	-	Valid
SESR(1.0E-6)	0	-	Valid
BBER(1.0E-6)	0	-	Valid
FEBBE(block)	0	-	Valid
FEES(s)	0	-	Valid
FESES(s)	0	-	Valid
FEUAS(s)	0	-	Valid
FESESR(1.0E-6)	0	-	Valid
FEBBER(1.0E-6)	0	-	Valid

Şekil 4.7: Optimizasyon sonucu gelen hata oranları

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Simülasyon çalışmasında kanalların flatness i sağlayarak diğer kanalları etkilemeyecek biçimde çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada kanallardan çalışan devrelerin kalitesi önem arz etmektedir. En önemli kalite fiziksel kalite olan fiber optik ve transmisyon kalitesidir.

Transmisyonun kalitesi nihai servisleri doğrudan doğruya etkilemektedir. Bu nedenle fiziksel transmisyonun kalitesinin tanımlanması, ölçülmesi ve teyit edilmesi büyük önem taşımaktadır. Ses, veri ve görüntü uygulamalarının hepsi fiziksel transmisyonun belli bir kalite ile yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Konumuz olan sayısal işaretlerin transmisyon kalitesinin belirlenmesinde ise çok daha farklı kavramlar ve parametreler söz konusu olmaktadır. Sayısal işaretler ile yapılan iletişimde çok katmanlı protokol yapıları (örn. 7 katmanlı OSI modeli) söz konusu olmaktadır. Bu modellerde bir katman, altındaki katmanın servisini kullanarak bir üstündeki katmana servis sağlamaktadır. Dolayısı ile bir katmanın üstündeki katmana sağlayacağı servisin kalitesi, kendi servis kalitesi ile birlikte altındaki katmanın sunduğu servisin kalitesine bağlıdır. Her katmanın servis kalitesi diğer katmanlardan ayrı olarak ölçülebilmektedir. En alttaki katmanın (fiziksel katman) sunduğu servis çok temel olup, üstteki diğer tüm katmanlar bu servisi kullanmaktadırlar. En üstteki uygulama katmanının kalitesi büyük ölçüde en alttaki fiziksel katmanın ve bunu destekleyen iletim ortamının (örn.fiber kablo) iletim kalitesine bağlı olmaktadır. Dolayısı ile fiziksel katmanda iletim kalitesi, transmisyon cihazlarının doğru çalışmasına bağlı olduğu gibi aynı zamanda da iletim ortamının iletim kalitesine bağlıdır.

Sayısal transmisyonun kalitesi, doğrudan bitlerin hatasız taşınması ile ilgilidir. Bit hata performansı ölçümlerinde her saniye diğer tüm saniyelerden bağımsız olarak kalitesi açısından değerlendirilerek sınıflandırılmaktadır. Buna göre eğer saniye hiç bit hatası içermiyorsa böyle bir saniye “Hatasız Saniye” olarak isimlendirilmekte ve kısaca EFS ile gösterilmektedir. Eğer saniye içersinde en az bir veya daha fazla hatalı bit varsa, böyle bir saniyeye “Hatalı Saniye”denmekte ve ES ile gösterilmektedir. Bu tanımlamalara göre bir saniye başka bir alternatif olmadan ya EFS ya da ES olmaktadır. ES durumunda ise saniye hata miktarının şiddetine (yoğunluğuna) göre ya SES ya da NSES olmaktadır. Sayısal iletimin kalitesinin saptanmasında önemli bir parametre de BER olmaktadır. Bu parametre hatalı bitlerin sayısının iletilen toplam bitlere oranı şeklinde

tanımlanmaktadır. Örneğin BER = $10e^{-3}$çok yüksek bir bit hata oranı olup (iletim bu hata oranında kesilir!) ortalama olarak iletilen her 1000 bit' den 1' inin hatalı olduğunu ifade eder.

Daha makul BER oranları bunların altında olanlardır. $10e^{-3}$<BER <$10e^{-6}$ aralığında sistemler genellikle BER alarmları verirler. Ancak bu eşiğin üzerinde sistemler alarm vermeseler bile beklenen BER, $10e^{-6}$ 'dan çok daha düşüktür. BER parametresi performans ölçümlerinde ilk yaklaşım olarak kullanılmaktadır.

İstenmeyen bit hataları hangi nedenlerle oluşur?

