

15461

ELEKTRİK ALAN BİLEŞENLERİNİN  
FİBER-OPTİK ALGILANMASI

RIZA KARAMÜRSEL

ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ'NE  
ELEKTRONİK ANAİLİM DALINDA YÜKSEK LİSANS TEZİ  
OLARAK SUNULMUŞTUR

ŞUBAT-1991

Yükseköğretim Kurulu  
Dokümantasyon Merkezi

13461

Erciyes Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma, jürimiz tarafından Elektronik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

2013 /1991

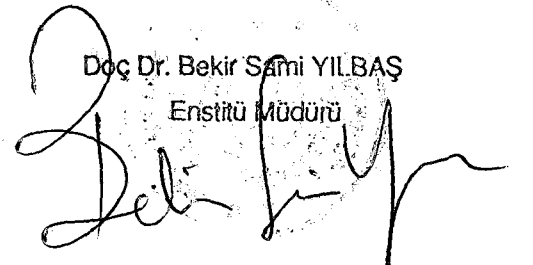
Başkan : Doç.Dr. İbrahim Uzmay  
Üye : Doç.Dr. B. Sami Yılmaz  
Üye : Yrd.Doç.Dr. Kenan Damişmen

Onay:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

2913 /1991

Doç Dr. Bekir Sami YILBAŞ  
Enstitü Müdürü



## ÖZET

Bu çalışmada, fiber optik kablo ve elektrik alan bileşenlerinin fiber optik algılanması, fiber optik algılama kavramı prensipleri ve teorisi incelenerek elektrik alan bileşenlerinin fiber optik algılamaları ile ilgili yöntemler araştırılmıştır.

Çalışma yedi bölümden meydana gelmiştir. Birinci bölümde, optik fiberin tarihçesi ve günümüze intikali; ikinci bölümde, fiber optikin yapısı, zayıflaması, ışığın yayılması, çeşitleri, avantajları, dezavantajları, bant genişliği, uygulama alanları ve bunlarla ilgili terimlerin açıklaması; üçüncü bölümde, fiber optik kablunun iletişim sisteminde uygulama alanları ve bunlarla ilgili sistemlerin çalışma prensipleri; dördüncü bölümde, bu kablo ve sistemlerin günümüz haberleşmesindeki yeri ve haberleşmede bunlarla birlikte kullanılan elemanlar ve bu elemanların alıcı ve verici duyarlılığı, modülasyon frekansları, led'ler ve laser diyodun, foto diyodun optik fiber üzerinde kullanımı ve kolaylıkları incelenmiştir. Beşinci bölümde, vericiler, optik fiberin elektromanyetik dalga spektrumu çizilerek incelenmiştir. Altıncı bölümde, fiber optiklerin pratik algılamalar için kullanımı örneğin UI (Termik), basınç, sistem teorisi ve iletişimleri; yedinci bölümde, elektrik alan bileşenlerinin fiber optik algılanması ve bunlarla ilgili maddeler ile fiziksel prensipleri incelenmiştir.

## ABSTRACT

In the present study, optical sensing of fiber optic cables and their electrical field components were examined. Methods which are related to the fiber optic sensing were investigated.

In the first chapter, historical development of fiberoptic was presented.

In the second chapter, following properties of fiberoptic were studied: These are structure, damping, bandwidth, types, advantages and disadvantages. In addition, application areas of optical fiber and distribution of light in the fiber optic were studied.

In the third chapter, telecommunication system which is using fiberoptic cables was discussed.

In the fourth chapter, components of receiver and transmitter in the fiberoptic transmission system were examined.

In the fifth chapter, electromagnetic wave spectrum of fiberoptic transmitter system was plotted and examined.

In the sixth and last chapter, using fiberoptics for practical sensing i.e. UI (thermic), pressure and system theory and transmission were examined with physical principles.

## ÖZGEÇMİŞ

Rıza Karamürsel 1958 yılında Kayseri (Başakpınar)'de doğdu. İlkokul öğrenimini Başakpınar İlkokulunda, orta öğrenimini Talas Ortaokulunda, Lise öğrenimini Kayseri Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümünde tamamlayıp, 1976 yılında mezun oldu. Aynı yıl Kayseri PTT Bakım merkezi müdürlüğünde Kranpörtör Teknisyeni olarak göreve başladı. 1978 yılında Kayseri Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik bölümüne girdi. Mart 1983 yılında mezun oldu. Bu dönem içerisinde Teknisyen olarak çalıştığı PTT'de bundan sonra Mühendis olarak görevine devam etti. 1988 yılında Kayseri PTT Telefon Müdürü oldu. Halen bu göreve devam etmektedir.

