
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

ÇOK MODLU FİBER OPTİK KABLOLARDA EKLEME NOKTASINDAKİ YANLIŞ HİZALAMA KAYIPLARI

Pouria PİSHGAM

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2019

Pouria PİSHGAM tarafından hazırlanan "ÇOK MODLU FİBER OPTİK KABLOLARDA EKLEME NOKTASINDAKİ YANLIŞ HİZALAMA KAYIPLARI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim DalındaYÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Nursel AKÇAM

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ...……

Başkan: Doç. Dr. Özgür ERTUĞ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ……...

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Muhsin Caner GÖKÇE

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, TED Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ……...

Tez Savunma Tarihi: 08/02/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

…….…….

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

Bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Pouria PİSHGAM

08/02/2019

ÇOK MODLU FİBER OPTİK KABLOLARDA EKLEME NOKTASINDAKİ YANLIŞ HİZALAMA KAYIPLARI

(Yüksek Lisans Tezi)

Pouria PİSHGAM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2019

ÖZET

Fiber optik kablolarda standart çok modlu kademeli indisli fiberin çekirdek çapı 50-100 μm olup kabaca insan saçı kalınlığında ve tek mod fiberler ise 9 μm mertebesindedir. Fiber optik kablolarda, mikroskobik boyutları nedeniyle iki fiberi birleştirirken mekanik hizalama önemli bir problem olarak ortaya çıkar. Fiber optik kablolardaki ışıma kayıpları mekanik yanlış hizalamalardan kaynaklanır, çünkü verici fiberin ışıma içeriği alıcı fiberinki ile uyuşmaz. Işıma kaybının büyüklüğü, yanlış hizalama derecesine bağlı olarak değişir. Bu tez çalışmasında çok modlu (multi mode) fiber optik kablolar ve bu kabloların ekleme noktalarındaki yanlış hizalama kayıpları incelenmiştir. Çok modlu fiber optik kabloların ekleme noktalarında meydana gelebilecek ayarsızlıklar; açısal ayarsızlık (angular misalignment), aralıklı ayarsızlık (separation misalignment) ve yanal ayarsızlık (Lateral misalignment) olmak üzere üç temel yanlış hizalama çeşididir. Bu çalışmada, bu yanlış hizalama çeşitleri ayrı ayrı incelenmiş ve yanlış hizalama kayıpları MATLAB Simülasyon programı ile analiz edilmiştir. Ayrıca OptiSystem simülasyonunda, hizalama kayıplarınıda içeren bir fiber optik haberleşme sistemi tasarlanmış ve sistemin güç kayıpları hesaplanmıştır.

Bilim Kodu	: 90532
Anahtar Kelimeler	: Çok Modlu, Fiber Optik kablolar, Kablo Eklem, Yanlış Hizalama Kayıpları, OptiSystem
Sayfa Adedi	: 73
Danışman	: Doç. Dr. Nursel AKÇAM

MISALIGNMENT LOSSES AT JOINT POINT IN MULTIMODE FIBER OPTIC CABLES

(M. Sc. Thesis)

Pouria PİSHGAM

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2019

ABSTRACT

The standard multi-mode graded index fiber core is 50-100 μm in diameter and roughly the thickness of the human hair, Mechanical alignment is a major problem when combining two fibers due to their microscopic dimensions in fiber optic cables. The radiation losses in the fiber optic cables are due to mechanical misalignments because the radiation content of the transmitter fiber does not match that of the receiver fiber. The magnitude of the loss of radiation varies depending on the degree of misalignment. In this thesis, multimodal fiber optic cables and misalignment losses at the insertion points of these cables were investigated. Non-uniformities that may occur at the insertion points of multi-mode fiber optic cables; angular misalignment, separation misalignment and lateral misalignment. In this study, these misalignment types were examined separately and misalignment losses were analyzed with MATLAB Simulation program. In addition, in OptiSystem simulation, a fiber optic communication system including alignment losses was designed and the power losses of the system were calculated.

Science Code	: 90532
Key Words	: Misalignment Losses, Cable Joints, Multimode Fiber Optic Cables, Optisystem, step index
Page Number	: 73
Supervisor	: Assoc. Prof. Dr. Nursel AKÇAM

TEŞEKKÜR

Çalısmalarım boyunca beni yönlendiren ve katkılarıyla herzaman yardım eden sayın Doç. Dr. Nursel AKÇAM'a bilimsel yardımlarıyla bana destek olan sevgili arkadaşlarım Merve AKIN ve Parisa EBRAHİMPOUR'a teşekkür ediyorum. Ayrıca hayat boyunca bana maddi ve manevi destek olan babam Mohammad PİSHGAM ve annem Esmat EBRAHİMZADE'ye teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

RESİMLERİN LİSTESİ xiv

SİMGELER VE KISALTMALAR xv

1. GİRİŞ 1

2. FIBER OPTIK HABERLEŞME 3

2.1. Haberleşme Temel Kavramları 3

2.2. Fiber Haberleşme Sistemi 4

2.2.1. Verici 5

2.2.2. Kablo 6

2.2.3. Alıcı 7

2.3. Modülasyon 8

2.3.1. Genlik anahtarlamalı (Amplitude Shift Keying-ASK) modülasyon 9

2.3.2. Frekans anahtarlamalı (Frequency Shift Keying- FSK) modülasyon 10

2.3.3. Faz anahtarlamalı (Phase Shift Keying-PSK) modülasyon 11

3. FİBER KABLOLARI 13

3.1. Fiber Kablo Avantajları 13

3.1.1. Geniş bant aralığı 13

3.1.2. Elektromanyetik bağışıklık 14

3.1.3. Kıvılcım tehlikelerinin bertaraf edilmesi 14

3.1.4. Tesis kolaylığı 14

Sayfa

3.1.5. Güvenilirlik 15
3.1.6. Maliyet 15
3.2. Fiber Optik Kablonun Dezavantajlari 15
3.2.1. Ekleme zorluğu 15
3.2.2. Hassaslık 15
3.2.3. Montaj maliyeti 16
3.3. Fiber Kablonun Çeşitleri 16
3.3.1. Tek modlu fiberler 16
3.3.2. Çok modlu fiberler 16
3.4. Kırılma Açısı 19
3.5. Fiber Optiğin Çalışması 22
3.6. Fiber Optik Çeşitleri 22
3.6.1. Plastik koruyucu zarflı ve cam çekirdekli 22
3.6.2. Cam koruyucu zarflı ve cam çekirdekli 22
3.6.3. Plastik koruyucu zarflı ve plastik çekirdekli 23
3.7. Fiber Optik Kullanım Alanları 23
3.7.1. Bilgisayar ağları 23
3.7.2. Televizyon yayınları 24
3.7.3. Cerrahi ve diş hekimliği 24
3.7.4. Otomotiv sanayi 25
3.7.5. Askeri 25
3.7.6. Yayıncılık 26
4. FİBER OPTİK KABLOLAR 27
4.1. Kablo Ekleme İşlemi 27
4.1.1. Çekirdeğın üzerindeki koruyucuları koparmak 27
4.1.2. Kablonun baş kısmını kesme cihazıyla kesmek 27

Sayfa

4.1.3. Kablonun kimiyasal maddeyle temizlemesi 28
4.1.4. Kabloları ekleme cihazına yerleştirmek 29
4.2. Fiber Optik Kabloların Kayıpları 30
4.2.1. Soğurma kayıpları 31
4.2.2. Rayleigh saçınım kayıpları 32
4.2.3. Yayılım kayıpları 33
4.2.4. Modal yayılma 34
4.2.5. Renk veya dalga boyu ayrılması 35
4.3. Optik Kablo Ekleme Kayıpları 35
4.3.1. Yanal ayarsızlık 36
4.3.2. Aralık ayarsızlık 36
4.3.3. Açısal ayarsızlık 37
5. SAYISAL ANALİZLER 39
5.1. Fiber-Fiber Bağlantıları 39
5.2. Fiber Bağlantılarında Mekaniksel Yanlış Hizalama 41
6. SİMÜLASYONLAR 49
6.1. Yanal Ayarsızlık 49
6.2. Açısal Ayarsızlık 52
6.3. Aralık Ayarsızlık 54
6.4. OptiSystem Uygulaması ve Analizleri 58
6.5. Optik Yükseltici 64
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 69
KAYNAKLAR 71
ÖZGEÇMİŞ 73

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Bilginin bir noktadan baska bir noktaya fiber kablo vasıtasıyla iletilmesi..... 3

Şekil 2.2. Fiber optik link tasaramı 4

Şekil 2.3. Verici bloğu 5

Şekil 2.4. Fiber optik kablo yapısı 7

Şekil 2.5. Alıcı bloğu 8

Şekil 2.6. NRZ ve RZ modülasyon formatları 9

Şekil 2.7. Genlik anahtarlamalı modülasyon 10

Şekil 2.8. Frekans anahtarlamalı modülasyon 11

Şekil 2.9. Faz anahtarlamalı modülasyon 11

Şekil 3.1. Tek modlu basamak indisli fiber 16

Şekil 3.2. Basamakfiber kesiti ve kırılma profili 17

Şekil 3.3. Basamak indisli fiberde dalga yayılımı 18

Şekil 3.4. Dereceli indisli fiberin kesiti ve dalga yayılımı..... 19

Şekil 3.5. Kırılma açısı..... 20

Şekil 3.6. Fiber optik link tasarımı..... 21

Şekil 3.7. Fiber optik dağıtım merkezinden bilgisayar kullanım amaçlı dağıtım..... 24

Şekil 3.8. Fiber optik kabloların kıtalar arasında yayılması 26

Şekil 4.1. Fiber kablunun eklenecek yüzeyleri kaliteli ve kalitesiz aletlerle kesilmesi 28

Şekil 4.2. Fiber optik kabloların modele ve dalga boyutuna göre kayıpları 30

Şekil 4.3. Fiber optik kabloların kablo standardına göre maksimum kullanılabilir uzunluklar 31

Şekil 4.4. Dalga boyuna göre soğurma kayıpları 32

Şekil 4.5. Rayleigh saçınım 33

Şekil 4.6. Sinyal yayılımı..... 33

Şekil 4.7. Modal yayılma 34

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.8. Elektromanyetik spektrum 35

Şekil 4.9. Yanal ayarsızlık 36

Şekil 4.10. Aralıklı ayarsızlık 37

Şekil 4.11. Açısal ayarsızlık 37

Şekil 5.1. Fiber kablo ayarsızlıkları 42

Şekil 5.2. Eksenel yanlış hizalama 43

Şekil 5.3. İki kablo uçunun ortak alanları 44

Şekil 5.4. Aralık ayarsızlığı 48

Şekil 6.1. Yanal ayarsızlık kaybı 50

Şekil 6.2. Yanal ayarsızlık kaybı 51

Şekil 6.3. Yanal ayarsızlık kaybı a=50 μm ve a=50 μm 51

Şekil 6.4. Açısal ayarsızlık kaybı 53

Şekil 6.5. Açısal ayarsızlık kaybı Θc=4.2 için 53

Şekil 6.6. Açısal ayarsızlık kaybı θ_c =5 ve θ_c =4.2 54

Şekil 6.7. Aralıklı ayarsızlık kaybı 0<s<5 ve x=0.1 55

Şekil 6.8. Arlıklı ayarsızlık kaybı 0.1<x<4.1 ve 0<s<5 56

Şekil 6.9. Farklı θ_c ve x değerleri için aralıklı ayarsızlık kaybı 57

Şekil 6.10. Üç ayarsızlık kaybı grafiği 58

Şekil 6.11. Fiber optik sisteminin diyagram bloğu 59

Şekil 6.12. Optik kaynağa verilen elektrik sinyali 60

Şekil 6.13. Lazer kaynaktan çıkan optik sinyalin spektrumu 61

Şekil 6.14. Açısal eklem bölümünde güç ölçümü 62

Şekil 6.15. Lazer kaynaktan çıkan güç ve ekleme yapılan noktaların çıkış güçleri 62

Şekil 6.16. Foto dedektöre giren ışının spektrum analizi 63

Şekil 6.17. Foto dedektörden çıkan elektrik sinyal 64

Şekil 6.18. Yükselticili fiber optik sistemi 65

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.19. Güç ölçme çihazlarının değeri 66

Şekil 6.20. Çıkış sinyalinin osiloskopla görüntüsü 67

Şekil 6.21. Dedektöre giren lazer sinyalin spektrumu 68

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 4.1. Kablo temizliği için pamuksuz mendil ve alkol 28

Resim 4.2. Kabloların ekleme cihazına yerleştirilmesi 29

Resim 5.1. Fiber optik kablo ekleme cihazı..... 39

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
dB	Desibel
Gb	Giga bit
Hz	Hertz
KHz	Kilo hertz
Km	Kilometre
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
MHz	Mega hertz
mm	Milimetre
ns	Nano saniye
TB	Tera bayt
µm	Mikrometre

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
ASK	Amplitude Shift Keying
CW	Continuous Wave
EMI	Elektro Magnetic Interference
FSK	Frequency Shift Keying
FSO	Free Space Optics
LDS	Laser Diode Systems
LED	Light Emitting Diode
MMF	Multi Mode Fiber
NRZ	Non Return to Zero
OOK	On Oof Key
PCS	Plastic Clad Silica
POF	Plastic Optic Fiber

Kısaltmalar	Açıklamalar
PSK	Phase Shift Keying
RZ	Return to Zero
SCF	Silicon Carbide Fibers

1. GİRİŞ

Günümüzde haberleşme teknolojileri insanların isteklerini karşılayan hızlı gelişmelerle birlikte beklentileri de daha ileriye taşımaktadır. Haberleşme teknolojisindeki yüksek veri hızı talebi ağırlıklı olarak optik haberleşme sistemleriyle karşılanmaktadır. Serbest uzay optik (Free-Space Optical-FSO) haberleşmelerde atmosferik çalkantı ve ışık demetinin önüne geçebilecek engeller sebebiyle uzak mesafelerle güvenilir bir şekilde iletişim kurmak her zaman mümkün olmaz [1]. FSO iletişimi gerçekleştirebilmek için lazer ışığı bilgiyi taşıyacak şekilde modüle edildikten sonra lazer demetinin bozulmasını en az seviyeye indirerek aktarılmasını sağlayan bir ortam gereklidir. Fiber optik kablolar bu görevi yerine getirirler. Fiberin üretildiği malzeme o kadar saftırki doğru dalga boyutunda çalışan optik haberleşme sistemlerine ilgi, lazerin 1960'larda bulunmasıyla artmaya başlamıştır. Bu sistemler, mikrodalga ve diğer elektriksel sistemlere göre daha fazla bilgi gönderirler [2]. Araştırmacılar bu avantajı optik fiberlerde de denemişler ve ışığın iletiminde cam fiberler kullanılmaya başlanmıştır. Dolayısıyla, optik haberleşme sistemler; fiber optik ve serbest uzay optik haberleşme olarak ikiye ayrılmıştır. Bilgi teknolojilerinin gelişimi; insanlık var olduğundan beri süregelmiş, bilgi aktarımını kolaylaştırmıştır [3].

Optik fiberler ilk olarak 1960'lı yılların başında optik elemanlar olarak görülmüştür. Belki de bu bilim adamları böcek gözünün mikroskobik yapısıyla tanışmışlardı ki, görüntü aktarmak için uygun bir optik dalga kılavuz paketinin yapılabileceğini ve optik fiberlerin ilk uygulamasının görüntülemeye yönelik olduğunu düşünüyordu. Charles Kao, düşük kayıplı optik fiberlerin telekomünikasyon uygulamaları için koaksiyel kablo ve metal dalga kılavuzlarıyla rekabet edebileceğini önermişti [4]. Ayrıca 1970 yılına kadar Corning Glass Works, ticari uygulamaların 10 dB / km ölçüt seviyesinden daha düşük bir optik fiber kaybını gerçekleştirilmeye başlandığını açıkladı. Corning'in bir araya getirdiği ve sonuçta fiber optik iletişimlerin hızla gelişmesini sağlayan devrimci kavram, her şeyden önce bir materyaldi. Bu materyal çok küçük indeks değişikliklerini başarıyla onlarca kilometre uzaklığa ışık yönlendirebildi [5].

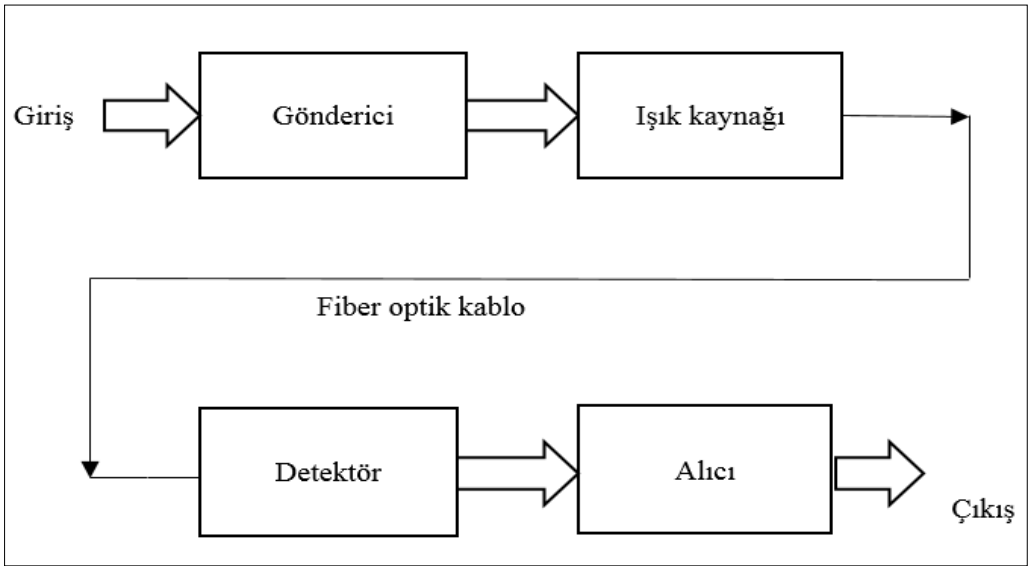
Müteahhitlik ve araştırma uygulamalarında gözlenen optik fiber talebi daha ileri uygulamaları hızlandırdı. Günümüzde, optik fiber teknolojisinin ticari ve laboratuvar uygulamaları için muazzam bir çeşitlilik görülmektedir [6].

2. FIBER OPTIK HABERLEŞME

Fiber Optik haberleşme sistemlerinde iletim için metal iletkenler alternatif olarak geliştirilmiştir. Ses, veri ve görüntü iletişimindeki hızlı ve büyük değişim daha ekonomik, yüksek kalitede ve geniş kapasiteli sistemlere talebi arttırmıştır. Mikrodalga sistemleri ve uydu sistemleri artan talebe ancak geçici bir rahatlama getirmektedir. Son günlerde ışıktan faydalanan sistemler daha fazla ilgi görmekteler. Işık çok yüksek frekanslı bir elektromanyetik sinyaldır. Işık dalgalarını yeryüzü atmosferinde iletmek zor ve verimsizdir. Dolayısıyla ışığı bir kaynaktan bir varış yerine iletmek amacıyla kılavuzlu cam ya da plastik malzemeli fiberler kullanılarak bu amaç gerçekleştirilebilir. Kılavuzlu bir fiber optik kablo ile bilgi taşıyıcı iletişim sistemlerine fiber optik sistemler denilir [7].

2.1. Haberleşme Temel Kavramları

Eski zamanlardan beri insanoğlunun temel icatlarından biri, uzak bir yerden diğerine mesaj göndermek için iletişim sistemleri tasarlamaktır. Böyle bir iletişim sisteminin temel bileşenleri şekil 2.1'de görülmektedir. Bu bileşenler, bir ucunda verici bir mesaj gönderir ve bir bilgi kaynağı içerir. Verici mesajı bir iletim kanalına iletir ve kanalın transfer özellikleriyle eşleşen bir sinyal şeklinde birleştirir. Kanal, verici ve alıcı arasındaki mesafeyi köprüleyen orta noktadır. Bu, bir dalga kılavuzu gibi yönlendirmeli bir iletim

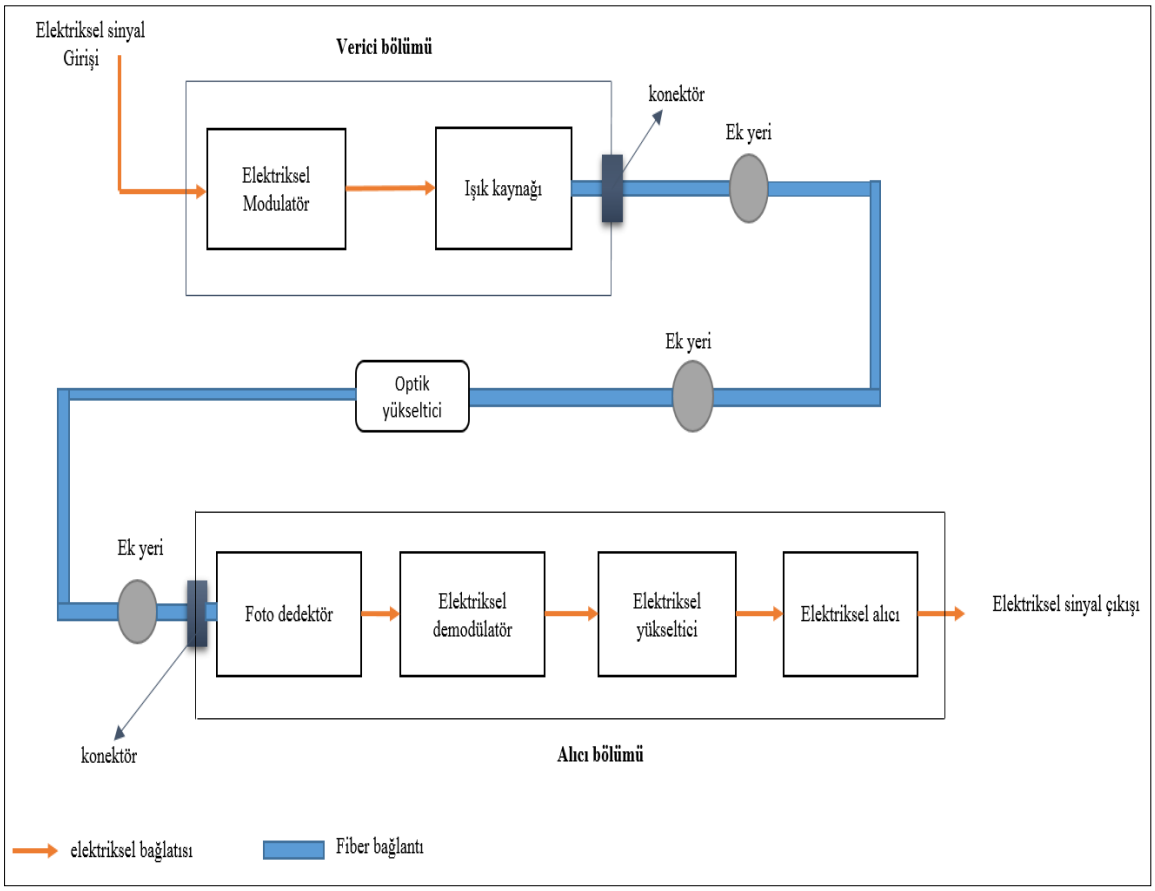


Şekil 2.1. Bilginin bir noktadan baska bir noktaya fiber kablo vasıtasıyla iletilmesi

Hattı olabilir veya kılavuzsuz bir atmosferik veya uzaysal kanal olabilir. Sinyal kanaldan geçerken, kademeli olarak hem zayıflatılmış, hem de artan mesafe ile deforme edilmiştir. Örneğin, bir elektrik sinyali bir tel boyunca aktığı için ısı üretimi vasıtasıyla elektrik enerjisi kaybolur ve optik güç atmosferik bir kanaldaki hava molekülleri tarafından saçılma ve dağılma yoluyla zayıflatılır. Alıcının işlevi zayıflatılmış ve çarpıtılmış sinyali kanaldan çıkarmak, onu güçlendirmek ve mesajın hedefine geçmeden önce orijinal haline getirmektir [8].

2.2. Fiber Haberleşme Sistemi

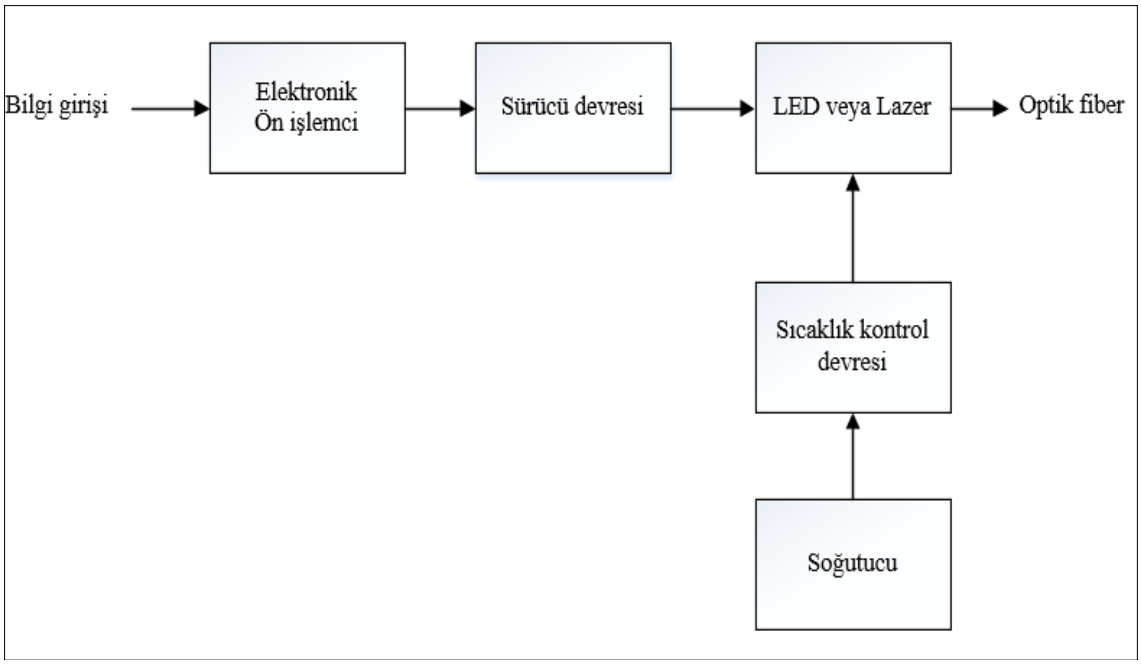
Bir haberleşme sistemi; verici kısım, yayılma ortamı (fiber haberleşmede fiber kablo) ve alıcı kısım olmak üzere en az üç ana blokdan oluşur. Eğer kullanılan sistem fiber haberleşme sistemi (Şekil 2.2) ise, bu blokların çıkışındaki sinyaller ile farklı haberleşme sistemlerinden elde edilen sinyaller aynı olmaz.



Şekil 2.2. Fiber optik link tasaramı

2.2.1. Verici

Verici aslında bir sinyal işlemcisidir. Birincil rolü, mesaj sinyalini iletim ortamına en uygun biçimde dönüştürmek, belirli iletişim servisini düzenleyen tüm düzenlemelere uymak ve sistem tasarım hedeflerini karşılamaktır. Elektriksel sinyal ışık haline çevrildikten sonra verici bölümünden kanala bağlanır. Fiber sistemlerde, ışık kaynakları tarafından üretilen optik ışığı bilgiyi taşır. Lazer diyotları ve ışık yayan diyotlar en yaygın kaynaklardır. Küçük boyutları fiberlerin küçük çaplarıyla uyumludur ve katı yapıları ve düşük güç gereksinimleri modern katı hal elektronikleri ile uyumludur.



Şekil 2.3. Verici bloğu

Sistemlerin çoğunda, kaynak giriş akımını modüle ederek ışınlara bilgi konur. Verici aslında bir sinyal işlemcisidir. Birincil rolü, mesaj sinyalini iletim ortamına en uygun biçimde dönüştürmek, belirli iletişim servisini düzenleyen tüm düzenlemelere uymak ve sistem tasarım hedeflerini karşılamaktır. Vericinin kalbi bir ışık kaynağıdır. Bir ışık kaynağının başlıca işlevi, bir bilgi sinyalini elektrik biçiminden ışığa dönüştürmektir. Günümüzün fiber optik iletişim sistemleri ışık kaynağı olarak ışık yayan diyotları (LED) veya lazer diyotları (LDS) kullanmaktadır. Her ikisi de, elektrik sinyallerini ışığa etkili bir şekilde dönüştüren minyatür yarıiletken cihazlardır. Güç kaynağı bağlantılarına ve modülasyon devresine ihtiyaç duyarlar. Bütün bu bileşenler genelde tek bir bütünleşmiş

pakette imal edilirler [8] . Şekil 2.3'de optik haberleşme sistemleri için verici blok şeması görülmektedir.

