

**FİBER OPTİK KABLO TEKNOLOJİSİ VE ASKERİ
UYGULAMALARDA KULLANIMI**

727043

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sistem. Müh. Ütğm. Zeki DEMİR
(514001028)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2002

Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Mayıs 2002

İC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Serhat ŞEKER

Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Kevork MARDİKYAN

Doç. Dr. Osman Nuri UÇAN

Şeker 14.05.2002
Mardikyan 20.05.2002
Uçan 22.05.2002

MAYIS 2002

727043

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında yüksek bilgisi, engin deneyimi, ilgi ve anlayışı ile bana daima kılavuzluk eden hocam Sayın Doç. Dr. Serhat ŞEKER beye, maddi manevi katkıları ile bana sürekli destek olan değerli silah arkadaşlarım Kr. Plt. Yzb. M. Tayfun ÜLBEGİ, Mu. Yzb. Hüseyin AKGÜN'e, sevgi ve desteğini esirgemeyen aileme ve müstakbel eşime sonsuz teşekkürler.

Mayıs 2002

Zeki DEMİR



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

KISALTMALAR

ix

TABLO LİSTESİ

x

ŞEKİL LİSTESİ

xi

SEMBOL LİSTESİ

xiii

ÖZET

xiv

SUMMARY

xv

1. GİRİŞ

1

2. FİBER OPTİK TEKNOLOJİNİN GELİŞİM SÜRECİ

6

3. OPTİKSEL DALGA KILAVUZ FİZİĞİ

9

3.1. Elektromanyetik Spektrum

9

3.2. Dalga Teorisinin Temel Esasları

11

3.3. Işığın Yansıması

14

3.4. Işığın Kırılması

15

3.5. Tam İç Yansıma ve Kritik Aç

18

3.6. Sayısal Gösterge

19

3.7. Işığın Fiber Optik Dalga Kılavuzunda Yayınımı

20

4. FİBER OPTİK İLETİŞİM SİSTEMİ

22

4.1. Donanımı

22

4.2. Fiber Optik Yayınım Modu

23

Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

4.3. Fiber Optik İndeks Profili	24
4.4. Fiber Optik Türleri	24
4.5. Fiber Optik Düzenlemeleri	25
4.5.1. Tek Modlu Kademe İndeksli Fiber Optikler	26
4.5.1.1. Tek Modlu Kademe İndeksli Fiber Optiklerin Avantajları	26
4.5.1.2. Tek Modlu Kademe İndeksli Fiber Optiklerin Dezavantajları	27
4.5.2. Çok Modlu Kademe İndeksli Fiber Optikler	27
4.5.2.1. Çok Modlu Kademe İndeksli Fiber Optiklerin Avantajları	27
4.5.2.2. Çok Modlu Kademe İndeksli Fiber Optik Dezavantajları	28
4.5.3. Çok Modlu Dereceli İndeksli Fiber Optikler	28
4.5.3.1. Çok Modlu Dereceli İndeksli Fiber Optiklerin Avantajları ve Dezavantajları	28
4.5.4. Tek Modlu ve Çok Modlu Fiberlerin Karşılaştırılması	29
4.6. Fiber Optik Sistemin Işık Kaynakları	29
4.6.1. Işık Yayan Diyotlar (LED)	29
4.6.2. Enjeksiyon Lazerli Diyotlar (ILD)	30
5. OPTİK FİBER PARAMETRELERİ VE ÖLÇÜM METODLARI	32
5.1. Giriş Şartları	32
5.1.1. Çok Modlu Fiberler	32
5.1.2. Tek Modlu Fiberler	33
5.2. Fiber Optiklerde Zayıflama	34
5.2.1. Soğurma Kayıpları	34
5.2.2. Malzeme ya da Rayleigh Saçınım Kayıpları	35
5.2.3. Renk ya da Dalgaboyu Ayrılması	35
5.2.4. Yayılım Kayıpları	35
5.2.5. Modal Yayılma	36
5.2.6. Bağlaşım Kayıpları	36
5.2.6.1. Yanal Ayarsızlık	36
5.2.6.2. Aralık Ayarsızlığı	36
5.2.6.3. Açisal Ayarsızlık	37
5.2.6.4. Kusursuz Olmayan Yüzey	37
5.3. Zayıflama Ölçümü	38
5.4. Ölçme Metotları	40
5.4.1. Güç Tekniği	41
5.4.2. Kavrama Bağlama Tekniği	41

5.4.3. Geriye Dağılım tekniği	41
5.5. Band Genişliği	42
5.6. Dalga Boyu Kesimi	43
5.7. Mod Alan Çapı	44
5.8. Mekanik Dayanıklılık	44
5.9. Dönüş Kaybı	45
6. FİBER OPTİK KABLONUN YAPISI	47
6.1. Kaynaşmış Silika Camlı Tek Modlu Fiber	48
6.2. Tek ve Çok Modlu Fiberin Teknik Özellikleri	49
6.2.1. Gerilme Yüğü	49
6.2.2. Renk Kodlama İşlemi	49
6.2.3. Sıcaklık Kademeleri	49
6.3. Plastik Optik Fiber	50
7. OPTİK FİBERLERİN ÜRETİLMESİ	51
7.1. Erimiş Cam İle Ön Şekillendirme Yöntemi	51
7.2. Buharlaşıma Fazında Cam Tortusu Dökerek Ön Şekillendirme Üretimi	52
7.3. Fiber Çekimi	53
8. OPTİK KABLO DİZAYNI	55
8.1. Kablo Çekirdeği	55
8.1.1 Bükölme	56
8.1.2 Kablo Çekirdeğinin Doldurulması	60
8.2. Kablo Kılıfı	60
8.3. Koruyucu Kaplama	61
8.4. Zırlı Kaplama İşlemi	61
8.5. Konstürüksiyon Tipleri	62

8.5.1. Harici Kablolar	62
8.5.1.1. Sıcaklık Kademeleri	63
8.5.1.2. Mekaniksel Özellikler	63
8.5.1.3. Enterferans	64
8.5.1.4. Bakır Kablolarla Karşılaştırma	64
8.5.1.5. Dereceli İndeksli Çok Modlu Fiberlerde Zayıflama	64
8.5.1.6. Band Genişlikleri	65
8.5.1.7. Tek Modlu Fiberler İçin Çok Fiberli Ve Gevşek Tamponlu Harici Kablolar	65
8.5.1.8. Dereceli İndeksli Çok Modlu Fiberler İçin Tek Fiberli Gevşek Tamponlu Harici Kablolar	66
8.5.2. Dahili Kablolar	66
8.5.2.1. Çoklu Dahili Kablolar	67
8.5.2.2. Birimleri Ayrılabilir Dahili Kablolar	67
8.5.2.3. Birbirine Bağlı Kablolar	68
8.5.3. Dahili ve Harici Kablolar	68
8.5.4. Havai ve Yeraltı Fiber Optik Kablolar	69
8.5.5. Tümüyle Dielektrik Kendinden Askılı Kablolar	70
8.5.6. Denizaltı Kablolar	70
9. FİBER OPTİK KABLOLAR ÜZERİNDE ÇEVRESEL TESTLER	72
9.1. Gerilme Kuvvetinin Test Edilmesi	72
9.2. Sıcaklık Performansının Test Edilmesi	73
9.3. Diğer Çevresel Testler	74
9.3.1. Mekanik Testler	74
9.3.2. Termal Testler	75
9.3.3. Kimyasal Testler	75
9.3.4. Diğer Testler	75
9.4. Yangına Karşı Direnç	75
9.4.1. Alevlendirme Geciktirmesi	75
9.4.2. Korozyonsuzluk	75
9.4.3. Düşük Duman	76
9.4.4. Halojensizlik	76
10. FİBER OPTİK KABLO TESİS DİZAYNI	77
10.1. İletim Özelliklerinin Planlanması	77
10.1.1. Tek ve Çok Modlu Fiberler İçin Zayıflama Planlaması	77
10.1.2. Kablo Tesislerindeki Derece İndeksli Fiberlerin Band Genişliği	79
10.1.3. Kablo Tesislerindeki Tek Modlu Fiberlerin Dağılımı	80

10.2. Mekaniksel Planlama Durumu	80
10.2.1. Güzergah Yönü	81
10.2.2. Arazi Yapısı	81
10.2.3. Toprak ve İklimin Tipi	81
10.3. Tesisin Yapılması	81
10.4. Fiber Optik Ekleme Tekniği	82
11. ASKERİ UYGULAMALARDA FİBER OPTİK KABLO TEKNOLOJİSİNİN ÜSTÜNLÜKLERİ	84
11.1. Büyük Bant Genişliği	84
11.2. Küçük Boyut ve Hafif Ağırlık	85
11.3. Elektriki İzolasyon	86
11.4. EMI, RFI ve EMP'ye Karşı Duyarsızlık	86
11.5. Sinyal Güvenliği	87
11.6. Düşük İletim Kaybı	88
11.7. Esneklik, Dayanıklılık ve Kullanım Kolaylığı	89
11.8. Sistem Güvenliği ve Bakım Kolaylığı	89
11.9. Düşük Maliyet Potansiyeli	90
11.10. Elektronlar Yerine Fotonlarla Çalışma	91
11.11. Çok Yüksek Data İletimi	91
11.12. Düşük Hata Oranı	92
11.13. Düşük Kayıp	92
11.14. Isı Üretmeme	92
11.15. Geniş Tekrarlayıcı Mesafe Aralığı	93
11.16. Hassas Aydınlatma	93
11.17. Gerçek Zamanda Data İletimi	94

12. ASKERİ AÇIDAN GÜVENLİ HABERLEŞME VE FİBER OPTİK TEKNOLOJİSİ	95
12.1. Askeri Açidan Güvenli Haberleşmenin Önemi	95
12.2. Askeri Muhabere Destek Prensipleri	98
12.3. Taktik Alanda Kullanılan Muhabere Vasıtaları	99
12.4. Nükleer Ortamda Harekatta Kesintisiz ve Güvenilir Haberleşme İhtiyacı	100
13. SONUÇLAR VE ASKERİ UYGULAMALAR BAKIMINDAN YORUMLAR	102
KAYNAKLAR	105
ÖZGEÇMİŞ	108



KISALTMALAR

MEBS : Muhabere Elektronik ve Bilgi Sistemi

EMP : Electromagnetic Puls

EMI : Electromagnetic Interference

RFI : Radio Frequency Interference

FOKT : Fiber Optik Kablo Teknolojisi

NA : Numerical Aperture

LED : Light Emitting Diod

ILD : Injection Laser Diod

PCS : Plastic Coated Silica

SCS : Silica Coated Silica

OTDR : Optical Time Domain Reflectometers

C3 : Command Control Communication

RF : Radio Frequency

ACS : Aliminium Coated Steel

PVC : Polyvinyl Chloride

PE : Polyethylen

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Tipik Kırılma İndisleri.....	6
Tablo 4.1. Tek ve Çok Modlu Fiberlerin Karşılaştırılması.....	29
Tablo 8.1. 16 ve 120 Fiberli Kabloların Karşılaştırılması.....	63
Tablo 8.2. Fiber Optik Kabloların Bakır Kablolarla Karşılaştırılması.....	64
Tablo 8.3. Fiber Optik Renk Kodları.....	66



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Elektromanyetik Frekans Tayfi.....	10
Şekil 3.2. Elektromanyetik Dalga Boyu Tayfi.....	11
Şekil 3.3. Sabit Bir Z_0 Noktasındaki Harmonik Dalga Düzlemi.....	13
Şekil 3.4. Işığın Yansıması.....	14
Şekil 3.5. Işığın Kırılması.....	17
Şekil 3.6. Tam İç Yansıma.....	19
Şekil 3.7. Bir Optik Dalga Kılavuzu İçinde Işığın Yol Alması.....	19
Şekil 4.1. Tek Modlu Yayınım.....	23
Şekil 4.2. Çok Modlu Yayınım.....	24
Şekil 4.3. LED Yayılım Paterni.....	30
Şekil 4.4. ILD Yayılım Paterni.....	31
Şekil 5.1. Yanal Ayarsızlık.....	36
Şekil 5.2. Aralık Ayarsızlığı.....	37
Şekil 5.3. Açısal Ayarsızlık.....	37
Şekil 5.4. Kusursuz Olmayan Yüzey	38
Şekil 5.5. Rayleigh Zayıflama Eğrisi.....	39
Şekil 5.6. Tek ve çok Modlu Fiberlerde Zayıflama Katsayılarının Işık Dağılım Eğrileri.....	40
Şekil 5.7. Baştan Sona Güç Tekniği.....	41
Şekil 5.8. Bir Optik Fiberin Transfer Fonksiyonu.....	43
Şekil 5.9. L Pozisyonundaki Bir Yansıma İle OTDR Çizgisi.....	45
Şekil 6.1. Çok Modlu Optik Fiber.....	47
Şekil 6.2. Tek Modlu Optik Fiber.....	48
Şekil 6.3. Çok ve Tek Modlu Optik Fiberlerin Aşındırılmış Uç Yüzeyleri	49
Şekil 7.1. Buharlaşma Fazında Cam Tortusu Dökerek Ön Şekillendirme.....	53
Şekil 7.2. Optik Fiberin Çekim Şeması.....	54
Şekil 8.1. Bir Katında Tek Fiberli Gevşek Tampon Tüp Olan Katlı Kablo.....	56
Şekil 8.2. İki Katında Tek Fiberli Gevşek Tampon Tüp Olan Katlı Kablo.....	57
Şekil 8.3. Bir Katında Çok Fiberli Gevşek Tampon Tüp Olan Katlı Kablo	57
Şekil 8.4. Birim Kablo.....	57

Şekil 8.5. Bir Kablo Çekirdeğinin Şeması.....	59
Şekil 8.6. Bir Bakır Dörtlüsü Olan Optik Fiberli Telekomünikasyon Kablosu.....	65
Şekil 8.7. Optik Fiberli Dahili Harici-Kablo.....	68
Şekil 9.1. Tek ve Çok Fiberli Gevşek Tamponlu Bir Kablonun İşlem Penceresi.....	73
Şekil 9.2. 1300nm Dalgaboyunda Zayıflama Değişimi.....	74



SEMBOL LİSTESİ

λ	: Dalga boyu
c	: Işık hızı (300.000.000 m/sn)
f	: Frekans
$\text{\AA}$	: Angstrom
T	: Salınım periyodu (saniye)
ϕ	: Faz açısı
n	: Ortamın kırılma indisi
$\theta_{\max}$	: Mümkün olan en büyük giriş başlama açısı
$P(0)$	: Fiber optik içinde başlangıçta hareketlenen ışık gücü,
$P(L)$	: L uzunluğu sonrası değişmeden kalan ışık gücü
W_0	: Mod alan yarı çapı
f_m	: Frekansı modülasyon
F	: Kırılma olasılığı
σ	: N/mm ² cinsinden kırılma basıncı
L_0	: m cinsinden test uzunluğu
RL	: Dönüş kaybı
P_{ref}	: Yansıyan güç
P_{in}	: L konumunda giren güç
w	: Puls genişliği
ΔT	: ps cinsinden puls genişlemesi
$M(\lambda)$	: ps/nm.km cinsinden kromatik dağılım
$\Delta\lambda$	: nm cinsinden vericinin spektral genişliği
L	: km cinsinden fiberin uzunluğu

ÖZET

Son yıllarda iletişim endüstrisinde çok sayıda önemli ve dikkate değer gelişme meydana gelmiştir. Ses, veri ve görüntü iletişimindeki olağanüstü artış, daha geniş kapasiteli, daha hızlı ve daha kaliteli sistemlere olan talebin de aynı oranda artmasına neden olmuştur. Mikro dalga sistemleri ise çoktan maksimum kapasitelerine ulaşmış bulunmaktadır; uydu sistemleri de her geçen gün artan talebe ancak geçici bir rahatlama getirebilmektedir. Geniş kapasitelere cevap verebilecek ve yüksek kalitede hizmet sağlayabilecek güvenli iletişim sistemlerine olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır.

Bilgi taşıyıcısı olarak ışığın kullanıldığı iletişim sistemleri, son zamanlarda oldukça ilgi görmektedir. Işık dalgalarını yeryüzü atmosferinde yaymak zor ve elverişsiz olduğu için günümüze kadar bir çok araştırma ve geliştirme laboratuvarlarında, bir ışık dalgasını içermek ve bu dalgayı bir kaynaktan bir varış yerine göndermek üzere cam ya da plastik fiber kabloların kullanıldığı sistemlerle ilgili araştırmalar yapılmış olup bu konudaki çalışmalar devam etmektedir. Gündümlü bir fiber optik kablo aracılığıyla bilgi taşıyan iletişim sistemlerine fiber optik sistemler denmektedir.

Modern orduların gelecekte karşılaşacağı muharebe ortamı; komuta kontrol ve bilgi sistemleri açısından günümüzdekinden çok daha ileri teknolojiye sahip ve çok daha uzun menzilli sistemlerden meydana geleceği değerlendirilmektedir. Teknolojideki gelişmeler ve bunların bilgi harbine yansımaları taktik ve teknikleri etkileyecek boyuttadır. Bilgi teknolojileri ile askeri birliklerin gerçeğe yakın bir zamanda bilgi toplama, işleme, saklama ve yayma yeteneği önemli ölçüde artmıştır. Teknoloji, birliklerin daha geniş bir alana yayılmasına imkan vermekle birlikte güvenli veri iletimi ve kesintisiz haberleşme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle haberleşme ve elektronik sistemlerin etkinliğini kaybetmemesi için güvenli ve kesintisiz haberleşmeyi garanti edecek sistemler kullanılmalıdır. Bu gün kullanılan teknolojiler içerisinde, eşdeğerleri olan metal iletkenli kablolarla göre üstün bir performans sergileyen fiber optik kablo teknolojisi EMI, RFI, EMP'den etkilenmeden güvenli ve çok süratli veri iletimi, yüksek kalitede haberleşme ve daha birçok üstün özelliği sayesinde stratejik askeri haberleşmeden mobil sistemlere (uçak, helikopter, tank, gemi, uydu gibi) kadar birçok alanda askerlere hizmet vermekte olup daha uzun yıllar düşük yoğunluklu çatışmadan nükleer silahların da kullanılacağı yüksek yoğunluklu çatışmaya kadar geçerliliğini ve güvenirliliğini devam ettireceği değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada Fiber Optik Kablo Teknolojisinin (FOKT) teknik ayrıntıları verilmiş olup, FOKT bakımından genel anlamda kullanılacak tasarım özellikleri tanıtılmıştır. Ayrıca askeri uygulamalar bakımından güvenli haberleşmenin önemi vurgulanarak, FOKT'nin askeri uygulamalar açısından sağlayacağı avantajlar yorumları ile birlikte sunulmuştur.

SUMMARY

Recently, there have been many important and valuable developments in the communication industry. The huge increase in the sound, data, and visual communications has caused a parallel increase in the demand for systems with wider capacity, higher speed, and higher quality. Microwave systems have reached their maximum capacity since a long time. Satellite systems provide only an interim relief for day by day increasing demand. The need for secure communication systems that are able to cope with wider capacities and can provide high quality service is increasing more and more everyday.

Communication systems that use light for transferring data are most interested in recently. Because it is difficult and inconvenient to disperse light waves in the atmosphere of the earth; there have been continuous researches and studies in many research and development laboratories about the systems in which glass or plastic fiber cables are used to have a light wave and pass it from a source to a target place. Communication systems that transfer data via a fiber optic cable are called fiber optic systems.

It's considered that the combat environment that the modern armies will face in the future will have long range command control and info systems for better than that of today's. The technological developments and its reflections to the info warfare will have tactical and technical aspects. With the help of info technologies the military forces will have the opportunity to gather, store, process and share the information in the real time. Although technologies provides the combat units to expand in a wide area the need for secure and continuous info arises. In order to have an effective communication and electronic systems we need to ensure secure and continuous communication systems. The fiber optic technology used today presents a very high performance when compared other conducting cables. This technology not affected by EMI, RFI, EMP which has the characteristics of secure, a high quality rate of rapid data transfer, will serve from strategic military communications to mobile systems (plane, chopper, tank, ship, satellite etc.). It's considered that FOCT will be used securely for a long time in different combat environments changing from high-density conflicts involving the use of NBC weapons to low-density conflicts.

This theses, explains the technical details of fiber optic cable technologies (FOCT) used in general. In addition it emphasizes the importance of secure communication in military applications. It also presented the advantages of FOCT together with my comments.

1. GİRİŞ

Son yıllarda iletişim endüstrisinde çok sayıda önemli ve dikkate değer gelişme meydana gelmiştir. Ses, veri ve görüntü iletişimindeki olağanüstü artış, daha geniş kapasiteli, daha hızlı ve daha kaliteli sistemlere olan talebin de aynı oranda artmasına neden olmuştur. Mikro dalga sistemleri çoktan maksimum kapasitelerine ulaşmış olup uydu sistemleri de her geçen gün artan talebe ancak geçici bir rahatlama getirebilmektedir. Geniş kapasitelere cevap verebilecek ve yüksek kalitede hizmet sağlayabilecek güvenli iletişim sistemlerine olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. [1]

Bilgi taşıyıcısı olarak ışığın kullanıldığı iletişim sistemleri, son zamanlarda oldukça ilgi görmektedir. Işık dalgalarını yeryüzü atmosferinde yaymak zor ve elverişsiz olduğu için günümüze kadar bir çok araştırma ve geliştirme laboratuvarlarında, bir ışık dalgasını içermek ve bu dalgayı bir kaynaktan bir varış yerine göndermek üzere cam ya da plastik fiber kabloların kullanıldığı sistemlerle ilgili araştırmalar yapılmış olup bu konudaki çalışmalar devam etmektedir. Gündümlü bir fiber optik kablo aracılığıyla bilgi taşıyan iletişim sistemlerine fiber optik sistemler denmektedir. [1]

Modern orduların gelecekte karşılaşacağı muharebe ortamının; komuta kontrol ve bilgi sistemleri açısından günümüzdekinden çok daha ileri teknolojiye sahip ve çok daha uzun menzilli sistemlerden meydana geleceği değerlendirilmektedir. Teknolojideki gelişmeler ve bunların bilgi harbine yansımaları taktik ve teknikleri etkileyecek boyuttadır. Bilgi teknolojileri ile askeri birliklerin gerçeğe yakın bir zamanda bilgi toplama, işleme, saklama ve yayma yeteneği önemli ölçüde artmıştır. Teknoloji, birliklerin daha geniş bir alana yayılmasına imkan vermekle birlikte güvenli veri iletimi ve kesintisiz haberleşme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle haberleşme ve elektronik sistemlerin etkinliğini kaybetmemesi için güvenli ve kesintisiz haberleşmeyi garanti edecek sistemler kullanılmalıdır. [2]

Bilgi teknolojileri; ancak güvenli veri iletimi ve kesintisiz haberleşmeyi garanti ettikleri sürece, silahların, sensörlerin, bunları taşıyan platform ve insanların daha etkili olmasını sağlarlar. Bu teknolojiler bilgiyi toplama, depolama, işleme ve yayım konusunda sağladıkları imkanlarla komuta kontrolün etkinliğini artırarak komutanların daha doğru ve süratli karar vermesini kolaylaştırır. Fiber optik teknoloji, sahip olduğu üstün özellikleri ile bugün ve gelecekte de komuta kontrolün etkinliğini artırarak komutanların daha doğru ve süratli karar vermesini kolaylaştıracaktır.

Muharebe gücünün uygun yer ve zamanda azami etkinlikte kullanılmasının anahtarı, güvenilir bir muhabere, elektronik ve bilgi sistemi (MEBS)'dir. "Muhaberesiz muharebe olmaz" prensibinden hareketle her seviyede muhabere elektronik ve bilgi sistemleri güvenilir, kesintisiz haberleşme ve iletişimi garanti etmelidir. Bu anlamda fiber optik teknoloji, muhaberenin kesintisiz devamını sağlamaya yönelik çalışmalar içinde çok önemli bir yere sahiptir.

Haberleşme ve elektronik sistemlerin engellenemeyen verimi etkin askeri hareket için arzu edilen bir husustur. Haberleşme ve elektronik sistemlerin etkinliğinden kaybetmesi birliğin komuta ve kontrolünü ciddi surette zayıflatır; istihbarat, hareket kabiliyeti ve taktik hareketini yeterli olarak destekleyecek sistemi ters yönde etkiler. Bu nedenle haberleşme ve elektronik sistemlerin etkinliğini kaybetmemesi için güvenli ve kesintisiz haberleşmeyi garanti edecek sistemler kullanılmalıdır. Bu konuda da diğerlerine göre bariz bir üstünlüğe sahip olan fiber optik teknoloji geçerliliğini ispatlamıştır.

Telsiz, radar ve elektro-optik cihazlar gibi haberleşme ve elektronik gereçlerden amaçlı veya amaçsız yayınlanmakta olan bütün radar dalgaları, dinlemeye, telsiz kestirmesine ve tahlile karşı duyarlıdır. Düşmanın dinleme ve yararlanmasının etkileri, düşmanın yararlanmasını en alt düzeye indirecek en sıkı muhabere emniyeti uygulamalarının düşman elektronik karşı tedbirleriyle mücadele edecek kuvvetli bir elektronik karşı tedbirlere karşı koyma programının kabulü ve uygulaması ile azaltılabilir. Bu maksadı gerçekleştirmek için kullanılacak muhabere-elektronik sistemlerin güvenli sistemler olması gerekir.

Elektromanyetik spektrumun bütün frekansları düşmanın karşı tedbirlerine duyarlıdır. Örneğin, kızılötesi hava elektronik hedef tespit cihazı pasif durumuna rağmen yüksek şiddetteki ışık kaynakları veya ısı dağıtıcı varlıkların amaçlı olarak yerleştirilmeleri suretiyle aldatma yoluyla karıştırma gibi karşı tedbirlerin etkisi altında kalabilir. Bu cihazlar genel olarak askeri amaçlarla haberleşmede hedef tespiti ve takibinde, muharebe sahası gözetlemesinde, füze güdümünde, silahları otomatik ateşlemede, kontrol sistemleri ve seyrüsefer yardımcı malzemelerinde kullanılır. Elektromanyetik spektrumun yoğun olarak bilgi ve haberleşme sistemlerini etkilediği muharebe ortamında kullanılan iletişim sistemleri güvenli oldukları sürece fonksiyonlarını icra edebilir ve taktik ihtiyaçları karşılayabilirler.

Muhabere destek sistemleri özellikle elektromanyetik darbe (EMP)'den kaynaklanan bozulmalara karşı hassastır. Kullanılan kablolu haberleşme sistemleri özellikle nükleer ortamda oluşan çok yüksek EMP'ye karşı korunma sağlamalı ve kesintisiz haberleşmeyi garanti etmelidir. Elektronik-haberleşme sistemleri içinde bu ihtiyaçlara cevap verebilecek tek sistem ise fiber optik teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü fiber optik kablo dışında tüm kablo sistemleri elektromanyetik darbe (EMP)'den etkilenmektedir.

Komuta ve kontrol öncelikleri içerisinde yer alan bilgi sistemlerinin yönetimi önemli bir görevdir. Kullanılan haberleşme sistemleri üzerinden kritik bilgilerin güvenle ve kesintisiz iletilmesi mümkün olmalı ve bu sistemler değişik kademeler arasında, ses, görüntü ve veri haberleşmesi sağlamalıdır. Kablolu sistemlerden ancak fiber optik teknolojisi ile bir çok özellik ve üstünlüğü sayesinde beklentilere cevap verecek güvenilir ve kaliteli haberleşme sistemi tesis edilebilir.

Nükleer ortamda oluşan EMP'in haberleşme sistemleri üzerindeki büyük tahrip etkisi mevcut klasik haberleşme sistemlerini geniş bir bölgede işlemez hale getirecektir. Oysa muhabere, komuta-kontrol ve haberleşme sistemi sürekli, güvenilir ve kesintisiz bir haberleşme ağı gerektirmektedir. Bu ise ancak diğer sistemlerin yanında fiber optik teknoloji kullanılarak sağlanabilir.

2020'li yılların muharebe sahası; uzay çalışmaları ve silah teknolojisindeki gelişmeler ve özellikle silah sistemlerinin menzillerinde sağlanacak artış, komuta-kontrol ve muhabere, keşif-gözetleme ve istihbarat sistemlerindeki gelişmelerle etki

ve ilgi sahalarının genişlemesine neden olacaktır. Etki ve ilgi alanlarının genişlemesi ile geleceğin muharebe sahasında hızlı ve güvenli askeri haberleşmenin önemini artacaktır. Bilgisayar ve güvenli haberleşme teknolojisindeki gelişmeler devam edecek, gönderme ortamları sayısallaşacak ve gönderme hızları artacaktır. Bu sayede muharebe sahasının taktik resmi gerçek zamanlı olarak tespit edilecektir.

Modern orduların gelecekte karşılaşacağı muharebe ortamı; komuta kontrol ve bilgi sistemleri açısından günümüzdekinden çok daha ileri teknolojiye sahip ve çok daha uzun menzilli sistemlerden meydana geleceği değerlendirilmektedir. Bu maksatla çok süratli gönderme kabiliyetine sahip muhabere sistemleri ile birbirine bağlı olan sensörlerin istihbarat merkezlerine bağlanması ve alınan bilgilerin işleme tabi tutularak elektronik harp teçhizatı veya silah sistemlerine irtibatlı güvenli entegre sistemler hayati öneme haizdir.

2020’li yılların muharebe sahasında meydana gelecek en büyük değişiklik muharebe sahasının boyutlarının genişlemesi olacaktır. Boyutların genişlemesi ve gelişen teknoloji ile birlikte bugün geçmişte olduğundan daha çok elektronik harbe karşı korumalı, süratli ve güvenli veri (data) haberleşmesine imkan verecek sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. [3]

Düşük yoğunluklu çatışmadan nükleer silahların da kullanılacağı yüksek yoğunluklu çatışmaya kadar haberleşmenin güvenliği ve kesintisiz devamı önemini korumaktadır. Gelecekte stratejik nükleer silahlar sınırlandırılrsa da, taktik nükleer silahlar yerlerini muhafaza edeceklerdir. Dolayısıyla gelecekte de nükleer ortamda kesintisiz ve güvenli haberleşme konusu önemini artırarak korumaya devam edecektir .

Günümüzde kullanılan teknolojiler içerisinde fiber optik teknoloji, EMI (elektromanyetik enterferans), RFI (telsiz frekans enterferansı), EMP (elektromanyetik puls)’den etkilenmeden, güvenli ve çok süratli veri iletimi, yüksek kalitede haberleşme ve daha birçok özelliği sayesinde stratejik askeri haberleşmeden mobil sistemlere (uçak, helikopter, tank, gemi, uydu gibi) kadar birçok alanda askerlere hizmet vermekte olup daha uzun yıllar geçerliliğini ve güvenilirliğini devam ettireceği değerlendirilmektedir.

Güvenli ses , görüntü ve data iletiminde eşdeğerleri olan metal iletkenli kablolarla göre üstün bir performans sergileyen fiber optik kablolar son yıllardaki hızlı gelişimle birlikte fiyatlarının azalması, üretimlerinin kolaylaştırılması, hızlandırılması ve kullanım alanlarının genişletilmesiyle dünyada ve ülkemizde güvenli askeri haberleşme olmak üzere bir çok alanda tercih edilen sistemlerin başında yer almaktadır. [3]

Bu çalışmada Fiber Optik Kablo Teknolojisinin (FOKT) teknik ayrıntıları verilmiş olup, FOKT bakımından genel anlamda kullanılacak tasarım özellikleri tanıtılmıştır. Ayrıca askeri uygulamalar bakımından güvenli haberleşmenin önemi vurgulanarak FOKT'nin askeri uygulamalarda sağlayacağı avantajlar yorumları ile birlikte sunulmuştur.



2. FİBER OPTİK TEKNOLOJİNİN GELİŞİM SÜRECİ

Işığın şeffaf silindir içinde yayılması çok uzun zamandır bilinmekte olan doğal bir olaydır. Antik çağda Yunan cam imalatçıları tarafından kullanılmasıyla birlikte Venediklilerin tarafından tekrar ele alınarak 16.yy.da ışık fiskiyesi üretmek amacıyla kullanılmıştır .