## TEŐEKKÖR

Bu alıőma esnasında gerek konu seçiminde, gerekse çalıőmamın bütün safhalarında, bilgi ve yardımlarından sürekli faydalandığım hocam Doç. Dr. Bekir Sami YILBAŞ ve Yrd. Doç. Dr. Sedat ÖZSOY'a Őranlarımı sunarım.

Çalıőmalarım sırasında, çalıőmalarım ile yakinen ilgilenen Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa ALÇI ve Dr. Cebrail İFTLİKİ'ye, Elektronik ve Makina Bölümü öğretim üyelerine, daktilosunda ve düzenlenmesinde emeği geçen bütün personelime teőekkürü bir vazife addeder saygılar sunarım.

*Rıza KARAMÖRSEL*

## İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
1.1. Fiber optiğin tarihçesi .. .....	1
1.2. Bu çalışmanın amacı .. .....	1
BÖLÜM 2 Fiber Optik'in Gelişmesi ve Çalışma Prensipleri .....	2
2.1. Optik Fiberin yapısı . .....	2
2.2. Optik fiberler . .....	2
2.3. F.O. Zayıflama .....	3
2.4. F.O. Kabloda ışığın yayılması ... .....	4
2.5. Fiber Optik Kablo tipleri ... .....	5
2.6. Fiber Optik Kablo'ların eklenmesi.....	5
2.7. Fiber Optik kablounun avantajları-dezavantajları .....	6
2.8. Kesim Dalga boyu .....	7
2.9. Bant Genişliği .....	8
2.10. Kabul açısı .....	8
2.11. Uygulama alanları.....	8
2.12. Fiberoptik Şebeke çeşitleri.....	9
2.13. Fiber optik Terimler.....	10
BÖLÜM 3. Fiber optik sistemleri.....	12
3.1. Giriş.....	12
3.2. F.O. ileşim sisteminin çalışması.....	12
BÖLÜM 4. Optik haberleşme ile ilgili elemanlar.....	14
4.1. Optik Kuplörler.....	14
4.2. Fiber optik kuplörler.....	14
4.3. Aktif Elemanlar.....	17
4.4. Absorbsiyon.....	17
4.5. Emisyon.....	17
4.6. Alıcı duyarlılığı.....	18
4.7. Verici gücü.....	19
4.8. Spektral genişlik.....	19
4.9. Optik gücün sürme akımına bağımlılığı .....	19
4.10. Modülasyon frekansı.....	20
4.11. Led.....	20
4.12. Laser diyod.....	22
4.13. Laser Modülü.....	27

4.14. Dedektörler.....	28
4.15. DIN Fotodiyod.....	29
4.16. RCA C 30818 E silikon (APO) Diyot ve özelliği.....	31
BÖLÜM 5. Optik sinyalin dönüştürülmesi.....	32
5.1. Vericiler.....	33
5.2. Elektromanyetik dalga spektrumu.....	34
BÖLÜM 6. Fiber Optiklerin pratik algılamalar için kullanımı.....	35
6.1. Giriş.....	35
6.2. Temel Fiber İletimi.....	35
6.3. Isı Algılaması.....	36
6.4. Basınç Algılaması.....	37
6.5. Sistem Teorisi.....	38
6.6. İletişim Sistemi.....	39
BÖLÜM 7. Elektrik Alan Bileşenlerinin Fiber Optik Algılaması.....	41
7.1. Giriş.....	41
7.2. Fiziksel Prensipten.....	41
7.3. Algılama Maddeleri.....	45
7.4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma.....	46
İrdeleme.....	48
Sonuç.....	49
Kaynaklar.....	50



## 1. GİRİŞ

### 1.1. FİBER OPTİĞİN TARİHÇESİ

Işığın bilgi gönderme -alma ya da kısaca bir haberleşme aracı olarak çok eskiden beri kullanıldığı bilinmektedir. Buna Amerikan yerlilerinin kullandığı duman işaretlemesini, güneş ışığını yansıtan bronz aynaları, geceleri gemilere yol göstermek için kullanılan fenerleri, savaş esnasında bir donanmadaki gemilerin kendi aralarında optik morsa işaretleriyle haberleşmelerini örnek olarak verebiliriz.