2.2.2. Kablo

İletim ortamı, bir iletişim sisteminde verici ve alıcı arasında bir bağlantı sağlar. Bazen 'iletişim kanalı' terimini iletim ortamını ifade etmek içinde kullanılır, ancak "kanal" kelimesini tek başına, çok kullanıcılı bir iletişim sisteminde bir kullanıcıya ayrılan bant genişliği veya diğer sistem kaynağı anlamında kullanılır [9].

Fiber optik kablo, yalıtılmış bir muhafaza içine cam fiber içeren bir ağ kablosudur. Uzun mesafeli, çok yüksek performanslı veri ağı ve telekomünikasyon için tasarlanmıştır. Diğer kablolarla karşılaştırıldığında, fiber optik kablolar daha yüksek bant genişliği sağlarlar ve verileri daha uzun mesafelere iletebilirler. Fiber optik kablolar; kılıf, cam örtü ve çekirdek olmak üzere üç önemli kısımdan oluşurlar (Şekil 2.4).

Çekirdek: Işık taşıyan çekirdek, optik fiberin en küçük kısmıdır. Bazıları plastikten yapılmış olmasına rağmen, fiber optik çekirdeği genellikle camdan yapılır. Çekirdekte kullanılan cam son derece saf silikon dioksit (SiO_2)dir, sanki bir ev penceresinden bakıyormuş gibi 5 kilometre boyunca bakabileceğiniz kadar açık, saf bir malzemedir. Üretim sürecinde kontrollü koşullar altında refraktif indeksi yükseltmek için germania, fosfor pentoksit ve alüminyum gibi katkı maddeler kullanılır.

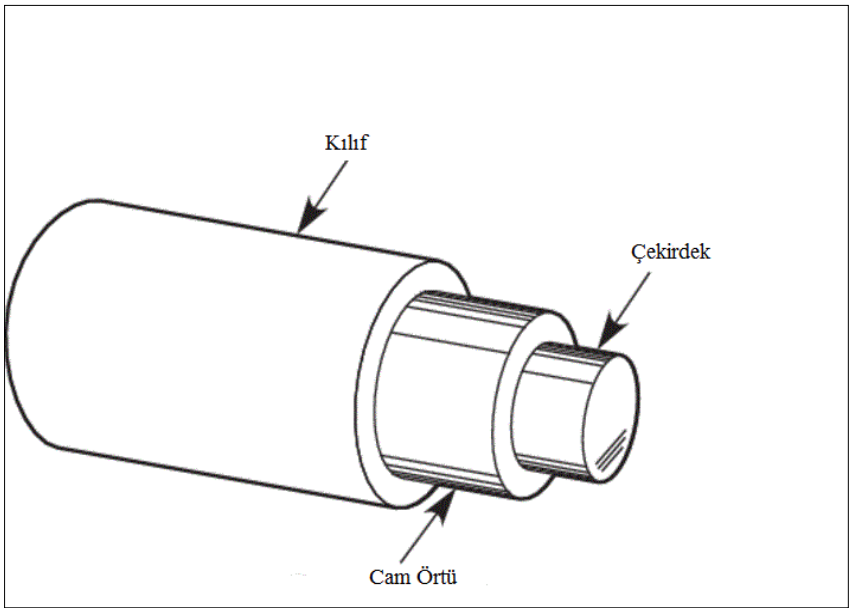
Optik fiber çekirdekler farklı uygulamalar için farklı çaplarda üretilirler. Tipik cam çekirdekler, 3.7 μm'den 200 μm'e kadar değişir. Telekomünikasyonda yaygın olarak kullanılan çekirdek boyutları 9 μm, 50 μm ve 62.5 μm'dir. Plastik optik fiber çekirdek camdan çok daha büyük olabilir. Popüler plastik çekirdek boyutu 980 μm 'dir [10].

Çam Örtü: Çam örtü çekirdeği çevreler ve optik fiberin çalışması için daha düşük kırılma indeksi sağlar. Cam örtü kullanıldığında, örtü ve çekirdek, aynı silikon dioksit esaslı malzemeden kalıcı olarak kaynaşmış durumda birlikte üretilir. Üretim süreci, aralarındaki refraktif indekslerde yaklaşık % 1'lik bir farkın muhafaza edilmesi için çekirdeğe ve cam örtüye farklı miktarlarda katkı maddeleri katmaktadır.

Tipik bir çekirdek, 1300 µm'de 1.49'luk bir kırılma indeksi gösterebilirken, cam örtünun kırılma indeksi 1.47 olabilir. Ancak bu sayılar dalga boyuna bağlıdır. Aynı fiberin çekirdeği, farklı bir dalga boyunda farklı bir kırılma indisine sahip olabilir.

Çekirdek gibi, cam örtüde standart çaplarda üretilir. En sık kullanılan iki çap 125 µm ve 140 µm'dur. 125 µm kaplama genellikle 9 µm, 50 µm, 62.5 µm ve 85 µm'in çekirdek boyutlarını destekler. 140 µm cam örtünün tipik olarak 100 µm çekirdeği vardır [11].

Kılıf: Kılıf optik fiberin emniyet tabakasıdır. Kılıf, şokları, lekeleri, çizikleri ve hatta kaplamaya zarar verebilecek nemi emer. Kılıfsız optik fiber çok kırılgandır. Kılıfta tek bir mikroskopik leke, eğildiğinde optik fiberin kopmasına neden olabilir. Kılıf tüm cam fiberler için gereklidir ve bunlar olmadan satılmaz.

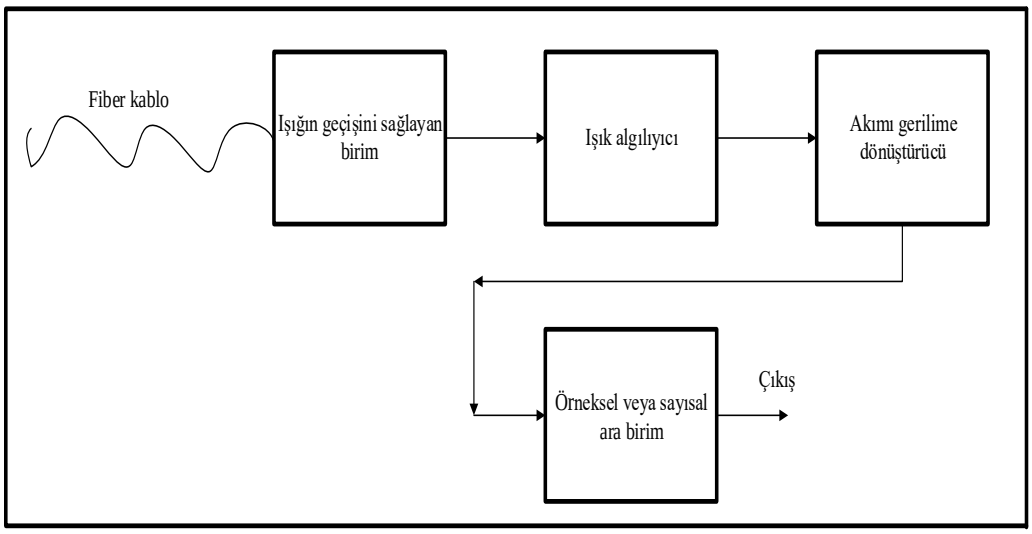


Şekil 2.4. Fiber optik kablo yapısı

2.2.3. Alıcı

Bir optik alıcının rolü, optik sinyali tekrar elektrik biçimine dönüştürmek ve ışık dalgası sistemi aracılığıyla iletilen verileri kurtarmaktır. Ana bileşeni, ışığı fotoelektrik etki yoluyla elektrik haline dönüştüren bir fotodetektördür. Bir fotodedektörün gereksinimleri bir optik kaynağın gereksinimlerine benzer. Yüksek hassasiyet, hızlı yanıt, düşük gürültü, düşük maliyet ve yüksek güvenilirliğe sahip olmalıdır. Boyutu fiber-çekirdek boyutuyla

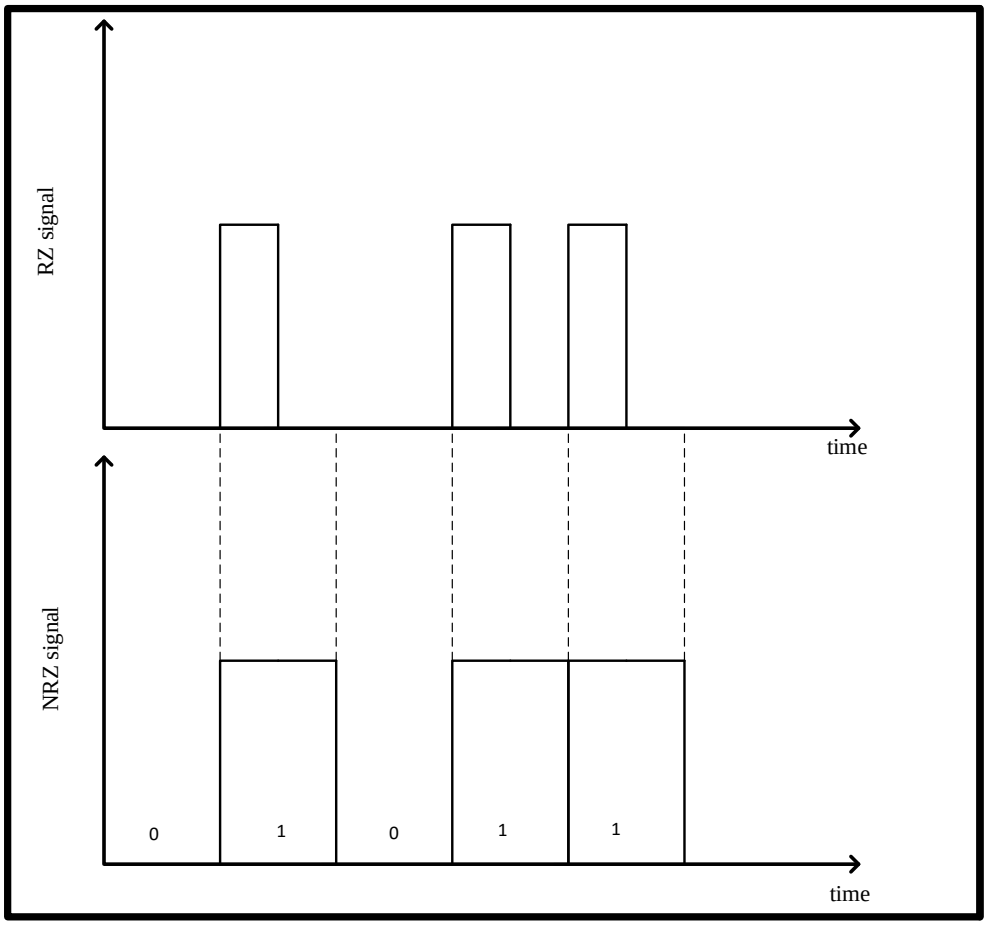
uyumlu olmalıdır. Bu gereksinimler en iyi yarıiletken malzemelerden yapılmış fotodetektörler tarafından karşılanır. Şekil 2.5'te fiber alıcının blok şeması gösterilmektedir [11].



Şekil 2.5. Alıcı bloğu

2.3. Modülasyon

Bir optik iletişim sisteminin tasarımındaki ilk adım, elektrik sinyalinin bir optik bit akışına nasıl dönüştürüleceğine karar vermektir. Normal olarak bir yarıiletken lazer gibi bir optik kaynağın çıkışı, doğrudan optik kaynağa elektrik sinyali uygulayarak modüle edilir veya harici bir modülatöre bağlanabilir. Ortaya çıkan optik bit akışının modülasyon formatı için iki seçenek vardır. Bu formatlar sıfıra dönüşlü (Return to Zero-RZ) ve sıfıra geri dönüşsüz (Non Return to Zero-NRZ) olarak bilinir. RZ formatında, bit 1'i temsil eden her optik darbe, bit yarığından daha kısadır ve genlik, bit süresi bitmeden önce sıfıra döner. NRZ formatında, optik darbe bit süresince açık kalır ve genliği iki veya daha fazla ardışık 1 bit arasında sıfıra düşmez (Şekil 2.6). Sonuç olarak, darbe genişliği bit düzenine bağlı olarak değişirken, RZ biçiminde de aynı kalır. NRZ formatının bir avantajı, bit akışı ile bağlantılı bant genişliğinin, sadece açma-kapama geçişleri daha az gerçekleştiği için RZ formatının bant genişliğinden yaklaşık olarak 2 kat daha küçük olmasıdır. Bununla birlikte, kullanımı darbe genişliğinin sıkı kontrolünü gerektirir ve bit şekline bağımlıdır [11].



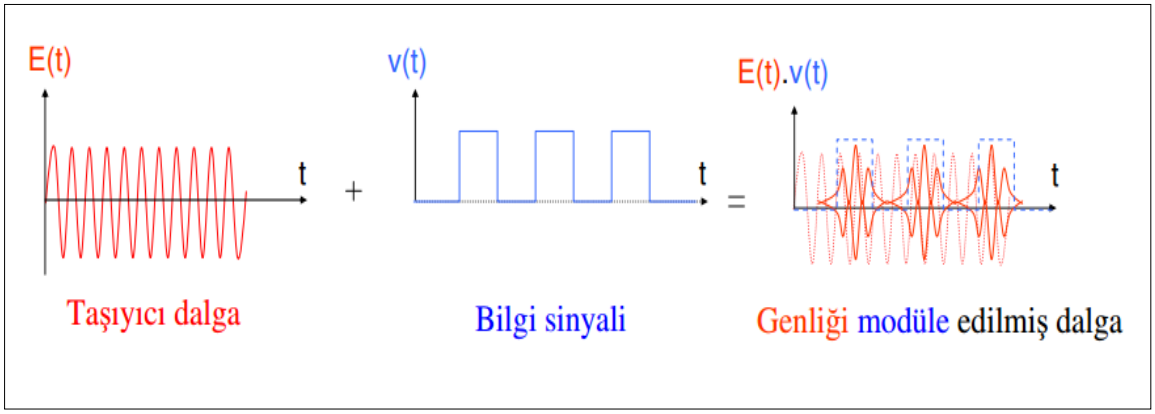
Şekil 2.6. NRZ ve RZ modülasyon formatları

2.3.1. Genlik anahtarlamalı (Amplitude Shift Keying-ASK) modülasyon

Optik sinyale ait elektrik alanının gerçek kısmını;

$$E_s(t) = A_s(t)\cos\left[\omega_0 t + \phi_s(t)\right] \tag{2.1}$$

biçiminde yazmak mümkündür. Genlik anahtarlamalı (Amplitude Shift Keying-ASK) formatı durumunda; A_s genliği, ω_0 açısal frekansı ve ϕ_s fazı sabit tutarken modüle edilir. İkili sayısal modülasyon için A_s, "1" veya "0" bitinin iletilip gönderilmediğine bağlı olarak her bit periyodu sırasında iki sabit değerden birini alır. Çoğu pratik durumlarda A_s, "0" bitlerinin iletimi sırasında sıfıra ayarlanır. ASK formatı açık-kapalı anahtar (OOK) olarakda isimlendirilir. Şekil 2.7 ASK modülasyonu dalga biçimi görülmektedir [2] .



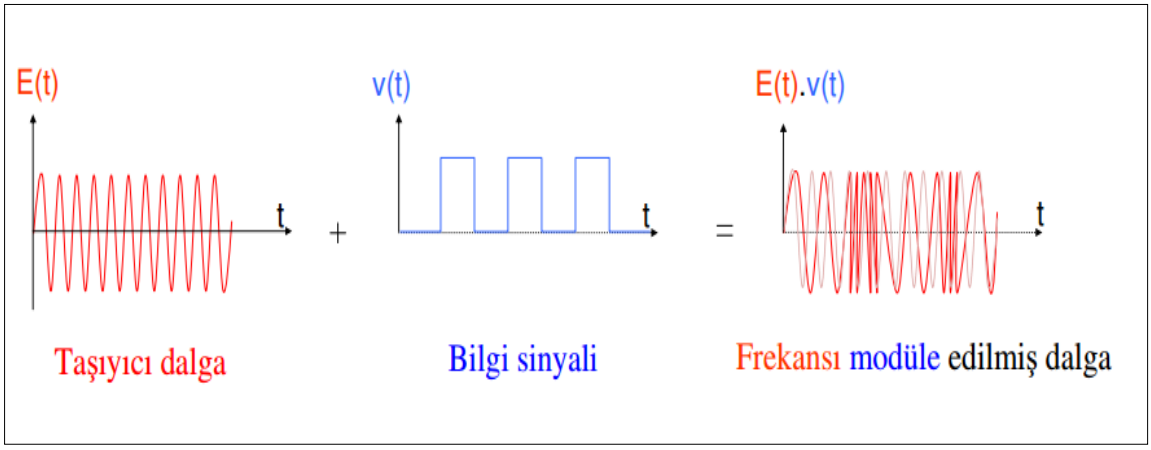
Şekil 2.7. Genlik anahtarlamalı modülasyon

2.3.2. Frekans anahtarlamalı (Frequency Shift Keying- FSK) modülasyon

Frekans anahtarlamalı (Frequency Shift Keying- FSK) modülasyonu söz konusu olduğunda, bilgi, taşıyıcı frekansını kendi başına kaydırarak optik taşıyıcı üzerinde kodlanır. Sayısal bir bayneri sinyal için, ω_0, 1 veya 0 bit iletilip gönderilmediğine bağlı olarak iki değer alır: $\omega_0 + \Delta\omega$ ve $\omega_0 - \Delta\omega$. Burada $\Delta_f = \frac{\Delta_\omega}{2\pi}$, frekans kayması (sapması) olarak adlandırılır. Miktar $2\Delta f$, bazen ton aralığı olarak adlandırılır, çünkü 1 ve 0 bit arasındaki frekans aralığını temsil eder. FSK formatı için optik alan;

$$E_s(t) = A_s \cos\left[(\omega_0 \pm \Delta\omega) + \phi_s\right] \tag{2.2}$$

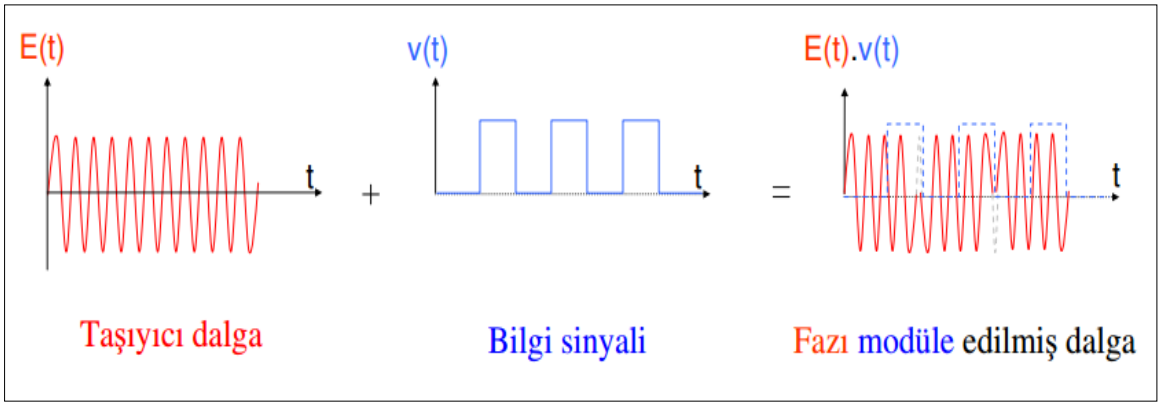
biçiminde yazılır. Burada + ve - işaretleri 1 ve 0 bitlere karşılık gelir. Kosinüs teriminin $\omega_0 t + (\Delta\omega t + \phi_s)$ olarak yazılabileceğini belirterek FSK formatı, taşıyıcı fazın bit süresi boyunca lineer olarak artması veya azalması gibi bir tür PSK modülasyonu olarak da görülebilir [5]. Şekil 2.8'de taşıyıcı dalga ve bilgi sinyalinin FSK modülasyonu görülmektedir.



Şekil 2.8. Frekans anahtarlamalı modülasyon

2.3.3. Faz anahtarlamalı (Phase Shift Keying-PSK) modülasyon

Faz anahtarlamalı (Phase Shift Keying-PSK) modülasyon formatında optik bit akımı, Eşitlik (2.1) 'de faz terimi ϕ_s'ni modüle ederek üretilirken, genliği A_s ve ω_0 optik taşıyıcının frekansı sabit tutulur. İkili PSK için faz ϕ_s, genellikle 0 ve π olarak seçilen iki değer alır. Şekil 2.9, belirli bir bit şekli olarak ikili PSK biçimini göstermektedir. PSK formatının ilginç bir özelliği, tüm bitler boyunca optik yoğunluğun sabit kalması ve sinyalin sürekli dalga (Certainly Wave-CW) biçiminde olduğunun görülmesidir [5].



Şekil 2.9. Faz anahtarlamalı modülasyon

3. FİBER KABLOLARI

Fiber optik kablolar için en önemli parametrelerden biri hangi modda çalıştırılacağıdır. Günümüzde fiber optik kablolar işlevlerine göre farklı ve çeşitli modellerde ve ölçülerde üretilmektedirler. Aşağıda fiber optik kabloların avantajları verilmektedir:

- Fiber optikte kayıplar az, bant genişliği kıyaslanamayacak kadar büyüktür,
- Optik fiber bilgiyi daha uzaklara gönderebildiği için tekrarlayıcılar (repeater) daha azdır,
- Fiberler çok hafif ve saç teli kadar ince, bu nedenle aynı kablo içinden daha fazla tel geçer,
- Fiber dielektrik bir malzeme (ana maddesi kum) olduğu için yeraltı şehir aydınlatma hatlarının yapacağı elektromanyetik girişimlerden veya radar ve benzeri cihazların neden olduğu elektromanyetik darbelerden etkilenmezler,
- Yalıtkan malzemeden yapıldığı için bir kablo içinden geçen çok sayıda teller birbirleriyle etkileşim yapmazlar,
- Veri (data) emniyeti çok fazla, optik işaret dalga klavuzu içinde çok iyi ekranlanmıştır,
- Fiberin dışındaki ışık geçirmeyen madde ışığın dışarıya geçmemesini sağlar. Bu durum güvenliğin önemli olduğu alanlarda fiberin tercih edilme nedenidir [3].

3.1. Fiber Kablo Avantajları

3.1.1. Geniş bant aralığı

Fiber optik iletişim sistemleri, bakır kablolardan daha fazla bilgi iletmek için kullanılabilir ve sayısal iletişim için kullanımı çok uygundur. Başka hiçbir kablo tabanlı veri aktarım ortamı, fiberin yaptığı bant genişliğini sunmaz. Fiber daha büyük bant genişliği kapasitesi nedeniyle büyük miktarda veri taşıyabilir. Fiber optik kabloların birim zamanda ilettiği veri hacmi, bakır kablolardan çok daha büyüktür. Veriler, alanda çok yüksek hızda, genellikle 1.6 TB/sn iletilir. Bu nedenle, yeni nesil internet, ışık hızına dayanıyor olacaktır [8].

3.1.2. Elektromanyetik bağışıklık

Fiber optik kablo veri iletişim problemlerini çözebilir, ancak her yere ihtiyaç duyulmaz. Bilgisayar verilerinin çoğu sıradan kablolar üzerinden geçiyor. Çoğu veri kısa mesafelerde düşük hızlarla gönderilir. Normal ortamlarda, çok pahalı olduğu için kişisel bilgisayarlar ve yazıcılar arasında veri iletmek için fiber optik kullanmak pratik değildir. Elektromanyetik Girişim (ElectroMagnetic Interference-EMI), elektromanyetizmanın temel özelliklerinden biriyle çıkan yaygın bir ses türüdür. Manyetik alan hatları iletkenleri keserken elektrik akımı üretirler. Bir iletkendeki elektron akışı, akımla değişen bir manyetik alan oluşturur. Koaksiyel kablolarda elektromanyetik parazit meydana gelir, çünkü akım iletkeni keser. Sinyaller akım yerine ışık olarak iletildiği için fiber optik bu EMI'ye karşı bağışıklıdır. Böylece, EMI'nin iletimi engelleyeceği yerlerde sinyal gönderebilirler.

3.1.3. Kıvılcım tehlikelerinin bertaraf edilmesi

Bazı durumlarda, sinyallerin elektriksel olarak iletilmesi son derece tehlikeli olabilir. Çoğu zaman elektrik potansiyeli küçük kıvılcımlar yaratır. Kıvılcımlar normalde herhangi bir tehlike oluşturmaz, ancak havanın potansiyel olarak patlayıcı buharlar ile bulaştığı bir kimyasal fabrika ya da rafineride oldukça kötü olabilir. Küçük bir kıvılcım büyük bir patlama yaratabilir. Potansiyel kıvılcım tehlikeleri bu tür tesislerde veri ve iletişimin ciddi şekilde engellenmesine neden olur. Fiber optik kablolar, akım taşımadıkları için kıvılcım üretmezler [12].

3.1.4. Tesis kolaylığı

Tel kabloların iletim kapasitesinin arttırılması, genellikle onları daha kalın ve daha katı hale getirir. Böyle kalın kabloların, duvarlardan ve kablo kanallarından geçmeleri gereken mevcut binalarda kurulması zor olabilir. Fiber kablolar daha küçük ve daha esnek olduğundan, kurulumu daha kolaydır. Ayrıca, aşırı gürültüyü almamak için elektrik kabloları ile aynı güzergahlarda bulunabilirler [13].

3.1.5. Güvenilirlik

Bir iletken dışında oluşan manyetik alan dalgalanmaları, iletkenden geçen akımla aynı bilgileri taşır. İletken kabloyu, koaksiyel kablolarda olduğu gibi korumak sorunu azaltabilir. Ancak bazı durumlarda ekranlama yapmak, bazı işlemlerin uygulanması için yeterli sinyal sızıntısına izin verebilir, bu da tam olarak istenilen şey değildir.
Optik fiberlerin etrafında ışınlanmış manyetik alan yoktur, elektromanyetik alanlar fiber içerisindedir. Fiber optik, elektromanyetik enerjiyi yaymadığından tespit edilmesi zordur. Bu nedenle, hassas verileri taşımak için fiber en güvenilir ortamdır [13].

3.1.6. Maliyet

Fiber optik kablolar bakır kablolardan daha ucuzdur, bu da yeni optik kabloların kurulumunu veya eski optik kabloların bakım maliyetlerini önemli ölçüde düşürebilir [13].

3.2. Fiber Optik Kablonun Dezavantajları

3.2.1. Ekleme zorluğu

Fiberler sadece birkaç santimetre yarıçaplı kavis etrafına sarıldığında kırılabilir veya iletim kaybı olabilir. Bununla birlikte fiberleri bir plastik kılıf içine sararak, kabloyu fiberin kırılmaması için yeterli bir yarıçapa bükmek de zordur.

3.2.2. Hassaslık

Optik fiberler, bakır kablodan daha fazla koruma gerektirir. Fiber optik kablo küçük ve kompakt bir kablo olup kurulum veya inşaat faaliyetleri sırasında kesilme veya hasar görme konusunda oldukça hassastır. Fiber optik kablolar muazzam veri iletim yetenekleri sağlayabilir. Bu nedenle, fiber optik kablolama iletim ortamı olarak seçildiğinde, yenileme, yedekleme ve yaşama kabiliyetini ele almak gerekir [10].

3.2.3. Montaj maliyeti

Optik fiberlerin montajı daha pahalıdır ve uzmanlar tarafından takılması gerekir. Bakır kablolar kadar sağlam değildirler. Optik fiberlerin montajı için genellikle özel test ekipmanlarına ihtiyaç vardır.

3.3. Fiber Kablonun Çeşitleri

Fiber kablolar; Tek Modlu Fiberler ve Çok Modlu Fiberler olmak üzere iki moda yapılırlar.