1880’de Amerikalı Alexander Graham Bell icat ettiği fotofon (photophone) ile ses sinyallerini ışık vasıtasıyla iletmeyi başardı. Ancak bu düşünce hava ve görülebilirliğin iletim kalitesi üzerindeki aşırı olumsuz etkileri nedeniyle pratik bir uygulama alanı bulamadı. [4]

Fotofon, ses dalgalarını bir ışık hüzmesi üzerinden ileten aynalar ve selenyumlu dedektörlerden yapılmış bir aygıttı. Fotofon kullanışsız olup güvenilir değildi. Ayrıca pratik uygulaması olmayan bir aygıttı. Aslında elektronik iletişim ortaya çıkmadan çok önceleri de görünen ışıktan yararlanmak iletişim kurmanın önde gelen yollarından biriydi. Asırlar önce kısa basit mesajları aktarmak için duman sinyalleri ve aynalar kullanılmaktaydı. Buna karşın Bell’in fotofon düzeneği bilgi taşımak için bir ışık hüzmesi kullanma yolundaki ilk girişimdi.[1]

Işık dalgalarının yeryüzü atmosferinde işe yarar bir mesafeye iletimi pratikte mümkün değildir. Çünkü su buharı, oksijen ve havadaki küçük parçacıklar yüksek ışık frekanslarını soğurarak zayıflatırlar. Dolayısıyla kullanışlı olan tek optik iletişim türü fiber kılavuz kullanan bir sistemdir. [1]

İngiliz fizikçi John Tyndall, Bell’in icadından önce 1870’lerde bu sorun için bir çözüm ortaya atarak ışığın bir su akıntısına kılavuzluk edebileceğini deneyle kanıtlamıştır. Bu deneyim bugünün fiber optiğinde de uygulanan tam iç yansımanın prensibi olarak kullanılmıştır. 1930 yılında İngiliz bilim adamı J.L.Baird ile Amerikalı bilim adamı C.W. Hansell, kaplamasız fiber kablolar aracılığıyla televizyon görüntülerini tarayarak ve ileterek patent aldılar. Birkaç yıl sonra Alman bilim adamı H. Lamm tek bir cam fiberden görüntüleri başarılı bir biçimde iletti. [1]

Bell'in ışık modülasyonu ile Tyndall'ın ışığın kılavuzluğu alanındaki sonraki denemeleri 1934'e ve Amerikalı Norman R. French'in kendi optiksel telefon sistemi için patent almasına kadar sürdü. French patentinde ses işaretlerinin işletme dalga boyunda düşük bir zayıflama katsayısına sahip som cam çubuklardan veya benzeri malzemeden yapılmış kablolardan oluşan bir optik kablo şebekesinden nakledilebileceğini ortaya çıkardı.[4]

1930'larda insanların çoğu fiber optiği daha çok bir oyuncak ya da labaratuvarın sınırları içinde sergilenen bir hüner gösterisi olarak değerlendirdiyordu. Dolayısıyla fiber optik alanında esaslı bir atılım ancak 1950'li yıllardan sonra gerçekleştirilebilmiştir. [4]

1951 yılında Hollanda'dan A.C.S Van Heel ile İngiltere'den H.H Hopkins ve N.S Kapany fiber demetleri aracılığıyla ışık iletimi üzerine deneyler yaptılar. Bu bilim adamlarının araştırmaları tıp alanında geniş bir kullanım alanı olan esnek fiberskopun geliştirilmesine olanak sağladı. 1956 yılında Kapany 'fiber optik' terimini üretti. [1]

1958 yılında Nobel ödülü kazanmış Arthur Schawlow ile Charles H. Townes, 1960 yılında Thedor H. Maiman tarafından ilk defa başarı ile kullanılan uyarılmış yayılım emisyonu ile ışık yükseltmesi yani lazeri (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) geliştirdiler.

1960'ların başında lazerin ortaya çıkmasıyla ışık dalgalarını bilgi ortamı olarak kullanılmak amacıyla birçok girişimde bulunulmuştur. Başlangıçta deneyler serbest hava haberleşmesine yönelik olmuştur. Lazer ile yayılan ışık iletebilecek sinyal ile modüle edilerek atmosfere girmekte ve bir dedektör ile algılanmaktadır. Başlangıçta bu linklerin çalışması büyük çapta meteorolojik koşullara dayanmaktaydı. Bununla birlikte günümüzde fiber optik uzay çalışmalarından bilgisayar kartlarındaki çok kısa mesafeli iletim hatlarına kadar çok geniş bir alanda kullanılmaktadır.

Nispeten yüksek çıkış gücü, yüksek çalışma frekansı ve aşırı bant genişliğine sahip sinyalleri taşıma yeteneği lazeri yüksek kapasiteli iletişim sistemleri için çok uygun bir vasıta haline getirmiştir. Lazerin bulunması fiber optik iletişimle ilgili araştırma çabalarını geniş ölçüde hızlandırmıştır. Bununla birlikte fiber optik iletişimde ilk önemli aşama ancak 1967 yılında İngiltere'deki Standart Telekomünikasyon

Labaratuvarından K.C. Kao ile G.A Bockham'ın koruyucu zarflı fiber kabloların kullanıldığı yeni bir iletişim ortamını önermesiyle gerçekleşti. [1]

1960'lı yıllarda kullanılan fiber kablolar aşırı kayıplıydı (1000 dB/km'den fazla); bu da optik iletimleri kısa mesafelerle sınırlıyordu. 1970 yılında New York eyaletinin Corning kentindeki Corning Glass Works'den Kapron, Keek ve Maurer 20 dB/km'den daha az kaybı olan bir fiber optik geliştirdiler. Bu, kullanışlı fiber optik iletişim sistemleri oluşturmak için gerekli olan büyük bir adımdı. 1970'den bu yana fiber optik teknolojisi olağanüstü gelişmeler gösterdi. Bell Labaratuvarları, yeniden üreteç kullanmaksızın 1 milyar bps'yi bir kablo üzerinden 120 kilometrelik mesafeye iletmeyi başardı. 1972 yılında 4 dB/km'lik fiberler gerçekleştirildi. Bunu tek modlu fiberlerde 0,2 dB/km'lik zayıflama değerlerine ulaşılması izlemiştir. [1]

Askeri iletişimde ilk fiber optik kablolar 1973'te Amerika'daki askeri tatbikatlarda telefon hizmetleri vermesi için gemilerde işletmeye kondu. Western Electric 1976'da Atlanta'daki tesislerinde optik kablolu ilk sistemi denedi. Bir yıl sonra Bell sistemleri Chicago'da 2.5 km ve General Telephone da Long Beach'de 9 km boyunca ilk saha testlerini tamamladılar. Bir Siemens AG ve Corning Glass Work ortaklığı olan Siecor Co., New York'da Aralık 1983'te bir telefon firmasına ilk tek modlu (Single Mode) fiber kabloları teslim eden üretici oldu. [5]

Siemens 1976'da Munich'de telefon, televizyon ve görüntülü ses iletimi için halen işletmede olan 2.1 km uzunluğundaki ilk test güzergahının tesisine başladı. Alman federal Posta İşletmesinin ilk optik fiber linki, Siemens tarafından 1977'de Berlin'de tesis edildi. Çok modlu fiberler kullanılarak dünya çapındaki uygulamalara 1978'den itibaren başlanmıştır. AT&T Atlantik Okyanusunun iki yakası arasında iletişim sağlayacak ve 1988'de çalışır duruma gelecek şekilde bir optik projesine imza atmıştır. Zaman içinde çoğunlukla tek modlu fiber optik kullanılarak dünyada 3 milyon km'den fazla kablo tesis edilmiştir. [1,5]

1970'lerin son yılları ile 1980'lerin ilk yıllarında daha iyi optik kabloların üretilmesi ve yüksek kaliteli çok pahalı olmayan ışık kaynaklarının ve dedektörlerin geliştirilmesi, yüksek kaliteli, yüksek kapasiteli ve verimli fiber optik iletişim sistemlerinin geliştirilmesi sağlanmıştır. 1980'lerde fiber optik kabloların kapasiteleri 1Gbps/km iken bu rakam 1990'larda yaklaşık bin katına yani 1000 Gbps/km değerlerine ulaşmıştır. [1,6]

3. OPTİK DALGA KILAVUZU FİZİĞİ

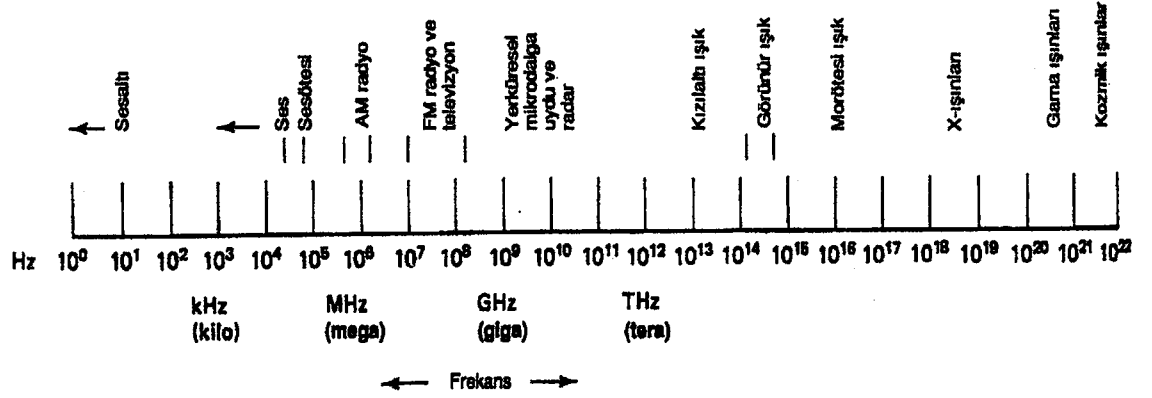
Bu bölümde elektromanyetik spektrum, dalga teorisinin temel esasları, ışığın kırılması, yansımaları, tam iç yansıma, sayısal göstergeler ve ışığın fiber optik bir dalga kılavuzunda yayını hakkında gerekli bilgiler verilecektir.

3.1. Elektromanyetik Spektrum (tayf)

Yüzyıllı aşan bir süredir elektromanyetik dalgaların bilgi iletimi için kullanışlılığı kanıtlanmıştır. Metal bir iletkenin bunların yayını için bir araç gibi kesinlikle gerekmediği geçerli bir konudur. Aksine bu dalgalar, bir boşluk veya bir dielektrik ortam içinde yüksek bir hızla yayılabilirler. Toplam elektromanyetik frekans tayfı Şekil 3.1’de görülmektedir. Frekans tayfının, ses altı frekanslardan (birkaç hertz) kozmik ışınlara (10^{22} Hz) kadar uzandığı görülebilir.[1]

Elektromanyetik frekans tayfı genel olarak 3 bölüme ayrılabilir.

1. Kızılötesi (Infrared) tayf: İnsan gözüyle görülemeyecek kadar uzun dalga boyuna sahiptir.
2. Görülebilir (Visible) tayf: İnsan gözüyle görülebilir.
3. Morötesi (Ultraviolet) tayf: İnsan gözüyle görülemeyecek kadar kısa dalga boyuna sahiptir[12].



Şekil 3.1. Elektromanyetik Frekans Tayfi

Fiber optik sistemlerde kullanılan frekanslar yaklaşık 10^{14} Hz ile 10^{15} Hz aralığında (kızılaltıdan morötesine) uzanır. Bu frekans tayfi insan gözünün gerçek duyarlılığının altında bir frekansla üstünde bir frekans aralığını kapsamalarına karşın, görünür ışık olarak adlandırılır. [1]

Işık gibi yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalarla ilgili hesaplamalar yapılırken, genelde frekansa dayalı birimler yerine dalga boyuna dayalı birimler kullanılır. Işık dalga boyları Şekil 3.2’de görülmektedir. Dalga boyunun uzunluğu ışığın frekans ve hızına bağlıdır ve matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilir. [1]

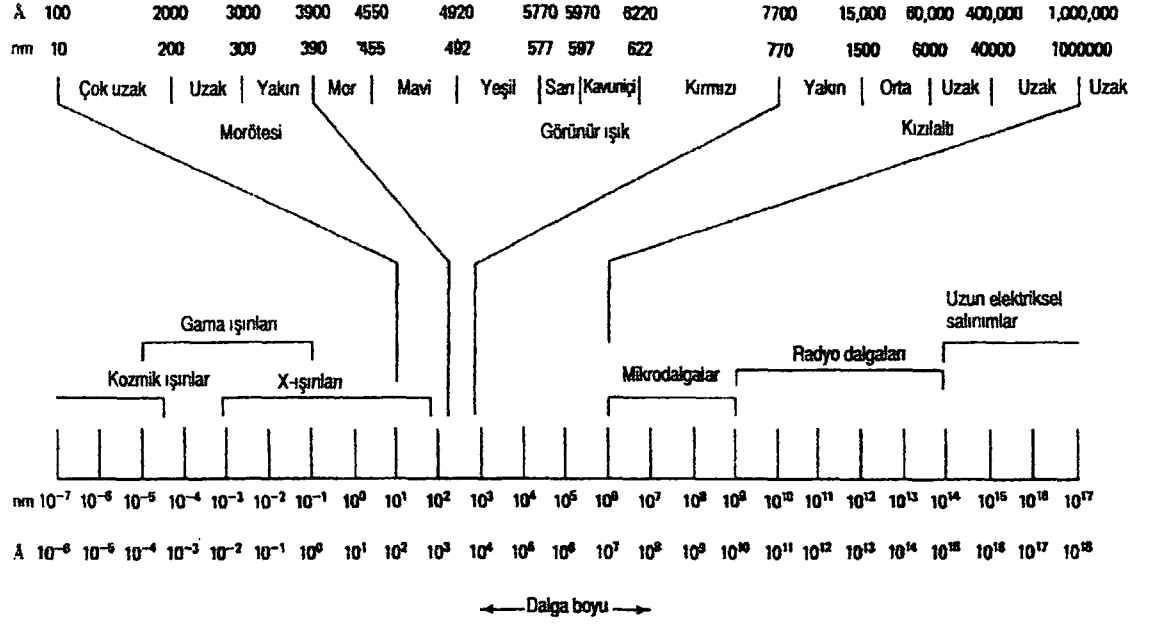
$$\lambda = c/f \quad (3.1)$$

λ : Dalga boyu

c : Işık hızı (300.000.000 m/sn)

f : Frekans

Dalga boyu için nanometre(nm) ve angstrom (Å) olmak üzere yaygın olarak kullanılan iki birim vardır. Bir nanometre 10^{-9} metredir; 1 Angstrom ise 10^{-10} metredir. Dolayısıyla 1 nanometre 10 Angstroma eşittir.[1]



Şekil 3.2. Elektromanyetik Dalga Boyu Tayfı

Görülebilir ışık, yalnız 380 nm'den (menekşe) 780 nm'e kadar dar bir alan teşkil eder. Bu alan ultraviyole radyasyon tarafındaki alçak dalga boyları ile infrared radyasyon tarafındaki yüksek dalga boylarına sınırdaştır. [7]

Optik dalga kılavuzu ile birlikte optik telekomünikasyonda; 850, 1350 ve 1550 nm'lik dalga boyları tercih edilir ve 800-1600 nm. arasındaki dalga boyu alanı kullanılır. Elektromanyetik dalgalar boşlukta $c_0=297.792,458$ km/sn'lik ışık hızıyla yayılırlar. Işığın hava içindeki hızını tanımlamak için $c_0=300.000$ km/sn'lik yuvarlatılmış değer yeterlidir. [8]

3.2. Dalga Teorisinin Temel Esasları

Dalga salınımlı bir harekettir. Bir parçacığın titreşimi, yakındaki parçacıklarda benzeri titreşimlere yol açar. Elektromanyetik dalga, bir elektrik yükünün ivmesinin ürettiği dalgadır. Bir iletken, akım ve gerilimin uzayda hemen yanındaki bölgede her zaman bir elektrik alanı ve bir de manyetik alanı vardır. [1]

Dalgalar, dalga türüne ve yayılım ortamının özelliklerine bağlı olarak farklı hızlarda ilerler. Elektromanyetik dalgaların hızı çok daha fazladır. Boş alanda ışık hızında ilerler. Boşlukta ışık hızında hareket eden bu dalgaların havada hızı biraz daha

düşüktür. Elektromanyetik dalgalar bir iletim hattında ise çok daha yavaş yayılım yaparlar. [1]

Bir elektromanyetik dalga periyodik ve salınımlıdır. Dolayısıyla bu salınımlar, bir frekansla temsil edilebilirler. Periyodik dalganın tekrarlama hızı, onun frekansıdır. Bir çevrimin uzayda kat ettiği uzaklığa dalga boyu denir ve aşağıdaki temel denklemden bulunur. [1,7-9]

$$\lambda = \text{hız} \times \text{zaman} \quad (3.2)$$

ve

$$T=1/f$$

olduğundan,

$$\lambda = v/f$$

olur. Dolayısıyla boşlukta dalganın yayılımı için,

$$v = c$$

dir.

Işık dalgası belli bir ortamda yayılan elektromanyetik bir alandır. En basit sorun, böyle bir dalganın zamanla uzayda olmayan bir fonksiyon yardımıyla tamamlanabilen yayınıdır. Bundan dolayı, Z yönündeki düzlemsel bir dalga yayınının a yer değişiminde aşağıdaki eşitliğe başvurulur. [9-11]

$$a = A \cdot \sin (wt - kz) = A \cdot \sin (t / T - z / \lambda) \quad (3.3)$$

a: Düzlemsel bir dalganın yer değişimi.

A: Yer değişimin genliği, birim cinsinden

t: Zaman (saniye)

w: Açısal Frekans (1/sn)

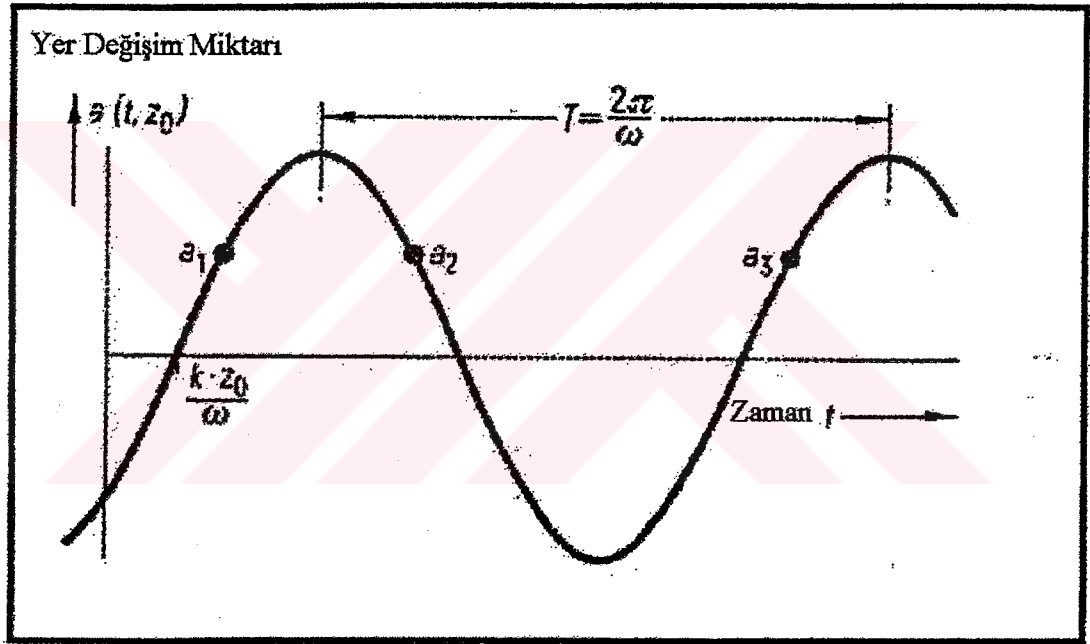
TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

k: Dalga sayısı (1/m)

T: Salınım (osilasyon) periyodu (saniye)

λ : Dalga Boyu (m)

Dalganın A genliği, denge en büyük yer değişimini tanımlamaktadır. Parantez içindeki “ $\omega t - kz$ ” ifadesine faz açısı veya dalga fazı denir. ϕ faz açısı, rad. (radyan) cinsinden tanımlanan dairesel ölçüdür. Daha fazla açıklama için $z = Z_0$ sabit noktasında t zamanının bir fonksiyonu olan düzlemsel bir dalga şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Sabit Bir Z_0 Noktasındaki Harmonik Dalga Düzlemi

a_1 ve a_3 salınım noktalarının aynı salınım fazında oldukları görülebilir. Bunların faz farkı 2π ’ dir. Tersine a_2 noktası aynı yer değişimine sahip olmasına rağmen farklı fazdadır.

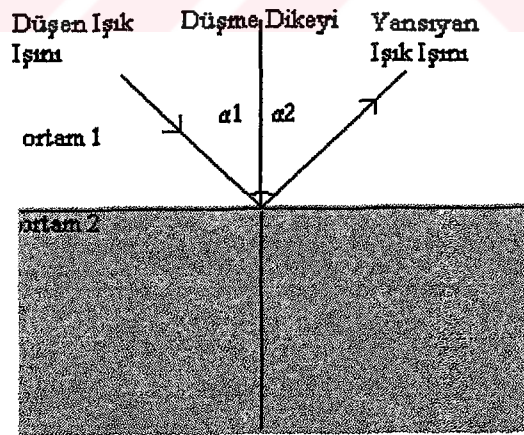
3.3. Işığın Yansıması

Yansımak geri atmak ya da geri dönmek demektir. Gelen bir dalga iki ortamın sınırına çarptığında ve ikinci ortama gelen gücün yalnızca bir kısmı girdiğinde yansıma meydana gelir. İkinci ortama girmeyen dalgalar yansıtılır. Yansıyan dalgaların hepsi birinci ortam içinde kaldığı için, yansıyan ve gelen dalgaların hızları birbirine eşittir. Dolayısıyla kırılma açısı geliş açısına bağlıdır. [1]

Işık, iki ortamın ortak yüzeyine düştüğü zaman bir oranda yansır. Yansıyan ışığın miktarı, düşen ışık ışını ile düşme yüzeyinin düşeyi arasındaki α_1 açısına bağlıdır. Burada ışık ışını, hareket eden ışık enerjisinin yolunu tanımlamak için kullanılmıştır. Yansıyan ışın, α_2 açısı, düşme yüzeyinin düşeyi ile yansıyan ışık ışını için aşağıdakilere başvurulur:

Yansıyan ışık,

- Düşen ışık ışını ile düşme yüzeyi tarafından tanımlanan düzlem içinde kalır,
- Düşme yüzeyi düşeyinin ters tarafı üzerindeki düşen ışına bağlı kalır,
- Düşme düşeyine göre eşdeğer açıdır.



Şekil 3.4. Işığın Yansıması

Yansıyan yüzey düz değilse, yansıyan dalga'nın eğriliği gelen dalga'nın eğriliğinden farklıdır. Gelen dalga'nın dalga cephesi eğri, yansıma yüzeyi düz ise, yansıyan dalga cephesinin eğriliği, gelen dalga cephesinin eğriliği ile aynıdır. [7]

Yansıma yüzeyi düzgün olmadığında veya pürüzlü olduğunda da yansıma meydana gelir. Ancak pürüzlü yüzey dalga cephesinin şeklini tamamen değiştirebilir. Gelen bir dalga cephesi, düzgün olmayan bir yüzeye çarptığında, birçok yönde rasgele yayılarak dağılır. Böyle bir duruma dağınık yansıma denir; buna karşın, hiç pürüzü olmayan bir yüzeyden yansımaya, aynasal yansıma denir. Yarı pürüzlü bir yüzey, yansıyan dalga cephesinin şeklini bütünüyle değiştirmez. Ancak, toplam güçte bir azalma olur. [1]

3.4. Işığın Kırılması

Kırılma; bir ışın , bir ortamdan başka bir ortama eğik olarak ve farklı yayınım hızıyla geçerken, bu ışının yönünde meydana gelen değişikliktir. Dalga'nın yayınım hızı, içinde yayınım yaptığı ortamın yoğunluğuyla ters orantılıdır. Bu nedenle, bir dalga bir ortamdan daha farklı bir ortama geçtiğinde kırılma meydana gelir. Bir ışın az yoğun ortamdan daha yoğun ortama geçerse normale doğru bükülür. Normal, geliş noktasında iki ortam arasındaki sınıra dik olarak çizilen zahiri bir hattır. Bir ışın, yoğun bir ortamdan daha az yoğun bir ortama geçerse normalden uzağa bükülür. Geliş açısı, gelen dalga ile normal arasındaki, kırılma açısı ise kırılmış dalga ile normal arasındaki açıdır. [1,7]

Farklı yoğunluklardaki iki ortamı birbirinden ayıran sınırdaki meydana gelen bükülme ya da kırılma miktarı, büyük ölçüde önceden tahmin edilebilir ve iki ortamın indisine bağlıdır. Bir ortamın kırılma indisi, bir ışık ışınının boş alanda yayınım hızının, bu ortamdaki yayınım hızına oranıdır. Kırılma indisi, matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir. [7]

$$n=c_0/v \quad (3.4)$$

n: Ortamın kırılma indisi

c₀: Işığın boşluktaki hızı

v: Işığın belli bir ortamdaki hızı

Kırılma indisi aynı zamanda frekansın da bir fonksiyonudur. Ancak bir çok uygulamada, kırılma indisinde frekansa bağlı değişim önemsizdir ve dolayısıyla burada ele alınmayacaktır. Bir dalganın, farklı kırılma indisleri olan iki geçirici ortamın sınırına geldiğinde nasıl hareket edeceği, Snell yasası ile açıklanabilir. Snell yasası şunu ifade eder. [1]

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 \quad (3.5)$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

n_1 :Birinci ortamın kırılma indisi

n_2 :İkinci ortamın kırılma indisi

α_1 :Geliş açısı

α_2 :Kırılma açısı

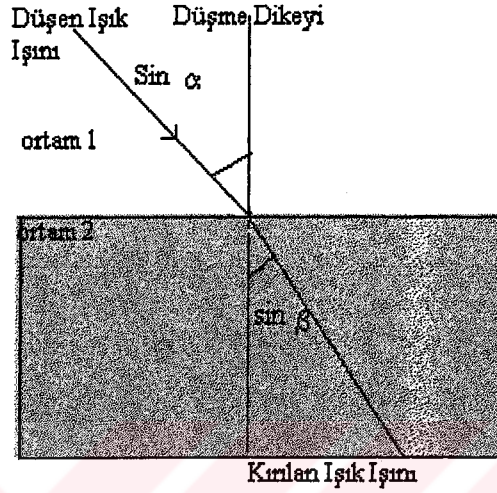
Tablo 3.1. Tipik Kırılma İndisleri

Ortam	Kırılma İndisi
Vakum	1.00
Hava	1.0003
Su	1.33
Etil Alkol	1.36
Eritilmiş Kuvars	1.46
Cam Fiber	1.5-1.9
Elmas	2.0-2.42
Silisyum	3.4
Galyum Arsenit	3.6

Optiksel yoğunluğu az bir ortamdan (örneğin hava) daha yoğun bir ortama (örneğin su bardağı) düşme açısı ile giren bir ışık ışınının yönü β kırılma açısı doğrultusunda eğilir. Eşdeğer özellikli ortamlarda yani bütün doğrultularda özdeş özelliklere sahip bir malzeme veya cisim durumunda Snell'in kırılma kanunu uygulanır. [7]

Düşme açısı α 'nın sinüsü ile β 'nin sinüsüne oranı sabittir ve aynı zamanda ışığın ilk ortamdaki hızı c_1 'in ikinci ortamdaki hızı c_2 'ye oranına eşittir.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} \quad (3.6)$$



Şekil 3.5. Işığın Kırılması

İki saydam ortamdan, ışık hızından daha yavaş geçene yoğun denir. Işığın c_0 hızı ile gittiği boşluktan c hızıyla geçiş yaptığı bir ortam için aşağıdaki eşitlik uygulanır:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_0}{c_2} = n \quad (3.7)$$

Bu orana n kırılma indisi denir. Boşluğun kırılma indisi 1'e eşittir. Kırılma indisleri n_1 ve n_2 ve ışık hızları c_1 ve c_2 olan farklı iki ortam için aşağıdaki eşitlikler uygulanır:

$$c_1 = \frac{c_0}{n_1} \quad (3.8)$$

$$c_2 = \frac{c_0}{n_2} \quad (3.9)$$

3.5.Tam İç Yansıma ve Kritik Açı

Şekil 3.6’da gelen bir ışının, kırılma açısı 90^0 olacak ve kırılan ışın iki ortamın sınırına paralel bir şekilde ilerleyecek bir değere sahip olduğu bir durumu gösterilmektedir (önemli not: ışık ışının daha yüksek kırılma indisine sahip bir ortamdan daha düşük kırılma indisine sahip bir ortama geçtiğine dikkat edin). Ayrıca Snell yasasından;

$$\sin \alpha = \frac{n_2}{n_1} \sin \beta \quad (3.10)$$

$\beta=90$ olduğuna göre,

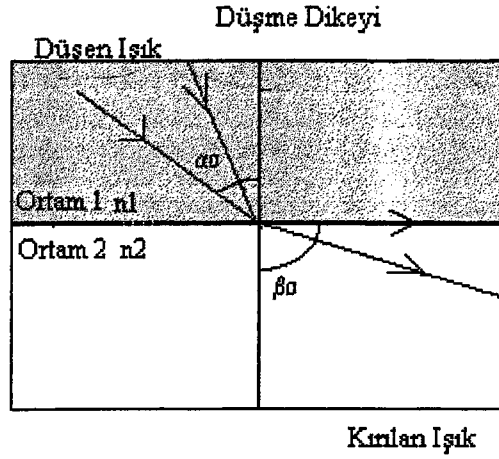
$$\alpha = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

$$\alpha = \alpha_c$$

Burada α_c kritik açı olup bir ışık ışının iki ortamın sınırına çarptığı ve 90 lık yada daha büyük bir kırılmaya uğradığı minimum giriş açısı olarak tanımlanır. Bu tanım yalnızca ışık ışını daha yoğun bir ortamdan daha az yoğun bir ortama geçtiğinde geçerli olur.

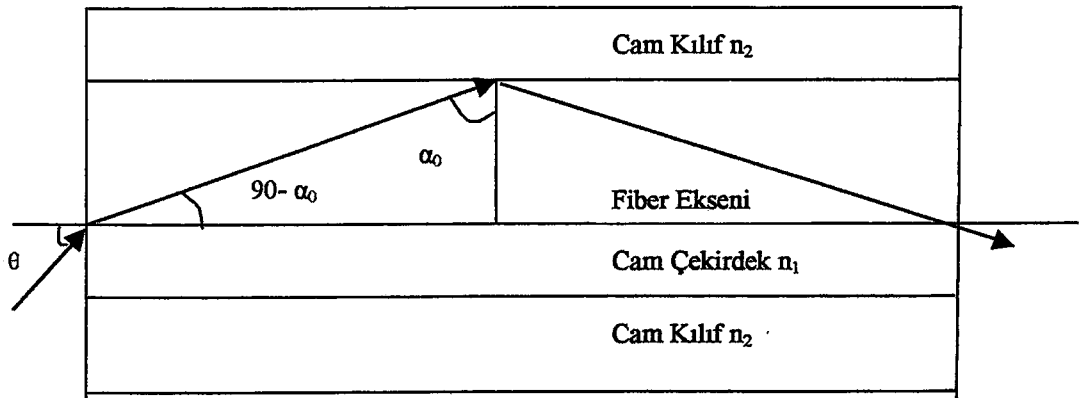
Kırılma açısı 90^0 yada 90^0 den daha fazla ise, ışık ışınının daha az yoğun ortama girmesi olanaksız olur. Dolayısıyla iki ortamın sınırında tam yansıma gerçekleşir ve yansıma açısı geliş açısına eşit olur. [1]



Şekil 3.6. Tam İç Yansımaya

3.6. Sayısal Gösterge

Tam iç yansımaya, ortasında n_1 kırılma indisli cam çekirdek ile bunun etrafındaki n_2 kırılma indisli cam kaplama bulunan ve n_1 'in n_2 'den daha yüksek olduğu dalga kılavuzuna sahip optik dalga kılavuzlarında kullanılır. $\sin \alpha_0 = n_2/n_1$ olduğundan dolayı, fiber eksenine $(90^\circ - \alpha_0)$ 'lık açıdan daha fazla olmayan bütün ışınlar cam çekirdek içinin kılavuzunu izleyeceklerdir.



Şekil 3.7. Bir Optik Dalga Kılavuzu İçinde Işığın Yol Alması

Işığın cam çekirdeğe doğru dışarıdan girişini başlatmak için ($n_0 = 1$ kırılma indisli hava) ışık ışını ile fiber apsisi arasındaki başlama açısı kırılma kanununa göre tanımlanabilir.

$$\frac{\sin \theta}{\sin \alpha_0} = \frac{n_1}{n_2} \quad (3.11)$$

$$\sin \theta = \frac{n_1}{n_2} \cos \alpha_0 \quad (3.12)$$

$$\sin \theta = \frac{n_1}{n_2} \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_0} \quad (3.13)$$

$$\sin \theta = \frac{n_1}{n_2} \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}} \quad (3.14)$$

$$\sin \theta = \sqrt{\frac{n_1^2}{n_2^2} - 1} \quad (3.15)$$

$$\sin \theta = \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_2^2}} \quad (3.16)$$

$$\sin \theta = \frac{1}{n_2} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3.17)$$

Mümkün olan en büyük giriş başlama açısı $\theta_{\max}$ 'a optik fiberin kabul açısı denir. Bu, yalnız n_1 ve n_2 kırılma indislerine bağlıdır. Kabul açısının sinüsüne, optik fiberin sayısal göstergesi NA (numerical aperture) denir.

$$NA = \sin \theta_{\max} \quad (3.18)$$

Bu büyüklük ışığın optik fibere girişini başlatma işlemi için büyük önem taşır.

