

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

85097

FİBER OPTİK KABLOLARLA TRANSMİSYON

Elk. Müh. Mehmet Soner TAN

F.B.E Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nurettin UMURKAN

Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR

Doç. Dr. Oruç BİLGİÇ

İSTANBUL, 1999

85097

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. OPTİK HABERLEŞME İLKELERİ.....	2
2.1 Haberleşmede Optik Sistem Kullanım Gereksinimleri.....	2
2.2 Optik İletim Sisteminde Gelişmeler.....	2
2.3 Fiber Optik İletimin Tarihçesi.....	3
2.4 Dünyada Fiberin Kullanımı.....	5
2.5 Türkiye’de Fiber Kullanımı.....	5
2.6 Optik İletimin Diğer İletim Sistemleri ile Karşılaştırılması.....	6
2.7 Optik Fiberin Kullanım Alanları.....	9
3. OPTİK İLETİM ESASLARI.....	11
3.1 Genel Esaslar.....	11
3.2 Çoğullama (Multiplex).....	12
3.3 Dönüştürücüler.....	14
3.3.1 Elektrik sinyalinin optik sinyale dönüştürücüler (E/O).....	15
3.3.1.1 LED’ler ile LD’lerin mukayesesi.....	16
3.3.2 Optik sinyalleri elektriksel sinyallere dönüştürücüler (O/E).....	17
4. IŞIĞIN İLETİMİ.....	18
4.1 Işığın Özellikleri.....	18
4.2 Işığın Yansıması.....	18
4.2.1 Frensel yansıması.....	19
4.3 Işığın Kırılması.....	19
4.3.1 Az yoğun ortamdan çok yoğun ortama geçen ışık.....	19
4.3.2 Çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçen ışık.....	20
4.4 Optik Fiberde Işığın İletimi.....	21
4.4.1 Geniş açı durumu.....	22
4.4.2 Dar açı durumu.....	22
4.4.3 Nümerik açıklık.....	23

5.	FİBER OPTİK KABLO DEĞİŞKENLERİ.....	24
5.1	Fiber Optik Kablolarda Uygun İletim Dalga Boyları.....	24
5.2	Mod Alan Çapı.....	25
5.3	Işığın Yönlendirilme Şartları.....	26
5.3.1	Çok modlu fiberlerde ışığın yönlendirilme şartı.....	26
5.3.2	Tek modlu fiberlerde ışığın yönlendirilme şartı.....	26
5.4	Işık Yönlendirme Açısından Standart Sistem Sınırlamaları.....	26
5.5	Zayıflama.....	27
5.5.1	Zayıflama katsayısı.....	28
5.5.2	Fiber optik damarlarda zayıflamanın bağlı olduğu etmenler.....	30
5.5.2.1	Keskin ve küçük kıvrımlar.....	30
5.5.2.2	Çekme, büzülme, basınç ve sıcaklık etkisi.....	31
5.5.2.3	OH ⁻ (nem-hidroksil) yutması.....	32
5.6	Band Genişliği.....	32
5.7	Dispersiyon.....	33
5.7.1	Mod dispersiyonu.....	34
5.7.2	Madde dispersiyonu.....	34
5.7.3	Dalgakılavuzu dispersiyonu.....	35
6.	OPTİK FİBER DAMAR ÇEŞİTLERİ.....	36
6.1	Basamak İndisli Çok Modlu Fiberler.....	39
6.2	Basamak İndisli Tek Modlu Fiberler.....	41
6.3	Dereceli İndisli Çok Modlu Fiberler.....	43
7.	OPTİK FİBERLERİN KILIFLANMASI.....	45
7.1	Tek Fiberli Gevşek Tüp.....	45
7.2	Çok Fiberli Gevşek Tüp.....	46
7.3	Sıkı Tüp.....	47
7.4	Kompozit Tüp (Buffer).....	47
7.5	Şerit (Ribbon).....	47
7.6	Fiber Optik Kablonun Tüp ve Fiber Damarlarının Renk Sıralaması.....	48
8.	OPTİK İLETİMDE KULLANILAN MALZEMELER.....	50
8.1	Optik Fiber Damarlar.....	50
8.2	Optik Fiber Ara Bağlantı Kablosu ve Konnektör.....	50
8.2.1	Optik fiber ara bağlantı kablosu (pig-tail).....	50
8.2.2	Konnektör.....	50
8.3	Çıplak Fiber Adaptörü.....	51
8.4	U Link.....	51
8.5	Zayıflatıcılar (Optik Potlar).....	51
8.6	Optik İletiminde Kullanılan Diğer Malzemeler.....	52
8.6.1	Optik filtreler (süzgeçler).....	52

8.6.2	Optik birleştirici (multiplexer).....	52
8.6.3	Optik ayrıştırıcı (demultiplexer).....	53
8.6.4	Optik çiftleyici (duplexer).....	53
8.7	Ek Malzemeleri.....	53
8.8	Optik Dağıtım Çatısı (ODÇ).....	54
8.9	Optik Dağıtım Kutusu (ODK).....	55
9.	FİBERLERİN FÜZYON EKİ.....	56
9.1	Basamak İndisli Fiberlerin Füzyon Eki.....	56
9.2	Tek Modlu Fiberlerin Füzyon Eki.....	57
10.	FİBER OPTİK KABLO ÖLÇME TEKNİKLERİ.....	61
10.1	Geriden Kesme Yöntemi.....	61
10.2	Referans Yöntemi (Yerine Koyma Yöntemi).....	61
10.3	Geri Saçılma Yöntemi.....	61
10.4	Sayısal Sinyaller Kullanılarak Yapılan Optik Fiber Ölçümleri.....	63
10.4.1	Göreceli bit hata oranı (BER).....	63
10.4.2	Alıcı hassasiyeti.....	64
10.4.3	En yüksek bit hızı.....	66
11.	FİBER OPTİK KABLO STANDARTLARI.....	67
11.1	CCITT'nin Fiber Damar Standartları.....	67
11.2	Türk Telekom'un Fiber Kablo Standartları.....	68
11.3	Türk Telekom'un Fiber Damar Standartları.....	69
11.4	IEC 793'e Göre Geri Saçılma İzlerinin Yorumlanması.....	70
12.	F/O KABLO İLE BAKIR KABLO ARASINDAKİ MALİYET MUKAYESESİ.....	72
12.1	a=2 km Olması Durumunda Kabloların Tesis Maliyetleri.....	73
12.2	a=10 km Olması Durumunda Kabloların Tesis Maliyetleri.....	73
12.3	F/O Kablo ile Bakır Kablo Arasındaki Maliyet Mukayesesinin Grafiklerle Gösterimi.....	77
13.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	79
	KAYNAKLAR.....	80
	ÖZGEÇMİŞ.....	81

SİMGE LİSTESİ

C_0	Işığın boşluktaki hızı
n	Ortamın kırılma katsayısı
λ	Dalgaboyu
f	Frekans
P	Işık gücü
$A(\lambda)$	Işığın zayıflaması
L	Fiber optik kablonun boyu
D	Kaplama çapı
a	Öz yarıçapı
r	Fiber ekseninden olan uzaklık
g	Profil eğri katsayısı
Δ	Normalize edilmiş kırılma katsayısı farkı
NA	Nümerik açıklık
V	Optik fiberin NA , a ve λ' na bağlı bir parametresi
K	Dalga katsayısı
N	Mod sayısı
ρ	Optik fiberin bir parametresi
α	Işığın zayıflama sabiti

KISALTMA LİSTESİ

SONET	Subscriber Optical Network
LID	Lokal İnjection and Dedection
LAN	Local Area Network
PCM(DKM)	Pulse Code Modülasyon (Darbe Kod Modülasyonu)
IEC	International Energy Cooperation
DSF(SKF)	Dispersion Shifted Fiber (Saçınım Kaydırmalı Tek Modlu Fiber)
OTDR	Optical Time Domain Reflectomer
BER	Bit Error Ratio
ISDN	Integrated Service Digital Network
APD	Avalanche Photo Diode
LED	Light Emitting Diode
LD	Laser Diode
PIN-FET	Positif Intrinsic Negative
ODÇ	Optik Dağıtım Çatısı
ODK	Optik Dağıtım Kutusu



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Alexander Graham Bell'in güneş ışığını diyafram ile modüle ederek 200 metre uzunluktaki alıcıya konuşmayı ulaştırma yöntemi.....	2
Şekil 2.2	Optik fiberin kullanım alanları.....	5
Şekil 2.3	Yıllara göre F/O kablo tesis miktarları.....	6
Şekil 2.4	Transmisyon sistemlerinin iletim hızları	7
Şekil 2.5	Optik fiberin kullanım alanları, iletim uzaklığı ve data arasındaki bağıntı.....	10
Şekil 3.1	Optik iletim sisteminin blok gösterimi.....	11
Şekil 3.2	Darbe kod modülasyonu ile yapılan çoğullama kanal kapasiteleri.....	12
Şekil 3.3	Fiber optik kablolarla iletim sisteminin öbek yapısı.....	13
Şekil 3.4	Dönüştürücülerin blok olarak gösterimi.....	14
Şekil 3.5	LED ile LD'nin mukayesesi.....	15
Şekil 4.1	Işığın kırılması.....	18
Şekil 4.2	Işığın yansıması.....	19
Şekil 4.3	Frensel yansımanın şematik gösterimi.....	19
Şekil 4.4	Az yoğun ortamdan çok yoğun ortama geçen ışık.....	20
Şekil 4.5	Kritik açıdan daha büyük açıyla ışığın gelmesi.....	20
Şekil 4.6	Kritik açıdan daha az açıyla gelen ışınlar.....	20
Şekil 4.7	Optik fiberin iç yapısı.....	21
Şekil 4.8	Geniş açı durumunun gösterimi.....	22
Şekil 4.9	Dar açı durumunun gösterimi.....	22
Şekil 4.10	Kırılma katsayısı n_1 olan optik fiberde nümerik açıklık.....	23
Şekil 5.1	Optik pencereler.....	25
Şekil 5.2	Mod alan çapı.....	26
Şekil 5.3	Işık yönlendirme açısından standart sistem sınırlamaları.....	27
Şekil 5.4	Rayleigh saçılması ile zayıflama arasındaki ilişki.....	28
Şekil 5.5	Zayıflama katsayısı ile dalgaboyu arasındaki ilişki.....	29
Şekil 5.6	Keskin kıvrımların zayıflamaya etkisi.....	30
Şekil 5.7	Küçük kıvrımların zayıflamaya etkisi.....	31
Şekil 5.8	Çekme, büzülme, basınç ve sıcaklığın zayıflamaya etkisi.....	31
Şekil 5.9	OH ⁻ (nem) yutmasının zayıflamaya etkisi.....	32
Şekil 5.10	Band genişliği.....	32
Şekil 5.11	Transfer işlevinin büyüklüğü.....	33
Şekil 5.12	Farklı ışık dalgaları için grup gecikmesi ile fiberin başındaki vurum ve sonunda genişlemiş olarak elde edilmiş hali.....	34
Şekil 5.13	Saf quartz içinde ilerleyen ışığa ait madde dispersiyonu ile dalgaboyu arasındaki ilişki.....	35
Şekil 6.1	$J_n(x)$ besel fonksiyonlarının eğrileri.....	38
Şekil 6.2	Fiberlerin optik iletimi, kırılma indisi dağılımı ve darbe iletimindeki etkileri.....	39
Şekil 6.3	Çok modlu bir fiberin ışık yolu ve yarıçapa göre indis değişimi.....	39
Şekil 6.4	Tek modlu bir fiberin ışık yolu ve yarıçapa göre indis değişimi.....	41
Şekil 6.5	Esas mod LP ₀₁ 'in radyal alan dağılımı.....	42
Şekil 6.6	LP ₁₁ ve LP ₀₂ 'in radyal alan dağılımları.....	42
Şekil 6.7	Dereceli indisli bir fiberin ışık yolu ve yarıçapa göre indis değişimi.....	43
Şekil 7.1	Tek fiberli gevşek tüp.....	45
Şekil 7.2	Düşük sıcaklıklarda kablunun büzülmesiyle kablo boyunun kısalması.....	46

Şekil 7.3	Çok fiberli gevşek tûp.....	46
Şekil 7.4	Sıkı tûp.....	47
Şekil 7.5	Kompozit tûp.....	47
Şekil 7.6	Şerit (ribbon).....	48
Şekil 7.7	Şerit (ribbon) kablo.....	48
Şekil 8.1	Optik fiber ara bağlantı kablosu (pig-tail).....	50
Şekil 8.2	Konnektör.....	50
Şekil 8.3	U Link.....	51
Şekil 8.4	Zayıflatıcı.....	51
Şekil 8.5	Optik filtre (süzgeç).....	52
Şekil 8.6	Dalgaboyu bölmeli-birleştirmeli optik iletim sistemi.....	52
Şekil 8.7	Optik çiftleyici (duplexer).....	53
Şekil 8.8	Optik dağıtım çatısı.....	54
Şekil 8.9	Optik dağıtım kutusu (içten görünüş).....	55
Şekil 8.10	Optik dağıtım kutusu (dıştan görünüş).....	55
Şekil 9.1	Füzyon ek cihazı.....	56
Şekil 9.2	İdeal kesim ve en çok rastlanan kesim hataları.....	57
Şekil 9.3	Fiber kesme aletiyle yapılan kesimlerin kesim açısına göre sıklık dağılımı.....	58
Şekil 9.4	Ek kayıpları ve kayıpların standart sapmaları.....	59
Şekil 9.5	Tek modlu fiberde ek yapma yöntemi	60
Şekil 10.1	Fiber uzunluğuna bağlı değişen geri saçılan P gücü.....	62
Şekil 10.2	Sayısal sinyaller kullanılarak yapılan optik fiber ölçümü.....	63
Şekil 10.3	Alıcı hassasiyetini test etmek için kurulan test düzeneği.....	65
Şekil 11.1	En çok karşılaşılan geri saçılma izi.....	70
Şekil 12.1	Santral merkezinden a kadar mesafede bulunan bir yerleşim yeri.....	72
Şekil 12.2	100 abonelik bir telefon şebekesinde bakır ve F/O kablonun maliyet eğrisi.....	77
Şekil 12.3	1800 abonelik bir telefon şebekesinde bakır ve F/O kablonun maliyet eğrisi.....	77
Şekil 12.4	2 km.lik bir mesafede abone sayısına göre değişen bakır ve F/O kablo maliyet eğrisi.....	78
Şekil 12.5	10 km.lik bir mesafede abone sayısına göre değişen bakır ve F/O kablo maliyet eğrisi.....	78

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 6.1	Üç değişik yapıdaki fiberin öz, örtü ve kılıflarına ait çaplar.....	38
Çizelge 7.1	Tüplerin ve fiberlerin renk sıralaması.....	48
Çizelge 7.2	20 damarlı F/O kablonun renk sıralaması.....	49
Çizelge 11.1	Basamak indisli tek modlu fiberin özellikleri.....	67
Çizelge 11.2	Dereceli indisli çok modlu fiberin özellikleri.....	67
Çizelge 11.3	Radyal (eksenel) kılıf kalınlıkları.....	68
Çizelge 11.4	Çelik telin kopma dayanımı.....	68
Çizelge 11.5	Tek modlu fiberin optik iletim özellikleri.....	69
Çizelge 12.1	a=2 km ve S=100 abone olması durumunda bakır kablo tesis maliyeti.....	73
Çizelge 12.2	a=2 km ve S=100 abone olması durumunda F/O kablo tesis maliyeti.....	73
Çizelge 12.3	a=2 km ve S=1800 abone olması durumunda bakır kablo tesis maliyeti.....	73
Çizelge 12.4	a=2 km ve S=1800 abone olması durumunda F/O kablo tesis maliyeti.....	73
Çizelge 12.5	a=10 km ve S=100 abone olması durumunda bakır kablo tesis maliyeti.....	73
Çizelge 12.6	a=10 km ve S=100 abone olması durumunda F/O kablo tesis maliyeti.....	73
Çizelge 12.7	a=10 km ve S=1800 abone olması durumunda bakır kablo tesis maliyeti.....	73
Çizelge 12.8	a=10 km ve S=1800 abone olması durumunda F/O kablo tesis maliyeti.....	73

ÖNSÖZ

Bilgi iletiminde şimdiye kadar bir çok yöntem denenmiş ve ancak bunların bir kısmı uygulama alanı bulmuştur. Bu yöntemlerin birbirlerine nazaran hem avantaj hem de dezavantajlı yönleri vardır. Bilgi iletiminde en yeni yöntemlerden biri olan Fiber Optik Kablolarla İletim Sistemi, elektrik ve optiğin birarada uygulandığı bir sistemdir. Bu sistemin diğer sistemlerle kıyaslandığında çok üstün avantajları vardır. Çalışmamda; bilgi iletiminde bir devrim olarak görülen bu iletim sisteminin şu ana kadar geçirdiği tarihsel süreci, bu alandaki en son teknolojik gelişmeleri, uygulama alanlarını, diğer iletim sistemleri ile mukayesesini, avantaj ve dezavantajlarını, çalışma esaslarını, tesis ve ek yapımının nasıl olduğunu, ölçme yöntemlerini ve bu alanda belirlenen standartları ele aldım..

Çalışmalarında hiçbir yardımını esirgemeyen Gayrettepe Türk Telekom Fiber Optik ve Gaz Kontrol Grup Baş Mühendisliği personeline ve Çorum Türk Telekom Fiber Optik Servisi personeline yardımlarından dolayı teşekkürü borç bilirim.



ÖZET

Bilgi iletiminde ışığın kullanımı çok eskilere dayanır. Örneğin; dumanla işaretleşme veya güneş ışığını aynadan yansıtarak dikkat çekme, Kızılderili'lerin bir düşüncesidir. Ayrıca çok yakın zamana kadar gemiler arasında güvenli haberleşme aracı olarak işaret lambaları vazife görmekteydi. Sesli iletişimde ışığın kullanılabileceği, Alexander Graham Bell tarafından ciddi bir şekilde ortaya atılıp keşfedilene kadar pek fazla bilinmiyordu. O, 1876 yılında telefonu icat etmesiyle tanındı ve 1880 yılında photophone için resmî olarak patent aldı. Bu cihaz, ilk önceleri çok kaba bir alet olarak görünmesine rağmen Bell'in onu çalıştırması ve 200 m.lik bir mesafeye kadar haberleşme sağlamasından insanın etkilenmemesi mümkün değildi. Bununla birlikte, bütün optik haberleşme sistemleri, bir çok problemle karşı karşıyadır. Göze bağımlı sistemler, haberleşme hızında bayağı sınırlıdır. Örneğin; termik ışık kaynakları, tungsten lambaları, hızlı bir şekilde modüle edilememişlerdir. Belki de en ciddi problem, atmosferin güvenilir bir optik transmisyon ortamı olmamasıdır. Bu sistemlerin bilgi iletiminde önemli bir dönüm noktası olmalarını, 1960'ların başlarında lazerin keşfedilmesini takip eden gelişmelere borçludurlar. Lazer, ilk zamanlarda geçerli, uygun bir ışık kaynağı oluşturuyordu. Bu aslında, optik fiber sistemlerinin çoğu için çarpıcı bir avantajdı. Lazerin icadının bugünkü gelişmelere bir başlangıç noktası olarak ele alınması gerçeği, araştırmacılara optik frekans spektrumunu, radyo ve mikro dalga spektrumlarının yayılması olarak inceleme cesareti vermesinde belki de en büyük etken olmuştur. Bu araştırmalar sonucunda, bütün optik elemanlarda (kaynaklar, modulatörler, dedektörler, lensler, aynalar, dalgakılavuzları ve komple sistemler), hızlı bir artış olmuştur. Bu gelişmeler neticesinde, lazer ışığını en az zayıflamayla iletebilen ve saf silikondan yapılmış fiber optik kablolar, zaman içerisinde üretildi. Fiber optik kablolar sayesinde bilgi işaretinin tekrarlayıcısız çok uzaklara iletebildiği daha kaliteli ve çok avantajlı bir iletim ortamı elde edilmiştir.

ABSRACT

The use of light for sending message information goes far back into time. One thinks of USA Indian smoke signals, or the use of mirrors reflecting the sun to attract attention. More recently signaling lamps served for secure communications between ships. What is probably not widely known is that the use of light for audio communication was seriously proposed and explored by Alexander Graham Bell. He is credited with the invention of the telephone in 1876, and in 1880 he filed patents for the photophone. In retrospect it appears as a very crude device, yet one cannot fail to be impressed by the fact that Bell made it work and with it communicated over a distance of 200 m. However, all these optical communication systems were bedeviled by a number of problems. Systems relying on the eye as detector were seriously limited in speed of communication, and thermal light sources, tungsten lamps, for example, could not have been modulated rapidly. Perhaps most serious of all, the atmosphere is not a reliable optical transmission medium. The systems owe their ancestry to a separate line of development whose start can be traced to the invention of the laser in the early 1960s. The laser made available for the first time a coherent source of light. This in itself was a striking advance, although for many of the optical fiber systems that are now being developed it is, in retrospect, of rather slight importance. Perhaps the major reason that the invention of the laser should be viewed as the starting point for the development of the present system is the fact that the laser encouraged researchers to view the optical frequency spectrum as an extension of the radio and microwave spectrum. The outcome of this new view was a dramatic increase in the study of all optical components; sources, modulators, detectors, lenses, mirrors, waveguides, and complete systems. In the result of this developments, fiber optic cables that is made pure silicone and can transmit this laser with minimum debility was produced in the course of time. By the reason of fiber optik cables, more qualified ve most advantageous a transmission medium have been obtained and it can transmit a message information far away without repeater.

1. GİRİŞ

Elektrik işaretlerinin iletimi için 100 yıldan fazla bir süredir metalik kablolar kullanılmaktadır. Bu süre içinde kapasite kullanımı, uygulanan teknolojiyle birlikte artmıştır. Günümüzde örneğin tek bir eşeksenli (koaksiyel) kablodan 10.800 telefon kanalı aynı anda iletilebilmektedir.

Bakır kabloların işaret iletimine çok uygun olmalarının yanısıra tükenmekte olması gibi başka nedenler de yeni arayışları hızlandırmıştır.

Metalik iletkenlerin tüm bu olumsuz özelliklerine karşılık optik fiberlerin belirli üstünlüklere sahip olması sebebiyle ilk olarak çok modlu fiberler kullanılmış, daha sonra gerekli gelişmeler yapılarak tek modlu fiberler kullanılmaya başlanmıştır.

Optik fiber liflerinde bilgi iletimi için kızılötesi-yanı dalgaboyları kullanılır.

Optik fiber, yalıtkan bir maddeden (cam) üretildiği için elektromanyetik alanlardan etkilenmez. Böylece aynı kablo içinde olan ayrı lifler de birbirini etkilemezler ve ideal dekublaj ortamı sağlanır.

Diğer bir önemli üstünlük ise, alıcı ve verici arasında hiçbir elektriksel bağlantı olmamasıdır.

Bütün bu üstünlükler hesaba katıldığında optik fiberler; özellikle demiryolları gibi yüksek gerilimli sistem ve hatları içeren ortamlarda, iletim kalitesinin çok önemli olduğu Türk Telekom işletmelerinde, hafif olmalarından dolayı büyük tonajlı gemilerde, bakır kablolardakinin tersine dışardan dinlenmesi neredeyse olanaksız olduğu için askeri haberleşme sistemlerinde kullanılmaktadır.

2. OPTİK HABERLEŞME İLKELERİ

2.1 Haberleşmede Optik Sistem Kullanım Gereksinimleri

Optik haberleşme sistem kullanımına aşağıdaki gereksinimlerinden dolayı yönelinmiştir.

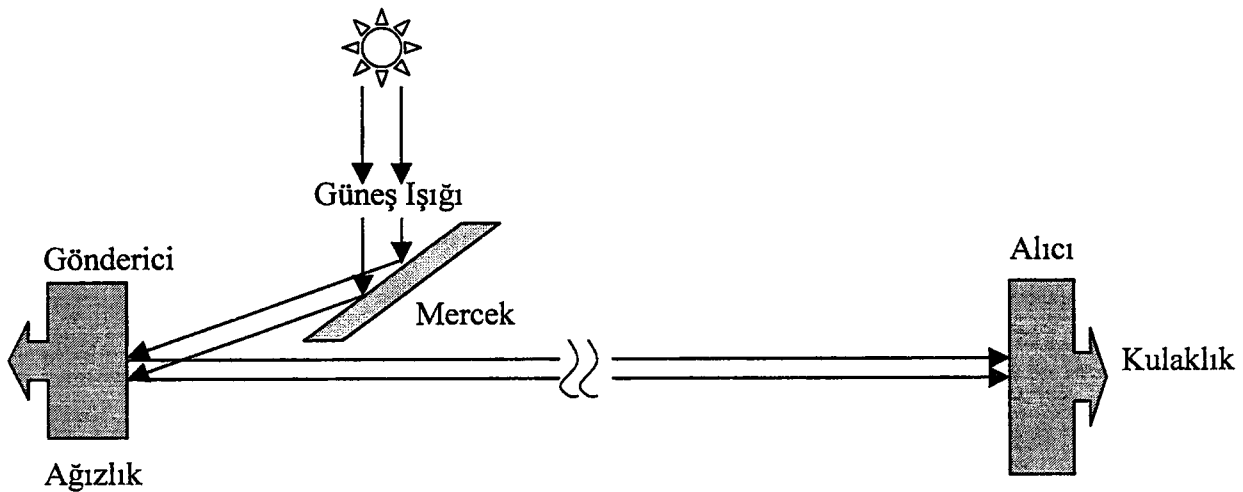
- a- Bakırdan daha ucuz malzemeden (camdan) üretilen iletkenlere gereksinim duyulması.
- b- Hızla artan kanal ve bant gereksinimlerini karşılayabilecek yüksek kapasiteli iletimin gerekmesi.
- c- Geniş bantlı ve yüksek hızlı iletimin gerekmesi.
- d- Nükleer patlama ve elektromanyetik etkilerden etkilenmeyecek bir iletken cinsine gerek duyulması.

Optik iletim sistemleri yukarıdaki 4 sorunun çözümü olarak görülmüş, lazerin bulunmasıyla da optik sistem oldukça kısa sürede iletişimde uygulanmaya başlanmıştır.

Optik iletim sistemlerinin bu kadar hızlı gelişmesinde sanayileşmiş ülkelerin artan istekleri kadar, gelişmekte olan ülkelerin haberleşme isteklerindeki hızlı artışın da etkili olduğu söylenebilir. Bu sistemler, şu anda geleceğin haberleşme şebekesinin temelini oluşturacak düzeye gelmiştir (Cora,1990).

2.2 Optik İletim Sistemlerinde Gelişmeler

Optik haberleşme; görsel anlamda ilk çağlarda ateş ve dumanla (Kızılderililerce oldukça uzun süre) ilkel yöntemlerle kullanılmıştır. Günümüzde (görsel olarak); sivil alanda otomobil, sürat teknesi vb. yarışlarda (bayraklarla) flamalarla, askeri alanda hava-deniz ve hava-kara yer bezleri ile sağlanabilmektedir. Işıksal olarak; trafik ışıkları (kara ve demiryolu sinyalizasyonu), hava alanı yaklaşım ışıkları, deniz fenerleri ve ışıldaklar (kara-deniz, deniz-deniz, kara-kara, deniz-hava) haberleşme yapılmaktadır.



Ağızlık

Şekil 2.1 Alexander Graham Bell' in güneş ışığını diyafram ile modüle ederek 200 metre uzaklıktaki alıcıya konuşmayı ulaştırma yöntemi

Telekomünikasyon alanında; ilk olarak optik iletimi 1880 yılında A.Graham Bell, Photophone adındaki sistemle telefon haberleşmesinde kullanmıştır.

Photophone sisteminde iletim ortamı hava olduğundan iletim uzaklığı 200 metreyi geçmemiştir. Sesli sinemanın bulunuşundan sonra konu yeniden canlanmış, 1934 yılında düşük zayıflamalı cam iletkenlerden yararlanan bir Optik Telefon Sistemi patenti alınmıştır.

2.3 Fiber Optik İletimin Tarihçesi

..... Kızıldevirtiler tarafından kullanılması.

1880 A.Graham BELL tarafından Photophone ile 200 m.lik haberleşme sağlanması.

1887 Charls Vernen Boys, ilk ince cam fiberi (kaplamasız) gerçekleştirdi.

1950 Direkt görüntü iletiminde cam fiber kullanılması.

1958 Lazerin bulunması.

1960 Lazerin başarıyla çalıştırılması.

1962 Yarı iletken lazerin geliştirilmesi.

1962 Yarı iletken fotodiyotların geliştirilmesi.

1964 Dereceli indisli fiber düşüncesinin ortaya atılması.

1966 Cam fiber kullanma düşüncesinin ortaya atılması.

1970 Silikondan fiber üretilmesi (20 dB/km. 850 nm. penceresinde).

1971 Kullanışlı LD ve LED' lerin bulunması.

1972 Dereceli indisli fiber üretilmesi (4 dB/km., 850 nm.).

1973 Optik kabloların askeri haberleşmede kullanılması.

1973 Optik tekrarlayıcıların geliştirilmesi.

1973 CVD yöntemiyle fiber üretimi.

1973 Fiber üretiminde OVD yönteminin açıklanması.

1974 Fiber üretiminde MCVD yönteminin (cam tüpün içine silikon yerleştirilmesi) açıklanması (2.4 dB/km).

1975 1310 nm. optik penceresinin bulunması.

1976 1310 nm. ışık dalga boyunda GaInAsP lazer diyotun üretimi.

1976 Ark (füzyon) yöntemiyle fiber kaynağının gerçekleştirilmesi.

1976 45 Mbit/s lik çoğullama sisteminin denenmesi.

1977 Fiber üretiminde VAD yönteminin açıklanması.

1978 Çok modlu fiber kablo ilk tesisinin başlanması.

1979 Fiber zayıflamasının 4 dB/km. den (1550 nm) 0.2 dB/km. ye indirilmesi.

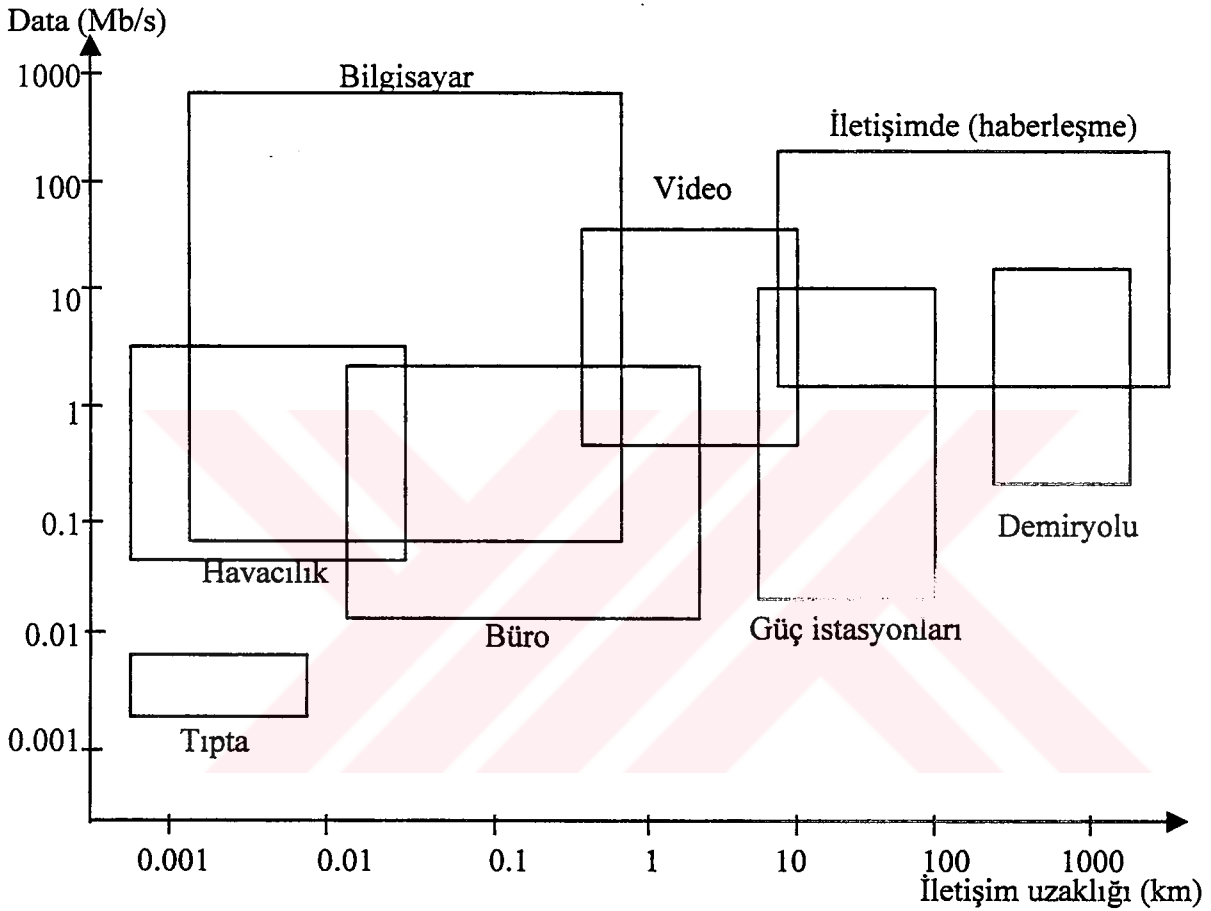
- 1980 1550 nm. ışık dalga boyunda GaInAsP lazer diyotun üretimi.
- 1980 1310 nm. lik ilk ticari sistemin tesis edilmesi.
- 1981 Dereceli indisli fiber kabloların kullanılması.
- 1982 100 Mb/s hızda tekrarlayıcı aralığının 10 km. ye çıkması.
- 1983 Tek modlu fiber kablo üretiminin (VAD yöntemiyle) başlaması.
- 1983 400 Mb/s hızla 25 km. lik tekrarlayıcı aralığının sağlanması.
- 1984 Fiber optik sistemlerinin abone göz devrelerine (SONET) uygulanması.
- 1985 Derin sulara gömülecek denizaltı fiber kablo için UV reçinesinin geliştirilmesi.
- 1985 100 damarlı Dereceli İndisli Fiber Şeritli (Ribbon) kablo üretimi.
- 1987 1550 nm. saçınım kaymalı fiber damar kullanılması.
- 1987 VAD yöntemiyle 100-500 km. lik (tek parça) fiber damar üretilmesi.
- 1987 1.6 GB/s çoğullama sistemle (23040 kanal) tekrarlayıcı arası 40 km. ye erişilmesi.
- 1989 1550 nm. lik ışıkla 400 Mb/s. lik hızla çoğullama ve tekrarlayıcı aralığının 120 km. ye erişilmesi.
- 1990 400 km. lik tekrarlayıcısız fiber üretiminin tesisinin gerçekleştirilmesi.
- 1991 2.4 Gb/s. lik çoğullama ile 30720 kanala erişme .
- 199- 4 Gb/s hız ve 200 km. yineleyici aralığına erişme çalışmaları.
- Bugünkü optik fiber iletim sisteminin gelişimine 1960'lı yıllarda başlanmış; 1966 yılında Charles K.Kao, iletim ortamı olarak cam fiber ve (modüleli) kızıl ötesi ışık kullanarak işaretin uzaklara iletebileceğini teorik olarak göstermiştir.
- 1970 yılında CBW (Corning) Şirketince zayıflaması (optik pencere 850 nm. dalga boyunda) 20 dB/km olan ilk fiber üretilmiştir. Bir yıl sonra da Bell Şirketi, oda sıcaklığında çalışan Solid State Laser Diyod üretmiştir. 1972 yılında dereceli indisli fiber damar üretilmiş, zayıflama 4 dB/km. ye düşürülmüştür.
- 1975 yılında 1310 nm. penceresinin bulunup 1979'da zayıflamanın 0.2 dB/km.ye indirilmesi sağlanmıştır. 1983'de 400 Mb/s hızla 25 km.lik yineleyici aralığı sağlanıp, 4 yıl sonra 1550 nm.lik Saçınım Kaymalı Tek Modlu bir damar ve karmaşık yerine tek frekanslı basit bir lazer kullanarak 400 Mbit/s hızında 107 km boyunca hatasız veri (data) iletimi gerçekleştirdiklerini Plessey Firması açıklamıştır. 12.6 Gb/s sistemi ile (23040 kanal) yineleyici arası 40 km.ye erişilmiştir. Aynı yıl VAD üretim yöntemiyle 100-500 km.lik (tek parça) fiber damarlar üretilmiştir. İki (1989) yıl sonra 1550 nm.lik iletim sistemi ve 400 Mb/s.lik sistemle 120 km.lik yineleyici aralığına ulaşılmıştır.