3.3.1. Tek modlu fiberler (Single mode fibers)

Tek Modlu fiber kablonun çekirdeği insan saçının 10 katıdır (yaklaşık 9 mikron). Bu fiber bir basamak indisi olarak tasarlanır, yani çekirdeği ışık sinyalini taşımak için yalnızca bir kırılma indeksi vardır (Şekil 3.1). Genelde bu tür kablo 1300- 1500 nanometre dalga boyutu arasında kullanılır ve sadece basamak indisli olarak çalışır [4].



Şekil 3.1. Tek modlu basamak indisli fiber

3.3.2. Çok modlu fiberler (Multimode fibers-MMF)

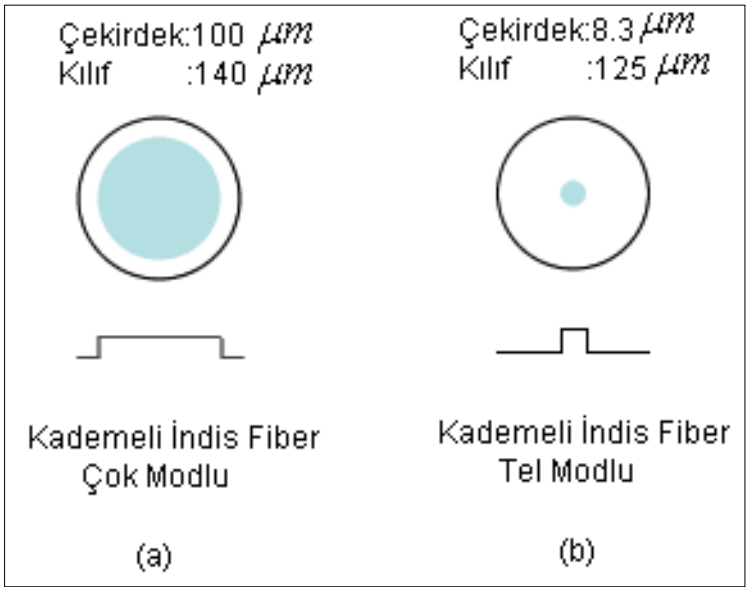
Çok modlu fiberler tek modlu fiberlere göre daha geniş çapa sahiptirler. Bu tür fiberler yaklaşık 62.5 mikronluk çapa sahip oldukları için 850-1300 nanometre dalga boyutunda kızıl ötesi ışınları iletirler. Kayıp miktarı bu fiberlerde tek modlu fiberlere göre daha fazladır. Çok modlu fiberler çekirdeğe göre; basamak indisli ve dereceli indisli olmak üzere ayrılırlar [4].

Basamak indisli fiberler (Step Index)

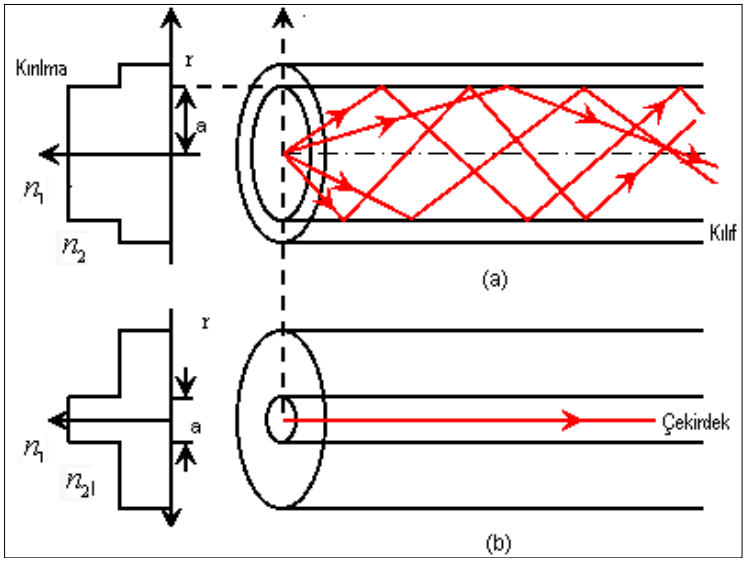
Fiberler genellikle çekirdek (core) ve dış kılıf (clading) denen iki kısımdan oluşur. Çekirdekteki kırılma indisi sabittir. Eğer bir fiberin kırılma indisi profili çekirdek kılıf arayüzünde bir adım değişiklik yaparsa bu tip fibere *Basamak İndisli Fiber (step index fiber)* denir. Şekil 3.2 (a)'da çok modlu, şekil 3.2 (b)'de tek modlu fiberin kesiti ve kırılma profilleri görülmektedir. Şekil 3.3 (a)'da çok modlu, şekil 3.3 (b)'de tek modlu basamak indisli fiberlerdeki dalga yayılımı görülmektedir. Tek modlu fiberlerde, çekirdek çapı tek modun geçişine izin verecek kadar küçük olmalıdır. Öte yandan çok modlu basamak indisli fiberler mekansal tutarsız optik kaynakların kullanılmasına ve fiber konnektörler üzerinde düşük tolerans gereksinimlerine izin verirler [6]. Kırılma indisi;

$$n(r)=\begin{cases} n_1, & r<a \\ n_2, & a\le r\le b \end{cases} \tag{3.1}$$

biçiminde tanımlanır. Burada **a** fiberin çekirdek yarıçapı, **b** fiber kılıfının yarıçapıdır.



Şekil 3.2. Basamakfiber kesiti ve kırılma profili [6]



Şekil 3.3. Basamak indisli fiberde dalga yayılımı

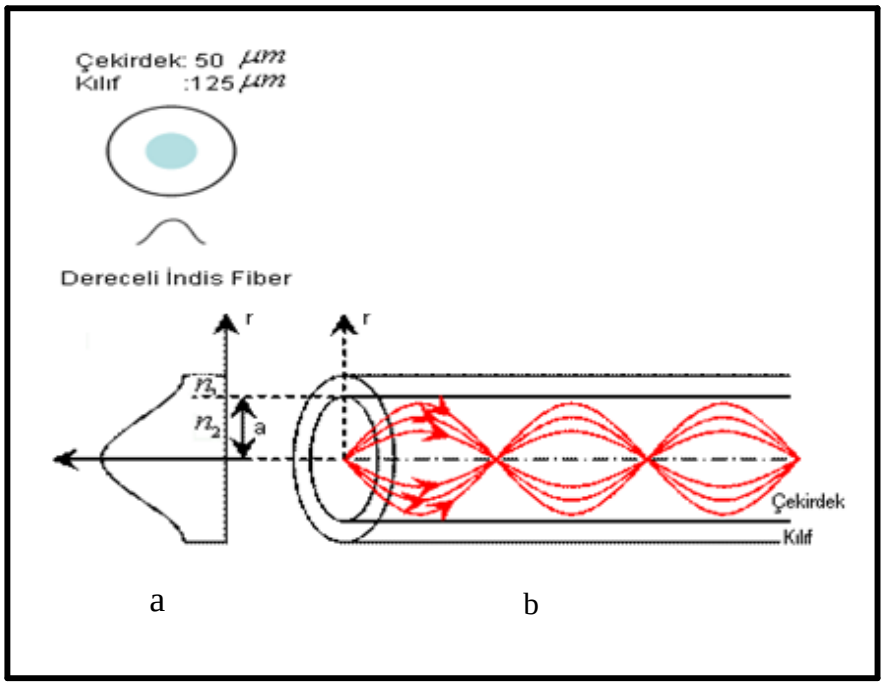
Dereceli indisli fiberler (Graded Index)

Şekil 3.4 dereceli indisli fiber çapı ve dalga yayılımı gösterilmektedir. Şekil 3.4. (a)'da dereceli indis fiberin kesiti ve kırılma profili görülmektedir. Şekil 3.4(b)'de ise fiberdeki dalga yayılımı görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi derece göstergesi çekirdekten kılıfa doğru radyal mesafe ile temel indisi azaltır. Dereceli indisli fiber, parabolik kırınım indis görünüşü için çok modlu optik yayılım da en iyi sonucu verir. Bu nedenle kırılma indisi görünüşü çok modlu dereceli indisli fiberlerinin bir özel çeşitidir, yani çok modlu dereceli indisli fiberlerin daha az intermodal dağılımını gösterir [14]. Kırılma indisi;

$$n(r)=\begin{cases} n_1\sqrt{1-2\Delta(r/a)^{\alpha}}, & r<a \\ n_2, & a\le r\le b \end{cases} \qquad (3.2)$$

biçiminde tanımlanır. Burada α malzemeye bağlı bir sabittir (genellikle $\alpha=2$) ve

$\Delta=\dfrac{n_1-n_2}{n_2}$ 'dir.



Şekil 3.4. Dereceli indisli fiberin kesiti ve dalga yayılımı

3.4. Kırılma Açısı

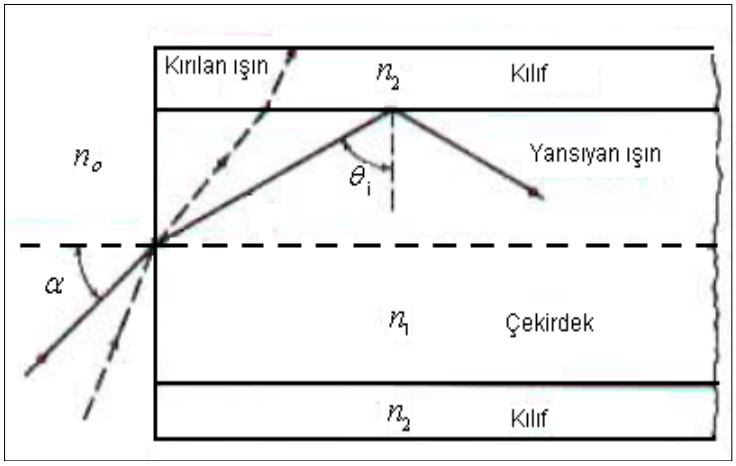
Işık kırılma indisi n_1 kırılma indisi çok yoğun bir ortamdan, kırılma indisi n_2 olan kırılma indisi az yoğun bir ortama geçerken ($n_1 > n_2$ durumunda) kıritik açı θ_c ortaya çıkar.

Bunun dışında kritik açı oluşmaz. θ_i gelme açısı yüzeye öyle bir gelirki kırılan açı $\frac{\pi}{2}$ olur [15]. Bu durumda Snell kanunundan;

$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin(\frac{\pi}{2}) \tag{3.3}$$

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} \tag{3.4}$$

olur. Eğer $\theta_i > \theta_c$ olursa, $\sin\theta_i > \sin\theta_c$ olur. Yukarıdaki eşitlikten $\frac{n_1^2}{n_2^2}\sin\theta_i > 1$ bulunur. Şekil 3.4.' deki ışının kılıfa girmemesi $n_1 > n_2$ için şartı sağlanmalı ve $\theta_i > \theta_c$ olmalıdır [16]. Şekil 3.5 kabloda kırılan ışın ve kırılma açısı görülmektedir.



Şekil 3.5. Kırılma açısı

Eğer $\theta_i = \theta_c$ olursa ve $\alpha = \alpha_m$ için bir kritik ışın olur. Bu durumda;

$$\sin\alpha = \frac{n_1}{n_o}\sin(\frac{\pi}{2} - \theta) \tag{3.5}$$

$$\sin\alpha = \frac{n_1}{n_o}\cos\theta = \frac{n_1}{n_o}\sqrt{1-\sin^2\theta} \tag{3.6}$$

olur. Burada n_o fiberin dışında, boşluğun kırılma indisidir. Eş. (3.4)'den

$$\sin\alpha_m = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_o} \tag{3.7}$$

eşitliği elde edilir [3]. Burada NA Nümerik Açıklık

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \tag{3.8}$$

olarak tanımlanır ve fiber içinde tam yansıma olması için α açısının alması gereken değer

$$\alpha_m = \sin^{-1}(\frac{NA}{n_o}) \tag{3.9}$$

olarak bulunur. Eğer $\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$ ve $\bar{n} = \frac{n_1 + n_2}{2}$ olarak tanımlanırsa, (ayrıca piyasada kullanılan bir fiberde $n_1 \approx n_2$ 'dir.) bu durumda;

$$NA = \sqrt{2\bar{n}n_1\Delta} \tag{3.10}$$

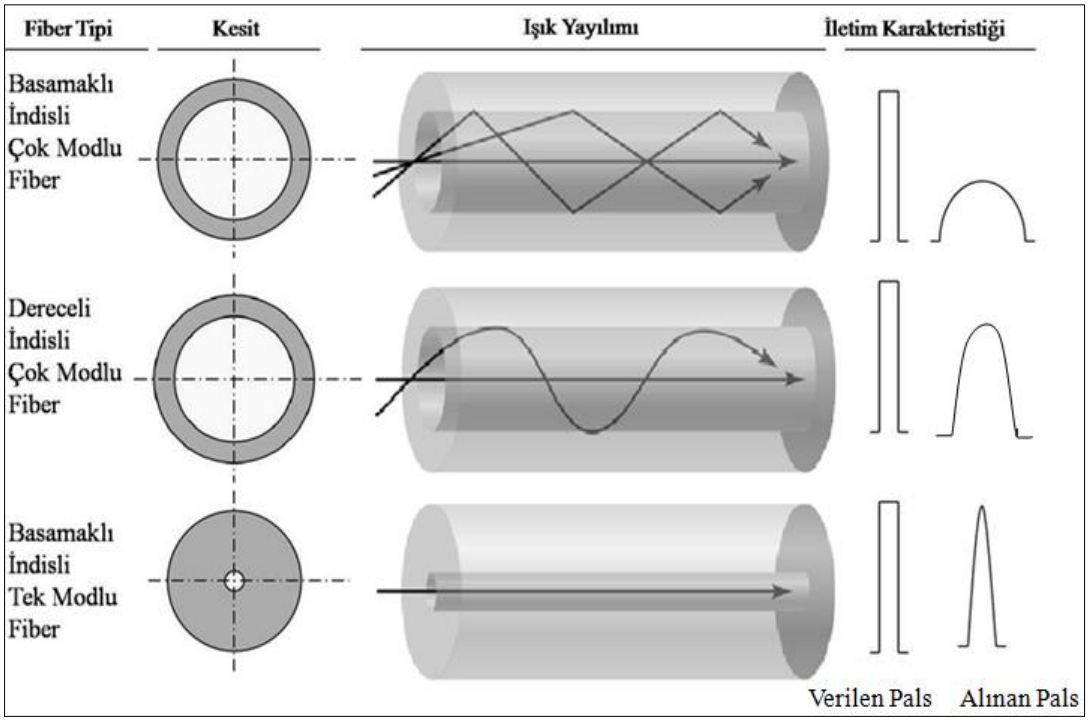
olarak elde edilir. Burada;

$$\bar{n}n_1 = \frac{n_1 + n_2}{2} n_1 = n_1^2 \tag{3.11}$$

olur. O halde nümerik açıklık

$$NA = n_1\sqrt{2\Delta} \tag{3.12}$$

olarak bulunur [5]. Şekil 3.6 Fiber optik kablo tasarımı ve kabloda modeline göre dalga yayılımı.



Şekil 3.6. Fiber optik link tasarımı

3.5. Fiber Optiğin Çalışması

Bir fiber optik kablonun nasıl çalıştığını anlamak için son derece uzun bir pipeti veya esnek plastik boruyu düşünün. Örneğin, birkaç metre uzunluğunda bir boruyu düşünün. Şimdi borunun iç yüzeyinin mükemmel bir ayna ile kaplandığını düşünün. Şimdi borunun bir ucuna baktığınızı düşünün. Diğer ucunda birkaç metre uzakta bir arkadaş el feneri açıp borunun iç kısımına doğru tutar. Borunun iç kısmı mükemmel bir ayna olduğundan, fener lambası borunun kenarlarını yansıtır (boru eğri ve bükülebilir olsa bile) ve diğer uçta görülür. El feneri mors kodu biçiminde açılıp kapatılsa, iletişime geçilmiştir [16].

3.6. Fiber Optik Çeşitleri

Fiberler malzemesine, tipine ve indisine göre sınıflandırılır.

- Plastik koruyucu zarflı ve cam çekirdekli (Plastic Clad Silica - PCS),
- Cam koruyucu zarflı ve cam çekirdekli (Silicon Carbide Fibers - SCS),
- Plastik koruyucu zarflı ve plastik çekirdekli.

3.6.1. Plastik koruyucu zarflı ve cam çekirdekli (Plastic Clad Silica PCS)

Bu fiberlerin bir cam çekirdeği ve plastik kaplaması vardır. Çekirdek, tüm cam fiberden daha büyük; 50 μm'lik bir kaplama kalınlığı ile tipik olarak 200 μm’dir. Bir silikon kaplı cam optik fiber gibi, bir PCS optik fiberin plastik kaplamalı genellikle plastik kaplamayı çevreleyen bir termo plastik tampon ile kullanılır. Tipik bir PCS fiber spesifikasyonu 200 / 300 μm olur. Plastik kaplama aynı zamanda cam göbeği için koruyucu bir katman olarak görev yapar, bu nedenle normal olarak tüm cam fiberde bulunan kaplama PCS fiberlere dahil edilmez. PCS fiberler tipik olarak endüstriyel algılama uygulamaları ve tıbbi / diş uygulamalarında kullanılırlar [17].

3.6.2. Cam koruyucu zarflı ve cam çekirdekli (Silicon Carbide Fibers - SCS)

Bu fiberler PCS fibere benzemekle birlikte, sert polimerden veya diğer malzemeden yapılmış kaplamalı, genelde diğer kaplama malzemelerinden daha güçlü bir cam çekirdeğe sahiptirler. Sert kaplamalı silis fiberi; üretim, fabrika otomasyonu ve şok ve titreşimin

standart cam fiberlerini güvenilmez hale getireceği diğer alanlarda olduğu gibi, dayanıklılığın asıl öneme sahip olduğu yerlerde yaygın olarak kullanılırlar. SCS optik fiberleri tipik olarak cam optik fiberden daha büyüktür. Çok popüler bir boyutu 200 / 230 μm'dir [17].

3.6.3. Plastik koruyucu zarflı ve plastik çekirdekli

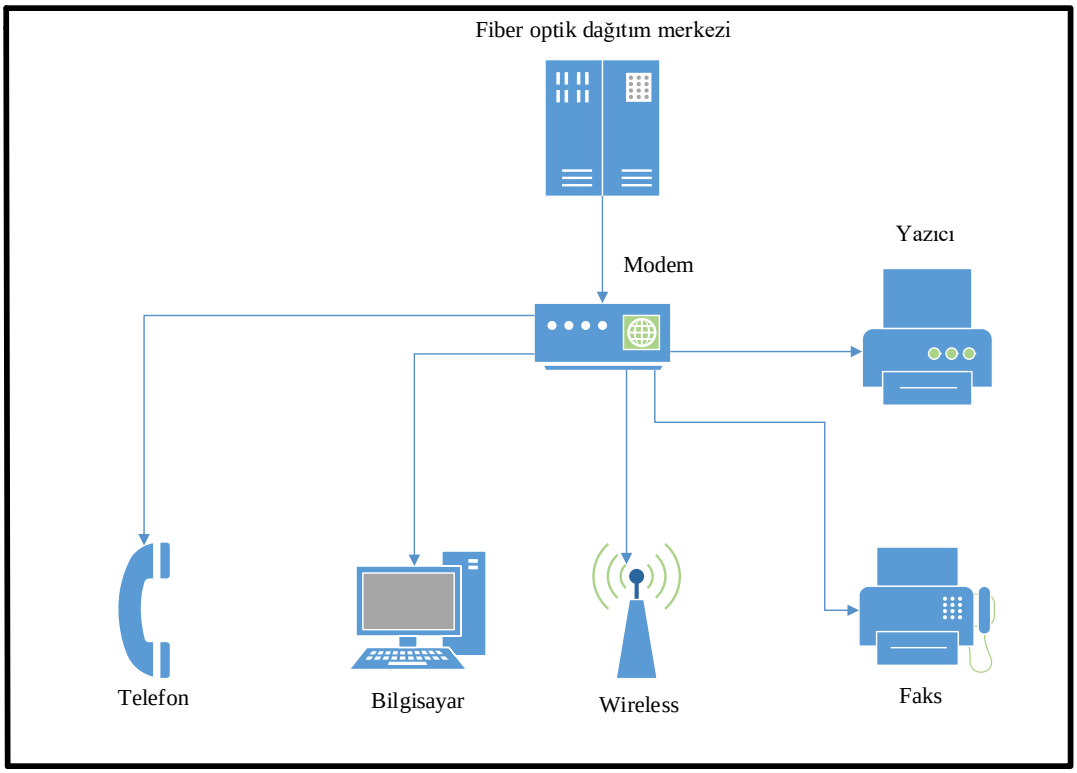
Bu fiberlerin bir plastik çekirdeği ve plastik kaplaması vardır. Düşük maliyet, sağlamlık ve kullanım kolaylığı nedeniyle seçilirler ve yüksek bant genişliği ve uzun iletim mesafelerinin gerekli olmadığı yerlerde kurulurlar. Plastik fiberler, uzun mesafeli, yüksek performanslı iletimler için uygun olmamakla birlikte, 100 m'den daha kısa mesafelerde yararlı veri hızlarına sahip sinyalleri dahi taşıyabilirler. Çok popüler bir boyut 980 / 1000 μm'dir. Plastik fiberler genellikle 650 nm aralığında görünür dalga boyları için tasarlanırlar. Plastik fiber için bazı tipik yerler; ev, eğlence sistemleri, otomotiv ve üretim kontrol sistemleridir. Ayrıca, bilgisayarlar ve çevre birimleri ile tıbbi ekipman arasındaki bağlantılarda da kullanılabilirler [17].

3.7. Fiber Optik Kullanım Alanları

Elektrik birçok makineye güç sağlayabildiği gibi, fiber ışığı da birçok türde bilgi taşır. Günümüzde fiber optik kablolar; bilgisayar ağlarında, yayıncılıkta, tıbbi taramada ve askeri teçhizatı kullanan teknolojiler oldukça yaygın kullanılmaktadırlar [18] .

3.7.1. Bilgisayar ağları

Haberleşmede tek mod fiberler, uzak mesafe anahtarları ve merkez ofisleri (abone döngü taşıyıcıları, alt bölümler veya ofis parklarındaki kaidelerde küçük anahtarlar veya daha büyük bir binanın bodrum katında) bağlamak için kullanılırlar. Pratikte her telekomünikasyon ağı eve bağlantı hariç fiber optiktir. şebekelerini daha küçük servis alanlarına ayırarak, çok sayıda müşterinin bir kesintiden etkilenmesini önleyerek daha iyi hizmet ve müşteri ilişkileri kurulmasını sağlarlar. Fiber aynı zamanda onlara İnternet ve telefon bağlantıları için kullandıkları dönüş yolunu artırır ve böylece gelir potansiyellerini de artırır. Şekil 3.7’de fiber optik dağıtım merkezi görünmektedir [19].



Şekil 3.7. Fiber optik dağıtım merkezinden bilgisayar kullanım amaçlı dağıtım

3.7.2. Televizyon yayınları

Bant genişliği, bir optik fiberin bilgi taşıma kapasitesinin ölçüsüdür. Bir iletim ortamının bilgi taşıma kapasitesi normalde MHz/km'lik birimlerde belirtilir. Bant genişliği uzaklık ürünü olarak adlandırılan bu değer, bir fiber uzunluğunun (kilometredeki) ve fiberin bu uzunluğa (megahertz cinsinden) iletebileceği bant genişliğinin bir ürünüdür. Herhangi bir ortama aktarılabilecek bilgi miktarı mesafe ile değişir ve bu ilişki doğrusal değildir. 500 MHz'lik bir fiber, 2 km uzunluğunda 250 MHz veya 0.5 km uzunluğunda 1000 MHz'e çevirmez [20].

3.7.3. Cerrahi ve diş hekimliği

1960'lı yıllardan beri, hem ışık hem de endoskoplar aracılığıyla görüntüleme için başarıyla öncü olan fiber optikler kullanılmaktadır. 1980'lerin sonu boyunca, optik fiber görüntüleme araçları yaygın olarak genel cerrahi için kabul edildi. Bununla birlikte, optik fiberler görüntüleme ve ışık kaynaklarından çok daha fazla uygulamada kullanılma potansiyeline sahiptirler. Özel optik fiberler ayrıca sıcaklık, basınç, oksijen yoğunlaşması ve uygulanan

kuvvet gibi fizyoloji parametrelerini izlemek için akıllı sensörler olarak da kullanılırlar. Fiber optik sensörler, küçük boyutlu, elektromanyetik parazit (EMI) bağışıklığı, gelişmiş hassasiyet, dayanıklılık ve geometrik çok yönlülük gibi tıbbi algılamada geleneksel elektronik sensörler karşısında birçok avantaj sunarlar. Bu eşsiz özellikler, kardiyovasküler muayene, anjiyoloji, gastroenteroloji, oftalmoloji, onkoloji, nöroloji, dermatoloji ve diş hekimliğinde karmaşık yöntemleri mümkün kılmaktadır [21].

3.7.4. Otomotiv sanayi

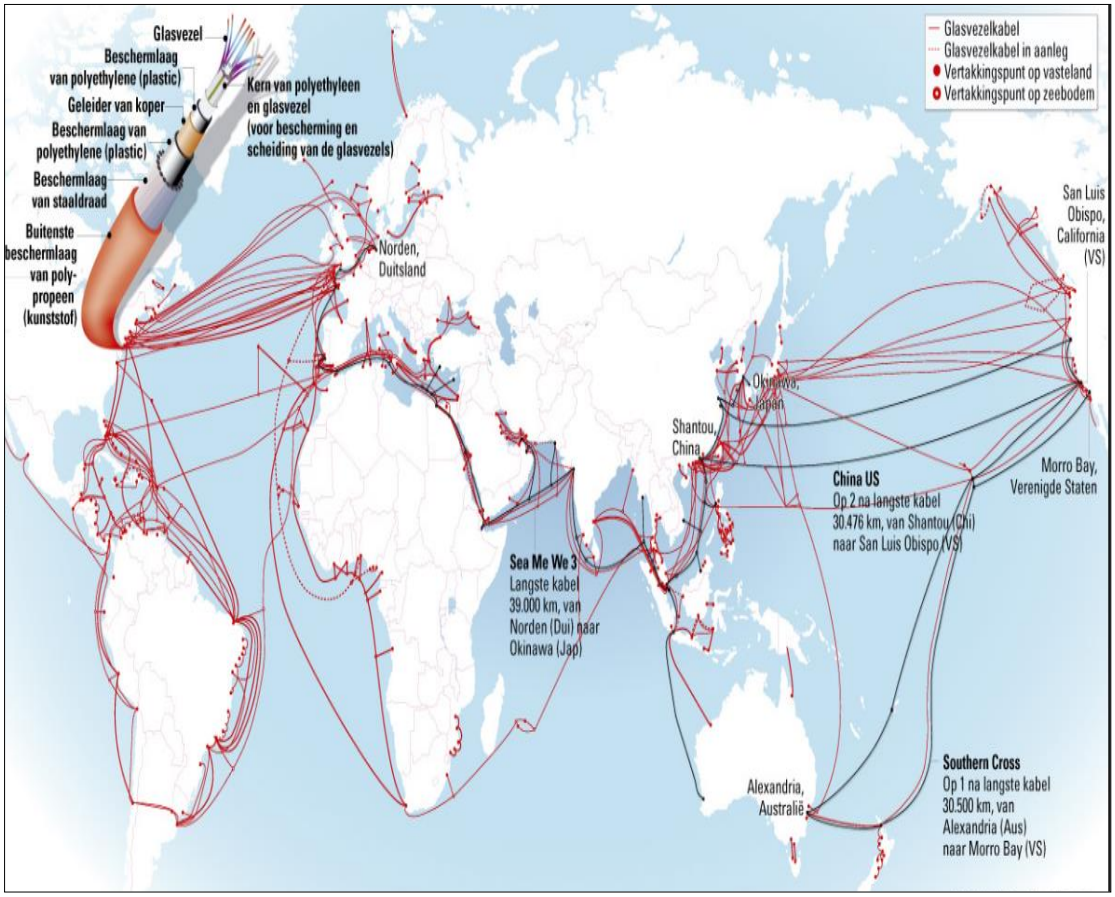
Fiber optik teknolojisi, çeşitli otomotiv uygulamaları için benzersiz özellikleriyle; fiber optik aydınlatma, iletişim ve algılama gereksinimleri için doğal olarak ideal bir seçimdir. Otomobillerde aydınlatma uygulamaları için fiberleri tercih edilir, çünkü fiber, zorlu ve kısıtlı erişim yerleri için düşük fiziksel alan gereksinimleriyle yüksek performanslı aydınlatma seçenekleri yaratır [13]. Otomotiv ağ sistemlerinde plastik optik fiber (POF) kullanılır Örneğin Mercedes Benz'in başarılı bir tanıtımından sonra 1998'den bu yana, en uygun multimedya eğlence ve bilgi için güvenilir ve sağlam bir ağ protokolü olan Medya Yönlendirmeli Sistemler Taşımacılığı (MOST) standardının tanıtımını hızlandırdı. MOST standardı, ortak birçoklu ortam ağı protokolünü ve uygulama nesne modelini birlikte tanımlayan ve benimseyen otomobil üreticilerinin, sistem mimarlarının ve anahtar bileşen tedarikçilerinin ortaklığına dayanan MOST işbirliği tarafından oluşturulmuştur.