Bu nedenleri iki ana grupta toplamak mümkündür. Birinci neden istenmeyen ve işareti bozan gürültü faktörü, diğeri ise iletim ortamının sınırlı band genişliğidir. Ayrıca cihazların alış devrelerinin doğru algılama performansları da bit hatalarının nedenleri arasındadır. Bit hatalarının dağılım profilleri önemli olup algılanmalarında değişik yöntemleri gerektirmektedir. Zemin gürültüsünün neden olduğu bit hataları düzgün dağılım profiline sahiptir ve bu tip hataların önüne geçmek mümkün değildir. Bu hataların oranı ortam sıcaklığına bağlı olup sıcaklık artışı ile BER artar.

Tüm bu parametreler bir ağda kullanılan transmisyon cihazlarına (Alıcı-Verici) ve kablolara ya da antenlere (İletim Ortamı) bağımlı olmakta ve performans sorunları bu öğelerin birinde veya birkaçında ortaya çıkabilmektedir.

Bundan sonra yapılması gereken ise hangi nedenlerin bit hata performansı düşüklüğüne neden olduğunu saptamak üzere ek testlerin yapılmasıdır.

Ek test ve ölçümler için aşağıdakiler sıralanabilir:

Zayıflama testleri, saat tolerans testleri (ppm), dispersiyon testleri, OSNR testleri, Optik spektrum testleri, OTDR testleri vb.

Performans sorunlarına çözüm arayışında ilk yaklaşım, mevcut sorunun sistematik mi yoksa yerel mi olduğunun saptanmasıdır. Sistematik sorunlar daha ağır sorunlar olup, bunlar ağın her tarafında veya belli bir bölgesinde yaygın olarak ortaya çıkarlar. Yerel sorun ise sadece belli bir yerde ortaya çıkan münferit bir sorun olup, sorun lokalize edildikten sonra hızla giderilebilmektedir.

Sistematik sorunlar ve çözümleri:

1) Tasarım ve planlama hataları: Dispersiyon, OSNR, eşzamanlama, zayıflama vb planlama hataları olabilmektedir.

Çözüm: Tasarım ve planlama gözden geçirilerek, sahada yeni düzenlemelere gidilebilir.

2) Senkronizasyon planı hataları veya güncellemelerin yapılmamış olması.
   Çözüm: Plan ve senkronizasyon konfigürasyonu gözden geçirilmeli ve gerekli cihaz güncellemelerin yapılması.
3) Sistematik montaj, enerji kalitesi, klima ve topraklama hataları.
   Çözüm: Genel montaj ve çevre koşulları sistematiği gözden geçirilmelidir.

Yerel Sorunlar ve Çözümler:

1) Zayıflama sorunları: En sık karşılaşılan sorunlardandır. Seviyelerin beklenenin altında olması durumunda optik konnektörlerin kirliliğinden şüphe edilmeli ve gerekirse Fiber Mikroskop ile kontrol edilerek uygun temizleme araçları ile (Cletop, alkol, basınçlı hava) usulüne uygun olarak temizlenmelidir.
2) Modül arızaları: Saat, zayıflama toleransları düşmüş veya lazer çıkışları yaşlanarak düşmüş olabilir. Bu modüller değiştirilmelidir.
3) Senkronizasyon konfigürasyon hataları: Senkronizasyon planına uygun doğru konfigürasyon kontrol edilmeli ve gerekiyorsa düzeltilmelidir.
4) Dispersiyon kompanzasyonu: Sorunun dispersiyondan kaynaklandığı saptanırsa, dispersiyon dengeleme birimleri araya konmalıdır.
5) Kötü fiber ek yerleri ve konnektörler: OTDR ölçüm ve testleri ile saptanıp düzeltilmelidir.Gerekli durumlarda fiber konnektörlerin temizlenmesi gerekebilmektedir.
6) Bina Çevre koşulları: Klimalar, topraklama, enerji kalitesi kontrol edilmelidir.
   Özellikle cihazların çalıştığı çevre koşulları önemli bir etkendir. Cihazlar belli sıcaklık aralıklarında (çoğunlukla 5 – 50 derece aralığındaki ticari sıcaklıklarda) normal çalışmaktadır. Bu aralıkların dışında bit hataları çoğalabilmektedir. Dolayısı ile salon klimaları ile cihazların fanları önemli olmaktadır. Cihazlardaki hava filtrelerinin ise uygun aralıklarda kontrol edilmesi gerekmektedir. Enerji kalitesi önemli olup, aşırı enerji dalgalanmaları ve besleme şebekesi gürültüleri bit hatalarına yol açabilmektedir.