Çalışmalar 4 Gb/s hız ve 200 km tekrarlayıcı aralığına erişmek için yoğunlaştırılmış bulunmaktadır (Sankur ve İntefandpulos,1992).

2.4 Dünyada Fiberin Kullanımı

Dünyada fiber; hastanelerde, havacılıkta, işyerlerinde, bilgisayarda, haberleşmede, video, güç istasyonları ve demiryollarında kullanılmaktadır.

Optik fiberin kullanım alanları aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.2 Optik fiberin kullanım alanları

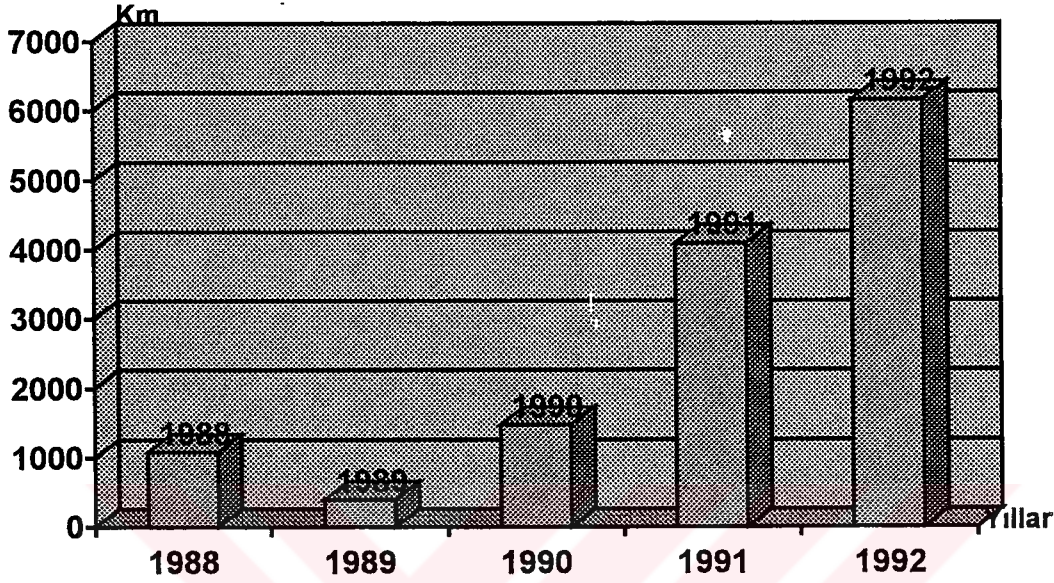
2.5 Türkiye’de Fiber Kullanımı

Ülkemizde yaygın olarak Türk Telekom tarafından kullanılmaktadır. Bu kuruluşumuzda çok modlu fiber kullanılmadan tek modlu fiber kullanılmaya başlanmıştır.

İlk olarak 1985 yılında Ankara’da Gölbaşı Uydu Yer İstasyonu ile Ulus Santrali arasında yaklaşık 42 km.lik fiber optik kablonun (Ericsson Firmasınca) yeraltından tesisi yapıldı. Bu tesiste 1310 nm. ışık dalga boyu ve 140 Mb/s.lik çoğullama sistemi kullanılarak tekrarlayıcısız optik iletim sağlanmıştır.

1987 yılında Aydın-Denizli arasındaki tesis, havai fiber optik kablo ile yapılmıştır. Bu tarihten sonra jonksiyon bağlantıları (santraller arasındaki bağlantı) ve kırsal alan şebekesinde kullanım yaygınlaştırılmıştır.

Yıllara göre dağılım ve uygulamalar aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 2.3 Yıllara göre F/O kablo tesis miktarları

Ayrıca kablolu TV’de de, yayın merkezleri ile denetim merkezi ve dağıtım merkezleri arasında televizyon ve radyo yayınları F/O kablodan iletilmektedir.

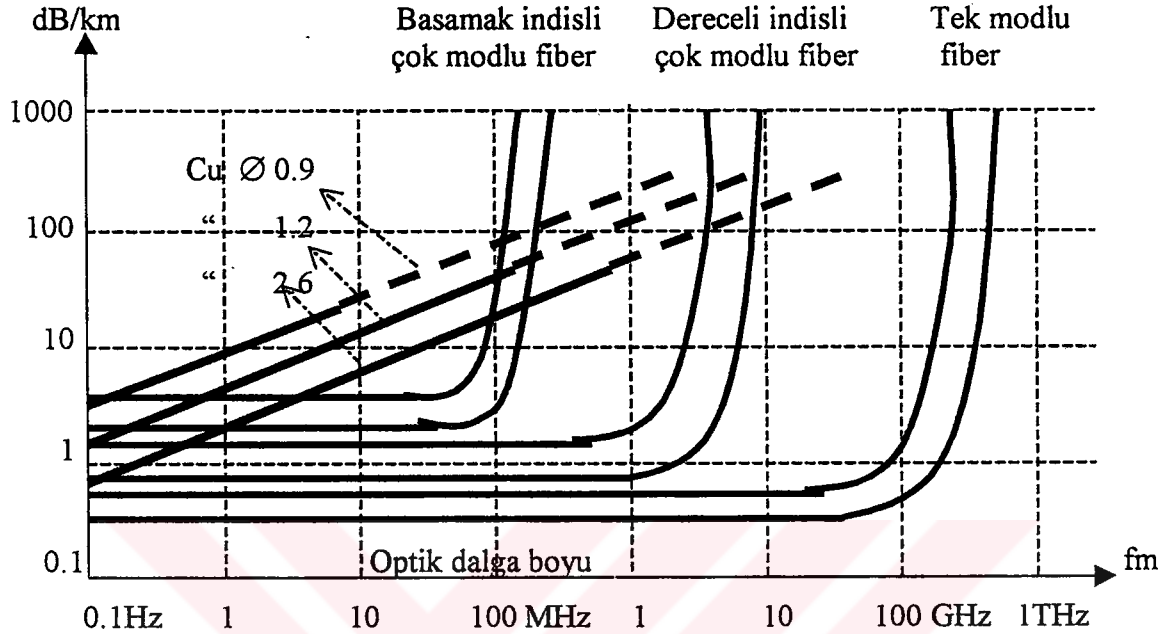
2.6 Optik İletimin Diğer İletim Sistemleri ile Karşılaştırılması

Optik iletimi diğer iletim sistemlerinden farklı kılan özellikler, aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- a- Yüksek hızla iletim olanağı sağlar.
- b- Uzun tekrarlayıcı (repetör) aralıklarına olanak sağlar.
- c- Kanal başına maliyet düşüktür.
- d- Bilgi çalınması oldukça güçtür.
- e- Elektromanyetik etkilerden bozulmaz.
- f- Karışma (diyafoni) sorunu yoktur.
- g- Alış ve veri uçlarında elektriki yalıtım vardır.
- h- Değişik çevre koşullarında güvenli olarak kullanılabilir.
- i- Değişik amaçlar için kablo üretildiğinden standartlaşma yoktur.
- j- Kablo tesisi kolaylığına karşın ek ve bakımda özen gerektirir.
- k- Yerel (abone) dağıtım şebekesinde (SONET- fiber to home) kullanılması şu an için ekonomik değildir.

Bu temel özellikleri açıklayacak olursak;

a- Yüksek hızla iletim sağlanması : Optik iletim sistemlerinde taşıyıcı frekans çok yüksek olduğundan diğer sistemlerinkinden daha yüksek bant genişliklerine ve daha yüksek iletim hızlarına erişilmiştir.



Şekil 2.4 Transmisyon sistemlerinin iletim hızları

Şekilden de görüleceği üzere iletim sistemlerinin karşılaştırılması için kullanılan (bant genişliği x uzaklık) çarpanının;

- | | | | |
|------------------------------------|-----|----------|------------------------|
| - Eşeksenli (koaksiyel) kablolarda | 0.2 | GHz*Km., | |
| - Dereceli indisli (GI) fiberlerde | 1 | GHz*Km., | |
| - Tek modlu (SM) fiberlerde | 100 | GHz*Km. | olduğu gözönüne alınır |
- optik fiberlerin çok geniş iletim olanağı sağladığı görülür.

b- Uzun tekrarlayıcı (repetör) aralığı : Bugün kullanılan teknolojiye optik fiberlerde tekrarlayıcı aralığı; 1310 nm. dalga boyu ışık kullanarak 40-45 km., 1550 nm. dalga boyu ışıkta ise 100 km.ye ulaşılmış bulunmaktadır. Bilim adamları 1991 yılında 400 km.ye yineleyicisiz iletim yapabildiklerini açıklamışlardır.

1 MHz.lik işaret için gücün yarıya düştüğü uzaklık;

- | | |
|-----------------------|---------------|
| Bakır iletkeninde | 250 m., |
| Eşeksenli iletkeninde | 1000 m., |
| Tek modlu fiberde | 10000 m. dir. |

c- Kanal başına maliyetin düşük olması : Kabloların hafif ve ucuz olması, (bant genişliği x uzaklık) çarpanının büyük, tekrarlayıcı aralıklarının uzun ve hat donanımı değiştirilerek (aynı fiberden yararlanarak) kanal sayısı arttırılabildiğinden maliyet düşmektedir. Aynı kapasiteli bakır iletkenine göre, 140 Mb/s.lik çoğullama sisteminde en az 50,565 Mb/s.de en az 200 kat daha ucuzdur.

d- Bilgi çalınmasının güçlüğü : Optik fiber damardan bilgi çalabilmek için ya kabloyu (damarı) kesip sisteme bağlayarak veya LİD sistemli kaynak makinası çalışma ilkesinden yararlanılarak çalınabilir. Birinci yöntemde anında, ikincisinde maliyeti yüksek zaman isteyen ve aynı anda devreler üzerinde zayıflamanın arttığından tesbiti kolaydır.

e- Elektromanyetik etkiden bozulmama : Bakır iletkenli (bakır tel eşeksensli kablo vb.) ve diğer iletim sistemleri (elektromanyetik dalga vb.) manyetik etkisinden bozulurken optik iletimde bozulma yoktur. Yüksek gerilim iletkenlerinin içine fiber damarlar yerleştirilerek iletkenlerin aynı anda enerji taşınması hem de haberleşmeyi gerçekleştirmesi sağlanır. Enerji iletim hatları, çift amaçlı olarak kullanılmış olur.

f- Karışma (diyafoni) olmaması : Optik iletimde sinyaller, fiber damar dışına taşmaz. Kıvrımlardan dolayı sinyaller, damar dışına taşarsa bile diğer damarlara girip onları etkilemez. Bu nedenle karışma (diyafoni) yoktur.

g- Elektriksel yalıtım : Optik fiberler, elektriksel bakımdan yalıtkan maddelerden yapılmış olduğundan uçlar arasında tam bir elektriksel yalıtım sağlar. Bu özellik, dar bantlı sistemler ve kapalı devre televizyon sistemleri için çok uygundur.

h- Değişik çevre koşullarına uyum sağlaması : Isıya dayanıklı fiber damarlar (+500 C'ye kadar) üretilmiştir. Ayrıca kırılma ve kopmalarda kıvılcım çıkarmamaktadır. Bu nedenle bakır iletkenli kabloların kullanılamadığı (alt ve üst ısı sınırı yüksek olan ve patlayıcı maddelerin bulunduğu ortamlarda) güvenlikle kullanılmaktadır.

i- Değişik amaçlar için üretim yapılmadığından standartlaşma yoktur : Her üretici firma kendine göre ilkeleri temel alarak kablo tasarımında bulunduğundan şu anda kablolarda bir standartlaşma yoktur. Ayrıca her an değişik özellikte fiber kablo, isteğe bağlı üretilabilmektedir. Türkiye'de şu an 4, 6, 10, 20, 30, 50 damarlı; Japonya'da 100, 200, 600, 1000 damarlı fiber optik kablo üretilmektedir.

j- Tesis kolaylığı : Optik fiber kabloların küçük çaplı (10 damarlı kablonun çapı 17 mm.) ve hafif oluşları nedeniyle tesisleri kolaydır. Örneğin; bakır iletken (0.6 mm çaplı) 3 kg/km, fiber damar 30-50 gr/km.dir. Makara boylarının uzun (1.5+0.05 veya

2+0.05 km, 4+0.05) olması; ek sayısını azaltmakta, kablo kesiti (çapı) küçük olduğundan aynı gözden birden çok kablonun çekilmesi sağlanmaktadır. Kablo tesisinin kolaylığına karşın ek ve bakım için kullanılan malzemeler, oldukça pahalı olduğundan tesis ve ek yapımının uzman kişilerce özenle yapılması gerekir.

k- Yerel (abone) dağıtım şebekesinde kullanılması : ISDN (Tümleşik hizmetler sayısal şebekesi) uygulamalarının gündeme gelmesi ile birlikte fiber optik kablolar artık abonenin evine kadar tesis edilebilir hale gelmiştir. Bu amaca yönelik arazi tipi donatım ve kablo dağıtımının yaygın olarak kullanıldığı İsveç, Almanya, Fransa ve Amerika gibi ülkelerde Yerel İletişim Ağı Şebekeleri (LAN, Local Area Network) pilot uygulamalarına başlamış olup eve kadar fiber uygulamaları yapılmaktadır. 1984 yılından beri Japonya'da abone çevrimlerinde kullanılmaktadır.

Şu an bedelleri çok yüksektir. Yakın gelecekte kaynak paylaşımı yöntemi ile maliyetler düşecek, böylelikle abone çevrimlerinde kolaylıkla uygulanabilecektir (Uenoya,1987).

2.7 Optik Fiberlerin Kullanım Alanları

Optik iletişim sistemleri, büyük olanaklar sağlaması nedeniyle kısa sürede çok geniş kullanım alanları bulmuştur. Bu sistemlerin kullanıldığı çeşitli alanlar aşağıda sıralanmıştır.

1- Zayıflamanın az, bant genişliğinin büyük, kanal başına düşen maliyetlerin düşük olması nedeniyle, uzun mesafeli büyük kapasiteli haberleşme sistemlerinde ve orta mesafeli düşük kapasiteli sistemlerde.

2- Hem analog hem sayısal iletme olanak sağlaması ve geniş bantlı servis verebildiğinden özellikle santraller arası (jonksiyon) bağlantıda.

3- Düşük kayıp, yüksek hız nedeniyle bina içlerindeki iletim sistemlerinde (plastik fiberlerle).

4- Kablo TV ve radyo şebekelerinde.

5- Kapalı devre televizyon sistemlerinde.

a- Stüdyo şebekeleri

b- Kamera kabloları

6- Veri (data) iletiminde.

7- Endüstriyel şebekelerde (ölçme istasyonları arasındaki bağlantılarda).

8- Elektronik aygıtların birbiri ile bağlantısında.

9- Bilgisayarlar arası , bilgisayar-terminal arası bağlantılarda.

10- Havacılık alanında; radarlar, yüksek hız gerektiren aygıtlar arası ve uçak iç donanımlarında.

11- Demiryolu elektrifikasyon ve sinyalizasyon uygulamalarında.

12- Yüksek gerilim iletkenlerinin içine fiber damarlar yerleştirilerek iletkenlerin, enerji taşıırken aynı anda haberleşmeyi de sağlamasında.

13- Trafik denetim (kontrol) sistemlerinde.

14- Askeri haberleşme sistemlerinde.

15- Kamu kuruluşlarının özel şebekelerinde.

16- Reklam panolarında.

17- Tıp alanında kullanılan aygıtlarda.

18- Nükleer enerji santralleri ve radyoaktif ışımların iletişimi bozduğu yerlerde.

19- IEC kontrol bağlantılarında.

20- Fabrika içi kontrol uygulamalarında.

Optik fiberin kullanım alanları, iletim uzaklığı ve data (veri) arasındaki bağıntı aşağıda görülmektedir.

DALGA BOYU	FİBER TÜRÜ(Ø) Çekirdek/Yansıtıcı		ERİŞİM UZAKLIĞI (Km)								UYGULAMA ALANI		
			0.1	0.5	1	5	10	50	100				
850 nm	100/140 µm	ÇOK MODLU FİBER										YEREL SEBEKE	ENDÜSTRİ
	85/125 µm												
	62.5/125 µm												
	50/125 µm												
1310 nm	50/125 µm	TEK MODLU											
	9/125 µm												
1550 nm	9/125 µm	MODLU											

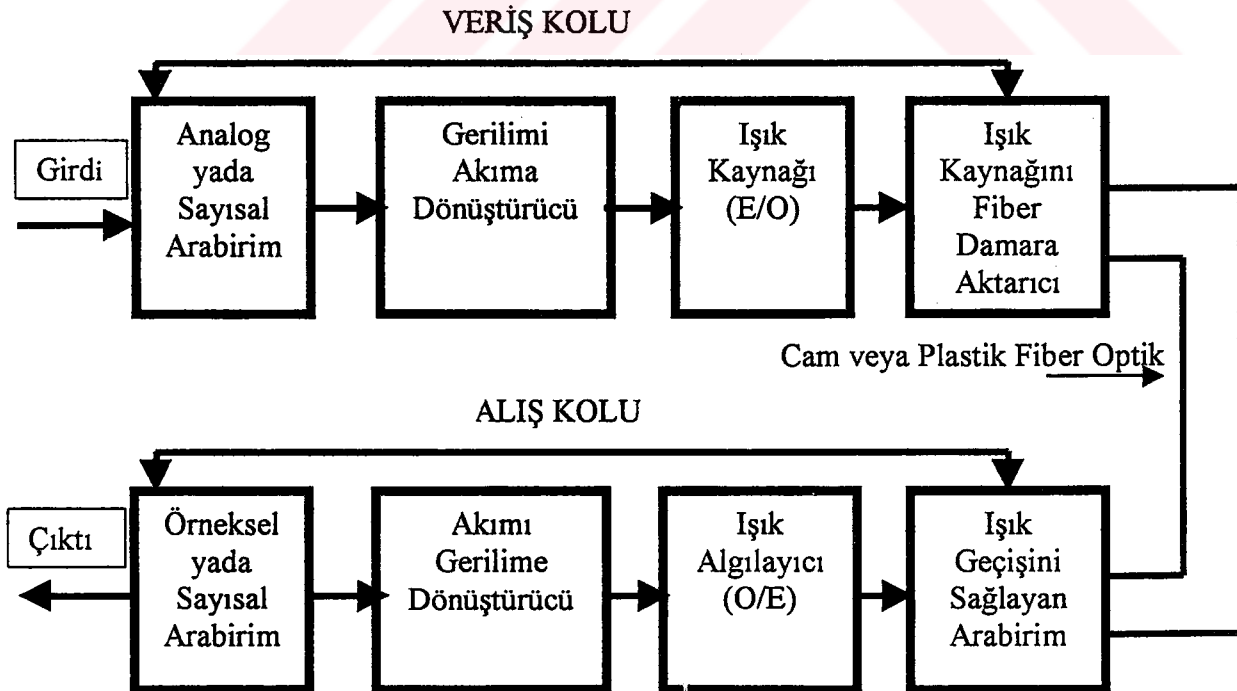
3. OPTİK İLETİM ESASLARI

3.1 Genel Esaslar

Işıksal iletimin yapılabilmesi için, bilgi işaretini iletim ortamına ve alıcıya uygunlaştıracak bir takım dönüşümler gerekmektedir.

Bilgi sinyali, kesinlikle elektriksel olmalıdır. Elektriksel gelen bilgi işareti, analog veya sayısal olabilir. Bu işaret, analog veya sayısal arabirim ile sisteme gelir ve gerilimden akıma dönüştürücü ile bilgi, ışık kaynağına (LD, LED) iletilir. E/O dönüştürücüler, elektriksel uyarılara göre görülebilen veya görülmeyen ışık radyasyonunu üreten yarı iletken devrelerdir. Optik iletim sistemlerinde özel olarak geliştirilen ışık saçan diyotlar (LED) ile yüksek dereceli yarı iletken (lazer diyotları) kullanılır. Bu malzemeler ile akımdaki zamana bağımlı değişimler, ışık yoğunluğundaki değişimler olarak çevrilir. E/O dönüştürücünün (ışık kaynağının) çıkışı (ışık sinyali), fiber damara arabirim aracılığı ile iletilmektedir. Fiber damar, ışık kaynağından gelen bilgiyi (ışıksal) alış noktasına kadar iletmektedir.

Alış kolundan fiber damar ile ışık sezici (APD-PIN) arasındaki arabirim aracılığı ile ışık geçişi sağlanır. Işıksal olarak gelen bilgi işaretinin O/E dönüştürücüdeki çıkışı, elektriksel sinyaldir. Akımdan gerilime dönüştürücü, bilgi işaretini gerilim bazlı (tabanlı) bilgi işaretine dönüştürmektedir. Alıcımızın çalışma ilkesine veya girdisine göre bilgi işareti sayısal veya analog işarete çevrilir. Böylelikle ışıksal iletim sağlanmış olur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Optik iletim sisteminin blok gösterimi

3.2 Çoğullama (Multiplex)

Modülasyon: Bir bilgi işaretini uzaklara gönderebilmek için yapılan işlemlerdir. Bilgi, elektriksel işaret biçiminde olsa bile iletim için uygun olmayabilir. Zamanla değişen elektriksel işaretlerin tümü, belirli bir iletim ortamında verimli olarak iletilemeyebilir.

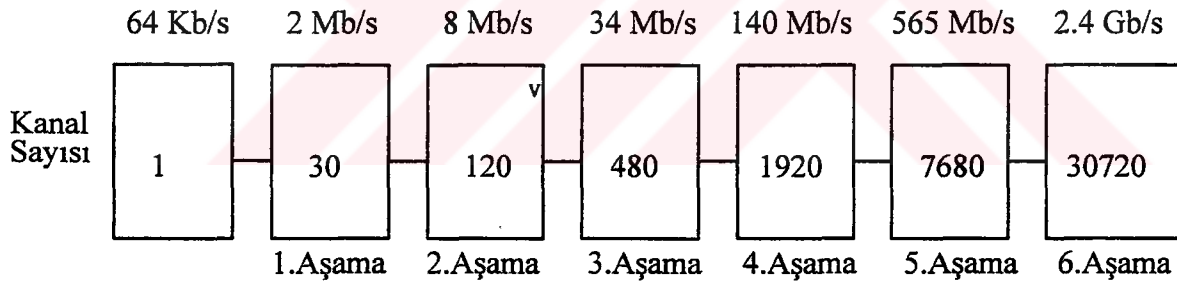
Bu nedenle gönderilecek bilgi işaretinin elimizdeki iletim kanalında verimli şekilde iletme uygun duruma getirilmesi gerekir. Bu işleme “modülasyon” denir. Değişik şekilde modülasyon yapılabilmektedir.

Diğer bir anlamda, haberleşmede bir öz kaynağın birçok kullanıcı arasında kullanımına “modülasyon” denir.

Modülasyon işlemine uğramış bir bilgi işareti, bir taşıyıcı frekans civarındaki bir bandı kapsayan işaretler grubuna dönüşmektedir. Böylelikle bilgi kanalı da bir frekans bandına dönüşmüş olmaktadır.

Bir iletim ortamında birçok frekans bandını birarada birbirine karışmasını önleyecek şekilde taşıma işlemine çoğullama (multiplex) denir. Bunlar da kendi arasında aşama aşama çoğullanabilmektedir.

Avrupa’da kullanılan sayısal düzen ve çoğullama aşamaları, darbe kod modülasyonu ile (PCM yada DKM) yapılan çoğullama kanal kapasiteleri aşağıdaki gibidir.

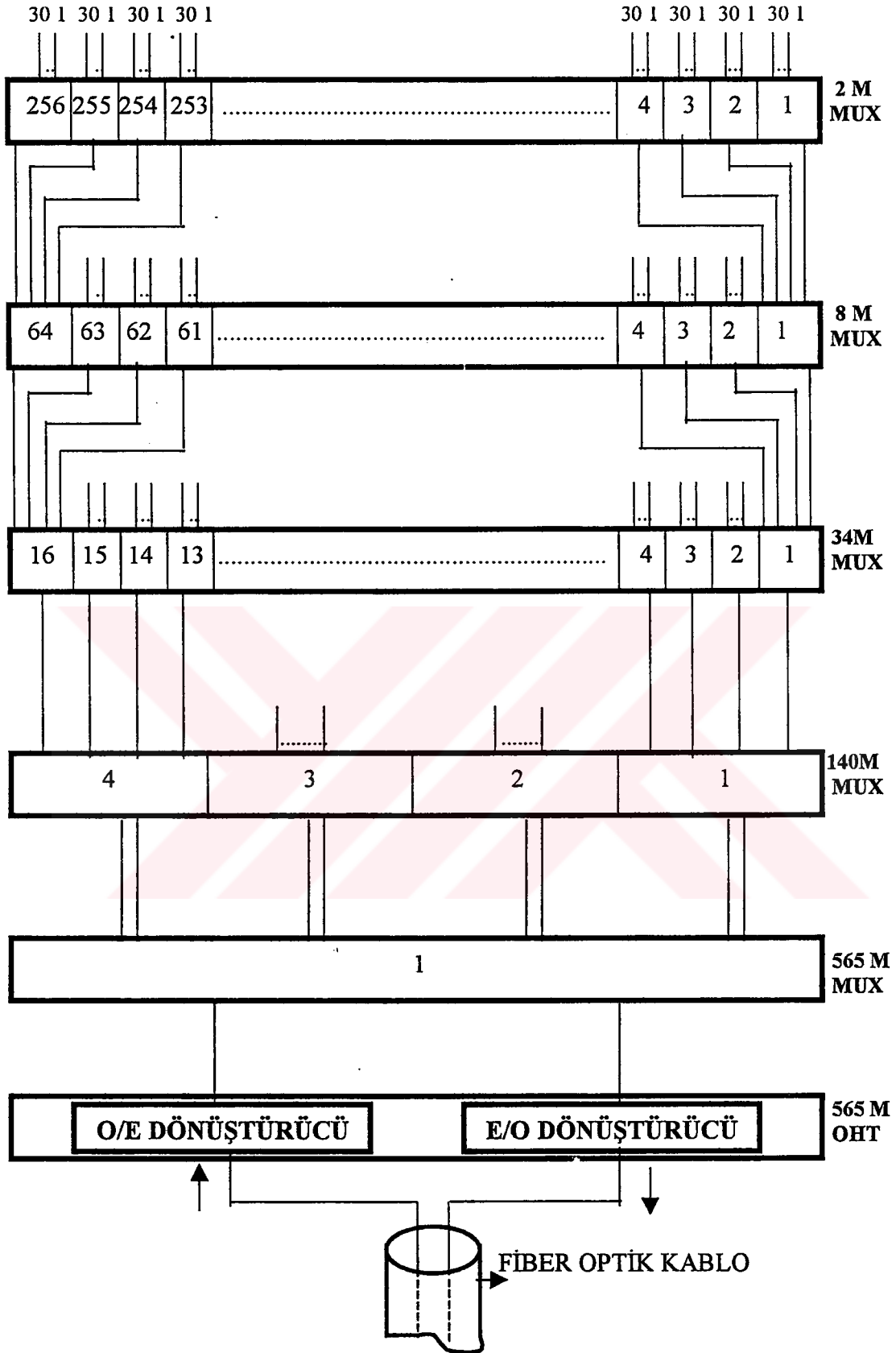


Şekil 3.2 Darbe kod modülasyonu ile yapılan çoğullama kanal kapasiteleri

Şekil 3.2’den de görüldüğü gibi; 64 Kb/s ile 1 kanal, 2 Mb/s (1.aşama) ile 30 kanal, 8 Mb/s (2. aşama) ile 120 kanal, 34 Mb/s (3. aşama) ile 480 kanal, 140 Mb/s (4. aşama) ile 1920 kanal, 565 Mb/s (5. aşama) ile 7680 kanal, 2.4 Gb/s (6. aşama) ile 30720 kanal aynı anda iletilebilmektedir.

Ülkemizde şu an 565 Mb/s sistem (5. aşama çoğullama), İstanbul’da kullanılmaya başlanmıştır (Akcar,1990).

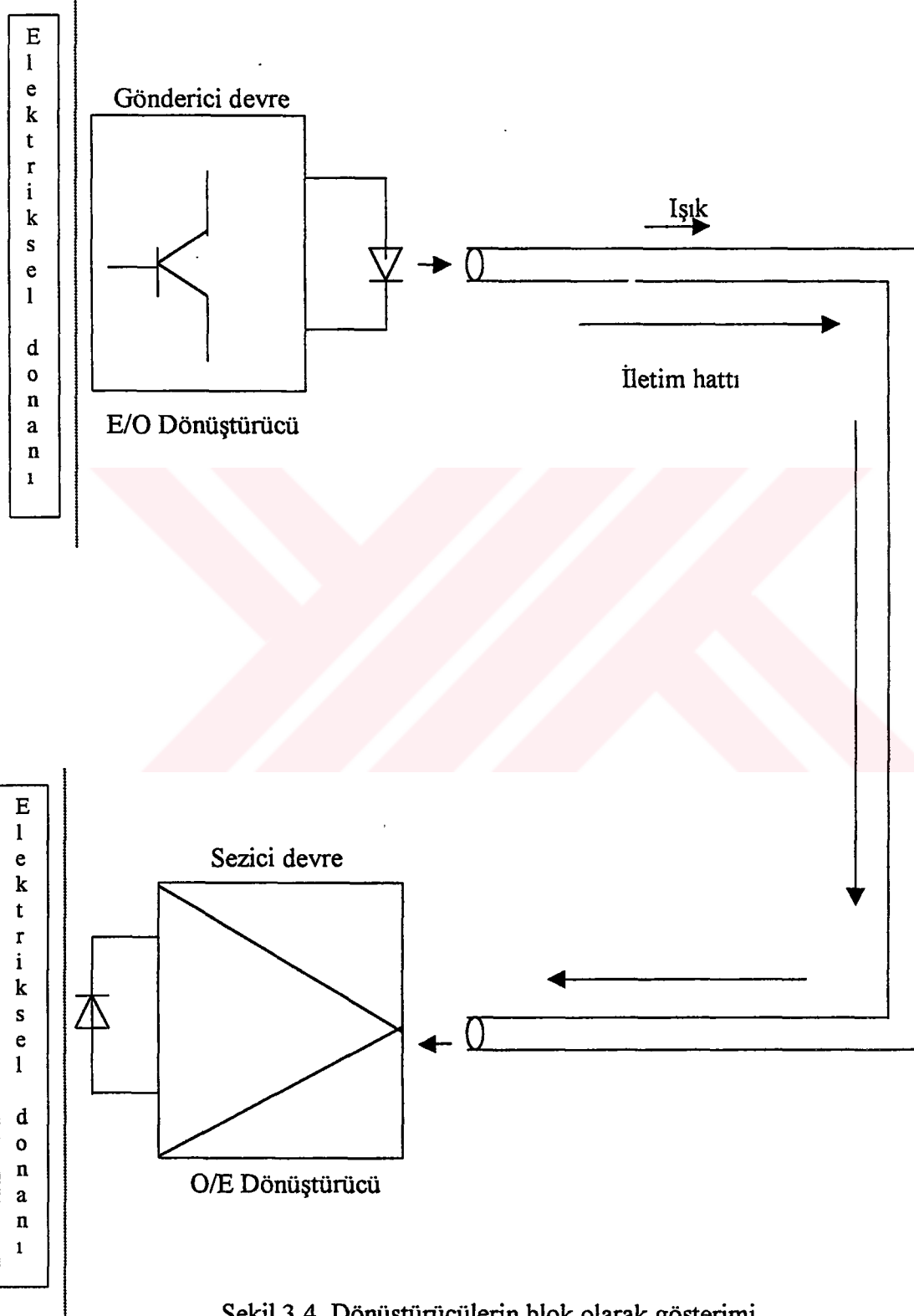
565 Mb/s ile çoğullama sisteminde bilgi işaretinden optik fiber damara kadar olan iletim sisteminin (K/P ve hat teçhizatının) öbek yapısı, Şekil 3.3’deki gibidir.



Şekil 3.3 Fiber optik kablolarla iletim sisteminin öbek yapısı
OHT : Optik hat teçhizatı, MUX : Çoğullama, ...M : Mb/s

3.3 Dönüştürücüler

Elektrik sinyalini optik (ışıklı) sinyale, optik sinyali elektrik sinyaline çevirme görevini yapan yarı iletkenlerden yapılmış elemanlara kısaca dönüştürücüler diyoruz.



Şekil 3.4 Dönüştürücülerin blok olarak gösterimi

3.3.1 Elektrik sinyali optik sinyale dönüştürücüler (E/O)

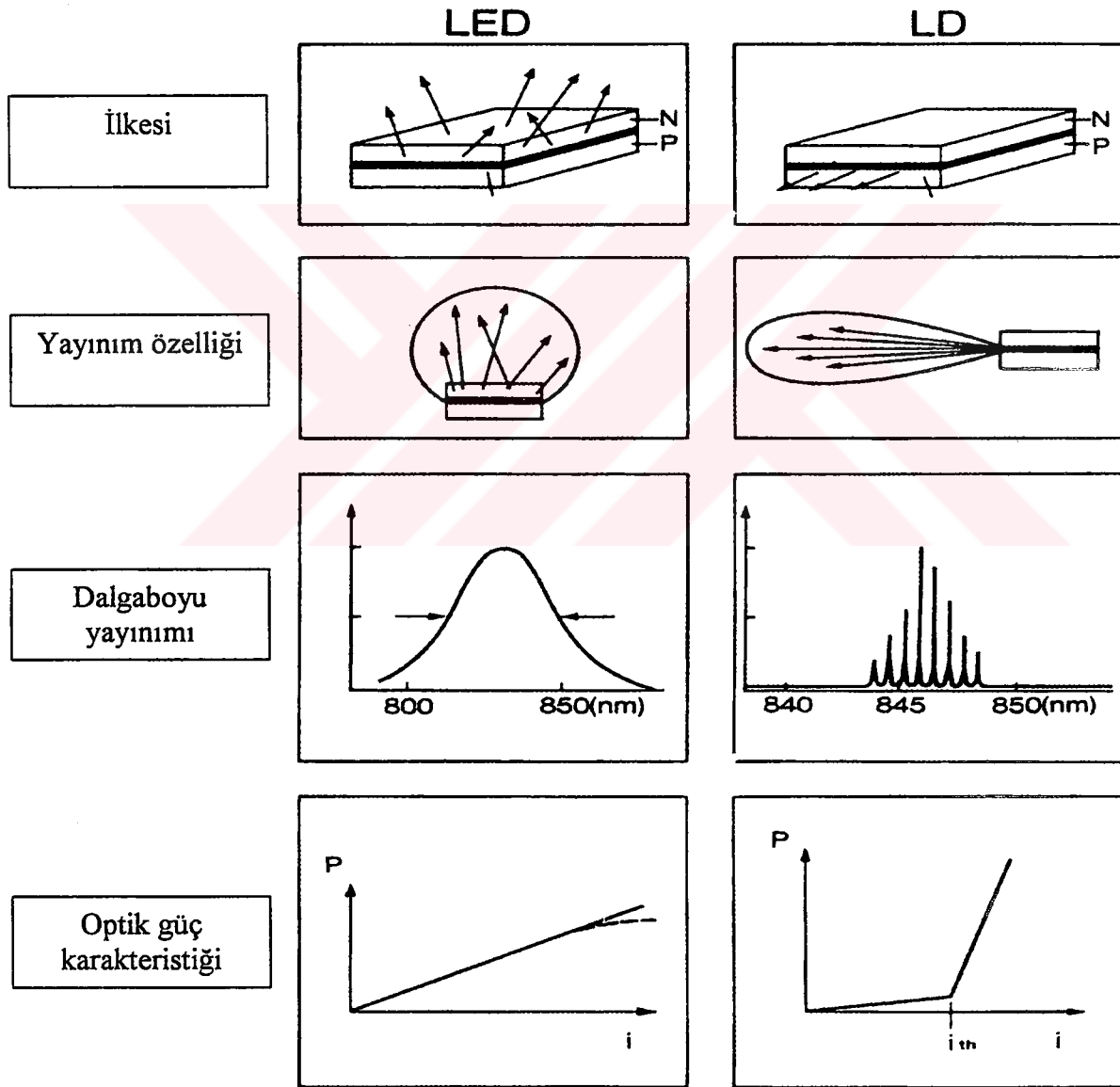
Hat teçhizatının verici ucunda bulunan bu dönüştürücüler, elektriksel olarak gelen sinyali optik sinyale çevirirler.