3.7. Işığın Fiber Optik Dalga Kılavuzunda Yayınlmı

Optikle ilgili kuramlar, ışığın optik bir fiberin cam çekirdeği ile cam kaplaması arasındaki iç yüzeyinde oluşan tam iç yansımanın tanımına olanak vermektedir. Işık

ışınının lineer şeklinde yayıldığı bir varsayımdır. Işığın cam çekirdek içindeki yayılmasının çeşitli olanaklarını yakından incelemek için tipik dalga optiği olayının dikkate alınması gerekir. Bu, özellikle fiber çekirdek çapının $10\ \mu\text{m}$ kademesinde iken gerekliliğini kanıtlar ve bundan dolayı ışık dalga boyundan sadece bir miktarına yaklaşık $1\ \mu\text{m}$ ’lik çekirdek içinde kılavuzluk edilir. Böylece meydana gelen karışım modelleri dalga optiği yardımıyla açıklanabilir.

İki veya daha fazla dalganın üst üste gelerek bunların bir tek dalgada birleşmesine genellikle “interference / karışım” denmektedir. İki dalganın karışımından net bir model, yalnız iki dalganın aynı dalga boyunda ve her hangi bir zamanda birinin diğerine farklı bir faz katsayısına sahip bulundukları zaman elde edilebilir. Böyle dalgalara yapışık dalga denir. İki dalga uzayın belli bir noktasında kendi dalga boyları λ ’nın tam katları olan faz farkıyla buluşuyorsa bir genlik ilavesi, buna karşılık yarım dalga boyu $\lambda/2$ katlarında olan bir faz farkında buluşuyorsa eksilme meydana gelir. Eş değer fazda iki dalga durumunda dalgalar yok edicidir.

Işıkları üst üste gelen normal iki ışık kaynağı (örneğin; ampuller) kullanıldığı zaman bu ışıkların, birbirlerine bağlantısız olmaları nedeniyle karışım gözlemlenmeyebilir. Bu ışığın akkor halindeki gövde (ampul içindeki flaman) tarafından yayınlanma yöntemindendir. Flamanın ayrık atomları, rasgele zamanlarda kendi kendine aniden (yani yaklaşık 10^{-8} sn.’lik bir sürede) kısa dalga grupları ışık yayarlar. Işığın hava içindeki 3×10^8 m/sn’lik hızında, bu dalga grupları yaklaşık 3 m uzunluğundadır. Bu uzunluğa bağlantılı mesafe denir. Üst üste gelen 3 m. uzunluğundaki dalga grupları, odayı tamamen rasgele ve önemsiz şekilde aydınlatır.

Işığın optik dalga kılavuzu içindeki nakli için daha yüksek bağlantılı bir ışık kaynağı bulunması gerekir. Işın yayıcı cihazın ışık dağılım (spectral) genişliği, mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Işık yayan ve 40 nm’den büyük ışık dağılım genişliği bulunan diyotların tersine, uyarılmış ışık yayan lazerler, bir dalga boyunda sabit bir faz farkının korunmasına olanak verirler. Bundan dolayı, optik bir dalga kılavuzu içinde ancak belirli açılar altında, cam çekirdeğinde yayınlanan ışıkla görülerek tanınabilen karışım olayı meydana gelir. Bu olay belirli karmaşık ışık dalgalarının üst üste gelmesinden dolayı güçlenmesi ve bu nedenle yapısal karışım gösteren yönlerde yayınlanması anlamına gelir. [1,4,5-12]

4. FİBER OPTİK İLETİŞİM SİSTEMİ

Temel olarak bir iletişim sistemi verici, alıcı ve iletim ortamından oluşur. Fiber optik iletişim sistemi elektrikli sinyalleri ışık sinyallerine dönüştüren bir verici, ortam olarak ışık sinyallerine kılavuzluk eden optik fiber kablo ve ışık sinyallerini elektrik sinyallere dönüştüren bir alıcıdan oluşmaktadır. [1,5-13]

Bir fiber optik iletişim sisteminde en önemli parametrelerden biri yayılma modudur. Bu anlamda fiber optik iletişim sisteminin ayrıntıları aşağıdaki gibi verilebilir.

4.1. Donanımı

Fiber optik iletişim sisteminin üç temel ögesi vardır. Bunlar verici, alıcı ve fiber kılavuzudur. Verici analog ya da sayısal bir arabirim, bir gerilim-akım dönüştürücüsü, bir ışık kaynağı ve bir kaynaktan-fibere ışık bağlayıcısından oluşur. Fiber kılavuz, ya aşırı saf cam ya da plastik bir kablodur. Alıcı ise bir fiberden ışık dedektörüne bağlaşım aygıtı bir foto dedektör bir akım-gerilim dönüştürücü, bir yükselteç ve analog ya da sayısal bir arabirimden oluşur. [5-8]

Fiber optik bir vericide ışık kaynağı sayısal ya da analog bir sinyal tarafından modüle edilebilir. Analog modülasyonda, giriş ara birimi empedansları eşler ve giriş sinyal genliğini sınırlar. Sayısal modülasyonda, başlangıçtaki kaynak zaten sayısal biçimde olabilir. Eğer kaynak bilgi sayısal değil de analog biçimde ise, sayısal darbe akışına dönüştürülmesi gerekir. Kaynak bilgi analog olduğunda arabirimde ek olarak bir analog/sayısal dönüştürücü bulunmalıdır.[1]

Gerilim-akım dönüştürücüsü, giriş devreleri ile ışık kaynağı arasında elektriksel bir ara birim vazifesi görür. Işık kaynağı, ya ışık yayan bir diyot (LED) ya da enjeksiyon lazer diyodudur (ILD). Bir LED ya da bir ILD tarafından yayılan ışık miktarı, sürme akımının miktarına eşittir. Gerilim-akım dönüştürücüsü, bir giriş sinyal gerilimini, ışık kaynağını sürmede kullanılan bir akıma dönüştürür. [1,7-13]

Kaynaktan fibere bağlayıcı, mekanik bir ara birimdir. İşlevi, kaynaktan yayılan ışığı fiber optik kabloya bağlamaktır. Fiber optik, cam yada plastik fiber çekirdekten, bir koruyucu zarftan ve bir koruyucu kılıftan oluşmaktadır. Fiberden ışık dedektörüne bağlaşım aygıtı da mekanik bir bağlayıcıdır. Bu aygıtın işlevi, fiber kablodan mümkün olduğunca çok ışığı ışık dedektörüne bağlamaktır. [1]

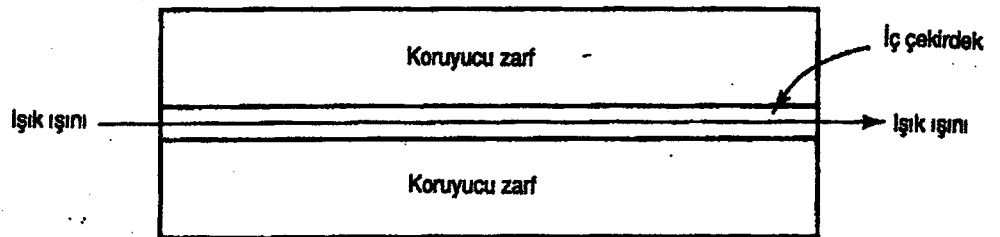
Işık detektörü çoğunlukla bir diyottur ve bu diyotlar ışık enerjisini akıma dönüştürür. Dolayısıyla, bir akım-gerilim dönüştürücüsü gereklidir. Akım-gerilim dönüştürücüsü, dedektör akımındaki değişiklikleri çıkış sinyal gerilimindeki değişikliklere dönüştürür. [8]

Alıcının temel amacı sistemin tasarlanan performansını gerçekleştirmektir. Sistemin performansı ise dijital sistemlerde bit hata oranına, analog sistemlerde ise sinyal gürültü oranına bağlıdır. [8]

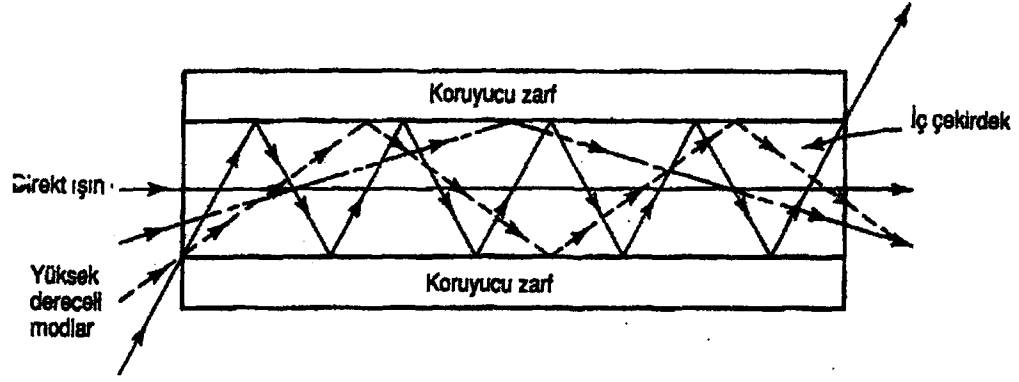
Alıcı çıkışındaki analog yada sayısal ara birimde elektriksel bir ara birimdir. Eğer analog modülasyon kullanılıyorsa, ara birim empedansları ve sinyal düzeylerini çıkış devreleri ile eşler. Eğer sayısal modülasyon kullanılıyorsa, ara birimde birde sayısal-analog dönüştürücü bulunmalıdır. [13]

4.2. Fiber Optik Yayınım Modu

Işık, fiber optik bir kabloda ya yansıma ya da kırılma yoluyla yayınım yapabilir. Işığın nasıl yayınım yaptığı, yayınım moduna ve fiberin indeks moduna bağlıdır. Fiber optik teknolojisinde mod sözcüğü yol anlamına gelir. Eğer ışığın kabloda alacağı tek bir yol varsa buna tek modlu yayınım denir. Eğer birden çok yol varsa, buna çok modlu yayınım denir. [1,7-12]



Şekil 4.1. Tek Modlu Yayınım



Şekil 4.2. Çok Modlu Yayınım

4.3. Fiber Optik İndeks Profili

Bir fiber optiğin indeks profili, çekirdeğin kırılma indisinin grafiksel bir temsilidir. Kırılma indisi yatay eksen üzerine; çekirdek ekseninden radyal uzaklık ise düşey eksen üzerine çizilir.

Kademe ve dereceli olmak üzere iki temel indeks profil türü vardır. Kademe indeksli bir fiber, sabit kırılma indisli merkezi bir çekirdeğe sahiptir. Çekirdeğin çevresi, sabit ve merkezi çekirdeğin kırılma indisinden daha düşük bir kırılma indisine sahip harici bir koruyucu zarfla sarılmıştır. Dereceli indeksli fiberde koruyucu zarf yoktur ve çekirdeğin kırılma indisi sabit değildir; kırılma indisi, merkezde en yüksek değerlidir ve dış kenara doğru yavaş yavaş azalır. [1,7,8]

4.4. Fiber Optik Türleri

Fiber optik türleri temel olarak günümüzde üçe ayrılır. Bu üç fiber optik türü de camdan, plastikten yada cam ile plastiğin bileşiminden yapılır. Bu üç fiber optik çeşidi şunlardır:

1. Plastik çekirdekli, plastik koruyucu zarflı
2. Cam çekirdekli, plastik koruyucu zarflı (çoğunlukla PCS fiber denir: plastik koruyucu zarflı silika)

3. Cam çekirdekli cam koruyucu zarflı (çoğunlukla SCS denir: silika koruyucu zarflı silika). [8-13]

Halen Bell laboratuvarları, silikat olmayan bir maddenin, çinko kloritin kullanıldığı dördüncü bir çeşidin kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmaktadır. Yapılan ilk deneyler bu maddeden yapılmış fiberlerin, cam (silika bazlı) benzerlerinden 1000 kat daha verimli olacağını göstermiştir. [1]

Plastik fiberlerin cam fiberlere oranla çeşitli avantajları vardır. Birincisi, plastik fiberler daha esnektir ve bu nedenle camdan daha dayanıklıdır. Monte edilmeleri daha kolaydır, basınca daha dayanıklı ve daha ucuzdurlar. Üstelik cama oranla yaklaşık % 60 daha hafiftirler. Plastik fiberlerin dezavantajları yüksek zayıflama özellikleridir; ışığı cam kadar verimli yayamazlar. Dolayısıyla, plastik fiberlerin kullanımı nispeten kısa mesafelerle (örneğin tek bir bina ya da bir bina kompleksi dahili) sınırlıdır. [11-14]

Cam çekirdekli fiberler düşük zayıflama özellikleri sergilerler. Ancak, PCS fiberler SCS fiberlerden biraz daha iyidir. Ayrıca PCS fiberler yayılımdan daha az etkilenirler; dolayısıyla, askeri uygulamalar açısından daha caziptirler. SCS fiberler en iyi yayılım özelliklerine sahiptir ve sonlandırılmaları PCS fiberlere oranla daha kolaydır. Ne yazık ki, SCS kablolar en dayanıksız kablolardır ve yayılıma maruz kaldıklarında en fazla zayıflama bu kablolarda meydana gelir. [1,8,15]

Belli bir uygulama için bir fiberin seçimi, sistem gerekliliklerine bağlıdır. Seçim söz konusu uygulamanın ekonomik ve lojistik şartlarına bağlı olarak yapılır.

4.5. Fiber Optik Düzenlemeleri

Temel olarak üç tür fiber optik düzenlemesi vardır. [1]

1. Tek modlu kademe indeksli fiber optikler
2. Çok modlu kademe indeksli fiber optikler
3. Çok modlu dereceli indeksli fiber optikler

4.5.1. Tek Modlu Kademe İndeksli Fiber Optikler

Tek modlu kademe indeksli fiber, yeterince küçük merkezi çekirdeğe sahiptir; öyle ki, temel olarak ışığın kabloda yayılım yaparken izleyebileceği tek bir yol vardır. En basit tek modlu kademe indeksli fiber biçiminde, dıştaki koruyucu zarf havadır. Cam çekirdeğin kırılma indisi yaklaşık 1.5 tir. Hava koruyucu zarfının kırılma indisi ise 1 dir. Kırılma indislerindeki büyük fark, cam/hava sınırında küçük bir kritik açı (42°) oluşturur. Dolayısıyla fiber, geniş bir açıklıktan gelen ışığı kabul eder. Buda, ışığı kaynaktan kabloya bağlamayı nispeten kolay hale getirir. Ancak bu tür fiber, tipik olarak çok zayıftır ve pratikte bu fiberin kullanımı sınırlıdır. [1,10-13]

Tek modlu kademe indeksli fiberin daha kullanışlı bir türü, koruyucu zarf olarak hava yerine başka bir malzemenin kullanıldığı türdür. Koruyucu zarfın kırılma indisi merkezi çekirdeğin kırılma indisinden biraz daha azdır ve koruyucu zarf boyunca sabittir. Bu tür kablo, fiziksel olarak hava koruyucu zarflı kablodan daha güçlüdür, ancak kritik açısı da çok daha yüksektir (yaklaşık 77°). Kritik açının bu kadar yüksek olması, kabul açısının küçük, kaynak-fiber açıklığının ise dar olmasına yol açarak ışığı ışık kaynağından fibere bağlamayı güçleştirir. [1]

Her iki tür tek modlu kademe indeksli fiberde de, ışık fiberde yansıma yoluyla yayılım yapar. Fibere giren ışık ışınları, çekirdekte doğrudan yayılım yaparlar yada belki bir kez yansır. Dolayısıyla bütün ışık ışınları kabloda aynı yolu izler ve kablounun bir ucundan diğer ucuna olan mesafeyi yaklaşık aynı sürede kat ederler. Bu, tek modlu kademe indeksli fiberlerin çok önemli avantajlarından biridir. [7-8]

4.5.1.1. Tek Modlu Kademe İndeksli Fiber Optiklerin Avantajları

1. Minimum ayırma söz konusudur. Fiberde yayılım yapan bütün ışınlar yaklaşık aynı yolu izledikleri için, kabloyu yaklaşık aynı sürede kat ederler. Dolayısıyla kabloya giren bir ışık darbesi, alma ucunda başlangıçtakine çok yakın bir biçimde tekrar oluşturulabilir.
2. Gönderilen darbeler alma ucunda yüksek bir doğrulukla tekrar oluşturulabildiği için, öteki tür fiberlere oranla tek modlu kademe indeksli fiberlerde daha geniş bant genişlikleri ve daha yüksek bilgi iletim hızları mümkündür.

4.5.1.2. Tek Modlu Kademe İndeksli Fiber Optiklerin Dezavantajları

1. Merkezi çekirdek çok küçük olduğu için, ışığı kaynaktan bu tür fibere ve fiberden ışık dedektörüne bağlamak güçtür. Kaynak fiber açıklığı en küçük olan fiber türü budur.
2. Yine küçük merkezi çekirdeği nedeniyle, ışığı tek modlu kademe indeksli fibere bağlamak için lazer gibi oldukça güçlü bir ışık kaynağı gerekmektedir.
3. Tek modlu kademe indeksli fiberler pahalıdır ve imal edilmeleri zordur.

4.5.2. Çok Modlu Kademe İndeksli Fiber Optikler

Çok modlu kademe indeksli düzenleme, tek modlu düzenlemeye benzer; aradaki fark, merkezi çekirdeğin çok daha geniş olmasıdır. Bu fiber türü, daha geniş bir ışık-fiber açıklığına sahiptir, dolayısıyla kabloya daha çok ışık girmesine imkan verir. Çekirdek/koruyucu zarf arasındaki sınıra kritik açıdan daha büyük bir açıyla çarpan ışık ışınları, çekirdekte zikzak şeklinde yayılım yapar ve sürekli olarak sınırdan yansır. [1]

Çekirdek/koruyucu zarf sınıra kritik açıdan daha küçük bir açıyla çarpan ışık ışınları koruyucu zarfa girer ve yok olurlar. Fiberde yayılım yaparken, bir ışık ışınının izleyebileceği çok sayıda yol olduğu görülebilir. Bunun sonucu olarak, bütün ışık ışınları aynı yolu izlemez, dolayısıyla fiberin bir ucundan diğer ucuna olan mesafeyi aynı zaman süresi içinde kat etmezler. [8]

4.5.2.1. Çok Modlu Kademe İndeksli Fiber Optiklerin Avantajları

Çok modlu kademe indeksli fiberlerin başlıca iki tür avantajı vardır. [1]

1. Çok modlu kademe indeksli fiberler ucuzdur ve imal edilmeleri kolaydır.
2. Işığı çok modlu kademe indeksli fiberlere ve bu fiberlerden ışık dedektörüne bağlamak kolaydır, bu fiberlerin nispeten geniş kaynak fiber açıklıkları vardır.

4.5.2.2. Çok Modlu Kademe İndeksli Fiber Optiklerin Dezavantajları

Bu dezavantajlar aşağıdaki gibi verilebilir.

1. Işık ışınları fiberde çok farklı yollar izler; bu da yayılım süreleri arasında büyük farklılıklara neden olur. Bu nedenle, bu tür fiberlerde ilerleyen ışınlar dağılarak yayılma eğilimi gösterirler. Dolayısıyla, çok modlu kademe indeksli bir fiberde yayılım yapan bir ışık darbesi, öteki tür fiberlerde olduğundan daha fazla bozulmaya uğrar. [7]
2. Bu tür kabloda bant genişliği ile bilgi aktarım hızı, öteki tür fiberlere oranla daha azdır. [7-12]

4.5.3. Çok Modlu Dereceli İndeksli Fiber Optikler

Çok modlu dereceli indeksli fiberin belirleyici özelliği, sabit olmayan kırılma indisli merkezi çekirdeğidir; kırılma indisi, merkezde maksimumdur ve dış kenara doğru tedrici olarak azalır. Işık bu tür fiberde kırılma aracılığıyla yayılır. Bir ışık ışını, çekirdek boyunca diyagonal olarak yayılım yaparken, sürekli olarak daha az yoğun ortamdan daha yoğun ortama geçer. Dolayısıyla, ışık ışınları devamlı kırılırlar ve sürekli olarak bükülürler. [4-12]

Çok modlu fiberde ışık fibere çok farklı açılardan gelir. Işık ışınları fiberde yayılım yaparken, fiberin dış bölgesinde ilerleyen ışık ışınları, merkeze yakın ilerleyen ışıklardan daha fazla mesafe kat ederler. Kırılma indisi merkezden uzaklaştıkça azaldığı ve ışığın hızı kırılma indisi ile ters orantılı olduğu için, merkezden uzakta ilerleyen ışık ışınları, daha yüksek bir hızda yayılım yapar. Dolayısıyla ışınlar, fiberin bir ucundan diğer ucuna olan mesafeyi yaklaşık aynı sürede kat eder. [4-12]

4.5.3.1. Çok Modlu Dereceli İndeksli Fiber Optiklerin Avantajları Ve Dezavantajları

Temel olarak, bu tür fiberin çok önemli avantajları yada dezavantajları yoktur. Çok modlu dereceli indeksli fiberlerde ışığı kaynaktan fibere ve fiberden varış yerine bağlamak, tek modlu kademe indeksli fiberlerden daha kolay, ancak çok modlu kademe indeksli fiberlerden daha zordur. [4-12]

Çok sayıda yayılım yolunun olmasının neden olduğu bozulma, tek modlu kademe indeksli fiberlerden daha fazla, ancak çok modlu kademe indeksli fiberlerden daha azdır. Dereceli indeksli fiberlerin imalatı, tek modlu kademe indeksli fiberlerden daha kolay, ancak çok modlu kademe indeksli fiberlerden daha zordur. Çok modlu dereceli indeksli fiberler, öteki fiber türlerine kıyasla bir ara fiber türü olarak değerlendirilir. [4-12]

4.5.4. Tek Modlu ve Çok Modlu Fiberlerin Karşılaştırılması

Tablo 4.1’de tek modlu ve çok modlu fiberlerin karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 4.1. Tek ve Çok Modlu Fiberlerin Karşılaştırılması

	Tek Modlu	Çok Modlu Kademeli	Çok Modlu Dereceli
Çapı	<0.01mm	> 0.1mm	≈0.05 mm
Kırılma İndeksi	Kademeli	Kademeli	Dereceli
Dağılıma	Düşük	Yüksek	Orta
Üretim Maliyeti	Yüksek	Düşük	Yüksek
İletim Kapasitesi	100-1000 Gbps/km	500 Mbps/km	5 Gbps/km

4.6. Fiber Optik Sistemin Işık Kaynakları

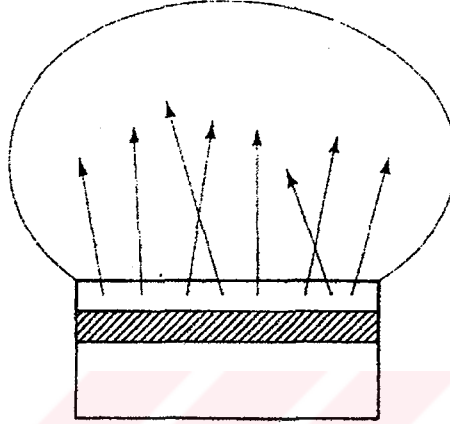
Temel olarak fiber optik iletişim sistemlerinde ışık üretmede yaygın olarak kullanılan iki aygıt vardır: Işık yayan diyotlar(LED’ler) ve enjeksiyon lazerli diyotlar (ILD’ler). Her iki aygıtında avantajları ve dezavantajları vardır ve birine oranla öteki aygıtın seçilmesi, sistemin gerekliliklerine bağlı olarak yapılır. LED’ler düşük data iletimi (<200Mb/s) ve kısa mesafe uygulamalarda kullanılırken lazerler yüksek data iletimi ve uzun mesafe uygulamalarında kullanılır. [8]

4.6.1. Işık Yayan Diyotlar (LED)

**TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Temel olarak ışık yayan diyot (LED) yalnızca bir P-N eklem diyotudur. Çoğunlukla yarı iletken bir malzemeden yapılır. LED’ler ışığı doğal emisyonla yayarlar; ışık, elektronlar ile deliklerin yeniden birleşiminin bir sonucu olarak yayılır. Diyot ileri

öngerilimli olduğunda p-n eklemi üzerinde azınlık taşıyıcıları meydana gelir. Azınlık taşıyıcıları ekleme, çoğunluk taşıyıcıları ile yeniden birleşip enerjiyi ışık şeklinde verirler. Bu süreç, temel olarak klasik bir diyottaki süreç ile aynıdır; aradaki fark şudur: LED’lerde belli yarı iletken malzemeler ve katkılama maddeleri, süreç ışıma yapacak (foton üretecek) şekilde seçilir. [5-12]



Şekil 4.3. LED Yayılım Paterni

Foton, elektromanyetik dalga enerjisinin bir nicemidir. Fotonlar ışık hızında ilerleyen parçacıklardır. Ancak durağan halde kütleleri yoktur. Klasik yarı iletken diyotlarda süreç temel olarak ışıma yapmaz ve foton üretimi olmaz. Bir LED imal etmek için kullanılan malzeme enerji aralığı, LED’den yayılan ışının görünür ışık olup olmadığını ve ışığın rengini belirler. [1]

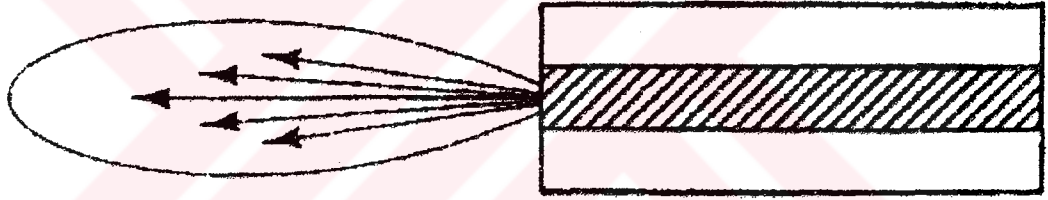
4.6.2. Enjeksiyon Lazerli Diyot (ILD)

Lazer kelimesi, “uyarılmış yayılım emisyonu tarafından ışığın yükseltilmesi” ingilizce “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” sözcüklerinin ilk harflerinden oluşturulmuş bir kısaltmadır. Lazerler, gazlar, sıvılar ve katı maddelerde dahil olmak üzere çok farklı maddelerden yapılır. Ancak fiber optik iletişimde en sık kullanılan lazer türü yarı iletken lazerdir. Yarı iletken enjeksiyon lazer 1962 yılında keşfedilmiş olup 1970 ve 1980’lerde süratli bir şekilde gelişme kaydetmiştir. [10-16]

Enjeksiyon lazerli diyot (ILD) LED' e benzer. Aslında, belli bir eşik akımının altında ILD LED gibi davranır. ILD'nin yapımı LED'in yapımına benzer; aradaki fark, ILD'de uçların oldukça pürüzsüz olmasıdır. Aynayı andıran uçlar fotonları etkin bölgede yakalar ve fotonlar, uçlar arasında ileri geri yansırken, serbest elektronları deliklerle normalden daha yüksek bir enerji düzeyinde birleşmesi için uyarır. Bu sürece Leyzing denir. [1]

ILD'lerin daha yönlü bir yayılım paterni olduğu için, bu diyotların ışığını optik fibere bağlamak daha kolaydır. Bağlaşım kolaylığı, bağlaşım kayıplarını azaltır ve daha küçük fiberlerin kullanılmasına olanak sağlar. [13-17]

ILD'nin emisyon çıkış gücü, LED'in emisyon çıkış gücünden daha büyüktür. ILD'nin tipik çıkış gücü 5 mW , LED'lerin çıkış gücü ise 0.5 mW'dir. ILD'ler daha yüksek bir sürme gücü sağladığından, uzak mesafelere iletişim gerçekleştiren sistemlerde ILD'ler kullanılır. [1]



Sekil 4.4. ILD Yayılım Paterni

ILD'ler LED'lere oranla daha yüksek bit iletim hızlarında kullanılabilirler. ILD'ler monokrom ışık üretirler; buda kromatik ayrılmayı yada dalga boyu ayrılmasını azaltır.

ILD'lerin yukarıdaki avantajlarının yanında bir kısım dezavantajları da vardır. ILD'ler tipik olarak LED'lerden 10 kat daha pahalıdır. ILD'ler daha yüksek güçlerde çalıştığı için tipik olarak LED'lerden çok daha kısa ömürlüdür. Ayrıca ILD'lerin sıcaklık bağımlılığı LED'lere oranla daha fazladır. [1]

5. OPTİK FİBER PARAMETRELERİ VE ÖLÇÜM METOTLARI

Fiber optik kabloların kalitesi, saptanmış standart ölçüm metotları kullanılarak test edilir. Optik fiber kablonun parametreleri ile optik ölçüm metotları için gerekli standartlar hazırlanmıştır. Avrupa düzeyinde CELENEC Elektronik Elemanlar Komitesinin (CECC) 28. Çalışma Grubu, ve uluslararası düzeyde Uluslararası Elektroteknik Komisyonun (IEC) 86. Teknik komitesi bu standartlardan sorumludur. [9-13]

5.1. Giriş Şartları

Çok modlu fiberlerde giren ışık pulsları gücünün ayrı modlar üzerinde dağılmış olmaları nedeniyle, ışığın fiber içine giriş prosedüründe, ışık gücü ilave dağılımı çok önemlidir. Tek modlu fiber durumunda, ışık kısmen temel moda giriş yapar ve kısmen de yayılır. Giriş şartlarına bağlı olarak ışık tek veya çok modlu fiberlere girdiği zaman modlar, ışık gücüne farklı kılavuzluk edecektir. [9-13]

5.1.1. Çok Modlu Fiberler

Çok modlu fiber optik kablolarda ışık aynı anda birden çok yolda ilerler. Değişik yollardaki enerji değişik hızlarda ilerler. Çok modlu fiber optikler tek modlu fiber optiklere oranla daha dar bant genişliği kullanır daha kısa mesafe ve daha düşük data iletim sistemlerinde kullanılır. [8]

Işık optik fiber çekirdeğinin bütününe tam akışla girdiği sürece, bütün yüksek ve alçak sıralı modlarla sızıntı modlarının kılavuzluğunu harekete geçirir. Bu modların optik fiber boyunca değişik zayıflamaya sahip olmaları nedeniyle ve mod karışımına neden olduklarından, ölçülecek fiber uzunluğuna bağlı modların ışık gücü ile gecikme zamanının farklı bir dağılımına enerji transferi kolaydır. Çok modlu fiberin ucundaki şartlar bundan dolayı başlangıçtaki giriş şartlarına oldukça ayrı bir tam akış

veya tam olmayan bir akışla giriş ve yol boyunca olan mod karışımına bağlıdır. [9-13,17]

Çok modlu fiberler için ışık girişini tanımlayan ve karmaşık olmayan metot özellikle önemlidir. Bu metot, en önemli iletim parametreleri için tam ve yeni bir sonuç çıkarabilir ölçüm metotlarıdır. Bu amaç için esas öneri, durağan durumundaki mod karışımının derecesine bağlı olmak veya modlar üzerinde sabit kalan enerji dağılımının dışında çok modlu fiberle belirli bir uzunluktan sonra dengeli mod dağılımına ulaşmaktır.

Bundan dolayı optik fiber boyunca bu durağan konumdaki iletim parametrelerini ölçmek özellikle cazip olmalıdır. Bu duruma ulaşmak için değişik teknik metotları vardır. Bu olanak test altındaki optik fibere ışık girişi için denge durumlu dağıtım önceden ulaşmış olan yeteri uzunlukta bir taklit fiber kullanmaktır. Dengeli mod dağılımının yalnız çok büyük bir uzunluktan sonra meydana gelmesi nedeniyle bu taklit fiberler elverişsiz uzunlukta olacaktırlar. [10-13]

Bu durumdan, içinde istatistiksel olarak düzensiz mekanik kargaşa meydana gelen ve güçlü mod karışımı olan daha kısa uzunlukta bir optik fiber kullanılarak ve bu optik fiber parçasındaki dengeli mod dağılımına yaklaşmak suretiyle kaçınılabilir. Buna mod karıştırıcısı denir. Bu amaçla, uzunluğu kısa bir optik fiber pürüzlü bir yüzey karşısında (örneğin zımpara, eye) preslenir veya küçük bilyalar etrafında bükülür. Dereceli indis profilli bir fibere eklenmiş kademe indis profilli bir optik fiber 1 ila 2 m uzunluğundaki her parçası ekli kademe indis profilli bir optik fibere eklendiği zaman şiddetli bir mod bileşimi meydana gelir. Yüksek sıralı modlar harekete geçişte bastırılıyorlar ise bir mod filtresi kullanılır. [9-13]

Bu mekaniksel metotlara ek olarak, dengeli bir mod dağılımına ulaşmak için sık sık optiksel yardımcılar da kullanılır.