Daha sonra telgraf, telefon, radyo haberleşmesi gibi profesyonel haberleşme sistemleri ortaya çıktıkça, optik haberleşme vasıtaları unutulur gibi olmuştu. Fakat 1960'lı yıllardan sonra bu sahada da bir takım kıpırdanmalar görüldü. Nitekim bu yıllarda özellikle 1970'li yıllara doğru camın hammaddesi silisyumdan çekilen liflerin ışığın yayılması için bir iletim ortamı olabileceği laboratuvar çalışmaları, bazında da olsa ispatlandı. Ancak ilk anda kayıplar çok yüksek görünüyordu ve bu yüzden ticari maksatlarla kullanılmaya henüz elverişli değildi. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak bu kayıplarında üstesinden gelinerek, optik fiberler bugün artık en popüler haberleşme ortamlarından biri haline gelmiştir. 1970 yılında (800-900 nm)'lik dalga boyu bölgesinde optik liflerdeki zayıflama 20 dB/km civarında iken, sonraki on yıl içinde bu bölgedeki zayıflama 2 dB/km'ye kadar düşürüldü. Bugün 1,3 µm ve 1,55 µm'lik dalga boylarına karşı gelen pencelerlerdeki kayıplar 0,4 ve 0,2 dB/km'ye kadar inmiş durumdadır. Bu ise özel optik kaynak ve alıcıların da kullanılmasıyla, 100 km'yi aşan mesafeler için araya herhangi bir tekrarlayıcı koymadan iletim yapabilme imkanı sağlamıştır. Optik fiberlerin diğer iletim ortamları üzerinde olan üstünlüğü aşağıdaki örneklerle daha iyi anlaşılabilir. [1]

Bir kilometre üzerinde bilgi taşıma kapasiteleri:

Bakır teller	: 1 MHz
Koaksiyal kablo:	:100 MHz
Tek modlu fiber kablo	: 100000 MHz

1 MHz'lik işaret için gücün yarıya düştüğü mesafe:

Bakır kablo çifti	: 250 m
Koaksiyel kablo	: 1000 m
Tek modlu fiber kablo	: 10000 m

Görüldüğü gibi zayıflamalardaki büyük azalma yanında optik fiberler band genişliği açısından da büyük bir kapasiteye sahiptirler.

### 1.2. ÇALIŞMANIN AMACI

Gelişen teknoloji, günümüzde haberleşme teknolojisini de ileri bir yere getirmiştir.

Geçmiş yıllarda haberleşme alanında kullanılan metal Kablolü haberleşme sistemleri; gerek maliyetlerinin yüksek, bakımlarının zor ve, gerekse haberleşme ağına görülen zayıflamalar nedeni ile yetersiz kaldığı açıkça görülmüştür. Bu nedenle bu arzu edilmeyen durumları ortadan kaldırmak ve haberleşme ağına daha sadelik sağlamak amacı ile Lazer diyodlar, Fiber Optik iletiler ve Optik modülatörler gibi yeni sistemlerin kullanılması kaçınılmaz olmuştur.

Bu çalışmada haberleşme teknolojisine dönük bir fiber Optik sistem, çalışma prensibi ve ilgili kısımları tanıtılmış ve açıklanmıştır. Bu amaca uygun olarak haberleşme sisteminde kullanılan Fiber Optik kablolar (Bu kablolardaki iletim şekilleri) ve Fiber optik haberleşmede kullanılan modülatörler açıklanmıştır.

Sonuç olarak fiber optik haberleşmenin üstünlükleri ve bu alandaki yeni gelişmeler verilmiştir.