Zayıflama:

Bizim konumuzun temeli olan seviyelerdeki zayıflama bit hatası ve kanalların flatness doğrusallığıyla birlikte kanal kayıplarına sebebiyet vermekteydi. Dikkat edilmesi gereken hususlar olarak aşağıda verilmiştir.

Sayısal işaret, iletim ortamında ilerledikçe mesafeye ve iletim ortamının tipine ve işaretin frekansına bağlı olarak zayıflamaktadır. Zayıflama, alıcının algılama düzeyinin altına düşmeden işaret sonlandırılarak yükseltilmelidir.

Telekomünikasyon tekniğinde standart seviye 0 dBm olup 1 mW 'a karşılık gelmektedir. Her 3 dB artış veya azalış bu seviyeyi katlamakta ya da yarıya düşürmektedir. Mesafeye bağlı zayıflamalar dışında fiber ekleri ve konnektörlerde de zayıflama olmaktadır. Konnektörün ve fiber eklerinin kalitelerine bağlı olarak bu zayıflama değerleri 0,01-0,05 dB civarındadır. Ancak kirli konnektör yüzeylerinde yüksek zayıflama değerleri ortaya çıkabilmektedir. Dolayısı ile optik konnektörler kullanılmadığında kirlenmemeleri önemli olup kirlenmeleri durumlarda konnektörler usulüne uygun olarak temizlenmelidir.

Her optik alış portunun en az bit hatası ile çalışabildiği bir minumum – maksimum alış seviyesi aralığı (dBm) vardır. Minumum aralık, hassasiyet olarak da anılmaktadır. Maksimum seviyenin üzerinde ayrıca kalıcı hasar seviyesi vardır. Bu seviyenin aşılması durumunda alış portu kalıcı olarak hasarlanabilir.

Optik iletimde fiberler işaretleri soğurma ve saçılma (dispersiyon) olmak üzere 2 nedenle zayıflatmaktadır.

Bükülme yarıçaplarının 30 mm 'den az olma durumunda ise optik işaretin bir bölümü çekirdekten (core) dışarıya kaçabilmektedir. Daha fazla bükülme ise fiberde kalıcı hasara yol açmaktadır.

Dispersiyon (Saçılma):

Dispersiyon optik işaret iletiminde 2.5 Gbit / s hızlardan itibaren sorun olabilmektedir. Sorunun ortaya çıkışı şöyledir;

Belli bir bandgenişliğini işgal eden optik işaret her ne kadar çok dar bir band içersinde de yer alsa da (tipik olarak 0,01 nm) bu band içersinde yer alan spektrum içersinde sayısız dalgaboyu bileşenlerine sahiptir. Dispersiyon bu dalgaboyu bileşenlerinin fiberde farklı yayılma hızlarından dolayı alıcıya farklı gecikmelerle farklı zamanlarda gelmeleri nedeniyle oluşmaktadır. Daha uzun dalga boyuna sahip bileşenler, daha kısa olanlara göre fiberde daha hızlı yayılmaktadırlar. Fiberdeki ort. hız, boşluktaki elektromanyetik dalgaların ışık hızının 2/3 ' ü kadar olup yaklaşık 200.000 km / s 'dir.

Dispersiyon, komşu bilgi sembollerinin yani bitlerin birbirlerinin içine girmesine ve birbirleri ile karışmasına yol açmaktadır. Buna teknik olarak ISI (Inter Symbol Interference = Semboller Arası Karışım) denmektedir ve sonuç olarak bit hatalarına yol açarak bit hata performansını ve dolayısı ile de taşınan servislerin kalitesini etkilemektedir. Dispersiyon Dengeleme Modülü (DCM) kullanarak bu sorun çözülebilmektedir. DCM fiberler, standart G.652 fiberlerinden farklı olarak kısa dalga boylarını uzun dalga boylarından daha hızlı yayarak alıcıdaki gecikme farklılıklarını dengelemek suretiyle dispersiyonun önüne geçmektedir.

OSNR:

Telekomünikasyon tekniğinde bir kanalın bilgi iletimi kapasitesini sınırlayan iki temel faktörden birisi band genişliği diğeri ise kanaldaki gürültüdür. Kanalda bilgi taşıyan işaretin yanısıra ayrıca bir de istenmeyen ve bilgi taşımayan gürültü işareti vardır. Alıcı'ya her iki işaret birlikte gelmekte ve alıcı istenmeyen gürültü işareti ile karışmış bilgi işaretinden, bilgi sembollerini (bitleri) doğru algılamak durumundadır. Alıcı bunu ancak işaret seviyesi ile gürültü seviyesinin belli oranlar içersinde kalması durumunda başarabilmektedir. Alıcının, işareti doğru algılayabilmesi için OSNR değeri belli bir sınırın üzerinde olmalıdır.