5.1.2. Tek Modlu Fiberler

Tek modlu fiber optik kablolar ışığın tek bir yoldan ilerlemesine izin verir. Çok modlu fiber optik kablolar da ışığın birden çok yol kullanmasından kaynaklanan dağılmalar tek modlu fiberlerde görülmez. Tek modlu fiber optik kablolar çok modlu

fiber optik kablolarla göre daha büyük bant genişlikleri gerektirir daha uzun ve daha yüksek data iletim sistemlerinde kullanılır. [8]

Tek modlu bir fiber içinde doğru tam akışlı hareketlenme sırasında kaplama metotları meydana gelir. Ancak kullanılan kaplamanın, birkaç santimetre sıyrıldığı zaman, cam kaplamadan daha büyük bir kırılma indisine sahip olduğu görülür. Bu kaplama, bir mod sıyrıcısı gibi hareket eder. [15-18]

5.2. Fiber Optiklerde Zayıflama

Fiber optik kablolarla iletim kayıpları, fiberin en önemli özelliklerinden biridir. Fiberdeki kayıplar, ışık gücünde bir azalmaya neden olur ve böylece sistem bant genişliğini, bilgi iletim hızını, verimliliği ve sistemin genel kapasitesini azaltır. Başlıca fiber kayıpları aşağıdadır. [4-19]

1. Soğurma kayıpları
2. Malzeme ya da Rayleigh saçınım kayıpları
3. Renk ya da dalga boyu ayrılması
4. Yayılım kayıpları
5. Modal yayılma
6. Bağlaşma kayıpları

5.2.1. Soğurma Kayıpları

Fiber optiklerde soğurma (yutma) kaybı, bakır kablolarla güç kaybına benzer; fiberin saf olmaması nedeniyle fiberde bulunan maddeler, ışığı soğurur ve ısıya dönüştürür. Fiber optik imal etmede kullanılan aşırı saf cam, yaklaşık %99,9999 saftır. Optik fiberlerde kullanılan saf cam bilinen normal cama göre defalarca daha saf ve saydamdır. [6-19]

Işığın absorbe edilmesi nedeniyle normal bir tabaka pencere camına kenarından bakıldığında görünen koyu mavi/yeşil renk fiber optik kabloda ancak yüzlerce kilometrelik bir kalınlıkta görülebilir. Deniz suyu optik fiber kadar şeffaf olsaydı

okyanusta yolculuk yapan biri gemiden okyanusun dibini görebilirdi. Gene de optik fiberlerin bu kadar saf ve şeffaf camlardan oluşmasına rağmen 1 dB/km ile 1000 dB/km arasındaki soğurma kayıpları tipik değerlerdir. [1,6]

5.2.2. Malzeme ya da Rayleigh Saçınım Kayıpları

İmalat sürecinde, cam çekilerek çok küçük çaplı uzun fiberler haline getirilir. Bu süreç esnasında, cam plastik haldedir (sıvı ya da katı halde değildir). Bu süreç esnasında cama uygulanan germe kuvveti, soğuyan camda mikroskopa görülmeyecek kadar küçük düzensizliklerin oluşmasına yol açar. Bu düzensizlikler fiberde kalıcı olarak oluşur. Işık ışınları, fiberde yayılım yaparken bu düzensizliklerden birine çarparsa kırınım meydana gelir. Kırınım yapan ışığın bir kısmı fiberde yoluna devam eder, bir kısmı da koruyucu zarf üzerinden dışarı kaçar. Kaçan ışık ışınları, ışık gücünde bir kayba karşılık gelirler. Buna Rayleigh saçınım kaybı denir. [1,7-8]

5.2.3. Renk ya da Dalga Boyu Ayrılması

Daha öncede belirtildiği gibi, bir ortamın kırılma indisi dalga boyuna bağlıdır. Işık yayan diyotlar (LED'ler), çeşitli dalga boylarını içeren ışık yayarlar. Bileşik ışık sinyalindeki her dalga boyu farklı bir hızda ilerler. Dolayısıyla bir LED'den aynı zamanda yayılan ve fiber optikte yayılım yapan ışık ışınları, fiberin en uç noktasına aynı anda ulaşmazlar. Bunun sonucu olarak, alma sinyalinde bozulma meydana gelir; buna kromatik bozulma denir. Kromatik bozulma enjeksiyon lazerli diyot (ILD) gibi monokrom (tek dalga boyunda ışık yayan) bir kaynak kullanmak suretiyle bertaraf edilebilir. [7-12]

5.2.4. Yayılım Kayıpları

Yayılım kayıplarına, fiberdeki küçük bükümler ve burulumlar neden olur. Temel olarak, mikro büküm ve sabit yarıçaplı büküm olmak üzere iki tür büküm vardır. Mikro büküm çekirdek malzemesi ile koruyucu zarf malzemesinin ısı büzülme oranları arasındaki farktan kaynaklanır. Mikro büküm fiberde Rayleigh saçınımının meydana gelebileceği bir süreksizlik oluşturur. Sabit yarıçaplı bükümler, fiberlerin yapımı ya da monte edilmesi sırasındaki bükümler sonucu meydana gelir. [7-12]

5.2.5. Modal Yayılma

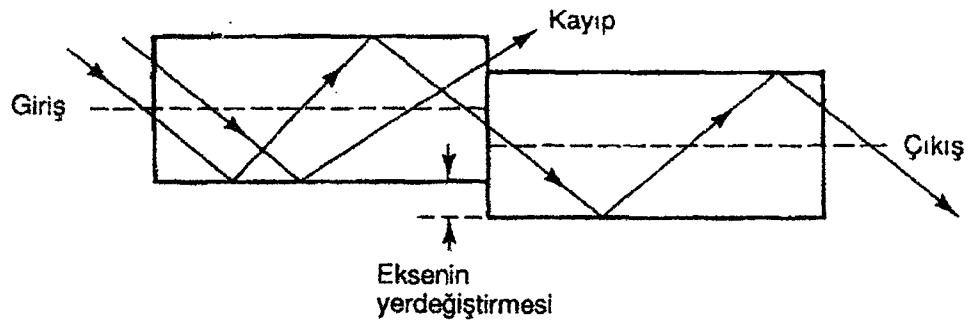
Modal yayılmanın ya da darbe yayılmasının nedeni, bir fiberde farklı yollar izleyen ışık ışınlarının yayılım sürelerindeki farktır. Modal yayılmanın yalnızca çok modlu fiberlerde meydana gelebileceği açıktır. Dereceli indeksli fiberler kullanılmak suretiyle modal yayılma önemli ölçüde azaltılabilir, tek modlu fiberler kullanıldığında ise hemen hemen bütünüyle bertaraf edilebilir. [1]

5.2.6. Bağlaşım Kayıpları

Fiber optik kablolarda, ışık kaynağı-fiber bağlantıları, fiber-fiber bağlantıları ve fiber-fotodedektör bağlantıları olmak üzere üç optik eklem türünden herhangi birinde bağlaşım kayıpları meydana gelebilir. Eklem kayıplarına çoğunlukla şu ayar sorunlarından biri neden olur: yanal ayarsızlık, aralık ayarsızlığı, açısal ayarsızlık ve kusursuz olmayan yüzey. [20]

5.2.6.1. Yanal Ayarsızlık

Yanal ayarsızlık, bitişik iki fiber kablo parçası arasındaki yanal kayma ya da eksen kaymasıdır. Kayıp miktarı, bir desibelin beş ile onda biriyle birkaç desibel arası olabilir. Eğer fiber eksenleri, küçük fiberin çapının %5'i dahilinde ayarlanmışsa, bu kayıp ihmal edilebilir. [1]

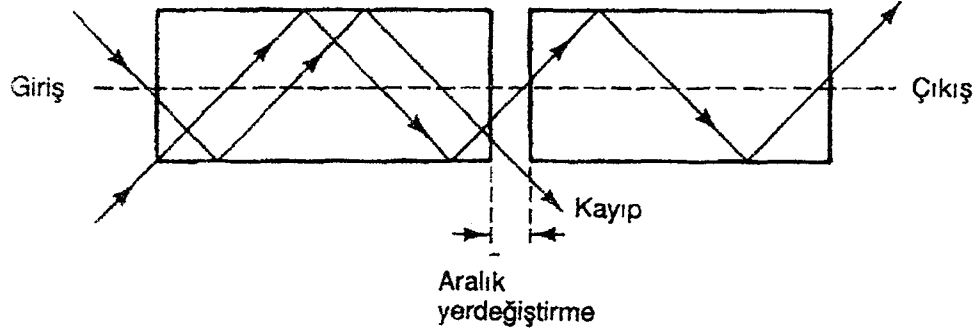


Şekil 5.1. Yanal Ayarsızlık

5.2.6.2. Aralık Ayarsızlığı

Aralık ayarsızlığına bazen uç ayrılması da denmektedir. Fiber optiklerde ekler yapıldığında fiberlerin birbiriyle temas etmesi gerekir. Fiberler birbirinden ne kadar

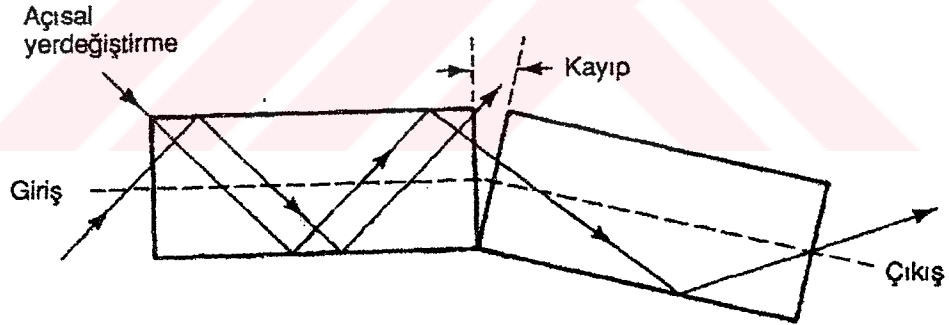
ayrı olursa, ışık kaybı o kadar fazla olur. İki fiber birbirine bir bağlantı parçasıyla birleştirilmişse, uçlar temas etmemelidir. Bunun nedeni, iki ucun bağlantı parçasında birbiriyle sürtünmesinin fiberlerden birinde ya da her ikisinde birden hasara yol açabilecek olmasıdır. [1,20]



Şekil 5.2. Aralık Ayarsızlığı

5.2.6.3. Açısal Ayarsızlık

Açısal ayarsızlık fiber optik kabloları birbirine eklerken arada açısal bir açıklık oluşmasıdır. Açısal ayarsızlığa bazen açısal yer değiştirme de denir. [1,17,20]

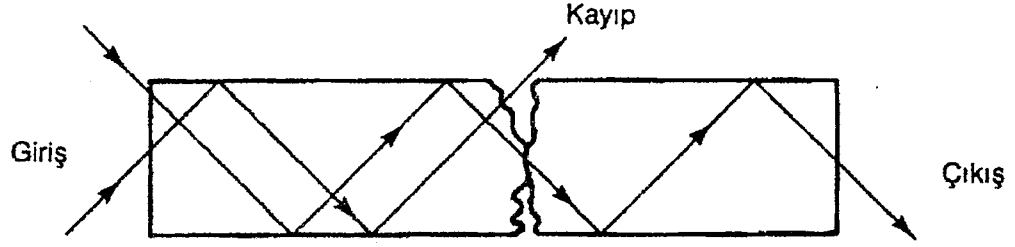


Şekil 5.3. Açısal Ayarsızlık

5.2.6.4. Kusursuz Olmayan Yüzey

İki bitişik kablounun yüzeylerindeki pürüzler giderilmediği takdirde kablo yüzeyleri tam olarak birbirine uymaz ve açıklık oluşur. Kablo yüzeylerindeki bu pürüzler giderilmezse kusursuz olmayan yüzey nedeniyle kayıplar oluşur. [1]

TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
EĞİTİM ARAŞTIRMALARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



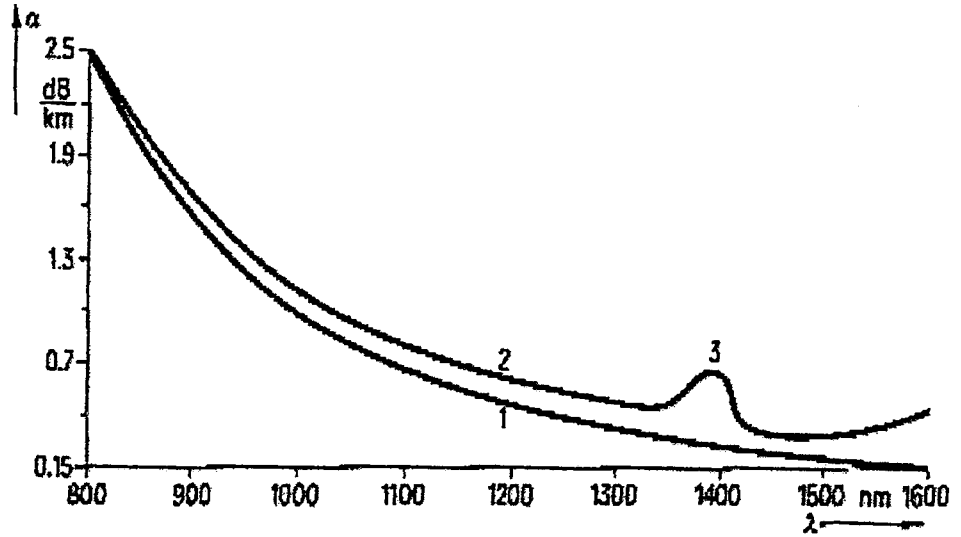
Şekil 5.4. Kusursuz Olmayan Yüzey

5.3. Zayıflama Ölçümü

Bir optik fiber içindeki ışık yayını zayıflar, yani enerji kaybeder. Bu kayıp, tekrarlayıcılar arasına bir şey eklenmeksizin büyük mesafelerde köprülenebilecek şekilde bir minimumda tutulmalıdır. Optik fiberin zayıflaması, bir optik haberleşme kablo tesisinin ölçümlenmesinde önemli bir parametredir. Zayıflamaya esas olarak fiziksel massedilme ve dağılma olayları neden olur. [9-13]

Işık kayıplarının büyüklüğü, hareketlenen ışık dalga boyu üzerinde yer alan diğer şeylere bağlıdır. Bundan dolayı bir optik fiberin zayıflamasını ışık dağılımı bakımından ölçmek genellikle yararlıdır. Yani, optiksel iletim için uygun olan düşük zayıflamalı dalga boyu alanlarını bulmak yerine dalga boyunun bir fonksiyon gibi alınması daha geçerlidir.

Mas edilme olayı, sadece belirli dalga boylarında yer alırken ışık kayıpları, dağılmadan dolayı bütün dalga boylarında meydana gelir. Optik fiberlerde dağılma olayının nedeni, yoğunluk düzensizliği (homojenliğin olmaması) ile ölçülen ışığın dalga boyundan daha fazla küçük olması sonucundadır. Rayleigh dağılma kanunu, bu olayı tanımlamak için kullanılabilir. Dalga boyu λ artarken dağılma kaybı α , λ 'nın dördüncü kuvvetiyle azalır.



Şekil 5.5. Rayleigh Zayıflama Eğrisi

Optik haberleşme için önemli olan dağılma kayıplarının karşılaştırılması suretiyle (örneğin 850, 1300 ve 1550 nm'lik dalga boylarında) 1300 nm'deki dağılma kaybının 850 nm'deki değerinin ancak yüzde 18 ve 1550 nm'de ise yüzde 9'a ulaştığı görülür. Optik kabloların bu dalga boylarında çalıştırılması bundan dolayı avantajlıdır. [9-13]

Işık yayının durağan bir konumda bulunduğu düşünüldüğünde, kılavuzluk eden P ışık gücünün optik fiberin L uzunluğu ile üssel arttığı görülür.

$$P(L) = P(0)10^{-\alpha L/10} \quad (5.1)$$

P (0) : Fiber optik içinde başlangıçta hareketlenen ışık gücü,

P (L) : L uzunluğu sonrası değişmeden kalan ışık gücü

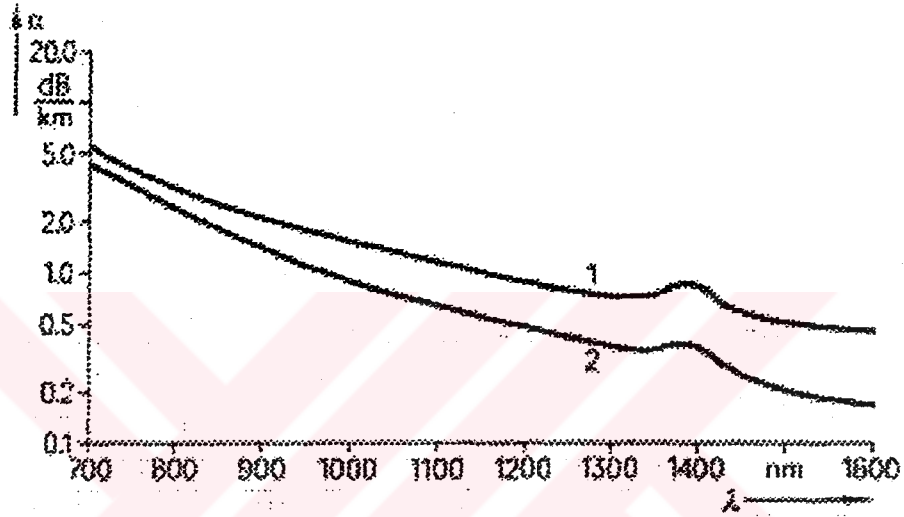
α : Birim uzunluk başına ölçülen zayıflama katsayısıdır.

$$\alpha L = 10 \log (P(0) / P(L)) \quad (5.2)$$

Burada α dB/km cinsinden zayıflama katsayısı, L fiberin km cinsinden uzunluğudur.

Örneğin; 10 dB'lik bir zayıflama, L (km) uzunluğundaki bir optik fiberdeki $P(L)$ ışık gücünün, fiberin başlangıç $P(0)$ ışık gücünün sadece % 10'u 3 dB'de %50 ve 1 dB'de yaklaşık %80 anlamındadır.

Modern tek modlu fiberlerin 1550 nm'lik bir dalga boyunda 0,2 dB'lik km başına bir zayıflamaları vardır. Yani, optiksel güç km başına yalnız yüzde 4,5'lik kayba uğramaktadır. Tipik tek ve çok modlu fiberlerin zayıflama katsayılarının ışık dağılım eğrileri aşağıda görülmektedir.



Şekil 5.6. Tek ve Çok Modlu Fiberlerde Zayıflama Katsayılarının Işık Dağılım Eğrileri

Bir optik fiberin zayıflama katsayısını belirlemek yerine, fiberin iki noktasındaki ışık gücü ölçülmelidir. Fiberin durağan konumu bu nedenle verilmelidir. Yani, ölçüm noktaları arasındaki ışığın hareketlenmesi, tek modlu fiberde kaplama ışığı kalmayacak ve çok modlu fiberde dengeli mod dağılımı konumu meydana gelmeyecek şekilde yapılmalıdır. Bundan dolayı sınırlı faz aralama hareketlenmesi (yüzde 70) esas olarak zayıflama katsayısını ölçmek için kullanılır. [9-13]

5.4. Ölçme Metotları

Zayıflama değerlerini ölçmek için kullanılan güç tekniği, kavrama bağlama tekniği ve geriye dağılım tekniği konusunda gerekli bilgiler verilecektir.

5.4.1. Güç Tekniği

Güç tekniğini uygulamak için geri dönüşümlü ve kayıp ekleme metotları olmak üzere iki metot vardır. Geri metot, optik fiberin L1 ve L2 noktalarındaki optik gücün ölçülmesi gerekir. Genellikle L2 fiberin ucunda ve L1 ise başlangıca çok yakındır. P ışık gücünü ölçme işleminde, ilkönce L2 (km) ucunda ve sonra ışık kaynağı ile fiber arasındaki hareketlendirme şartlarını değiştirmeksizin, fiberin L1 noktasına geriye doğru kesilmesini içeren L1'de tekrar bir ölçme yapılır. Fiberin zayıflama katsayısı α (dB / km cinsinden) :

$$\alpha = \frac{10}{(L_1 - L_2)} \log \left[\frac{P(L_1)}{P(L_2)} \right] \quad (5.3)$$

varsayımıyla hesaplanır.

Bu metot problemsiz değildir ve optik kabloların konnektörle eklenmesi pratik olmadığı halde, kısa uzunlukta bir kablo kesimini gerektirir. Kayıp ekleme tekniği bu durumda faydalıdır. Bu teknik fiberin uzak ucunda test altında ölçülen ışık gücü ile kısa bir optik fiber parçasının ucundaki ışık gücünün karşılaştırılmasını gerektirir. Referans olarak kullanılan bu referans parçasının test altındaki fiberin yapısı ile özelliklerine uyumu gereklidir. Ölçümün tüm fiber uzunluğuna ait toplam bir ölçü olması ve optik fiber boyunca yer yer değişen zayıflama hakkında detay vermemesi dezavantaj olabilir. Ayrıca, optik fiberin her iki ucu içine girebilir olmalıdır.

5.4.2. Kavrama Bağlama Tekniği

Kavrama bağlama tekniği, zayıflama ölçümü için kullanılan diğer bir metottur. Bu metot optik fiberin uçlarında bir geçide gereksinim olmadan, ışığın fiber giriş ve çıkışına bağlanması için sadece birkaç santimetrelik optik fiber parçasını gerektirir. Bundan dolayı metot, ek manşonlarının kavramaların ve optik ekleme malzemeleri veya dalga boyu çoklayıcılarının çabuk ve kolay zayıflama ölçümüne olanak sağlar.

5.4.3. Geriye Dağılım Tekniği

Geriye dağılım tekniğinde ışık, fiberin bir ucuna ulaştığı kadarıyla içine doğru hareketlenir. Bu metot ayrıca optik fiber uzunluğu boyunca olan zayıflamanın

detaylarını verir. Rayleigh dağılma kanunu bu tekniğin temelini oluşturur. İleri doğru yayınlanan ışık gücünün büyük bölümünün yanı sıra küçük bir yüzdesi de verici doğrultusunda geriye doğru yansır. Yansıyan bu güç de fiberin içinde geriye yayınlandığı gibi zayıflar. Kalan güç bir ışın ayırıcısı tarafından dışa bağlanır. Fiberdeki bu geriye dağılan ışık gücü ile geçiş zamanından, fiberin tüm uzunluğu boyunca zayıflama katsayısını çıkarmak mümkündür. Sinyalin geriye dağılım süresi içindeki akışı, bir osiloskop üzerinde kolaylıkla izlenebilir.

Alınan sinyali iyi kullanmak için ayrı ayrı ölçülen değerler çok defa oranlanır. Geri dağılım prensibiyle çalışan test birimlerine, optiksel yansıma zaman ölçeri (OTDR=optical time domain reflectometers) denir. Zayıflama katsayısının ölçümüne ek olarak bu alet, fiberdeki yerel düzensizlikleri (kırılmalar) ile eklenmiş fiber içindeki ışık kayıplarını kontrol etmek içinde kullanılır.

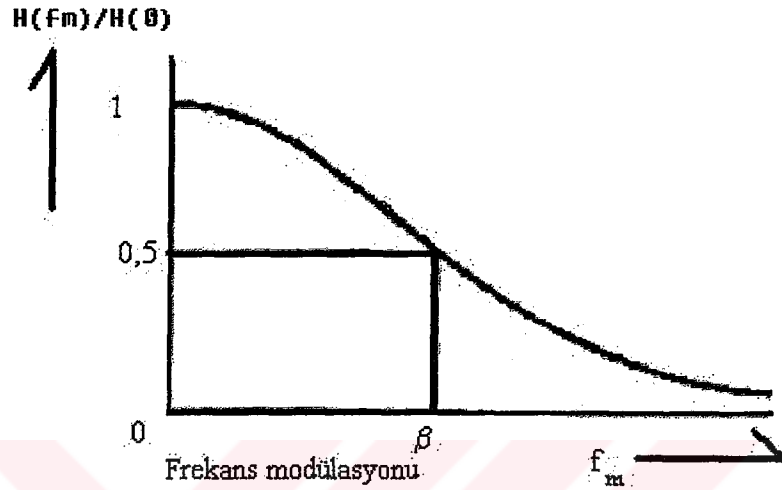
5.5. Band Genişliği

Optik bir fiber transmisyon karakteristiklerinin tanımı için α zayıflamasına ek olarak, band genişliği B veya bl band genişlik uzunluğu veren ikinci önemli bir parametre kullanılır. Bir taraftan optik fiber boyunca ışık gücünün kaybını veren zayıflama, diğer taraftan bir optik fiberin dağılım özellikleri için bir ölçü olarak bant genişliği kullanılır.

Dağılımından dolayı ışık pulsları bir optik fiber içinde yayınlandıklarında zamanla genişlemektedir. Frekans ilişkilerinde bunun anlamı, optik fiberin bir alçak geçiren filtre gibi hareket etmesidir. Diğer bir ifade ile fiber içindeki bir ışık dalgasının genliği f_m modülasyon frekansı artarken sonuçta görünmeyene kadar azalır. Bundan ötürü optik fiber düşük frekanslı işaretlerin geçişine izin verir ve onları frekansın arttığı oranda zayıflatır. Her modülasyon frekansı için ölçü yaparak bir fiberin ışık gücünün genliklerinin baştaki $P_1(f_m)$ ile sondaki $P_2(f_m)$ değerlerini ve bu genliklerin oranını hesaplayarak transfer fonksiyonu $H(f_m)$ aşağıdaki formülden çıkarılır:

$$H(f_m) = \frac{P_2(f_m)}{P_1(f_m)} \quad (5.4)$$

$H(f_m)$ modülasyon frekansı f_m 'in bir fonksiyonudur. Genellikle transfer fonksiyonunun büyüklüğü, onun $H(0)$ değeriyle bölünerek normalleştirilir. $H(0)$ transfer fonksiyonunun $f_m = 0$ Hz frekansındaki büyüklüğüdür. Yani, modülasyonsuz durumudur. Aşağıdaki şekil buna ait tipik bir eğriyi göstermektedir.



Şekil 5.8. Bir Optik Fiberin Transfer Fonksiyonu

Bu çan şeklindeki eğrinin biçimi, kabaca alçak geçiren bir Gauss tipi filtreninkine benzer. Transfer fonksiyonunun normalleştirilmiş genliğindeki modülasyon frekansı, optik fiberin B band genişliği denen 0,5'e eşittir :

$$\frac{H(B)}{H(0)} = 0,5 \quad (5.5)$$

Bundan dolayı, sıfır frekans değerine bağlı genlikteki (ışık gücü) modülasyon frekansının bant genişliği yüzde 50 veya optik olarak 3 dB düşer.

5.6. Dalga Boyu Kesimi

Dalga boyuna bağlı optik dalga kılavuzunda tek veya bir çok mod yayınlanır. Bir optik dalga kılavuzunun işletmesinde, dalga kılavuzu içinde yalnız temel modun kılavuzluk etmesi şüpheli olduğundan dalga boyunu belirlemek önemlidir. Bir optik

dalga kılavuzunun dalga boyu kesimi, yayınlatabileceği nitelikte olan temel moddan çok, kullanılmaya hazır en alt dalga boyu için kullanılan terimdir. [9-20]

5.7. Mod Alan Çapı

Tek modlu bir fiber içindeki ışık dağılımı hareketlenme bükme ve ek kayıplarının değerlendirilmesinde önemli bir faktördür. Mod alan yarı çapı ve W_0 veya mod alan çapı $2W_0$, bu dağılımı tanımlamak için ayrılmıştır.

Mod alan yarı çapı W_0 , optik fiber eksenindeki ($r = 0$) kendi maksimumundan $1/e$ değerine küçülen ($e = 2,71828$ nedeniyle yüzde 37'ye eşit) radyal alan genliğinin çapıdır. Mod alan çapı dalga boyuna bağlıdır, dalga boyu arttıkça da artar. [9-13]

5.8. Mekanik Dayanıklılık

Cam içindeki malzemelerin homojen olmayışından veya cam yüzeyindeki düzensizliklerden dolayı bir optik fiber boyunca mekanik olarak zayıf noktalar bulunabilir. Bu karışıklıklar sadece istatistiksel bir konuda göz önüne alınabilen optik bir fiberi mekanik dayanıklılığı ise kesin bir olasılıkla yalnız önceden bilinir. Bundan başka bir optik fiberin bu düzensizliklerden birinde kırılması zamana bağlı bir süreçtir. Bir optik fiberde L uzunluğu, σ mekanik kırılma basıncı ve t zamanına bağlı olarak F kırılma olasılığının tanımlamak için Weibull dağılımı kullanılır. Burada;

- F : Kırılma olasılığı
 - L : m cinsinden fiber uzunluğu
 - σ : N/mm^2 cinsinden kırılma basıncı
 - t : sn cinsinden zaman
 - L_0 : m cinsinden test uzunluğu
 - σ_0 : N/mm^2 cinsinden nominal basınç
 - a : Sabit değer
 - t_0 : s cinsinden nominal test süresi
 - b : sabit değer
- dir. [9-13,17,20]

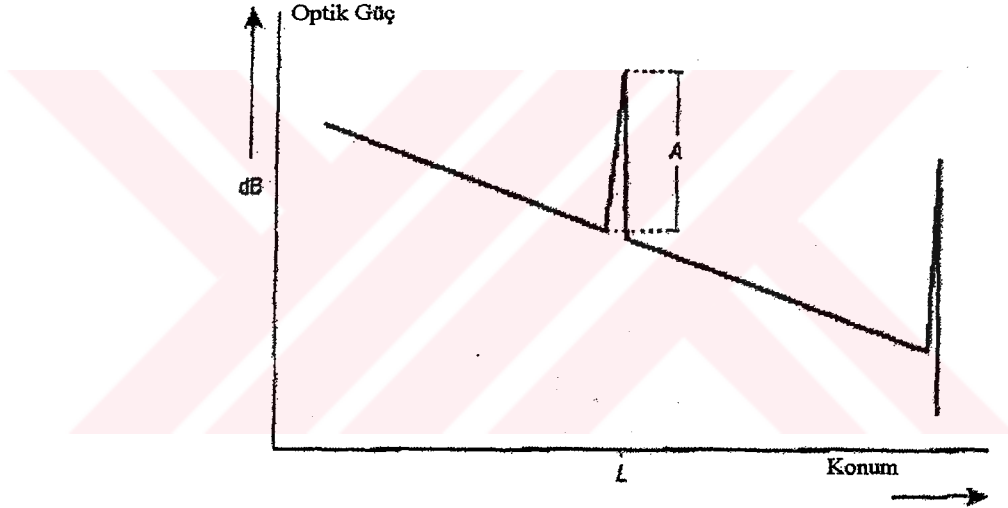
5.9. Dönüş Kaybı

Optik bir elemanın dönüş kaybı (RL), düşen güç P_{in} ile yansıyan P_{ref} optik gücünün dB cinsinden oranıdır:

$$RL = 10 \log (P_{in} / P_{ref}) \quad (5.6)$$

Lazerlerin kendi ışınlarının optiksel elemanlardan geriye doğru kendisine yansımaları hassasiyeti nedeniyle böyle optik elemanlarının dönüş kaybı (örneğin konnektörler) önem taşır. Fiziksel temas esasına dayanan kusursuz konnektörler, ortalama 60 dB'lik bir dönüş kaybı sergilerler. [9-13]

Bir OTDR ile Dönüş Kaybı Ölçümü :



Şekil 5.9. L Pozisyonundaki Bir Yansıma İle OTDR Çizgisi

Yukarıdaki şekilde optik zaman alanlı yansıtıcı bir cihazın (OTDR) ayrıntılı tanımlaması şematik olarak sunulmuştur. Eğrideki çıkıntı örneğin bir konnektörün neden olduğu bir yansımadandır. Çıkıntının yüksekliğine A denirse bu aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$A = 5 \cdot \log ((P_{ref} + w \cdot s \cdot P_{in}) / (w \cdot s \cdot P_{in})) \quad (5.7)$$

Burada:

P_{ref} : Yansıyan güç

P_{in} : L konumunda giren güç

w : Puls genişliği

s : Tutulan kısım

dır.

$(w.s.P_{in})$ terimi, geriye dağılan gücü ifade eder. Temel matematiksel dönüşüm aşağıdaki şekildedir.

$$RL = - 10 (\log (w.s) + \log(10^{A/5} - 1)) = K + \log(10^{A/5} - 1) \quad (5.8)$$

K sabiti biliniyor ise bu şekilde RL, A çıkıntı yüksekliğinin basit olarak ölçümüyle belirlenebilir. Bir ayarlama ölçümü uygulamak suretiyle, örneğin optik fiberin kesilmesi ve 14,5 dB'lik tanımlanmış bir yansıma ile bir cam / hava geçişi meydana getirerek K belirlenebilir.