3.7.5. Askeri

1983' te kurulan Optical Cable Corporation, en zorlu askeri alan uygulamaları için fiber optik kabloların tasarımında ve üretiminde öncülük etmiştir. Ayrıca fiber optik kablolar hem iç mekan hem de dış mekanlar için uygundur [8]. Askeriyenin geniş ürün yelpazesi, bu temel teknolojileri ve kurulumu kolay ve ekonomik olan fiber optik kabloları son kullanıcılara sunmak, yüksek derecede güvenilirlik sağlamak ve üstün performans özellikleri sunmak üzere tasarlanır. Fiber optik üreticiler de, ticari ve kampüs tesisatlarından askeri uygulamalar da dahil olmak üzere özel uygulamalar ve zorlu ortamlar için özelleştirilmiş ürünlere kadar dünya çapında ürünlerini satarlar.

3.7.6. Yayıncılık

20'inci yüzyılın başlarında, radyo ve TV yayıncılığı, elektromanyetik dalgaların havadan tek bir verici (yayın istasyonunda) ile binlerce alıcı antenin insanların evlerine çekmesi gibi basit bir düşünceyle teknik açıdan oldukça kolay olmuştu. Bu günlerde, radyo hala havada kiriş yaparken, TV fiber optik kablolar vasıtasıyla yayınları almaktadır. Kablo TV şirketleri 1950'lerden başlayarak, aslında bir kaç analog TV sinyali taşıyan koaksiyal kablolar (kara parazitleri önlemek için metal ekranlamalı kılıflı bakır kablolar) kullanan geçiş sürecine öncülük ettiler. Kabloya giderek daha fazla insan bağlandı ve ağlar daha fazla kanal ve program seçeneği sunmaya başladı. Ancak son zamanlarda kablo operatörleri, koaksiyal kablolardan optik fibere ve analogdan dijital yayına geçmek gerektiğini keşfettiler [9]. Şekil 3.16'da Fiber optik kabloların kıtalar arasında yayılımı görülmektedir.



Şekil 3.8. Fiber optik kabloların kıtalar arasında yayılması [5]

4. FİBER OPTİK KABLOLAR

Fiber kablolar, firma tarafından belli bir uzunlukta üretilir. Bu durum uzun mesafelerde optik kablo kullanılması gerektiğinde, kabloların bir birlerine eklenmesini gerektirir. Kablo ekleme işlemi fiber optik kabloların en önemli konulardan biridir [22].

4.1. Kablo Ekleme İşlemi

Kablo ekleme işlemi iki yöntemle yapılır. Birinci yöntem füzyon yöntemi, ikinci yöntem ise mekanik yöntemdir. Günümüzde en çok kullanılan yöntem füzyon yöntemidir. Bu yöntem için en başta bir cihaza ihtiyaç duyulur ve bu cihaz ne kadar kaliteli olursa o kadar ekleme işlemi daha az kayıpla yapılır. Yeni üretilen ekleme cihazları aynı zamanda kayıpları ölçme işlemlerini de yaparlar. Aşağıda ekleme cihazının nasıl çalıştığı, operatörün hangi işleri yapması gerektiği ve ekleme yaparken hangi kriterlere dikkat edileceği anlatılmaktadır [23].

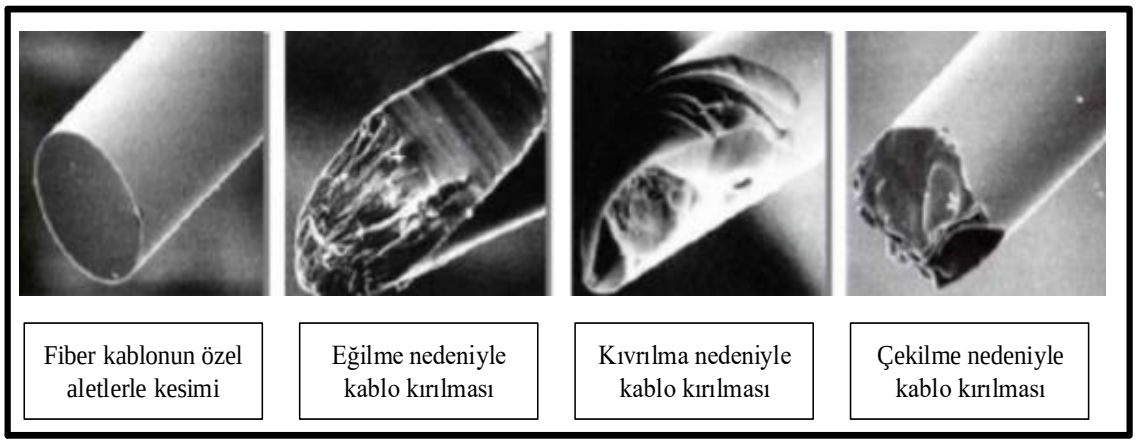
Farklı tip fiberlerde kablo kaplamaları farklı olabilir. Ancak temel olarak, bir fiber kılın üzerinde Kaplama, Dış kaplama ve Ceket vardır.

4.1.1. Çekirdeğın üzerindeki koruyucuları koparmak

Fiber optik kablonun kaplama (Cladding) kısmına kadar soyulması gerekir. Bu işlem için uygun ekipmanların kullanılması gerekir. Aksi halde soyma işlemi çok uzun sürebilir veya standard olmayabilir. Ek koruyucuyu ekleyecek kılın ucuna taktıktan sonra dış kaplama ve ceketi ve varsa başka koruyucuları çekirdeğin üzerinden koparılır [22].

4.1.2. Kablonun baş kısmını kesme cihazıyla kesmek

Soyulmuş kablonun baş tarafını düz yüzey haline getirmek gerekir. Bunun için kabloyu kesme cihazının içine koyarak düz bir yüzey elde edilmiş olunur. Şekil 4.1’de kablo kesilmesini özel bir cihaz ile ve düşük kaliteli cihazlarla kesilmiş şekilleri görülmektedir [23].



Şekil 4.1. Fiber kablunun eklenecek yüzeyleri kaliteli ve kalitesiz aletlerle kesilmesi

4.1.3. Kablonun kimiyasal maddeyle temizlemesi

Kablo kesme işlemi bittikten sonra kablonun soyulmuş tarafını iyice temizlenmesi gerekir. Temizlemek için pamuksuz mendilin üzerine Isopropil alkol dökerek temizleme sağlanır (Şekil 4.2) [25].



Resim 4.1. Kablo temizliği için pamuksuz mendil ve alkol

4.1.4. Kabloları ekleme cihazına yerleştirmek

Bu aşamada kablolar hazırdır ve her ikisinide ekleme cihazına yerleştirip cihazın başla (start) düğmesine basılır, sonra cihaz otomatik olarak kapakları kapatıp füzyon işlemini yapar. Eritme işlemi şekil 4.3'de görülen gibi iki elektrotla yapılır. Eski cihazlarda elektrotlar nikrom teliyle yapılırdı, ancak yeni cihazlarda karbon dioksit lazerle elektrotlar ısıtılmaktadır [26].

Füzyon ekleme yönteminde kayıp 0.1dB, mekanik ekleme yönteminde ise kayıbı 0.5dB'dir. Ekleme cihazı ne kadar iyi olursa, ekleme noktasındaki kayıp o kadar az olur.



Resim 4.2. Kabloların ekleme cihazına yerleştirilmesi

4.2. Fiber Optik Kabloların Kayıpları

Fiber üretim teknolojisindeki kademeli iyileştirme ile fiber optiklerin iletim kaybı çok düşük bir düzeye indirilir. Bununla birlikte, fiber boyunca yayılan bir optik sinyalin uğradığı toplam kayıp miktarının bilinmesi, optik fiber iletişim sisteminin tasarımı için gereklidir. Zayıflama (kayıp); kaynak ışıma örüntüsü (radiation patern), kaynak dalga boyu, fiber kırılma indisi profili ve fırlatma koşulları gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğundan, bu veriler mükemmel bir sistem tasarımı için kullanılır [26].

Genellikle fiber optik kablolarda en az kayıp 1300-1500 nm dalga boyutları arasında görülür (Şekil 4.2). Bu nedenle bu dalga boyutlarına ikinci ve üçüncü pencereler olarak adlandırılır.

Fiber türü	Dalga boyutu	Fiber kaybı / km *	Fiber kaybı / km #	Konektör kaybı	Ek yeri kaybı
Çok modlu 50/125 µm	850nm	3.5 dB	2.5 dB	0.75 dB	0.1 dB
	1300nm	1.5 dB	0.8 dB	0.75 dB	0.1 dB
Çok modlu 62.5 / 125 µm	850nm	3.5 dB	3.0 dB	0.75 dB	0.1 dB
	1300nm	1.5 dB	0.7 dB	0.75 dB	0.1 dB
Tek modlu 9µm	1310nm	0.4 dB	0.35 dB	0.75 dB	0.1 dB
Tek modlu 9µm	1550nm	0.3 dB	0.22 dB	0.75 dB	0.1 dB

* Bu değerler TIA / ÇED ve diğer endüstri spesifikasyonları bazında olup tüm geçiş kaybı hesaplarında geçiş ağları tarafından kullanılan değerlerdir

Bu değerler, yeni bir fiber kurulumuyla elde edilebilecek bir performans örneğidir.

Şekil 4.2. Fiber optik kabloların modele ve dalga boyutuna göre kayıpları

Şekil 4.3'de IEEE standartlarına göre, fiber optik kabloların çeşitlerine göre maksimum kullanılabilir uzunlukları görülmektedir.

Kablo standardı	Veri hızı (Data rate) Mbps	Kablo türü	IEEE standard mesafesi
10BASE-FL	10	850 nm çok modlu 50/125 um ve ya 62.5/125um	2 km
100BASE-FX	100	1300 nm çok modlu 50/125 um ve ya 62.5/125um	2 km
100BASE-SX	100	850 nm çok modlu 50/125 um ve ya 62.5/125um	300 m
1000BASE-SX	1000	850 nm çok modlu 50/125 um	550 m
		850 nm çok modlu 62/125 um	220 m
1000BASE-LX	1000	1300 nm çok modlu 50/125 um ve ya 62.5/125um	550 m
		1310 nm tek modlu 9/125 um	5 km
1000BASE-LH	1000	1550 nm tek modlu 9/125 um	70 km

Şekil 4.3. Fiber optik kabloların kablo standardına göre maksimum kullanılabilir uzunluklar

Genel olarak fiber optik kablonun kayıpları:

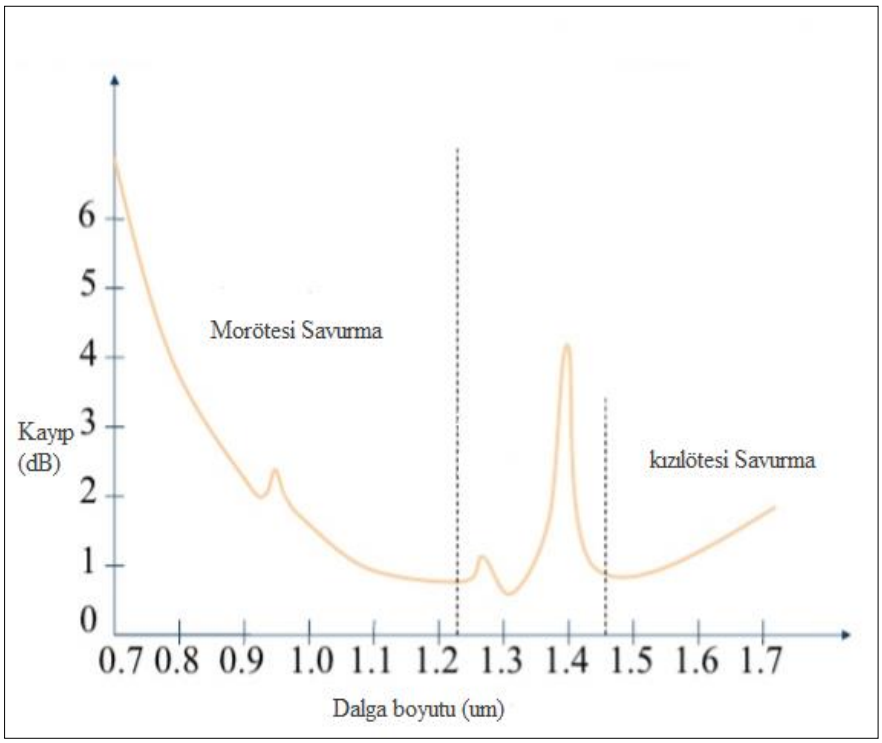
1. Soğurma kayıpları,
2. Rayleigh saçınım kayıpları,
3. Yayılım kayıpları,
4. Modal yayılma,
5. Renk ya da dalga boyu ayrılması,
6. Optik kablo ekleme kayıpları,

olarak sıralanır.

4.2.1. Soğurma kayıpları

Optik emilim, enerjinin yayılım yapan ışık demetinden materyal yapısına doğrudan aktarılmasını içerir ve materyalin daha yüksek bir enerji durumuna uyarılmasına neden olur. Bu kavram, materyalin temel rezonans frekansına eşit (veya hemen hemen eşit) bir frekansta salınan bir optik alandan enerjiyi emebilmesi durumunu osilatörler kümesi olarak tanımlar. Enerji emilimi osilatörü daha yüksek bir enerji seviyesine yükseltir. Bu rezonans durumu, optik frekanslarda karmaşık kırılma indisine neden olan malzeme için kompleks dielektrik fonksiyonunun dağılımına (frekansa bağlı) doğrudan bağlıdır. Bir malzemenin osilatör resmi açısından, farklı yapısal elementlerin her biri optik emiliminin toplam büyüklüğüne ve frekans bağımlılığına katkıda bulunur. Böylece, malzeme bileşimi ve

spesifik yapısal özellikler, belirli bir ışık dalga boyunda gözlemlenen optik emilimi doğrudan etkiler. Şekil 4.6'da dalga boyutuna göre soğurma kayıpları görülmektedir [27].

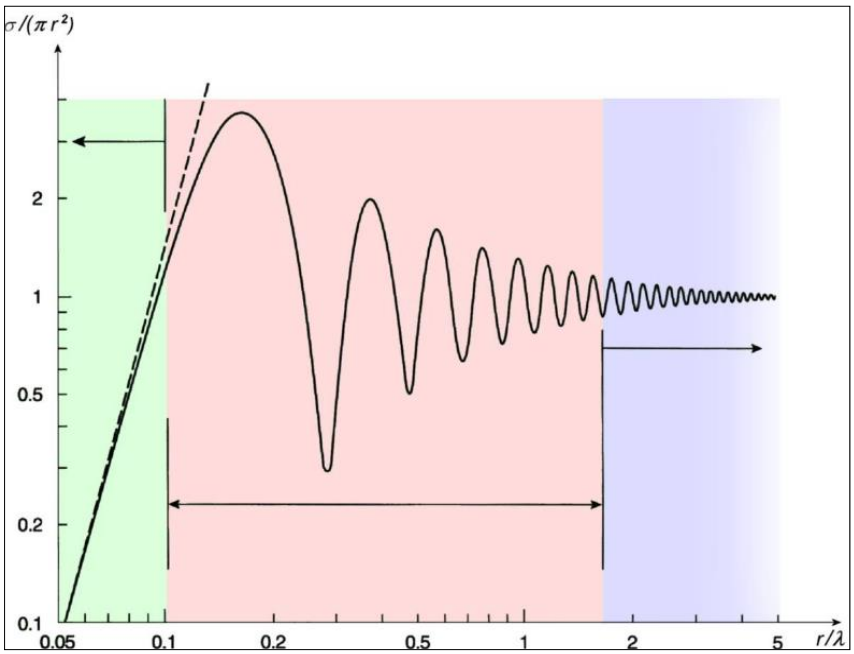


Şekil 4.4. Dalga boyuna göre soğurma kayıpları

4.2.2. Rayleigh saçınım kayıpları

Düşük yoğunluklu koşullar altında (doğrusal optik olaylar) ışığın optik zayıflamasına katkıda bulunan faktörler bakımından, optik saçınım elastik yapısı açısından en iyi olarak tanımlanır. Bu durumda, fotonlar malzemenin dielektrik sabitindeki mekansal varyasyonlar ile etkileşime girer, böylece enerji kaybı olmadan fotonların yayılma yönü, fazı ve kutuplaşması değişir; yani saçılma sonrası foton frekansı değişmeden kalır, bu nedenle işleme elastik saçılım süreci denir. Dielektrik sabitindeki bu mekansal varyasyonlar genellikle sınırlandırılmış saçılma merkezleri olarak adlandırılır. Saçılma merkezleri, materyalin yoğunluk durumu ve oluşan kompozisyonda dışsal, ikinci faz safsızlıkları (parçacık kapanımlar ve kabarcıklar dahil) veya iç dalgalanmalar ile ilişkilidir. Rayleigh saçılmasının arkasındaki baskın neden, çekirdeğin yoğunluğu ve bileşimsel değişime bağlı olarak kırılma indisi dalgalanmalarıdır. Düşük empedans penceresindeki büyük içsel kayıp mekanizması budur. Rayleigh saçılımı mümkün olan en uzun dalga boyu kullanılarak

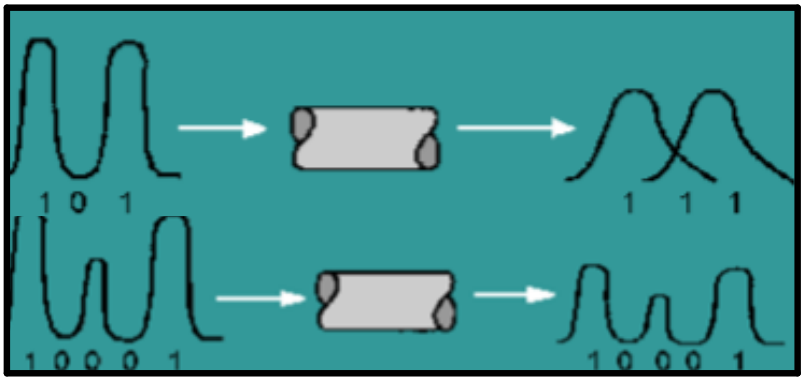
büyük oranda azaltılabilir. Şekil 4.7'da bir küre yüzeyinden Rayleigh saçılımı görülmektedir [27].



Şekil 4.5. Rayleigh saçınım

4.2.3. Yayılım kayıpları

Fiber optik sistem'de, malzeme, kablo uzunluğu, fiber optik kablo sayısının fazla olması, fiber kabloların eklenmesi gibi nedenlerle iletişimde bir miktar kayıp oluşur. Bu kayıplardan biriside, iletişimde uzun mesafeli fiber optik kablo kullanılmasıdır ve şekil 4.8'de sinyal yayılımı gösterilmektedir [27].

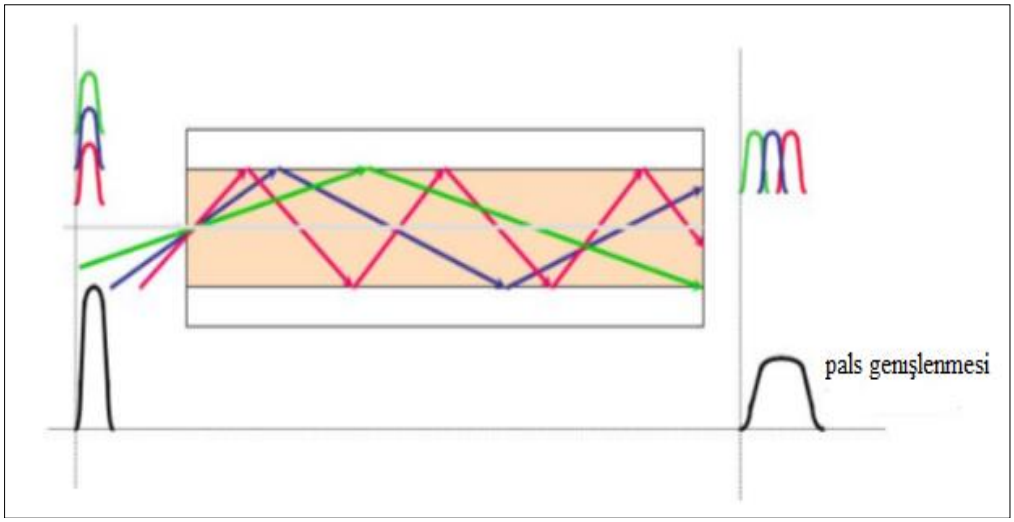


Şekil 4.6. Sinyal yayılımı

4.2.4. Modal yayılma

Modal yayılma sadece çok modlu fiberlerde meydana gelir. Işınlar, fiber boyunca farklı yolları izlediği ve dolayısıyla fiberin diğer ucuna farklı zamanlarda geldiği için ortaya çıkar. Mod, ortam üzerinden elektromanyetik dalgaların yayılımını açıklayan matematiksel ve fiziksel bir kavramdır. Fiber durumunda, bir mod, basitçe bir fiberin aşağıya doğru ilerlediği bir ışık ışınının izleyebileceği bir yoldur. Bir fiber tarafından desteklenen modların sayısı 1 ile 100.000 arasındadır. Böylece bir fiber, boyutlarına ve özelliklerine bağlı olarak bir veya binlerce ışık ışını için bir yol sağlar. Işık, farklı yollar (veya modlar) için farklı açılardan yansıdığından, farklı modların yol uzunlukları farklıdır. Böylece, farklı ışınlar, fiber uzunluğu boyunca daha kısa veya daha uzun zaman harcarlar. Yansıtılmadan çekirdeğin merkezinin hemen altına inen ışın diğer ışınlardan sonra diğer uca ulaşır. Böylece fibere aynı anda giren ışıklar farklı zamanlarda diğer ucundan çıkarlar [3].

Işık yayılmasına modal yayılma (dağılım) denir. Modal yayılma, fiberde değişen modal yol uzunluklarından kaynaklanan dağılım türüdür. Adım indeksi fiber için tipik modal dağılım şekilleri 15-30 ns/km'dir. Bu, bir fiberin aynı anda girişi için en uzun yolu takip eden ışın, en kısa yolu izleyen ışından 15 ila 30 ns sonra 1 km uzunluğundaki fiberin diğer ucuna ulaşacağı anlamına gelir. Şekil 4.9'da dalganın modal yayılmayla genişlenmesi görülmektedir.

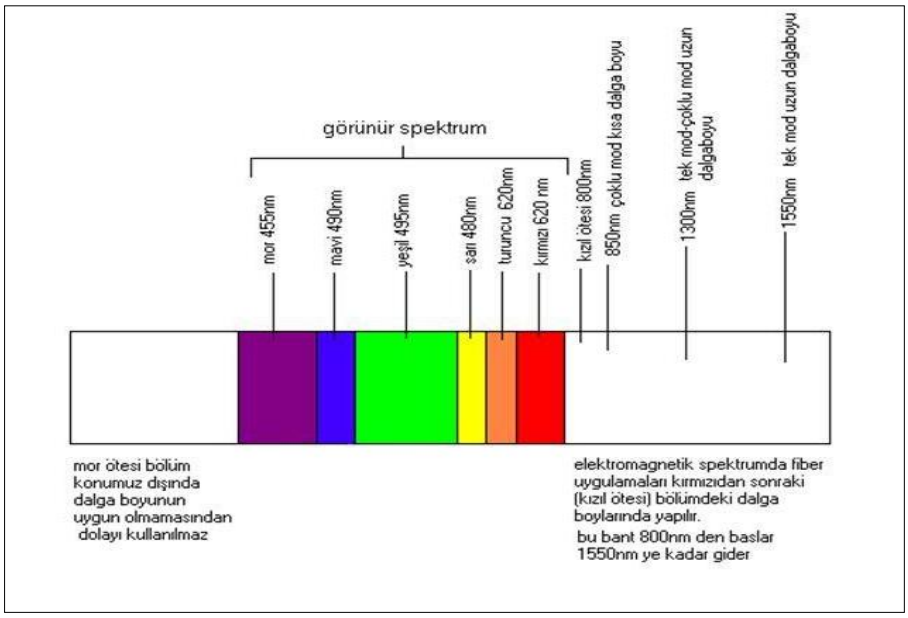


Şekil 4.7. Modal yayılma

4.2.5. Renk veya dalga boyu ayrılması

Dalga kılavuzu dağılımı dalga kılavuzu etkilerinden kaynaklanan renk dağılımıdır: bir dalga kılavuzundaki dalga için dağınık faz kaymaları, dalganın homojen bir ortamda yaşayabileceği dalgalanma faz kaymalarından farklıdır. Toplam dağılım, malzeme dağılımı ve dalga kılavuzu dağılımının birleşimidir. Genellikle β'nın frekans bağımlılığından hesaplanır; β' propagasyon sabitinin sanal kısmıdır ve kılavuz dalganın birim, uzunluk başına faz kaymasıdır. Gerekli β değerlerini hesaplamak için genellikle bir mod çözücü gerekir [5].

Dalga kılavuz dağılımının kaynağı, kılavuzlu bir dalganın dalga vektörlerinin (k vektörleri) frekansa bağlı bir dağılıma sahip olduğu göz önüne alındığında anlaşılabilir; oysa bir düzlemsel dalga (referans durum olarak) sadece yayılım yönünde ilerleyen tek bir dalga vektörüne sahiptir. Elektromanyetik spektrumları şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.8. Elektromanyetik spektrum

4.3. Optik Kablo Ekleme Kayıpları

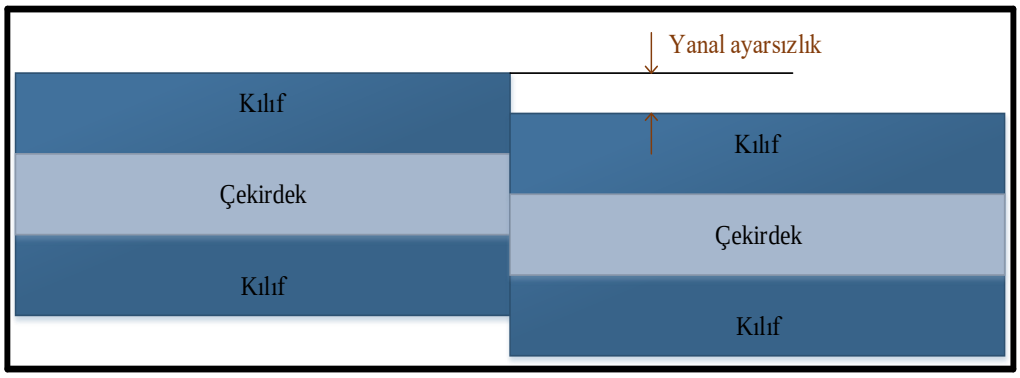
Fiber optik kablolarda; ışık kaynağıyla fiber arasında, fiberle fiber arasında ve fiberle alıcı arasında ekleme (bağlantı) yapılır veya konnektor kullanılır. Bu bağlantı yerlerinde kayıplar meydana gelebilir [7].

Ekleme kayıplarına çoğunlukla aşağıdakilerden biri neden olur.