İşaretler'in OSNR değeri bu limitin altına düşmeden önce işaretler regenere edilmelidir. (optikten elektriksele ve daha sonra gürültü içermeyen temiz optik işarete dönüştürülmelidir).

Optik işaretlerde pasif elemanlar (fiberler, konnektörler, DCM, filtreler vb) hiçbir optik gürültü üretmezler. Optik gürültünün tek kaynağı optik yükselteçlerdir (Booster).

Yukarıda bahsettiğimiz fiziksel katmanın kalitesi devreler için ne kadar önemli olduğu anlatılmıştır. Burada müşterilere kaliteli hizmet vermek adına simülasyonlu çalışma yapılmıştır. Simülasyon çalışmasında elimizde bulunan kanalların herhangi bir bozulmaya uğratmadan sinyalin taşınması amaçlanmıştır. Öncelikle zayıflama varsa sebep araştırması yapılmıştır. Acıbadem-İncesu güzergahındaki fiber hattı ele alınarak buradaki zayıflamanın hattan kaynaklanıp kaynaklanmadığı tespit edilmiştir. OTDR ölçümü alınarak Tablo 1,2,3,4 ve 5 e işlenmiş olup hatta ki zayıflamanın olduğu ve olmadığı yerler belirtilmiştir. 4, 26, 39, 41, 55, ve 58. Kanallarda ki bozulmaları alış güçlerinde ayarlamalar yapılarak sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır. Bunun Simülasyon çalışması Şekil 4.5 den anlaşılacağı üzere kanalların performansı için flatness yakalanmaya çalışılmıştır. Ancak bu flatness'i yakalamaya yeterli olmamıştır. Bu

yüzden yükselteçlerin hem alış hem veriş yönlerinde 2 dB kadar kuvvetlendirerek şekil 4.6 deki grafik elde edilmiştir. Bunun sonucunda 4.7 den de görüleceği üzere herhangi bir bit hatalarına rastlanmamıştır. Çalışmanın amacı kanallardaki performans kaybını önlemek olmuştur ve başarıyla sağlanmıştır.

Müşteriye sağlanan bilgi taşınmasının sağlıklı bir şekilde iletilmesi olmuştur. Maliyet açısından kanal bazlı problemlerde direkt fiber hattına müdahale etmeden kanallar çalıştırılarak personel, araç masrafı, zaman kaybı gibi operasyonel maliyetlerden kazanç sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

[1]. Kızılkaya A. "Haberleşme Teorisi" Ders Notları, Pamukkale Üniversitesi Elekktrik ve Elektronik Mühendsiliği, Bölüm 2, Denizli.

[2]. Yılmaz, M. 1986 *Modülasyon Teorisi – İletişimin İlkeleri*, 2.Baskı, Trabzon.

[3]. Senior, John M. 1992 Optical Fiber Communications Prentice Hall, New York-London.

[4]. Tomasi W, 1997 Elektronik İletişim Teknikleri, Mili Eğitim Basımevi Istanbul.

[5]. Cherin A. H. 1983 An Introduction To Optical Fibers, McGraw-Hill Publishing Co.

[6]. Wright D. 1994 Broadband Business Services, Tecnologies and Stratesic Impact, Artect House Boston-London.

[7]. Tomasi W. 1992 Advanced Electronic Communcations Systems Prentice Hall.

[8]. Gibson J. D. 1997 The Communication Handbook, CRC Press.

[9]. Mahlke G. Gössing P. 1993 Fiber Optic Cables Fundementals, Cable Engineering, Systems Planning, Siemens AG.

[10]. Yeh C, 1990 Handbook of fiber optics San Diango, London Academic Press

[11]. Tanenbaum A. S. Computer Networks 5th. Edition

[12]. Gilmour M. Fiber Optic Cable-Theory

[13]. Tiedeken R. 1993 Fiber Optics and its Applications

[14]. Fiber Optik Haberleşme, http://w3.balikesir.edu.tr/~myuksek/dersnotu/fiber.pdf [11 Kasım 2018]

[15]. DWDM Trasnmisyon sistemleri, https://www.elektronikhaberlesme.org/2017/09/24/dwdm-transmisyon-sistemler/, [14 Aralık 2018]

[16]. Özsoy S. 1998. Fiber Optik, Birsen Yayınevi, İstanbul.