6. FİBER OPTİK KABLONUN YAPISI

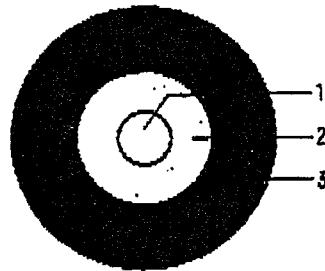
Bir fiber optik kablo optik olarak saydam bir malzemeden (örneğin kaynaşmış silika cam) çekirdek ve kaplama kılıf olmak üzere iki temel bölümden meydana gelir. Optik fiberlerde kullanılan cam normal camlardan çok daha kaliteli ve çok daha şeffaftır. Çekirdek, optik fiberin merkezindedir ve ışığa kılavuzluk etmesi için kullanılır. Bu dalga kılavuzluğu, çekirdek kırılma indisi n_1 'in kaplama kırılma indisi n_2 'den daha büyük olması nedeniyle yalnız çekirdeğin içinde mümkündür. Modlar, optik fiber çekirdeğinin iç yüzeyinde (çekirdek / kaplama) sürekli toplam yansıma olarak tutulur. [1,4-21]

Kılıf, üretim sırasında kaplama yüzeyine doğrudan uygulanan tabakayı ifade eder. Işığın fiber içine ve dışına bağlantısı veya fiberlerin eklenmesi için kılıf ayrılabilir nitelikte olmalıdır. Kablo, çeşitli plastik tabakalarla düzenlenebilir ve tüm uzunluğu boyunca açık lekesiz ve kalınlığı değişmeden muntazam bir şekilde uygulanmalıdır. Kılıfa renk katılabilir ve gerekiyorsa işaret halkaları ilave edilebilir. Kılıf, kaplama içine doğru hareketlenmiş istenmeyen ışığın plastiğin birkaç metresi içinde absorbe edilmesi anlamına gelen ve kaplamanınkinden daha yüksek bir kırılma indisine sahiptir. Bir optik fiberin kırılma indisine örnek:

$$\text{Çekirdek} = 1,48$$

$$\text{Kaplama} = 1,46$$

$$\text{Kılıf} = 1,52$$



1. Çekirdek
2. Kaplama
3. Kılıf

Şekil 6.1. Çok Modlu Optik Fiber

Kılıf mekanik olarak optik fiberi dış etkilerden koruma ve fiberin mikro genişlikte bükülebilmesi ve bundan dolayı ek bir zayıflamaya neden olan makaslama kuvvetlerini absorbe etmelidir.

Çok modlu bir optik fiber sadece 500 μm çapındaki bir insanın saç teli ölçüsündedir.

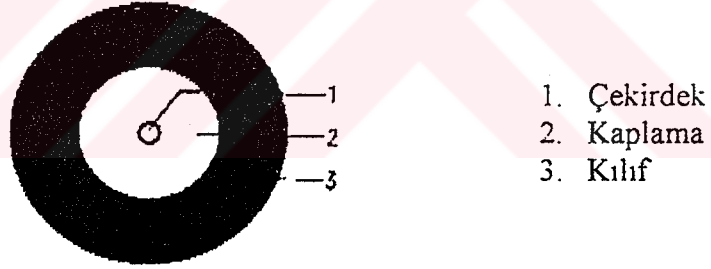
Çok modlu fiber ölçüleri :

Çekirdek çapı : 50 μm

Kaplama çapı : 125 μm

6.1. Kaynaşmış Silika Camlı Tek Modlu Fiber

Çok modlu fiberin tersine tek modlu bir fiber için çekirdek çapı yerine mod alan çapına bağlı dalga boyunu belirlemek yeterlidir. 1300 nm'lik bir dalga boyunda mod alan çapı çekirdek çapından yüzde 10 ila 12 daha büyüktür.



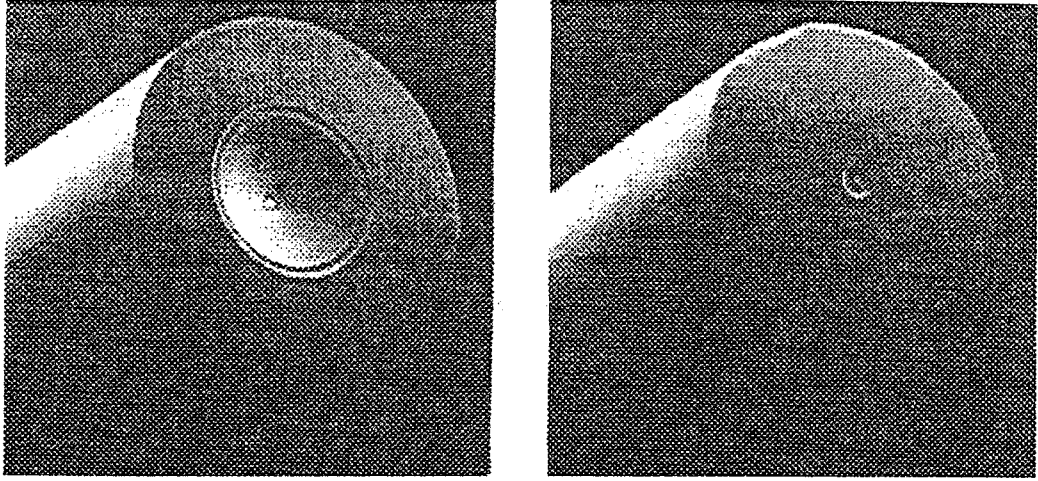
Şekil 6.2. Tek Modlu Optik Fiber

Dalga boyuna olan bir bağımlılık fiberin ekleme işleminde özellikle önemlidir. Optik fiber içinde yalnız modun yayınlanması nedeniyle bir ekin kalitesi teknik olarak camdan daha çok ışığın teknik düzeni tarafından etkilenir.

Tek modlu fiber ölçüleri:

Mod alan çapı (1300nm'de) : 9 veya 10 μm

Kaplama çapı : 125 μm



Şekil 6.3. Çok ve Tek Modlu Optik Fiberlerin Aşındırılmış Uç Yüzeyleri

6.2. Tek ve Çok Modlu Fiberlerin Teknik Özellikleri

Tek ve çok modlu fiberlerin teknik özelliklere ait gerilme yükü, renk kodlama işlemi ve sıcaklık bilgileri aşağıda verilmektedir.

6.2.1. Gerilme Yükü

Yaklaşık olarak 1 sn'lik süre için taşınabilen maksimum gerileme yükü en az 5 N'dur. Bu yük ya üretim sırasında hatta veya hat dışında ayrı bir girişimle test edilmelidir.

6.2.2. Renk Kodlama İşlemi

Fiberlere ayrı ayrı tanıma yerine bunlar renkle kodlanır ve gerekiyorsa halka işareti ile basılırlar Renkler; mavi , sarı, yeşil, kırmızı, siyah ve natürel olarak yalnız DIN47002 ve DIN IEC 304'e göre ve fiberlerin optik özelliklerine etki yapmayacak şekilde uygulanır.

6.2.3. Sıcaklık Kademeleri

Nakli ve stoklama sıcaklığı : -20 °C ila 50 °C

Tesis sıcaklığı : 5 °C ila 40 °C

İşletme sıcaklığı : 0 °C ila 50 °C

Özel uygulamalar için bu sıcaklık kademeleri aşılabılır.

6.3. Plastik Optik Fiber

Şeffaf plastik malzemedен yapılan optik fiberler, 100 m kadar olan kısa mesafeler üzerinde haberleşme iletimi için uygundurlar. [9-13]

En çok kullanılan fiber tipi, 980 µm kalınlığındaki polimetilmetaklirit (PMMA) ile 20 µm kalınlığındaki karbon polimer kaplamadan meydana gelmiştir.



7. OPTİK FİBERLERİN ÜRETİLMESİ

Optik fiberler, fiberin mekanik, geometrik ve optik özelliklerini seçerek ayırmayı mümkün kılmak için değişik üretim kademelerinde imal edilirler. Bu yöntem modern optik haberleşme kablo teknolojisinin en önemli ön şartlarından birine, hızlı ve ekonomik kitle üretimine izin verir. [9-22]

Bu günün kullanılan tekniklerinin tümünde ilkin bir ön şekillendirme üretimi yapılmaktadır. Bu, çekirdek ve cam kaplamadan ibaret cam bir çubuktur. Ön şeklin kesiti optik fiberin yapılabileceği geometrik ölçülerin ve kırılma indis profiline bir model ölçüsünü ortaya koyar. Ön şeklin bir ucu yüksek bir ısı derecesinde ısıtılırken fibere doğru uzar ve aynı zamanda koruyucu bir kaplama olarak kılıf uygulanır. [9-13]

7.1. Erimiş Cam ile Ön Şekillendirme Yöntemi

Optik fiberin üretiminde kullanılan ilk tekniklerden biri kaplama olarak düşük kırılma indisli kaynaşmış cam silis bir boru içine çekirdek gibi kolay giren ultra kaynaşmış silis cam mil şeklindeki “boru içinde mil” metodudur. Çubuk ve borunun ölçüleri, aralarında küçük bir boşluk kalacak şekilde ayarlanır. Bu teknik fiber çekildiği zaman anlık kargaşaya ve ara yüzde çok yüksek zayıflamaya (500’den 1000 dB / km’ye kadar) neden olma dezavantajına sahiptir ki, yalnız çok modlu kademe indisli fiberler bu yöntemle üretilebilirler. [9-13]

Sorunlardan sakınmak üzere çekirdek ve kaplama çapının erimiş durumda bir araya getirildiği ve fiberin erimiş durumda hemen çekildiği farklı bir metot kullanılır. Bu metoda “çifte pota” veya çekirdek ve kaplama camının iki ayrı potada eritilmesi nedeniyle “bileşik eritme” metodu denir. Kullanılan cam tipleri ultra saf çok elemanlıdır. Örneğin, kurşun alkali silikat ve sodyum bor silikat camlar. Çekirdek ve kaplama camı arasında difüzyon veya iyon değişimi suretiyle dereceli indis profili optik fiberlerin üretimi mümkündür. Potaların içinin tamamen temiz tutulmaması

nedeniyle metal kirleri fibere girer ve zayıflama artar (850 nm’de 5’den 20 dB / km’e kadar) . Bu metot özellikle kalın çekirdekli fiberler için (çekirdek çapı 200 µm’den büyük olanlar) kullanılır. [9-13]

Camın ayrılma fazında veya fazsal metotta sodyum bor silikatlı cam çubuk, sodyum borlu camın SiO₂’lik cam matris içinde yerini alma dönemindeki bir zaman süresi boyunca 1200 °C ‘de şekillenir ve 600 °C’de birkaç saat durur. Sodyum boratlı cam fazında Fe ve Cu gibi girerek biriken metaller bir asitle gözenekli bir ön şekillendirme kalacak şekilde bir asitle filtre edilebilirler. Bu, ultra saf bir tuz eriyiği içinde ısıtılır ve daha sonra dışarıda yıkanır. Sezyumun içeriye girişi iç tarafın kırılma indisini yükseltir. Yıkanan bölge kaplama olur. 850 nm’de 10 ila 50 dB / km’lik zayıflaması olan kademeli ve dereceli indis profilli optik fiberler bu metotla imal edilebilirler.

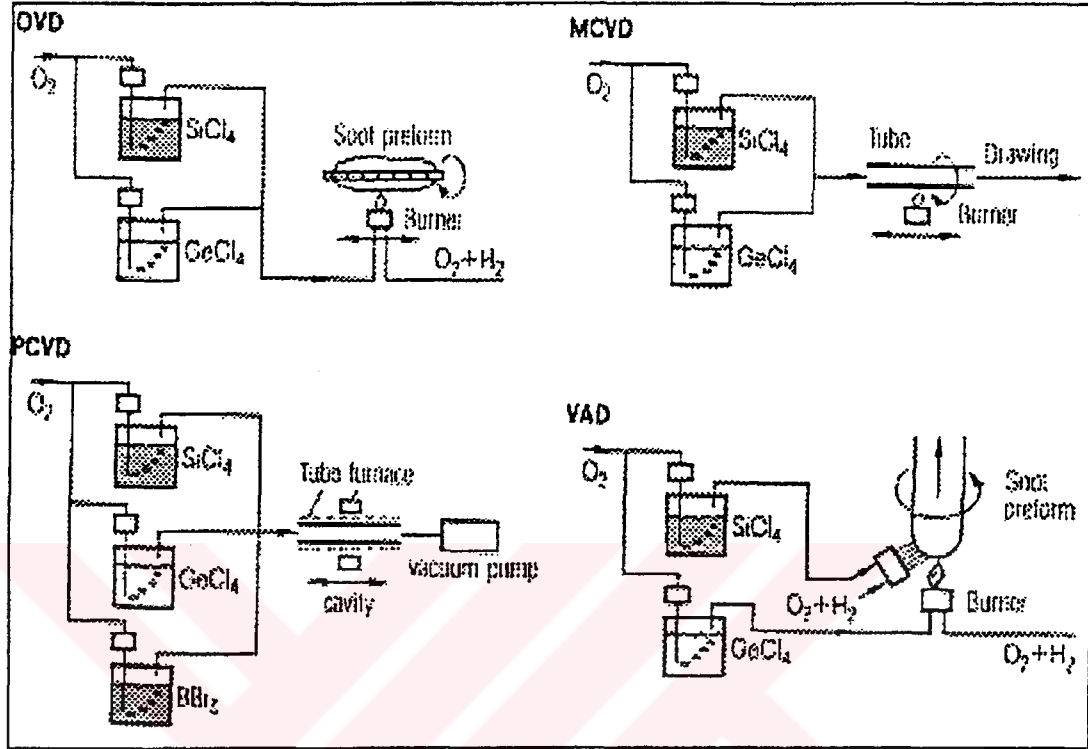
Bundan başka bir ön şekillendirme üretim metodu çekirdek olarak piyasada bulunan kaynaşmış silikatlı camdan bir mil kullanımı ve kaplama çekiminde düşük kırılma indisli ışık geçiren (plastik kaplama) uygulamasını içerir. 850 nm’de 5 dB / km’lik zayıflama değerleri alanı meydana gelir. Tamamen plastik malzemeden yapılmış ve farklı kırılma indisli çekirdek ve kaplaması optik olarak saf plastikten üretilmiş plastik fiber denen optik fiberler mevcuttur. 600 nm’deki zayıflama değerleri 100 ila 400 dB / km civarında ölçülmektedir.

7.2. Buharlaşma Fazında Cam Tortusu Dökerek Ön Şekillendirme Üretimi

Aşırı düşük zayıflamalı optik fiberlerin üretiminde atak, ilk defa 1970’de Corning şirketi (USA) tarafından kullanılan farklı “buhar fazında bırakma” metodu ile gelmiştir.

Cam tortusunun dökülmesi; döner mil gövdesinin dış yüzünde (OVD metodu, dış yüzeyden buharlaşma ile döküntü bırakma) cam silis milin üç yüzeyi üzerinde (VAD metodu, buharla eksensel tortu bırakma) veya döner kaynamış cam silis borunun iç yüzeyinde (IVD metodu, içerden buharla tortu bırakma) yer almaktadır. İçeriden buharla tortu dökme metodunda camın arınması için gerekli enerji ya dışarıdan bir hidrojen oksit gaz (MCVD metodu, değiştirilmiş kimyasal buharla tortu dökme) veya

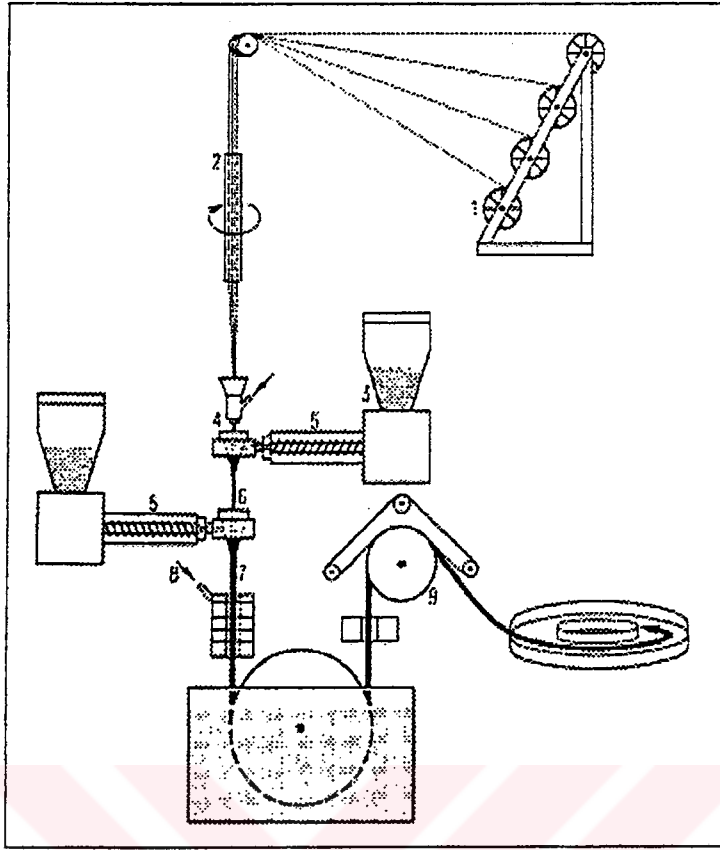
içeride bir plazma alevi ile (PVCD metodu plaslama aktiviteli kimyasal buharla tortu dökme) sağlanır.



Şekil 7.1. Buharlaştırma Fazında Cam Tortusu Dökerek Ön Şekillendirme

7.3. Fiber Çekimi

Fiber çekmek için ön şekil bir çekim kulesindeki biniş üzerine tutturulur. Biniş bir malzeme verme mekanizması ile düşey olarak ayarlanabilir. Ön şeklin en alt ucu, erimiş ön şekilden aşağı doğru fiber çekilebilecek şekilde bir ısıtma elemanı ile 2000 °C'ye kadar ısıtılır. Fiber çapının istenilen değerde sabit kalması için her iki çekme hızı (tipik olarak 300 m / dk) ve malzeme mekanizması bir otomatik kontrol sistemi vasıtası ile tam olarak ayarlanmalıdır.



1. İniş Mekanizması
2. Ön Şekillendirme
3. Fırın
4. Çap İzleyicisi
5. Kaplama Yapıcı
6. Dalga Kılavuzu
7. Çekme Tekerlekleri
8. Çekme İzleyicisi
9. Döner Makara

Şekil 7.2. Optik Fiberin Çekim Şeması

Çekim işlemi sırasında cam çekirdek ve kaplamanın geometrik oranları, çapda bir azalma olsa bile ön şekilden fibere yaklaşık olarak 300'e 1 elde tutulmalıdır. Çapın direkt şekilde gözlemlenmesi sonrası fibere kaplama uygulanır. Genellikle yapısal olarak iki tabakaya sahip bu plastik kaplama, küçük bükülmelere karşı koruyucu iç tabaka ile elle yerleştirmeyi kolaylaştıran dış tabaka yardımıyla fiberin mukavemet gücünü kullanışlı hale getirmeyi sağlar. Kaplama ısıtma işlemi ile ıslah edildiği zaman fiberin gerilme gücü hat üzerindeki bir test monitörü önünden geçerken boydan boya kontrol edilir. Kaplanmış fiber üzerine tam ölçülmüş bir gerilme kuvveti uygulanarak bir makara düzeni üzerinde geçirilir. Fiber silindirik bir kablo makarası üzerine sarılmadan önce bu minimum gerilmeye dayanmalıdır. [9-13]

8. OPTİK KABLO DİZAYNI

Optik fiberlerin haberleşme ve iletim teknolojisindeki pek çok uygulaması farklı kablo konstrüksiyon dizaynını gerektirmektedir. Bu kablo dizaynları, karşılık gelen ölçü ve malzemeleri belirlemektedir. Fiber tamponun yapısına bağlı olarak kablo çekirdeği, kılıf gerekirse zırh ve koruyucu kaplama, optik kabloya uzun bir işletme ömrü sağlayacak şekilde seçilmektedir. Optik fiberlerin sıcaklık değişiklikleri ve mekanik baskılar gibi çevresel etkilere karşı korunması bu kablolarda özel bir önem taşır. [4-23]

Fiber optik kablo ile iletişim sistemi dizayn edilirken alıcıda istenilen sinyal kalitesinin elde edilmesi için sistemin alıcıya yeterli sinyal seviyesini taşıması garanti edilmelidir. Sistemin gönderici ile alıcı arasındaki sinyal seviyesi sistemin gücünü belirler. Sistem yeterli gücün yanında iletilecek bilgi oranını karşılayacak bant genişliğini de karşılamalıdır. Bu da vericinin fiberin ve alıcının bant genişliğinin iletilecek mesaj için yeterli olmasına bağlıdır. [8,24]

Bu bölümde optik kabloların ve genel kullanımları bakımından tasarım karakteristikleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

8.1. Kablo Çekirdeği

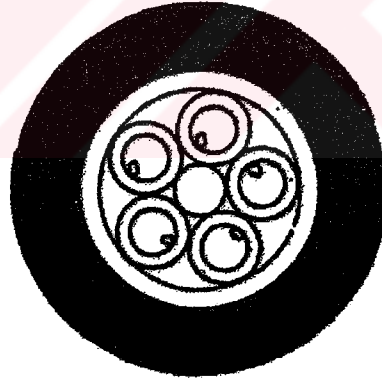
Optik kabloların tek ve çok fiberlik gevşek tampon tüplerle mekanik gücünü arttırmak yerine bu tampon tüpler, bir destek (dolaşmaya karşı bükülme koruması) ve zorlamaya karşı bir organ gibi iki hizmet gören bir merkez elemanı etrafına sarılırlar. Esas olarak bir arada sarılmaktan dolayı optik fiberler zorlama, eğrilme, baskı ve dolayısıyla bükülme baskılarının transmisyon karakteristiklerine etki yapamayacağı iyi tanımlanmış bir serbest aralığa sahiptirler. Tek veya çok tüplü gevşek tampon tüpler, sıkı tampon tüplü fiberler, karbon tampon tüplü fiberlere ek olarak doldurma malzemesi de bunlarla birlikte bükülebilir. Bir kablo içindeki bükülen elemanların

tüm görünüşü, eğilmeye karşı olmakla birlikte, güç organlarına ve onların etrafına sarılanlara eğer kullanılacak ise kablo çekirdeği denir. [9-13]

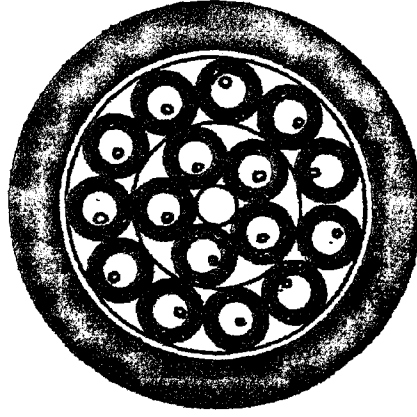
8.1.1. Bükülme

Optik kablo teknolojisinde kablolar genellikle tabakalar halinde bükülmektedir. Bükülen elemanlar bir merkez organı etrafında bir veya birkaç tabaka içinde eş merkezli olarak düzenlenmektedir. Bükülen elemanlar tek tek, örneğin tek fiberli gevşek tamponlar, doldurucu bakır teller gibi iseler sonuçta kablo şeklinde tanımlanmaktadırlar. Diğer taraftan kablo çekirdeği bükülen eleman birimlerinden meydana geliyor ise buna optik birim kablo denmektedir.

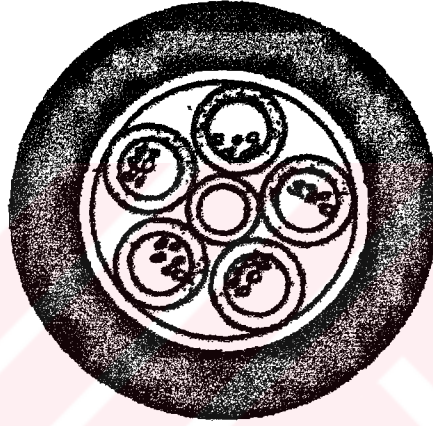
Telekomünikasyon idarelerin şebekelerinde çok fiberli ve gevşek tamponlu tabakaları olan kabloların üstünlüğü hakimdir. Lokal şebekelerde, tabakalar halinde bükülenler ile ambalajlama yoğunluğunu büyük ölçüde artırma imkanı olması nedeniyle birim kablo konstrüksiyonlu kabloların her ikisi de kullanılır. [25]



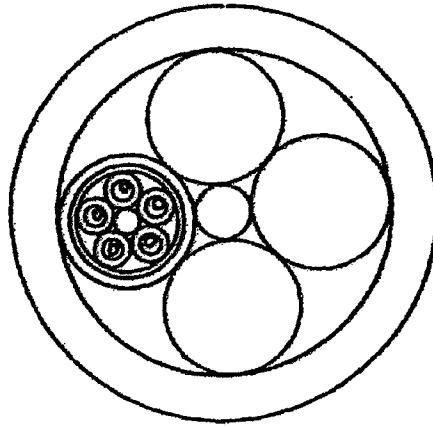
Şekil 8.1. Bir Katında Tek Fiberli Gevşek Tampon Tüp Olan Katlı Kablo



Şekil 8.2. İki Katında Tek Fiberli Gevşek Tampon Tüp Olan Katlı Kablo



Şekil 8.3. Bir Katında Çok Fiberli Gevşek Tampon Tüp Olan Katlı Kablo



Şekil 8.4. Birim Kablo

Tek katında n bükülen elemanı ve D çapı olan bir optik kablodaki geometrik bağlantılar a, b, c ve bükülme açısı α yardımı ile $n=2$, $b=0$ için aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$a = \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} \quad (8.1)$$

$$b = \frac{1}{\tan\left(\frac{\pi}{n}\right)} \quad (8.2)$$

$$c = \frac{1}{\sin \alpha} \quad (8.3)$$

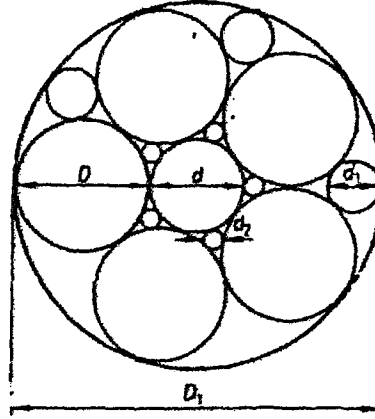
$$e = c^2 + \frac{1 - c^2}{a^2} \quad (8.4)$$

Kesidin toplam dış çapı, $D_1 = D(ae + 1) \quad (8.5)$

Çekirdek çapı, $d = D(ae - 1) \quad (8.6)$

Dış aralık çapı : $d_1 = \frac{D}{2} \frac{(1 + a - b)^2}{2 - a + b} \quad (8.7)$

İç aralık çapı : $d_2 = \frac{D}{2} \frac{(1 - a + b)^2}{2 + a - b} \quad (8.8)$



Şekil 8.5. Bir Kablo Çekirdeğinin Şeması

Çekirdeği yivli kablo, tek katlı olan bir katlı kablonun özel dizaynıdır. Optik fiberler merkez organının yüzeyindeki önceden şekil verilmiş helisel oyuklara iç tampon tüp ve bükülmüş tabakalar yerine döşenir. Merkez organındaki bu oyukların büyüklüğüne ve şekline bağlı olarak bir veya daha çok fiber ya tekli ya da bir ribbon gibi bunların içinde serbest şekilde hareket edebilir. Tek fiberli gevşek tampon tüplerde olduğu gibi bu oyuklar genellikle bir karışımla doldurulur. Dolgusuz kablo dizaynı gereken durumlarda, suyu bloke eden bant veya şişen iplik kullanılarak su sızıntısı önlenir. [9]

Kablonun fiber sayısını daha fazla arttırmak için münferit yiv çekirdekli kablo elemanları, bilinen tipte bir dış kılıfın iç tarafında bükülerek birleşebilir. Bu dizaynda 100'den daha fazla optik fiber sayısı olan kabloların yüksek ambalajlama yoğunluğuna sahip olma avantajı ile optik fiberlerin sıralanmış durumlarından basitleşmiş ek teknolojileri vardır.

Maksitüplü kablo, optik kablo dizaynının diğer bir özel örneğidir. Bu kabloda bir merkez organının etrafına sarılmış bükümlü elemanlar yoktur. Bunun yerine optik fiberlerin kendileri, çok fiberli büyük bir gevşek tüpün içinde sarılmışlardır. Bu maksi tüp, kablonun bir merkez organı olarak görev yapar. Böyle bir dizayn özellikle basit ve yoğundur. Karma fiber optik toprak tellerinde uygulaması vardır.

Bükme işleminde helisel bükülme ve ters döşenerek bükülme olarak iki metot uygulanmaktadır.

8.1.2. Kablo Çekirdeğinin Doldurulması

Optik bir kabloya su girdiği zaman boylamasına su sızdırmazlığı sağlamak için kablo çekirdeğindeki boş çatlaklar yüksek basınç altında (yaklaşık 15 bar) bir karışımla doldurulur. Bu karışım kablonun diğer elemanlarının özelliklerine zarar vermeyen bir kompozisyona sahip olmalıdır. Karışımın PE kılıf üzerinde ihmal edilebilir bir kabarma ve bağıl olarak düşük termal genişleme katsayısı üzerinde bir artış etkisi vardır. Kablo çekirdeğinin etrafındaki petrole dirençli bir engelleyici bir tabaka ile üzerine püskürtülmüş yumuşak bir termo plastik yapışkan (melt glue) bir taraftan doldurma karışımı için ek bir engelleyici gibi işlev görürken diğer taraftan gerilmeye dirençli sarım ile kablo kılıfı arasında optik kablonun esnekliğine zararlı etkisi olmayan dikişsiz bir işlem görür. [9-13]

Genellikle dahili kablolar durumunda olanlar gibi boylamasına su sızdırmazlığı gerekli değilse çekirdeği doldurma ihtiyacı yoktur. Kablo çekirdeğinin bükülü elemanları bir sonraki üretim aşamasına kadar korumak ve güç organları ile kılıf malzemesini çatlamaya karşı muhafaza etmek yerine bunlar bir veya birkaç kat ince plastik folyo tabaka olarak sarılırlar. [26]

8.2. Kablo Kılıfı

Kablo kılıfı, optik kabloyu;

- mekanik,
- termal,
- kimyasal,
- dışarıdan kaynaklanan neme karşı korumaktadır. [5-13]

Geleneksel kablolarda olduğu gibi eldeki şartlara bağlı seçim için birkaç kılıf tipi vardır. En çok kullanılan ucuz ve denenmiş kılıf tipi polietilendir (PE bariyerli ve / veya bariyersiz tabakalı örneğin alüminyumlu). Dahili kablolar için polyvinyl chloride'e (PVC) ek olarak öncelikle özel uygulamalar için elverişli diğer kılıf malzemeleri kullanılır. Örneğin perfluorethylene propylen (FEP), perfluoralkoxy copolymer (PFA), ve ethylen vinylacetate (EVA). Dolu kablolarda metalsiz bir

kontsrüksiyon gerekiyor ise kablo kılıfı ile bükülmüş iplikler veya doldurma karışımı arasına polyamide (PA), termoplastik yapıştırıcı (melt glue) gibi plastik malzemeden bir önleyici tabaka ilave edilir. Kablo çekirdeğinden kılıfın içine doğru geçen bu tabaka, doldurma karışımını korur. Bu tabaka, kılıf ile aynı üretim aşamasında uygulanır. Termoplastik yapışkan malzemeden dolayı kablo kılıfı ile çekirdek arasında aramide ipliklerinin meydana getirdiği çok kuvvetli bir bağ oluşur. Bu optik kabloların bir kanal içinden çekildiği zaman çok avantajlı olacağını kanıtlar. [9-13]

Teorik olarak metal kılıflar, örneğin kurşun veya oluklu çelik kılıflar, optik kablo çekirdekleri üzerinde kullanılabilir. Bununla birlikte bir kablo baştan başa bir kanaldan çekilerek taşındığı zaman kablonun kalıcı uzamasına sebep olunacağından ve uzun yol almasının optik kablonun transmisyon özelliklerini etkileyebileceğinden gerilme kuvvetleri gerçeğinin dikkate alınması gereklidir.

Polyethylen kılıf (PE) düşük dielektrik sabiti ve düşük kayıp faktörü avantajına sahip 2Y kodlu bir termoplastik ve etilenin polimerizasyon ürünüdür. Polietilenin kutupsal durumunun olmayışı nedeniyle geniş bir sıcaklık kademesi üstüne geniş bir dielektrik özelliğe sahip bulunur ve bundan dolayı büyük ölçüde elektrik kablolarında kullanılır. Bütün normal kimyasal ve mekanik ihtiyaçları karşılar ve özellikle harici kablolar için elverişlidir. PE'nin optik haberleşme kablolarının özel uygulamaları için geniş ölçüde farklı çeşitleri vardır. Bunlar özellikle düşük yoğunluk, yüksek akışkanlık, uzamayı kesme ve özellikle kolay işlenebilirliğinden dolayı optik kablo çekirdeklerinin kılıflanmasında kullanılır. [9-13,27]

8.3. Koruyucu Kaplama

Harici ve özel kabloların özel uygulamaları için PE, PVC ve Polyamid (PA) koruyucu kaplamalar kullanılır. Bunlar kılıf üzerindeki zırhı, toprağa doğrudan döşeme veya kanallarda çekerek döşeme sırasında dışarıdan gelecek hasarlara ve korozyona karşı korurlar.