1. Yanal ayarsızlık,
2. Aralık ayarsızlığı,
3. Açısal ayarsızlık ve
4. Kusursuz olmayan yüzeyler.

4.3.1. Yanal ayarsızlık (Lateral Misalignment)

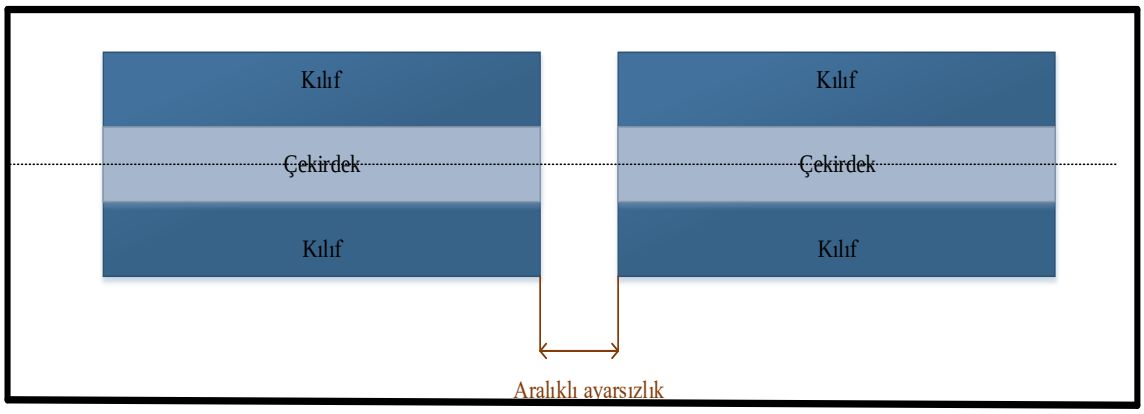
Yanal ayarsızlık, iki fiber kablo parçasının arasındaki yanal kayma veya eksen kaymasıdır (Şekil 4.11). Kayıp miktarı, 0 dB ile 1 dB arasında olabilir. Eğer fiber eksenleri, küçük fiberin çapının 5%'i içerisinde ayarlanmış ise, bu kayıp dikkate alınmayabilir [1].



Şekil 4.9. Yanal ayarsızlık

4.3.2. Aralık ayarsızlık (Longitudinal Misalignment)

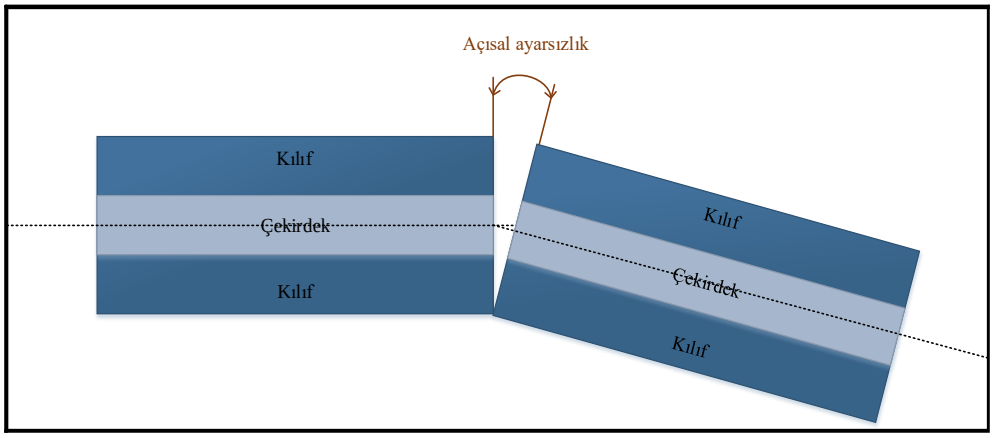
Aralık ayarsızlığına uç ayrılması da denilir. Fiber optiklerde eklemeler yapıldığında fiberlerin birbiriyle temas etmesi gerekir. Fiberler birbirinden ne kadar mesafeli olursa, ışık kaybı o kadar fazla olur (Şekil 4.13) [1]. İki fiber bir birine bir bağlantı parçasıyla birleştirilmişse, uçlar temas etmemelidir. Temas ettirilmemesinin nedeni, iki ucun bağlantı parçasında birbiriyle sürtünmesinin fiberlerden birinde ya da her ikisinde birden hasara yol açabilecek olmasıdır.



Şekil 4.10. Aralıklı ayarsızlık

4.3.3. Açısal ayarsızlık (Angular Misalignment)

Açısal ayarsızlık, şekil 4.14'de görüldüğü gibi iki fiber ekseni paralel olmadığında gerçekleşir. Her iki fiberin ekseni belli bir açıda kesişir. Fiber optik kabloları birbirine eklerken arada açısal bir açıklık meydana gelir. Bu duruma açısal ayarsızlık veya açısal yer değiştirme denir [1].



Şekil 4.11. Açısal ayarsızlık

5. SAYISAL ANALİZLER

Bu tez çalışmasında, fiber optik kabloların ekleme kayıpları incelenmektedir. Şekil 5.1'de bir fiber optik kablo ekleme cihazı görülmektedir.



Resim 5.1. Fiber optik kablo ekleme cihazı

5.1. Fiber-Fiber Bağlantıları

Fiber-fiber bağlantısı ile ilgili en önemli husus arayüzde karşılaşılan optik kayıplardır. İki birleştirilmiş fiber ucu pürüzsüz ve dik olduğunda ve iki fiber ekseni mükemmel şekilde hizalandığında bile ışığın küçük bir kısımı geri yansır ve ekleme noktasında zayıflamaya neden olur. Bu Fresnel yansıması olarak bilinir, eklemli yüzeyde meydana gelen kırılma indisini değiştirir [2].

Herhangi bir fiber optik sistemin kurulumunda önemli bir faktör, fiberlerin bir şekilde bağlanması gerekliliğidir. Fiberlerin birleştirilmesi için seçilen özel teknik, kalıcı bir bağlantı mı yoksa kolayca sökülebilir bir bağlantı mı istenildiğine bağlıdır. Bağlantı noktasındaki kısmi yansımanın büyüklüğü fiber üzerinden iletilen ışık klasik Fresnel yansıması kullanılarak tahmin edilebilir. Normal ışık oranı;

$$r = \left(\frac{n_1 - n}{n_1 + n} \right)^2 \tag{5.1}$$

eşitliği ile verilir. Burada *r*, tek bir arayüzde yansıtılan ışığın oranıdır, n_1 kırılma indisi ve *n*, birleştirilen iki fiber arasındaki ortamın kırılma indisidir. Hava için kırılma indisi *n=1* dir. Bununla birlikte, bir fiberde yansıyan ışığın miktarını belirlemek için, her iki fiber arayüzünde Fresnel yansıma dikkate alınmalıdır. Fresnel kuralına göre kayıp;

$$Loss_{Fres} = -10\log_{10}(1-r) \tag{5.2}$$

Eşitliği ile elde edilir. Eş. (5.1) ve Eş. (5.2)'den Fiber-Fiber ekleminde Fresnel yansıma nedeniyle optik zayıflama ve kayıp hesaplanır.

Fresnel yansımanın, bir fiberin bağlantı noktasında önemli bir kayba neden olabileceği açıktır, hatta bağlantının diğer tüm yönleri ideal olduğunda bile bu kayıp meydana gelir. Bununla birlikte, bir fiber-fiber bağlantısında, Fresnel yansıma kaybının etkisi, fiberler arasındaki boşlukta bir indis eşleştirme sıvısı kullanılarak çok düşük bir seviyeye indirilir. Kablo eşleştirmede sıvının fiber çekirdeği ile aynı kırılma indisine sahip olması, Fresnel yansıma nedeniyle oluşan kayıpları teorik olarak ortadan kaldırır. Ancak, Fresnel yansıma, bir fiber ekleminde tek bir optik kayıp olasılığı kaynağı değildir. Çünkü fiber-fiber bağlantısında muhtemelen daha büyük bir kayıp iki fiberin hizalamasından kaynaklanır [4]. İki optik fiberin geometrik ve optik parametrelerinde herhangi bir sapma olması, bağlantı boyunca optik zayıflamayı (ekleme kaybını) etkiler. Belli bir bağlantı tekniği içerisinde bu varyasyonların tamamına izin vermek mümkün değildir.

Her birleştirme tekniği, eklemde çeşitli optik güç kaybına neden olabilecek belirli koşullara tabidir. Optik kaynak ile eklem arasında, eklemdeki iki fiber ucunun geometrik ve dalga kılavuzu özellikleri ve fiber uç yüz nitelikleri her bir fiberde yayılabilecek modların sayısına göre değişir. Örneğin, 500 modun yayabileceği bir fiber, yalnızca 400 modun yayabileceği bir fibere bağlıysa, ilk fiberin optik gücünün en fazla yüzde 80'i ikinci fibere bağlanabilir (Tüm modların eşit derecede çalıştıkları varsayılırsa).

Çekirdek yarıçapı *a* ve kaplama indisi n_2 ve yayılma sabiti $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ (λ dalga boyu) olan basamak indisli bir fiber için, modların toplam sayısı *M* aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$M = k^2 \int_0^a \left[n^2(r) - n_2^2 \right] r dr \tag{5.3}$$

Burada *n (r)* çekirdeğin kırılma indisi görüntüsündeki değişimi tanımlar.

$$M = k^2 \int_0^a NA^2(r) r dr = k^2 NA^2(0) \int_0^a \left[1 - \left(\frac{r}{a} \right)^{\alpha} \right] r dr \tag{5.4}$$

Genel olarak, birleştirilecek olan iki fiberin yarıçapları ve eksenel sayısal açıklıklar *NA(0)* cinsinden mod sayıları elde edilir. Dolayısıyla, bir fiberden diğerine aktarılan enerji, ortak mod sayısı M_{comm} (eğer modlar üzerinde eşit bir enerji dağılımı varsayılırsa) maksimum olur. Bu durumda fiber-fiber bağlanma verimi ηF , aşağıdaki eşitlikle elde edilir.

$$\eta F = \frac{M_{comm}}{M_E} \tag{5.5}$$

Burada M_E, verici fiberdeki modların sayısıdır (bir sonraki fibere güç aktaran fiber). Fiber-fiber bağlanma kaybı L_F ,

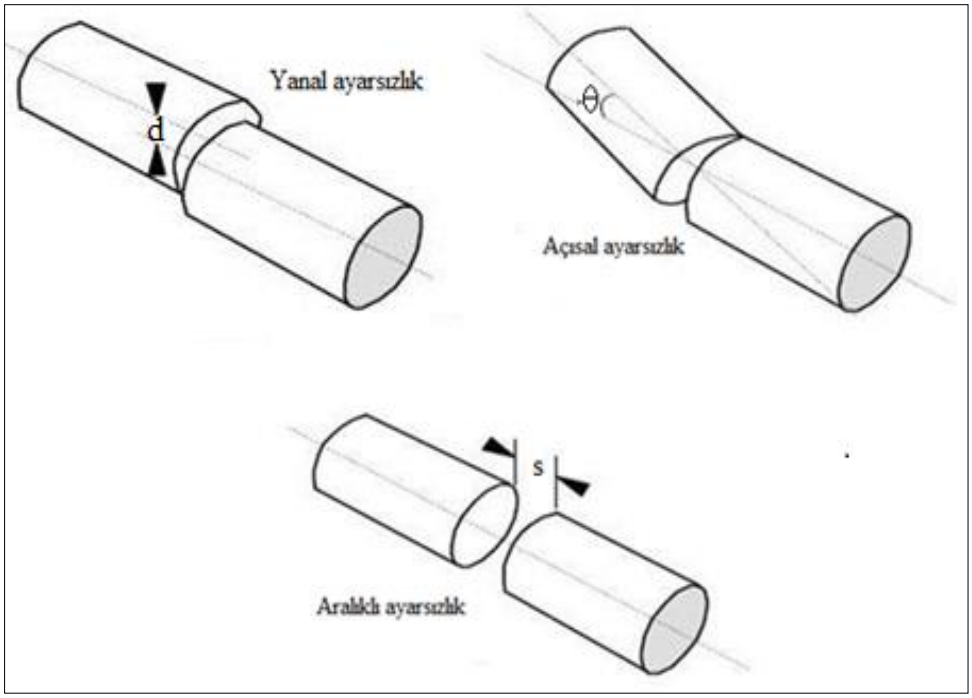
$$L_F = -10 \log \eta_F \tag{5.6}$$

ηF bağlanma veriminden elde edilir.

5.2. Fiber Bağlantılarında Mekaniksel Yanlış Hizalama

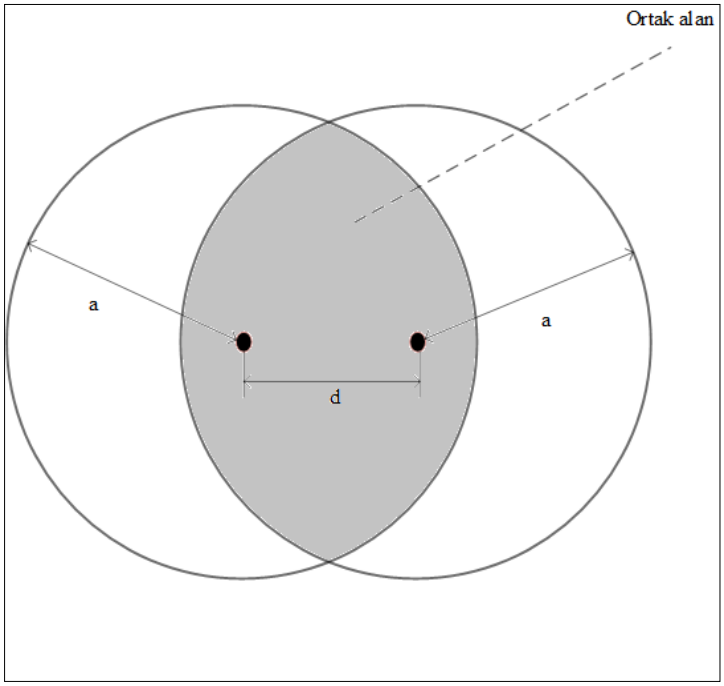
Mekanik hizalama, mikroskobik boyutlarından dolayı iki fiberi birleştirirken büyük bir sorundur. Standart birçok modlu basamak indisli fiber çekirdeği 50-100 μm çapındadır ve kabaca insan saçının kalınlığıdır, oysa tek modlu fiberler üzerinde çaplar 9 μm

cıvarındadır. Işınım kayıpları, mekanik yanlış hizalamalardan kaynaklanır, çünkü verici fiberin ışıma konisi alıcı fiberin kabul konisi ile uyuşmaz. Işınım kaybının büyüklüğü yanlış hizalama derecesine bağlıdır [5]. Fiberler arasındaki yanlış hizalamanın üç temel biçimi şekil 5.2'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Fiber kablo ayarsızlıkları

Aralık (mesafeli) ayarsızlık, fiberlerin aynı eksene sahip olmaları ve bunların uç yüzleri arasında bir boşluk olduğunda meydana gelir. Açısal yanlış hizalama hatası, iki eksen bir açı oluşturduğunda ortaya çıkar ve böylece fiber uç yüzleri artık paralel olmaz. Yanal yanlış hizalama iki fiberin ekseni bir *d* mesafesi ile ayrıldığında genellikle yanal yer değiştirme veya yanal yanlış hizalama denir. Pratikte meydana gelen ve en büyük güç kaybına neden olan en yaygın yanlış hizalama, yanal ayarsızlıktır. Bu eksenel kayma, şekil 5.3'de gösterildiği gibi, iki fiber-merkez uç yüzünün üst üste binme alanını azaltır ve sonuç olarak, bir fiberden diğer fibere bağlanabilen optik güç miktarını azaltır [1].



Şekil 5.2. Eksenel yanlış hizalama

Yanal yanlış hizalama etkilerini göstermek için, ilk olarak, yarıçapın iki aynı basamak indisli fiberin basit bir örneği, şekil 5.3'de görülmektedir. Fiberlerin eksenlerinin ortak bölümde bir ayırma d ile dengelenmiş ve verici fiberde tek bir modda güç dağılımı mevcuttur.

Sayısal diyafram, iki fiberin uç yüzleri boyunca sabit olduğundan, bir fiberden diğerine bağlanan optik güç, iki fiber çekirdeğinin ortak alanı A_{comm} ile orantılıdır.

$$A_{comm} = 2a^2 \arccos\frac{d}{2a} - d(a^2 - \frac{d^2}{4})^{\frac{1}{2}} \tag{5.7}$$

Basamak indisli fiberin kuplaj verimliliği basitçe çekirdek ortak alanın çekirdek uç yüz alanına oranıdır.

$$\eta_{F,step} = \frac{A_{comm}}{\pi a^2} = \frac{2}{\pi}\arccos\frac{d}{2a} - \frac{d}{\pi a}\left[1-(\frac{d}{2a})^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{5.8}$$

Bir basamak indisli fiberden aynı özelliklere sahip olan fibere aktarılan gücün hesaplanması daha karmaşıktır, çünkü sayısal açıklık (*NA*), fiber uç yüzüne göre değişir.

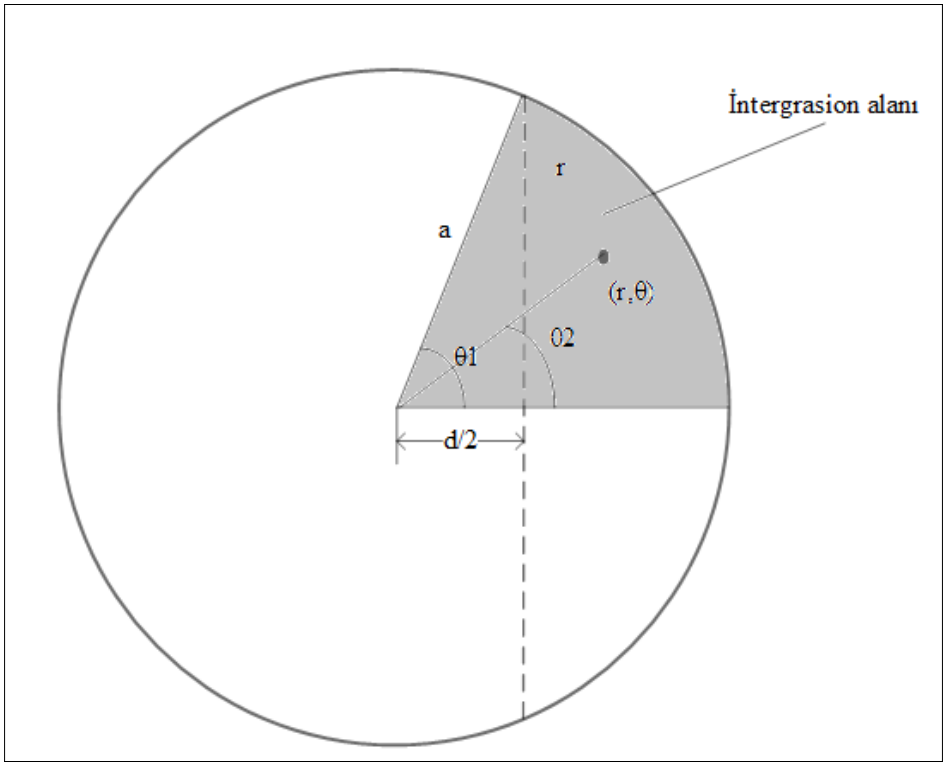
Bunun için, ortak çekirdek alanındaki belirli bir noktada alıcı fiber içine bağlanan toplam güç, bu noktada hangisinin daha küçük olduğuna bağlı olarak verici veya alıcı fiberin sayısal açıklığıyla sınırlanır. Basamak indisli fiberin uç yüzü tektip olarak aydınlatılıyorsa, çekirdek tarafından kabul edilen optik güç, fiberin sayısal açıklığının içine düşen güç olur [27].

$$NA(r)=\begin{cases}\left[n^2(\mathrm{r})-\mathrm{n}_2^2\right]^{1/2} \approx NA(0)\sqrt{1-(r/a)^{\alpha}} & \xrightarrow{\text{eğer}} r \le a \\ 0 & \xrightarrow{\text{eğer}} r \succ a\end{cases} \tag{5.9}$$

$$NA(0)=\left[n^2(0)-n_2^2\right]^{1/2}=(n_1^2-n_2^2)^{1/2} \approx n_1\sqrt{2\Delta} \tag{5.10}$$

Fiber ucundaki *r* noktasındaki optik güç yoğunluğu $p(r)$, o noktadaki yerel sayısal açıklık *NA (r)* karesiyle orantılıdır.

$$p(r)=p(0)\frac{NA^2(r)}{NA^2(0)} \tag{5.11}$$



Şekil 5.3. İki kablo uçunun ortak alanları

Burada $p(0)$ parametresi, çekirdek eksenindeki güç yoğunluğudur ve bu, fiberdeki toplam güç p ile ilişkilidir.

$$p = \int_0^{2\pi} \int_0^a p(r) r dr d\theta \tag{5.12}$$

Rastgele bir indis profili için, Eş. (5.12)'deki çift katlı integral sayısal olarak değerlendirilir. Bununla birlikte, analitik bir ifade parabolik indis profiline (α=2.0) sahip bir fiber Eş. (5.10)'u kullanarak bulunur.

$$p(r) = p(0)\left[1-(\frac{r}{a})^2\right] \tag{5.13}$$

Eş. (5.12) ve Eş. (5.13)'ün kullanımı ile eksensel güç yoğunluğu $p(0)$ ile yayınlanan fiberdeki toplam güç p arasındaki ilişki;

$$p = \frac{\pi a^2}{2} p(0) \tag{5.14}$$

Olarak elde edilir. Şekil 5.4'de gösterildiği gibi, iki parabolik basamak indisli fiberin bütün eklem boyunca iletilen gücü, eksenel ofset d ile hesaplanır. Örtüşen bölge, A_1 ve A_2 alanları için ayrı ayrı düşünülür. Alan A_1'de sayısal diyafram verici şebeke ile sınırlanırken, A_2 alanında alıcı fiberin sayısal açıklığı, verici fiberinkinden daha küçüktür. İki alanı ayıran dikey kesikli çizgi, sayısal açıklıkların eşit olduğu noktalardır [28].

Alıcı fiberle birleşmiş gücü belirlemek için, Eş. (5.13) ile verilen güç, A_1 ve A_2 alanlarına ayrı ayrı entegre edilir. Verici fiberin sayısal açıklığı A_1 alanındaki alıcı fiberin sayısal açıklığından daha küçük olduğundan, bu bölgede yayılan tüm güç alıcı fiber tarafından kabul edilir. Böylece A_1 alanındaki alınan P_1,

$$p_1 = 2\int_0^{\theta_1} \int_{r_1}^a p(r) r dr d\theta = 2p(0)\int_0^{\theta_1} \int_{r_1}^a \left[1-(\frac{r}{a})^2\right] r dr d\theta \tag{5.15}$$

Olarak elde edilir. Şekil 5.4'de gösterilen entegrasyon sınırları;

$$r_1 = \frac{d}{2\cos\theta} \tag{5.16}$$

$$\theta_1 = \arccos\frac{d}{2a} \tag{5.17}$$

biçimindedir. Bu durumda Eş. (5.15)'den;

$$p_1 = \frac{a^2}{2}\,p(0)\left\{\arccos\frac{d}{2a} - \left[1-\left(\frac{d}{2a}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}\frac{d}{6a}\left(5-\frac{d^2}{2a^2}\right)\right\} \tag{5.18}$$

P_1 gücü elde edilir. Alan A_2'de, verici fiber, alıcı fiberden daha büyük bir sayısal açıklığa sahiptir. Bu, alıcı fiberin kendi sayısal diyaframına giren verilen optik gücün sadece bir kısmını kabul edeceği anlanına gelir. Bu güç simetriden kolaylıkla bulunur. A_2 alanındaki x_2 noktasındaki alıcı fiberin sayısal açıklığı, A_1 alanındaki x_1 simetrik noktalardaki verici fiberin sayısal açıklığı ile aynıdır. Böylece, alan A_2'deki herhangi bir x_2 noktasında alıcı fiber tarafından kabul edilen optik güç, A_1 alanının x_1 simetrik noktasından çıkana eşittir. Bu nedenle A2 alanı boyunca birleştirilen toplam güç p_2, A_1 boyunca birleştirilmiş güç p_1'e eşittir. Bu sonuçları birleştirerek, alıcı fiber tarafından kabul edilen toplam güç p_T elde edilir [27].

$$p_T = 2p_1 \tag{5.19}$$

$$p_T = \frac{2}{\pi}\,p\left\{\arccos\frac{d}{2a} - \left[1-\left(\frac{d}{2a}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}\frac{d}{6a}\left(5-\frac{d^2}{2a^2}\right)\right\} \tag{5.20}$$

Eksenel hizalama d, çekirdek yarıçapı a'ya kıyasla küçük olduğunda, Eş. (5.21) yaklaşık olarak elde edilir.

$$p_T = p\left(1-\frac{8d}{3\pi a}\right) \tag{5.21}$$

Yanal ayarsızlıkta eğer iki fiber uçları arasında yanal kaymadan dolayı fazladan bir boşluk meydana gelirse Eş. (5.20)'ye Eş. (5.23) yer alan hava kırılma indisini *B*'nin eklenmesi gerekir.

$$P_T = 2p_1 B \tag{5.22}$$

$$B = \frac{16\left(\frac{n_1}{n}\right)^2}{\left(1+\frac{n_1}{n}\right)^4} \tag{5.23}$$

Kuplaj kaybı Eş. (5.21)'den elde edilir.

$$L_F = -10\log\eta_F = -10\log\frac{p_T}{p} \tag{5.24}$$

Şekil 5.5'te aralık ayarsızlığı görülmektedir. Genişlik s halkasında yayılan yüksek modlu optik güçlerin hepsi alıcı fiber tarafından engellenemez. Basamak indisli fiber için, bu durumda meydana gelen kayıp;

$$L_F = -10\log\left(\frac{x}{x+s\tan\theta_c}\right)^2 \tag{5.25}$$

Biçiminde olur. Burada θc kabul edilebilir kritik açıdır.

Birleştirilen iki fiberin eksenleri, eklemde açısal yanlış hizalama olduğunda, verici fiberin gücü alıcı fiberin kabul açısının dışına çıkan optik güç kaybolur [1]. Açısal yanlış hizalı θ'ya sahip iki basamak indisli fiber için, eklemdeki optik güç kaybı;

$$L_F = -10\log\left\{\cos\theta\left\{\begin{array}{l}\frac{1}{2}-\frac{1}{\pi}p(1-p^2)^{\frac{1}{2}}-\frac{1}{\pi}\arcsin p- \\ q\left[\frac{1}{\pi}y(1-y^2)^{\frac{1}{2}}+\frac{1}{\pi}\arcsin y+\frac{1}{2}\right]\end{array}\right\}\right\} \tag{5.26}$$

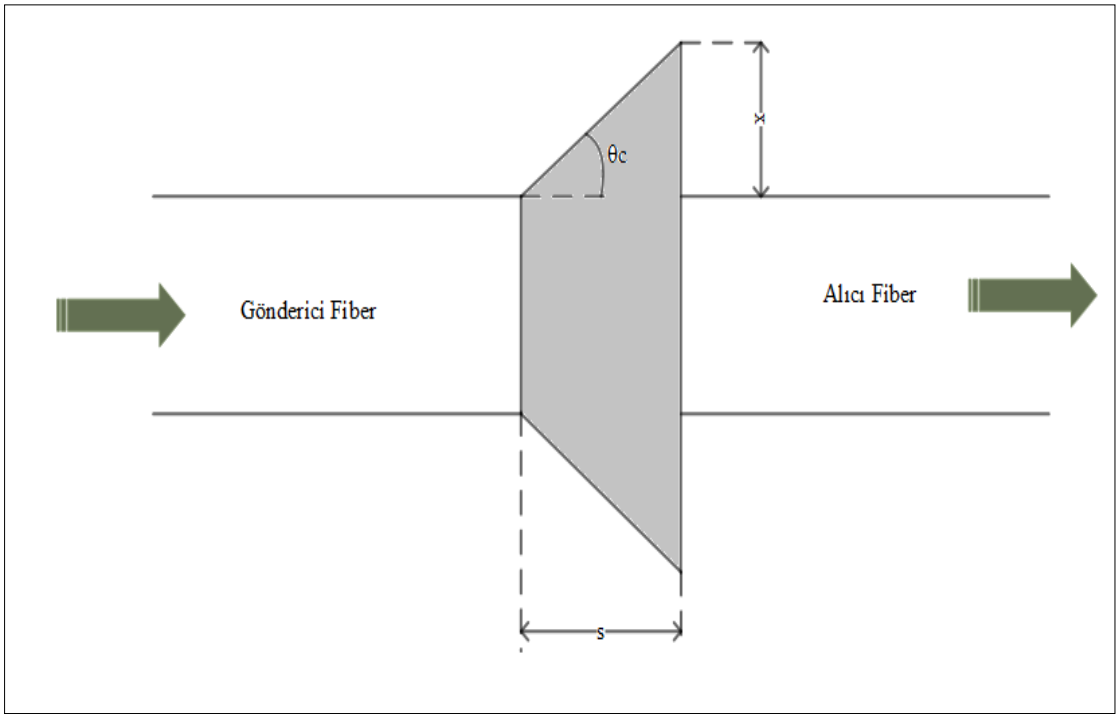
olur. Burada

$$p = \frac{\cos\theta_c(1-\cos\theta)}{\sin\theta_c \sin\theta} \tag{5.27}$$

$$q = \frac{\cos^3\theta_c}{(\cos^2\theta_c - \sin^2\theta)^{\frac{3}{2}}} \tag{5.28}$$

$$y = \frac{\cos^2\theta_c(1-\cos\theta) - \sin^2\theta}{\sin\theta_c \cos\theta_c \sin\theta} \tag{5.29}$$

Biçiminde verilir.