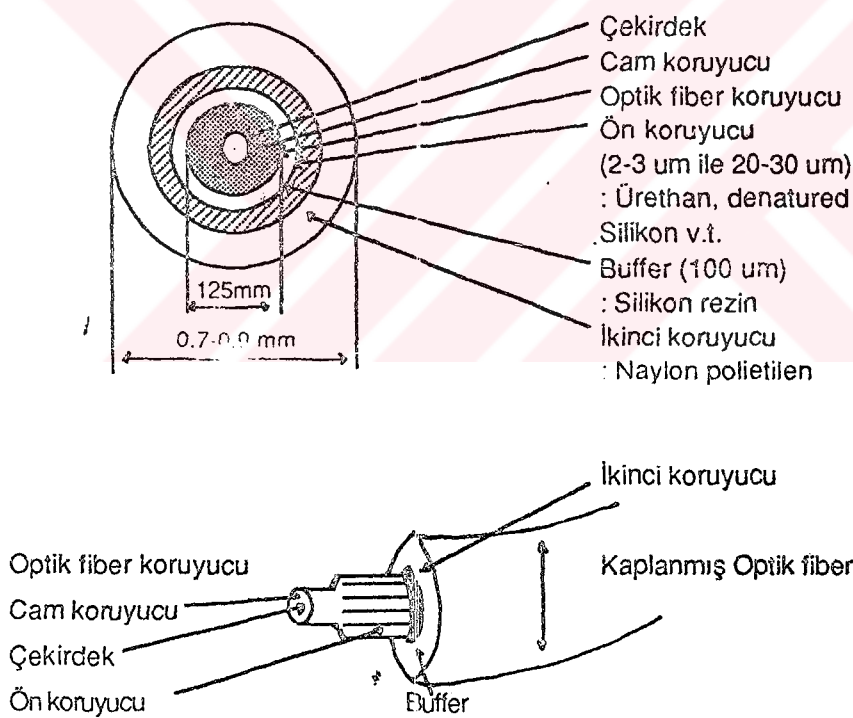
## 2. FİBER OPTİK'İN GELİŞMESİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

### 2.1. OPTİK FİBERİN YAPISI

Fiber optik kablo Şekil: 1.1'de görüldüğü gibi merkezde bir çekirdek, çekirdek üzerinde yine camdan oluşan tabaka (cam koruyucu) cladding, üzerinde ön koruyucu ve onun üzerinde de ikinci koruyucu tabakadan oluşmaktadır. Işığın esas yayıldığı (geçtiği) bölge çekirdektir. Ülkemizde kullanılan fiber optik kablonun çekirdek çapı 10 (metrenin milyonda biri) cladding tabakasının çapı 125, koruyucu tabakanın ki ise 250 mikrometredir.

Işığın geçmesini sağlayan esas etken camın kırılma indeksidir. Gelen ışığın en az kayıpla diğer uca ulaşabilmesi için çekirdeğin kırılma indeksi çekirdek üzerindeki camın kırılma indeksinden büyük olması gerekmektedir. Cladding tabakasının üzerinde bulunan plastik tabaka ise çok saf olan cam kristalin esnekliğini sağlamak ve dış etkilerden korumak için konulmuştur. 250 mikrometre kalınlığındaki fiber, yine cam elyafından yapılmış buffer (tampon) tüp içine esnek şekilde, yani fiberin tüp içerisinde rahat hareket edebileceksneklikte yerleştirilmiştir.

Her buffer tüp bakır servis devresi ile beraber belli açıda bunun üzerine yine cam elyafından yapılmış kefler ile iyice sarılarak kablonun rutubet, su ve diğer yabancı maddelerden korunması için üzerleri yağ ile kaplanmıştır. Kefler ile sarılmış fiberler üzerine dış kılıf kaplaması yapılarak koruma altına alınmıştır. [1,2,3,4]