8.4. Zırhlı Kaplama İşlemi

Optik kablolar, gömülen ve kanal kabloları gibi çoğu kez zırhsız olarak kullanılırlar. Kablo kılıfına termoplastik yapıştırıcı ile kuvvetli bir şekilde bağlı iplik güç

TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

organları, kablonun bükülmeye karşı elemanlarıyla birlikte tipik gerilme güçleri için tamamen yeterlidir. [20]

Özel uygulamalar için kemirici hayvanlara karşı korunmuş kablolar ve kendinden askı telli havai kablolar, olağanüstü gerilme kuvvetleri ve basınca karşı dengelenmeli ve optik kablo çekirdeği ile kılıfını korumak için ilave bir zırh kullanılmalıdır. [17]

Zırh elemanları, kablo ağırlığını büyük ölçüde arttırmayan veya esneklikte büyük azalmaya neden olmayan ve uzamada nispeten düşük bir ilave gösteren kablolar için monte edilmelidir. [17]

8.5. Konstrüksüyon Tipleri

Optik kablo dizaynları, özel karakteristikler ile aşağıda gruplandırılmış konstrüksüyon tiplerine göre seçilmektedir. [17]

- Harici Kablolar
- Dahili Kablolar
- Özel Kablolar

Bütün konstrüksüyon tiplerinde, çeşitli müsaade edilebilir etkileri hem kablo üretimi sırasında hem de optik fiberlerin sürekli değişen transmisyon özelliklerinin her yerinde temin etmek önemlidir. Kablonun temel konstrüksüyon tipinden bağımsız olarak tampon tüpün ölçüleri hariç, uygun optik kabloları seçmek mümkündür. Seçim için önemli ölçek, data yolu ile planlanan transmisyon sistemlerinin teknik datası hakkında bilgidir.

8.5.1. Harici Kablolar

Genellikle PE kılıfa sahip harici kablolar, gömülü veya kanala çekili kablo tesislerinin ortaya çıkabilecek bütün ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde projelendirilir ve ölçülendirilir. [9,17]

İhtiyaç duyulan optik fiberlerin sayısına bağlı olarak ya bir fiberle birlikte tek fiberli gevşek tamponlar veya 2 ila 10 fiberle birlikte çok fiberli gevşek tamponlar

kullanılır. Dizayn ve ekonomik düşüncelerle, 14 fibere kadar olanlarla birlikte tek fiberli gevşek tamponlar, bunlar 14 fiber ve çok fiberli gevşek tampondan daha fazla olduğu halde en fazla kullanılanlardır. Tek ve çok fiberli gevşek tamponların bir karışımla doldurulduğu iyi bilinmelidir.

Pek çok uygulamada, tek mod fiberli kablolar çok fiberli gevşek tamponlarla birlikte dizayn edilirler. Tek fiberli gevşek tamponlar ile çok fiberli gevşek tamponların her ikisinde bir merkez organının etrafında bükülürler. Kabloları endüstride kullanmak için metal olmayan güç organlarının üzerine bir PE kılıf veya tabakalı PE kılıf uygulanmaktadır.

Optik kablolar, tesis sırasında, boru veya şekil verilmiş kanallar içine çekilirken, minimum bükme yarıçapı göz önünde bulundurularak aynen bakır kablolar gibi işlem görebilirler. Bu kablolar düşük ağırlıklarından ve 2000 m ve daha fazla uzunluklarıyla boruların içine çekilebildiğinden ortaya ek bir avantaj koyarlar.

8.5.1.1. Sıcaklık Kademeleri

Sıcaklık kademeleri;

- Taşıma ve stoklama sıcaklığı : -25 ile 70 °C
- Tesis sıcaklığı : -5 ile 50 °C
- İşletme sıcaklığı : -20 ile 60 °C arasında değişmektedir.

Optik harici tesisat kablolarının mevcut standart teslimat uzunluklarını 2000 m'dir. Çap, ağırlık ve uygulamaya bağlı olarak 5000 m'ye kadar veya daha fazlası imal edilebilir. Özetle, bakır kablo teknolojisinin önceden bilinen bütün uygulamaları için elverişli optik kablolar elde mevcut bulunduğu söylenebilir. Bunların başlıca avantajları aşağıda belirtilmiştir. [9]

8.5.1.2. Mekaniksel Özellikler

- Daha küçük çap,
- Daha hafif ağırlık,

- Daha uzun teslimat uzunluğu,
- Makara ölçülerinde avantaj ve bağlantılı olarak düşük makara ağırlığıdır.

8.5.1.3. Enterferans

Uygun malzemelerle tamamen dielektrik bir kablo dizayn imkanı bulunmasından ötürü yıldırım, yüksek gerilim veya elektrikle tren hatları ile dc akım iletkenliği veya topraklamadan kaynaklanan enterferans problemleri yoktur. [20-28]

8.5.1.4. Bakır Kablolarla Karşılaştırma

Fiber optik kabloların klasik bakır kablolarla karşılaştırılmasını ait bazı değerler aşağıdadır.

Tablo 8.1. Fiber Optik Kabloların Bakır Kablolarla Karşılaştırılması

Fiber Sayısı		Dış Çap (mm)		Ağırlık(Kg/km)		Standart teslimat Uzunluğu	
Fiber	Cu	Fiber	Cu	Fiber	Cu	Fiber	Cu
4	6	11,5	12	100	140	2000	1000
10	10	12	13,5	115	190	2000	1000
20	20	14,5	16,5	160	315	2000	1000
40	40	14,5	21,5	160	355	2000	1000
60	60	16	25,5	195	800	2000	1000
100	100	20	31,5	295	1245	2000	1000

8.5.1.5. Dereceli İndeksli Çok Modlu Fiberlerde Zayıflama

- 850 nm’de 2.5 ila 3.5 dB / km arasında,
- 1300 nm’de ise 0.7 ila 1.0 dB / km arasındadır.

8.5.1.6. Band Genişlikleri

- 1 km için çok modlu fiberler; 1.2 Ghz'e kadar
- 1 km için tek modlu fiberler; 10 Ghz'e kadar

8.5.1.7. Tek Modlu Fiberler İçin Çok Fiberli ve Gevşek Tamponlu Harici Kablolar

Dahili kablo olarak tek modlu fiberlerin kullanımı daha fazladır. Bunların konstrüksiyonunda optik fiberin tamamen baskısız olarak kablo içinde durması temelde dikkate alınmaktadır. Ayrıca çok modlu fiberler için uygulanan bütün konstrüksiyon parametreleri bunlar için de uygundur.

Optik fiberlerin sayısına bağlı olarak aşağıdaki çok fiberli gevşek tamponlar kullanılmaktadır:

- 4 Fiber 2.0 mm çaplı çok fiberli gevşek tampon
- 5 den 10 fibere kadar 2.8 mm çaplı çok fiberli gevşek tampon

İşaret elemanı ile başlayarak çok fiberli gevşek tamponlar sürekli olarak göz önüne alınırlar. Bakır per veya dörtlü hesaba katılmaz ve kendisinin konumu seçimi herhangi bir yönde etkilemez. Doldurma malzemeleri hesaba katılmaz.



Şekil 8.6. Bir Bakır Dörtlüsü Olan Optik Fiberli Telekomünikasyon Kablosu

8.5.1.8. Dereceli İndeksli Çok Modlu Fiberler İçin Tek Fiberli Gevşek

Tamponlu Harici Kablolar

Harici kablo dizaynı için normal olarak dereceli indis fiberler ve çok fiberli gevşek tamponlar kullanılır. Bu aralığı koruyan bükümlü eleman 12 optik fibere kadar tutulabilir ve bir karışımla doldurulur. Çok fiberli gevşek tamponların çapı 3.5 mm kadar olabilir. En az beş bükümlü eleman, bir merkez elemanı çevresinde bir tabakanın içinde bükülmüşlerdir. Bunlarda biri bir doldurucu ile değiştirilebilen 1-10 fiberlik ayrı birçok fiberli gevşek tampon olarak tasarlanabilir. Çok fiberli bir gevşek tampon yerine aynı çaplı ve köpüklü izolasyonu olan bir yıldız dörtlü bükülebilir. Büküm elemanları aşağıdaki gibi kodlandırılabilir.

Tablo 8.2. Fiber Optik Renk Kodları

Ayrı çok fiberli tampon	Kırmızı
Yıldız dörtlü	Sarı
Çok fiberli gevşek tampon	Yeşil
Doldurma	Natürel

Çok fiberli gevşek tamponlar bükülerek çok sıkı optik kablolar üretilebilir. Bunlar, her, çok fiberli gevşek tampon içinde 20,30,40,50,60,80,100 veya 120 optik fiberli standart kablo dizaynlarıdır. 120 optik fiberden daha fazla ihtiyaçlar için de uygun kablo dizaynları mevcuttur.

8.5.2. Dahili Kablolar

Dahili optik kablolar bina içinde ancak sınırlı bir şekilde kullanılabilmesinden ötürü geniş bir çeşitlilikte ihtiyaç duyulur. Dahili kablolar, mekanik etkilerden veya ısı değişimlerinden kendi özelliklerini olumsuz etkilemeyecek şekilde dizayn edilmelidir.

Genel olarak üç kablo tipinin öne çıktığı söylenebilir:

- Çoklu dahili kablolar
- Birimleri ayrılabilir kablolar,
- Birbirine bağlı kablolar.

Tüm dahili kablolarda topraklamaya ve yıldırımdan korumaya gereklilik nedeniyle metal yoktur. Tümüyle dielektrik konstrüksiyon EMI'ı (elektromanyetik interferans) garanti eder. Dahili kabloların tamamı çok kolay sıyrılabilen 900 µm'lik TBII sıkı tamponlu fiberden ibarettir. Bunlar kablo tipine bağlı olarak çeşitli bükümlülerdir.

8.5.2.1. Çoklu Dahili Kablolar

Çoklu dahili kablolar dayanıklı, yüksek performanslı haberleşme kablolarıdır. Bunlar binalar arasındaki kanalların içi dahil, binaların içinde taşıyıcı sütunlarda, basınçlı bölmelerde ve “masaya kadar fiber” için dahili ve harici çeşitli ihtiyaçları karşılamak üzere dizayn edilmiştir.

Geniş bir alan içinde fiber sayısına sahip bu kablo ailesi, bu günün artan büro ve fabrika gelişimi içinde normal olarak gerekli bulunan tüm ses, data, video ve görüntü sinyallerini sağlar. Kabloların küçük çapı, hafif ağırlığı ve esnekliği, özellikle mesafelerin zorladığı arazilerde kolay tesis bakım ve yönetime imkan verir.

Çoklu dahili kablolar bükümlü sıkı tamponlu fiberler ile metalik olmayan güç elemanlarından (kevlar iplikleri gibi) ibarettir. 6 optik fiberden daha büyük kablolarda fiberler daha güçlü bir kablo sağlamak üzere metalik olmayan bir merkez elemanı etrafına sarılırlar. Fiber sayısı 24'ten fazla olan kablolar, gruplaşma kontrolü, kolay tesis ve hızlı tamir için alt birimler halinde organize edilerek gerçekleştirilir. 6 sıkı tamponlu fiberi olan böyle bir kabloda her fiber metalik olmayan güç elemanı ile bir alt birim içinde bükülür.

Maksimum uzun dönem gerilme yükü 2 fiberli bir çoklu dahili kablo için 200 N ve 144 fiberli çoklu dahili kablo için 4000 N'dur. Kısa dönemli müsaade edilebilir gerilme yükü dört kat daha yüksektir.

8.5.2.2. Birimleri Ayrılabilir Dahili Kablolar

Birimleri ayrılabilir dahili kablolar, tekli fiberlerin ayrı döşenmesi veya terminasyon ve bakım için sıralanmasını kolaylaştırırlar. Bunları üç farklı konstrüksiyonları vardır. 2.7 mm'lik alt birimler ağır görev uygulamaları, 2.4 mm'lik alt birimleri standart iş uygulamaları ve 2.0 mm'lik alt birimleri de hafif iş uygulamaları içindir.

Bu kablolar, binalar arasında ve toprağın buz tutma derinliği altındaki kanallar içinde binaların içindeki taşıyıcı dikmelerin üstünde bilgisayar odalarının zeminleri altında ve masadan masaya uygulamalarda kullanılabilirler.

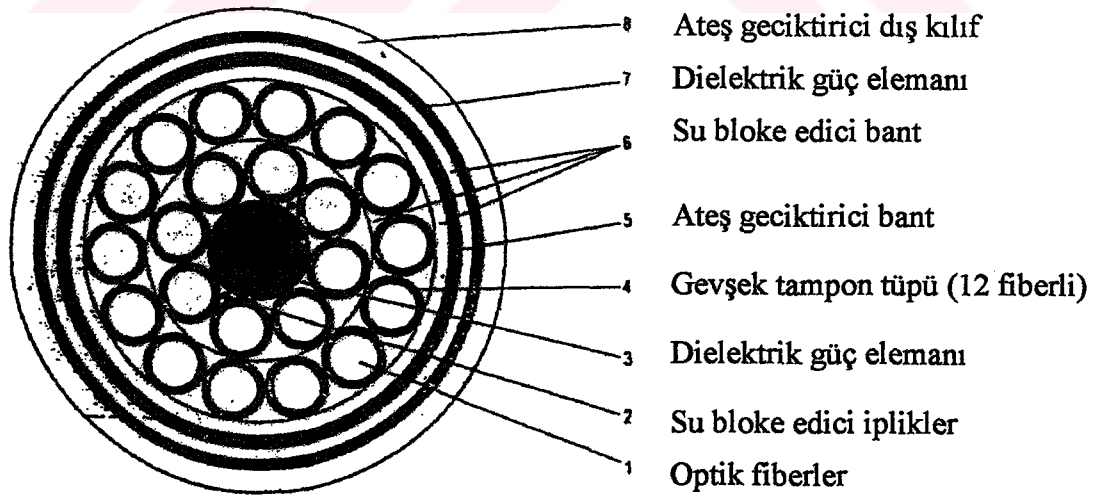
8.5.2.3. Birbirine Bağlı Kablolar

Birbirine bağlı teçhizat kabloları ses, data, video ve bilgisayarda görüntü iletimi, üretim kontrol, bilgi girişi ve kablolu büro sistemleri için dizayn edilirler. Bir ve iki fiberli dizaynı olan bu kablolar, bina içi dağıtımında kolay bağlantı ve jumper gibi kullanım için optimize edilmişlerdir.

Küçük çap ve bükülme iç yarıçapı, yer sınırlaması olan alanlarda kolay tesis imkanı sağlar. Bunlar iş yerinde bir ara bağlantı gibi kullanmak üzere fabrikada bir araya getirilmiş kablo şeklindeki kolay bağlantıya veya önceden bağlanmaya izin verirler.

8.5.3. Dahili ve Harici Kablolar

Dahili-harici kablolar bina içi ve dışındaki uygulamalar için tamamen suya karşı korunmalıdır. Özellikle sınırlı boyu veya atlama aralığı olan alanlarda ilk ek çıkış noktasında veya yüksek sayıdaki fiber ana girişinden birinde kullanılabilirler. Fiber sayıları 288 veya daha fazla olabilir.



Şekil 8.7. Optik Fiberli Dahili Harici-Kablo

8.5.4. Havai ve Yeraltı Fiber Optik Kablolar

Fiber optik havai kabloları olan istek, dünya çapında ve özellikle demir yolu şebekelerinde olduğu gibi yüksek gerilim güç sistemleriyle birlikte kullanmak üzere artmaktadır. Fiber optik kabloların elektrik ve manyetik enterferansa karşı olan duyarsızlığı bu kabloların telekomünikasyon, kontrol ve ölçüm sinyalleri için ideal bir iletişim ortamı sağlamaktadır.

Genel eğilim, kabloların bütün tiplerini yeraltına gömme ihtiyacı olmadığı sürece, ağırlığın müsaadesi oranında asılarak döşenmesi şeklindedir. Bu ise risk içermektedir. Dolayısıyla kablo kendi ağırlığı ile rüzgar yükü ve buz yükünün etkilerine karşı kendi gerilme kuvvetiyle dayanacak şekilde tesis edilmelidir. Tesis aşamasında dış fiziksel hasarlara da mukavemet gösterecek şekilde gerekli tedbirler alınmalıdır.

Çoğu ülkede üstten askılı kablo yolları, örneğin yüksek gerilim ve demir yolu kabloları, yerinde mevcut durumdadır. Bu mevcut yapı, yer altı iletkenlerinin optik yer altı iletkenleriyle değişimi veya yüksek gerilim iletim hatlarındaki tüm dielektrik kendinden askılı kabloların bütünlenmesi suretiyle kullanılabilir.

Optiksel yer altı kabloları ise iki temel dizayna göre düzenlenirler. Optik fiberler ya bir merkezi tüp veya bükümlü çoklu fiberlerin metal tüpü içine gömülürler. Merkezi bir tüp içinde sarmalandığı zaman koruyucu zırh ya iki veya tek kat tel tabakasından ibarettir. Optik fiberler metal tüp içinde olması halinde bu tüpler iç tabakadaki tek veya çoklu tel zırh içine geçerler.

Bükümlü, çok fiberli ve metal tüplü kablolarda tüpler, tel zırhların çapına (dış çap yaklaşık 2,3 – 3,6 mm) yakın ölçüdedir. Her tüpe 16 – 36 kadar fiber sıkıştırılabilir.

Temel dizayn düşüncesi, optik fiberleri artık burkulmadan korumaktır. Bundan dolayı kesit alanları tellerin tipinin kendi miktar ve kesit ilişkisinin mekanik gerilme gücü ile akım taşıma karakteristiklerine göre tanımlanırlar. Helisel bir formda düzenlenen fiberler, sert rüzgar ve buz yükleri altındaki her hangi bir etkiye karşı karşıya getirilmezler.

Kısa devre şartları altında termal yüklemeyi etkisiz hale getirmek için tüm yapısal elemanların biri diğerine uygun olmalıdır. Bundan dolayı dış zırh tabakası temelde

çok yüksek iletkenliği olan tellerden meydana gelmelidir. Bu şekilde iç zırh tabakasının ısısını merkezi tütün plastik karışımının (tüp malzemesi, dolgu maddeleri, polipropilen tampon) hasar görmeyeceği düşük derecede muhafaza etmek mümkündür.

Tanımlanmış kısa devre akımı (1sn süre), dış zırh tabakasının maksimum müsaade edilebilir ısı artışı (140 °C) belirlenir. Daha üst sınırdaki alüminyum ve alüminyum alaşımlarının gerilme kuvvetlerini kaybetmeye başlar.

8.5.5. Tümüyle Dielektrik Kendinden Askılı Kablolar

Bu tip kablolar esas olarak toprak teli değiştirilmeksizin mevcut yüksek gerilim enerji hatlarını fiber optikle bir arada yerleştirmek için kullanılırlar. Bunların tümüyle dielektrik dizaynı tesis sırasındaki tehlikeyi minimize eder ve faz teline temas durumunda kısa devreyi önler.

Kablonun çekirdeği 48'e kadar fiberin bir araya getirilebileceği merkezi çift tabakalı bir maksi tüp tarafından şekillendirilmiştir. Fiberler özel bir fazla uzunlukla sıkıştırılmışlardır. Bu nedenle, kablolar özel bir gerilme kuvvetiyle yüklenmiş ise herhangi bir etkiye maruz kalmazlar. Suyun işlemlerini ve yürümesini önlemek için tüp jel ile doldurulur. Aramid iplikleri gerekli gerilme gücünü sağlamak üzere çekirdeğin etrafına çepeçevre sarılırlar.

8.5.6. Denizaltı Kabloları

Karasal tip fiber optik iletişim yeteneklerini tekrarlamasız denizaltı uygulamaları için yaygınlaştırmak üzere MINISUB tekrarlanmayan denizaltı kablo üretim hattı geliştirilmiştir. MINISUB teçhizatı; standart düz raf şekilli terminaller ile koruma sistemleri, optiksel yardımcıları ile düşük kayıplı ve yüksek performanslı optik fiberlerle birlikte ön amplifikatör modülleri ve tekrarlanmayan sistem uygulamaları için özellikle uygun mekaniksel olarak güçlü ve düşük maliyetli kablolardan ibarettir. Kablonun denizin 6000 m derinliğine döşenmesi ve yerleşmesi, SDH teknolojisi içinde 2,5 Gbit/s ile 24 fibere kadar olan transmisyon kapasitesinin toplam 400 km'lik tekrarlanmayan açıklığı başlıca anahtar özelliklerdir. [27]

MINISUB sistemin temel bir elemanı denizaltı kablosu ile onun yardımcı malzemeleridir. MINISUB kablo ailesi merkezi gevşek tampon t p dizaynına dayanmaktadır. Denizin derinliklerindeki yüksek hidrostatik basın a dayanmak ve optik fiberleri moleküler hidrojene karşı s ms k  kapayarak t kamak üzere tampon t p bakırdan yapılır. Döşeme, işlem ve uyum sağlama döneminde beklenen gerilme kuvvetine bağlı olarak zırh, yüksek gerilme gücü olan bir veya üç kata kadar galvaniz ve çelikten yapılmaktadır. Zırh katları tipik olarak polietilen (PE) tabakalarıyla ayrılmıştır ve en d   tabakada PE içerir.

Kabloları sahil kesimlerindeki çapa ile tarama gibi denizcilik aktivitelerinden korumak için deniz yatağı özel olarak dizayn edilmiş su alt  sabanı ile sürülerek açılan bir metrelik derinliğe g m l rl r. Kabloların gerilme hareketliliklerinin düzeltilmesi için diğer bir imkan koruyucu kullanmaktır.  ste ilave edilen koruyucu, kablo fabrikasında MINISUB kablосundan bağımsız olarak  retil bilen ve daha sonra kablonun üzerine kablo döşeme gemisinde tutturulan iki  elik halattan ibarettir.

9. FİBER OPTİK KABLOLAR ÜZERİNDE ÇEVRESEL TESTLER

Optik kablolar üzerinde yer alan ihtiyaçların özellikle geniş bir bölümü iletim özellikleriyle çevresel şartlara göredir. İletim özellikleri esas olarak optik fiberin karakteristiklerine dayanır. Kablonun çevresel etkilere cevap verebilmesi ise kablo dizaynına bağlıdır. Farklı uygulamalara uygun hale getirilecek kablo özelliklerini optimize etmek için kullanılabilecek sayıda mekaniksel ve termal test metodu bulunmaktadır. Sonuçların değerlendirilmesiyle optik kabloları tahmin edilen işletme şartları altındaki işlevini önceden kestirmek mümkündür. En önemli testler gerilme kuvveti ve sıcaklığa ait olanlardır. Çevresel test metotları EN 187000 Avrupa Standartlarında ve IEC 794-1 Uluslararası standartlarda tanımlanmaktadır. [29]

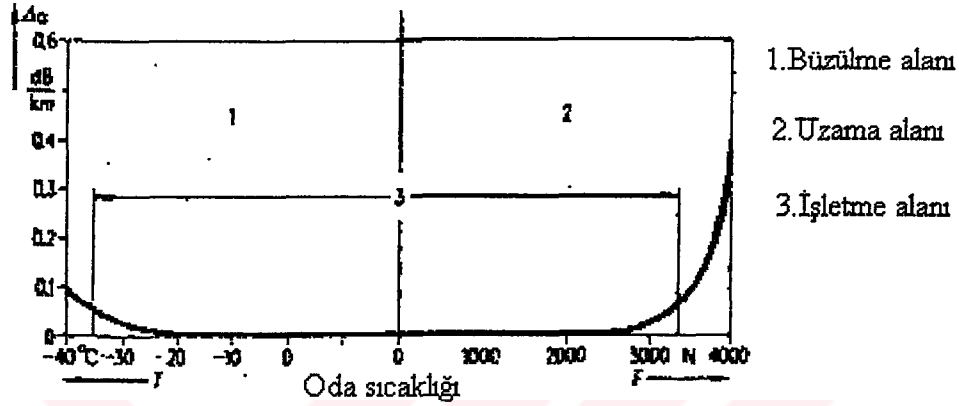
9.1. Gerilme Kuvvetinin Test Edilmesi

Kablonun tesisi sırasında güçlü gerilme zorlanmaları meydana gelebilir. Bunlar optik fiberin işlevini etkilememelidir. Tesis edilen kablolarda arta kalmış gerilme kuvvetlerinin optik fiber üzerinde her hangi bir etkisinin olmaması da bir gerekliliktir. Bu nedenle esasen optik kablo dizaynında tek ve çok fiberli gevşek tampon tüpler kullanılmaktadır. Fiberler bu gevşek tampon tüpler içinde dışardan gelebilecek herhangi bir büyük zorlamaya karşı kendilerini bağlantısız kılan bir hareket serbestliğine sahiptirler. Bu bağımsız aralık, optik fiberin şartlarına bağlı işlem penceresidir ve bitmiş kablo üstündeki bir tip testin serisi sırasında dizayn edilir, sonuç çıkarılır ve ayrıca test edilir. Test sırasında uzama kademesi bir gerilme testiyle ve büzülme testi de bir sıcaklık testiyle belirlenir.

Gerilme testi sırasında aşağıdaki değişimler tespit edilir;

- Kablo Uzaması
- Fiber Uzaması,
- Zayıflamadaki Değişim.

Kablo uzaması, kablo kılıfına dıştan takılmış bir uzama test cihazıyla ölçülür ve fiber uzaması da bir zaman gecikmeli puls ölçme aletiyle belirlenir. Zayıflamadaki değişim, değişik tek ve çok modlu fiberleri aynı zamanda ve dört dalga boyuna kadar ölçmeyi mümkün kılan özel bir zayıflama değişim ölçü takımında ölçülür. Karşılığı olan bilgiler, bir gerilme test kaydı üzerine yazılabilir.



Şekil 9.1. Tek ve Çok Fiberli Gevşek Tamponlu Bir Kablonun İşlem Penceresi

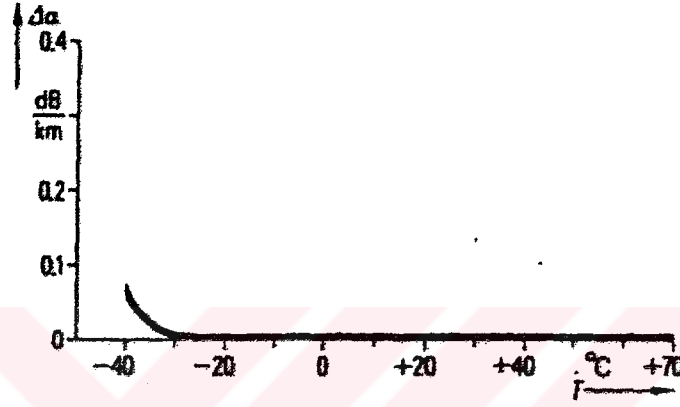
Yukarıdaki şekil, yaklaşık 3000 N'da uzamaya başlayan fiberde zayıflamanın da arttığını göstermektedir.

9.2. Sıcaklık Performansının Test Edilmesi

Optik kablolar işletme ve genellikle stokta bekleme süresince çok değişik sıcaklıkların etkisi altında kalırlar. Gömülen ve boru içinde kalan kablolar, sadece çevresel sıcaklıklarda beklenen küçük değişikliklere bağlı iken havai kablolarda bunun tersine daha büyük ısı değişimleri olmaktadır. Her kablo tipinin tanımlanan ısı alanı optik fiberde kendi transmisyon özelliklerine göre yalnız sınırlı bir alan içinde değişebilmektedir. Sıcaklık performansını belirlemek için zayıflamadaki değişim, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Bu amaçla kablo ile makara bilgisayar kontrollü bir sıcaklık hücresine yerleştirilmiş bir zayıflama ölçüm test setine her iki ucundan tutturularak döndürülür.

Değişik yazılım programları tanımlanmış ihtiyaçları karşılamak üzere sıcaklık dönüşümlerindeki değişikliklerin kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Aşağıdaki

şekilde her biri altı tek modlu fiber kapsayan sekiz tamponlu bir çok fiberli gevşek tamponun ortalama zayıflamasının değişimini göstermektedir. Şekilden -40°C ve 1300 nm 'lik bir dalga boyundaki ortalama zayıflama değişiminin $0,1\text{ dB/km}$ 'den az olduğu görülmektedir. Özellikle gerilme ve sıcaklık testlerine bakarak optik bir kablounun işletme penceresini gösteren tek bir açıklama vermesi için gerilme ve sıcaklık eğrilerinin bir grafik üzerinde birlikte çizilebileceği söylenebilir.



Şekil 9.2. 1300nm Dalgaboyunda Zayıflama Değişimi

9.3. Diğer Çevresel Testler

Diğer çevresel testlerin listesi aşağıdadır.

9.3.1. Mekanik Testler

Uygulamaya karşılık vermek için optik bir kablo farklı baskılara maruz bırakılabilir. Örneğin, havai kablolarda veya tren rayları veya köprüler gibi ulusal taşıma hatları boyunca tesis edilen optik kablolarda titreşimler meydana gelebilir.

Tıbbi X ışınları makineleri gibi hareket ettirilmesi gerekli birimler için iç tel bağlantısı lüzumlu olduğu zaman ve diğer özel istekler devir ve büküm sarılma direncine göre hazırlanır. Fakat aynı derecede önemli olan kabloların örneğin tesis sırasında meydana gelebilen yanıl ezici ve sıkıştırıcı kuvvetlere belirli derecede direnmelidir. Bu kablo özelliklerini belirlemek için IEC Standartlarına göre sıkıştırma ezme ve titreşim testleri yapılmalıdır.

9.3.2. Termal Testler

Sıcaklık dönüşüm testlerine ek olarak kabloların dayanıklılığını belirlemek yerine yüksek sıcaklıklarda örneğin uzun bir zaman periyodunda (yaklaşık yarım yıl) yaklaşık 70 °C 'de yaşlandırma testleri yapılır. Bu süre içinde hususiyeti olan malzemelerdeki transmisyon özellikleriyle potansiyel değişikliklerin her ikisi de gözlenir. Endüstride sık sık ihtiyaç duyulan daha yüksek yanma direnci için dahili ve özel kablolar diğer çevre testleriyle birlikte test edilebilirler.

9.3.3. Kimyasal Testler

Gerçek kullanımda kablolar alkali karışımları ve asitler gibi büyük ölçüde değişik kimyasal çevre şartlarının etkisi altında kalırlar. Kısa uzunluktaki kablolar üzerinde bunların karşılığı olan testler uygulanır ve her hangi bir değişiklik izlenir.

9.3.4. Diğer Testler

Gerekliyse kemiricilere, bakterilere, mikroplar, karıncalara, direnç ve gaz blokajı vs. gibi özel testler uygulanmalıdır.

9.4. Yangına Karşı Direnç

Özellikle dahili kablolar için yangına karşı direnç gereklidir. Yangın konusunda değişik ihtiyaçlar için birkaç sınırlama vardır. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

9.4.1. Alevlendirme Geciktirmesi

Kablo, alev tarafından tutuşmayı zorlaştıran özel malzemeden yapılır. Alevlenme geciktirmesi için kablo konstrüksiyonu da önemlidir.

9.4.2. Korozyonsuzluk

Kablo kılıfı ile tamponlar korasif yani elektronik teçhizat ile soluma sistemini bozan malzemeler içermemelidir. En tanınmış korasif malzemeler “chlorine, bromine ve flourine” karışımlarıdır. Bir örnek olarak PVC'nin yandığı zaman korasif chlorine üretmesi gösterilebilir.

9.4.3. Düşük Duman

Kablo kılıfı ile tamponlar için kullanılan malzemeler yangın durumunda çok az bir duman çıkarırlar. Bu özellikle acil çıkış ve kaçış yolları için önemlidir.

9.4.4. Halojensizlik

Halojensiz kablolar korasif olmayan kabloların bir alt grubudur ve korasif halojen içermezler. Bununla birlikte diğer korasif malzemeleri içerebilirler.



10. FİBER OPTİK KABLO TESİS DİZAYNI

Optik kabloların tesis uygulamalarının iç yüzünün kavranmasına ek olarak zayıflama ve dağılma gibi iletim parametrelerine ve ek teknolojisi metotlarına özel bir önem verilmiştir.

Bir optik kablo tesisi, biri diğerine eklenen tesis edilmiş kablo uzunluklarından ibarettir ve uçlarındaki ilk sürekli olmayan eklerle konnektörleri kapsar.

10.1. İletim Özelliklerinin Planlanması

Kullanılan optik fiberlerin zayıflaması ve bant genişlikleri ile ek bağlantı kayıpları, optik kablo tesislerinin planlamasında dikkate alınması gerekli ve iletimi etkileyen en önemli parametrelerdir. Konnektör, ayırım noktaları, ekler vs. ile teçhizatın içi için planlanması gerekli ekstra paylar aşağıdaki düşüncelerde dikkate alınmamıştır. Fiber optik kabloların tek modlu fiberler için $10\mu\text{m}$, çok modlu fiberler için $100\mu\text{m}$ gibi çok küçük olan boyutları dikkate alınırsa konnektör ve ek cihazlarından kaynaklanan önemli bir kaybın ortaya çıkacağı kolayca anlaşılır. [8,30]

Fiber optik sistemin performansını ciddi bir şekilde etkileyen konnektör ve eklerle ilgili yakın geçmişte yapılan çalışmalar sonucunda konnektörler için 0,25 dB ekler için ise 0,1 dB'den daha küçük zayıflama değerlerine ulaşılmıştır. [8]

10.1.1. Tek ve Çok Modlu Fiberler İçin Zayıflama Planlaması

Kablo tesisinin a_K zayıflaması, kablo uzunluğu L ile birlikte zayıflama katsayısı α_F ve ek kayıpları a_{sp} 'nin n sayısından hesaplanır.

$$a_K = L + \alpha_F + n a_{sp} \quad (10.1)$$

a_K : dB cinsinden kablo tesisinin zayıflaması,

L : km cinsinden kablo uzunluğu,

α_F : dB/km cinsinden zayıflama katsayısı

n : ek sayısı

a_{sp} : dB cinsinden ek kaybı

Kablo tesislerinin uzun bir işletme periyodu için planlamasından dolayı, planlama sırasında onarılabacak ekleri karşılamak için ekstra paylar ilave edilmelidir. Bu, inşaat ve kazıdan veya mevcut kablonun yeniden döşenmesinden dolayı olan hasarı onarmak için yeni kablo parçaları tesis edilmesi gerektiği zaman özellikle önemli olabilir. Bu amaçla yedek tutulan α_{res} ekstra zayıflama payı, lokal şartlara ve tesisin önemine bağlıdır. Yedek pay şebeke işletmesinin kararına dayalı olarak 0,1 ila 0,4 dB/km arasında değişir.