[17]. Fiber Optik Kablo Tesisi,

http://www.emo.org.tr/ekler/832fa76f982749e_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=14, [11Kasım 2018]

[18]. Denizaltı Fiber Optik Kablolar, https://www.turkuazcable.com/tr/sualti-denizalti-tipi-celik-tel-zirhli-fiber-optik- kablolar , [11 Kasım 2018]

[19]. Şahin Ş. 2006 Yoğun Dalga Boyunu Bölerek Çoğullama (Dwdm) Sistemlerinde Yeni Anahtarlama Teknikleri Ve İlgili Simülasyonlar Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[20]. Zhang J G**.** 1999. Optical Fiber Data Bus Modulation Techniques for Military Avionics, IEEE Systems Magazine, 31-37.

[21]. Bernard J J, Renand M. 2001. Semiconductor Optical Amplifiers, Spie's Magazine 36-39

[22]. Agrawal G P**.** 1992. Fiber-Optic Comminication Systems, John Wiley & Sons,Inc.

[23]. Yücel M**.** 2003. Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteç Analizi, Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[24]. Mukai T, Đnoue K, Saito T. 1987. Homogenous gain saturation in 1,5 μm InGaAsP Traveling-wave semiconductor laser amplifiers, Applied Physics Letters, 51.

[25]. Arı M. 1998. Erbiyum katkılı fiber optik yükselteçlerin (EDFA) modellemesi ve bilgisayarlı kazanç simülasyonu, Çankırı Meslek Yüksek Okulu Gazi Üniversitesi, Ankara.

[26]. Digonnet, Michael J F. 1993. Rare Earth Doped Fiber Lasers And Amplifiers, Stanford University/Marcel Dekker, Inc.

[27]. Huawei fixed network, http://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/transmission, [26 Ekim 2018]]

[28]. Akça E.G. Koyuncu O. Koyuncu B, Ünverdi N.Ö. Erbium Katkılı Fiber Kuvvetlendirici (EDFA)

[29]. KTÜ bilgisayar ağları, http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/bilgisayar_177a9.pdf [20 Ekim 2018]

[30]. www.elektrik.gen.tr [11 Kasım 2018]

[31]. www.slideshare.net/HakkUgun/uydu-haberlemesi1 [18 Kasım 2018]

[32]. https://antrak.org.tr/genel/fiber-optik-kablo-ve-iletim-sistemleri-2/ [11 Kasım 2018]

[33]. http://bilgi.dsi.gov.tr/dsi_teknik_bulten/121/files/assets/basic-html/index.html#1 [14 Kasım 2018]

[34]. https://www.proteldepo.com/fiber-optik [11 Kasım 2018]

[35]. https://www.bilim.org/denizalti-kablo-agi-haritasi/ [11 Kasım 2018]

[36]. https://www.fiberlinktech.com/ [11 Kasım 2018]

[37]. ifiber.com.tr / Fiber optik temmelleri ve fiber karakterizasyonu [11 Kasım 2018]

[38]. www.erattelekom.com.tr/konnektör [11 Kasım 2018]

[39]. https://www.exfo.com/en/products/field-network-testing/otdr-iolm/ [14 Ksım 2018]

[40]. http://skyoptics.cn/solution/cwdm-and-dwdm-network-solutions [14 Kasım 2018]

[41].www.academia.edu/28081353/TRANSMİSYON_SİSTEMLERİ_TEMEL_EĞİTİMİ

Türk Telekom [14 Kasım 2018]

[42].www.fbe.ytü.edu.tr Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Düzlemsel Homotetik Hareketler Altındat.C. 2014

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Mehmet KARABULUT
Doğum Yeri	Kadışehri / YOZGAT
Doğum Tarihi	11.11.1990
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	0554 554 03 15
E-Posta Adresi	karabulut.mehmet3466@gmail.com
Web Adresi	-



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Namık Kemal Üniversitesi (TEKİRDAĞ)
Fakülte	Çorlu Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	18.06.2014

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği Tezli Y.L. Programı

Makale ve Bildiriler
Karabulut M., Kaçar F., Çekkayan S., 2018, Focus on Entrepreneurship and Innovation, 1st International Symposium on Graduate Research in Science (İSGRS), 4-6 Ekim 2018 İstanbul, İstanbul Üniversitesi Kongre ve Kültür Merkezi