Şekil 5.4. Aralık ayarsızlığı

6. SİMÜLASYONLAR

Fiber-optik hizalama otomasyonu, maliyeti etkin fiber optik bileşen imalat teknolojilerinin geliştirilmesi için kritik öneme sahiptir. Bununla birlikte, açısal hizalama otomasyonu halıhazırda kullanılamıyor ise veya nispeten sınırlı paketleme ve sabitleme durumlarıyla sözkonusu ise, pratik hizalama işleminde açısal hizalama kaçınılmazdır. Bu nedenle, fiber optik bağlantıda ve hizalama işleminde muhtemel açısal hizalama etkilerini tanımlamak ve değerlendirmek büyük önem taşır.

Bu bölümde dördüncü ve beşinci bölümlerde anlatılan ekleme noktalarındaki ayarsızlık kayıplarının Matlab ile simülasyonları yapılmış ve simülasyon sonuçları yorumlanmıştır.

6.1. Yanal Ayarsızlık

Yanal ayarsızlık, iki fiber kablo parçası arasındaki yanal kayma veya eksen kaymasıdır. Kayıp miktarı, 0 dB ile 1 dB arasında olabilir. Eğer fiber eksenleri, küçük fiberin çapının 5%'i içerisinde ayarlanmış ise, bu kayıp dikkate alınmayabilir [27].

$$p_T = 2p_1$$

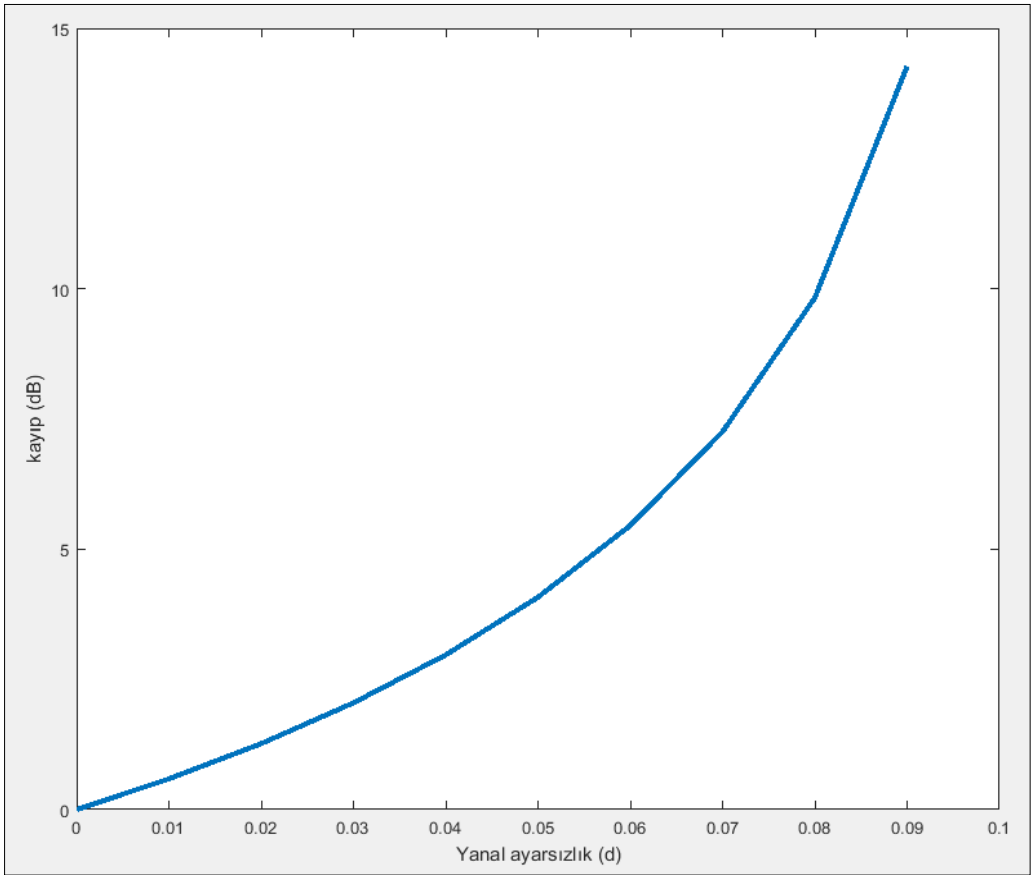
(6.1)

$$= \frac{2}{\pi} p \left\{ \arccos \frac{d}{2a} - \left[1 - \left(\frac{d}{2a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \frac{d}{6a} \left(5 - \frac{d^2}{2a^2} \right) \right\} \tag{6.2}$$

$$p_T = p\left(1 - \frac{8d}{3\pi a} \right) \tag{6.3}$$

$$\eta_{Lat} = \frac{1}{\pi} \left\{ 2\cos^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right) - \left(\frac{d}{a}\right) \left[1 - \left(\frac{d}{2a}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \tag{6.4}$$

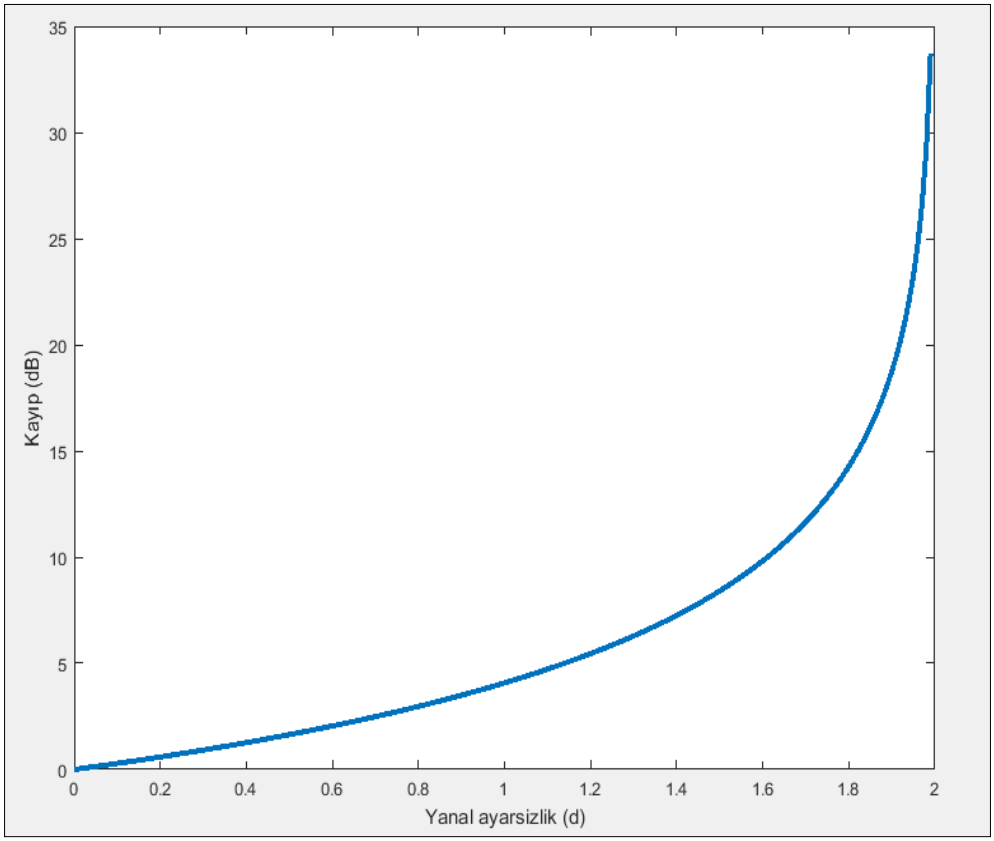
$$Loss_{Lat_{dB}} = -10\log_{10} \eta_{Lat} \tag{6.5}$$



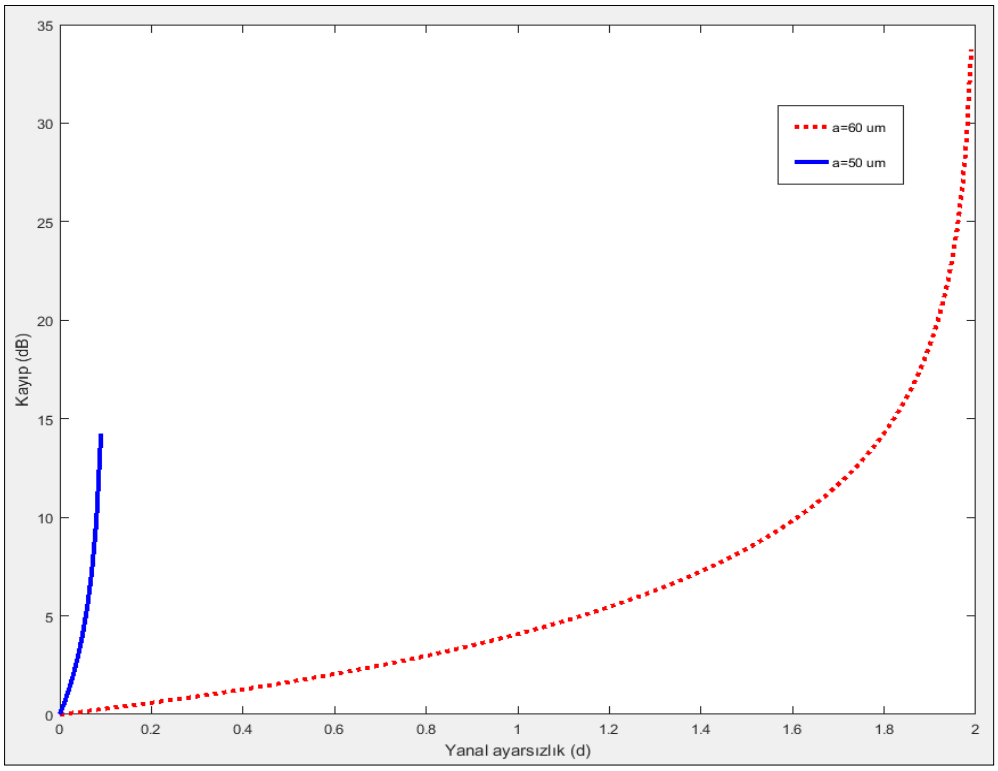
Şekil 6.1. Yanal ayarsızlık kaybı (a=50 µm)

Fiber yarıçapı a= 1µm için kayıp şekil 6.2'de verilmiştir.

Yanal ayarsızlıktaki kayıpların similasyonu için Eş.(6.4) ve Eş. (6.5) kullanılmıştır. Fiber yarıçapı $a = 50$ µm ve iki fiberin arası mesafe (d) ise $0<d<0.09$ μm aralığında 0.01 artış ile Matlab similasyon sonucu elde edilen kayıp miktarı decibel olarak şekil 6.1'de görülmektedir.



Şekil 6.2. Yanal ayarsızlık kaybı (a=60µm)



Şekil 6.3. Yanal ayarsızlık kaybı a=50 µm ve a=50 µm

Şekil 6.3'te Fiber yarıçapı *a*'nin değişimi ile kayıp miktarlarındaki değişim görülmektedir. Beklenildiği gibi yanal ayarsızlıkta fiber yarıçapının artışı ile ekleme kaybı da artmıştır.

6.2. Açısal Ayarsızlık

Yönlendirici tasarım ve yapımında açısal hizalama kaybı, kaynaktan dalga kılavuzuna, dalga kılavuzundan dalga kılavuzuna veya dalga kılavuzundan detektöre eksenlerdeki optimum açısal hizalamadan sapmanın neden olduğu güç kaybıdır. Dalga kılavuzu, optik fiber veya metalik olabilir.

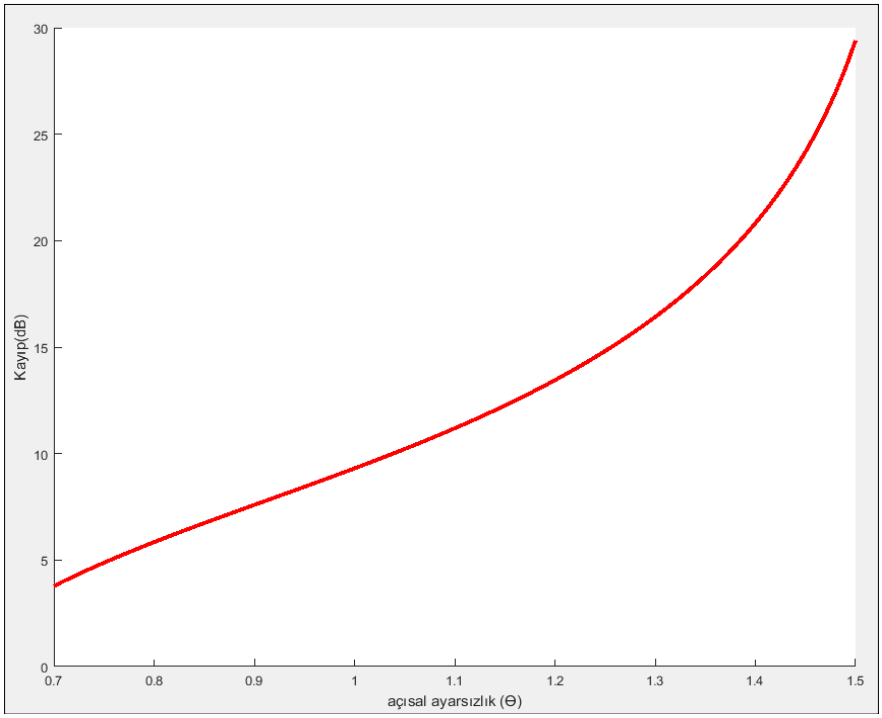
$$L_F = -10\log\left(\cos\theta\left\{\begin{array}{l}\dfrac{1}{2}-\dfrac{1}{\pi}\,p(1-p^2)^{\frac{1}{2}}-\dfrac{1}{\pi}\arcsin p- \\ q\left[\dfrac{1}{\pi}\,y(1-y^2)^{\frac{1}{2}}+\dfrac{1}{\pi}\arcsin y+\dfrac{1}{2}\right]\end{array}\right\}\right) \tag{6.6}$$

$$p = \frac{\cos\theta_c(1-\cos\theta)}{\sin\theta_c\sin\theta} \tag{6.7}$$

$$q = \frac{\cos^3\theta_c}{(\cos^2\theta_c-\sin^2\theta)^{\frac{3}{2}}} \tag{6.8}$$

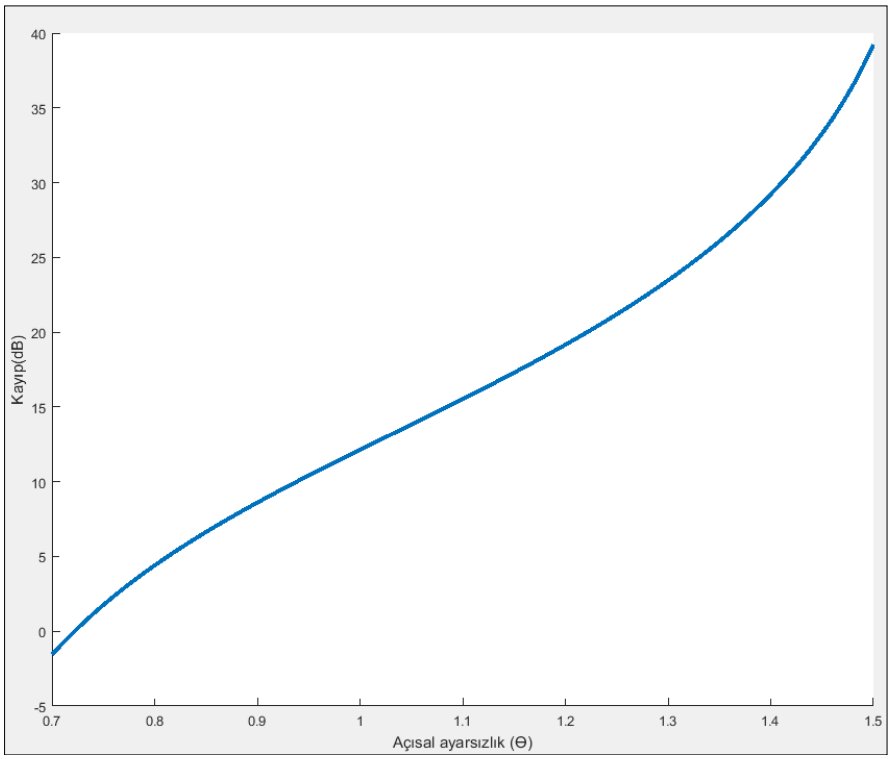
$$y = \frac{\cos^2\theta_c(1-\cos\theta)-\sin^2\theta}{\sin\theta_c\cos\theta_c\sin\theta} \tag{6.9}$$

Açısal ayarsızlıktaki kayıpların similasyonu için Eş.(6.6) - Eş. (6.9) kullanılmıştır. θ_c =5º ve 0.7 <*d* Θ <1.57 aralığında 0.01 artış ile Matlab similasyon sonucu elde edilen kayıp miktarı decibel olarak şekil 6.4'de görülmektedir.



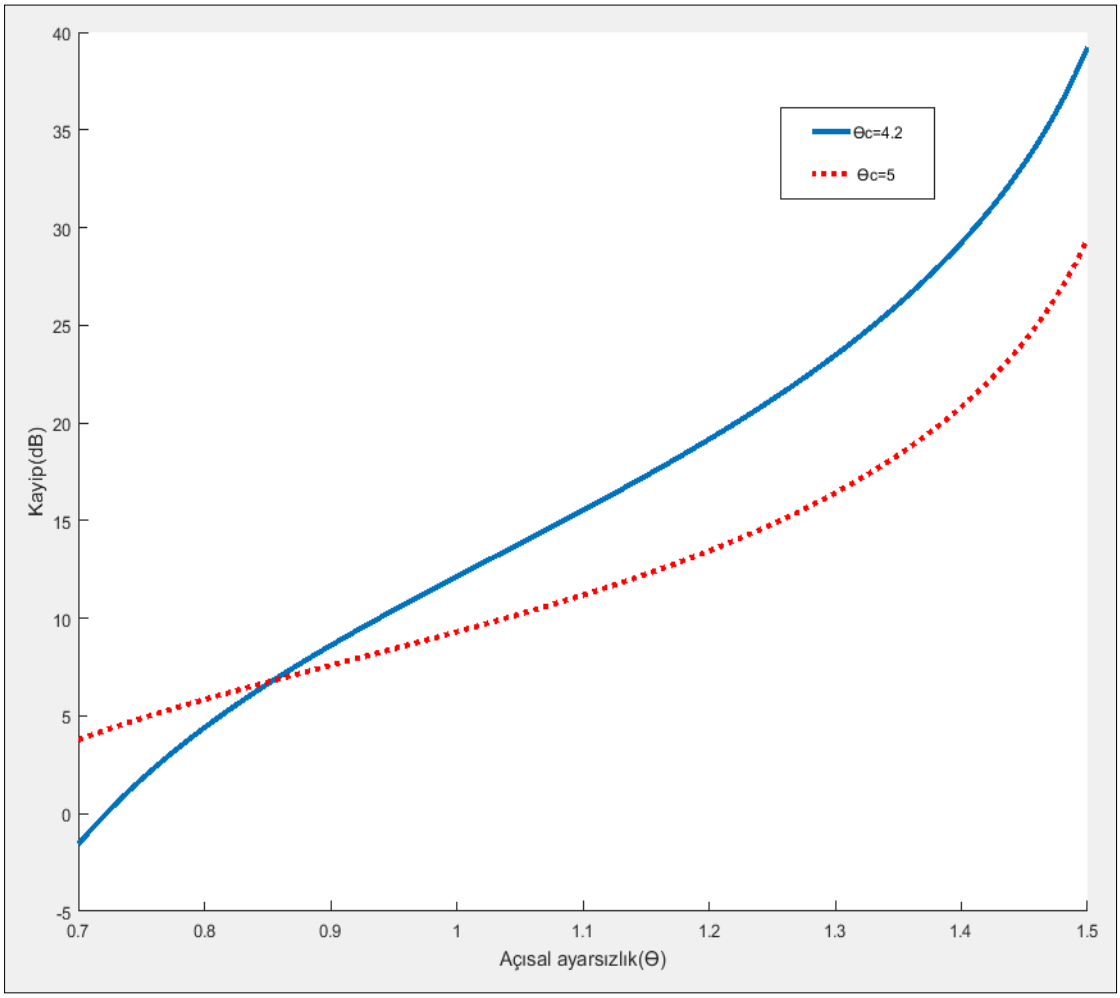
Şekil 6.4. Açısal ayarsızlık kaybı

Açısal ayarsızlık kaybı θ_c =4.2 için şekil 6.5'de verilmiştir.



Şekil 6.5. Açısal ayarsızlık kaybı Θc=4.2 için

Şekil 6.6 θ_c açısının farklı değerleri için kayıpdaki değişim görülmektedir.



Şekil 6.6. Açısal ayarsızlık kaybı θ_c =5 ve θ_c =4.2

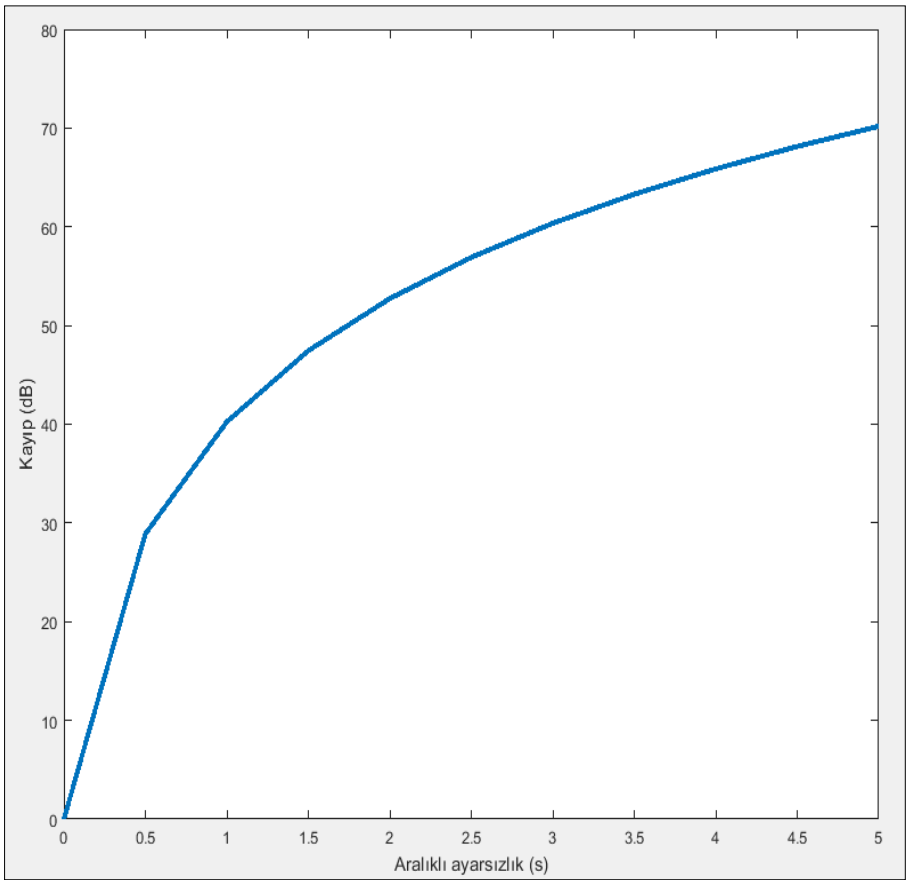
6.3. Aralık Ayarsızlık (Longitudinal Misalignment)

Spesifik olarak boşluk kaybı, iki kablo arasında bir boşluk var ise gerçekleşir. Fiber optik ışıktan veri ilettiğinden ışık bu boşluğu geçebilir, ancak yayılırsa zayıflar [1]. Bir kısmı yansır, bir kısmıda kablo kaplamasına çarpar ancak kablonun içine girmez, yani iletilmez.

Boşluk küçükse sinyal kaybı küçük olur, ancak boşluk çok büyükse, sinyal tamamen bozulabilir. Sinyal kaybı birçok faktörden kaynaklanabilir [2].

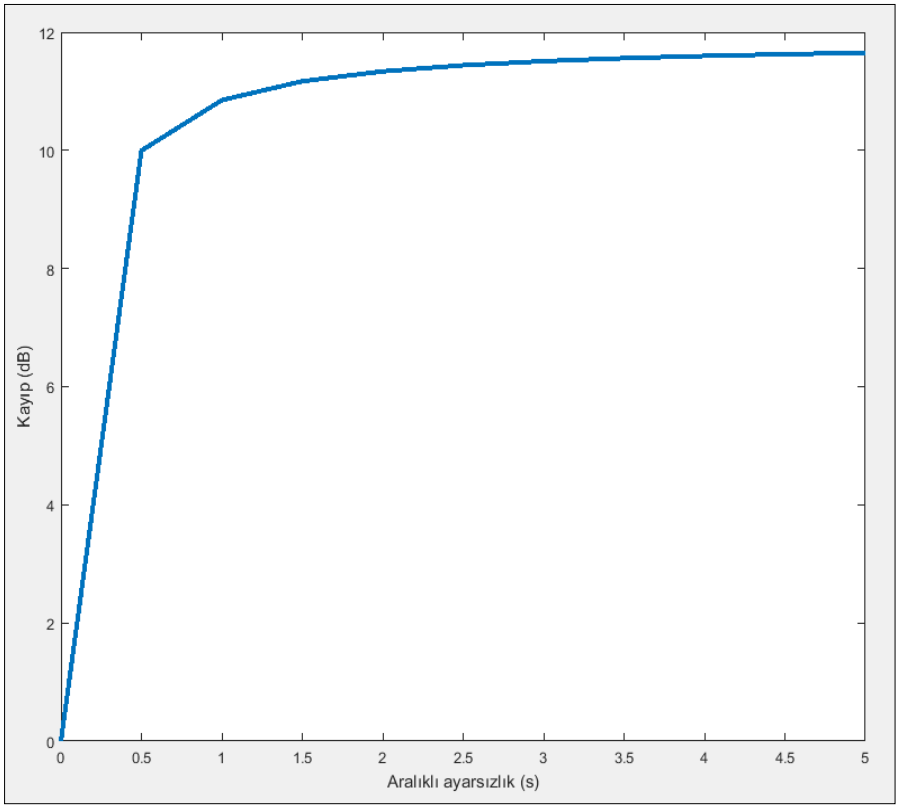
$$L_F = -10\log\left(\frac{x}{x + s\tan\theta_c}\right)^2 \tag{6.10}$$

Aralık ayarsızlıktaki kayıpların similasyonu için Eş.(6.10) kullanılmıştır. İki fiberin aralık mesafesi $0<s<5$ µm aralığında 0.5µm artış ile Matlab similasyon sonucu elde edilen kayıp miktarı decibel olarak şekil 6.7'de görülmektedir. Similasyonda fiberin kritik kabul açısı θ_c =4^o ve x=0.1 sabit alınmıştır.