Bundan, repetör aralığı için F zayıflaması hesaplanabilir:

$$a_R = L\alpha_{res} + a_K \quad (10.2)$$

Burada α_{res} , kilometre başına desibel olarak ekstra zayıflama payıdır. Eklerden gelebilecek zayıflamayı küçük tutmak için mümkün en uzun dağıtım uzunluklarını kullanarak her tür gayret gösterilmelidir.

Örnek :İşletme dalga boyu $\lambda = 1300 \text{ nm}$ 'de 30 dB'lik repetör aralığı için maksimum zayıflamaya sahip lazer diyotlu Mbit'lik bir sistemin güzergahı planlanmaktadır. Ortalama 0,1 dB'lik birer kayıp, ihtiyaç bulunan 24 ek ve 2000 m'lik kablo uzunluklarıyla birlikte güzergah uzunluğu 50km'dir. Güzergah boyunca verilen şartlara bağlı olarak, 0,1 dB'lik bir pay ilavesi belirlenmiştir.

Seçilecek optik fiberlerin maksimum zayıflama katsayısının ne olacağının ve güzergahta teçhizatın repetörsüz olarak tamamlanıp tamamlanmayacağının belirlenmesi gerekmektedir.

Çözüm :Önceden açıklanan eşitliklerden şunlar çıkartılabilir :

$$a_R = La_F + na_{sp} + L\alpha_{res} \quad (10.3)$$

$$\alpha_F = \frac{\alpha_R - na_{sp} + L\alpha_{res}}{L} \quad (10.4)$$

$$\alpha_F = \frac{30 - (24 \times 0,1\text{dB}) - (50 \text{ km} \times 0,1 \text{ dB/km})}{50\text{km}}$$

$$= 0,45 \text{ dB /km}$$

Bu optik fiberlerin 0,45 dB/km'den daha fazla zayıflama katsayısına sahip olmaması gerektiğini ifade eder dolayısıyla repetöre gerek yoktur.

10.1.2. Kablo Tesislerindeki Derece İndeksli Fiberlerin Bant Genişliği

Dereceli indis profili bir optik fiberin bant genişliği esas olarak modsal olarak ve/veya malzeme dağılımı tarafından sınırlanmıştır. Daha geniş bir spektral genişlikte ışık yayan diyotlar ile $\lambda = 850 \text{ nm}$ 'lik işletme dalga boyu kullanıldığı zaman malzeme daha büyük bir rol oynar. Diğer taraftan, tipik olarak daha küçük bir spektral genişliğe sahip ve $\lambda = 1300 \text{ nm}$ 'lik bir işletme dalga boyu olan lazer diyotları ile modsal dağılım galip gelir.

Fiber uzunluğu bant genişliğine bağlı olarak yaklaşan ve L uzunluğundaki bant genişliği B olarak verilen bir sistemde derece indisli bir fiberin bant genişliği ile uzunluğunun;

$$b1 = B1 \cdot L1 \quad (10.5)$$

çarpımının hesaplanması için değişik metotlar vardır. Bu metot güç kanuna dayanmaktadır :

$$\frac{B}{B_1} = \frac{L'}{L_1} \quad (10.6)$$

B : Mhz cinsinden sistemin bant genişliği

b1 : Mhz cinsinden bant genişliği ile uzunluk çarpımı

B1 : Mhz cinsinden optik fiberin L1'deki bant genişliği

L : km cinsinden özel fiberin uzunluğu

L1 : B1 bant genişliğindeki tipik 1 km'lik optik fiberin uzunluğu

Modsal olarak dağılım nedeniyle, birkaç kablo sıralandığı zaman bant genişliği uzunlukla lineer olarak azalmadığı görülür. Gerçek uzunluğa yaklaşmak için γ faktörü yardımıyla bir girişim yapılır. γ değerleri genellikle 0,6 ile 1,0 arasında değişir ve çoğu kez 0,8 olması beklenir.

10.1.3. Kablo Tesislerindeki Tek Modlu Fiberlerin Dağılımı

Yalnız lazerlerin kullanılacağı 140 Mbit/s'lik dijital sistemli kablo tesislerinin planlanması sırasında, tek modlu fiberlerin band genişliği, gigahertz kademesine uzak kaldığından ve bu nedenle zayıflama değerleri repetör aralığını sınırladığından ihmal edilebilir.

Tek modlu fiberler için bant genişliği yerine dağılıma verilir. Dağılmadan genişleyen pulsun hesaplaması uygulamada özellikle kolaydır.

$$\Delta T = M(\lambda) \Delta \lambda L \quad (10.7)$$

ΔT : ps cinsinden puls genişlemesi

$M(\lambda)$: ps/nm.km cinsinden kromatik dağılım

$\Delta \lambda$: nm cinsinden vericinin spektral genişliği

L : km cinsinden fiberin uzunluğu

10.2. Mekaniksel Planlama Durumu

Mekaniksel durum konusundaki planlamanın esas amacı, optik kabloyu çevresel şartlara göre en uygun hale getirmek ve bu şekilde optik fiberler için dış etkilere karşı yeterli koruma sağlamaktır.

Harici, dahili ve özel kablo tesisleri arasında bunların uygulamalarını karşılayan bir fark meydana getirilir.

Genellikle güzergah ile tesis uygulama şartlarına göre çeşitli parametrelerin kontrol edilmesi önemlidir. Bu parametreler aşağıda sıralanmıştır.

10.2.1. Güzergah Yönü

İniş ve yokuşların nehirlerde olduğu gibi yüksekliğini, alttan ve üstten kesişen yolları ve ayrıca kritik virajların sayısını açısız notasyonla belirlemek için güzergah ve eş yükselti haritaları kullanılmaktadır.

10.2.2. Arazi Yapısı

Arazideki ova, dağ, çöküntü, orman, bataklık, göl vs.nin sorun olup olmadığının bilinmesi gerekir.

10.2.3. Toprak ve İklimin Tipi

Toprağın humus, kil veya kum bakımından durumu ve kimyasal içerik kapsamı, ortalama sıcaklık değerleri bilinmelidir.

10.3. Tesisin Yapılması

Kabloların gömülmemesi ve toprağın sürülerek döşenmesi arasında bir fark meydana gelmektedir. Tesis edilecek kabloların bükülme yarıçapları ve derinliği göz önüne alınmalıdır. Kablolar kanal içine çekilirken kablo uzunluğu ile kablo üzerindeki çekme halkasına uygulanan maksimum gerilme kuvveti düşünülmelidir. Optik kablolar metal iletkenli kablolarla oranla daha hafif ağırlıkları, yüksek esneklikleri ve oldukça küçük çapları nedeniyle özel bir tesis yapımını gerektirmez.

Kablonun düzenleme biçimi, yapısal elemanlarının mekanik, termik ve kimyasal baskıların iletim özellikleri üzerinde kalıcı etkisinden koruyacağı şekilde doğru seçimi ve ölçülendirilmesiyle yapılmalıdır. Kullanılması mümkün en büyük uzunluklar çalışma toplamı ve minimize edilmiş eklerden dolayı artan zayıflama için her durumda önemlidir. Genelde 2000 m'lik veya daha büyük uzunlukların tesisi genel bir uygulama olmaya başlamıştır. Birçok durumda, özellikle maksimum gerilme kuvvetinin aşırıya kaçmaması güvenceye alındığı zaman, optik kablolar düşük ağırlıkları nedeniyle elle tesis edilebilmektedir.

Optik kablo tesisindeki bir başka metot, kabloları boruların içine enjekte etmek için basınçlı hava kullanmaktır. Bu, uygun arazi, optik fiber çapına en uygun orandaki boru ve yaklaşık 100 m kadar olan bir uzunluk için mümkündür. Çok uzun optik kablolar tesis edileceği zaman (örneğin bir yönde 3 km'den büyük) bir veya daha fazla kendi enerjisini üreten orta kademedeki çekme birimleri kullanılmaktadır. Dahili kablolarla tutuşabilme ve halojen içerik, dikkate alınması gerekli faktörlerdir. Buna karşılık mekanik baskı önemi daha az olan bir faktördür. Kendinden askı telli havai kablolar, maden kabloları, deniz kabloları gibi özel kablolar için önceden açıklananlara ek olarak belirli bir ölçek dikkate alınmalıdır.

Güç sağlayan şirketler, optik kabloları büyük avantajları nedeniyle kullanılabilmektedirler. Bazı kullanım şekilleri aşağıda yer almaktadır.

Gömülü ve boru içi kablolar, optik fiber kabloların yukarıda açıklanan metotlarına göre tesis edilirler.

Kendinden askı telli havai kablolar için bakır kablolarla kullanılan teknikler izlenir. Tek veya çok katlı galvanizli çelik alüminyum alaşımı (E-AlMgSi), Stalum (alüminyum kaplamalı çelik, ACS) veya bunların bir karışımından yapılmış tel zırhlı olan ve tamamen dielektrik kablo dizaynları bulunmaktadır. Her iki tip ve hatta 500 m'den daha büyük mesafeler ve şiddetli çevresel şartlara (rüzgar ve buz yükü gibi) uygun ölçeklendirilen kablolarla sorun meydana getirmez.

10.4. Fiber Optik Ekleme Tekniği

Kabloların genellikle standart uzunluklarda üretilmesi ve kablo şebekelerinin kollara ayrılma gereği fiber optik kablolarla ekleme gerekliliği sonucunu doğurmaktadır. Bu nedenle kablo tesisini dizayn edenler sadece fiberin zayıflama şartlarını dikkate almazlar, aynı zamanda eklerde üretilen kayıplarda göz önünde bulundurulur. Kablo tesisinin tüm maliyetini minimize etmek için sinyal repetörleri olmaksızın ara mesafenin daima maksimize edilmesine gereklilik vardır. Bundan dolayı yalnız kablo uzunluklarının arttırılmasına değil aynı zamanda eklerdeki kayıpların optimize edilmesinde ihtiyaç bulunmaktadır.

Ekler kendi aralarında mekanik ve eritilerek birleştirilen (fusion) ekleme olarak ayrılabilir. Mekanik ekleme daha çok mekanik ek donatımı ve konnektörler çerçevesinde ayırt edilir.

Konnektör ekleri kalıcı değildir ve mekanik teması bir adaptörle sağlamak üzere iki fiber optik konnektörü bir arada kapsarlar. Konnektörler içindeki kritik kayıplar ekleme ve dönüş kayıplarıdır. Bu kayıplar, konnektörlerin uç yüzünün tip ve kalitesi tarafından doğrudan belirlenir.

Mekanik ekler en fazla çok modlu fiberler veya ölçme yapılan geçici bağlantıları uygulamak için sık sık kullanılırlar.

Özellikle tek modlu fiberlerin kullanıldığı mekaniksel eklerle karşılanamayan yüksek performanslı haberleşme şebekeleri ihtiyacı sık rastlanan bir durumdur. Bu gibi hallerde fiber uçlarının eritilerek eklenmesi suretiyle bağlanmış bir ekin yapılması için optik fiberlerde füzyon ekleri kullanılır. Bu füzyon eklerine sürekli ek olarak bakılır. [9-13]

11. ASKERİ UYGULAMALARDA FİBER OPTİK KABLO TEKNOLOJİSİNİN ÜSTÜNLÜKLERİ

Güvenli haberleşme konusunda yapılan araştırmalar sonucunda fiber optik teknolojinin haberleşme sistemlerinde kullanılan diğer telli ve telsiz sistemlere nazaran bir çok üstünlükleri ortaya çıkmış olup aşağıda sıralanmıştır.

11.1. Büyük Bant Genişliği

Bir iletişim sisteminin bilgi taşıma kapasitesi, bu sistemin bant genişliğiyle doğru orantılıdır; bant genişliği ne kadar fazla olursa, sistemin bilgi taşıma kapasitesi de o kadar fazla olur. Karşılaştırma amacıyla, bir sistemin bant genişliğini, bu sistemin taşıyıcı frekansının bir yüzdesi şeklinde ifade etmek yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Örneğin, 100 MHz'de çalışan bir VHF radyo sisteminin bant genişliği 10 MHz'dir yani taşıyıcı frekansın %10'udur. Bant genişliği taşıyıcı frekansın %10'una eşit, 6 GHz'de çalışan bir mikro dalga radyo sistemin bant genişliği 600 MHz olur. Dolayısıyla, taşıyıcı frekansı ne kadar yüksek olursa, o kadar fazla bant genişliği mümkün olur. Bunun sonucu olarak da, bilgi taşıma kapasitesi o kadar büyük olur. Fiber optik sistemlerde kullanılan ışık frekansları 10^{14} ile 10^{15} Hz arasındadır(100.000 GHz ile 1.000.000 GHz arası). 1.000.000 GHz'in yüzde onu 100.000 GHz'dir. Bugünün ya da yakın geleceğin gereksinmelerini karşılamak için 100.000 GHz aşırı bir bant genişliğidir. Ancak, bu sayı fiber optik sistemlerin kapasitesini ortaya koymaktadır. [1]

Optik sistemler 10^{13} ve 10^{16} Hz (genellikle 10^{14} Hz veya 10^5 Ghz civarında) frekanslarında iletim sağlayabilirler. Bu değerler 500 MHz bant genişliğine sahip bakır koaksiyel kabloların kapasitesinin çok üstündedir. Özellikle yüksek bant genişliği gerektiren bilgi sistemlerinin iletiminde fiber optik kablolar klasik bakır kabloları nazaran çok daha üstündür. [4]

Yapıları gereği optik frekanslar daha geniş bant genişlikleri sağladıkları için fiber sistemler daha büyük bir kapasiteye sahiptir. Metalik kablolarda, iletkenler arasında kapasitans ve iletkenler boyunca indüktans meydana gelir. Bu özellikler metalik kabloların, bant genişliklerini sınırlayan alçak geçiren filtre gibi hareket etmelerine neden olur. [1]

Fiber optik kabloların çok geniş olan bant genişlikleri özellikle havacılıkta gerçek zamanlı çok yüksek hızda data haberleşmesi sağlamaktadır ki bu konu uçuş kontrolü ve uçuş güvenliği için hayati bir konudur. [31]

Fiber optik kabloların büyük bant genişlikleri muharebe ortamında komuta kontrol ve bilgi sistemlerinin sağlıklı bir şekilde çalışmasını sağlayacak çok yüksek oranda ses, görüntü ve bilgi iletimini mümkün kılacaktır. Geleceğin muharebe ortamında komuta kontrol ve bilgi sistemlerinin çok yüksek oranda bilgi transferine sahne olacağı düşünülürse fiber optik teknoloji sahip olduğu yüksek bant genişliği sayesinde askeri uygulamalar açısından eşsiz fırsatlar sağlamaktadır. [3]

11.2. Küçük Boyut ve Hafif Ağırlık

Optik fiberler insan saçından daha ince ölçülerde bile üretilebilirler. Küçük boyut ve düşük ağırlıkları bu sistemi özellikle askeri mobil sistemler için (uçaklar, helikopterler, tanklar, gemiler gibi) vazgeçilmez bir unsur haline getirmiştir. Örneğin bir uçakta klasik bakır kablolar yerine fiber optik kablolar kullanılarak 200 kg. kadar ağırlıktan tasarruf edilebilmektedir. Bu özelliğiyle fiber optik kablolar ağırlığın önemli bir tehdit olduğu askeri mobil sistemlerin (uçak, helikopter, gemi, tank gibi) performansını olumlu yönde artırmaktadır. Ayrıca diğer kablolara oranla çok küçük boyutlarda olmaları askeri mobil sistemlerin boyutlarını da aynı oranda küçültmekte ve bu sistemlerin daha büyük hedefler olmasını engellemektedir. [4,6,31]

Fiber optik kablolar çok küçük boyutları ve hafif ağırlıkları sayesinde tıp alanından askeri teknolojilere kadar çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Ayrıca bu özellik fiber optik sistemleri diğer sistemlere oranla taşıma, depolama ve tesis açısından daha ekonomik hale getirmektedir. [8]

Fiber optiklerin çok küçük olan boyutları ileri teknoloji ürünü askeri sistemlerin çok ince ayrıntılarının zarar vermeden aydınlatılmasını sağlamaktadır. Oysa bu konu boyutlarının küçük olmaması nedeniyle bakır kablolarla mümkün değildir.

11.3. Elektriki İzolasyon

Optik fiberler cam ve plastik polimerler gibi iletken olmayan maddelerden yapıldığından elektriki ortamlarda meydana gelen kısa devre ve yangın gibi tehlikeler oluşturmazlar. Bu özelliğiyle yoğun elektriki ortamlarda bile güvenli bir şekilde kullanılabilir. Sistem iletken olmadığı için şimşek ve yoğun elektrik yüklü bulutlardan da etkilenmez. Fiber optik kablo kırılrsa bile kısa devre tehlikesi olmadığından patlamalar olmaz. Askeri mobil sistemlerde elektriki sistemler özellikle yakıt tankları ve mühimmat bölmeleri için büyük bir tehdit oluştururken fiber optik kablolar elektriki izolasyon özelliği sayesinde hiçbir tehdit oluşturmaz ve güvenli kullanılabilir. [4,7]

Fiber optik kablolar, elektrik iletmemesi özelliği sayesinde yıldırımların, floresan ışığının ve diğer elektriksel gürültü kaynaklarının neden olduğu statik karışmadan da etkilenmezler. Ayrıca fiber optik sistemler klasik elektronik sistemlerin aksine enerji yaymazlar; dolayısıyla, diğer iletişim sistemleriyle girişime yol açmaları mümkün değildir. Bu askeri uygulamalar açısından tercih edilen önemli bir özelliktir. [1,7]

Bu özellik, fiber sistemleri askeri uygulamalara çok uygun hale getirir. Askeri uygulamalarda, nükleer silahların etkileri (elektromanyetik darbe girişi), klasik iletişim sistemleri üzerinde çok kötü sonuçlar yaratır. Fiber optiklerin bu özelliği taktik sahada sistemlerin nükleer şartlar içinde bile bakır sistemlere göre çok daha sağlıklı bir şekilde çalışmasını sağlar. [1,7]

11.4. EMI, RFI ve EMP'ye Karşı Duyarsızlık

Optik sistemlerin iletken olmayan yapısı dost ve düşmanın amaçlı veya amaçsız elektromanyetik enterferans (EMI), telsiz frekans enterferansı (RFI), ve elektromanyetik darbe (EMP)'ye karşı duyarsızlık sağladığından bu gibi ortamlarda fiber optik sistemler EMI, RFI, EMP'den etkilenmeden güvenli veri iletimine devam

edilebilir. Muhabere sahasında değişik vasıtalarla elektromanyetik spektrumun yoğun olarak kullanılması yada nükleer ortamda diğer haberleşme sistemlerini çökerten yoğun EMP fiber optik sistemlerin iletişimini etkilemez. Fiber optik kabloların bu özelliği askeri uçak ve helikopterlerin, uçuş güvenliği için ciddi bir tehdit oluşturan EMI, RFI ve EMP'den etkilenmeden görevlerini yerini getirme fırsatı tanır. [31]

Fiber optik sistemler, manyetik indüksiyonun neden olduğu kablolar arası karışmadan etkilenmezler. Cam ya da plastik fiberler elektriği iletmeyen maddeler olduğu için fiber optik kablolarda, akım akışının meydana getirdiği manyetik alan yoktur. Yapısal özellikleri nedeniyle fiber optik kablolar manyetik alan oluşturmadıkları gibi manyetik alanlardan da etkilenmezler. Metalik kablolarda, karışmanın başlıca nedeni birbirine yakın yerleştirilmiş iletkenler arasındaki manyetik indüksiyondur. Ancak fiber optik kablolarda böyle bir problem yoktur. [1]

Gelecekte stratejik nükleer silahlar sınırlandırılrsa da, taktik nükleer silahlar yerlerini muhafaza edeceklerdir. Dolayısıyla gelecekte de nükleer ortamda kesintisiz ve güvenli haberleşme konusu önemini artırarak korumaya devam edecektir. Bu anlamda geleceğin muharebe ortamında nükleer koşullar altında dahi fiber optik teknoloji geçerliliğini sürdürecektir.

Elektromanyetik darbe, elektromanyetik enterferans ve yüksek yoğunlukta telsiz frekans enterferansı özellikle havacılıkta komuta kontrol ve seyrüsefer sistemleri için çok ciddi tehdit oluşturur. Uçuş güvenliği için hayati bir konu olan bu sorun uçaklarda bakır kablolar yerine fiber optik kablolar kullanılarak çözülebilmektedir. [31,32]

11.5. Sinyal Güvenliği

Optik sistemlerde kullanılan ışınlar sistemin dışına sinyal yaymazlar. Dolayısıyla fiber optikler diğer sistemlerde olmayan yüksek derecede sinyal güvenliği sağlar. İletimin çalınması çok zordur. Fiber optiklerde dışardan yapılacak müdahalelerle sistemden optik enerji çekmeden sinyal elde etmek mümkün değildir. Dolayısıyla sistemden bilgi elde etmek için girişilen teşebbüsler optik enerji seviyesindeki

değişmeler sayesinde kolaylıkla tespit edilebilir. Bu konu özellikle yüksek düzeyde güvenilirlik gerektiren askeri haberleşme alanında son derece hayati bir konudur. [4]

Fiber optik kablodan sinyal çalmanın iki yolu vardır. Ya fiber optik kablo kesilir ve kesilen uca alıcı bir cihaz bağlanır veya fiber optik kablo keskin bir açı yapacak şekilde bükülür ve ışığın fiber optik kablodan dışarı kaçması sağlanır. Her iki halde de sistemdeki sinyal yoğunluğundaki azalma derhal tespit edileceğinden sistem yüksek seviyede güvenlik sağlar. [6]

Fiber optik kablolar bakır kablolarla nazaran çok daha emniyetlidir. Sistemde kullanıcının haberi olmaksızın fiber kablonun içine kaçak veya gizli bir bağlantı yapmak imkansızdır. Bu özellik fiber optik kabloyu, askeri uygulamalar açısından oldukça cazip kılan bir başka niteliğidir. [1,7]

Fiber optik teknolojinin sağlamış olduğu yüksek düzeydeki sinyal güvenliği, günümüzde ve gelecekte bu teknolojiyi kullanan askeri komuta kontrol ve bilgi sistemlerinin fonksiyonlarını güvenilir bir şekilde yürütmesini sağlayacaktır. [3]

11.6. Düşük İletim Kaybı

Optik sistemler kilometrede 0,2 desibel iletim kaybı oranında üretilebilirler. Bu özellik diğer bakır sistemlerle karşılaştırıldığında optik sistemler açısından büyük bir avantajdır. Bakır sistemler 2 km'de bir tekrarlayıcı gerektirirken optik sistemler çok uzun mesafelere kadar (100 km) repetöre ihtiyaç duymaması sistemi daha basitleştirmekte ve maliyetini düşürmektedir. Ayrıca sahip olduğu bu potansiyel çok uzun mesafelerde yüksek kalitede haberleşme sağlamaktadır. Fiber optik teknolojinin bu özelliği asker uygulamalar açısından son derece önemli bir konudur. [4]

Özellikle denizaltı uygulamaları için tekrarlayıcıya ihtiyaç duyulmayan nitelikteki yüksek kaliteli fiber optik kablolar bakır kablolarla kıyaslandığında çok büyük bir üstünlüğe sahiptir.

11.7. Esneklik, Dayanıklılık ve Kullanım Kolaylığı

İlginç bir şekilde cam maddeden üretilmesine rağmen optik fiberler bükülebilir ve zarar görmeden kıvrılabilir. Fiber optik kablolar, dayanıklı ve sağlam yapısı ile çevre koşullarından etkilenmeden uzun dönemli haberleşme uygulamalarında güvenle kullanılabilirler. Sıcaklık değişimlerinden ve yüksek nem ortamından etkilenmezler. Optik fiberler esnek, yoğun, son derece dayanıklı yapılarıyla bu alandaki üstünlüklerini de ispatlamışlardır. Küçük hacimleri ve düşük ağırlıkları dikkate alındığında fiber optik sistemlerin bakır sistemlere göre depolama, taşıma, tesis kolaylığı çarpıcı bir şekilde ön plana çıkmaktadır. [4]

Fiber optik kablolar, çevre şartlarında oluşan büyük değişikliklere karşı daha dirençlidir. Metalik kablolarla oranla daha geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilirler. Aynı şekilde fiber kablolar, aşındırıcı sıvılardan ve gazlardan daha az etkilenirler. [1]

Fiber optik kabloların gerilme direnci çeliğin gerilme direnciyle karşılaştırıldığında arada büyük bir fark olduğu ortaya çıkar. Çeliğin gerilme direnci 250000 lb/in^2 iken fiber optiklerin gerilme direnci ise 600000 lb/in^2 'dir. [6]

Fiber optiklerin esnek, dayaklı yapıları ve kullanım kolaylıkları bu teknolojiyi askeri uygulamalar açısından günümüzde ve gelecekte de cazip kılacaktır.

11.8. Sistem Güvenliği ve Bakım Kolaylığı

Sistem güvenli bir şekilde çok düşük oranda kayıpla sinyal iletebildiği ve bakır sistemler gibi 2 km'de bir repetöre ihtiyaç duymadığı için daha basit ve güvenlidir. Ayrıca sistemde kullanılan optik bileşenlerin 20 ile 30 yıl arasında öngörülen ömür süresi de sistemi daha güvenli kılmakta ve bakım kolaylığı sağlamaktadır. Fiber optik kablo ağlarında devre üzerinde bazı yerlerde iletim ışık olarak görülebilir. Bu özellik arıza yerinin bulunmasını kolaylaştırır aynı zamanda sisteme yüksek derecede güvenilirlik kazandırır. Askeri uygulamalar açısından bu özellik son derece önemli olup fiber optik teknolojiyi son derece cazip hale getirmektedir. [4]

Fiber kabloların monte edilmeleri ve bakımı daha kolay ve daha güvenlidir. Cam ve plastik fiberler iletken olmadıkları için, elektrik akımları veya gerilimlerinin yarattığı

tehlikeler yoktur. Fiberler, hiçbir patlama ya da yangın tehlikesi oluşturmaksızın, uçucu sıvıların ya da gazların çevresinde güvenli bir şekilde kullanılabilirler. Fiberler, metalik kablolardan daha küçük ve daha hafif oldukları için bu kablolarla çalışmak hem tesis hem de bakım aşamasında daha kolaydır. Askeri uygulamalar açısından aranan önemli bir özellik olan bu konu aynı zamanda lojistik yükü de azaltacaktır. [1]

11.9. Düşük Maliyet Potansiyeli

Fiber optiklerin temelini oluşturan cam nadiren bulunan ham maddelerden değil bildiğimiz kum taneciklerinden yapılmaktadır. Gittikçe artan oranda fiber optik kablo üretimi bu teknolojiyi maliyet açısından bakır kablolarla rekabet edecek düzeylere getirmiştir. Ancak fiber optik teknolojinin kablo dışındaki diğer bileşenleri için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Maliyet açısından fiber optik sistemleri taşıma, depolama, tesis ve kurma bakır sistemlere nazaran optik sistemlerin yapısal özellikleri nedeniyle daha düşüktür. Fiber kablolar daha az saklama alanı gerektirir ve daha hafiftir. Daha küçük hacim ve daha az ağırlık doğrudan taşıma ve depolama maliyetlerini azaltan unsurlardır. Ayrıca fiber optik sistemin uzun vadeli maliyetinin, metalik bir sistemin uzun vadeli maliyetinden daha az olacağı düşünülmektedir. [1,4]

Fiber optik kabloların üretim safhasında ham madde olarak kullanılan kum taneciklerinin bakır madeninin aksine rezerv sorunu olmayıp maliyet açısından oldukça ucuzdur. Klasik iletişim sistemlerinde kullanılan bakırın sonuçta gittikçe azalan bir ham madde kaynağı olmasına karşın fiber optik kablolar açısından böyle bir sorun söz konusu değildir. Dolayısıyla gelecekte klasik sistemler ham madde kaynaklarının tükenme riskiyle karşılaşırken fiber optik teknoloji sınırsız sayılabilecek ham madde kaynağı ile üretilmeye devam edilebilecektir.

Fiber optik iletişim sisteminin tesis aşamasında bakır sistemler gibi çok sık tekrarlayıcı gerektirmemesi sistemin tesis maliyetini düşüren diğer unsurlardan biridir. Bu ise lojistik açıdan önemli bir konudur. [6]

11.10. Elektronlar Yerine Fotonlarla Çalışma

Elektronlar yerine fotonlarla çalışma prensibi sayesinde fiber optik kablolar elektrik boşalmalar, endüktif tesirler ve nükleer patlamalarda oluşan EMP'den etkilenmezler ve bağlanmış oldukları cihazları dış etkilere uzak tutarlar. [16]

Askeri haberleşme sistemleri açısından son derece önemli bir konu olan iletişim sistemlerinin dış elektriksel tesirlerden etkilenmemesi elektronlarla çalışan klasik iletişim sistemlerinde çoğu zaman mümkün değildir. Oysa elektronlar yerine fotonlarla çalışma prensibi fiber optik teknolojinin yoğun elektromanyetik ortamlarda sorunsuz bir şekilde askeri anlamda güvenilir ve kesintisiz haberleşme ihtiyacına cevap vermesini sağlayacaktır.

11.11. Çok Yüksek Data İletimi

Yüksek frekanslı (2×10^{14} Hz) optik dalgalar çok yüksek miktarda data iletimine izin verir. Bir optik kablo kanalının bu merkezi frekansın sadece %1'ini kullandığı düşünülürse ise bir optik kablo kanalında 2×10^{12} Hz frekanslık bant genişliği ortaya çıkar. Her televizyon kanalının yaklaşık 6 MHz frekanslık bant aralığını işgal ettiği düşünülürse 300000'den fazla TV programının tek bir optik kablo kanalından iletebileceği ortaya çıkar. [8]

Fiber optik kablolar metalik kablolarla oranla çok daha fazla data iletebilme kapasitesine sahip olması ses iletiminde de büyük bir üstünlüğü sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Fiber optik kablo ile tek yönde 50.000 konuşma yapılabilirken koaksiyel kablo 5.400 konuşma telefon kablosu ile 48 konuşma yapılabilir. Kabloların birden çok fiberden oluştuğu (bazen yüzlerce) düşünülürse tek bir fiber optik kabloların yüz binlerce ses kanalını taşıyabileceği ortaya çıkar. [2,7,8]

Askeri uygulamalar açısından geleceğin muharebe ortamında komuta kontrol ve bilgi sistemlerinin çok yüksek oranda ses, görüntü ve bilgi iletimine sahne olacağı düşünülürse bakır sistemlerin komuta kontrol ve bilgi sistemlerini desteklemekte yetersiz kalacağı görülecektir. Bu anlamda fiber optik teknolojisi çok yüksek data iletim kapasitesi sayesinde geleceğin muharebe sahasında komuta kontrol ve bilgi sistemlerini sorunsuz bir şekilde desteklemeye devam edecektir.[3]

11.12. Düşük Hata Oranı

Fiber optik kablolar elektromanyetik karışımdan etkilenmezler. Fiber optik kablolarla iletim ışık dalgalarıyla gerçekleştirilirken koruyucu kılıf sayesinde dış ışık kaynaklarından etkilenmezler. Fiber optik kabloların bu özelliği data iletiminde sistemin güvenli bir şekilde çok düşük bit hata oranında gerçekleşmesini sağlar. [6]

Askeri uygulamalar açısından iletişim sisteminin hata oranı çok önemli bir konu olup sistemin hata oranının yüksekliği çok vahim sonuçlara sebebiyet verebilir. Bu yüzden askeri anlamda kullanılan iletişim sistemleri her zaman çok düşük hata oranını garanti etmelidir. Komuta kontrol ve bilgi sistemlerinin fonksiyonlarını sağlıklı bir şekilde yerine getirebilmesi de buna bağlıdır. Fiber optik teknoloji klasik sistemlere nazaran çok düşük hata oranı özelliğiyle askeri uygulamalar açısından son derece caziptir.

11.13. Düşük Kayıp

Fiber optik kablolar ışığı çok az absorbe eden aşırı saf camdan imal edildikleri için ışık, yoğunluğu yarıya inmeden onlarca kilometre ilerleyebilir. Üstelik fiber optik kablolarla zayıflama iletilen bit oranından bağımsızdır. Oysa bakır kablolarla ise fiber optik kabloların aksine zayıflama, bit oranı artıka yükselmektedir. [6]

Bakır sistemlerin aksine zayıflamanın iletilen bit oranından bağımsız olması fiber optik teknolojiyi askeri uygulamalar açısından son derece cazip kılmaktadır. Çünkü askeri iletişim sistemleri giderek artan bit miktarlarıyla karşı karşıya kalmaktadır. İletilen bit oranlarının gelecekte daha yoğun bir şekilde artacağı düşünülürse bakır sistemlerin artan bit oranı ile beraber yüksek zayıflama nedeniyle yetersiz kalacağı görülecektir. Bu anlamda fiber optik teknolojisi askeri açıdan çok önemli bir avantaj sağlamaktadır.