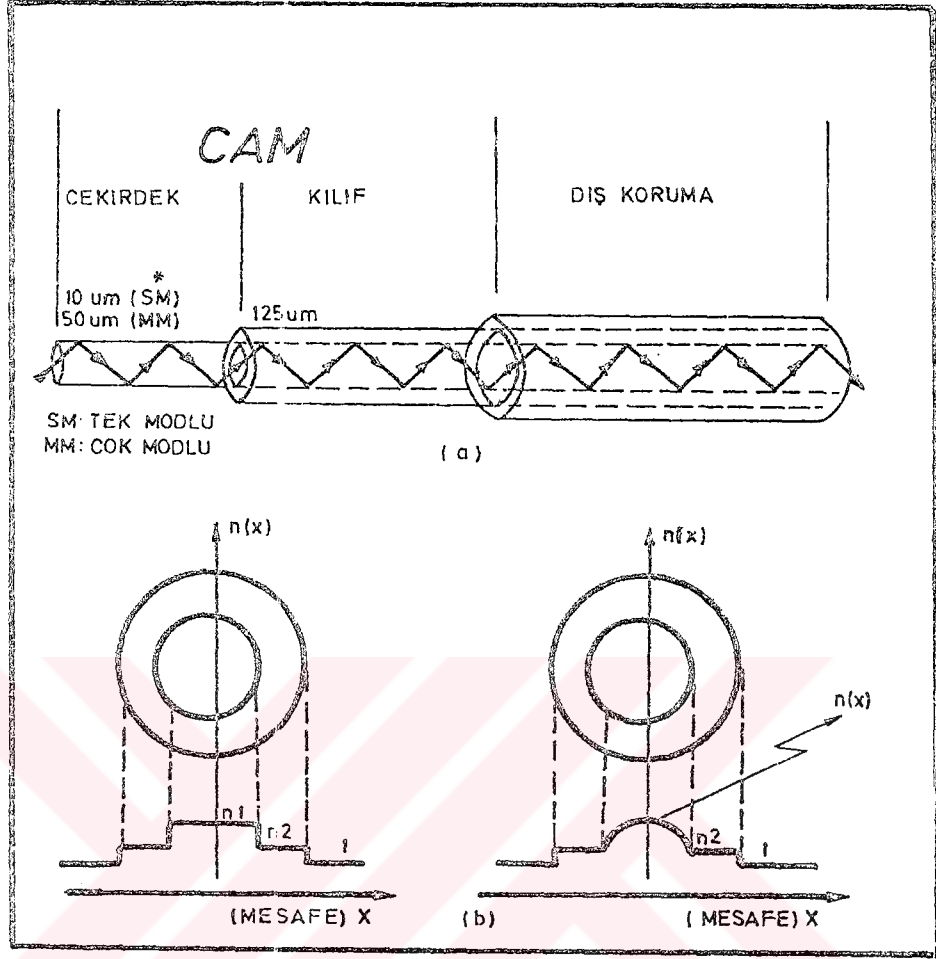


Şekil: 1.1. Fiber Optik kablo iç yapısı.

### 2.2. OPTİK FİBERLER:

Fiber liflerin kesitleri, dairesel olup, bir çekirdekle bunu çevreleyen kılıftan ibarettir. Fiberlerin yapımında bugün yaygın olarak Germanyum, Fosfor veya Flor gibi katkı iyonlarıyla kırılma indislerinde değişiklik yapılabilen saf cam ( $SiO_2$ ) kullanılmaktadır. Telekomünikasyon uygulamalarında kullanılan fiberlerde dıştaki kılıfın çapı 125 µm dir. Çekirdeğin çapı çok modlu lifler için 50 µm ve tek modlu lifler için 10 µm civarındadır.

Bundan başka plastikten yapılan fiberlerde mevcuttur. Ancak bunlardaki zayıflamalar daha fazla olduğundan silisyum fiberler kadar yaygın değildir. Optik liflerin ışığı iletebilmesi için çekirdek kısmının kırılma indisinin kılıf kırılma indisinden biraz daha büyük olması gerekir. Tek modlu fiberlerde çekirdek kılıf arasındaki kırılma indisi profili basamak biçimindedir. Yani çekirdekten-kılıfa ya da kılıftan-çekirdeğe geçerken ani bir indis değişimi gözlenir. Şekil: 1.2