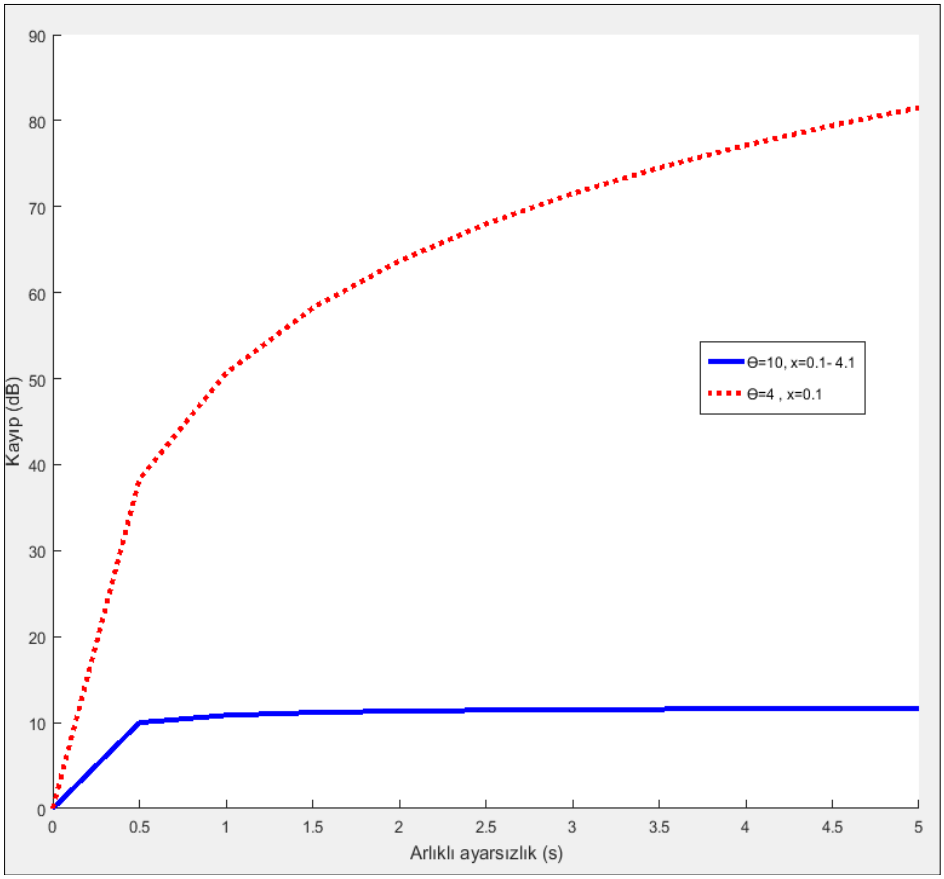
Şekil 6.7. Aralıklı ayarsızlık kaybı 0<s<5 ve x=0.1

Şekil 6.8'de θ_c = 10^o sabit, $0.1<x<4.1$ aralığında 0.4 artış ile ve $0<s<5$ aralığında 0.5µm artış ile aralıklı ayarsızlık elde edildi. Görüldüğü gibi iki önemli sayı (s ve x) beraber değişildikleri zaman kayıp sayısı 10 dB'li geçtikten sonra düşük hızla yükselmeye devam etmektedir.



Şekil 6.8. Arlıklı ayarsızlık kaybı 0.1<x<4.1 ve 0<s<5

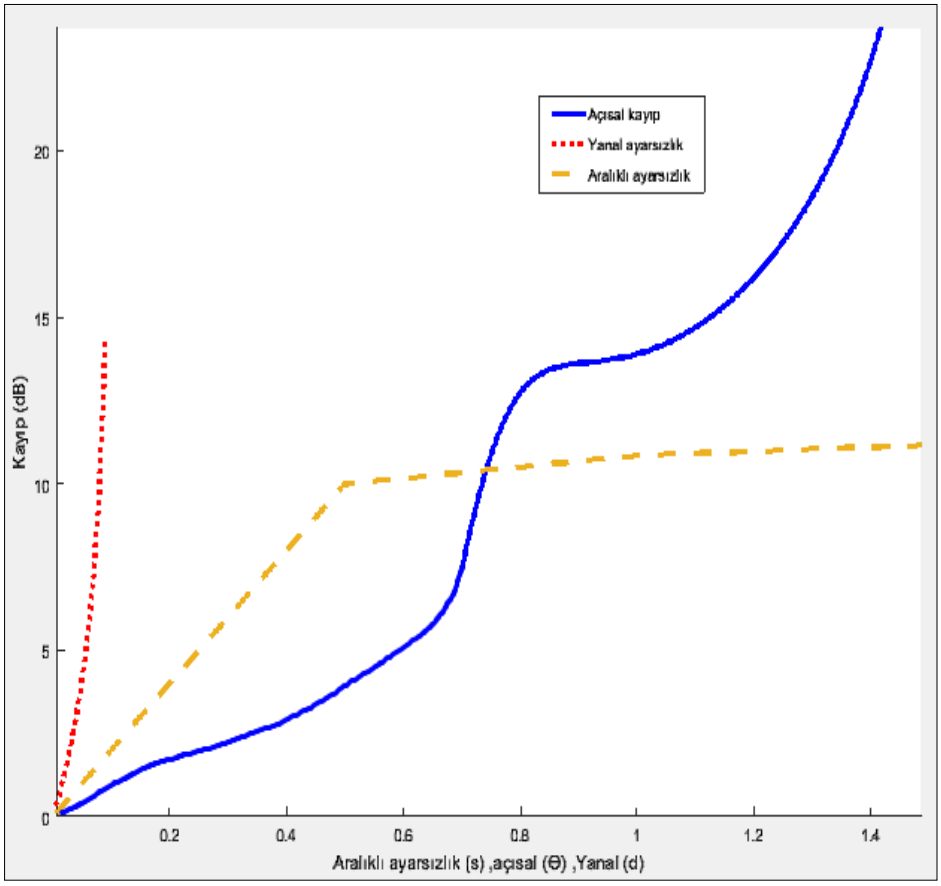
Şekil 6.9'da iki grafiği bir araya getirerek bir grafik için θ_c =4º ve *x*=0.1 sabit, *0<s<5* µm aralığında 0.5µm artış varsayıldı ve diğer grafik için θ_c = 10 derece, *0.1<x<4.1* µm aralığında 0.4artış ile ve *0<s<5* µm aralığında 0.5µm artış ile varsayıldı.



Şekil 6.9. Farklı θ_c ve x değerleri için aralıklı ayarsızlık kaybı

Şekil 6.10'da fiber optik kablolarda oluşabilen üç farklı tipteki ekleme kayıpları gösterilmektedir.

Görüldüğü gibi üç kayıp türünden en hassası ve ani kayıp yükselmesine sebep olan kayıp türü yanal ayarsızlıktır. Az miktarda d sayısınun ve ya a sayısın değişmesi bile yüksek kayba neden olabilmektedir.

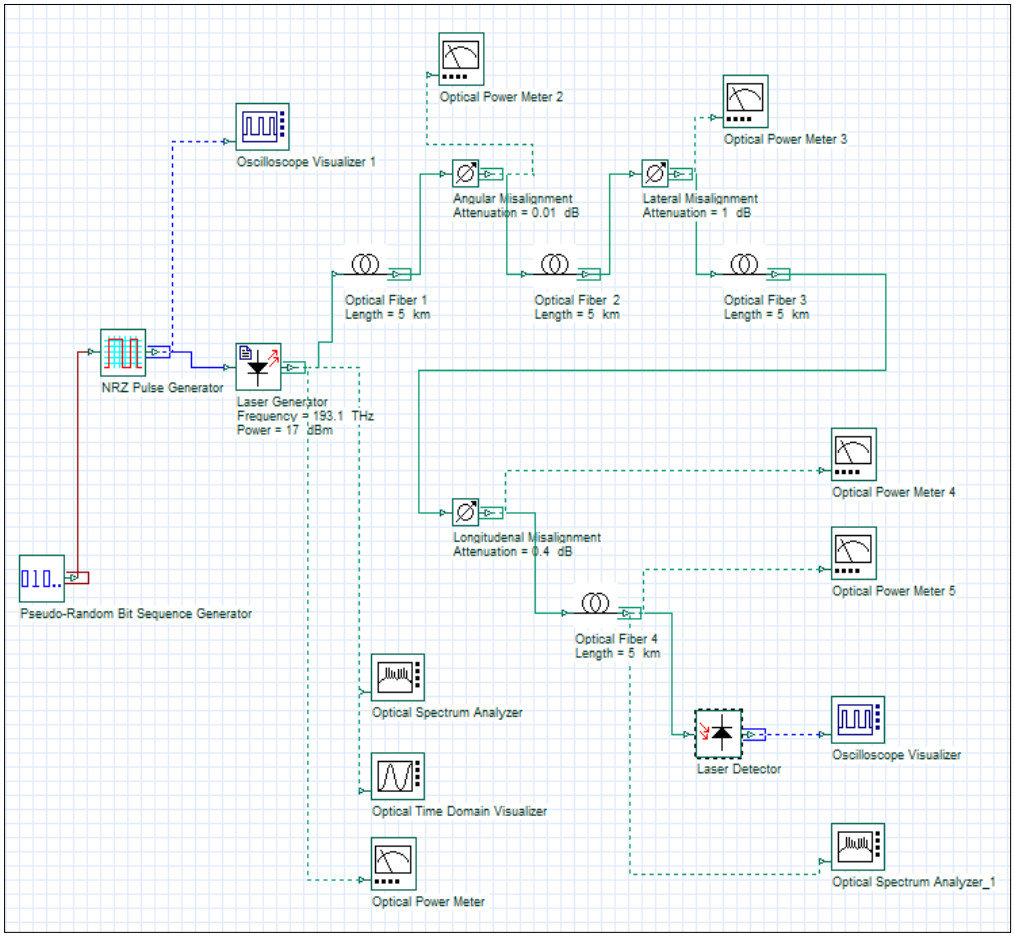


Şekil 6.10. Üç ayarsızlık kaybı grafiği

6.4. OptiSystem Uygulaması ve Analizleri

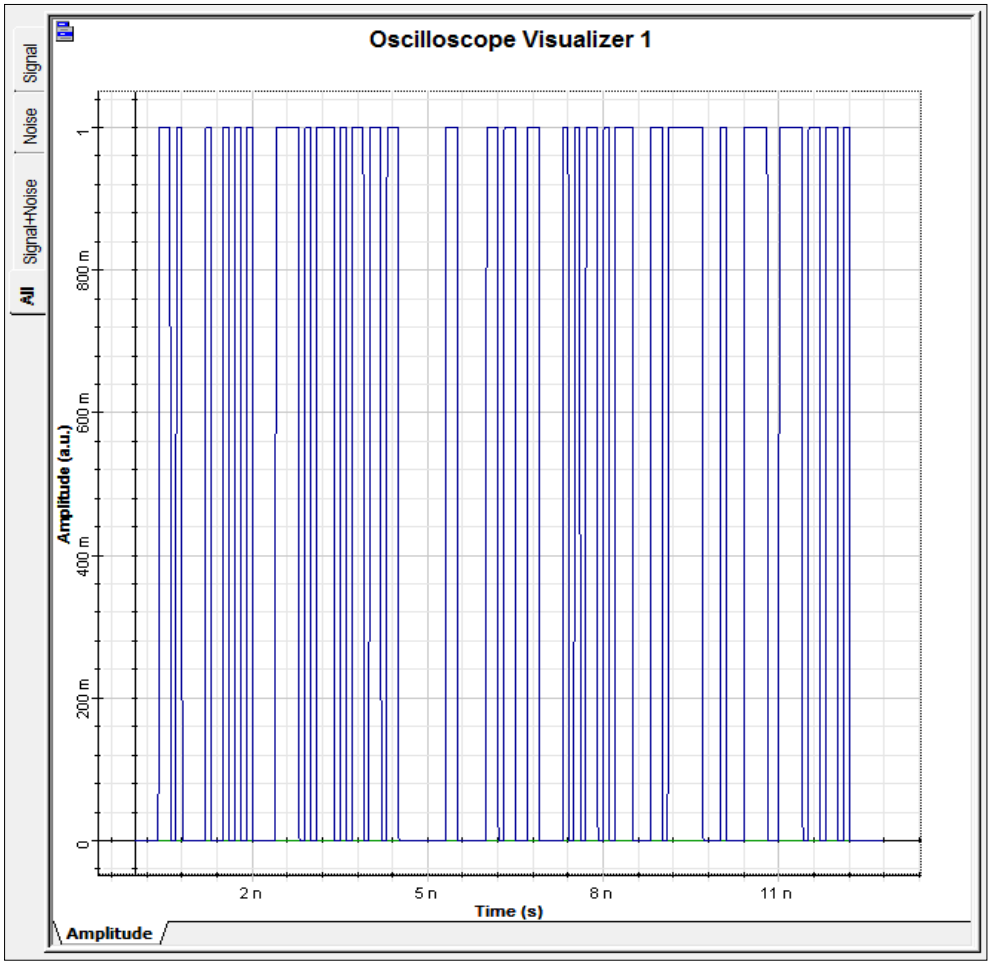
OptiSystem, kullanıcıların modern optik ağların iletim katmanındaki optik bağlantıları planlamasına, test etmesine ve simüle etmesine olanak veren kapsamlı bir yazılım tasarım paketidir. Bu uygulama OptiWave şirketi tarafından tasarlanan bir uygulamadır ve günümüzde fiber optik sistemlerde ve özellikle fiber hatlarda kullanılan en önemli az hatalı uygulamalardandır.

Bu çalışmada fiber optik haberleşme sisteminin diyagram bloğu (Verici, Optik kablo, Alıcı) Optisystem simulasyonunda tasarlanmış ve en önemlisi optik kablo kısımında ekleme yerlerinde kayba neden olan ekleme kayıpları eklenerek güç kayıbı dB ve Watt olarak hesaplanmıştır.



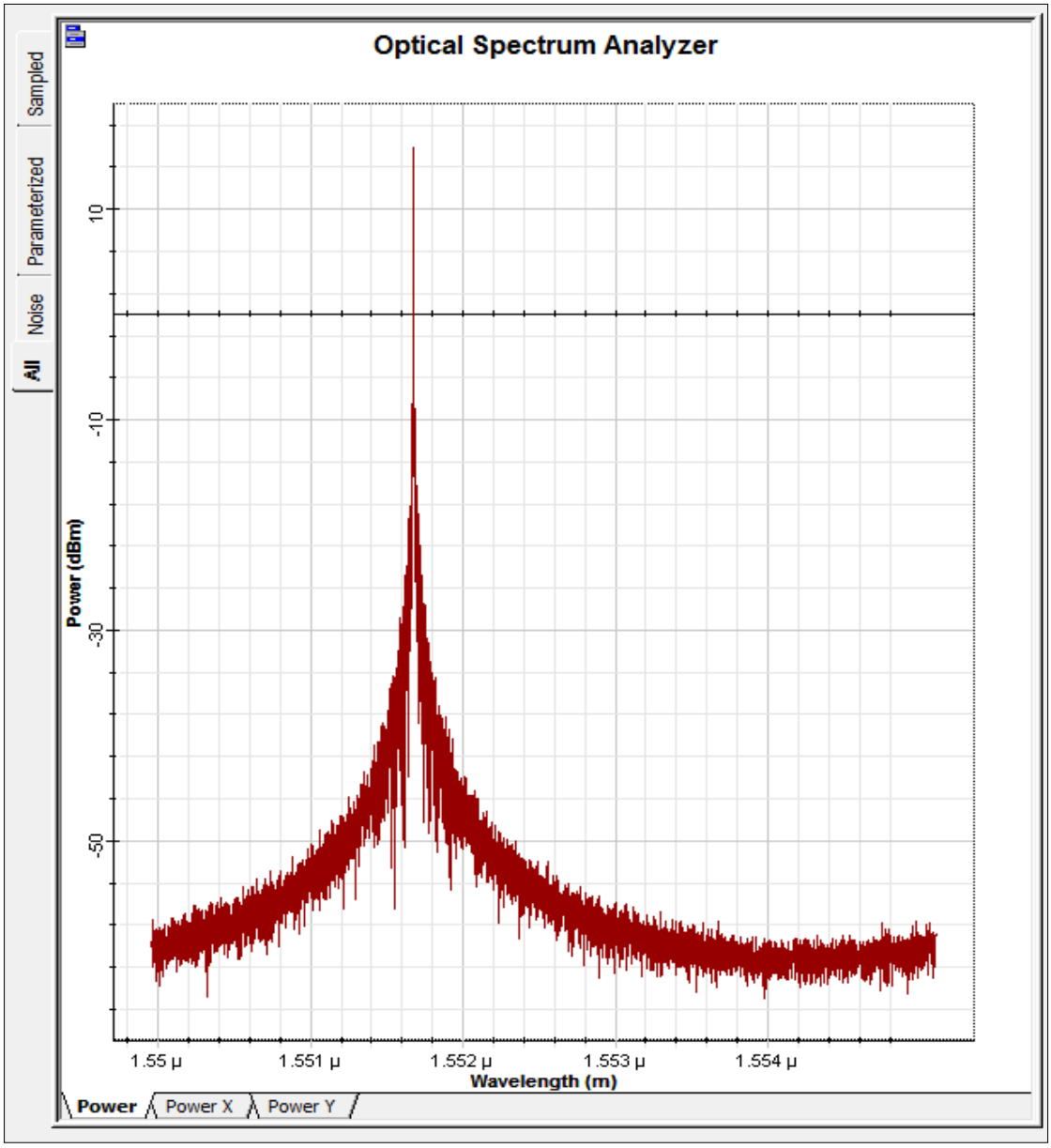
Şekil 6.11. Fiber optik sisteminin diyagram bloğu

OptiSystem uyguklaması üzerinde, şekil 6.11'de bir fiber optik haberleşme sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemde önce bilgi rastgele bir şekilde kaynaktan NRZ darbe kaynağına verilmiştir. NRZ darbe kaynağından üretilmiş darbe lazer jenerator bloğuna verilmiştir. Lazer kaynak frekansı f=193.1 *THz*, güç P=17 *dBm*, Bit oranı 10 Gb/s, dalgaboyu 1550 *nm*'de olan ışın fiber hatta verilmektedir. Fiber hatta her 5 km fiber kablodan sonra Bölüm 6.1, 6.2, 6.3'te anatıldığı gibi kayıp nedenleri tasarlanmıştır. İlk 5 km fiber kablodan sonra açısal ekleme kaybı çizilmiş ve kayıp miktarı 0.01 dB verilmiştir. Açısal ekleme kayıptan çıkan sinyal bir sonraki blokta yer alan yanal kayıp bloğuna verilmiştir ve bu blokta 1 dB yanal eklem kaybı alınmıştır. 5 km kablodan geçtikten sonra aralıklı kayıp bloğuna girerek 0.4 dB aralıklı ekleme kaybı alınmış ve 5 km fiber kablodan geçtikten sonra lazer dedektöre verilmiştir.



Şekil 6.12. Optik kaynağa verilen elektrik sinyali

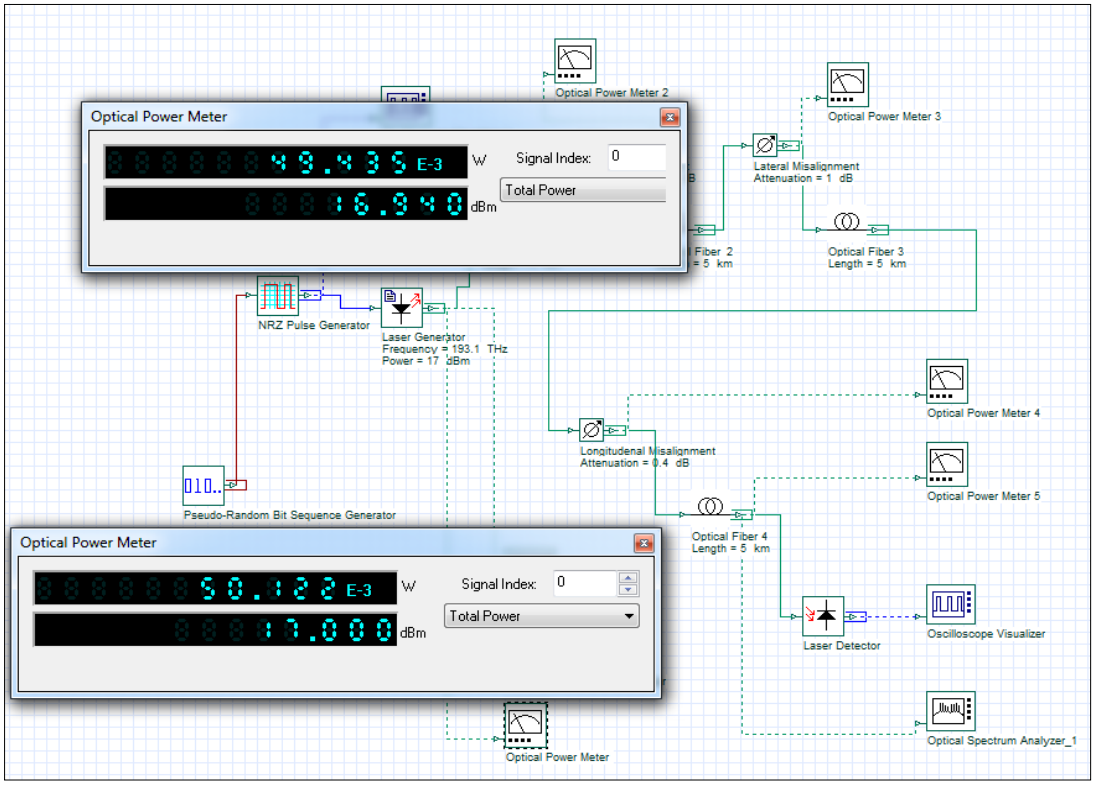
NRZ'den Lazer kaynağa giden elektrik sinyali osiloskop görüntüsü şekil 6.12'de verilmektedir. Bu sinyal lazer kaynağı bölümüde lazer ışınıyla modüle olduktan sonra fiber kabloya gitmektedir.



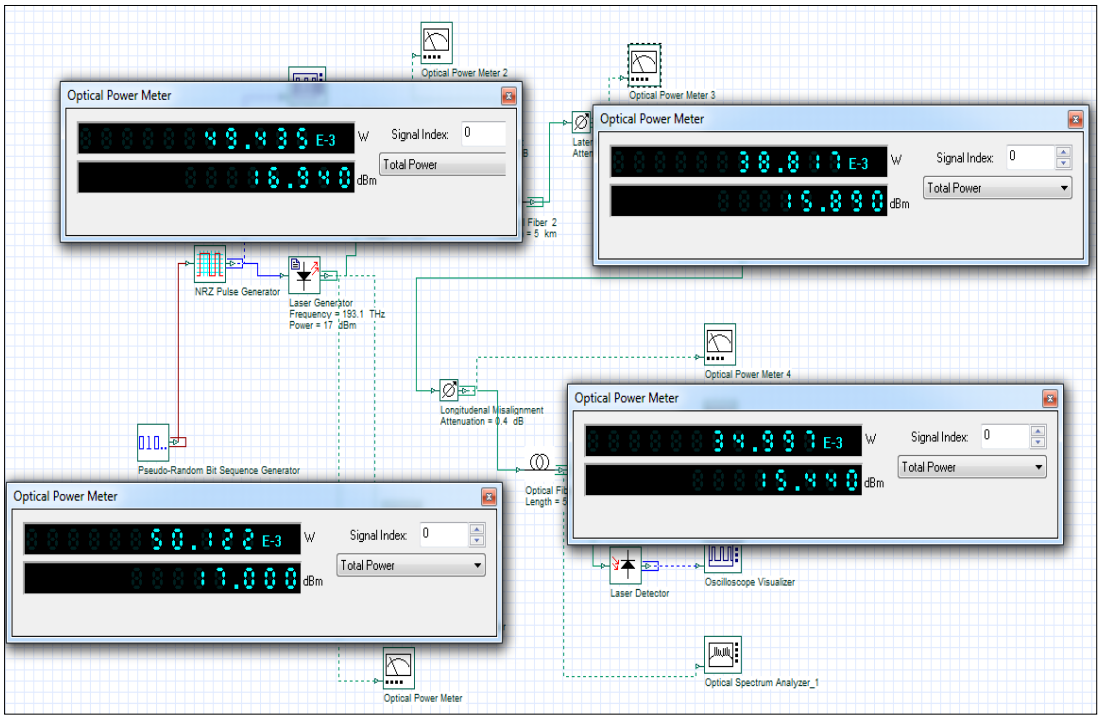
Şekil 6.13. Lazer kaynaktan çıkan optik sinyalin spektrumu

Lazer kaynağının üreten optik sinyalin gücü dalga boyutuna göre değişimi şekil 6.13'de görülmektedir. Şekilden görüldüğü üzere 1550 nm civarı dalga boyutlarındaki güç, diğer dalga boyutlarına (850 nm ve 1300 nm) göre daha düşük kayba sahiptir.

Lazer ışını fiber hatta 17 dBm güçle aktarılmış, ilk 5 km fiber kablodan ve açısal ekleme kaybından geçtikten sonra, şekil 6.14'te gösterildiği gibi sadece 0.01 dB kayıp alarak ikinci 5 km fibere aktarılmıştır.



Şekil 6.14. Açısal eklem bölümünde güç ölçümü

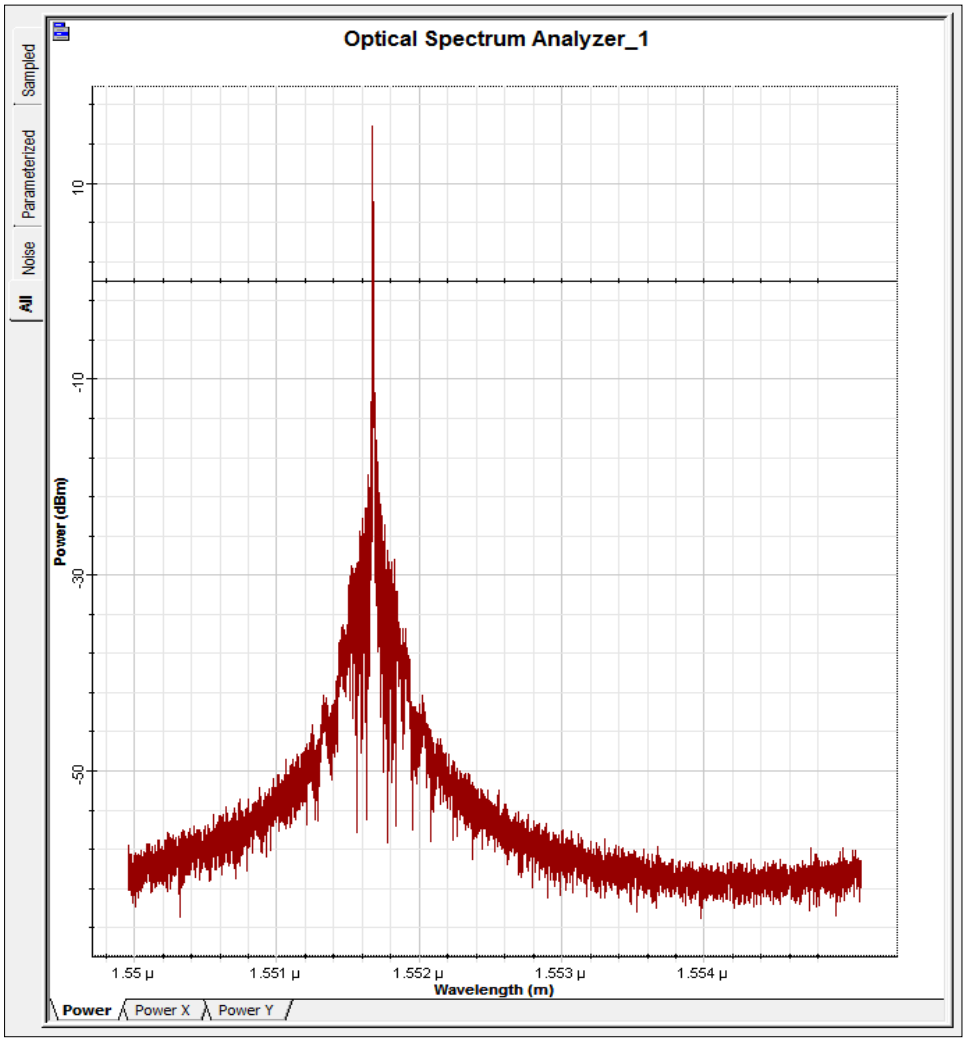


Şekil 6.15. Lazer kaynaktan çıkan güç ve ekleme yapılan noktaların çıkış güçleri

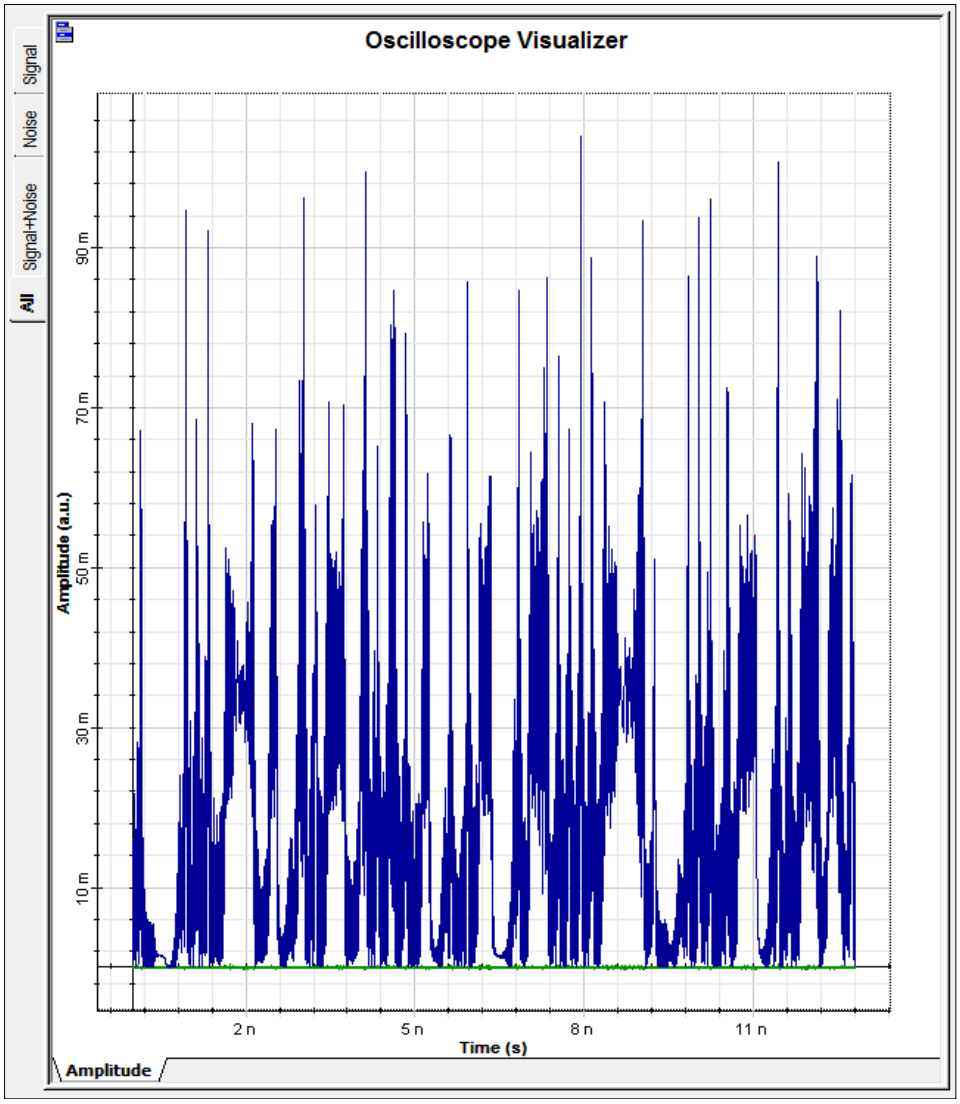
Tasarlanmış olan sistemde (Şekil 6.15) dört güç ölçme cihazı yerleştirilmiştir. Bu cihazlardan biri lazer kaynağın çıkış çıkışına, diğerleri ekleme yapılan bölümlerin çıkışına

yerleştirilmiştir. Fiber optik kablo hattında kablo kayıp sayısı sıfırdır. Bu yüzden ölçme cihazların ölçtüğü sayı ideal şartlarla ve verilen kayıp sayılarıyla aynı oranda olmuştur.