Temel olarak iki tip dönüştürücü kullanılmaktadır. Bunlar LED ve LD'dir.

LED: Işık yayan diyot (light emitting diode).

LD: Uyarılmış ışınım salınım ile ışık çoğaltan diyot (light amplification by simulated emission of radiation diode).

Şekil 3.5'deki grafiklerden de anlaşılacağı üzere; LED'le analog ve sayısal sinyaller çevrilebilmekte iken LD ile yalnızca sayısal sinyaller optik sinyallere çevrilebilmektedir.



Şekil 3.5 LED ile LD'nin mukayesesi

Bunlardan InGaAsP elementlerinden yapılmış olan LED ve LD'nin özellikleri aşağıda karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.1 LED ve LD'nin özelliklerinin mukayesesi

DİYOTLAR	OPTİK ÇIKIŞ GÜCÜ	GİRİŞ KAYBI	MODÜLASYON FREKANSI	ÖMRÜ (SAAT)
LED InGaAsP	~ 1 mW	15 ~ 20 dB	30 MHz	10^7
LD InGaAsP	3 ~ 5 mW	3 ~ 5 dB	1000 MHz	10^5

3.3.1.1 LED'ler ile LD'lerin mukayesesi

LED'ler:

- ✓ Az güç harcarlar.
- ✓ Uzun ömürlüdürler.
- ✓ Ucuzdurlar.
- ✓ Tesisi kolaydır.
- ✓ Düşük güçlüdürler.
- ✓ Düşük tepki hızları vardır.

LD'ler:

- ✓ Miliwatlar boyutundan 10 W' a kadar yüksek çıkış güçleri vardır.
- ✓ Yüksek tepki hızları (yükselme zamanı) ile bilinirler.
- ✓ Pahalıdırlar.
- ✓ Yönlü yayılım (emisyon) vardır.
- ✓ Isıya karşı duyarlıdırlar.
- ✓ Kısa ömürlüdürler.

Sistemde LED veya LD'lerden hangisinin kullanılacağı, sistemin özelliğine ve gereksinimlerine göre belirlenir.

Genel olarak; LED'ler, sürücü ve denetim (kontrol) devrelerinin basitliği dolayısıyla dar bantlı kısa erimli haberleşme sistemlerinde ve aygıt içi bağlantılarda, LD'ler ise yüksek güçlü olduklarından geniş bantlı uzak erimli (mesafe) haberleşme sistemlerinde kullanılmaktadır (Düşmez,1987).

3.3.2 Optik sinyalleri elektriksel sinyallere dönüştürücüler (O/E)

Hat teçhizatının alış ucunda bulunan bu dönüştürücüler, optik olarak gelen sinyali sezerek elektrik sinyaline çevirirler.

Temel olarak iki tip O/E dönüştürücü kullanılmaktadır. Bunlar:

APD ve PİN-FET'tir.

APD: Çığ etkili foto diyot (avalanche photo diode)'tur. APD'lerin gürültü düzeyleri yüksektir. Özellikle yavaş çalışan sistemlerde kullanılır.

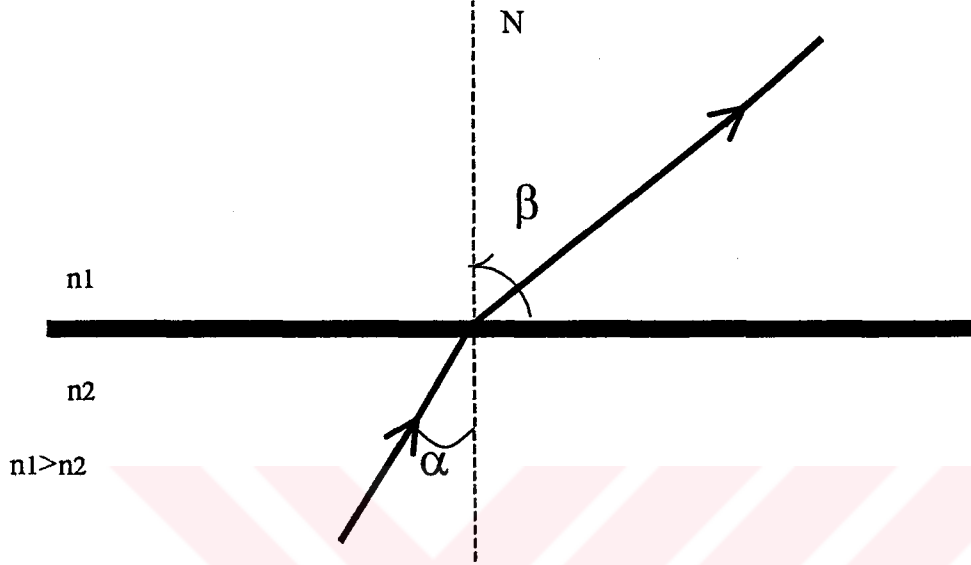
PİN-FET: Pozitif-katkısız-negatif alan etkili transistör (pozitive-intrinsic-negative field effect transistör)'dür. PİN-FET'lerin ışık duyarlılıkları ve tepki hızları yüksektir. Bu nedenle optik sinyallerin alınmasında yaygın olarak kullanılırlar.



4. IŞIĞIN İLETİMİ

4.1 Işığın Özellikleri

Işık, kırılma indisleri farklı bir ortamdan diğerine geçerken gelen ışığın dikey eksenle yaptığı açıya bağlı olarak kırılma veya yansıma diye tanımladığımız bir takım değişikliklere uğrar. Işığın kırılma indisi, n harfiyle gösterilir.



Şekil 4.1 Işığın kırılması

Bu durumda şu ifade ortaya çıkar:

$$\sin\alpha / \sin\beta = n2 / n1 = c1 / c2 \quad (4.1)$$

Burada;

α : Gelen ışığın normalle yaptığı açı,

β : Giden ışığın normalle yaptığı açı,

$n1$: 1. ortamdaki kırılma katsayısı,

$n2$: 2. ortamdaki kırılma katsayısı,

$c1$: 1. ortamdaki ışığın hızı,

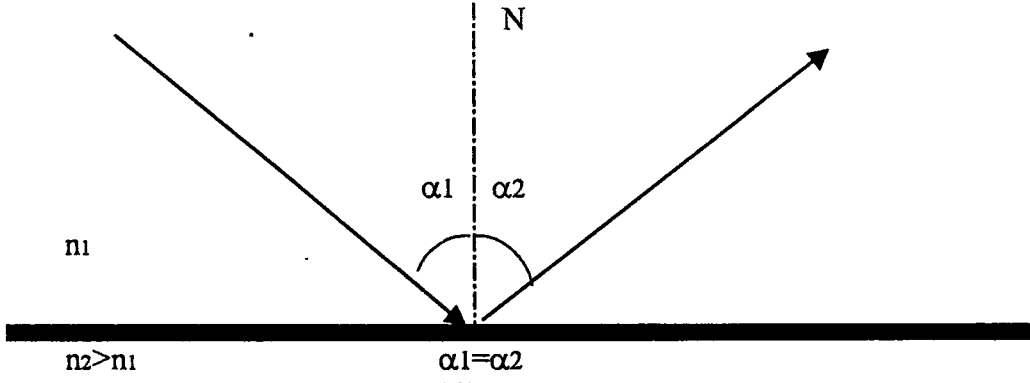
$c2$: 2. ortamdaki ışığın hızıdır.

4.2 Işığın Yansıması

Ayna yüzeyine bir ışık kaynağından gelen ışık ışını, ayna yüzeyinin o noktasında yansır.

Yansıma yasasından bilindiği gibi;

- ✓ Gelen ışık, normal ve yansıyan ışık aynı düzlem içindedir.
- ✓ Gelen ışığın normalle yaptığı açıyla, yansıyan ışığın normal ile yapmış olduğu açı birbirine eşittir.

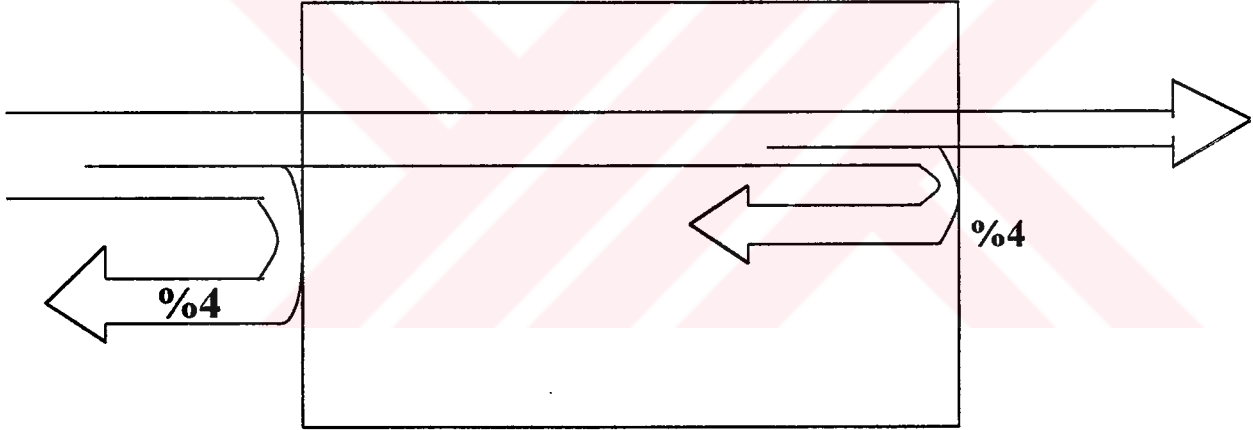


Şekil 4.2 Işığın yansıması

Değişik yapıdaki iki saydam ortam arasındaki düzlem yüzeyi, genel olarak ayna gibi etki yapar. Aynadan farklı olarak (tam yansıma yoksa) ışığın bir kısmı ara düzlemden yansırken bir kısmı da diğer ortama geçer.

4.2.1 Frensel yansıması

Işık; kırılma indisleri farklı iki ortamdan birinden diğerine geçerken, bir bölümü geldiği ortam içine geri yansır. Bu yansıma frensel yansıması denir.



Şekil 4.3 Frensel yansımanın şematik gösterimi

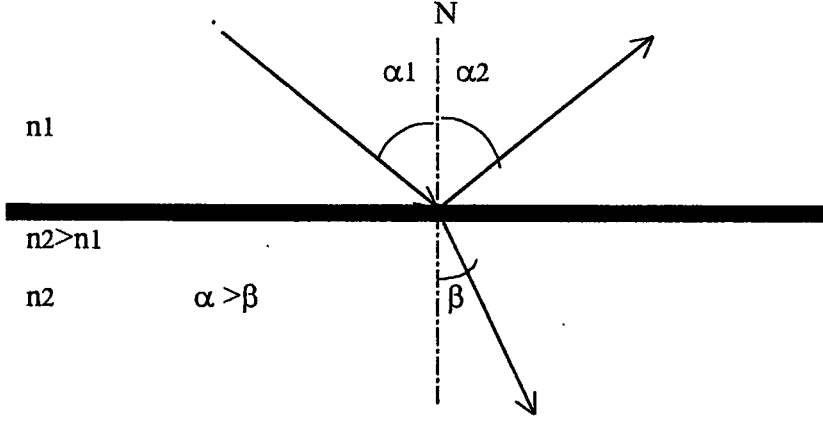
4.3 Işığın Kırılması

Tam yansımanın olmadığı ortamlardaki yansıma kırılma denir. Kırılma indisleri değişik olan iki ortamdan birinden diğerine geçen ışığın bir kısmı yansır, bir kısmı yön değiştirerek diğer ortama geçer.

İki değişik ortamdan birinden verilen ışığın yansıma ve kırılması, ışığın verildiği ortama ve normalle yaptığı açıya bağlı olarak iki durum oluşturur.

4.3.1 Az yoğun ortamdan çok yoğun ortama geçen ışık

Işık, az yoğun ortamdan çok yoğun ortama geçerken normale yaklaşacak şekilde kırılır. Işığın diğer kısmı, geliş açısına bağlı olarak yansır.

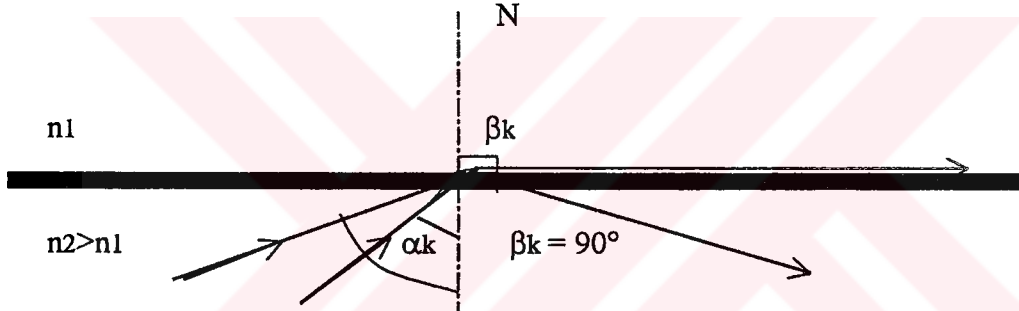


Şekil 4.4 Az yoğun ortamdan çok yoğun ortama geçen ışık

4.3.2 Çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçen ışık

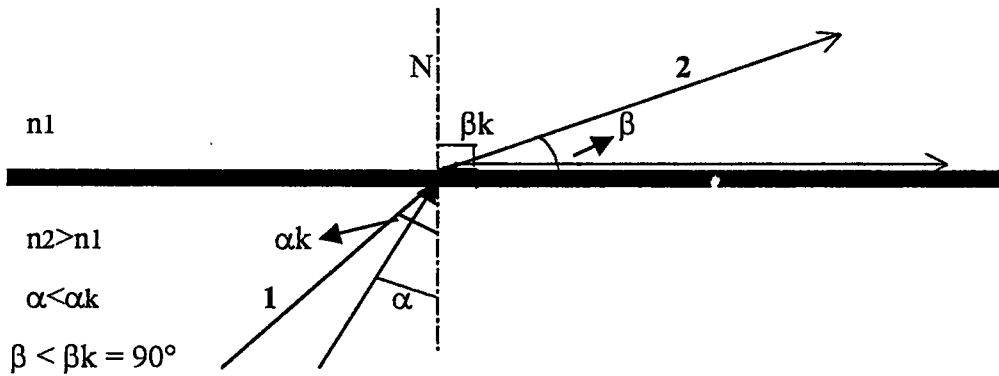
Geliş açısı belirli bir değere ulaştığında kırılma açısı 90° ye ulaşır. Kırılan ışık, ara yüzeyi yalayacak duruma gelir. Bu şekildeki geliş açısına, kritik açı denir.

Kritik açıdan daha büyük açıyla ışığın gelmesi:



Şekil 4.5 Kritik açıdan daha büyük açıyla ışığın gelmesi

Kritik açıdan daha az açıyla gelen ışınlar:



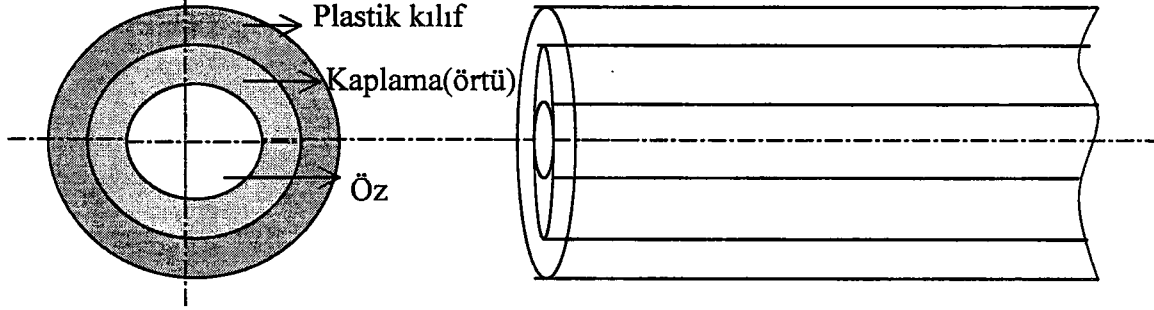
Şekil 4.6 Kritik açıdan daha az açıyla gelen ışınlar

Bu şekilde gelen ışınların bir kısmı yansırken diğer ortama geçen ışık, normalden uzaklaşacak şekilde kırılır.

Bir ortamdan ışığı verimli iletebilmek için, ortamın kesinlikle saydam (ışık geçirir) olması ve ışığın tam yansımaları gerekir.

4.4 Optik Fiberde Işığın İletimi

Işık iletiminde kullanılan fiber damarlar, tam yansıma olayından yararlanan ışık (optik) dalga klavuzlarıdır. Silindirik dalga klavuzları, başlıca iki katmandan oluşur. İletimi sağlayan silindirik öz tabakası, bunun dışını çevreleyen bir örtü tabakası vardır. En üstte de koruyucu (plastik) kılıf vardır.



Şekil 4.7 Optik fiberin iç yapısı

Optik fiberlerin kullanımında en önemli faktörlerden birisi, ışık kaynağı ve alıcı arasında ışığın yol aldığı ortamın saflığı ve mükemmelliğidir (Yarangümeli,1990).

Işığı fiber içine sokmak ve oradan çıkmamasını sağlamak için kullanılacak en basit yol, eş eksenli ve kırılma katsayısı farklı katmanları optik dalga kılavuzu olarak kullanmaktır. İşte bu katmanlar, öz ve kaplamadır. Öz bölgesi, kaplamaya göre daha yüksek kırılma katsayılı maddeden yapılır.

Kırılma katsayısı: Bir maddenin kırılma katsayısı, ışığın boşluktaki hızının o maddedeki hızına oranı olarak tanımlanır.

$$n_i = c / c_i \quad (4.2)$$

Burada;

c : Işığın boşluktaki hızı,

c_i : Işığın madde içindeki hızıdır.

Işık, eğer kırılma katsayısı “ n ” olan ve ışık geçiren bir maddeden geçiyorsa ilerleme hızı “ n ” defa azalır.

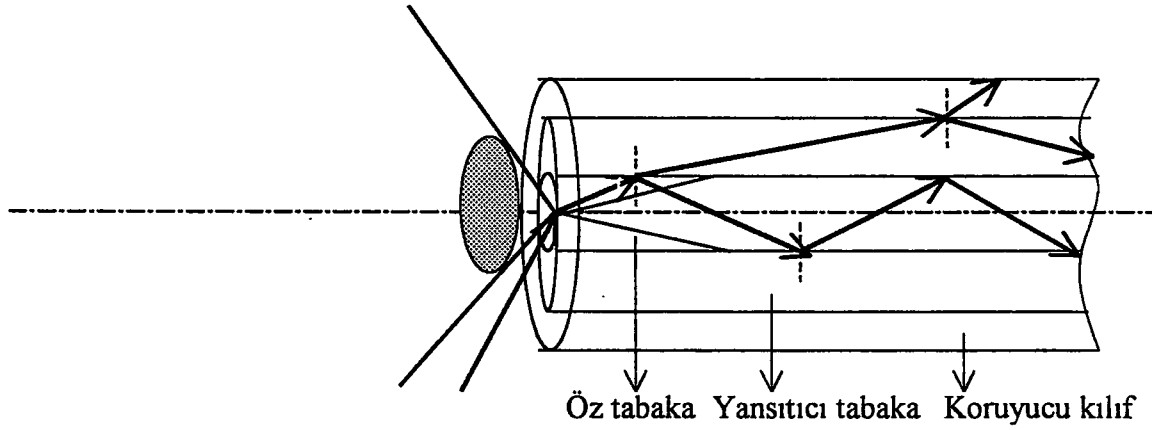
Örneğin; $n = 1.5$ kırılma katsayılı bir cisim içinden geçerken ışığın hızı:

$$c_i = c / n = (300.000 \text{ km/s}) / 1.5$$

$$c_i = 200 \text{ m/ms'dir.}$$

Eksene dik ve düzgün olarak kesilmiş fiber damara dar bir ışın demeti tutulduğunda ışın, fiber damar içine girer. Burada ışın demetinin eksenle yaptığı açıya göre, aşağıda açıklandığı üzere iki durum oluşur.

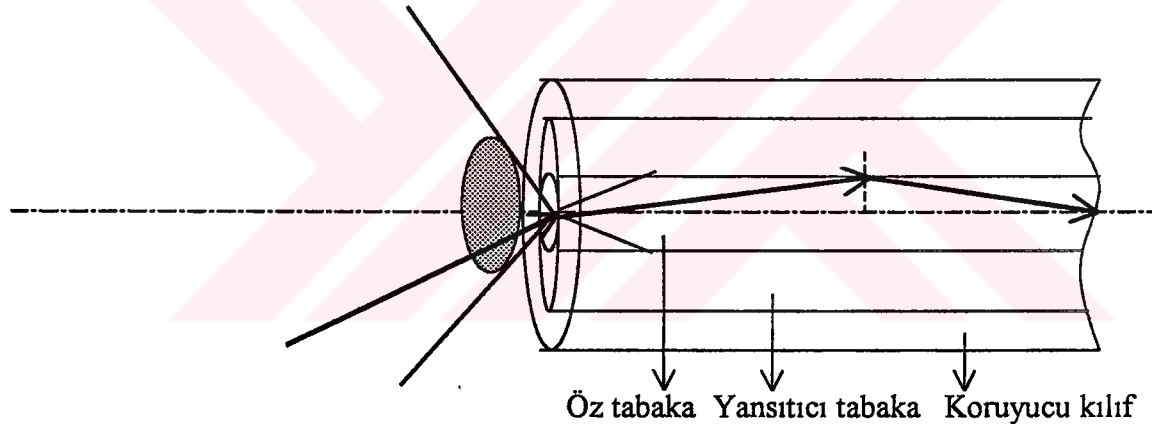
4.4.1 Geniş açı durumu



Şekil 4.8 Geniş açı durumunun gösterimi

Eksenle belirli değerden daha geniş açı yaparak özden fibere giren ışık, eksene yaklaşacak şekilde kırılır. Bu ışık, öz ile örtü tabakası arasındaki yüzeye çarptığında büyük bir kısmı kırılarak örtü tabakasına girer. Çok az bir kısmı da öz içine geri yansır. Bu ışınlar; oldukça zayıflar, biraz yol aldıktan sonra sönerler (Şekil 4.8).

4.4.2 Dar açı durumu



Şekil 4.9 Dar açı durumunun gösterimi

Eksenle açısı belirli bir değerin altında olacak şekilde (kritik açıyla) özden fibere giren ışık, öz ile örtü tabakası arasındaki yüzeyde tam yansımaya uğrar. Bu yansıma, ışığın yolu üzerinde tekrarlanır. Optik iletimi sağlayan da bu ışıktır.

Bu durum;

$$\sin \alpha_{\text{kritik}} = (n_{\text{kaplama}} / n_{\text{öz}}) \cdot \sin \beta \quad (\sin \beta = 1) \quad (4.3)$$

formülüyle gösterilebilir.

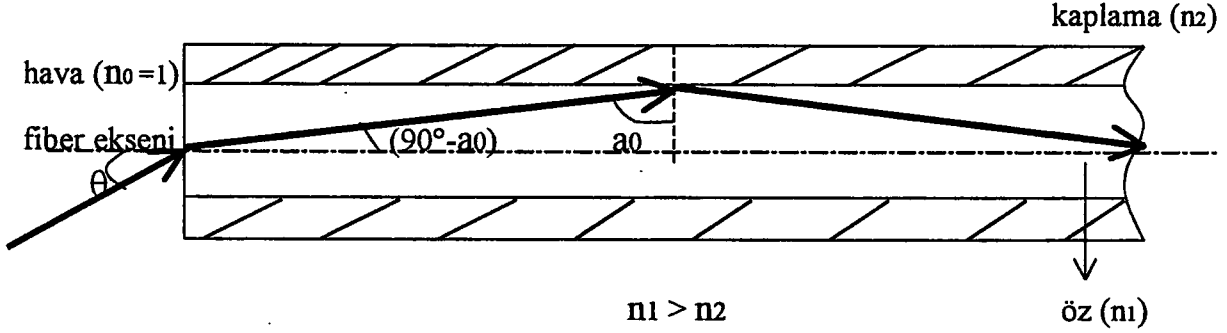
Görüldüğü gibi kritik açı, her iki ortamın kırılma katsayılarına bağlıdır.

Örneğin; $n_{\text{kaplama}} = 1.46$, $n_{\text{öz}} = 1.48$ olduğunda kritik açı:

$$\arcsin \alpha_{\text{kritik}} = \arcsin(1.46/1.48) = \arcsin(0.9865) = 80.5^\circ \text{ 'dir.}$$

4.4.3 Nümerik açıklık

Kırılma katsayısı n_1 olan öz tabakasıyla n_2 olan kaplama tabakasından oluşan bir fiber lifi düşünelim.



Şekil 4.10 Kırılma katsayısı n_1 olan optik fiberde nümerik açıklık

Yansıma kanununa göre; ışığı $n = 1$ olan dış ortamdan (havadan) fiberin öz tabakasına yönlendirmek ve yansımadan içeri girmesini sağlamak için mümkün olan en büyük açıya (θ_{max}), fiberin kaplama açısı denir. Bu açının sinüsü, fiberin nümerik açıklığı (NA) olarak adlandırılır. NA, fiberin en önemli değişkenlerinden biridir.

$$\sin\theta / \sin(90 - a_0) = n_1 / n_0 \quad (4.4)$$

formülünü uygulayarak,

$$\sin\theta = n_1 \cdot \cos a_0 = n_1 \cdot \sqrt{1 - \sin^2 a_0} \quad (4.5)$$

eşitliğinden,

$$\sin\theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (4.6)$$

bulunur. Buradan nümerik açıklık,

$$NA = \sin\theta_{max} \quad (4.7)$$

formülüyle bulunur.

5. FİBER OPTİK KABLO DEĞİŞKENLERİ

Fiber optik kabloların kalitesi, alışlagelmiş ölçme metodlarıyla ölçülür. Ölçülecek değişkenler; ışığın optik fibere yönlendirilmesi, zayıflama, bandgenişliği, kromatik dispersiyon, cut-off dalgaboyu, mod çapı, yakın alan dağılımı ve geometrik ölçümler, uzak alan dağılımı, mekanik mukavemet olarak sayılabilir. Bu değişkenlerin bir çoğu, fiber üreticilerini ilgilendiren ve CCITT G.651-G.654'de tanımları ayrıntılarıyla belirlenmiş değişkenlerdir. Aşağıda kullanıcı için gerekli olan bazı değişkenlere kısaca değinilmiştir.

5.1 Fiber Optik Kablolarda Uygun İletim Dalga Boyları

Işık terimi, kızılötesi ve morötesi bölgeler ve görülebilen elektromanyetik radyasyonu açıklamak için kullanılır.

Dalgaboyu (m)	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1	10^2	
Frekans (Hz)		10^{16}	10^{15}	10^{14}	10^{13}	10^{12}	10^{11}	10^{10}	10^9	10^8	10^7	10^6
	← PHz		← THz		← GHz							
	X ışınları		Görünen Işık		Mikro Dalgalar		Radyo Dalgaları					

Işık, genellikle dalgaboyu cinsinden ifade edilir. Dalgaboyu ve frekans arasındaki ilişki, aşağıdaki formülle verilir:

$$\lambda = C / f \quad (5.1)$$

Burada;

λ : dalgaboyu,

C : ışığın boşluktaki hızı (300.000 km/s),

f : frekanstır.

Örneğin; $\lambda = 1 \text{ nm}$. dalgaboyundaki ışığın boşluktaki hızı 300.000 km/s ise f frekansı:

$$f = C / \lambda = 3.10^8 / 3.10^{-6}$$

$$f = 3.10^{14} \text{ Hz.} = 300.000 \text{ GHz. dir.}$$

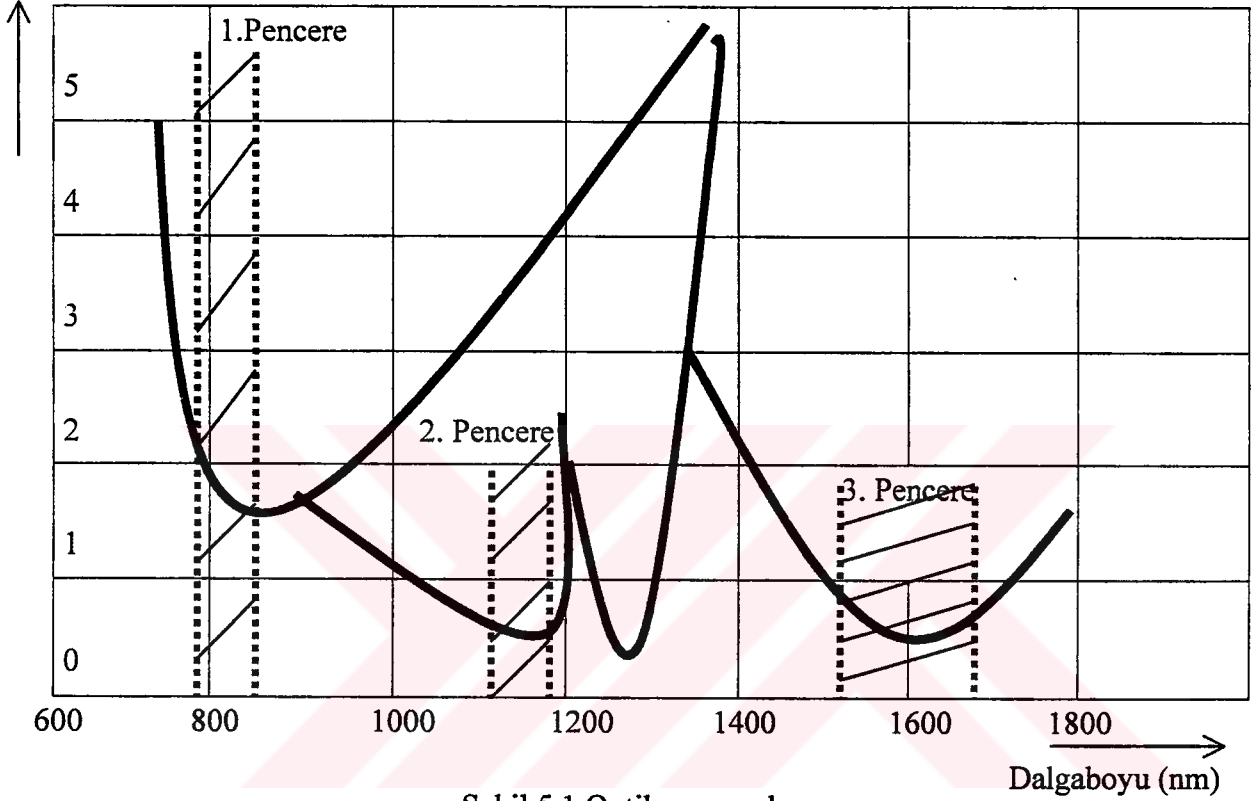
Kenar ve orta kızılötesi bölgelerde yani 800 ile 1800 nm. dalgaboyları arası, fiber optik haberleşme için kullanılmaktadır.

Fiber optik kablolarda uygun iletim için üç değişik dalga boyu kullanılmaktadır. Fiber optik kablolar, ilk kullanıldığında (1966 yılında) ışık dalga boyu 850 nm. (1. optik pencere) kullanılmıştır. 1975 yılında ışık dalga boyu 1310 nm. (2. optik pencere) olarak kullanılmaya başlanmıştır. Şu anda optik iletim ve araştırmalarda ağırlıklı olarak 3. optik pencere temel alınmaktadır.

Ülkemizde 2. optik pencere kullanılmakta olup 3. optik pencerenin de kullanılması için çalışmalar yapılmaktadır (Şaplakoğlu ve Altıntaş,1991).

Haberleşme kabloları için en önemli kriterlerden birisi, işaret zayıflamasıdır. Bu kriter, optik fiberlerde dalgaboyuna son derece bağımlı olup, dalgaboyu–zayıflama ilişkisinde aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi 3 ayrı bölge meydana getirirler (Şekil 5.1).

Zayıflama (dB/km)

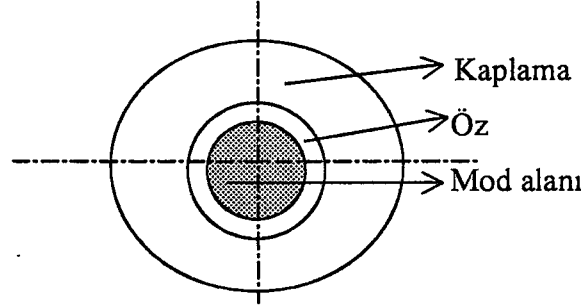


Şekil 5.1 Optik pencereler

Birinci pencere, kızılötesi dalga boylarına yakın bir bölgede olup 800 nm arasını kaplar. Fiber liflerinin ilk olarak kullanıldığı yıllarda bu pencere tercih edilmişti. Çünkü o zamanki yarı iletken ışık üreteçleri ve alıcıları, 800 nm. – 900 nm. dalga boylarına uygundu. İkinci pencere, 1150 nm.– 1330 nm. arasını kaplar. Bu aralıkta maddenin kendisinin sebep olduğu madde dispersiyonu, en düşük değerini alır. Üçüncü pencere, yaklaşık olarak orta noktası 1600 nm olan bölgede olup 150 nm.– 200 nm. genişliktedir. Bu bölgede fiber zayıflaması, en düşük değerindedir. Bundan dolayı uygun lazer kaynakları kullanıldığında uzun mesafe için kullanılacak dalga boyu, üçüncü pencerededir (Wayne,1987).

5.2 Mod Alan Çapı

Mod alan çapı, Şekil 5.2’de görüldüğü gibi fiber kesitinin yüzeyinde aydınlanmış olan bölgedir.



Şekil 5.2 Mod alan çapı

5.3 Işığın Yönlendirilme Şartları

Işığın fiber içine yönlendirilmesi için uygulanacak yöntem, fiber içinde ilerleyen ışığın güç dağılımı açısından çok önemlidir. Özellikle çok modlu fiber içinde gönderilen çok modlu ışık gücü, tek tek modlar arasında dağıtılır. Tek modlu fiberde ışığın bir kısmı esas moda yönlendirilirken bir kısmı öz dışına çıkar.

Yönlendirme koşullarına bağlı olarak tek ve çok modlu fiberlere gönderilen ışık, kendi gücünü farklı oranlarda taşır.

5.3.1 Çok modlu fiberlerde ışığın yönlendirilme şartı

Tam yönlendirme durumunda fiberin öz tabakası ışıkla dolar ve ışık, farklı indeksli tüm modlarda ilerler. Çünkü bu modlar, fiber boyunca farklı zayıflama derecelerine sahiptirler. Işık gücünün farklı dağılımındaki enerji transferi ve fiberin boyuna bağlı olarak modların gecikme zamanı, mod karışımına sebep olur.

Demek ki fiberin sonundaki durum, baştaki yönlendirme şartlarına ve mod karışımına bağlı olup tam yönlendirme şartına bağlı değildir.

5.3.2 Tek modlu fiberlerde ışığın yönlendirilme şartı

Tek modlu fibere ışığın tam yönlendirilmesi sırasında kendiliğinden kaplama modları oluşur. Bunlar, birkaç santimetre içinde kaplama camı içinden geçerler ve orada kalırlar. Böylece kaplama tabakası, kendine kaçan ışık modlarını hapsetmiş olur.