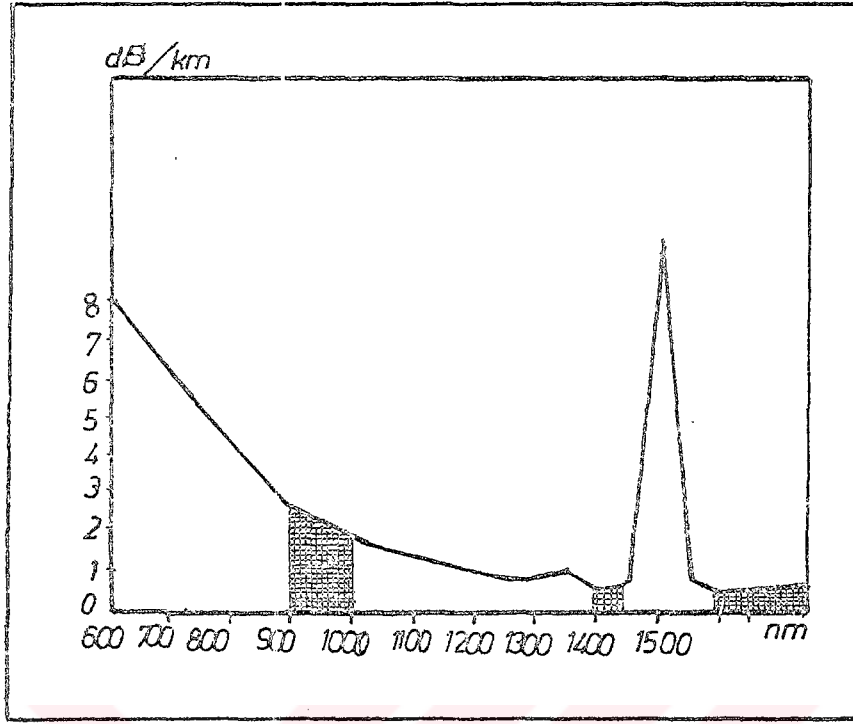


Şekil: 1.2. Fiber Optik Kabloda Işığın İletimi.

Çok modlu ya da değişken- indisli fiberlerde kırılma indisi profili çekirdeğin merkezinde belli bir maksimumdan başlayarak çekirdek-kılıf sınırına kadar yavaşça azalarak gider (Şekil: 1.2) Çok modlu fiberlerdeki kırılma indisinin bu şekilde çekirdek merkezinden başlayarak azalması, ışığın yayılması esnasında meydana gelen dağılmayı mümkün olduğu kadar azaltmak maksadıyladır. Optik liflerin iletim ya da ışığı taşıma özellikleri şu parametrelerle karakterize edilir. Zayıflama, band genişliği, kabul açısı ve kesir dalga boyu.

### 2.3. O.F ZAYIFLAMA dB/Km:

Şekil: 1. 3'de görülebileceği gibi fiber zayıflama, kullanılan ışığın dalga boyuna göre değişir. Bugün 850 nm, 1300 nm, ve 1550 nm dalga boylarında çalışan sistemler mevcuttur. Bu dalga boyu bölgeleri yaygın olarak birinci, ikinci ve üçüncü pencere olarak adlandırılır.



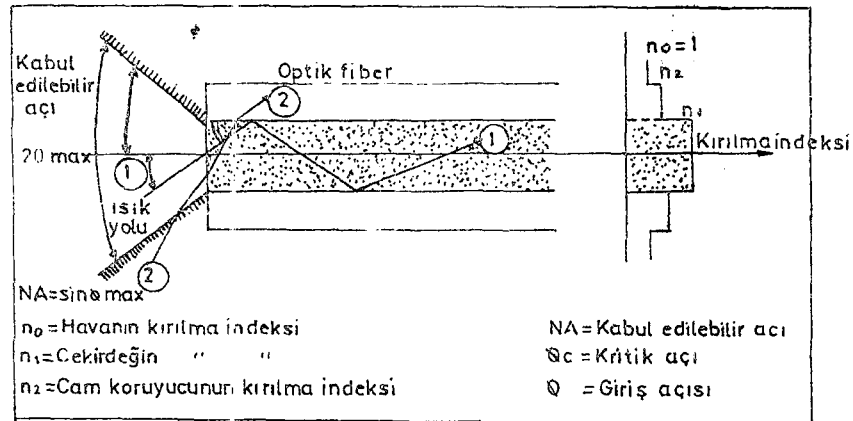
Şekil: 1.3 Fiber Optikte kullanılan ışığın dalga boyuna göre zayıflaması.

#### 2.4. FİBER OPTİK KABLODA IŞIĞIN YAYILMASI

Optik fiber kablo iki değişik kırılma indeksine sahip tabakadan oluşmuştur. Çekirdek tabakası saf kristal olup, kırılma indeksi cladding tabakasının kırılma indeksinden daha büyüktür.

Işığın çekirdek içinde az kayıpla yoluna devam edebilmesi için çekirdek çapının düşük ve kırılma indeksinin cladding tabakasının kırılma indeksinden büyük olması, diğer taraftan ışık kaynağından gelen ışığın çekirdek eksenine ile yaptığı açının (kabul edilebilir açıklık-NA)  $11^\circ$ 'nin altında olması gerekmektedir. Şekilde de görüleceği üzere 1 nolu ışık kabul edilebilir açıklıkta geldiğinden yoluna çekirdek tabakasında kırılarak devam etmektedir. Buna karşılık 2 nolu ışık kabul edilebilir açıklığın dışında bir açı ile geldiğinden ışık çekirdek tabakasında kırılma uğramadan cladding tabakasından dışarı doğru çıkacak ve çekirdek içinde yoluna devam edemeyecektir.