11.14. Isı Üretmeme

Optik sinyaller çok düşük güç taşıdıkları ve bu düşük gücün de çok az bir kısmı absorbe edildiği için fiber optik kablolarla ısınma olmaz. Bunu sonucu olarak fiber optik kablolar demetler halinde bir arada ısı yükselme riski taşımadan güvenli kullanılabilir[11]. Isınmaya neden olan bakır kabloların kullanılmasının riskli olduğu

askeri sistemlerde özellikle yakıt ve mühimmat donanımları gibi kritik bölümlerde fiber optik kablolar oldukça güvenli bir şekilde kullanılabilir.

Yüksek teknoloji ürünü askeri sistemlerde kabloların ısı üretimi sistem için önemli bir hassasiyet oluşturabilir ve sistemin sağlıklı bir şekilde çalışmasını etkileyebilir. Bu tür sistemlerde fiber optik teknolojinin kullanılması sistemin sağlıklı bir şekilde çalışmasını garanti edecektir.

11.15. Geniş Tekrarlayıcı Mesafe Aralığı

Fiber optik kabloların düşük kayıp oranının doğal sonucu olarak tekrarlayıcılar arası mesafeler bakır kablolarla kullanılan tekrarlayıcı mesafelerine oranla oldukça fazladır. Uzun mesafeli fiber optik iletişim sistemlerinde kullanılan tekrarlayıcılar arası mesafeler 100 km ve daha fazla olabilir. İletişim sisteminin tesis aşamasında kullanılacak optik güçlendiriciler bu mesafenin daha da artmasını sağlayacaktır.

Geniş tekrarlayıcı mesafe aralığı askeri açıdan önemli avantajlar sağlar. Sistemde kullanılan tekrarlayıcı sayısının azalması sistemi basitleştirirken lojistik açıdan kolaylık sağlayacaktır. Ayrıca tekrarlayıcı sayısının bakır sistemlere oranla çok önemli bir oranda azalması sisteme bakım kolaylığı da sağlayacaktır.

11.16. Hassas Aydınlatma

Fiber optik kabloların ısı üretmeme ve saç telinden daha ince boyutlarda imal edilebilme özelliği, ileri teknoloji ürünü askeri sistemlerin bakır kablolarla ulaşılması mümkün olmayan veya riskli olan ince ayrıntılarının güvenli bir şekilde aydınlatılabilmesine olanak sağlar. Fiber optik kabloların aydınlatma yaparken ısı üretmemesi sistemin ayrıca termal hedef tespit sistemleri tarafından yakalanmasına engel olur.

Bakır kablolar ısı üretmesi ayrıca boyutları nedeniyle fiber optik kablolar gibi çok ince ve hassas noktalara ulaşamaması nedeniyle bu yeteneğe sahip değildir.

11.17. Gerçek Zamanda Data İletimi

Fiber optik teknolojiyle çok yüksek oranda bilginin ışık dalgalarıyla iletimi gerçek zamanda iletişim imkanı sağlar. Fiber optik teknolojinin bu özelliği askeri anlamda çok önemli avantajlar sağlamaktadır.

Bu özellik, askeri komuta kontrol ve bilgi sistemlerinin muharebe ortamında gerçek zamana yakın oranda bilgiye ulaşmasını, gelişmelerin gerçek zamana yakın tespit edilmesini sağlayacak ve karar verme sürecini kısaltacaktır. [3]

Gerçek zamana yakın data iletimi sayesinde sensörler tarafından tespit edilen hedefler yine gerçek zamanda silah sistemlerine aktararak eş zamanlı olarak ateş altına alınabilecektir. Hedef tespit ve ateş kontrol sistemleri arasında fiber optik teknoloji kullanılarak gerçek zamana yakın data iletimi hedefe reaksiyon süresini kısaltacak ve gerçek zamanda hedeflerin imha edilmesine imkan tanıyacaktır. Fiber optik teknolojinin bu özelliği askeri birliklere gerçek zamanda bilgi toplama, işleme, saklama ve yayma yeteneği sağlayacaktır. [3]

12. ASKERİ AÇIDAN GÜVENLİ HABERLEŞME VE FİBER OPTİK TEKNOLOJİSİ

Bu bölümde askeri açıdan güvenli haberleşmenin önemi üzerinde durulacak, günümüzün ve geleceğin güvenilir iletişim araçlarından fiber optik teknolojinin askeri anlamda güvenilir ve kesintisiz haberleşme ihtiyacına nasıl cevap verebileceği ifade edilecektir.

12.1. Askeri Açıdan Güvenli Haberleşmenin Önemi

Çöl Fırtınası ve Bosna Hersek hareketlerinde olduğu gibi çatışma ortamı artık geleneksel askeri güç unsurları yanında füzeler, kitle imha silahları ve elektronik harp vasıtaları gibi yeni tehdit unsurlarını da kapsamaktadır.

Askeri çatışma alanları temelde fiziksel, bilgiye yönelik ve manevi alanlar olmak üzere üçe ayrılır. Çatışmanın bilgiye yönelik alanı, veri ve bilginin ele geçirilmesi, kullanılması, korunması ve yöneltilmesiyle düşmanın veri ve bilgiyi kullanmasıyla ilgilidir. Modern teknoloji bilginin elde edilmesi, iletilmesi, işlenmesi ve kullanma olanağını çok fazla genişletmiştir. Bu anlamda mikroişlemciler ve telekomünikasyon teknolojisindeki gelişmeler muharebe şeklini de değiştirmiştir.

Kara Kuvvetlerinin hareketi yürütürken icra ettiği temel faaliyetler askeri gücü uygulayan kuvvetlerin esas faaliyetleridir ve birbirinden ayrı düşünülmemedir. Çünkü bunlar bir bütünün ayrılmaz parçalarıdır. Temel faaliyetler tüm muharebe sahası faaliyetlerinde ve tüm komuta seviyelerinde uygulanır. Genellikle iç içe geçmişlerdir. Tüm bu temel faaliyetlerinde güvenli veri iletimi ve kesintisiz haberleşme ihtiyacı birliklerin karşı karşıya kaldıkları problemlerin başında gelir. Bu anlamda fiber optik teknoloji askeri ihtiyaçlara cevap verebilecek niteliklere sahiptir.

Harekat esnasında kuvvetin ve hareketin emniyeti daima, etkin bir biçimde sağlanmalıdır. Düşmanın önemli bilgiler elde etmesine, etkin darbe indirmesine

veya dost birlik faaliyetlerine etki etmesine imkan verilmemelidir. Beka, kuvveti koruma ve hareket emniyeti sağlamada kullanılan tüm aktif ve pasif tedbirleri kapsar. Ayrıca tüm alanlarda (fiziksel, bilgiye yönelik ve manevi) meydana gelen darbelere karşı korunmak için alınan tedbirleri de kapsar.

Harekatın mahiyetine bakmaksızın, komutanlar kuvvetin bekası, muharebe gücünün korunması için uygun tedbirler geliştirmek zorundadır. Etkin ve güvenli bir bilgi akış sistemi kurma, belirsizlik, şayialar ve yanlış bilgilerin yayılmasını önler ve bekaya yardımcı olur. Fiber optik teknoloji kullanılarak askeri anlamda etkin ve güvenilir bir bilgi akış sistemi kurulabilir.

Teknolojideki gelişmeler ve bunların bilgi harbine yansımaları taktik ve teknikleri etkileyecek boyuttadır. Bilgi teknolojileri ile askeri birliklerin gerçeğe yakın bir zamanda bilgi toplama, işleme, saklama ve yayma yeteneği önemli ölçüde artmıştır. Teknoloji, birliklerin daha geniş bir alana yayılmasına imkan vermekle birlikte güvenli veri iletimi ve kesintisiz haberleşme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Güvenilir veri iletimi ve kesintisiz haberleşme ihtiyacı günümüzün mevcut teknolojilerinden fiber optik teknolojisi ile karşılanabilir.

Bilgi teknolojileri; güvenli veri iletimi ve kesintisiz haberleşmeyi garanti ettikleri sürece, silahların, sensörlerin bunları taşıyan platform ve insanların daha etkili olmasını sağlar. Bu teknolojiler bilgiyi toplama, depolama, işleme ve yayım konusunda sağladıkları imkanlarla komuta kontrolün etkinliğini artırarak komutanların daha doğru ve süratli karar vermesini kolaylaştırır. Fiber optik teknoloji bu anlamda çok önemli avantajlara sahiptir.

Muharebe gücünün uygun yer ve zamanda azami etkinlikte kullanılmasının anahtarı, güvenilir bir muhabere, elektronik ve bilgi sistemi (MEBS)'dir. "Muhaberesiz muharebe olmaz" prensibinden hareketle her seviyede muhabere elektronik ve bilgi sistemleri güvenilir, kesintisiz haberleşmeyi ve iletişimi garanti etmelidir. Güvenilir bir muhabere sisteminin emniyeti ise muhabere ve bilgi sistemlerine uygulanan kriptoloji emniyeti, gönderme emniyeti, radyasyon emniyeti gibi tedbirleri kapsar.

Haberleşme ve elektronik sistemlerin engellenemeyen verimi etkin askeri hareket için arzu edilen bir husustur. Haberleşme ve elektronik sistemlerin etkinliğinden kaybetmesi birliğin komuta ve kontrolünü ciddi surette zayıflatır, istihbarat, hareket

kabiliyeti ve taktik hareketini yeterli olarak destekleyecek sistemi ters yönde etkiler. Bu nedenle haberleşme ve elektronik sistemlerin etkinliğini kaybetmemesi için güvenli ve kesintisiz haberleşmeyi garanti edecek sistemler kullanılmalıdır. Bu anlamda fiber optik teknoloji güvenilir ve kesintisiz haberleşmeyi garanti edebilecek üstün özelliklere sahiptir.

Telsiz, radar ve elektro-optik cihazlar gibi haberleşme ve elektronik gereçlerden amaçlı veya amaçsız yayınlanmakta olan bütün radar dalgaları, dinlemeye, telsiz kestirmesine ve tahlile karşı duyarlıdır. Düşmanın dinleme ve yararlanmasının etkileri, düşmanın yararlanmasını en alt düzeye indirecek en sıkı muhabere emniyeti uygulamalarının düşman elektronik karşı tedbirleriyle mücadele edecek kuvvetli bir elektronik karşı tedbirlere karşı koyma programının kabulü ve uygulaması ile azaltılabilir. Bu maksadı gerçekleştirmek için kullanılacak muhabere-elektronik sistemlerin güvenli sistemler olması gerekir. Fiber optik teknoloji sahip olduğu yapısal özellikleri ile dışarıya yayını yapmadığı gibi dışardan yapılacak maksatlı veya maksatsız yayınlara karşı da duyarsızdır.

Elektromanyetik spektrumun bütün frekansları düşmanın karşı tedbirlerine duyarlıdır. Örneğin, kızılötesi hava elektronik hedef tespit cihazı pasif durumuna rağmen yüksek şiddetteki ışık kaynakları veya ısı dağıtıcı varlıkların amaçlı olarak yerleştirilmeleri suretiyle aldatma yoluyla karıştırma gibi karşı tedbirlerin etkisi altında kalabilir. Bu cihazlar genel olarak askeri amaçlarla haberleşmede hedef tespiti ve takibinde, muharebe sahası gözetlemesinde, füze güdümünde, silahları otomatik ateşlemede, kontrol sistemleri ve seyrüsefer yardımcı malzemelerinde yararlanır. Elektromanyetik spektrumun yoğun olarak bilgi ve haberleşme sistemlerini etkilediği muharebe ortamında kullanılan iletişim sistemleri güvenli oldukları sürece fonksiyonlarını icra edebilir ve taktik ihtiyaçları karşılayabilirler. Bu anlamda fiber optik teknoloji askeri beklentilere cevap verebilir ve fonksiyonlarını devam ettirebilir.

K.K.K.lığının komuta kontrol muharebe (C3) sistemlerinin görevi; barışta ve savaşta; olağanüstü hal, iç ve dış olaylara karşı yapılacak hareketin sevk ve idaresinde komutanlıklar arasında stratejik, operatif ve taktik muharebe sistemleri üzerinde emir ve raporların süratli, emniyetli ve eksiksiz bir şekilde ulaştırılmasını sağlayacak beka kabiliyeti yüksek, elastiki, güvenilir, elektronik harp, elektromanyetik enterferans

(EMI) ve elektromanyetik darbelere (EMP) mukavim, ekonomik ve çok alternatifli muhabere sistemlerini tesis etmek, işletmek ve idame ettirmektir. Fiber optik teknoloji EMI ve EMP'ye karşı duyarsız olan yapısı ve daha bir çok üstün özelliği ile istenilen ihtiyaçlara cevap verebilecek niteliktedir.

Haberleşme sistemlerinin kabiliyetleri, kısıtlamaları ve zayıf yönleri bilinmelidir. Genellikle çoğu haberleşme sistemleri dost ve düşman tarafından kasıtlı ve kasıtsız yapılan karıştırmalara karşı hassastır. Ayrıca telsizle yapılan haberleşmeler arazi, hava ve çeşitli kaynaklardan gelen EMP'le birlikte muhabere ortamındaki yoğun elektromanyetik enterferans (EMI)'den önemli ölçüde etkilenmektedir. Oysa fiber optik teknoloji diğer sistemlerin aksine dışarıya yayınım yapmadığı gibi dışardan yapılabilecek kasıtlı ve kasıtsız karıştırmalardan etkilenmez.

Muhabere destek sistemleri özellikle elektromanyetik darbeden(EMP)'den kaynaklanan bozulmalara karşı hassastır. Kullanılan kablolu haberleşme sistemleri özellikle nükleer ortamda oluşan çok yüksek EMP'ye karşı korunma sağlamalı ve kesintisiz haberleşmeyi garanti etmelidir. Elektronik-haberleşme sistemleri içinde bu ihtiyaçlara cevap verebilecek tek sistem ise fiber optik teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü fiber optik kablo dışında tüm kablo sistemleri elektromanyetik darbeden (EMP)'den etkilenmektedir. [32]

12.2. Askeri Muhabere Destek Prensipleri

Askeri haberleşmede muhabere destek sistemlerinin karşılamak zorunda olduğu muhabere destek prensipleri aşağıda sıralanmıştır:

1. Devamlılık:

- Beka kabiliyeti
- Güvenirlilik
- Alternatiflilik
- İrtibatın Devamı

2. Emniyet:

- Bilgi Emniyeti
- Fiziki Emniyet

- Dağılma-Yayılma
- Aldatma

3. Çok Yönlülük:

- Esneklik
- Karşılıklı Çalışabilirlik
- Kendini İdare Kabiliyeti

4. Basitlik:

- Teknoloji
- Standardizasyon

Fiber optik teknoloji, yukarıdaki muhabere destek prensiplerine diğer telli sistemlerde var olmayan üstün özellikleri ile cevap verebilecek ve her türlü koşulda kesintisiz ve güvenilir haberleşmeyi sağlayabilecek yeteneklere sahiptir.

Komuta ve kontrol öncelikleri içerisinde yer alan bilgi sistemlerinin yönetimi önemli bir görevdir. Kullanılan haberleşme sistemleri üzerinden kritik bilgilerin güvenli ve kesintisiz iletimi mümkün olmalı ve bu sistemler değişik kademeler arasında, ses, görüntü ve veri haberleşmesine imkan sağlamalıdır. Fiber optik teknoloji bir çok özellik ve üstünlüğü ile beklentilere cevap verebilecek güvenilir ve kaliteli haberleşme sistemi mümkün olmaktadır.

12.3. Taktik Alanda Kullanılan Muhabere Vasıtaları

Taktik alanda kullanılan dört tür muhabere vasıtası mevcut olup aşağıda sıralanmıştır.

- Telli Sistemler
- Telsiz Sistemler
- Görme ve Ses
- Haberci

Bu sistemlerden ses, veri, görüntü iletmede ve telli-telsiz tamamlamada kullanılan dört çeşit telli sistem mevcut olup;

- Tekli Çift Telli Sistem: Bilgi aktarma cihazlarını irtibatlamada kullanılır.
- Çoklu Çift Telli Sistem: Aynı anda birkaç kanalı iletme için birbirine bağlanan muhabere cihazlarını irtibatlamada kullanılır.
- Koaksiyel (COMMAN AXIS Cable) Telli Sistem : Yüksek bant genişliği gerektiren cihazların birbirine irtibatlanmasında kullanılır.
- Fiber optik Telli Sistem:Yüksek bant genişliği ve/veya yüksek kalitede haberleşme ortamı gerektiren haberleşme cihazlarının irtibatlanmasında kullanılır.

12.4. Nükleer Ortamda Harekatta Kesintisiz ve Güvenilir Haberleşme İhtiyacı

Düşük yoğunluklu çatışmadan nükleer silahların da kullanılacağı yüksek yoğunluklu çatışmaya kadar haberleşmenin güvenliği ve kesintisiz devamı önemini korumaktadır. Gelecekte stratejik nükleer silahlar sınırlandırılrsa da, taktik nükleer silahlar yerlerini muhafaza edeceklerdir. Dolayısıyla gelecekte de nükleer ortamda kesintisiz ve güvenli haberleşme konusu önemini artırarak korumaya devam edecektir.

Nükleer harpte kesintisiz haberleşmeye duyulan ihtiyaç diğer zamanlarda olduğundan daha fazladır. Dolayısıyla nükleer patlamaların elektronik cihazlar üzerindeki etkiler bilinmelidir. Bu etkiler temel olarak iki gruba ayrılır.

Ortamin özelliklerinin değişmesi nedeniyle sinyal gücünün azalması yani elektromanyetik pals (EMP) etkisi ve radyasyon ve gama ışınları ile üretilen yoğun alanların sisteme vereceği zararlar. [32]

Bunlardan birincisine değişik ve alternatif karşı tedbirlerle yaklaşılmalıdır. İkincisine ise önceden yapılacak planlama ve uyarı tedbirleriyle kısmen etkileri azaltılabilir. Nükleer ortamın yoğun elektromanyetik pals (EMP) ortamında güvenli olarak haberleşmeyi devam ettirecek tek telli sistem fiber optik kablo teknolojisidir.

Nükleer ortamda elektronik-haberleşme sistemleri için çok ciddi bir tehdit olan elektromanyetik Darbe (EMP), nükleer patlama sonucu oluşan radyasyonla üretilir. Gama ışınları, X ışınları ve nötronlar nükleer radyasyon oluşturur. Gama ışınları elektromanyetik palsın (EMP) esas yaratıcısıdır. Gama ışınları patlamada dışa doğru yayılırlar ve elektronları atomlarından ayırıstırırlar. Orijinal gama ışınlarının yüksek enerjisi, elektronları patlama noktasından dışa doğru ışık hızı ile fırlatır. Böylece yüksek hızlı elektronların oldukça yoğun oluşumu dışa doğru ışık hızı ile fırlatır. Böylece hızlı elektronların oldukça yoğun oluşumu dışa doğru yayılan bir radyasyon meydana getirir. Bu işlem çok yüklü ve kuvvetli akımlı bir etki alanı yaratır. Bu bölge küçük bir bölge için kaynaktan birkaç kilometreye kadar uzanır. [32]

Bu bölge içinde yük dağılımı ve akımlar kuvvetli elektrik ve manyetik alanlar üretilir ve akım yoğunluğu orantısız ise büyük bant genişliğinde ve yüksek güçte RF (radio frequency) ve EMP yayılır. Dış atmosferik patlamada, patlamanın yüksekliği 50 km'den fazla ve patlama yüzeyi 2 km'den azdır. EMP'nin gücü çeşitli enerji kaynakları ile karşılaştırılırsa daha iyi anlaşılabilir. Nükleer ortamda EMP bir telsizin yayını almak için ihtiyaç duyduğu gücün 1 milyon katı güç verir. Bu gücün muharebe sahasında güvenli olmayan haberleşme sistemlerine vereceği zarar korkunçtur. [32]

Fiber optik dışındaki haberleşme sistemleri nükleer ortamda oluşacak EMP sonucu ortaya çıkacak voltaj ve akım etkilerine normal olarak karşı koyamazlar. Sistem, cihaz veya elemanların hassasiyeti de cihazların boyut ve gücü kullanma kabiliyeti azalacak ve netice olarak hassasiyet artacaktır. Halen kullanılmakta olan muhabere vasıtaları fiber optik hariç EMP'nin etkilerine dayanacak ve işletmeye devam edecek şekilde tasarlanmamıştır. Tüm muhabere sisteminin yalnız bir kısmı EMP'den etkileneceğinden, özellikle öncelikli haberleşmeler için mutlaka EMP korumalı fiber optik teknolojiler kullanılmalıdır.

Nükleer ortamda oluşan EMP'in haberleşme sistemleri üzerindeki büyük tahrip etkisi mevcut klasik haberleşme sistemlerini geniş bir bölgede işlemez hale getirecektir. Oysa muhabere komuta-kontrol ve haberleşme sistemi sürekli, güvenilir ve kesintisiz bir haberleşme ağı gerektirmektedir. Bu ise ancak diğer sistemlerin yanında fiber optik teknoloji kullanılarak sağlanabilir.

13. SONUÇLAR VE ASKERİ UYGULAMALAR BAKIMINDAN YORUMLAR

2020’li yılların muharebe sahası; uzay çalışmaları ve silah teknolojisindeki gelişmeler ve özellikle silah sistemlerinin menzillerinde sağlanacak artış, komuta kontrol ve muhabere, keşif gözetleme ve istihbarat sistemlerindeki gelişmelerle etki ve ilgi sahalarının genişlemesine neden olacaktır. Etki ve ilgi alanlarının genişlemesi ile geleceğin muharebe sahasında hızlı ve güvenli askeri haberleşmenin önemini artacaktır. Bilgisayar güvenli haberleşme teknolojisindeki gelişmeler devam edecek, gönderme ortamları sayısallaşacak ve gönderme hızları artacaktır. Bu sayede muharebe sahasının taktik resmi gerçek zamanlı olarak tespit edilecektir. [3]

Modern orduların gelecekte karşılaşacağı muharebe ortamı; komuta kontrol ve bilgi sistemleri açısından günümüzdekinden çok daha ileri teknolojiye sahip ve çok daha uzun menzilli sistemlerden meydana geleceği değerlendirilmektedir. Bu maksatla çok süratli gönderme kabiliyetine sahip muhabere sistemleri ile birbirine bağlı olan sensörlerin istihbarat merkezlerine bağlanması ve alınan bilgilerin işleme tabi tutularak elektronik harp teçhizatı veya silah sistemlerine irtibatlı güvenli entegre sistemler hayati öneme haizdir.

2020’li yılların muharebe sahasında meydana gelecek en büyük değişiklik muharebe sahasının boyutlarının genişlemesi olacaktır. Boyutların genişlemesi ve gelişen teknoloji ile birlikte bugün geçmişte olduğundan daha çok elektronik harbe karşı korumalı, süratli ve güvenli veri (data) haberleşmesine imkan verecek sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu anlamda askeri ihtiyaçlara cevap veren ve gelecekte de geçerliliğini devam ettirebilecek üstün özelliklere sahip olan fiber optik teknolojisi geleceğin kritik teknolojileri arasında yer alacaktır. [3]

Son yıllarda iletişim endüstrisinde çok sayıda önemli ve dikkate değer gelişme meydana gelmiş olup ses, veri ve görüntü iletişimindeki olağanüstü artış, günümüzde ve gelecekte daha geniş kapasiteli, daha hızlı ve daha kaliteli sistemlere olan talebin

de aynı oranda artmasına neden olacaktır. Mikro dalga sistemleri ise çoktan maksimum kapasitelerine ulaşmış olup uydu sistemleri de her geçen gün artan talebe ancak geçici bir rahatlama getirebilmektedir. Geniş kapasitelere cevap verebilecek ve yüksek kalitede hizmet sağlayabilecek güvenli iletişim sistemlerine olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. İletişim dünyasındaki hızlı gelişmelerin önemli bir kısmı da fiber optik kablolarında, bunların tasarımında, kapasitelerinin artırılmasında ve de fiber optik sistemlerin oluşturulmasında görülmektedir. Bu anlamda fiber optik teknolojisi gelecekte de bilgi iletim teknolojileri arasında üstün yetenekleri sayesinde çok önemli bir yere sahip olacaktır. [1]

Bilgi teknolojileri; güvenli veri iletimi ve kesintisiz haberleşmeyi garanti ettikleri sürece, silahların, sensörlerin bunları taşıyan platform ve insanların daha etkili olmasını sağlar. Bu teknolojiler bilgiyi toplama, depolama, işleme ve yayım konusunda sağladıkları imkanlarla komuta kontrolün etkinliğini artırarak komutanların daha doğru ve süratli karar vermesini kolaylaştırır. Fiber optik teknoloji, sahip olduğu üstün özellikleri ile bugün ve gelecekte de komuta kontrolün etkinliğini artırarak komutanların daha doğru ve süratli karar vermesine yardımcı olacaktır.

Düşük yoğunluklu çatışmadan nükleer silahların da kullanılacağı yüksek yoğunluklu çatışmaya kadar haberleşmenin güvenliği ve kesintisiz devamı önemini korumaktadır. Gelecekte stratejik nükleer silahlar sınırlandırılrsa da, taktik nükleer silahlar yerlerini muhafaza edeceklerdir. Dolayısıyla gelecekte de nükleer ortamda kesintisiz ve güvenli haberleşme konusu önemini artırarak korumaya devam edecektir. Nükleer ortamda kesintisiz ve güvenilir haberleşmeye olan ihtiyacı sahip olduğu üstün özellikleri sayesinde karşılayabilecek tek sistem fiber optik teknolojisidir.

Bu gün kullanılan teknolojiler içerisinde fiber optik teknoloji EMI, RFI, EMP'den etkilenmeden güvenli ve çok süratli veri iletimi, yüksek kalitede haberleşme ve daha birçok özelliği sayesinde stratejik askeri haberleşmeden mobil sistemlere (uçak, helikopter, tank, gemi, uydu gibi) kadar birçok alanda askerlere hizmet vermekte olup daha uzun yıllar geçerliliğini ve güvenilirliğini devam ettireceği değerlendirilmektedir.

Güvenli ses, görüntü ve data iletiminde eşdeğerleri olan metal iletkenli kablolarla göre üstün bir performans sergileyen fiber optik kablolar son yıllardaki hızlı gelişimle fiyatlarının azalması, üretimlerinin kolaylaştırılması, hızlandırılması ve kullanım alanlarının genişletilmesi ile tüm dünyada ve ülkemizde tercih edilen sistemler arasında yer almaya başlamıştır.

Fiber optik kablolar mevcut sistemler içinde en yüksek iletim hızına sahiptirler. Ağırlıkları metal iletkenli kablolarla göre daha az olup çok daha esnektirler. Yeni ekleme teknolojilerinin de geliştirilmesiyle fiber optik kabloların tesisi, işletmeye alınmaları ve entegrasyonları çok daha kolay ve ucuz olmaya başlamıştır.

Ayrıca fiber optik kabloların elektromanyetik girişime karşı duyarsız olmaları da bu kabloların diğer kablolarla birlikte tesis edilmelerini mümkün kılmaktadır. Bu sayede havai gerilim hatları gibi mevcut birçok kablo hattından yararlanma imkanı doğmuş olup ayrı bir hat oluşturma zorunluluğunun ortadan kalkması ekonomik olarak büyük bir avantaj sağlamıştır.

Bilişim teknolojilerindeki gelişmeler askeri anlamda karar verme sürecini kısaltırken güvenli veri iletim ihtiyacını artırmaktadır. Kablolu veri iletim teknolojileri arasında yer alan fiber optik teknoloji günümüzde ve gelecekte de güvenli veri iletişim ihtiyacını karşılayacak, üstün özellikleri sayesinde çok fazla bilgiyi çok yüksek hızda iletebilecektir.

Askeri anlamda güvenli haberleşmenin çok önemli bir ihtiyaç olduğu günümüz ve geleceğin muharebe ortamında ancak fiber optik teknoloji kullanılarak kesintisiz ve güvenilir haberleşmenin devamı sağlanabilir. Bu anlamda özellikle güvenli veri iletiminin çok önemli olduğu kritik haberleşme ağları fiber optik teknoloji kullanılarak gerçekleştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **TOMASI Wayne**, Elektronik İletişim Teknikleri, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul 1997
- [2] **TUĞAL, Doğan A.**, Data İletimi, PTT İşletme Genel Müdürlüğü Teknik İşler Dairesi Yayınları, Yenigün Matbaası, Ankara, 1980
- [3] **NATO RESEARCH AND TECHNOLOGY ORGANISATION**, RTO Technical Report 8, Land Operation In The Year 2020 (LO2020, France, 1999
- [4] **SENIOR, John M.**, Optical Fiber Communnications, Prentice Hall, New York-London, 1992
- [5] **CHERIN, Allen H.**, An Introduction To Optical Fibers, McGraw-Hill Publishing Co. 1983
- [6] **WRIGHT David**, Broadband Business Services, Technologies, and Strategic Impact, Artech House, Boston-London, 1994
- [7] **TOMASI Wayne**, Advanced Electronic Communications Systems, Prentice Hall, 1992
- [8] **GIBSON Jerry D.**,The Communication Handbook, CRC Press, 1997
- [9] **MAHLKE G.,GÖSSING P.**, Fiber Optic Cables Fundementals, Cable Engineering, System Planing ; Siemens AG 1993
- [10] **ADAMS M.J.**, An Introduction to Optical Waveguides ; New York Wiley and Sons 1981
- [11] **PETER K.Cheo.**, Fiber Optics and Optoelectronics ; USA Prentice Hall Inrenational Editions 1989
- [12] **YEH C.**, Handbook of Fiber Optics ; San Diago , London : Academic Press 1990
- [13] **TANENBAUM Andrew S.**, Computer Networks ; USA Prentice Hall Inrenational Inc. 1996
- [14] **ELION Glenn R., ELION Herbert A.**; Fiber Optics In Communications Systems, Marcel Dercer Inc., New York ,1992
- [15] **TORRIERI Don J.**, Principles of Secure Communication Systems, 1985

- [16] **SHARMA, N.**, Fibre Optics in Telecommunications, Tata McGraw-Hill Publishing Co. Limited, New Delhi, 1987
- [17] **GILMOUR Mike**, Fibre Optic Cabling –Theory , Designand Installation Practice ; London 1991
- [18] **KAO C. K.**, Optical Fiber Communication Technology, Electrical Communication, Vol 54, No 3, 1979
- [19] **TIEDEKEN Robert**, Fiber Optics And Its Applications, The Focal Press, London and New York, 1993
- [20] **MILLER C.M. , METTLER S.C., WHITE L.A.**, Optical Fiber Splices and Connectors ; New York, Basel : 1987
- [21] **LEE Byeong GI, KANG Minho, LEE Jonghee**, Broadband Telecommunication Technology, Artech House, Boston-London, 1993
- [22] **HOSS R.J., LACY E. A.**, Fiber Optics, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.,1993
- [23] **PALAIS J.C.**, Fiber Optic Commuinucations, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.,1988
- [24] **CHEO P. K.**, Fiber Optic Devices and Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.,1985
- [25] **GREEN. P.E.**, Fiber Optic Networks, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.,1983
- [26] **JONES. W. B.**, Introduction to The Fiber Optic Commuinucations Systems, New York, 1988
- [27] **KEISER. G.**, Optical Fiber Communication, McGraw Hill, New York,1991
- [28] **DIAMENT. P.**, Wave Transmission and Fiber Optics, Macmillian, New York, 1990
- [29] **BORN. M., WOLF. E.**,Principles of Optics, Pergamon Press, 1980
- [30] **BASCH. E.E.B.**, Optical Fiber Transmission, Howard Sams, Indianapolis, IN.,1987
- [31] **ZHANG J. G.**, *Future Airborne Optical Fiber Communication Networks with Single-Wavelength and Multi-Wavelength Code-Division Multiple Access Techniques, ETT Vol.8, No 6, November/December 1997*
- [32] **GLASSTONE Samuel, DOLAN Philip J.**, The Effects of Nuclear Weapons, Washington,1977

ÖZGEÇMİŞ

1972 tarihinde Sivas'ta doğan Zeki DEMİR İlk ve Ortaokulu İstanbul-Beyoğlu Okçu Musa İlköğretim okulunda tamamladıktan sonra 1990 yılında Kuleli Askeri Lisesinden 1994 yılında ise Kara Harp Okulu'ndan Topçu Teğmen olarak mezun oldu. 1995 yılında Topçu ve Füze Okulu'nu bitirip 2000 yılına kadar Silahlı Kuvvetlerin değişik birimlerinde görev yaptı. 2000 yılında Kara Kuvvetleri nam ve hesabına İstanbul Teknik Üniversitesi Savunma Teknolojileri-Bilişim programında yüksek lisans yapmaya hak kazandı.



**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**