5.4 Işık Yönlendirme Açısından Standart Sistem Sınırlamaları

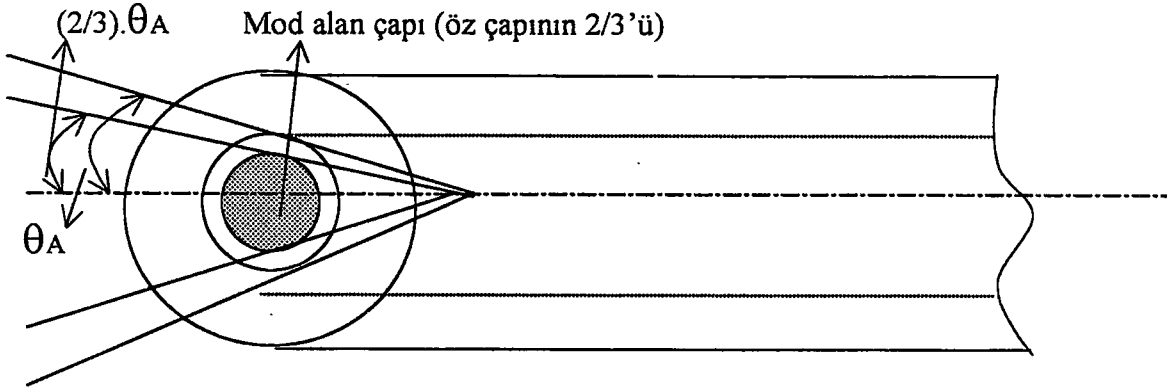
Ölçme amacıyla sistem sınırlamaları öyle seçilir ki fiber içindeki dengeli mod dağılımı, yönlendirme noktasına mümkün olduğunca yakın üretilir. Bunu sağlayan standart sistem sınırlamaları şunlardır :

Yönlendirme açısı = 0

Kabul açısı = Nümerik açıklığı gösteren açının 2/3'ü

Mod alan çapı = Öz çapının 2/3'ü

Pratikte bu standart koşullara, ya bir optik sistem yardımıyla ya da bir deneysel fiber ile erişilir. Bu standart koşullardan başka; yönlendirme açısı θ , kabul açısı $>$ nümerik açıklık açısı ve mod alan çapı $>$ öz çapı olduğunda da fiberin tahrik edilmesi sağlanır.



Şekil 5.3 Işık yönlendirme açısından standart sistem sınırlamaları

5.5 Zayıflama

Optik fiber içinde ilerleyen ışık, zayıflar yani enerji kaybeder. Bu kayıp, uzak mesafeleri tekrarlayıcı koymadan geçecek şekilde en alt düzeyde tutulmalıdır.

Optik haberleşme kablosu tasarımı yapılırken fiber optik kablonun zayıflaması önemli bir değişken olarak hesap edilir. Bu; fiziksel süreç, saçılma ve absorpsiyon cinsinden ele alınır.

Kaybolan ışık miktarı, fibere yönlendirilen ışığın dalgaboyundan başka şeylere de bağlıdır.

Bunun için fiberin zayıflamasını, dalgaboyunun bir fonksiyonu olarak ölçmek ve böylece hangi dalgaboylarında uygun zayıflama değerlerine ulaşılacağını bilmek çok önemlidir.

Absorpsiyon, sadece “absorpsiyon bandı” denilen 1390 nm. de OH⁻ etkisiyle olur. Bu bantta saçılma dolayısıyla ışık kaybı, en yüksek değerdedir. Çünkü optik fiberlerde “rayleigh saçılma kanunu” ile açıklanabilen ve yoğunluktaki değişimin neden olduğu saçılma, her zaman sorun yaratmıştır. Yoğunluk değişiminin boyutları, genellikle ışığın dalgaboyundan daha küçüktür. Rayleigh saçılma kanununa göre; λ dalgaboyu arttıkça $\propto$ saçılma kaybı, dalgaboyunun 4. kuvvetiyle azalır.

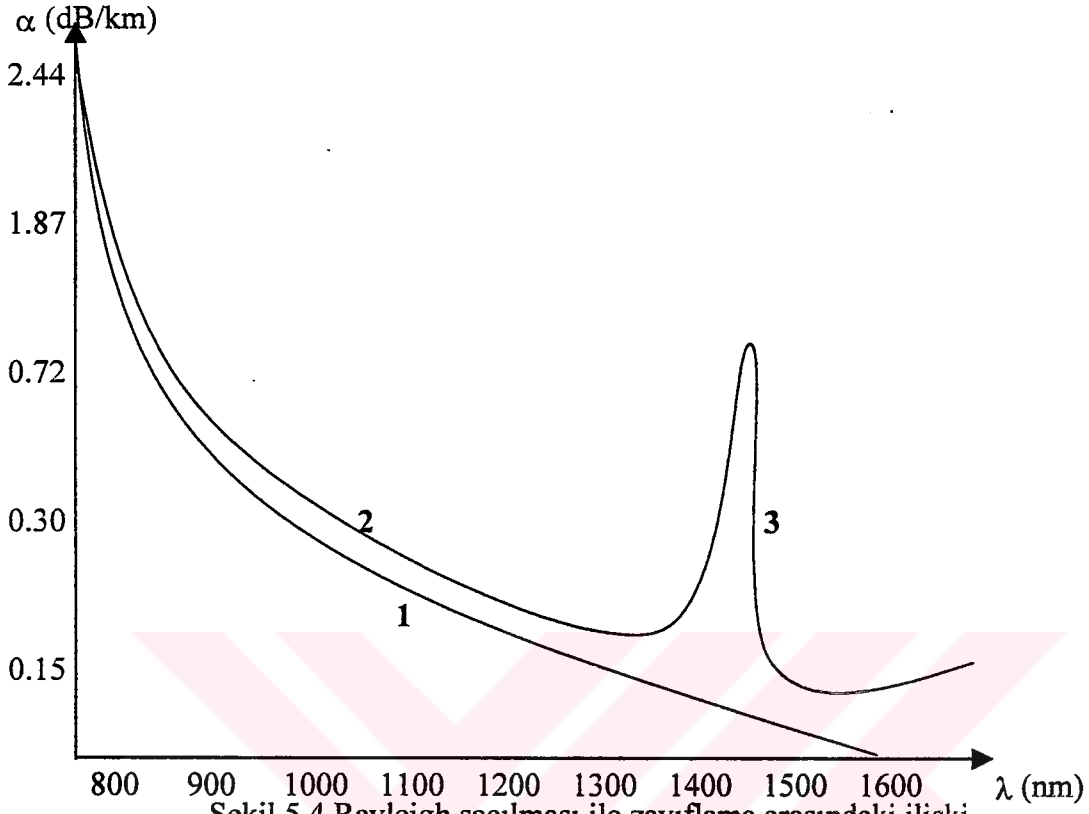
850, 1300, 1550 nm dalgaboylarındaki saçılma kayıplarını karşılaştırdığımızda; 1300 nm. deki saçılma kaybının sadece %18, 850 nm ve 1550 nm. de %9 olduğu görülür. Böylece bu dalgaboyları, çalışmak için en avantajlı görülmektedir.

Durağan hale erişmiş ışık bilgisi ele alındığında; P ışık gücünün, L boyundaki optik fiberde logaritmik güç kaybına uğradığını görürüz. Bunu,

$$P(L) = P(0) \cdot 10^{-\alpha L/10} \quad (5.2)$$

şeklinde ifade edebiliriz.

Burada $P(0)$, kablonun başında fibere yönlendirilen ışık gücü; $P(L)$, L kadar uzaklıktaki ışık gücü; α , birim uzunlukta fiberin sahip olduğu zayıflama sabitidir.



- (1) Rayleigh saçılması
- (2) Tipik optik fiber zayıflaması
- (3) OH⁻ etkisi

Örneğin; 10 dB. lik bir zayıflama, L kadar uzunluktaki bir fiber kablonun başlangıçtaki $P(0)$ ışık gücünden kablo sonunda %10'a düştüğünü gösterir. Eğer 3 dB. lik bir zayıflama söz konusuysa; bu kablonun sonunda $P(0)$ 'ın yarısı kadar ışık gücü olduğunu, 1 dB. lik zayıflama ise fiber ucunda hala %80 güç olduğunu gösterir. Modern tek modlu fiberler, 1550 nm. de 0.2 dB/km. lik zayıflamaya sahiptirler. Bu, 1 km sonunda ilk gücün sadece % 4.5 kayba uğradığını gösterir.

5.5.1 Zayıflama katsayısı

Optik fiberin zayıflama katsayısının kullanılan ışığın dalgaboyuna ne kadar bağımlı olduğunu daha önce görmüştük. Her fiber için zayıflama katsayısı (dB/km değeri), onun üretildiği malzemelerin saflığı hakkında da fikir verir (Düşmez,1991).

Zayıflama,

$$A(\lambda) / \text{dB} = - 10. \log (P_2/P_1)$$

(5.3)

eşitliğiyle verilir.

Burada;

$A(\lambda)$ / dB : zayıflama,

P_2 : fiberden çıkan ışık gücü,

P_1 : fibere giren ışık gücü,

λ : testte kullanılan dalgaboyudur.

Zayıflama katsayısı ise,

$$[\alpha(\lambda) / \text{dB/km}] = [A(\lambda) / \text{dB}] / [L/\text{km}] \quad (5.4)$$

eşitliğiyle verilir.

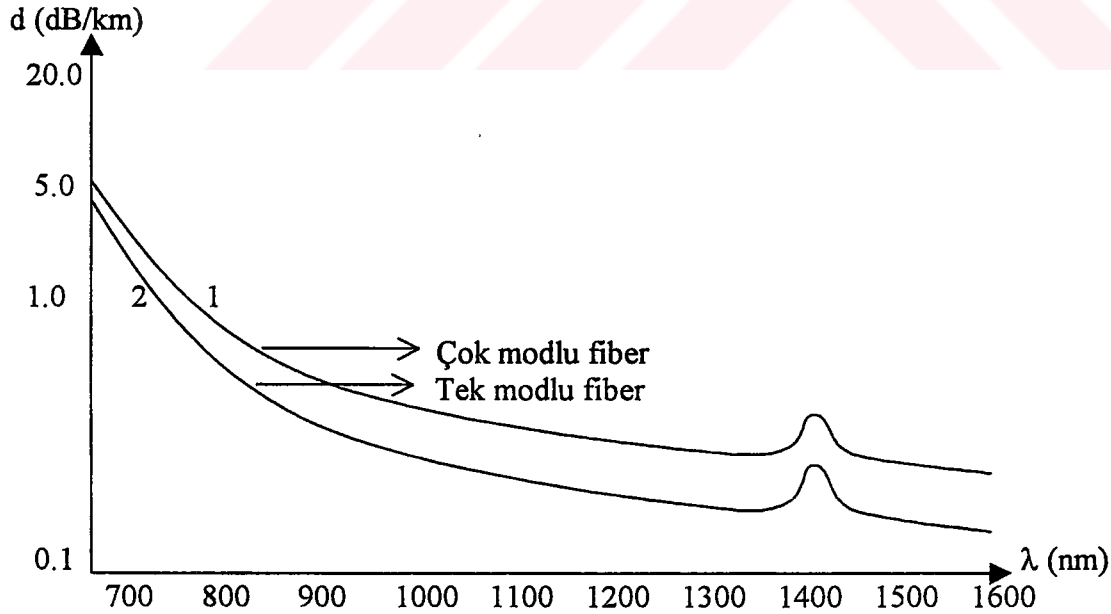
Burada;

$[\alpha(\lambda) / \text{dB/km}]$: zayıflama katsayısı,

$[A(\lambda) / \text{dB}]$: zayıflama,

L : fiber lifin uzunluğudur.

Optik fiberin zayıflama katsayısını bulmak için ışık gücü, fiberin iki ayrı noktasında ölçülür. Ayrıca ışığın yönlendirilmesi öyle ayarlanmalıdır ki tek modlu fiberin kaplama bölgesinde hiç ışık kalmamasın. Çok modlu fiberde ise denge hali dağılımı sağlanmalıdır. Böylece zayıflama katsayısı ölçümü için (%70 yönlendirme) sınırlı faz alan yönlendirmesi kullanılmış olur. Şekil 5.5'te tipik tek modlu ve çok modlu fiberlerde dalgaboyuna karşılık zayıflama katsayısı eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 5.5 Zayıflama katsayısı ile dalgaboyu arasındaki ilişki

(1) Çok modlu fiber

(2) Tek modlu fiber

5.5.2 Fiber optik damarlarda zayıflamanın bağı olduğu etmenler

Genel olarak fiber optik damarlarda zayıflama; fiziksel, kimyasal ve mekanik etmenlere bağlıdır.

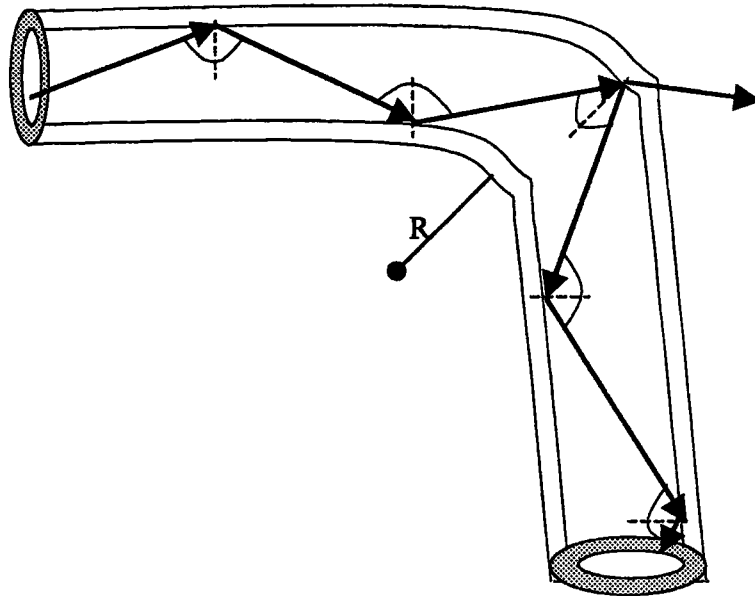
Bu kayıplar;

- a) Rayleigh dağılması,
- b) Keskin ve küçük kıvrımlar,
- c) Yabancı maddeler,
- d) Üretim hataları,
- e) Çekme, büzülme, basınç ve sıcaklık etkisi,
- f) IR (Infra-red kızıl ötesi) ve UV (Ultra violet mor berisi) yutması,
- g) OH⁻ (nem) yutması,
- h) Metal iyonları yutmasıdır.

Fiber optik kabloların tesisi ve eki sırasında önemli kayıpları önlemek için; yukarıdaki b, e ve g maddelerine özen gösterilmesi gerekir. Geri kalan maddeler; üretim , malzeme, hat teçhizatı ve benzeri etmenleri ilgilendirdiğinden (bizim denetimimiz dışında olduğundan) bunların üzerinde durulmayacaktır.

5.5.2.1 Keskin ve küçük kıvrımlar

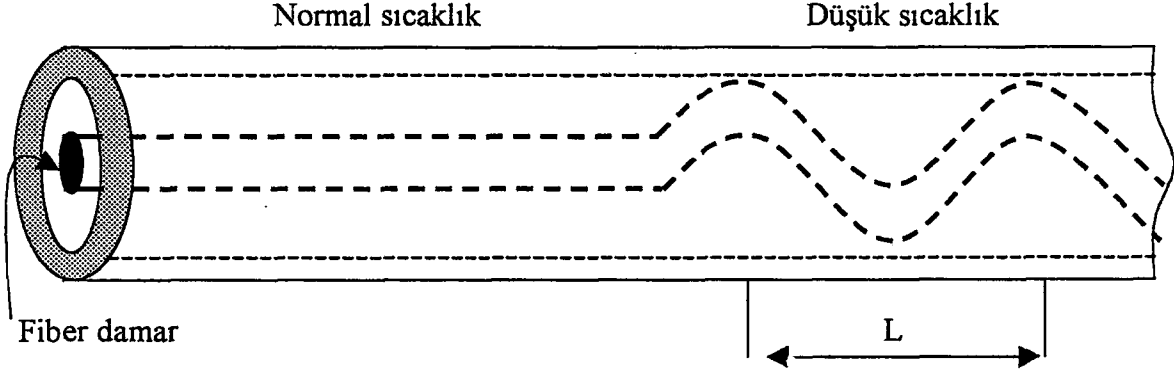
Damarlar keskin dönüş yaptığında dönüş noktasındaki ışık, geniş açı yaparak zayıflama artar. Işığın büyük bir kısmı buradan dışarı çıkar (LİD sistemli kaynak makinaları bu ilkeye göre çalışır).



Şekil 5.6 Keskin kıvrımların zayıflamaya etkisi

R yarıçapı küçültülerek kayıp artırılabilir.

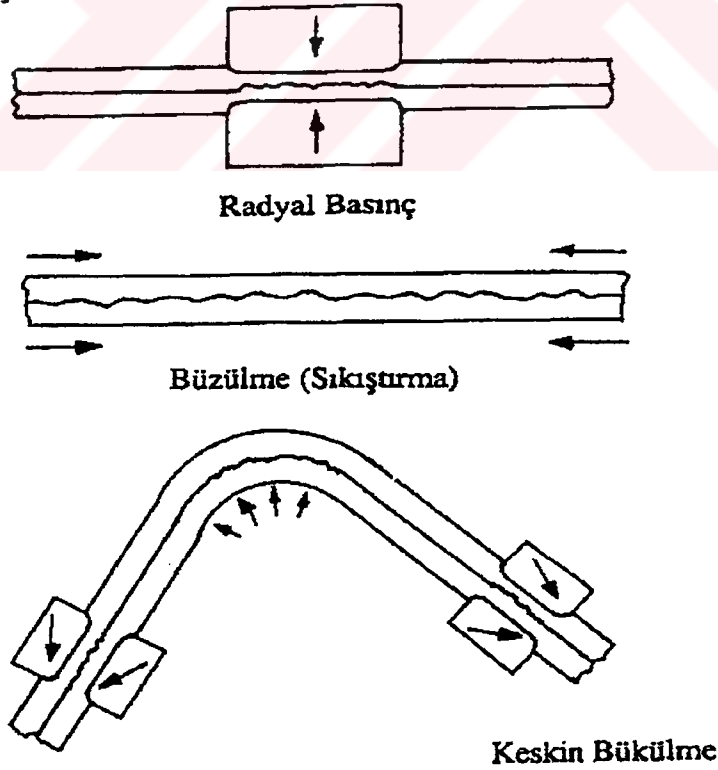
Fiber damarın uzama (sıcaklık) katsayısı, koruyucu tüpün (buffer) uzama katsayısından büyük olduğundan fiber damar, koruyucu tüpten daha çok uzamaktadır. Bu nedenle fiber damar, koruyucu tüpün içinde kıvrımlar oluşturur. Bu kıvrımlardan dolayı oluşan (geometrik dalga boyları $\lambda < 1$ mm ise) zayıflama açıkça görülür.



Şekil 5.7 Küçük kıvrımların zayıflamaya etkisi

5.5.2.2 Çekme, büzülme, basınç ve sıcaklık etkisi

Çekme, büzülme, basınç ve sıcaklıktan dolayı fiber damarlar içerisinde küçük ve keskin (Şekil 5.8’de görüldüğü gibi) kıvrımlar oluşur. Bu kıvrımlar sonucu kıvrım noktalarında kayıplar çok artar.

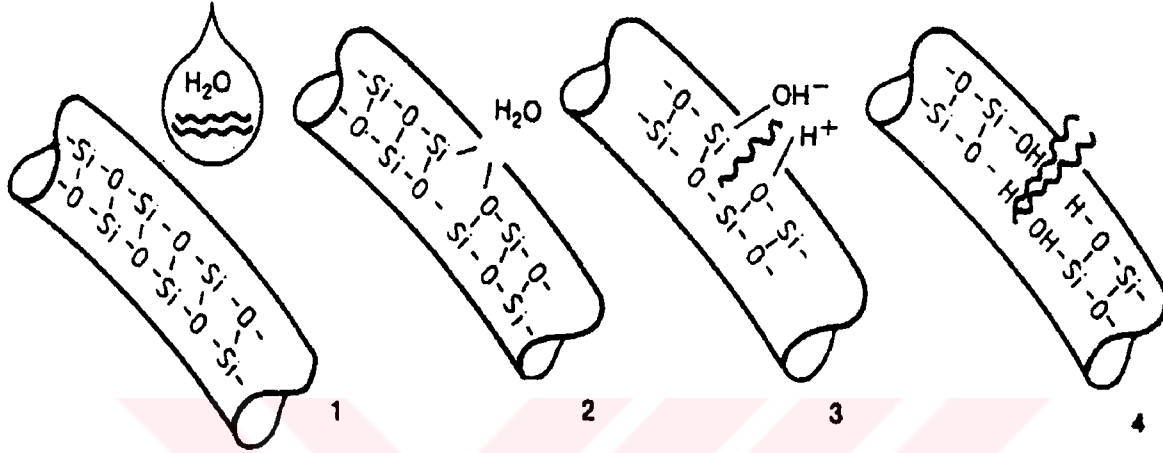


Şekil 5.8 (a-b-c) Çekme, büzülme, basınç ve sıcaklığın zayıflamaya etkisi

5.5.2.3 OH⁻ (nem-hidroksil) yutması

Kablonun su alması nedeniyle plastiklerin nemden bozulması sonucu ve ayrıca iletkenlerin elektrolizinden ortaya çıkan hidrojen, oksijen ile birleşerek OH⁻ olarak gösterilen hidrosil (OH⁻) nem oluşur.

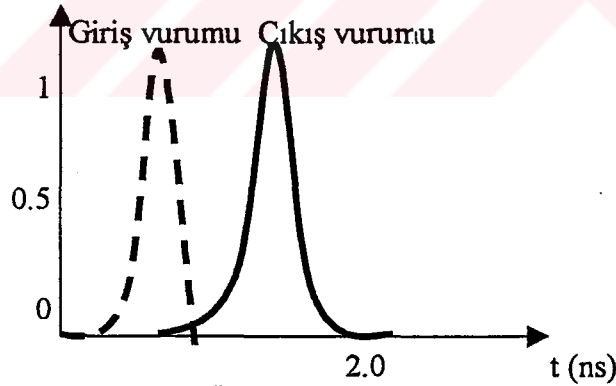
Bunun yanısıra OH⁻ yutmasının optik iletimde zayıflamaya etkisinin en iyi belirtisi, 1400 nm dalga boyu kullanıldığında açıkça görülür. OH⁻, fiber damar ömrünü azaltır.



Şekil 5.9 OH⁻ (nem) yutmasının zayıflamaya etkisi

5.6 Band genişliği

Optik fiberin iletim karakteristikleri açıklanırken zayıflamadan sonra ikinci önemli parametre, bandgenişliği veya bandgenişliği ve uzunluk çarpımıdır.



Örnek 5.10 Band genişliği

Örneğin; optik fiberin uzunluğu 2170 m, dalgaboyu 1300 nm, bandgenişliği 924 MHz ise (bandgenişliği x uzunluk) çarpımı 2005 MHz.km olur.

Optik fiberin bandgenişliği, yani iletim kapasitesi de dalga boyuna bağlıdır. Bu değer, verilen bir dalgaboyu için üretim aşamasında dikkatli malzeme seçimi ve kırılma katsayısı tayini ile optimize edilebilir. Bandgenişliği, ikinci pencere bölgesinde en yüksek değerdedir (bu pencerede, madde dispersiyonu en düşük değerdedir).

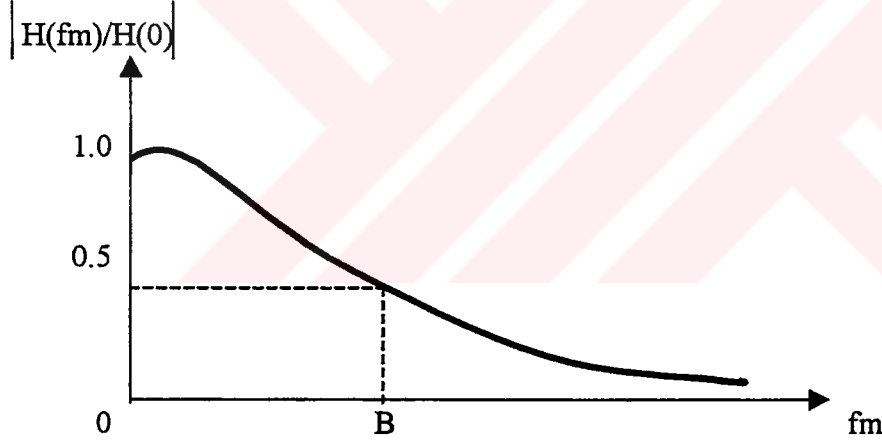
Birinci pencerede ve ikinci pencerede çalışan veya her iki pencerede çalışan (çift pencereli) fiberler mevcuttur.

Bir taraftan optik fiber boyunca ışığın uğradığı güç kayıpları zayıflamayla açıklanırken, diğer taraftan güç dispersiyonunu ölçmek için band genişliği kullanılır. Dispersiyondan dolayı ışık vurumları, optik fiber içinde ilerlerken genişler.

Frekans açısından bakarsak; optik fiber, alçak geçiren filtre gibi davranır. Diğer bir deyişle; bir fiberdeki ışığın modülasyon frekansı (f_m) arttıkça, ışık dalgasının genliği azalır ve sonunda tamamıyla kaybolur. Yani optik fiber, düşük frekanslı sinyallerin geçmesine izin verir ve frekans arttıkça sinyali zayıflatır. Her modülasyon frekansı için ışığın gücünü fiberin başında $P_1(f_m)$ ve sonunda $P(f_m)$ ölçerek ve bu büyüklüklerin oranını hesaplayarak $H(f_m)$ transfer işlevinin değeri bulunabilir.

$$H(f_m) = P_2(f_m) / P_1(f_m) \quad (5.5)$$

$H(f_m)$, modülasyon frekansının bir işlevidir. Genellikle transfer işlevinin büyüklüğü, onu $H(0)$ 'a bölerek normalize edilir. Böylece $H(0)$, $f_m = 0$ Hz. de iken yani modülasyon yokken transfer işlevinin büyüklüğünü gösterir. Şekil 5.11, bu durumu göstermektedir.



Şekil 5.11 Transfer işlevinin büyüklüğü

Dikkatli bakılırsa bu şekil, kabaca bir gaus alçak geçiren filtreyi andırmaktadır. Böylece bandgenişliği, genliğin o frekansta %50 düştüğü veya 3 dB azaldığı modülasyon frekansıdır. Bu da, $H(f_m=B) / H(0) = 0.5$ ile gösterilir.

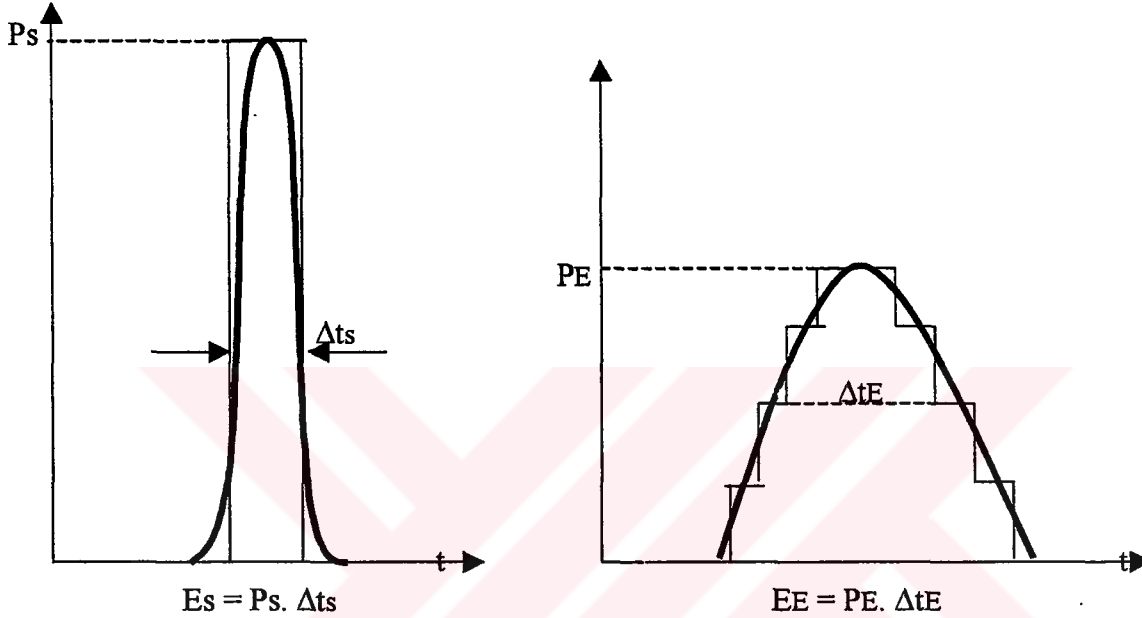
5.7 Dispersiyon

Optik dalga kılavuzundaki sinyalin bozulmasına dispersiyon denir.

Optik fiberler, modüle edilmiş ışık için alçak geçiren filtre gibi davranırlar. Yani sinyal frekansı yükseldikçe zayıflama da artar. Bu, uygulamada ışığın kısa vurumlarının fiberden geçerken genişletildiği anlamına gelir. Bu etki, dispersiyonun birçok çeşidinden olabilir.

5.7.1 Mod dispersiyonu

Günümüzde kullanılan fiber çeşitlerinden biri, çok modlu fiberdir. Öz çapı 50–100 nm arasında değişen çok modlu fiberler içinde aynı anda 1000’den fazla tek ışın veya mod ilerleyebilir. Her bir mod, fiber içindeki ilerleme hızıyla bir diğerinden farklıdır. Bu durum, fiberin başlangıç noktasından çok sayıda ışık modunun fibere yönlendirilmesiyle oluşur ve her mod, fiber sonuna değişik zamanlarda ulaşır. Yani farklı ışık dalgaları için grup gecikmesi ile fiberin başındaki vurum, sonunda genişlemiş olarak elde edilir (Şekil 5.12).



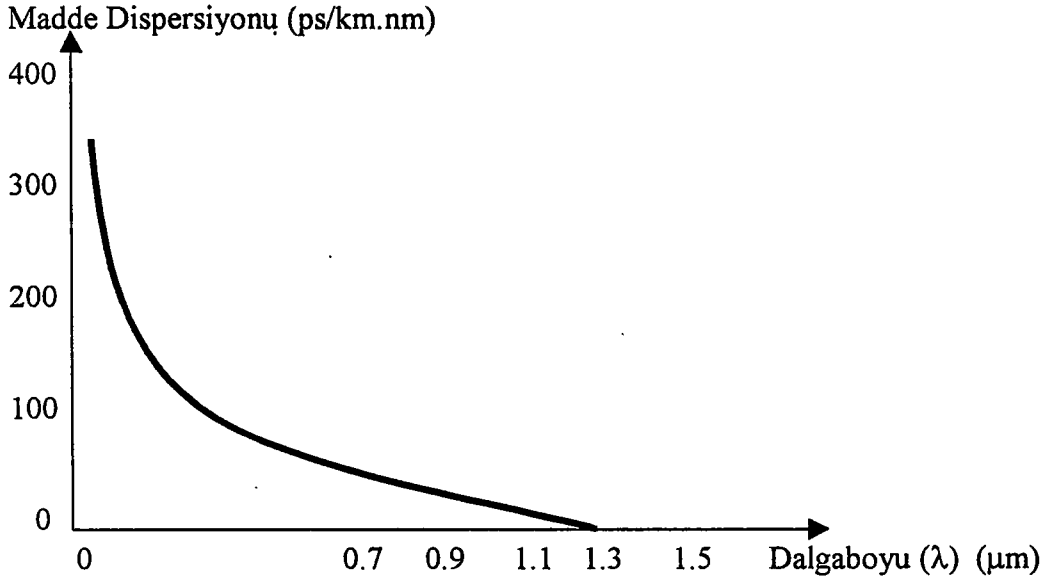
Şekil 5.12 Farklı ışık dalgaları için grup gecikmesi ile fiberin başındaki vurum ve sonunda genişlemiş olarak elde edilmiş hali

Mode dispersiyonu, tek modlu kablolarda hiç görülmez. Çünkü 9 nm. lik öz çapı, sadece tek bir modun, yani fiberin eksenine paralel olan modun fiber içinde ilerlemesine olanak tanır.

5.7.2 Madde dispersiyonu

Herhangi bir maddenin kırılma katsayısının ışığın dalgaboyuna bağlı olması, madde dispersiyonuna sebep olur. Eğer polikromatik ışık (birkaç ayrı frekansta, dolayısıyla birkaç ayrı dalgaboyunda olan ışık) kullanılıyorsa λ_1 dalgaboyundaki ışık ve λ_2 dalgaboyundaki ışık, farklı hızlarda ilerleyeceklerdir. Meydana gelen zaman farkı, sinyal bozulmasına yol açar. Bununla birlikte madde dispersiyonunun meydana getirdiği bozulma, mod dispersiyonunun meydana getirdiği bozulmadan daha azdır.

Şekil 5.13’te saf quartz içinde ilerleyen ışığa ait madde dispersiyonu–dalgaboyu ilişkisi görülmektedir.



Şekil 5.13 Saf quartz içinde ilerleyen ışığa ait madde dispersiyonu-dalgaboyu ilişkisi

Grafikte de görüldüğü gibi madde dispersiyonu, yaklaşık 1300 nm dalgaboyu civarında sıfıra doğru yaklaşır.

5.7.3 Dalgakılavuzu dispersiyonu

Dalgakılavuzu dispersiyonu, ışık modlarının hızlarının fiber çapına ve ışığın dalgaboyuna olan bağımlılığının bir ölçüsüdür. Fiber çapı sabit kaldığı için dalgaboyunun dalgakılavuzu boyuna oranı, sadece dalgaboyu değiştiğinde değişir. Bu da, her ışık modu için fiber içinde ilerleme hızının, dalgaboyuna az da olsa bağımlı olduğunu gösterir. Bu değişim, sadece tek modlu fiberlerde izlenip diğer çeşitlerde ihmal edilebilir derecede azdır. Optik fiberlerin geometrik kesiti tam bir daire olduğu için dalgakılavuzu dispersiyonu, öz çapının dalgaboyuna oranı olarak verilir.

$$\text{Dalgakılavuzu dispersiyonu} = d_{\text{öz}} / \lambda \quad (5.6)$$

6. OPTİK FİBER DAMAR ÇEŞİTLERİ

Optik fiber denince aklımıza ilk anda cam fiberler gelir. Kullanımı az olmakla birlikte özel plastik malzemeden yapılan optik fiberler de bulunmaktadır. Bunların zayıflamaları, cam fiberlerin zayıflamasının 100–1000 katıdır. Plastik fiberler; kullanım kolaylığı nedeniyle bina içi haberleşme, bilgisayarlar arası bağlantı, tele konferans, reklam panosu vb. sistemlerde kullanılmaktadır.

Optik fiberler öz tabakasının çapı, öz ve kaplama tabakalarının kırılma katsayıları ve kaç ayrı ışık ışını geçirdiğine göre değişik gruplara ayrılırlar.

Cam fiberin başlıca üç tipi vardır:

- a) Basamaklı indisli çok modlu fiberler (step index multi mod fiber)
- b) Basamaklı indisli tek modlu fiberler (step index single mod fiber)
- c) Dereceli indisli çok modlu fiberler (graded index multi mod fiber)

Eğer n kırılma katsayısı, r yarıçapına bağlı olarak değişiyorsa “kırılma katsayısı profili” deyimini kullanmak gerekir. Çünkü bu durumda kırılma katsayısı, eksenden başlayarak dışarı doğru gidildikçe azalır ve her r noktasında $n = n(r)$ bağıntısıyla verilir.

Yarıçapa bağlı olarak kırılma katsayısı değişimi de;

$$r < a \text{ için } n^2(r) = n_1[1-2\Delta(r/a)^g], \quad (6.1)$$

$$r > a \text{ için } n^2(r) = n_2^2 = \text{sabit} \quad (6.2)$$

eşitlikleriyle verilir.

Bu eşitliklerde ;

- n_1 : fiber eksen boyu kırılma katsayısı,
- Δ : normalize edilmiş kırılma katsayısı farkı,
- r : fiber ekseninden olan uzaklık,
- a : mm cinsinden öz yarıçapı,
- g : profil eğri katsayısı
- n_2 : kaplama tabakasının kırılma katsayısıdır.

Normalize edilmiş kırılma katsayısı farkı, nümerik açıklıkla doğrudan ilgilidir. Yani;

$$\Delta = NA^2 / (2 \cdot n_1^2) = (n_1^2 - n_2^2) / (2 \cdot n_1^2) \quad (6.3)$$

olur.

Optik fiberin önemli parametrelerinden birisi de normalize edilmiş V sayısıdır. V ; birimi olmayan bir değer olup NA 'ya, öz yarıçapına ve ışığın dalga boyuna bağlıdır.

Bunu bir formülle gösterelim:

$$V = 2.\pi.(a/\lambda).NA = K.a.NA \quad (6.4)$$

Burada;

a : öz yarıçapı,

λ : dalgaboyu,

NA : nümerik açıklık,

K : dalga katsayısıdır.