Işığın optik fiberde yoluna devam edebilmesi için gelen ışığın kabul edilebilir açıklıkta gelmesi, fiber optik çekirdeğinin saf ve temiz olması, çekirdek kalınlığının az ve çekirdek kırılma indeksinin cladding tabakasının kırılma indeksinden büyük olması gerekmektedir. Şekil: 1.4 'de fiber optik kabloda ışığın nasıl yayıldığı görülmektedir.

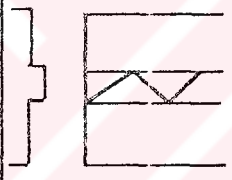
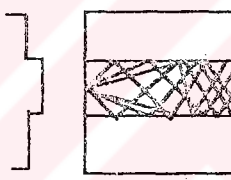
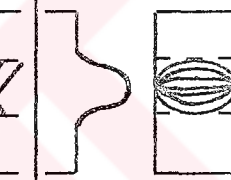


Şekil: 1.4 Fiber Optik Kabloda Işığın Yayılması.

## 2.5. FİBER OPTİK KABLO TİPLERİ

İlk yapılan fiber optik kablo türlerinden olan Step-index fiberler maksimum 50 MHz/Km band genişliğindedir. Çekirdeğin kırılma indeksi homojen dağılmakla beraber çekirdek daha büyük çapta yapılmış, ancak bu durum mod bozulması oluşumuna neden olmaktadır. Yani çekirdek üzerinden birden fazla ışık aynı anda ve aynı hızla yayılım göstermektedir. Çekirdeğin çapı 40 ile 100 mikrometre arasındadır.

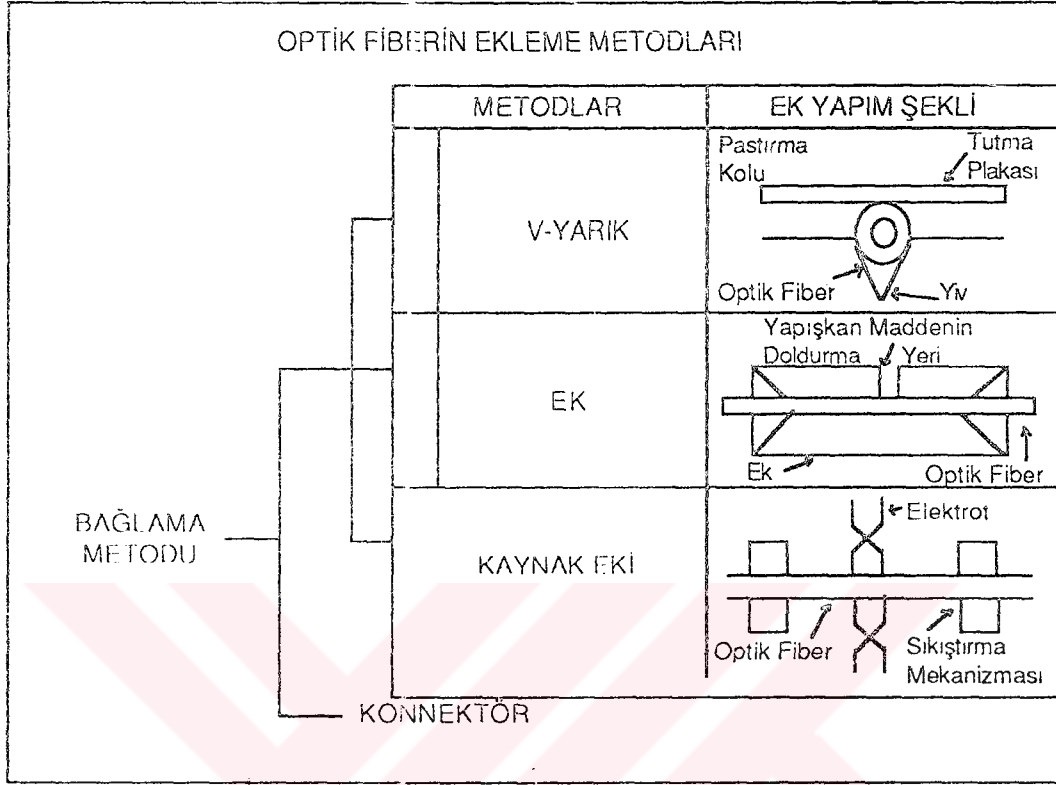
Graded-index fiberlerde ise çekirdek yapısı farklı olup, çekirdek merkezine doğru kırılma indeksi farklılığı görülmektedir. Dolayısıyla gelen değişik açılardaki ışıklardan merkezdekiler en yavaş en dışakiler ise en hızlı olacak şekilde dizayn edilmiş ve dolayısıyla ışığın bozulması önlenmiş olmaktadır. Çekirdek çapı diğer fiberler aynı olmasına karşın 6 GHz/Km band genişliğinde çalışabilmektedir. Şekil: 1.5'de optikal fiberin tipleri görülmektedir. En son yapılan ve single mode (tek mod) olarak adlandırılan fiber kablo çekirdek kalınlığı 10 mikrometreye düşürülmüş, çekirdeğin kırılma indeksi düzgün dağıtılarak ışığın kırılmadan geçmesi sağlanmış ve kayıplar daha da düşürülmüştür. Bu tip fiberlerde 100 GHz veya daha büyük band genişliklerinde çalışabilmektedir. [4]