Şekil 6.16'da foto detektörün girişindeki lazer ışınının spektrum analizi görülmektedir. Bu grafik lazer kaynağından çıkan lazer ışınının spektrumuyla pek bir farkı görülmemektedir. İki grafiktede 1551'ile 1552 dalga boyu arasında ani güç yükselişi görülmektedir.



Şekil 6.16. Foto dedektöre giren ışının spektrum analizi



Şekil 6.17. Foto dedektörden çıkan elektrik sinyal

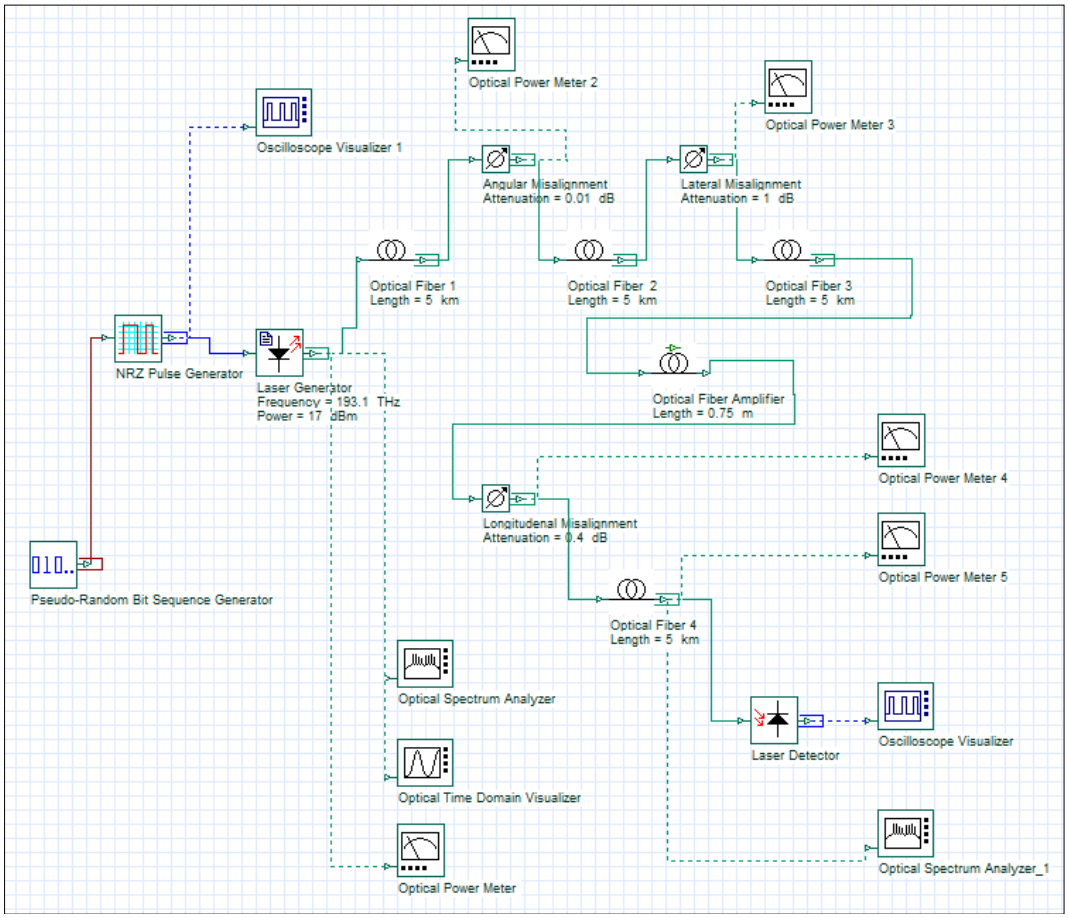
Lazer ışını demodüle edildikten sonra elde edilen sinyal elektrik sinyalidir. Fiber optik sistemini kullanmaktaki amaç elektrik sinyalini daha hızlı ve daha az kayıpla göndermektir. Şekil 6.17'de detektördan çıkan elektrik sinyali görülmektedir. Verilen sinyale göre alınan sinyalde dikkat çekici bir düşüş vardır. Ekleme bölümlerinde daha az kayıp oluşturulmasına ve iletişim hattında kayıp sayısı sıfır olmasına rağmen elektrik sinyalinde ve hatta lazer ışınında zayıflama oluşmuştur.

6.5. Optik Yükseltici

Fiber optik hattlarında kullanılan yükselticiler iki çeşittir. Birinci çeşit lazer sinyalini ilk önce elektrik sinyaline çevirir ve yükseltme yaptiktan sonra tekrar lazere çevirip hatta

verir. İkinci çeşit lazer sinyalini elektrik sinyaline çevirmeden ve sinyal parametrelerini değiştirmeden yapar. Günümüzde kullanılan yükselticiler ışık yükselticileridir.

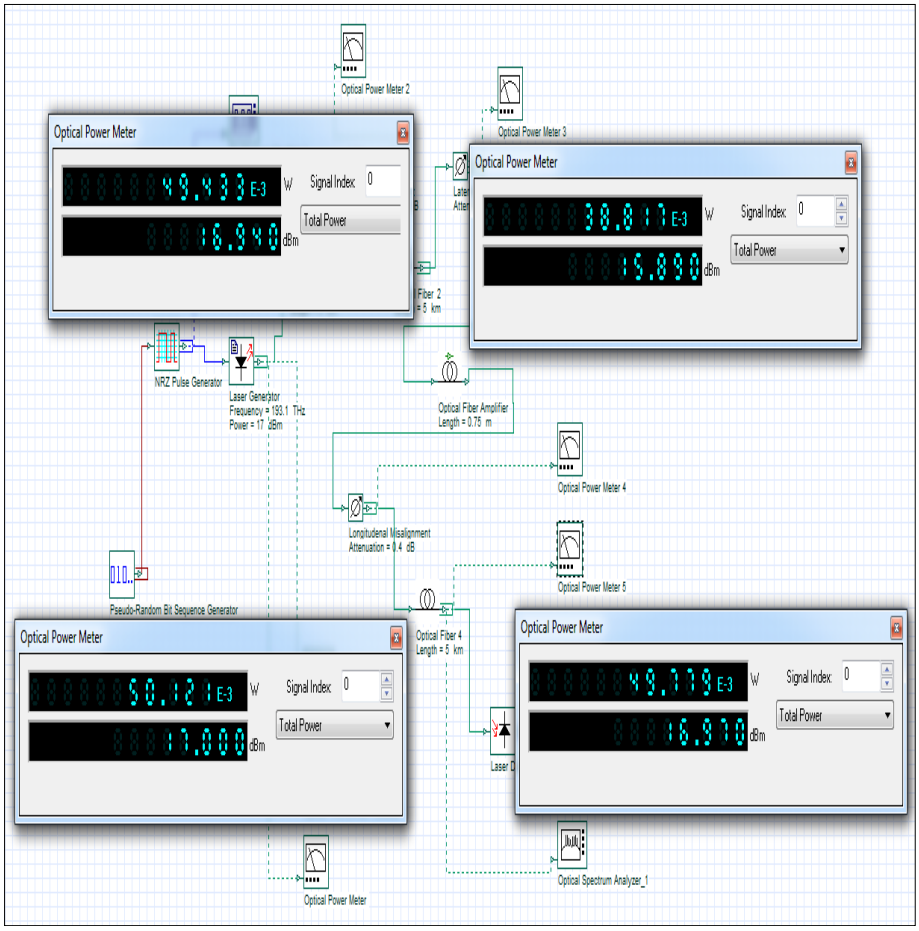
Şekil 6.11'de çizilmiş olan fiber optik sisteminin sonuçlarına göre dikkat çekici miktarda kayıp görülmüştür. Bu nedenle sinyal düşüşüne karşı şekil 6.18'de tasarlanmış olan sistemde fiber yükseltici kullanılmıştır.



Şekil 6.18. Yükselticili fiber optik sistemi

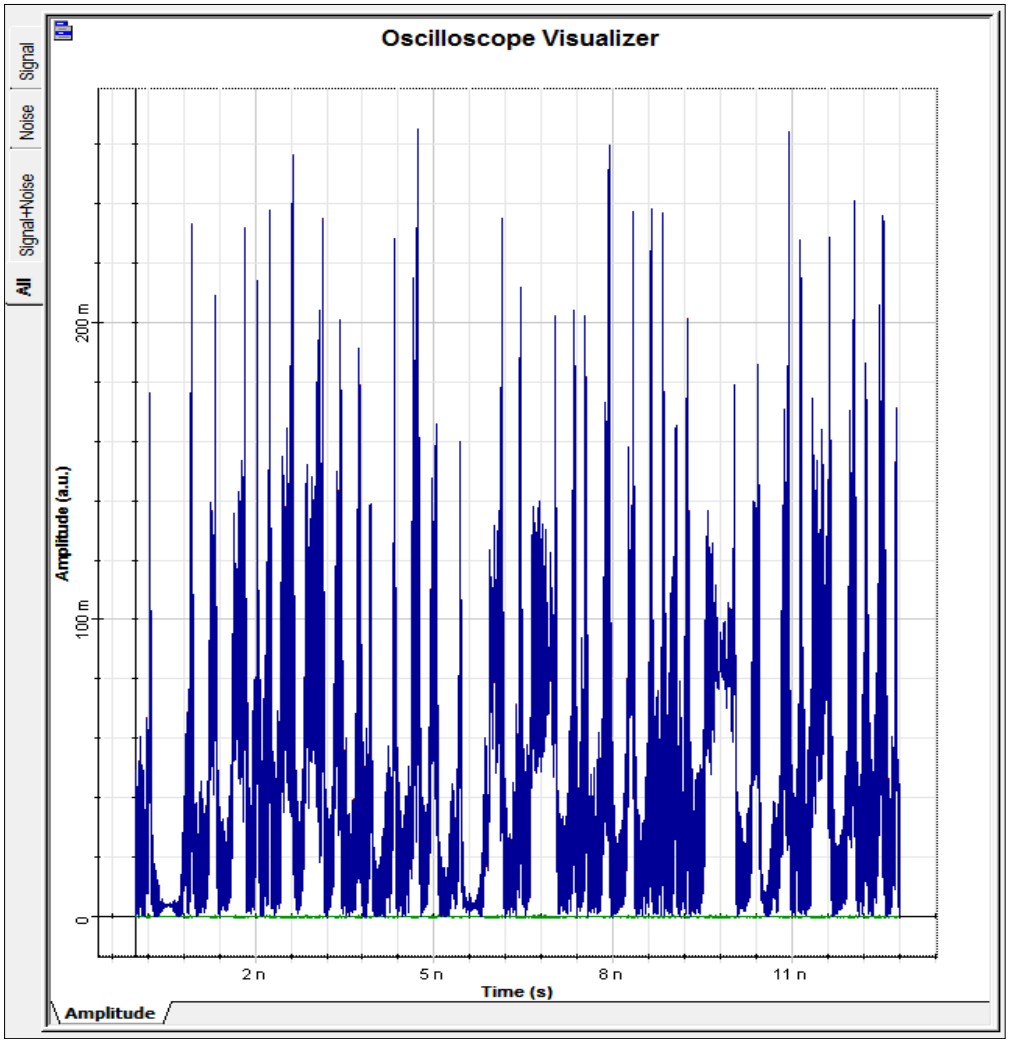
Şekil 6.18'deki sistemde diğer bloklardaki parametre sayılarını değiştirmeden yükseltici eklenmiştir. Yükseltici uzunluğu 0,75 m ve yükseltme sayısı (kazancı) 2 olarak hesaplanmıştır.

Fiber optik haberleşme sisteminde kullanılan yükselticinin sonuçları şekil 6.19 ve şekil 6.20 de gösterilmektedir.



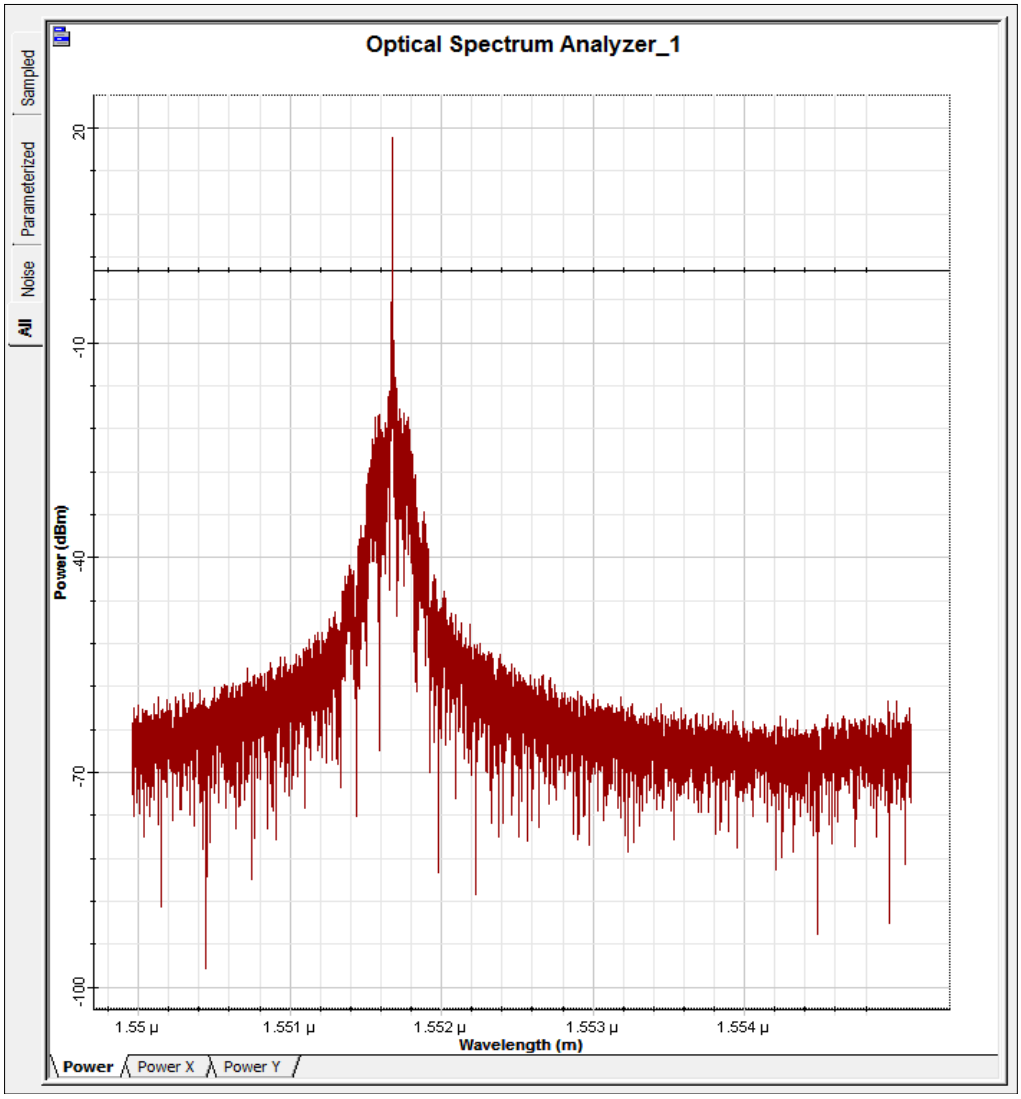
Şekil 6.19. Güç ölçme çihazlarının değeri

Şekil 6.19'da görüldüğü gibi yükseltici kullanıldıktan sonra güç değeri 15.440 dBm'den 16.970 dBm'e yükselmiştir.



Şekil 6.20. Çıkış sinyalinin osiloskopla görüntüsü

Foto dedektörden çıkan elektrik sinyali osiloskopta görüntülendikten sonra yükselticinin etkisi görülmektedir. Yükseltici kullanmadan çıkıştaki elektrik sinyali en fazla 103 iken yükseltici kullanılmasıyla bu değer 280 ulaşmıştır. Şekil 6.20'de yükseltici kullanılarak oluşan çıkış sinyali görünmektedir.



Şekil 6.21. Dedektöre giren lazer sinyalin spektrumu

Yükselticinin yardımıyla lazer ışınının birçok parametresi yükselmiştir. Şekil 6.21'de görüldüğü gibi yükseltici kullanmadan önce spektrum en fazla -1 dBm'e kadar yaklaşmışken, yükseltici kullanıldıktan sonra güç değeri 18 dBm' e kadar yükselmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında çok modlu fiber optik kabloların ekleme kayıpları incelenmiştir. Fiber ekleme işlemi mekaniksel ekleme ve eritme ekleme olmak üzere iki ayrı biçimde yapılır. Mekaniksel ekleme yönteminde iki kablo ucunu birbirinin hizasına koyarak ve özel bantlarla koruyucu olarak işlem yapılır. Bu yöntem pek kullanışlı bir yöntem değildir. Çünkü bu yöntemin ekleme kayıp oranı daha yüksektir. Ayrıca kablonun baskı altında ve çekilme esnasında ekleme yapıldığı yerden kopma ihtimali yüksektir.

İkinci yöntem eritme (fusion) yöntemidir. Bu yöntem özel cihazlar ve makinelerle yapılır. Bu yöntem daha güvenli, daha verimli ve daha dayanıklı olduğu için mekaniksel yönteme göre tercih edilir. Ekleme cihazlarında ekleme esnasında meydana gelen ve fiber optik kablolarda güç kayıplarına neden olan üç tip ayarsızlıklar vardır. Bunlar; açısal ayarsızlık, (yanal) yanlış hizalama ayarsızlığı, aralık ayarsızlığıdır.

Ekleme kayıplarını azaltmak için ekleme cihazları kaliteli markalardan seçilmelidir. Yeni model ekleme cihazları küçük ekrana sahiptirler. Bu ekranda iki kablonun birleşmiş resmi ve ekleme noktasındaki tahmini kayıp miktarı gösterilmektedir.

Ekleme yapmadan ve kabloları cihaza koymadan önce temizleyici sprayle kabloların baş taraflarını ve uç kısımlarının iyice temizlenmesi gerekmektedir.

Fiber kablo ekleme işlemlerinden sonra kesinlikle kayıp sıfır olmaz, yani azda olsa bir kayıp meydana gelir. Bu yüzden kaybı azaltmak için her türlü materyalden faydalanmak mantıklı bir seçenektir; Son zamanlarda araştırmacılar ekleme işleminden sonrada kayıp miktarını azaltmak için özel bir sprey geliştirmişlerdir. Spreyin kırılma indisi ve yansıma indisi ekleme yapılan kablolarla aynı olduğu için ekleme noktasında kabloların arasında kalan küçük boşlukları doldurarak biraz daha az kayba neden olmaktadır.

Uzun mesafelerde kablonun cinsine göre belirli bir mesafeden sonra artan eklemeler nedeniyle kayıplar daha da artar, bu durum kabloların iletim gücünü düşürür. Veri düşmesinin telafisi için dağıtım hattlarının arasında yükselticilerin kullanılması gerekir.

Bir kablo kaybını tahmin etmek için günümüzde kullanılan bilgisayar uygulamaları (örnek olarak Optisystem ve Optiwave) yardımıyla tüm fiber optik hattı çizilerek, ekleme sayısı ve ekleme kaybı, fiber kablo uzunluğu, konektör sayısı ve kablo kaybını girerek tahmini güç kaybı hesaplanmaktadır.

Ayrıca kayıp tahminini akıllı telefonlarda bazı uygulamalar yardımıyla basit şekilde kanal boyunca ekleme sayısını, konektör sayısını, kablo uzunluğunu ve ekleme türünü mekaniksel veya eritme yazarak tahmini kayıp miktarı hesaplanabilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Keiser, G. (2000). *Optical fiber communications.* June 1990 (No.232101.6). Singapore: Mc Graw Hill book co, 215-224.

2. McGraw, H. (2002). *Fiberoptic handbook.* June 1990 (No.138623.8). Newyork: Sans Company, 1.1-1.42.

3. John, G. (1993). *Optical fiber communications (second edition).*1993 (No.638727.6). United Kingdom: Prentice Hall International, 190-200.

4. Joseph, C.P. (1998). *Fiber optic communications (fourth edition).* (No.895442.9). Newjersey: A Viacom company, 145-171.

5. Ageaval, G.P. (1997). *Fiber optic communication systems (second edition).* (No.17540.4). Canada: 75-93.

6. Aydemir, G., Ferikoğlu., A., ve Odabaş, C. (2003). Optik fiber iletişim sistemlerinin özellikleri. *Sakarya University Journal of Science1,* 7(2), 78-184.

7. Hocaoğlu, S., ve Yücel, M. (2017). FTTH ağlarda performans analizi. *Internatıonal Journal Of Informatıcs Technologıes,* 10(1), 79.

8. Palais, J. C. (1988). FTTH Ağlarda Performans Analizi. *Internatıonal Journal Of Informatıcs Technologıes*, 10(1), 79.

9. Sharma, P., Pardeshi, S., Arora, R.K., ve Singh, M. (2013). *Fiber optic communications*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

10. A review of the development in the field of fiber optic communication systems. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(5), 113-119.

11. İnternet: Sheng, R., Tan, J., ve Li, B. (2011, Ağustos). *Communication cable fault location in power system.* URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F238523021_Communication_cable_fault_location_in_power_system&date=2019-02-14, Son Erişim Tarihi: 28.06.2018.

12. In Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce (AIMSEC), (2011). 2nd International Conference on, 246-249.

13. Tillem, F. (2006). *Fiber optik kablolarda zayıflama ölçümleri.* Yüksek Lisans Tezi, Orhangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 67.

14. Tomita, N., Takasugi, H., Atobe, N., Nakamura, I., Takaesu, F., ve Takashima, S. (1994). Design and performance of a novel automatic fiber line testing system with OTDR for optical subscriber loops. *Journal of Lightwave Technology*, 12(5), 717-726.

15. Unverdi, N. O., ve Unverdi, N. A. (2006). Performance Analysis in Optical Networks. In IEEE 14th Signal Processing and Communications Applications.

16. Priyadarshi, A., Fen, L. H., Subodh, G. M., ve Anand, A. (2006). Fiber misalignment in silicon V-groove based optical modules. *Elsevier Science Direct, Optical Fiber Technology*, 12, 170-184.

17. Ükte, A. (2002). *Fiber optik kablo üretim tekniklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 118.

18. In Avionics Fiber-Optics and Photonics Technology Conference (AVFOP), (2010). IEEE, 55-56.

19. Yetim, S. (2011). *Fiber optik kablolar ve uygulama alanları*. Yüksek Lisans Tezi, Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tunceli, 91.

20. Yoshida, M., Hirooka, T., ve Nakazawa, M. (2017). Low-loss and reflection-free fused type fan-out device for 7-core fiber based on a bundled structure. *Optics Express*, 25(16), 18817-18826.

21. Ali, R. (2008). *Introduction of analysis and design of modern fiber optic*. Iran: Forouzesh Publication, 82-99.

22. Mojekwu, O. (2011). *Signal loss at optical fiber spliced joints.* Master Thesis, University of Nigeria Graduate School Of Natural And Applıed Scıences, Nigeria, 5-15.

23. Shahab, R. (2015). Fiber optik kablo kayıpları analizi ve çözüm yolları. *UCT Journals*, 10(1), 7-10.

24. Mossmaım, P. (1981). *Connectors foropticalfibre systems*. 2015 The General Electric C, Wembley, 334-335.

25. Amia, B., ve Gotzon, A. (2013). Misalignment losses in step-ındex multicore plastic optical fibers. *Journal of Lightwave Technology*, 31(13), 2178-2179.

26. Nguyen, L. (2014). *Optical communication systems with matlab and simulink model*. 2015 Huawei Technologies, European Research Center, Munich, Germany: 978-1-4822-1752-0.

27. Joncic, M., ve Haup, M. (2011). *Theoretical and experimental analysis of singlemode fiber-to-fiber joint loss due to lateral misalignment*. International Students and Young Scientists Workshop, Photonics and Microsystems, Weringerode, Germany, 62-63.

28. Janson, M. (2009). *Optical fiber cable and systems*. İnternational Telecommunication Union (İTU):Switzerland, 92- 96.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : PİSHGAM, Pouria

Uyruğu : İranlı

Doğum tarihi ve yeri : 24.07.1988, İran

Medeni hali : Bekar

Telefon : 05419333183

E-mail : pouria.pishgam@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Maziyar Royan university- İRAN	2010
Ön lisans	Tabriz Amouzeshkade 1- İRAN	2008
Lise	Rajayi Meslek Lisesi- İRAN	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-2014	Artan sahar Güvenlik Systemleri	Kontrol Mühendisi
2008-2011	Edison Elektrik	Montaj Teknikeri

Yabancı Dil

İngilizce, Azerbaycanca, Farsça, İtalyanca, Arapça

Yayınlar

1. Pishgam, P. ve Akçam, N. (2018). *Analysis of the misalignment losses in fiber optic cables*. İnternational congress on Engineering and Life science, Kastamonu.

Hobiler

Dağcılık, Bisiklet Sürme.



GAZİ GELECEKTİR..