Böylece öz tabakasına yönlendirilen ışığın fiber içinde kaç ayrı mod halinde ilerleyeceği,

$$N \approx (V/2).[g/(g+2)] \quad (6.5)$$

yaklaşık formülüyle verilir.

Örnek olarak; $g \rightarrow \infty$ durumunu yani basamak katsayılı fiberi alırsak $N \approx V/2$ veya dereceli katsayılı fiberi alırsak ($g=2$) $N \approx V/4$ buluruz.

Örnek:

Basamak katsayılı bir fiberde ($g=2$); öz çapı ($2a$)=50 mm, nümerik açıklık (NA)=0.2, dalgaboyu (λ)=1 μ m ise bu fiberde aynı anda kaç ayrı ışık modunun ilerleyeceğini bulalım.

$$V = 2.\pi.[(50 / 2 \mu\text{m}) / 1 \mu\text{m}]. 0,2 = 2.\pi.5 \approx 31.4 \text{ bulunur.}$$

Bu durumda öz tabakasında,

$$N \approx V^2/4 = 31.4^2 / 4 \approx 247 \text{ ayrı mod ilerler.}$$

İşte bu örnekte olduğu gibi eğer öz içinde birçok mod aynı anda iletiliyorsa bu çeşit fiberlere çok modlu fiberler denir.

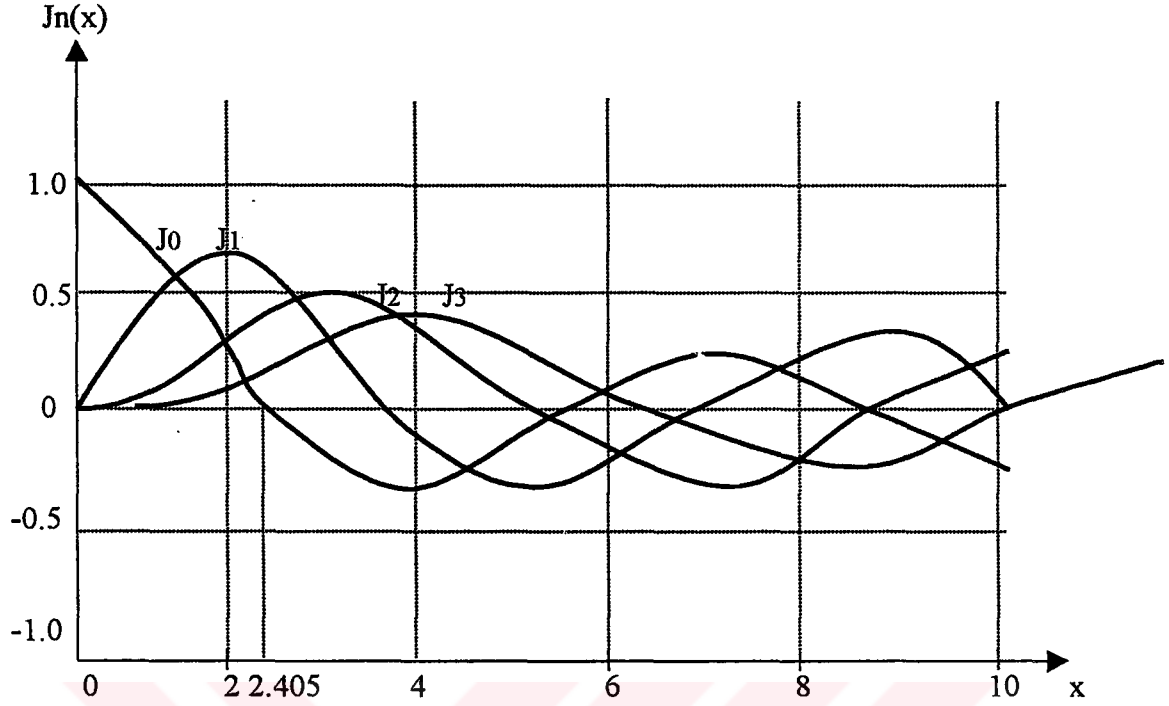
Eğer mod sayısı azaltılmak isteniyorsa, V sayısı azaltılmalı veya öz tabakası ya da nümerik açıklık azaltılmalı yada dalgaboyu artırılmalıdır.

Eğer basamak katsayılı ($g \rightarrow \infty$) fiberin V sayısı, belirli bir değerin altına düşerse ($V_{\infty} = 2.405$) mod sayısı 1'e düşer. Yani sadece "esas mod LP 01" öz içinde ilerler ki bu çeşit fibere "tek modlu fiber" denir.

2.405 değeri, $J_0(x)$ bessel fonksiyonunun ilk sıfır olduğu noktadır (Şekil 6.1).

$J_n(x)$ bessel fonksiyonlarının eğrileri, sönümlü sinüs salınımlarına benzemektedir.

Bu eğriler; boş dalga kılavuzları, optik dalga kılavuzları veya koaksiyel kablolar gibi silindirik simetrik dalgakılavuzlarının tipik fonksiyonlarıdır.



Şekil 6.1 $J_n(x)$ bessel fonksiyonlarının eğrileri

V_{∞} sabiti, basamak kırılmalı fiber ($g \rightarrow \infty$) için sınır değerdir. Onun için c harfi “cut-off” teriminden gelmektedir.

Herhangi bir g değeri için V_c sınır değeri,

$$V_c \approx V_{\infty} \cdot \sqrt{[(g+2)/g]} \quad (6.6)$$

kabul edilirse basamak katsayılı ($g=2$) fiber için V_c limit değeri,

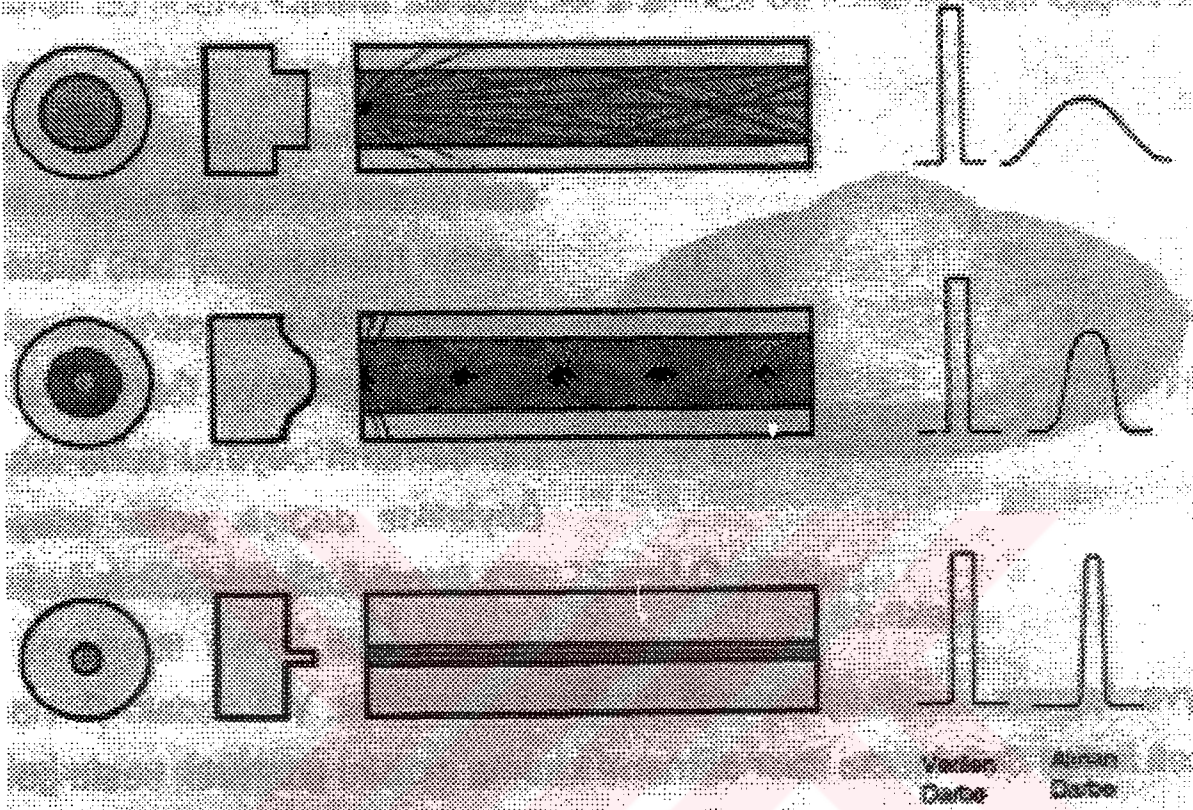
$$V_c \approx 2.405 \cdot \sqrt{2} = 3.4 \text{ bulunur.}$$

Bu üç değişik yapıdaki fiberlerin öz, örtü ve kılıflarına ait çaplar aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.1 Üç değişik yapıdaki fiberin öz, örtü ve kılıflarına ait çaplar

Fiber Tipi	Çap (μm)		
	Öz	Örtü	Kılıf
Basamaklı indisli çok modlu fiber	85 - 100	125 - 140	250 – 300
Dereceli indisli çok modlu fiber	50	125	250
Basamaklı indisli tek modlu fiber	9 – 10	125	250

Fiber damarlara değişik açılarla giren ışınlar, karşı uca (varışa) ayrı ayrı yolları izleyip farklı sürelerde ulaşırlar. Süre farkı da faz farkları oluşturlar. Süre farkından doğan faz farkları da, alış ucunda ışınların birbirini söndürdüğü (kırınımdan) ve güçlendirdiği (girişimden) kesit bölgeleri oluşturur. Bu olay, çok modlu fiberlerde oluşur.

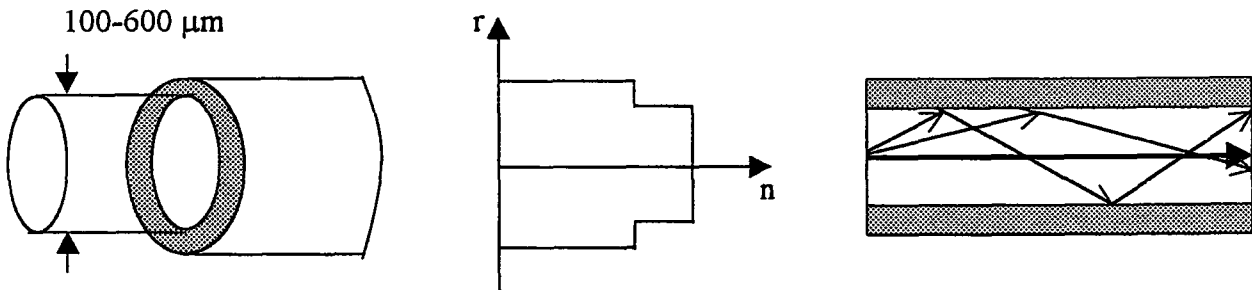


Şekil 6.2 Fiberlerin optik iletimi, kırılma indisi dağılımı ve darbe iletimindeki etkileri

6.1 Basamaklı İndisli Çok Modlu Fiberler (Step Index Multi Mod Fiber)

Bu fiberlerde özün kırılma indisi, öz kesiti (dikine) boyunca değişmez. Özün çapı, kullanılan ışığın dalga boyuna göre çok büyük olduğundan mod sayısı artmakta ve zayıflamalara neden olmaktadır. Böylelikle iletim kapasitesine ve tekrarlayıcı (repetör) uzaklığını ters yönde etkiler.

Aşağıda basamak indisli çok modlu fiber damarının indis kesiti görölmektedir.



Şekil 6.3 Çok modlu bir fiberin ışık yolu ve yarıçapa göre kırılma katsayısı değişimi

Basamak indisli çok modlu fiber değerleri:

Öz çapı (2a) : 100 μm

Öz kırılma katsayısı (n_1) : 1.48

Kaplama çapı (D) : 140 μm

Kaplama kırılma katsayısı : 1.46

Bu değerlere göre kritik açı yani ışığın öz tabakasından kaplamaya çıkmaması için sahip olması gereken geliş açısı,

$$\sin \theta_c = n_2 / n_1 = 1.46 / 1.48 \approx 0.9865,$$

ark $\sin 0.9865 = 80.6^\circ$ olmalıdır.

Buna göre fiber eksenine arasındaki açı $(90-80.6) = 9.4^\circ$ den küçük olan her ışık ışını, tam yansımaya uğrayacak ve öz içinde ilerleyecektir.

Aynı şekilde dışarıdan ($n_0 \text{ hava} = 1$) fiberin öz tabakasına yönlendirilen ışık ışınlarının fiber eksenine aralarında yaptıkları açı da çok önemlidir.

Işığın yansımadan öz tabakasına girmesi için sahip olması gereken kabul açısı (θ),

$$\sin \theta = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} = \sqrt{(1.48^2 - 1.46^2)} = 0.242$$

ark $\sin 0.242 = \theta = 14.0^\circ$ dir.

$\sin \theta$, nümerik açıklık (NA) olarak tanımlandığı için

NA = $\sin \theta = 0.242$ olarak bulunur.

Bu ölçülerdeki fiberin normalize edilmiş kırılma katsayısı farkı ise,

$$\Delta = \text{NA}^2 / 2n_1^2 \approx 0.242^2 / (2 \cdot 1.48^2) \approx 0.0134 \approx \%1.34 \text{ olarak bulunur.}$$

Şimdi de, örneğin 850 nm dalgaboyunda çalışırken, $2a = 100 \mu\text{m}$ öz çapına sahip bir basamak kırılma katsayılı fiberde kaç ayrı ışının ilerlediğini bulalım.

Böyle bir durumda önce V değişkeni bulunur.

$$V = 2\pi \cdot (a/\lambda) \cdot \text{NA} = \pi \cdot (100\mu\text{m} / 0.85\mu\text{m}) \cdot 0.242 \approx 89.4 \text{ ve buradan,}$$

$$N \approx V^2/2 \approx 89.4^2/2 \approx 4000 \text{ bulunur.}$$

Böyle bir fiber, çok modlu fiberdir. Bu fiberin içinde ilerleyen ışık vurumu, birçok ışık vurumlarından oluşur. Bu ışıklar, fiberin başında farklı yönlendirme açılarıyla fibere girerler ve öz içinde farklı yollar izlerler.

Günümüzde basamak indisli çok modlu fiberler, uzak yerler arasındaki iletimde kullanılmamaktadır.

6.2 Basamak İndisli Tek Modlu Fiberler (Step Index Single Mod Fiber)

Öz çapının $11 \mu\text{m}$. ye inmesi durumunda çok mod oluşmaz. Yalnızca ana mod iletilir. Tek modlu fiberlerde darbe bozulması büyük ölçüde azalmıştır. Kaliteli üretim ve saçınım kaydırmalı tek modlu fiber (dispersion shifted single mod fiber-DSF) damar ile zayıflama 0.15 dB/km 'ye düşürülmüştür.

Tek modlu fiber için tipik boyut değerleri :

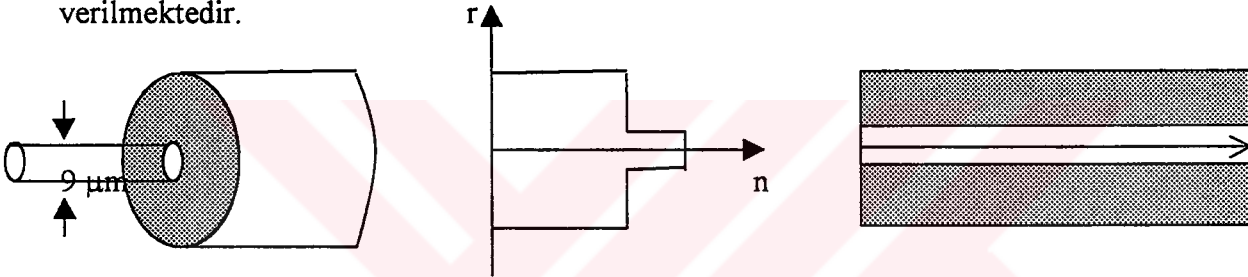
Öz çapı ($2w_0$) : $10 \mu\text{m}$

Öz kırılma katsayısı (n_1) : 1.46

Kaplama çapı (D) : $125 \mu\text{m}$

Kırılma katsayısı farkı : $0.003 = \%0.3$

Şekil 5.6'da tek modlu bir fiberin ışık yolu ve yarıçapa göre kırılma katsayısı değişimi verilmektedir.



Şekil 6.4 Tek modlu bir fiberin ışık yolu ve yarıçapa göre kırılma katsayısı değişimi

Tipik bir tek modlu fiberin nümerik açıklığı:

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \cong 1.46 \cdot \sqrt{2 \cdot 0.003} \cong 0.113$$

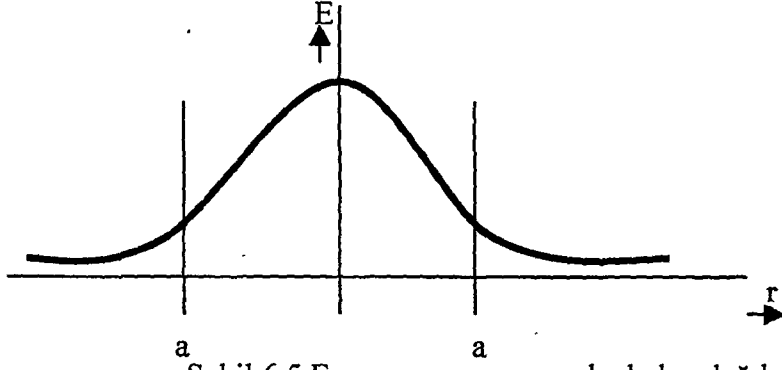
olup buradan, $\sin\theta = NA$ eşitliğinden $\theta \cong 6.5^\circ$ olup kabul açısı (θ), fiber eksenine en fazla 6.5° lik bir açı yapmalıdır.

Diğer çeşit fiberlerle karşılaştırıldığında görüleceği gibi tek modlu fiberin sadece öz çapı değil aynı zamanda nümerik açıklık ve dolayısıyla kabul açısı, oldukça küçük değerlere sahiptir. Bu özelliğinden dolayı tek modlu fibere ışığın yönlendirilmesi, diğerine göre çok daha zor ve hassas bir iştir.

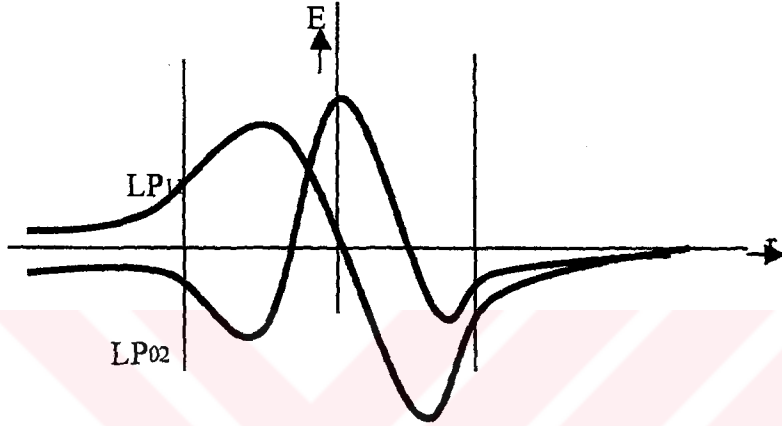
Sadece tek bir modun (esas mod) $V_c = 2.405$ şartıyla fiber içinden gidebileceğini daha önce görmüştük. Bu durumda tipik bir tek modlu fiber için dalgaboyu alt sınırı,

$$\lambda = \pi \cdot (2a/V_c) \cdot NA = \pi \cdot (8.5/2.405) \cdot 0.113 \cong 1.255 \mu\text{m} = 1255 \text{ nm. olur.}$$

Bu dalgaboyunda, en yüksek ikinci mod olan LP_{11} 'de (Şekil 6.5) dahil olmak üzere esas mod dışında hiçbir mod ilerleyemez. Dalgaboyu arttıkça esas mod LP_{01} , kendi başına ilerlemeye devam eder. Bununla beraber kaplama bölgesine doğru bir miktar sinyal genişlemesine uğrar (Şekil 6.6).



Şekil 6.5 Esas mod LP_{01} 'in radyal alan dağılımı



Şekil 6.6 LP_{11} ve LP_{02} 'in radyal alan dağılımları

Örneğin; basamak kırılma katsayılı tek modlu bir fiberin mod alan çapı $(2w) = 10 \mu\text{m}$ ve sınır dalgaboyu $\lambda = 1255 \text{ nm}$. dir. $V_c = 2.405$ yani tek mod özelliğini sağlamak şartıyla 1300 nm ve 1550 nm dalgaboylarında öz çapının $(2a)$ ne olması gerektiğini bulalım.

$$2a \cong [(V_c \cdot \lambda_c) / (2.6 \cdot \lambda)] \cdot 2w \quad \text{dan} \quad (6.7)$$

$$\lambda = 1300 \text{ için, } 2a \cong [(2.405 \cdot 1255 \text{ nm}) / (2.6 \cdot 1300 \text{ nm})] \cdot 10 \mu\text{m} \cong 8.9 \mu\text{m},$$

$$\lambda = 1550 \text{ için, } 2a \cong [(2.405 \cdot 1255 \text{ nm}) / (2.6 \cdot 1550 \text{ nm})] \cdot 10 \mu\text{m} \cong 7.5 \mu\text{m}$$

olması gerekir.

Tek modlu fiberler, büküldüğü veya eklendiği zaman mod alan çapı kavramı ve zayıflama karakteristiği açısından önem kazanır. Çünkü mod alan çapının büyümesi, bükülme noktasındaki kaybı artırırken ek kayıplarını azaltır (Derin ve Aşkar,1982).

Saçınım kaydırmalı basamak indisli tek modlu fiberler (SKF-DSF) ile 565 Mb/s iletim hızında (tekrarlayıcısız) 100 km. lik uzaklığa bilgi bozulmadan iletilmiştir.

Özellikle Türk Telekom, santraller arası haberleşme bağlantısı (jonksiyon) amacıyla 1991 yılında kablolu TV'de denetim merkezi (control center) ve dağıtım merkezleri (head-end) arası iletimde kullanmaya başlamıştır. Gelişmeler, bu fiberin santral ile saha dolabı arasında da kullanılmaya başlayacağını göstermektedir (Gür ve Uraz,1991).

6.3 Dereceli İndisli Çok Modlu Fiberler (Graded Index Multi Mod Fiber)

Basamaklı indisli çok modlu fiberde görülen sakıncaları (büyük zayıflamaları) ortadan kaldırmak üzere geliştirilmiştir. Özün ortasından (merkezden) örtü tabakasına doğru kırılma indisi, derece derece küçülür. Dolayısıyla ışığın almış olduğu toplam yol azaldığından ışık, fiber damarın boyunu daha kısa zamanda alır. Böylelikle değişik yollar izleyen ışınlar, karşı uca (varışa) hemen hemen aynı sürede ulaşırlar. Dereceli indisli fiberlerde ışık darbesinin yayvanlaşması azalır ve daha iyi bir iletim elde edilir. Dereceli indisli fiberde yine basamak indisli fiberde olduğu gibi eksen n_1 indisli, kaplama- öz sınırı n_2 indislidir. Fakat farklı olarak dereceli indisli fiberde n_1 'den n_2 'ye geçiş, paraboliktir.

n_1 ' den n_2 ' ye geçiş,

$$r < a \text{ için } n^2(r) = n_1^2 - NA^2.(r/a)^2 \text{ ve} \quad (6.8)$$

$$r > a \text{ için } n^2(r) = n_2^2 \quad (6.9)$$

eşitlikleriyle verilir.

Dereceli indisli fiber için tipik boyutlar :

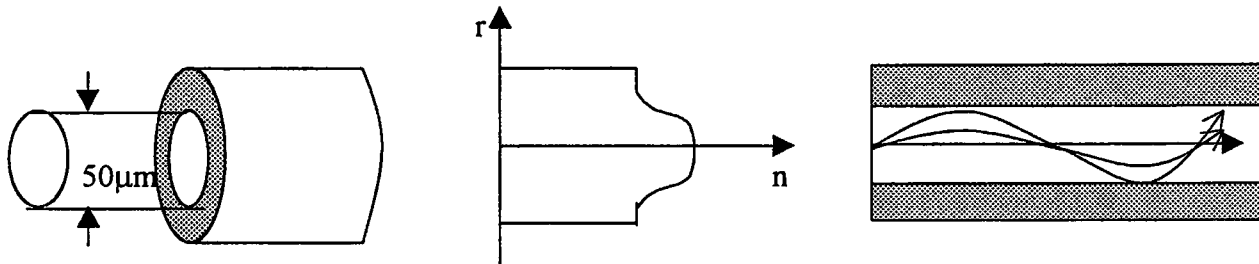
Öz çapı ($2a$) : $50 \mu\text{m}$

Kaplama çapı (D) : $125 \mu\text{m}$

Kırılma katsayı farkı (Δ) : 0.010

Fiber ekseninde maksimum kırılma katsayısı (n_1) : 1.46

Şekil 6.7'de de görüldüğü gibi fiber özünde yol alan ışık ışınları, farklı yol izlerler. Tam merkezden giden ışın, en kısa yolu katetmesine karşılık en yüksek kırılma katsayılı bölgede gittiği için en yavaş giden ışıdır.



Şekil 6.7 Dereceli indisli bir fiberin ışık yolu ve yarıçapa göre kırılma katsayısı değişimi

En dışarıdan giden ışın ise en uzak yolu kateder. Fakat buna karşılık en düşük kırılma katsayılı bölgede gittiğinden en hızlı giden ışıktır. Böylece, dereceli kırılma katsayılı fiberde tüm modlar, yaklaşık olarak aynı zamanda diğer uca ulaşır. Sonuç olarak; farklı modların farklı zamanlarda diğer uca ulaşmasından kaynaklanan gecikme süresi, mümkün olan en az süreye indirilir. Eğer bu çeşit fiberler, yeteri kadar hassas

üretirirse 1 km uzunlukta 5 μ s. lik bir ışık vurumu (pulse), sadece 0.1 ns. lik bir gecikmeye uğrar.

Çok azaltılmasına rağmen yine de tamamen ortadan kaldırılamayan “zaman farkı”, hem yukarıdaki şekilde yarıçapın bir fonksiyonu olarak çizilen profil dispersiyonundan hem de madde dispersiyonundan kaynaklanır. Yani dalgaboyu değiştikçe öz ve kaplama bölgelerinde kırılma katsayıları farklı değişir ve böylece kırılma katsayısı değişimi ve profil katsayısının (g), dalgaboyuna bağımlı olduğu ortaya çıkar.

Teorik olarak; bir kırılma katsayısından diğerine en uygun geçişi sağlamak için gerekli olan profil katsayısı (g),

$$g = 2 - 2 \cdot \rho - \Delta \cdot (2 - \rho) \quad (6.10)$$

olarak ifade edilir.

Burada ρ parametresi, $\rho \ll 1$ olarak verilir ve yaklaşık olarak $g = 2$ olması durumunda tüm modlar, aynı sürede fiberin diğer ucuna ulaşırlar.

Dereceli kırılma katsayılı tip fiberde $n(r)$ kırılma katsayısı, fiber yarıçapı r' nin bir fonksiyonu olduğu için $\sin\theta(r)$ kabul açısı da, ışığın öz tabakasına doğru yönlendirilmesi açısından çok önemlidir ve o da yarıçap r' ye bağımlıdır. Bunu,

$$\sin\theta(r) = \sqrt{(n_1^2(r) - n_2^2)} = NA \cdot \sqrt{1 - (r/a)^2} \leq NA \quad (6.11)$$

şeklinde ifade edebiliriz.

Kabul açısı; $r = 0$ da yani tam fiber ekseninde en büyük değerini alırken, $r = a$ da yani kaplama - öz sınırında sıfıra eşittir.

Dereceli indisli çok modlu fiberler, Kablolu TV ve orta uzaklıkta (100 Mb/s, 15 – 20 km.) haberleşme bağlantılarında kullanılmaktadır.

7. OPTİK FİBERLERİN KILIFLANMASI

Fiber damarları dış etkenlerden (kırılma ve mekanik etmenlerden) korumak için fiber damarın dışına bir tüp (kılıf-buffer) geçirilir. Tüp, plastikten mâmul ince bir silindir şeklindedir. Uzun ömürlü olup yapısı kolayca bozulmaz. Tüpün içi; sürtünme katsayısı düşük, dışı mekanik etkilere dayanıklı plastikten yapılır.

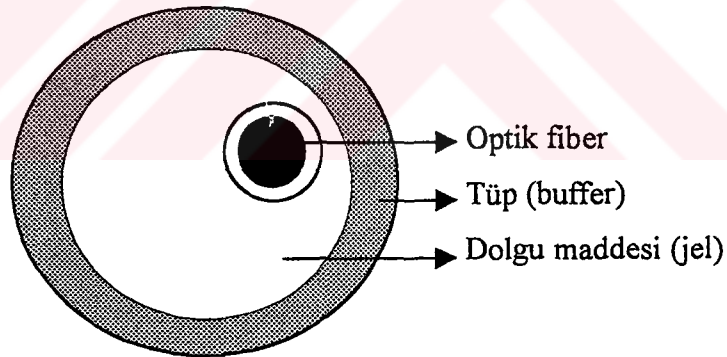
Tüpler;

- 1- Tek fiberli gevşek tüp,
- 2- Çok fiberli gevşek tüp,
- 3- Sıkı tüp,
- 4- Kompozit tüp,
- 5- Şerit

şeklinde olmak üzere 5 temel grup altında toplanmaktadır.

7.1 Tek Fiberli Gevşek Tüp

Normal konumda tüp içindeki fiber damar, serbest durumunda olup hareket edebilir. Bu özellik fiber damarların bakım ve ek yapımında kolaylık sağlar. Tüp (buffer) içi, $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında özelliği bozulmayan kimyasal bakımdan nötr bir dolgu maddesi (jel) ile doldurulmuştur.

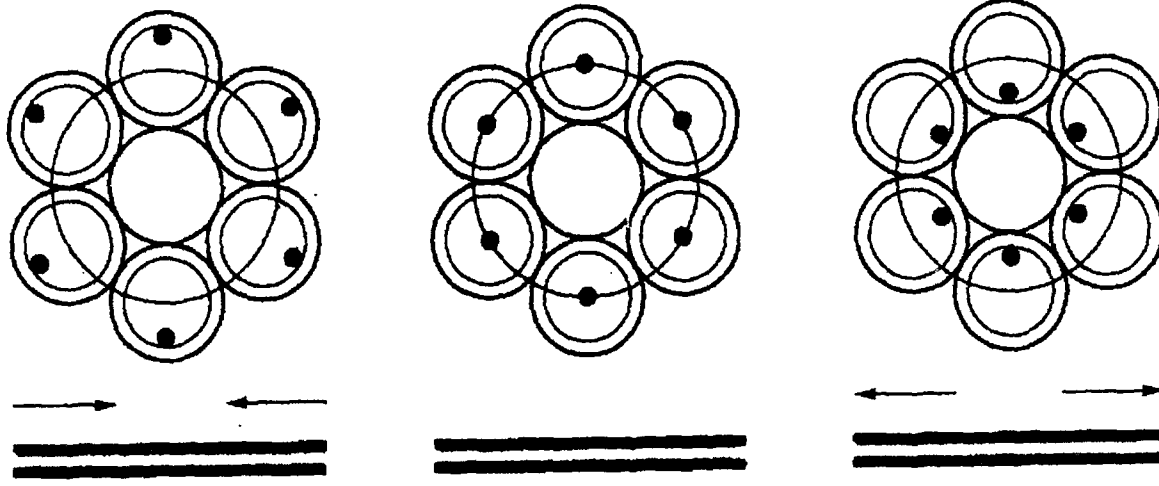


Şekil 7.1 Tek fiberli gevşek tüp

Bu şekilde tüp içine alınan fiber damar, zarar görmeden kablo yapımı için hazırlanmış olur. Tüp, kablonun döşenmesi ve işletmesi sırasında oluşacak mekanik (dış) etkenlerden fiber damarı korur.

Şekil 7.2'de, kablonun uzaması (çekilme v.b. etmenlerle) veya büzülmesi (boyuna sıkıştırılması) durumunda fiber damarların tüp içindeki konumu görülmektedir. Kabloya çekme kuvveti uygulandığında kablo boyu uzar. Uzama katsayısı çok küçük olan fiber damar ise, tüp içinde kablonun eksenine doğru hareket ederek uzama farkı ortadan kalkar.

Düşük sıcaklıklarda kablo büzüleceğinden kablo boyu kısalır.



Büzülme

Normal

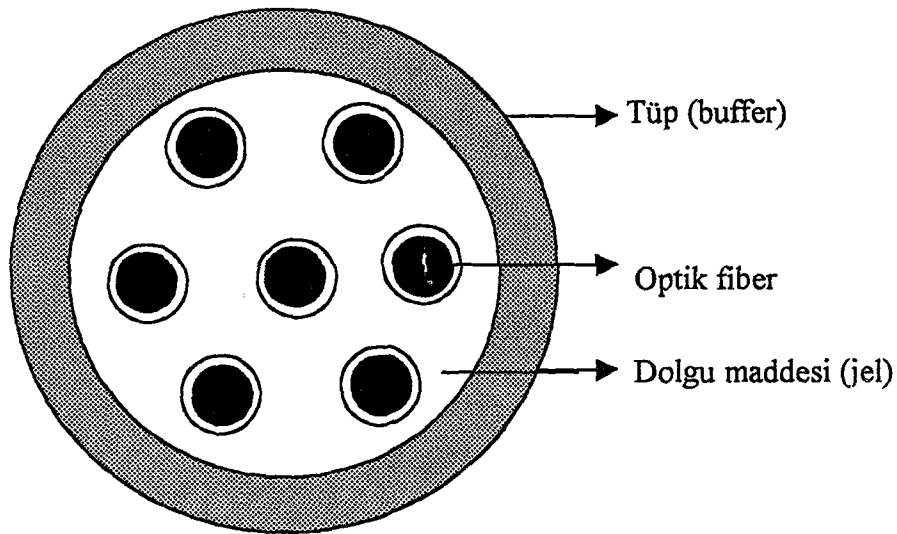
Çekme

Şekil 7.2 Düşük sıcaklıklarda kablonun büzülmesiyle kablo boyunun kısalması

Sıcaklıkla uzama katsayısı çok düşük olan fiber damar, tüp içinde kablonun dışına doğru hareket ederek bu kışalmanın etkisini (Şekil 5.7'deki) kırışmaksızın (mikrobending) ortadan kaldırır.

7.2 Çok Fiberli Gevşek Tüp

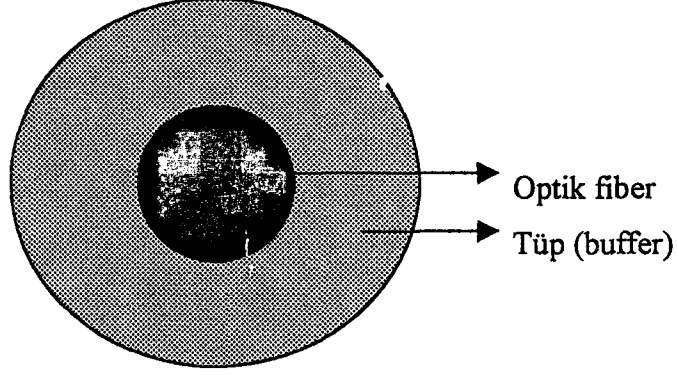
Fiber damar sayısını artırmak, üretimi zorlaştırmakta ve maliyeti yükseltmektedir. Bu nedenle çok fiber damarlı tüplere gereksinim duyulmuştur. Çok fiberli tüpler (içine), 2-12 arasında fiber damarlı olarak üretilmektedir. Bu fiber damarların karışmaması için değişik renkteki fiber damarlar, bir tüp içerisine yerleştirilerek üretilir. Tüp içinde dolgu maddesi (jel) kullanılır.



Şekil 7.3 Çok fiberli gevşek tüp

7.3 Sıkı Tüp

Bu tip kılıf, fiber damar üzerindeki koruyucu tabakanın üzerine doğrudan doğruya uygulanır. Bina içi optik bağlantı yapılması gerekli olan yerlerde, optik iletimi sağlayabilmek için sıkı tüplü fiber damarlar üretilirler. Böylelikle çok yer kaplamayarak optik iletimi sağlarlar.

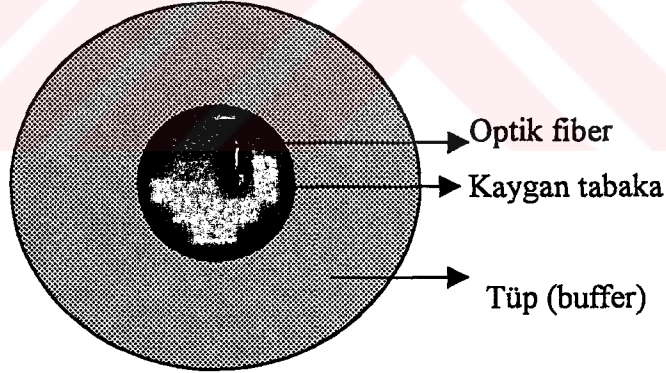


Şekil 7.4 Sıkı tüp

7.4 Kompozit Tüp (Buffer)

Kompozit tüp, sıkı tüpün sakıncalarından kurtulmak için geliştirilmiştir.

Bu tüplerde fiber damar ile tüp arasında ince bir kaygan tabaka vardır. Böylece tüpün esnek olması sağlanarak fiber damarların kırılması önlenir.

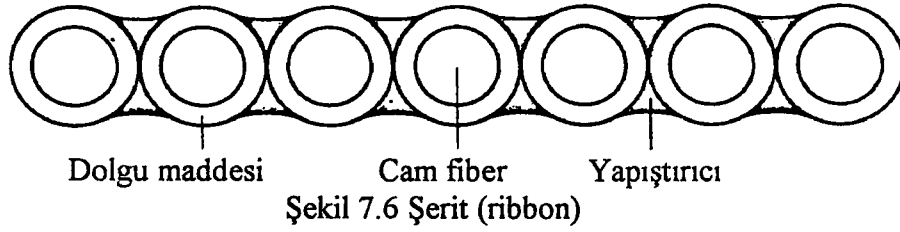


Şekil 7.5 Kompozit tüp

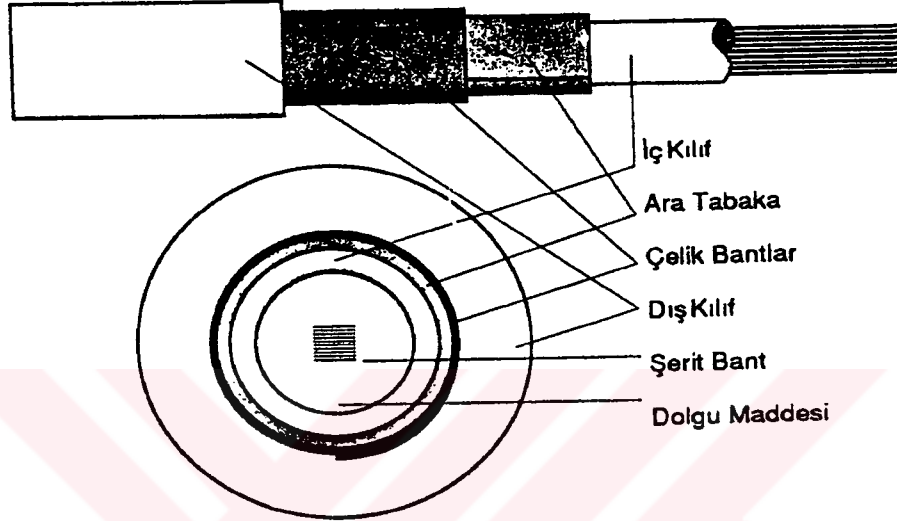
7.5 Şerit (Ribbon)

Bu yöntemde fiber damarlar, tüp içine alınmayıp şerit şeklinde yanyana getirilir. Paralel olarak yanyana getirilen fiber damarlar, yapışkan iki plastik tabaka arasına konularak elde edilirler.

Yanyana getirilen damarların sayısı 12'ye kadar çıkabilir. Bu şeritler üstüste dizilerek üretim amacına ve sayısına göre daha çok sayıda fiber damarlar biraya getirilebilir.



Şerit tomarı olarak üretilen fiberler, hafif burularak kablo çekirdeğini oluştururlar (Şekil 7.7).



Şekil 7.7 Şerit (ribbon) kablo

Şerit yöntemiyle elde edilen fiberlerin ağırlığı (km x fiber / kg.), diğer yöntemle elde edilen fiber ağırlığından daha azdır.

Ancak, şerit kenarında kalan fiber damarlara fazla mekanik yük binmesi, düşük sıcaklıklarda fiber kırışmasının önlenememesi gibi sakıncalar doğurur.

7.6 Fiber Optik Kablonun Tüp ve Fiber Damarlarının Renk Sıralaması

Çizelge 7.1 Tüplerin ve fiberlerin renk sıralaması

Tüplerin ve Fiberlerin Renk Sıralaması			
Sıra No	Tüp (buffer) Renkleri	Sıra No	Fiber Damar Renkleri
1	Kırmızı	1	Kırmızı
2	Sarı	2	Gri
3	Yeşil	3	Sarı
4	Mavi	4	Gri
5	Beyaz	5	Yeşil
		6	Gri
		7	Mavi
		8	Beyaz
		10	Gri

Çizelge 7.2 20 damarlı F/O kablunun renk sıralaması

20 Damarlı F/O Kablunun Renk Sıralaması			
Sıra No	Tüp (buffer) Renkleri	Sıra No	Fiber Damar Renkleri
1	Kırmızı	1	Kırmızı
		2	Sarı
		3	Yeşil
		4	Mavi
2	Sarı	5	Kırmızı
		6	Sarı
		7	Yeşil
		8	Mavi
3	Yeşil	9	Kırmızı
		10	Sarı
		11	Yeşil
		12	Mavi
4	Mavi	13	Kırmızı
		14	Sarı
		15	Yeşil
		16	Mavi
5	Beyaz	17	Kırmızı
		18	Sarı
		19	Yeşil
		20	Mavi

8. OPTİK İLETİMDE KULLANILAN MALZEMELER

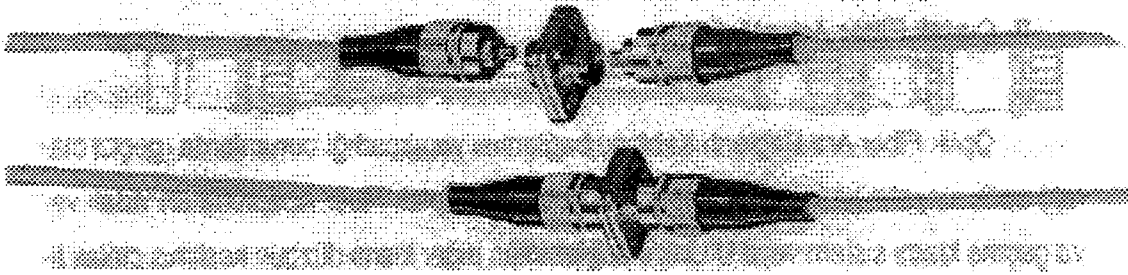
8.1 Optik Fiber Damarlar

6. bölümde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

8.2 Optik Fiber Ara Bağlantı Kablosu ve Konnektör

8.2.1 Optik fiber ara bağlantı kablosu (pig-tail)

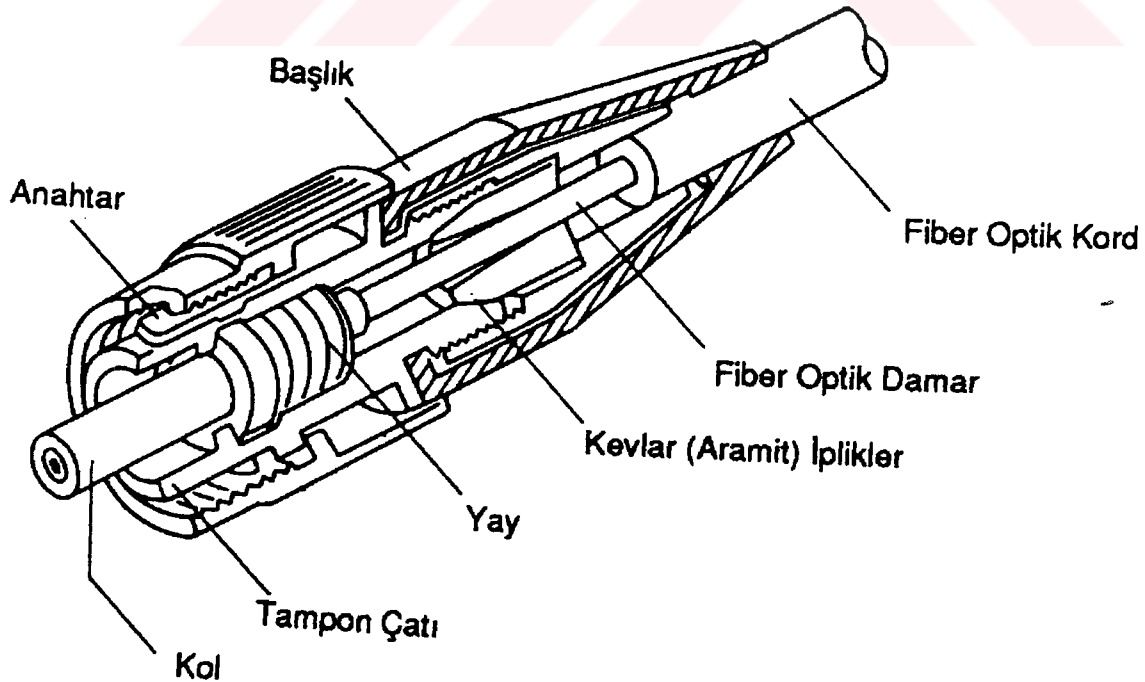
Fiber damardaki optik sinyalin sisteme veya sistemden fiber damara geçiş yapabilmesi için kullanılan ve bir ucunda birleştirici (konnektör) bulunan sıkı tüplü olarak üretilmiş, içinde yalnız tek fiber damar bulunan özel kablolardır. 3-10 m. uzunluğunda üretilmektedir.



Şekil 8.1 Optik fiber ara bağlantı kablosu (pig-tail)

8.2.2 Konnektör

Sistemden alınan optik sinyalin en az kayıpla fiber damara geçmesini (vida veya geçme yöntemiyle tutturularak) sağlanan malzemelerdir. Optik fiber ara bağlantı kablolarının bir ucunda bulunur. Şu anda Türk Telekom'da çoğunlukla vidalı geçme FC konnektörler kullanılmaktadır.



Şekil 8.2 Konnektör

8.3 Çıplak Fiber Adaptörü

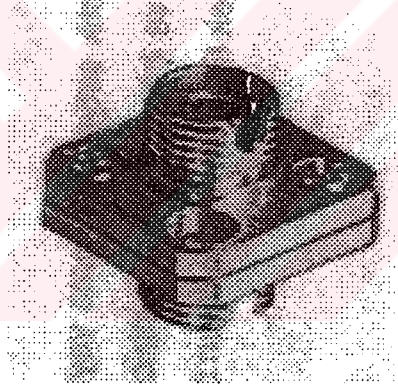
Optik fiber ara bağlantı kablosu, bağlantısı yapılmadığı durumlarda (geçici olarak) optik sinyalin geçişini sağlamak için kullanılır. Çıplak fiber adaptörünün vidalı veya geçme kısmı, sistem veya U linke bağlanırken diğer kısmı düzgün kesilmiş çıplak fiber damarı gerip sıkıştırarak ileri-geri hareketini engelleyecek şekilde yapılmıştır. Birleştiriciden (konnektör) farkı, kaynak yapma ve sınırlı esneklik gibi olumsuz yönü olmayıp istenildiği an fiber damardan ayrılabilir. Değişik yapıda olanları vardır.

8.4 U Link

Konnektörleri veya çıplak fiber adaptörlerini (fiziksel olarak) karşı karşıya getirerek ışıksal sinyalin bir noktadan diğer bir noktaya geçişini sağlayan malzemelerdir.

Bu geçiş; bir damardan diğer bir damara, damar ile sistem arasına veya sistemler arasında olabilir.

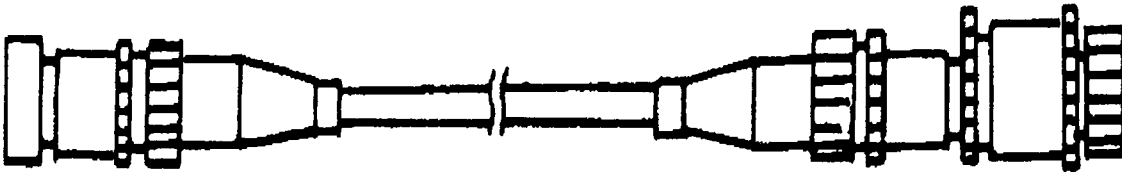
Sabit (yüzeye tutturulan) ve esnek (Şekil 8.3) olarak kullanılabilen değişik yapıda olanları bulunmaktadır.



Şekil 8.3 U link

8.5 Zayıflatıcılar (Optik Potlar)

Optik zayıflatıcı, sistemin (O/E) çalışma sınırlarından daha çok gelen optik gücünü düşürmek amacıyla kullanılır. Optik sinyali (zayıflatıcının giriş ve çıkışları arasında), 0-25 dB. e kadar zayıflatabilir.



Şekil 8.4 Zayıflatıcı

Zayıflatma, gelen ışık ile giden ışık arasında geçiş (hava) aralığını çoğaltarak veya azaltarak geçen ışığın miktarını ayarlama ilkesine dayanır.

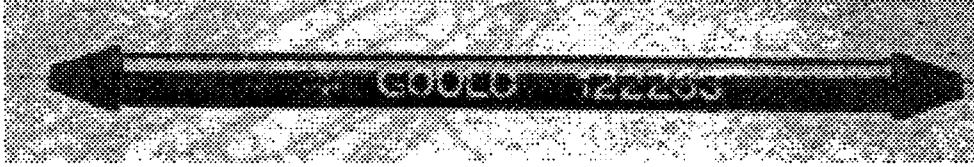
İstenilen zayıflatma (sistemin çalışma sınırları) değeri elde edilince, zayıflatıcı üzerindeki ayar vidası ile sabitlenir.

Yapısı, çift konnektörlü olup optik ara bağlantı kablosu (pig- tail) gibidir.

8.6 Optik İletiminde Kullanılan Diğer Malzemeler

8.6.1 Optik filtreler (süzgeçler)

Fiber damarlardan gönderilen değişik dalga boyundaki optik sinyalleri diğer sinyallerden ayırıp alabilmek için kullanılır. 1310 ve 1550 nm. (λ) dalga boyuna göre değişik tipleri vardır. Yalnızca istenilen dalga boyundaki optik sinyaller alınabilir.



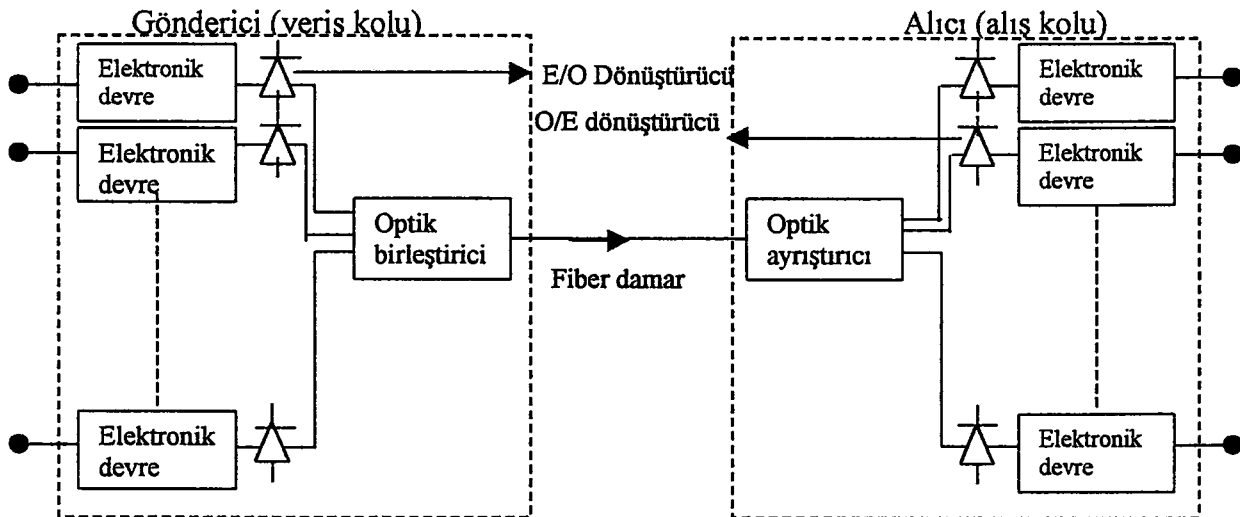
Şekil 8.5 Optik filtre (süzgeç)

Optik birleştiriciden (multiplexer) önce, optik ayırıştırıcıdan (demultiplexer) sonra kullanılır. Gürültü ve geri yansıması yoktur.

<u>Işık dalga boyu (nm)</u>	<u>Zayıflama (dB)</u>
1310 nm	1
1550 nm	>1.25

8.6.2 Optik birleştirici (multiplexer)

Değişik dalga boylarında gelen optik sinyalleri karıştırmadan birleştirip tek bir sinyal demeti elde etmemizi sağlar. Çok giriş, tek çıkışlıdır. Kayıpları 0.5 dB.'den azdır.



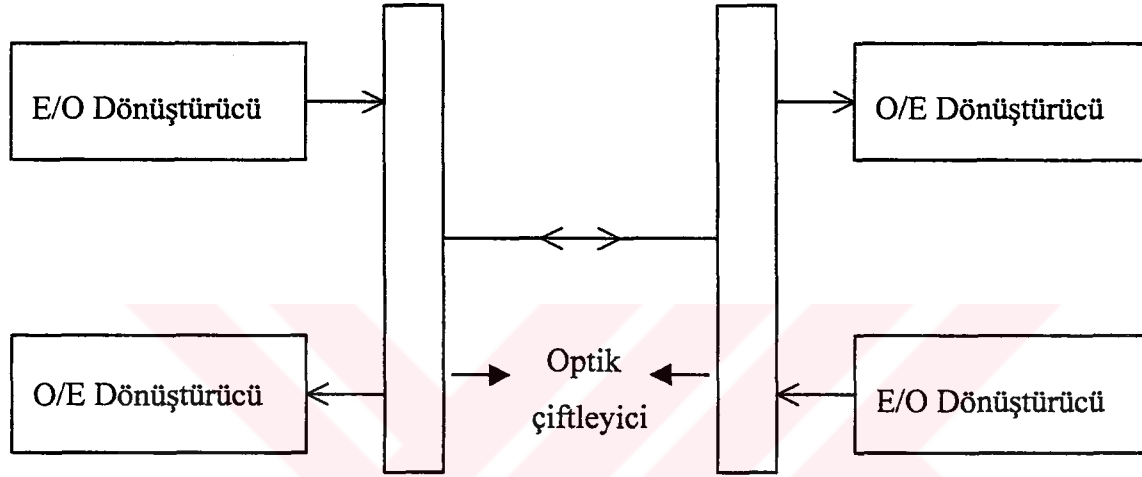
Şekil 8.6 Dalga boyu bölmeli–birleştirmeli optik iletim sistemi

8.6.3 Optik ayrıştırıcı (demultiplexer)

Optik birleştiricinin tek sinyal demetine dönüştürdüğü optik sinyali, dalga boylarına göre ayırt etmeye yarar. Tek girişi ve çok çıkışı olan değişik optik ayrıştırıcılar vardır. Kayıpları 0,5 dB. den azdır (Şekil 8.6).

8.6.4 Optik çiftleyici (ikileyici-duplexer)

Bir fiber damardan çift yönlü iletim gerektiğinde kullanılır. Sistemden gelen optik sinyalin fiber damara girmesine ve fiber damardan gelen optik sinyalin sisteme geçmesini (gelen ve giden ışığın dalga boyları ayrı olmak koşuluyla) sağlar.



Şekil 8.7 Optik çiftleyici (duplexer)

Not: 8.6’da belirtilen malzemeler işletmemizde şu an kullanılmamakta olup gelişmiş ülkelerde bazı uygulamalarda kullanılmaktadır (Gür ve Uraz,1991).

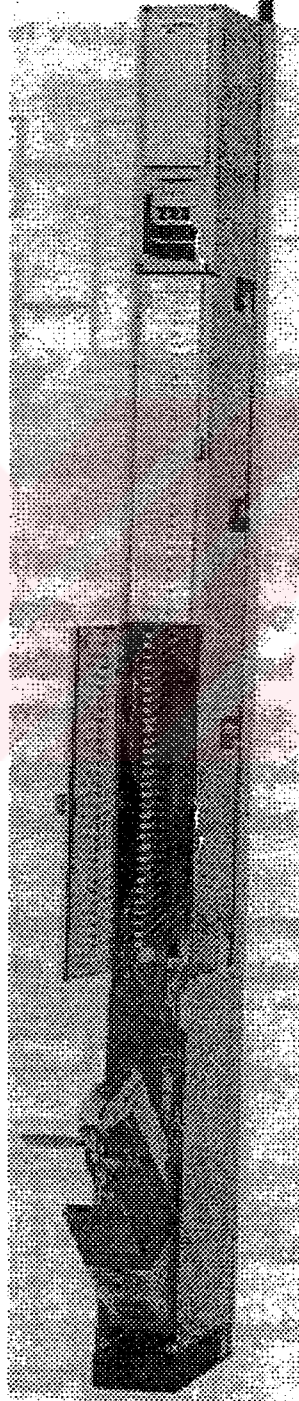
8.7 Ek Malzemeleri

Optik fiber kabloların eklenmesinde kullanılan ana malzemeler ve aletler şunlardır:

- a - Ek kutusu
 - a1 - Siemens ek kutusu
 - a2 - Ericsson veya Hesfibel ek kutusu
- b - İstavroz
- c - Takım çantası
- d - Tüp (buffer) kesici
- e - Optik fiber ara bağlantı kablosu (pig-tail) sıyrıcı
- f - Optik fiber damar sıyrıcı
- g - Fiber damar kesicisi
- h - Fiber optik kaynak makinası (ark fusion splicer)

8.8 Optik Dağıtım Çatısı (ODÇ–Distiribution Frame)

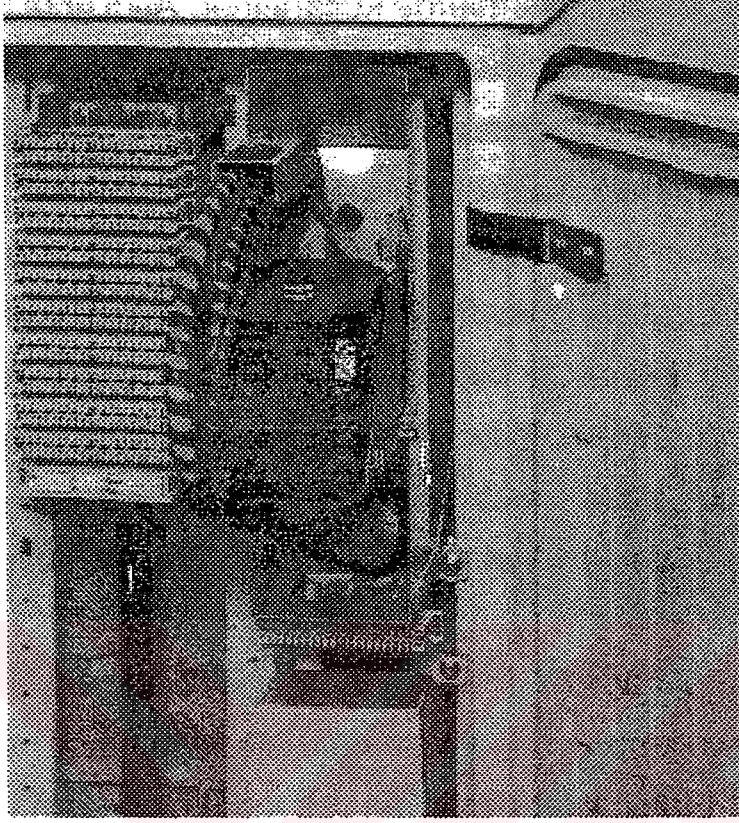
Sistemlerden gelen veya sistemlere giden optik sinyaller ile kablolar arasında dağıtım yapar. Fiber damarlarla ara bağlantı kablolarının (pig-tail) bir arada bulunmalarını sağlayan bir birimdir. Büyük sistemlerde ayrı, küçük sistemlerde hat teçhizatı (donanımı) çatısı üzerinde bulunur. Bazı değişik dağıtım çatılarının üzerinde yalnızca U link bulunup gelen ve giden optik sinyaller bu U linklere bağlanarak dağıtım yapılmaktadır (Şekil 8.8).



Şekil 8.8 Optik dağıtım çatısı

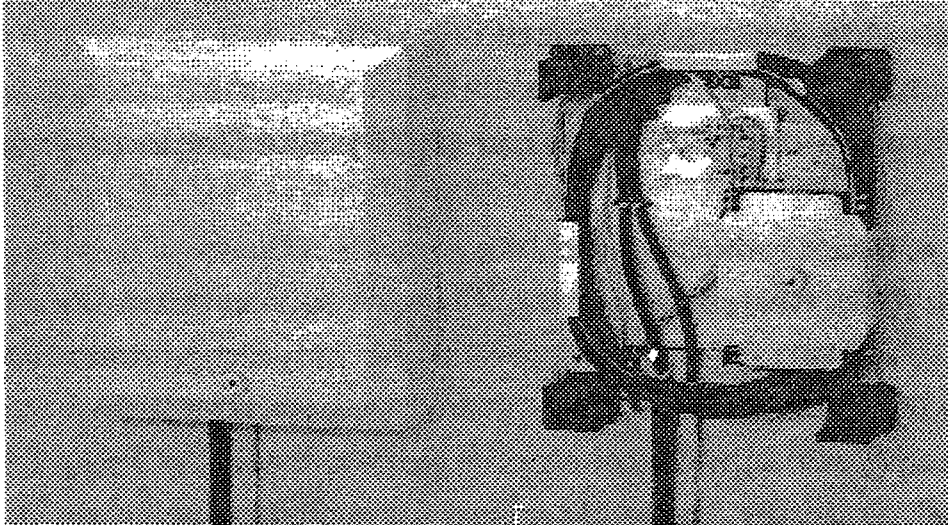
8.9 Optik Dağıtım Kutusu (ODK – Distribution Box)

Optik dağıtım çatısı gerektirmeyecek kadar az optik dağıtımın yapıldığı yerlerde kullanılır.



Şekil 8.9 Optik dağıtım kutusu (iç görünüşü)

Optik dağıtım kutusunda optik aktarım, optik dağıtım çatısındaki kadar esnek değildir. Özellikle bina içi veya yakın binalar arası optik bağlantıda kullanılır. Bunların da içinde optik dağıtım çatısının içinde olduğu gibi U link, optik ara bağlantı kablosu v.b. bulunmaktadır.



Şekil 8.10 Optik dağıtım kutusu (dıştan görünüşü)

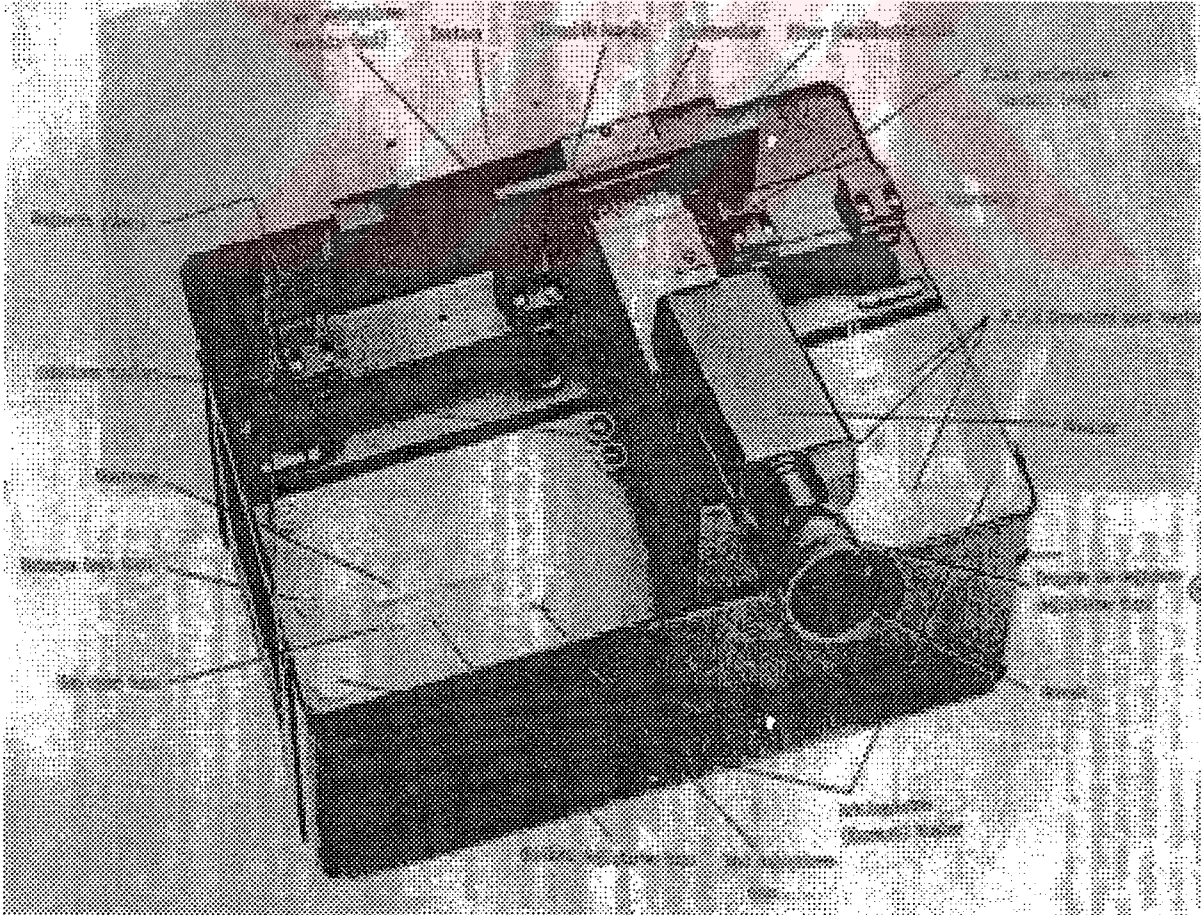
9. FİBERLERİN FÜZYON EKİ

Bir kablo şebekesi tasarımı yapılırken eklerin ve konnektörlerin sebep olduğu kayıpların yanısıra kilometrik zayıflama sabiti de hesaba katılmalıdır. Konnektörler, fiber optik kablo şebekelerinde geçici bağlantı sağlarlar; füzyon ekleri ise kalıcı bağlantılardır.

İster tek modlu ister çok modlu olsun fiber optik kablolarla kurulan bir iletim şebekesinde fiber ek yöntemlerinin, arazide çalışmayı en aza getirecek verimlilikte olması gerekir. Uzak mesafeli şebekelerde füzyon eki, fiber ek yöntemlerinin en verimli olanı olarak görünmektedir. Mikroişlemci kontrollü ve LID sistemli ek cihazları, çok düşük bir kayıpla füzyon ek garanti etmektedirler. Diğer taraftan kısa mesafeli şebekelerde ortalama abone uzaklığı, genellikle bir sorun yaratmaz. Bununla beraber gelecekte yapılması muhtemel eklerin çokluğu sebebiyle hızlı ve güvenilir bir yöntem aranmış ve tekrar sökülebilen bitişirmeli ek sistemi geliştirilmiştir. Konunun genişliği nedeniyle bu yazıda sadece kalıcı bir ek sistemi olan füzyon ekine değineceğiz.

9.1 Basamak İndisli Fiberlerin Füzyon Eki

Basamak indisli fiberlerin eklenmesi için füzyon ek cihazları bulunmaktadır (Şekil 9.1).



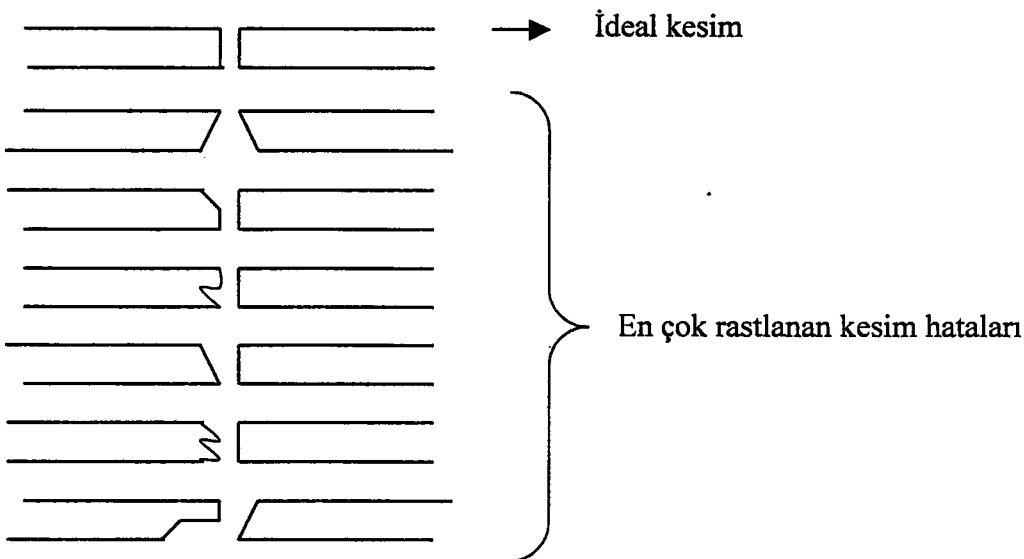
Şekil 9.1 Füzyon ek cihazı

Yüksek frekanslı AC gerilim, bir elektrik arkı meydana getirir. Ek için gerekli ısı, elektrotlar arasındaki deşarj ile sağlanır. Ergimiş camın yüzey gerilimi, eklenecek fiberleri eş merkezli hale getirir. Bu etki sayesinde $10\ \mu\text{m}$. ye kadar olan ayarsızlıklar, fazla bir ek kaybı olmadan giderilir. Cihazın fiber kesme işlemini yapacak bir kesici vardır ve cihaz, kesme yüzme ile fiber eksenini arasında 90° olması gereken açıda en çok 3° lik bir hata yapar. Kesilmiş fiberler, üzerinde eklenecekleri V oluklarına yatırılarak çok hassas kılavuz anahtarlarıyla birbirine yaklaştırılırlar.

Bu sırada kesilmiş fiberlerin ucunda çok küçük boyutlu çapaklar olabilir. Bu gibi küçük parçacıklar, ön füzyon işlemiyle giderilir. Ön füzyon, ekleme işleminden önce yapılan bir temizleme işlemidir ve uygulanan akımın süresi bakımından füzyondan farklıdır. Daha sonra fiber, füzyona tutularak eklenir ve eklenmiş fiber, korunmak üzere ek kasetindeki oluklara yerleştirilir. Piyasadaki ek cihazları, dolu bataryalarla 150 kadar ek yapmaktadır. Ortalama ek kaybı; 0.1, 0.2 dB kadardır.

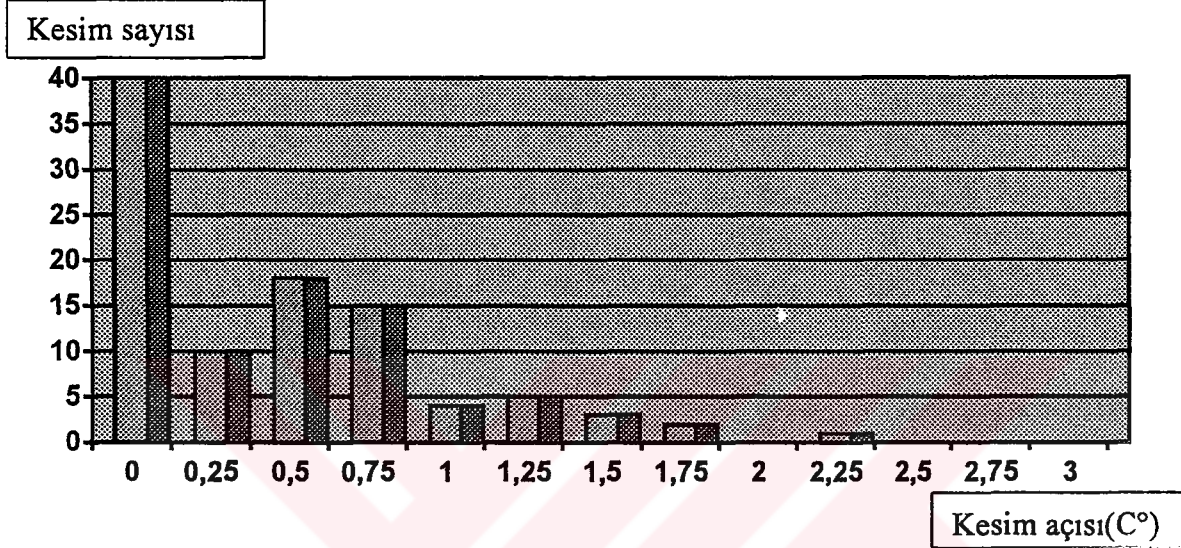
9.2 Tek Modlu Fiberlerin Füzyon Eki

Tek modlu fiberlerin çekirdek çapı $10\ \mu\text{m}$ kadar olduğu için çok modlu fiber ekleyicilerin ulaştığı hassasiyet, tek modlu fiber eki için yeterli olmamaktadır. Zaten bu yüzden tek modlu fiber ekleyicileri iyice geliştirilinceye kadar bu fiberin kullanımı, oldukça sınırlı kalmıştır ve fiber ek cihazları özellikle tek modlu fiber için geliştirilmişlerdir. Bu cihazların oldukça düşük kayıplı ek yapabilmeleri, 3 boyutlu ayarlama yapabilmeleriyle olmaktadır. Fiber optik teknolojisinin gelişme sürecinde entegre LID sistemi ve μP kontrollü bu cihazlar, ileri bir kilometre taşıdır (Gür ve Uraz,1991).



Şekil 9.2 İdeal kesim ve en çok rastlanan kesim hataları

Kablo dış kılıfı, kablo zırhı, buffer tüpleri ve fiberin üstündeki primer kılıf sıyrıldıktan sonra fiber, özel kesicisiyle ek için istenen uzunlukta kesilir. Kesme işlemi, füzyon öncesi yapılması gereken en önemli işlerden biridir. Sadece özel fiber kesicileri, fiberi kendi eksenine 90° dik ve çentiksiz kesebilir. Eğer kesme yüzeyinde dikeyle 0.5° den daha büyük bir hata varsa kesme işlemi yinelenmelidir. İdeal kesim ve kesim hataları Şekil 9.2’de gösterilmiştir. Şekil 9.3’de ise tek modlu fiberler için geliştirilmiş fiber kesme aletiyle yapılan kesimlerin kesim açısına göre sıklık dağılımı verilmiştir.

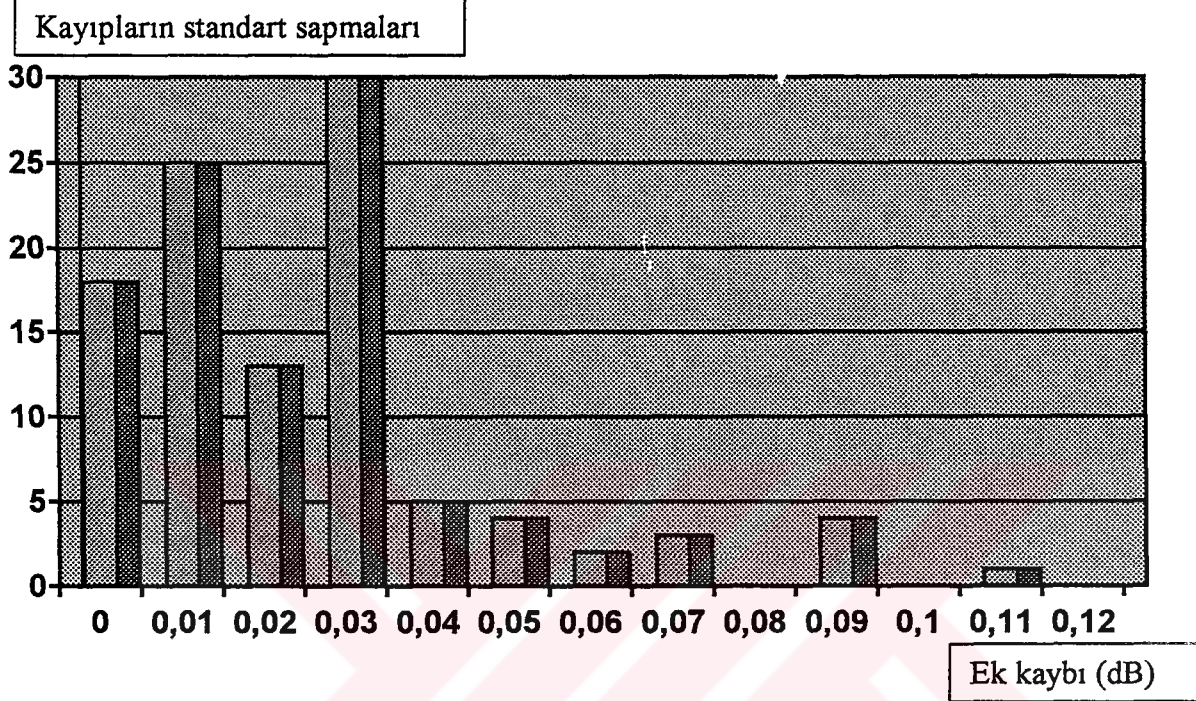


Şekil 9.3 Fiber kesme aletiyle yapılan kesimlerin kesim açısına göre sıklık dağılımı

Kesilen fiberler, cihazın V oluklarına yerleştirilip üzerleri sıkıştırıcı mandallarla kapatılır. Cihaz üzerindeki mikroskop altında fiberler, kendi eksenlerinde döndürülerek veya ileri geri, aşağı yukarı hareket ettirilerek birbirlerine iyice yaklaştırılır. Bu arada fiber uçları, birbirine dik olan iki ayrı yönden gözlenerek kesim yüzeylerinin kaliteleri ve birbirine göre konumları kontrol edilir. Cihaz, ayrıca bir monitöre bağlanarak görüntü büyütülebilir ve daha rahat ayarlama sağlanabilir. Basamak indeksli fiberlerin tersine, ergimiş camın yüzey gerilim katsayısından dolayı kendi kendine eş merkezleme olayı, tek modlu fiberlerde zayıflamayı artırıcıdır. Eklenme noktasındaki ergimiş camın hareketi, çekirdek eğilmesine ve dolayısıyla yüksek kayba neden olmaktadır. Bu sorun, daha kısa füzyon süresi ve düşük füzyon akımıyla halledilir.

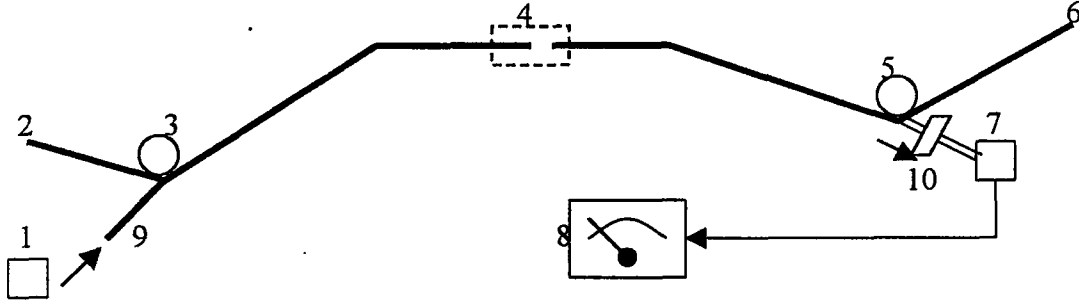
Fiber öz çapının 9 µm olduğu tek modlu fiberlerin eksen ayarlama işlemi, 50 µm öz çaplı çok modlu fiberlerin eksen ayarlama işleminden çok daha zordur. Mikroskopta göz ayarı ile ayarlanan fiberler, LID sistemi kullanılarak maksimum ışık gücünün geçtiği pozisyon bulunur.

Şekil 9.4'te, laboratuvar koşullarında yapılan eklere ait ek kayıpları ve kayıpların standart sapmaları verilmektedir. Burada ortalama ek kaybı 0.029 dB, kayıpların standart sapması ise 0.025 dB. dir. İşlem zamanı ise oldukça kısadır. Fiberlerin V oluklarına yerleştirilmelerinden sonra uçların ayarlanması, ön füzyon ve kayıp ölçümü yapılarak sayısal ekranda belirmesi, toplam 20-30 saniye almaktadır.



Şekil 9.4 Ek kayıpları ve kayıpların standart sapmaları

LID sistemi, hem tek modlu hem de çok modlu fiberlerin ek sırasında çabuk ve kolay ayarlanmalarını sağlayan bir sistemdir. Bilindiği gibi ışık, sadece düz çekilmiş bir optik fiberin öz tabakasına direkt olarak yönlendirildiğinde optik fiberin kenarından çıkmaz. Fakat bu kural, fiber büküldüğünde geçerli değildir. Eğer fiberin kıvrılma yarıçapı yeteri kadar küçükse öz tabakasında ilerleyen ışığın bir kısmı, kıvrılma noktasından dışarı çıkar ve bir fotosel ile hissedilebilir. Bunun tersi de doğrudur. Yani fiberi bir noktada uygun açıyla bükerek ışık bilgisi, bu noktadan fiberin içine gönderilebilir. Burada ışık kaynağı olarak ışık yayan bir diyot kullanılır. Işık kaynağı, önce Şekil 9.5'teki 9 numaralı fibere ışık gönderir. 2 numaralı fiber, yeteri kadar bükülmüş olduğundan ışık geçerek 6 numaralı fiberin uzak ucuna kadar gelir. Bu, fiberin kıvrıldığı yere yerleştirilen fotosel ile alınan ışık şiddeti ile bir oranda foto akıma çevrilip yükseltilir ve filtre edilir. Bu değer, bir metre ile kaydedilir. 1. Fiberin 2. Fibere göre her değişikliği, geçen ışığın şiddetini ve dolayısıyla ışığın şiddetiyle orantılı üretilen foto akımı değiştirir. Bu sayede her ekte fiber ayarlama için geçen zaman, minimuma indirilerek optimal bir ışık geçişi sağlanır.



Şekil 9.5 Tek modlu fiberlerde ek yapma yöntemi

Şekil 9.5'teki numaralı yerleri açıklayalım.

1. Işık yayan diyot
2. Birinci optik fiber
3. Mil
4. Açık tel
5. Mil
6. İkinci optik fiber
7. Yükseltici
8. Metre
9. Işığın 2 numaralı fibere geçmesini sağlayacak kalın özlü fiber
10. Fotodiyot

10. FİBER OPTİK KABLO ÖLÇME TEKNİKLERİ

10.1 Geriden Kesme Yöntemi

Doğrudan güç ölçümleri için geriden kesme veya kayıp tatbikî metotları kullanılabilir. Geriden kesme metodu, optik fiberdeki ışık gücünün L_1 ve L_2 gibi iki ayrı noktada ölçülmesini gerektirir.

Genellikle L_2 fiberin sonunda, L_1 de başa yakın bir noktada seçilir.

Ölçme işleminden önce L_1 'de ışık gücü ölçülür sonra L_2 'den fiber kesilerek aynı işlem fibere ışık yönlendirilme şartları değiştirilmeden tekrarlanır. Sonunda dB/km cinsinden zayıflama sabiti şu şekilde bulunur:

$$\alpha = [10 / (L_2 - L_1)] \cdot \log[P(L_1) / P(L_2)] \quad (10.1)$$

10.2 Referans Yöntemi (Yerine Koyma Yöntemi)

Fiberin kesilmesi yerine aynı özelliklere sahip (öz çapı, kırılma katsayısı profili, nümerik açıklığı) referans fiber kullanılabilir.

Ölçümün ilk aşaması; ışık kaynağını, referans fiberi ve OLP-1' i birbirine bağlamaktır.

Daha sonra test edilecek fiber, ışık kaynağı ve OLP-1' e bağlanır. OLP-1, bu durumda test edilecek fiberin sonundaki ışık gücünü referans fibere göreceli olarak verir.

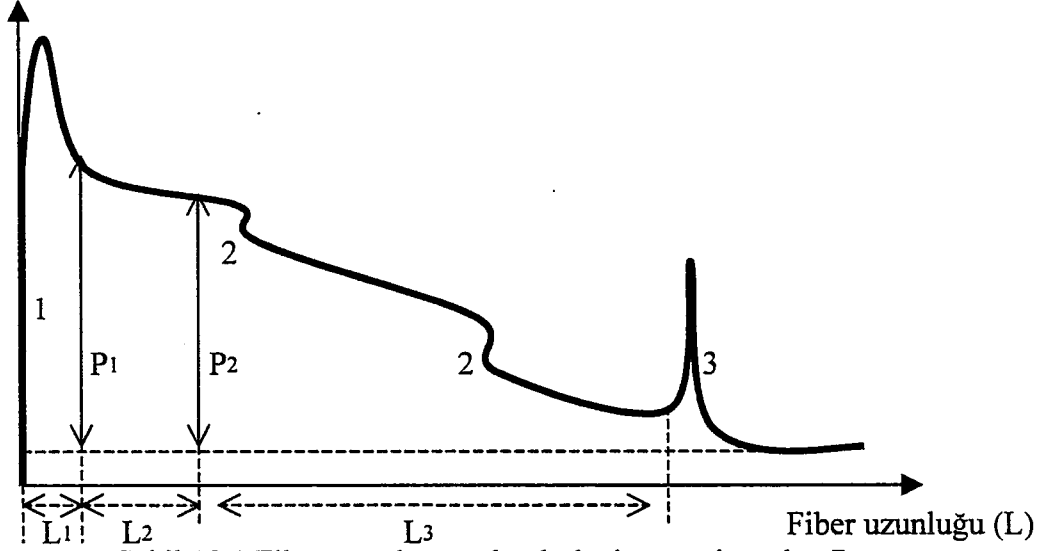
Bu yöntemin avantajı, fiber kesilmeden konnektörlerin her iki uçta da kullanılabilmesidir. Fakat konnektörlerin sebep olduğu kayıplardan dolayı referans yöntemi, geriden kesme yöntemine göre daha az hassastır.

10.3 Geri Saçılma Yöntemi

Geri saçılma yönteminde ışık, fiberin bir tarafından yönlendirilir ve aynı taraftan geri alınır. Bu sırada fiber boyunca zayıflama hakkındaki detaylar da öğrenilir. Bu yöntem, temel fikrini rayleigh saçılma kanunundan alır. Işık, gücünün büyük bir yüzdesini fiberin içine yönlendirirken aynı zamanda fiberden ışığın küçük bir yüzdesi geri yansır. Yansıyan ışık gücü de, fiber içinde ilerleyen ışık gücü gibi zayıflamaya uğramaktadır. Geri yansıyan güç, yarım geçirgen bir aynayla bölünür ve ölçülür. Geri saçılan ışık gücü ve fiberden ışığın tekrar yansıma süresi ölçülerek o fiberin tamamına ait zayıflama katsayısını bulmak mümkündür. Geri saçılan sinyalin zamana karşı değişimi, bir osiloskop ile izlenebilir. Eğer fiber uzunluğu boyunca zayıflama katsayısı ve geri saçılma faktörü sabit kalırsa elde edilecek eğri, fiberin başlangıç noktasından itibaren logaritmik olarak azalarak devam eder. Işığın fibere girdiği andaki ve diğer uçtan çıktığı andaki kırılma katsayısı

farklılıklarından dolayı bu noktalarda ışık gücünün büyük bir kısmı geri saçılmaya uğrar. Bu da ekranda baştaki ve sondaki keskin tepelere neden olur.

Geri saçılan P gücü



Şekil 10.1 Fiber uzunluğuna bağlı değişen geri saçılan P gücü

Her iki tepe noktasının arasındaki t zaman farkından, boşluktaki ışık hızı C_0 dan ve öz camın kırılma katsayısı $n_g = 1.5$ dan fiberin L uzunluğu şöyle bulunabilir:

$$L = (\Delta t / 2) \cdot (C_0 / n_g) \quad (10.2)$$

Burada;

L : fiberin km cinsinden uzunluğu,

Δt : saniye cinsinden ilk ve son tepe noktaları arasındaki zaman farkı,

C_0 : 300.000 km/s,

N_g : öz camdaki grup kırılma katsayısı olarak açıklanabilir.

Fiberin herhangi L_1 ve L_2 noktaları arasındaki zayıflama katsayısı da,

$$\alpha = [5 / (L_2 - L_1)] \cdot \log[P(L_1) / P(L_2)] \quad (10.3)$$

ile hesaplanır.

Işık, hem gidiş hem dönüş yönünde ilerlediği için buradaki formülde 10 yerine 5 katsayısı kullanılır. Bu eşitlik; fiber boyunca geri saçılma faktörü, nümerik açıklık ve öz çapın sabit olduğu varsayımında doğrudur. Bu durum garanti edilmezse, her iki uçtan ayrı ölçü yapılarak ortalamalarının alınması tavsiye edilir (Yılmazbilek,1988).

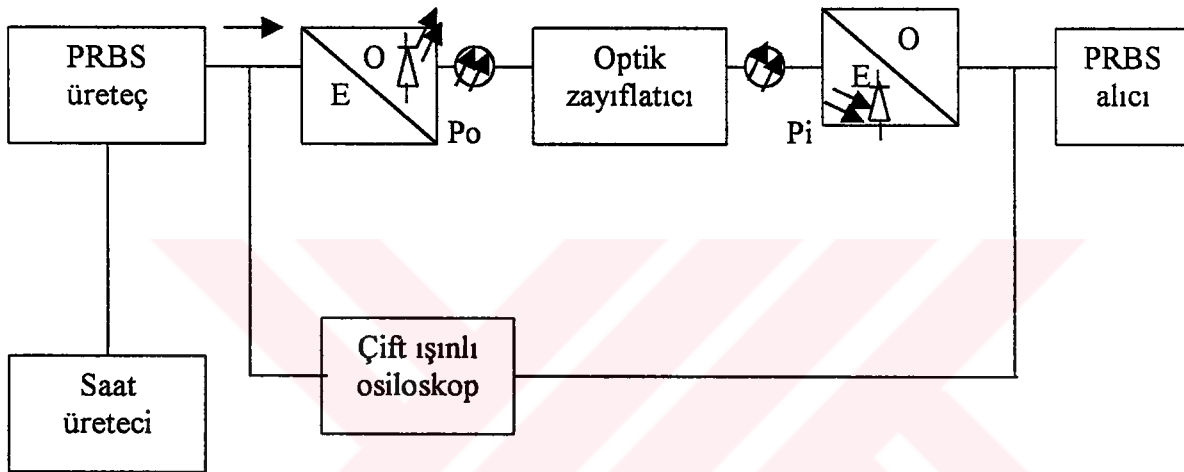
Geri saçılma tekniği ile çalışan optik ölçü aletlerine (OTDR), “zaman eksenli optik yansıma ölçer (time domain optical reflectometer)” denir. Bir OTDR, fiberin zayıflama sabitini ölçmesinin yanında, ek kayıplarını ve fiberdeki bozuklukları da ölçebilmektedir.

10.4 Sayısal Sinyaller Kullanılarak Yapılan Optik Fiber Ölçümleri

Bir haberleşme hattının yeteri kadar yüksek kalitedeki sinyalleri alıcıya ulaştırıp ulaştırmadığını öğrenmenin bir yolu, bu sinyallerin frekans tepkisini (büyüklük ve faz) ölçmektir. Bu çeşit bir ölçümün aslında sayısal sistemlerin kurulması aşamasında yapılması gerekir.

Birkaç yıldır iletim kalitesinin bulunması için sayısal diziler kullanılmaktadır. Alınan ve gönderilmiş olan dizilerin bit bazında karşılaştırılmasıyla kaç bitin hatalı alındığı anlaşılır.

Bir iletim hattında hatalı olarak alınan bit sayısının, gönderilen toplam bit sayısına oranı o hattın kalitesini gösterir ve “göreceli bit hata oranı” olarak bilinir.



Şekil 10.2 Sayısal sinyaller kullanılarak yapılan optik fiber ölçümü

10.4.1 Göreceli bit hata oranı (BER)

Şekil 10.2'nin solunda bir yalancı rastgele dizi (PRBS) üretici görülmektedir. Bu çeşit dizi üreticileri, 1 ve 0'lardan oluşan ve her 2^n-1 bitte tekrarlanan yalancı rastgele sayısal dizileri üretirler. Burada n , diziyi üreten devredeki döngü sayısıdır. Farklı ölçü cihazlarının üretici devreleri de aynı diziyi ürettiğinden (örneğin $2^{11}-1$ bit uzunluğundaki bir dizinin 8. biti daima 0 ve 2042. biti daima 1'dir) yalancı rastgele diziler, belirli standartlara uygun olarak sadece belirli uzunluklarda ve yapılarda üretilirler. Üretilen yalancı rastgele dizi, daha sonra elektrik/optik çevirici tarafından ışığa çevrilir. PRBS üretici, dizi üretmenin yanısıra bit hızını belirleyen saat üreticini de kontrol eder.

Sayısal elektrik sinyalinin ışığa çevrilmesi demek, çalışılan dalgaboyundaki ışık hızının fiber içine yönlendirilmesi demektir. Elektrik sinyalinin 0 veya 1 olmasına karşılık optik sinyal, fibere verilir veya verilmez.

Işık ışınının ortalama güç seviyesi, iletilen bit dizisinin yapısına bağlıdır.

Örneğin; -15 dB.m.güç seviyesinde olan modüle edilmemiş ışık, bir 0 bir 1'den oluşan dizide eski gücünün yarısına sahiptir. Bu da -3 dB.m düşüş demektir ve ışığın son güç seviyesi, -18 dB.m olur.

Elektriksel 0'ın ışığın var olması, 1'in ise ışık kesilmesine karşılık olduğu varsayılırsa, 0-1-1-1'den oluşan bir dizinin ortalama güç seviyesi, ışığa çevrildikten sonra ilk gücünün dörtte birine düşer. Bu da 6 dB daha düşük seviyeyi gösterir. Bir PRBS'de 0 ve 1'lerin sayısı eşit olduğu için ortalama güç, modüle edilmemiş güç seviyesinden 3 dB daha düşüktür.

Şekildeki optik zayıflatıcı, optik kablo yerine kullanılmaktadır. Zayıflatıcının her iki tarafında ise uzunlukları 5'er metre olan optik fiberler vardır.

Işık vurumlarının dizisi, sağ taraftaki alıcı diyot tarafından seçilir ve bu diziye karşılık gelen elektrik sinyali, tekrar elde edilir. Bu elektrik sinyali, eğer hatta hiçbir bozulmaya uğramamışsa girişteki diziyle tamamen aynı olmalıdır. Bunu anlamak için alıcı tarafta da göndericide üretilen PRBS'nin aynısı üretilir. Bu dizi ile hattan alınan dizinin eşzamanlaması (senkronizasyon), tekrarlamaları aralıklarında yapılır ve her iki PRBS, bit bazında birbiriyle karşılaştırılır.

Eğer birkaç bit, orijinal diziden farklıysa bunlar hatalı gelmiş sayılır ve hatalı bitlerin gönderilen toplam bit sayısına oranı hesaplanır (göreceli BER).

PRBS üreteçleri ve alıcıları, ilk olarak PCM sistemleri için düşünüldüklerinden saat (clock) sinyali için de bir çıkış portuna sahiptirler. İletim hattının çıkışında saat sinyali olmadığından gerekli saat sinyali, gönderici çıkışından alınır. Şekil 10.2'deki gibi bir düzenekte, üreticinin çıkışıyla alıcı girişi arası bir osiloskopta izlenirse yaklaşık 120 ns. lik bir iletim süresi izlenir ki bu da belirli bit hızlarında yüksek bit hatası anlamına gelir.

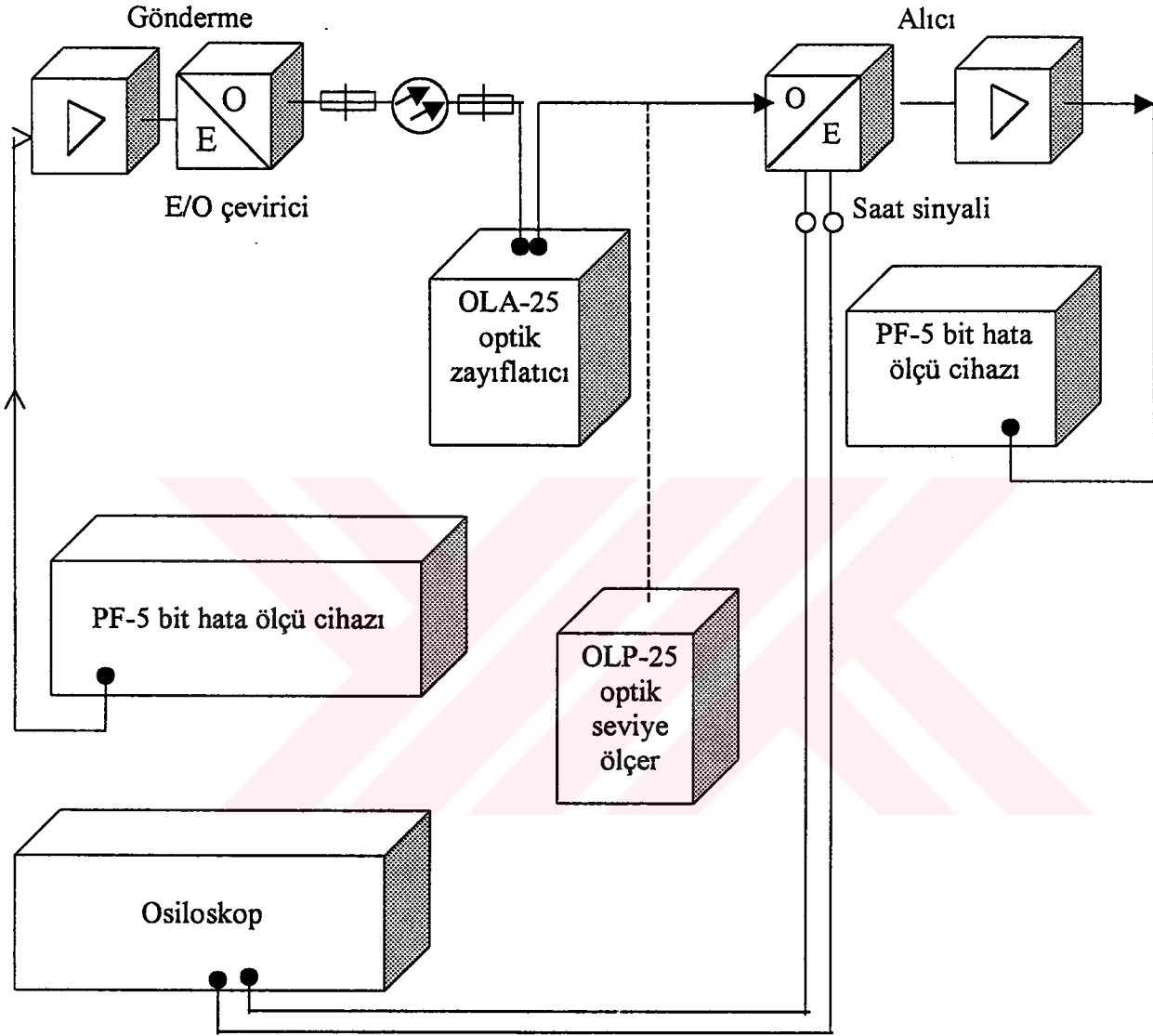
10.4.2 Alıcı hassasiyeti

Alıcıya ulaşan ışık, iletim ortamının yapısından ve uzunluğundan dolayı zayıflayacak ve gücünü yitirecektir. Bu durumda, her sistem için alıcının kabul ettiği bir alt güç sınırı olduğunu tahmin etmek güç değildir. Bu sınırın altında gelen sinyalin 0 mı 1 mi olduğuna karar vermek, alıcı için mümkün değildir. Dolayısıyla yanlış alınan bit sayısı, birdenbire artış gösterir.

Bu sınır, alıcı hassasiyeti olarak bilinir ve O/E çeviricinin kalitesini gösterir. Birimi ise dB.m veya W (güç seviyesi) cinsinden yazılır.

Bir PRBS kullanarak bu sınırın değerini bulmak çok uygundur. Sistem üreticilerinin belirttiği değerler, genellikle alıcı hassasiyetini göstermeyip uygun bir emniyet payı bırakılarak hesaplanan değerlerdir.

Alıcı hassasiyetini test etmek için aşağıdaki test düzeneği kullanılabilir.



şekil 10.3 Alıcı hassasiyetini test etmek için kurulan test düzeneği

rete ve alıcı arasında olabilecek en fazla uzaklık ise, E/O viricinin çıkış güç seviyesi ve alıcının hassasiyetinden bulunur. Eğer kullanılan fiberin kilometre başına zayıflaması (α), dB/km ise kullanılabilir fiberin uzunluğu en fazla teorik olarak,

$$L = (P_i - P_{out}) / \alpha$$

(10.4)

ile bulunulabilir.

Bu formül, sadece deney düzeneği için geçerlidir. Çünkü pratikte bir kablo şebekesi tasarımı yapılırken ilerde yapılması muhtemel eklerin meydana getireceği kayıplar da göz önüne alınır.

10.4.3 En yüksek bit hızı

Bir alıcının kabul edebileceği en düşük sinyal seviyesi olabileceği gibi, verinin iletim hızının da bir sınırı vardır. Bu sınırın üstüne çıkıldığında sistem, yüksek bit hata oranından dolayı çalışamaz hale gelir.

Bir sistemin üst hız sınırını bulmak için sistem, düşük bir hızdan başlayarak çalıştırılır. Saat(clock) frekansı gitgide artırılarak BER'in birdenbire kabul edilmeyecek kadar arttığı nokta bulunur. Fakat BER, aniden değiştiğinde bunun sebebinin üretici ve alıcı arasındaki propagasyon gecikmesi olmadığından emin olmak gerekir. Sistem çıkışında saat (clock) sinyali olmadığından alınan sinyali örneklemek için giriş saatinin (clock) diğer kenarı kullanılır. Bu uygulama, BER'de bir azalma sağlamazsa en yüksek bit hızı bulunmuş demektir. Bu konuda da sistem üretici firmalar, doğru işlemi garanti etmek için en yüksek bit hızını biraz düşük gösterirler. Sayfa 10.3'teki test düzeneği, en yüksek bit hızının bulunmasında da kullanılır.

11. FİBER OPTİK KABLO STANDARTLARI

Fiber damarların hangi özellikleri taşıması gerektiği CCITT G.651, G.652, G.653, G.654, IEC 793 v.b. standartlarla ayrıntılı olarak belirtilmiştir. G.651 1984 yılında Cenevre’de, G.654 ise 1988’de Avustralya’da kabul edilmiştir (Cora,1990).

11.1 CCITT’nin Fiber Damar Standartları

Çizelge 11.1 Basamak indisli tek modlu fiberin özellikleri

Optik fiber tipi	Tek modlu fiber
Çalışma dalga boyu	1300 nm. ve/veya 1550 nm.
Mod alan çapı	9 - 10 nm.
Yansıtıcı tabaka çapı	125 nm. (3 nm.)
Etkin dalga boyu sınırı	1100 – 1280 nm.
Eş merkezlilik bozulması	<0.5 – 2.0 nm. arası
Kılıfın ovallik bozulması	<2.5 nm.
Zayıflama sabiti	<1.5 dB/km
Toplam saçınım	<18 ps/nm.km (1550 nm. de)

Çizelge 11.2 Dereceli indisli çok modlu fiberin özellikleri

Optik fiber tipi	Çok modlu fiber
Kırılma katsayısı değişimi	Dereceli kırılma katsayısı
Madde	Kuvartz veya cam

Çalışma dalga boyu aralığı	850 nm. ve/veya 1300 nm.
Öz çapı	50 nm. (%6)
Yansıtıcı tabaka çapı	125 nm. (%2.4)
Öz çapının oval bozukluğu	<%6
Yansıtıcı tabaka çapının oval bozukluğu	<%2
Eş merkezlilik bozukluğu	<%6
Maksimum kuramsal sayısal açıklığı (NA)	NA = 0.18 - 0.23 (850 nm. de) NA = 0.15 - 0.30 (1300 nm. de)
NA'nın nominal değerden sapması	0.02
Kırılma katsayısı profili	Yaklaşık parabolik olacak

11.2 Türk Telekom'un Fiber Kablo Standartları

Çizelge 11.3 Radyal (eksenel) kılıf kalınlıkları

Radyal (eksenel) kılıf kalınlıkları					
Kablo cinsi	İç kılıf (mm)	Dış kılıf (mm)	Çelik halat kılıfı (mm)	Askı köprü genişliği (mm)	Askı köprü uzunluğu (mm)
FO – Y	1.0	1.7±0.1	-	-	-
FO - Y	1.0	1.7±0.1	1.7±0.1	2.8±0.1	2.8±0.1

Çizelge 11.4 Çelik telin kopma dayanımı

Çelik telin kopma dayanımı		
Çelik tel çapı (mm)	Kopma dayanımı (kg/mm ²)	Nominal halat hatvesi
1.6±0.1	120	16XD

D = Halat çapı (mm)

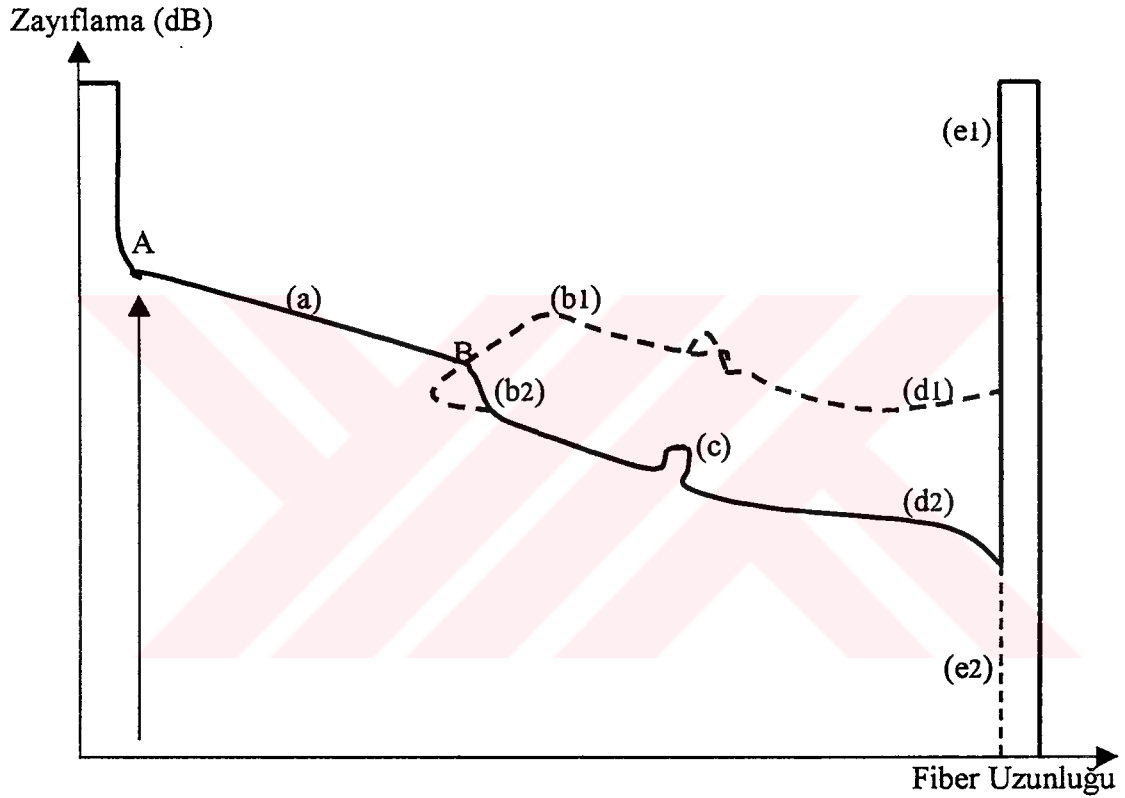
11.3 Türk Telekom'un Fiber Damar Standartları

Çizelge 11.5 Tek modlu fiberin optik iletim özellikleri

Tek modlu fiberin optik iletim özellikleri		
Özellikler	Dalgaboyu (1310 nm.)	Dalgaboyu (1550 nm.)
Zayıflama dB/km (Maksimum / Ort.)	0.40 / 0.36	≤ 0.22
Öz çapı (μm)	9.2 ± 0.5	
Kesim dalga boyu (cut-off wave length) (nm.)	1200 ± 100	
Kromatik saçınım (ps/nm $\times$ km) (chromatic dispersion)	≤ 3.5	≤ 18
Yansıtıcı tabaka (μm)	125 ± 2	
Öz / yansıtıcı eşmerkezlilik	$\leq 1 \mu\text{m}$	
Yansıtıcı tabakanın dairesel olmaması (%) (ovalilik)	≤ 2	
Koruyucu kılıfın çapı (μm)	250 ± 15	
Mekanik karakteristik proff-test seviyesi (N)	8.4	
Proff-test gerilmesi (%)	1.0	
Depolama taşıma sıcaklığı (C°)	$(-40) - (+70)$	
Tesis sıcaklığı (C°)	$0 - (+50)$	

11.4 IEC 793'e Göre Geri Saçılma İzlerinin Yorumlanması

Aşağıda IEC 793 standartına ait bir bölüm, örnek olarak verilmiştir. Şekilde tipik bir fiber zayıflama eğrisi görülmektedir. Değişik sebeplerle fiberde meydana gelen bozukluklar, zayıflama eğrisinde değişik şekillerde kendilerini gösterirler. Aslında bu bozukluklar, gerçek bir fiber hattında yapılan ölçülerde karşılaşılanların hemen hemen aynıdır. Bu tür bir ölçü, O.T.D.R (optical time domain reflectometre) kullanılarak yapılır. Bir O.T.D.R, fiber içine uygun genişlikte ışık vurumları gönderir ve fiberden gelen yansımaları olarak ekranında gösterir.



Şekil 11.1 En çok karşılaşılan geri saçılma izi

(a) bölgesi :

Şekil 11.1, en çok karşılaşılan geri saçılma izine bir örnek olarak verilmiştir. Bu örnekte dikey eksen logaritmik olduğundan şekilde sabit eğimli olan bölge, sabit zayıflama katsayısına sahip fiberi gösterir. A ve B noktaları arası, sabit eğime sahip olduğundan bu iki nokta arasının homojen yapıda olduğu anlaşılır. Böyle sabit eğimli bölgeler için fiberin tek ucundan ölçü yapmak yeterlidir. Fakat sabit eğimli olmayan bölgelerde doğru sonuca ulaşmak için fiber, her iki uçtan ölçülür ve ölçü sonuçlarının ortalaması alınır.

Ölçülen fiberin böyle bir bölümünün kilometrik zayıflaması, A ve B gibi iki nokta arasında yani diğer bölgeler ayrı tutularak hesaplanır.

(b) bölgesi :

b noktasındaki basamak yeri, belirlenmiş bir kayıp değişimini göstermektedir. Buradaki kayıp, ek veya kablo içindeki diğer sebeplerden olabilir.

Basamağın uzunluğu, kullanılan vurum genişliğine bağlıdır. Eğer basamak, vurum genişliğiyle hesaplanan değerden daha uzunsa arızalı nokta yerine arızalı bir bölgeden bahsetmek gerekir. Ayrıca birbirine çok yakın uzaklıklarda birkaç arızalı noktanın meydana getirdiği küçük basamaklar da, büyük bir basamağa sebep olabilir.

Fiberin her iki ucundan yapılacak ölçülerle, her iki uçtan geri saçılma davranışları gözlenir ve ortalaması alınırsa istediğimiz noktadaki kayıp bulunur. Doğru sonuç almak için iki uçtan ölçü yapmak, en güvenilir yöntemdir.

(c) bölgesi :

c bölgesindeki düzensizlikler, geri saçılmanın birdenbire arttığı bölgelerde görünür. Yorumlanmaları (b) bölgesindeki gibidir.

(d) bölgesi :

Bazı durumlarda şekildeki zayıflama eğrisinin eğimi, fiber boyunca sabit değildir. Zayıflama eğrisi, böyle durumlarda (d₂)'de olduğu gibi dışbükey veya (d₁)'de olduğu gibi iç bükey olabilir. Eğer böyle bir büküm, fiberin sonundaysa bu kaplama bölgesindeki ışık modlarının yeteri kadar azaltılamadığını gösterir. Genellikle bu tür bükümler, iç ve dış etkenlerle meydana gelirler. Eğer sebep fiberin içindeyse; absorbe kaybının değişimi, bir zayıflama değişikliğine neden olmaz. Bu durumda, çok modlu fiberde sürekli nümerik açıklık değişimi veya tek modlu fiberde eşik alan çapı değişikliğine sebep olabilir.

Eğer sebep fiberin dışındaysa; fiber kılıfının fibere yaptığı baskı veya kablo montajının çok gergin yapılması, ilk düşünülmesi gereken sebeptir.

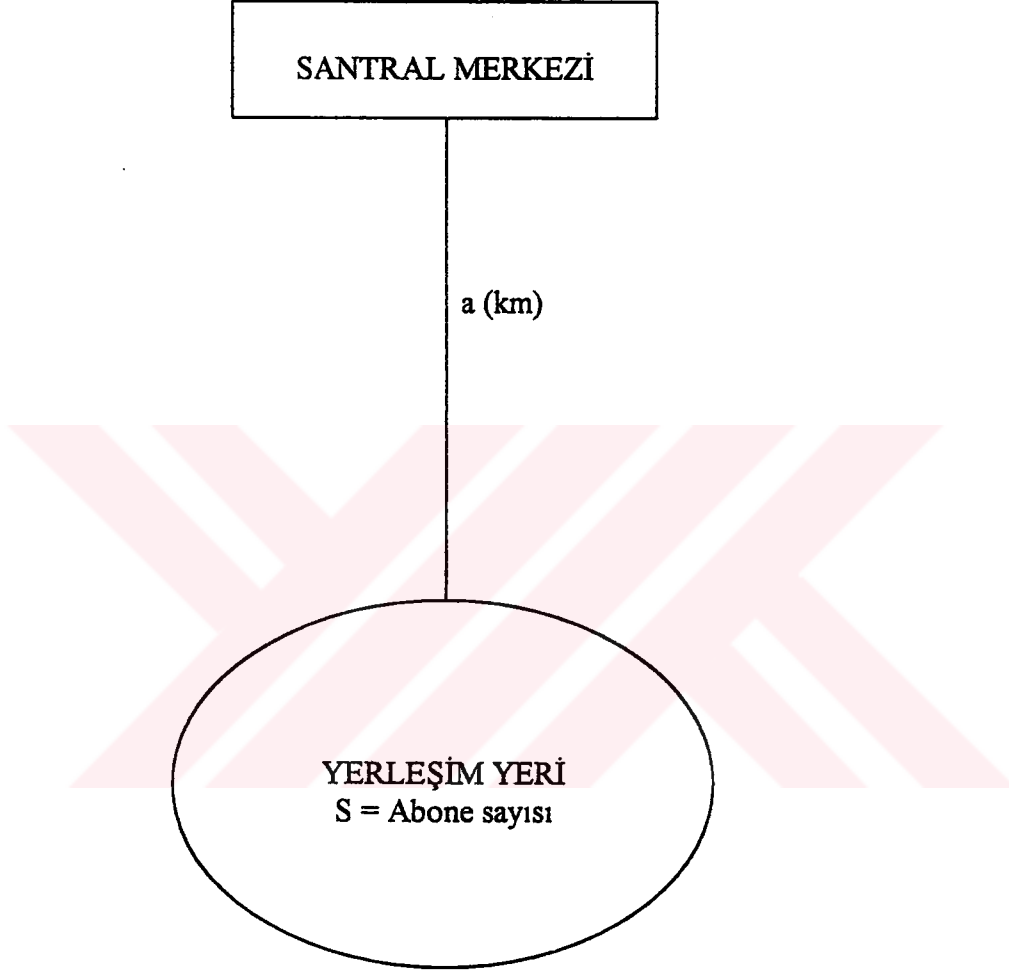
Bu etkenlerden hangisinin gerçek sebep olduğunu anlamak için, fibere veya kabloya ek kuvvet uygulamak veya kablonun sıcaklığını değiştirmek gerekir. Bunun sonucunda hiç değişmeyen özelliklerin fiberin içindeki bir kaynaktan etkilendiği, değişen özelliklerin ise dış kaynaklardan etkilendiği anlaşılır.

(e) bölgesi :

Fiberin uzak ucu veya fiberdeki bir kopukluk, büyük bir artı sapmayla veya hızlı bir düşüşle kendini gösterir. Şekilde e₁ ile gösterilen durum, frensel etkisini; e₂ ile gösterilen durum ise, frensel etkisinin olmadığı fakat geri saçılmadan dolayı büyük bir kayıp olduğu durumları göstermektedir. Ayrıca böyle bir sapmaya, mekanik ekler de sebep olabilirler.

12. F/O KABLO İLE BAKIR KABLO ARASINDAKİ MALİYET MUKAYESESİ

2. bölümde, fiber optik kablonun bakır kabloya olan muhtelif avantajları açıklanmıştı. Bu bölümde ise, fiber optik kablo ile bakır kablo arasındaki maliyet mukayesesi yapılacaktır. Örnek olarak, telefon şebekesi yapılması düşünülen ve santral merkezinden a kadar mesafede bulunan bir yerleşim yeri için maliyet yönünden hangi kablonun uygun olacağını bulalım.



Şekil 12.1 Santral merkezinden a kadar mesafede bulunan bir yerleşim yeri

Bu yerleşim yerine yapılacak telefon şebekesinin tesis maliyetine; kablo, ek malzemeleri, havai gidecekse direk ve direk donanım malzemeleri, yeraltından çekilecekse yeraltı tesisi malzeme ve işçilik fiyatları dahil edilecektir. Bu maliyetler; her 2 ve 10 km. lik mesafeler için ayrı ayrı hesaplanacak ve buradan mesafenin artması durumunda bu iki iletim sisteminin maliyetleri arasında bir farklılık olup olmadığı görülecektir. Bununla birlikte abone sayısının (S), 100 ve 1800 olması durumuna göre oluşacak maliyetler de ayrı ayrı hesaplanıp mukayesesi yapılacaktır. Bulunan değerlerde 1998 birim fiyatları esas alınacaktır. Hesaplarda 1 \$ = 298.000 TL, 1 DM = 177.000 TL alınmıştır.

12.1 a=2 km Olması Durumunda Kabloların Tesis Maliyetleri

Çizelge 12.1 a=2 km ve S = 100 abone olması durumunda bakır kablo tesis maliyeti

a=2 km ve S = 100 abone olması durumunda bakır kablo tesis maliyeti					
S	KULLANILAN		BİRİM	MONTAJ	TUTAR
N	MALZEMENİN CİNSİ	MİKTAR	FİYATI	BEDELİ	(KDVHARİÇ)
1	KPD-APA 100-0.4 kablo	2000 m.	1.25 \$/m	121.038 TL/m	987.076.000 TL
2	Bekt A	4 Ad.	22 \$/Ad	1.749.799 TL/Ad	33.223.196 TL
3	Yak-1 konnektör	800 Ad.	0.043 \$/Ad	51.385 TL/Ad	51.359.200 TL
4	Enjekte direk	40 Ad.	122 DM	5.298.428 TL/Ad	1.075.697.120 TL
5	Direk donanım malz.	40 Ad.	18 \$	1.350.000 TL/Ad	268.560.000 TL
TOPLAM MALİYET(KDV HARİÇ)					2.415.915.516 TL

Çizelge 12.2 a=2 km ve S = 100 abone olması durumunda F/O kablo tesis maliyeti

a=2 km ve S = 100 abone olması durumunda F/O kablo tesis maliyeti					
S	KULLANILAN		BİRİM FİYATI	MONTAJ	TUTAR
N	MALZEMENİN CİNSİ	MİKTAR		BEDELİ	(KDVHARİÇ)
1	4'lük F/O kablo	2 km	2694 \$/km	1150 \$/km	2.291.024.000 TL
2	Ek kutusu (3 kaset)	2 Ad.	250 \$/Ad	287.5 \$/Ad	320.350.000 TL
3	Pig-tail	4 Ad.	29.69 \$/Ad	8.847.620 TL/Ad	44.238.100 TL
4	8 Mb/s FOHT	2 Ad..	1.425.000.000	356.250.000	3.562.500.000 TL
			TL/Ad	TL/Ad	
5	Enjekte direk	40 Ad.	122 DM	5.298.428 TL/Ad	1.075.697.120 TL
6	Direk donanım malz.	40 Ad.	18 \$	1.350.000 TL/Ad	268.560.000 TL
TOPLAM MALİYET(KDV HARİÇ)					7.562.369.220 TL

Çizelge 12.1 ve çizelge 12.2 incelendiğinde kısa mesafeli ve az aboneli telefon şebekelerinde bakır kablo ile yapılan tesis maliyeti, F/O kablo ile yapılan tesis maliyetinden daha az olduğu görülmektedir. Yani kısa mesafelerde ve az abonenin olduğu yerlerde bakır kablo ile yapılan tesis, daha ekonomik olmaktadır.

Çizelge 12.3 a=2 km ve S = 1800 abone olması durumunda bakır kablo tesis maliyeti

a=2 km ve S = 1800 abone olması durumunda bakır kablo tesis maliyeti					
S	KULLANILAN		BİRİM	MONTAJ	TUTAR
N	MALZEMENİN CİNSİ	MİKTAR	FİYATI	BEDELİ	(KDVHARİÇ)
1	KPD-PAP 1800-0.4 kablo	2000 m.	16.44 \$/m	758.653 TL/m	2.497.130.000 TL
2	UC/8-18	7 Ad.	85 \$/Ad	12.220.148 TL/Ad	262.851.036 TL
3	Modül (25 çiftlik)	504 Ad.	2.98 \$/Ad	813.575 TL/Ad	857.613.960 TL
4	Yeraltı tesisi	2000 m.	Malzeme +işçilik 1 m.= 9.850.000 TL)		19.700.000.000 TL
TOPLAM MALİYET(KDV HARİÇ)					23.317.595.000 TL

Çizelge 12.4 a=2 km ve S = 1800 abone olması durumunda F/O kablo tesis maliyeti

a=2 km ve S = 1800 abone olması durumunda F/O kablo tesis maliyeti					
S	KULLANILAN		BİRİM	MONTAJ	TUTAR
N	MALZEMENİN CİNSİ	MİKTAR	FİYATI	BEDELİ	(KDVHARİÇ)
1	4'lük F/O kablo	2 km	2694 \$/km	1150 \$/km	2.291.024.000 TL
2	Ek kutusu (3 kaset)	2 Ad.	250 \$/Ad	287.5 \$/Ad	320.350.000 TL
3	Pig-tail	4 Ad.	29.69 \$/Ad	8.847.620 TL/Ad	44.238.100 TL
4	140 Mb/s FOHT	2 Ad..	7.534.000.000 TL/Ad	1.883.500.000 TL/Ad	18.835.000.000 TL
5	Enjekte direk	40 Ad.	122 DM/Ad	5.298.428 TL/Ad	1.075.697.120 TL
6	Direk donanım malz.	40 Ad.	18 \$/Ad	1.350.000 TL/Ad	268.560.000 TL
TOPLAM MALİYET(KDV HARİÇ)					22.144.022.922 TL

Çizelge 12.1 ve çizelge 12.2'de kısa mesafede ve abone sayısının (S) az olduğu durumda bakır kablonun F/O kablodan daha ekonomik olduğu görülmüştü. Çizelge 12.3 ve Çizelge 12.4 incelendiğinde ise, mesafe sabit kalıp abone sayısı artırıldığında F/O kablonun bakır kablodan daha ekonomik olduğu ortaya çıktı. Burada, kablonun kapasitesi büyük olduğundan yeraltı tesis maliyeti alındı. F/O kabloda ise kablo büyüklüğü değişmez.

12.2 a=10 km Olması Durumunda Kabloların Tesis Maliyetleri

Çizelge 12.5 a=10 km ve S = 100 abone olması durumunda bakır kablo tesis maliyeti

a=10 km ve S = 100 abone olması durumunda bakır kablo tesis maliyeti					
S	KULLANILAN		BİRİM	MONTAJ	TUTAR
N	MALZEMENİN CİNSİ	MİKTAR	FİYATI	BEDELİ	(KDVHARİÇ)
1	KPD-APA 100-0.9 kablo	10000 m.	5.35 \$/m	181.557TL/m	17.758.570.000 TL
2	Bekt C	20 Ad.	47 \$/Ad	3.499.598 TL/Ad	350.112.000 TL
3	Yak-2 konnektör	4000 Ad.	0.055 \$/Ad	51.385 TL/Ad	271.096.000 TL
4	Enjekte direk	200 Ad.	122 DM	5.298.428 TL/Ad	5.378.486.000 TL
5	Direk donanım malz.	200 Ad.	18 \$	1.350.000 TL/Ad	1.342.800.000 TL
TOPLAM MALİYET(KDV HARİÇ)					25.101.064.000 TL

Çizelge 12.6 a=10 km ve S = 100 abone olması durumunda F/O kablo tesis maliyeti

a=10 km ve S = 100 abone olması durumunda F/O kablo tesis maliyeti					
S	KULLANILAN		BİRİM	MONTAJ	TUTAR
N	MALZEMENİN CİNSİ	MİKTAR	FİYATI	BEDELİ	(KDVHARİÇ)
1	4'lük F/O kablo	10 km	2694 \$/km	1150 \$/km	11.455.120.000 TL
2	Ek kutusu (3 kaset)	10 Ad.	250 \$/Ad	287.5 \$/Ad	640.700.000 TL
3	Pig-tail	4 Ad.	29.69 \$/Ad	8.847.620 TL/Ad	44.238.100 TL
4	8 Mb/s FOHT	2 Ad..	1.425.000.000 TL/Ad	356.250.000 TL/Ad	3.562.500.000 TL
5	Enjekte direk	200 Ad.	122 DM	5.298.428 TL/Ad	5.378.486.000 TL
6	Direk donanım malz.	200 Ad.	18 \$	1.350.000 TL/Ad	1.342.800.000 TL
TOPLAM MALİYET(KDV HARİÇ)					22.423.844.000 TL

Çizelge 12.5 ve Çizelge 12.6 ile Çizelge 12.1 ve Çizelge 12.2 kıyaslandığında görülüyor ki şebeke mesafesi arttıkça F/O kablonun maliyeti, bakır kablonun maliyetine göre daha da azalmaya başlıyor. Demek ki 10 km.nin üzerindeki tesislerde F/O kablo, bakır kablodan daha ekonomik olmaktadır.

Çizelge 12.7 a=10 km ve S = 1800 abone olması durumunda bakır kablo tesis maliyeti

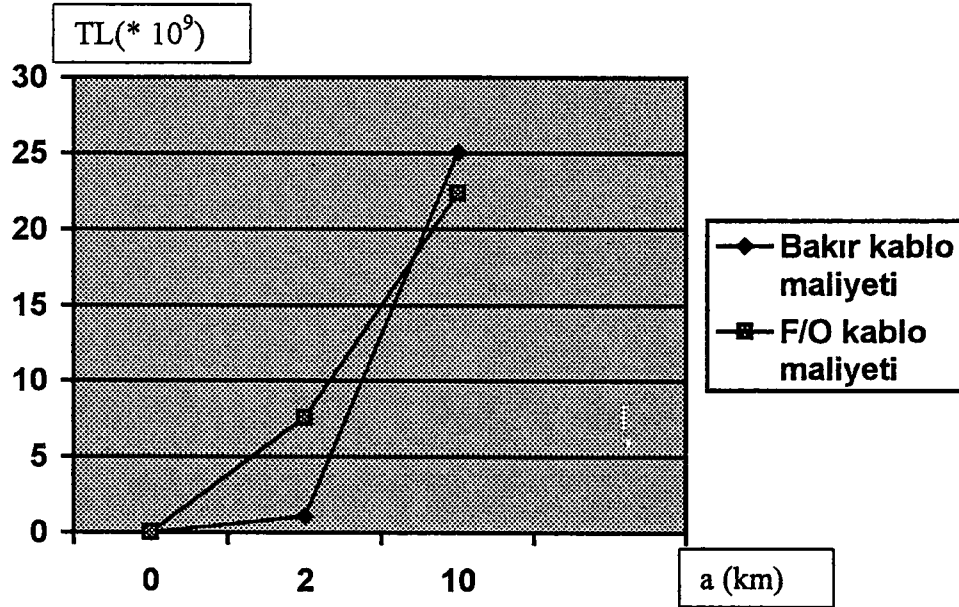
a=10 km ve S = 1800 abone olması durumunda bakır kablo tesis maliyeti					
S N	KULLANILAN MALZEMENİN CİNSİ	MİKTAR	BİRİM FİYATI	MONTAJ BEDELİ	TUTAR (KDVHARİÇ)
1	KPD-APA 100-0.9 kablo (18 Adet)	180.000 m.	5.35 \$/m	181.557 TL/m	319.654.260.000 TL
2	Bekt A	360 Ad.	47 \$/Ad	3.499.598TL/Ad	6.302.016.000 TL
3	Yak-1 konnektör	72000 Ad.	0.055 \$/Ad	51.385 TL/Ad	4.879.728.000 TL
4	Yeraltı tesisi	10000 m.	Malzeme +işçilik 1 m.= 9.850.000 TL)		98.500.000.000 TL
TOPLAM MALİYET(KDV HARİÇ)					429.336.004.000 TL

Çizelge 12.8 a=10 km ve S = 1800 abone olması durumunda F/O kablo tesis maliyeti

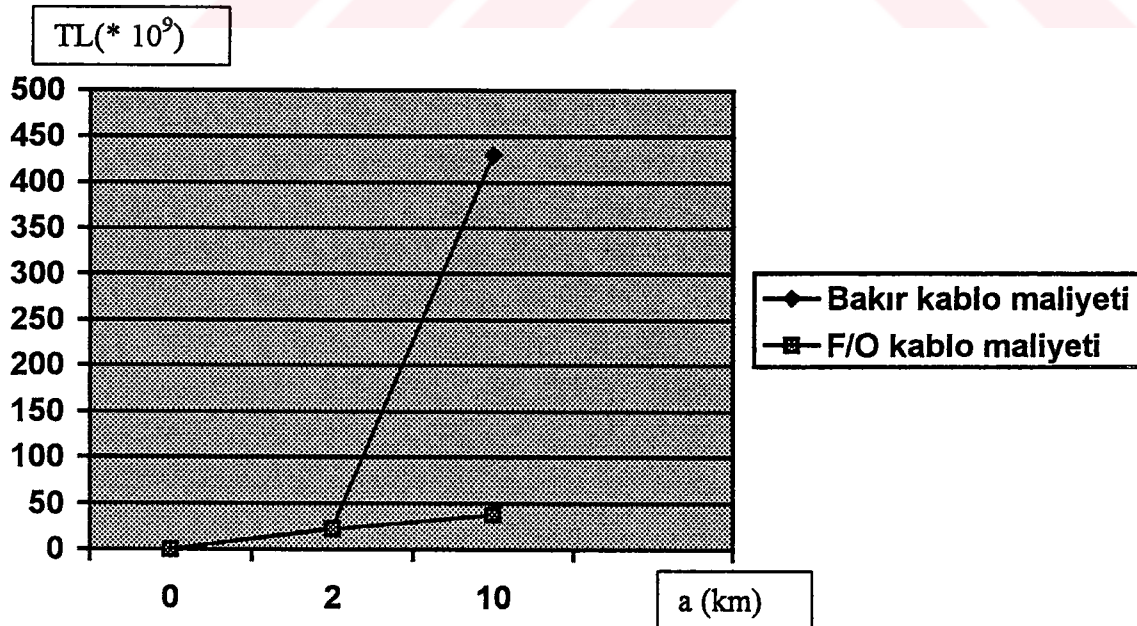
a=10 km ve S = 1800 abone olması durumunda F/O kablo tesis maliyeti					
S N	KULLANILAN MALZEMENİN CİNSİ	MİKTAR	BİRİM FİYATI	MONTAJ BEDELİ	TUTAR (KDVHARİÇ)
1	4'lük F/O kablo	10 km	2694 \$/km	1150 \$/km	11.455.120.000 TL
2	Ek kutusu (3 kaset)	10 Ad.	250 \$/Ad	287.5 \$/km	640.700.000 TL
3	Pig-tail	4 Ad.	29.69 \$/Ad	8.847.620 TL/Ad	44.238.000 TL
4	140 Mb/s FOHT	2 Ad..	7.534.000.000 TL/Ad	1.883.500.000 TL/Ad	18.835.000.000 TL
5	Enjekte direk	200 Ad.	122 DM	5.298.428 TL/Ad	5.378.486.000 TL
6	Direk donanım malz.	200 Ad.	18 \$	1.350.000 TL/Ad	1.342.800.000 TL
TOPLAM MALİYET(KDV HARİÇ)					37.696.344.000TL

Çizelge 12.7 ve Çizelge 12.8 incelendiğinde uzun mesafeli ve abone sayısının fazla olduğu telefon şebekelerinde F/O kablo ile yapılan tesis maliyeti, bakır kablo ile yapılan tesis maliyetinden çok daha az olduğu görülmektedir. Yani bu tür şebekelerin tesisinde F/O kablo kullanmak uygundur. Çizelge 12.7’de, mesafe uzun ve abone sayısı fazla olduğundan zayıflama yönüyle en uygun olan 100-09 bakır kablodan 18 Adet kullanıldı.

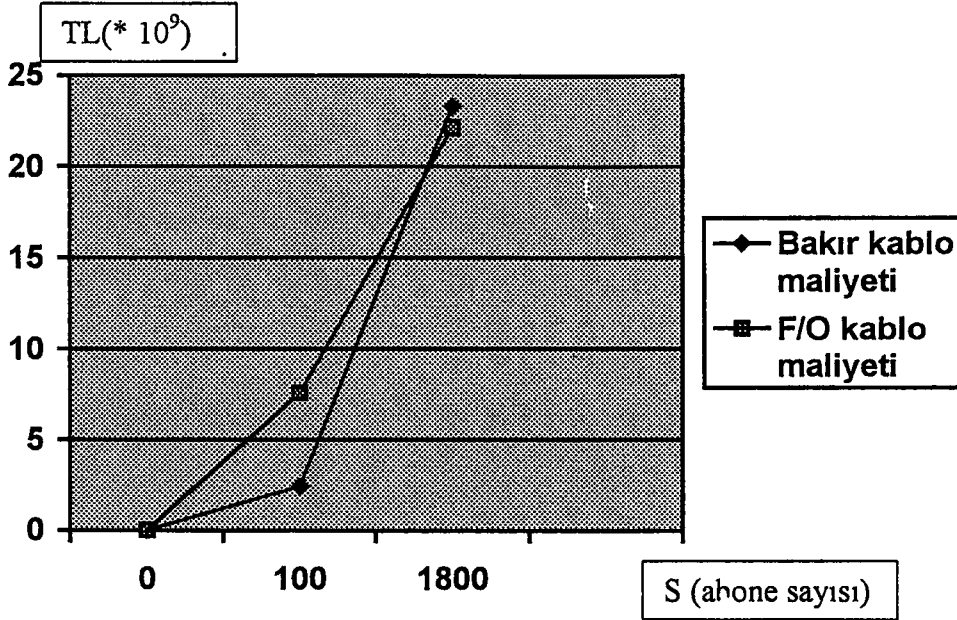
12.3 F/O Kablo ile Bakır Kablo Arasındaki Maliyet Mukayesesinin Grafiklerle Gösterimi



Şekil 12.2 100 abonelik bir telefon şebekesinde bakır ve F/O kablonun maliyet eğrisi Şekil 12.2’de görüldüğü gibi abone sayısının az olduğu bir yerleşim yerinde mesafe az iken bakır kablo, mesafe artıktı F/O kablo ekonomik olmaktadır (abone sayısı sabit). Şekil 12.3’de ise abone sayısının fazla olduğu bir yerleşim yerinde, yine mesafenin artması F/O kabloyu ekonomik kılmaktadır. Burada Şekil 12.2’ye nazaran mesafenin artmasıyla bakır kablonun maliyet eğimi çok fazla artmaktadır.

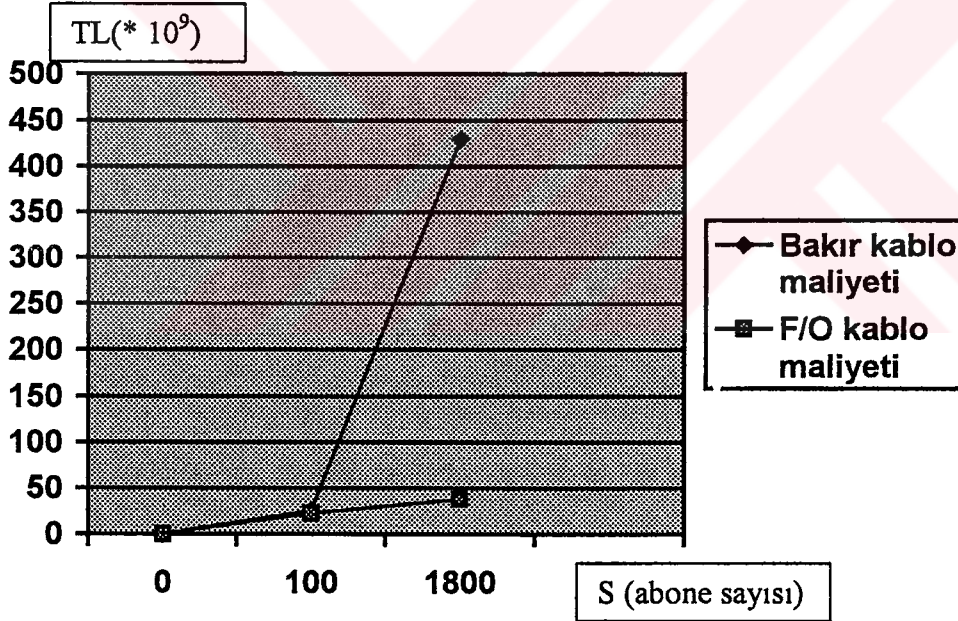


Şekil 12.3 1800 abonelik bir telefon şebekesinde bakır ve F/O kablo maliyet eğrisi



Şekil 12.4 2 km.lik bir mesafede abone sayısına göre bakır ve F/O kablo maliyet eğrisi

Şekil 12.4’de bu kez mesafe sabit tutulup abone sayısı arttığında yine F/O kablo ekonomik olmaktadır.



Şekil 12.5 10 km.lik bir mesafede abone sayısına göre bakır ve F/O kablo maliyet eğrisi

Şekil 12.5’te ise, mesafe sabit (10 km) olmak üzere abone sayısı arttığında bakır kablonun maliyet eğrisinde aşırı bir artış olmaktadır. Burada da yine abone sayısı artması durumunda F/O kablo ekonomik olmaktadır.

13. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bakır tel, eşeksenli kablo gibi elektrik sinyalleri ile ya da R/L, uydu haberleşmesi gibi radyo dalgaları ile yapılan iletişim sistemlerinde varolan dinleme, karışma, gürültü, kapasite ve iletişim hızı düşüklüğü, bantgenişliği x uzaklık çarpanlarının ve esnekliklerinin az olması gibi olumsuz etkileri ortadan kaldıran Optik İletim Sistemi, iletişimde yeni bir dönem açmıştır. Bilgi iletiminde bir devrim olarak nitelendirilen Fiber Optik Kablolarla İletişim, günümüzün haberleşme teknolojisinde önemli bir yer işgal etmiştir.

İdeal denecek derecede saflaştırılmış silikondan oluşan fiber optik damarların iletken ağı kullanıldığı Optik Fiber İletişim, sahip olduğu geniş olanakları ile iletişime büyük kolaylıklar ve kalite getirmiştir. Diğer iletim sistemleri ile kıyaslandığında çok üstün yönleriyle avantaj kazanan Optik İletim Sisteminin yaygınlaşmasıyla, daha kaliteli bir iletim ortamı meydana gelecektir. Bu suretle de, uzun yıllar elektrik işaretlerinin iletiminde kullanılan ve tabiatta kısıtlı bulunan bakır kabloya bağımlılık, ortadan kalkacaktır. Gelişmeler, gelecekte de iletişim ortamı olarak optik fiber damarlar ve üstün iletkenlerin egemenliklerini sürdüreceklere gösterecektir.

Bu nedenle daha kaliteli bir iletim ortamına sahip olmak için, Fiber Optik Kablolarla İletişimin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu maksatla fiber optik kablolar, evlere kadar çekildiğinde internette de çok büyük bir iletim hızına ulaşılacaktır. Yani bu sistemdeki gelişmelere paralel olarak, başka teknolojilerde de büyük gelişmeler olacaktır.

Bir telefon şebekesinde F/O kablo ile bakır kablo arasındaki maliyet mukayesesinde mesafeye bağlı olarak yapılan incelemelerde; kritik mesafe değeri, 100 abonelik şebekede 7 km (Şekil 12.2), 1800 abonelik şebekede ise yaklaşık 2 km (Şekil 12.3) bulunmuştur. Yani 100 abonelik şebekede 7 km.den, 1800 abonelik şebekede ise 2 km.den daha uzun şebekelerde F/O kablonun daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir.

Abone sayısına bağlı olarak yapılan incelemelerde ise; kritik abone sayısı, 2 km.lik mesafede yaklaşık 1000 (Şekil 12.4), 10 km.lik mesafede ise 100 (Şekil 12.5) olarak bulunmuştur. Yani 2 km.lik mesafede 1000 abonenin, 10 km.lik mesafede ise 100 abonenin üstündeki şebekelerde F/O kablonun daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bu maliyet mukayesesinde, mesafe ve abone sayısındaki artışa paralel olarak F/O kablonun bakır kabloya oranla daha ekonomik olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

Akçar, F., (1990), "Fiber Optik Kablonun PTT İşletmesindeki Yeri", PTT Dergisi, Sayı:93, Ankara.

Cora, A., (1990), "Optik Lif Haberleşmesinde Gelişmeler ve Dalga Boyu Bölmeli Çoğullama", Elektrik Mühendisleri Odası (EMO) Dergisi, 35(375), Ankara.

Derin, H. ve Aşkar, M., (1982), İletişim Kuramı (Modülasyon Yöntemleri), ODTÜ Mühendislik Fakültesi, Ankara.

Düşmez, S.K., (1987), Fiber Optik Haberleşme Notları, PTT Genel Müdürlüğü Teknik İşletme ve Bakım Daire Başkanlığı Şebekeler Grup Baş Mühendisliği, Ankara.

Düşmez, S. K., (1991), F/O Eğitim Notları, Hesfibel, Kayseri.

Fiber Optik Kablo Teknik Şartnamesi, (1992), Türk Telekom Genel Müdürlüğü EPYD İ/Ş Fiber Optik Kablolar Grup Baş Mühendisliği, Ankara.

Gür, M. ve Uraz, M., (1991), Fiber Optik Telefon Dağıtım Sistemi (LOC-2 İ) ve Video Dağıtım Sistemi, Raynet International Inc., USA.

Sankur, B. ve İstefandpulos, Y., (1992), "Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Terimleri Sözlüğü Taslağı", EMO Dergisi, 37 (398).

Şaplakoğlu, G. ve Altıntaş, A., (1991), "Fiber Optik İletişim", EMO Dergisi, 36(381), Ankara.

Uenoya, T., (1987), Fiber Optik Kablo Teknolojisinin NTT'de Geçirdiği Evrim, Geçmişte ve Günümüzdeki Gelişmeler, NTT, Japonya.

Wayne, T., (1987), Elektronik Communications Systems, Pratica Hall Englewood Cliffs, New Jersey.

Yarangümeli, D., (1990), Optik Fiber Kablolar Eğitim Notları, STFA Enerkom A.Ş., Ankara.

Yılmazbilek, N., (1988), Fiber Optik İletim Sistemleri ve Ölçü Teknikleri, Waandel and Goltermann Elektronik Ölçü Tekniği Yayınları, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	20.09.1972	
Doğum yeri	Alaca/ÇORUM	
İlköğretim	1981 - 1987	Merkez Sakarya İlköğretim Okulu
Lise	1987 - 1990	Yenimahalle Teknik Lisesi
Lisans	1990 - 1995	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1996 - Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Müh. Anabilim Dalı, Elektrik Programı
Çalıştığı Kurum	1997 - Devam ediyor	Çorum Türk Telekom



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