OPTİKAL FİBERİN TİPLERİ			
	TEK MODLU FİBERLER	ÇOK MODLU FİBERLER	
		Step-indeks tip	Grade-İndeks tip
KIRILMA İNDEKSİNİN DAĞILIMI ve IŞIĞIN YAYILMASI			
ÇEKİRDEK ÇAPI	10 um	40-100 um	40-100 um
İZAFİ KIRILMA İNDEKSİ FARKI	%0.1-0.3	%0.8-3	%0.8-1.5
TRANSMİSYON BAND GENİŞLİĞİ	10 GHz./km veya daha fazla	10 -15 MHz/km	200-300 MHz/km ile 5-6 GHz/km

Şekil: 1.5 Fiber Optik Kablo Tipleri.

## 1.6. FİBER OPTİK KABLULARIN EKLENMESİ

Optik kabloların kullanılmaya başlanması ile bu kabloların eklenmesi için her geçen gün yeni metodlar geliştirilmektedir. Şekil: 1.6'da yapıştırma ve kaynak metodu olmak üzere iki tip ek metodu gösterilmiştir. Yapıştırma metodunda fiberlere göre hazırlanmış yarıklara fiberler yerleştirilir ve fiberin kırılma indeksine yakın bir yapışkan ile fiberler yapıştırılarak ek yapılmış olur. PTT'de kullanılan metod ise kaynak metodu olup, fiberler ek makinasında uygun şekilde yerleştirildikten sonra elektrotlara akım verilerek fiberler birbirleri ile kaynatılarak eklenir.



Şekil 6.1 Yapıştırma ve Kaynak Metodu.

## 2.7 FİBER OPTİK KABLONUN AVANTAJLARI - DEZAVANTAJLARI

### A- ÜSTÜNLÜKLERİ

- Çok küçük dalga boyunda, küçük boyutlu ışık kaynakları ve dedektörler kullanılmaktadır.
- Fiber kablounun bakır kablolara göre kesit ve ağırlıkları çok düşüktür.
- Bilgi hızı bakır kablolara göre çok yüksek olup, kanal kapasitesi yüksektir.
- Elektriksel etkileşme (Cross-talk) yoktur.
- Yüksek gerilim ihtiva eden yerlerde rahatlıkla kullanılabilir, etkileşme yapmaz.
- Gizlilik derecesi yüksektir.
- Cam materyali tabiiatta çokca bulunduğundan, maliyet düşüktür.
- Kilometrik kaybı diğer iletim hatlarına göre çok düşüktür.
- Tekrarlama aralığı yüksek olup, uzak mesafe kablo tesisine müsaittir.
- Gürültüden etkilenmez.
- Elektromanyetik etkileşim yoktur.
- Topraklama problemi yoktur.



-Fiberler buffer tabakanın içinde serbest dolaştığından dış mekanik baskılardan etkilenmez.

Servis kalitesi yüksektir.

- Kısa mesafelerde ek yapmadan kablo tesisi yapılabilir

## B. DEZAVANTAJLARI

- Haberleşme mesafesinin çok kısa olduğu durumlarda ve yeterince düşük hızlarda optik haberleşme sistemleri maliyet açısından daha pahalı olabilir. Bunun sebebi kaynak olarak kullanılan laser ve LED diyodlarıyla, algılayıcıların maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Mesela 1987 yılı itibarıyla herhangi bir ısıtılabilir olmayan laser diyodunun tipik fiyatı 1000-1500 dolar civarındadır. Isıtılabilir olduğu gibi yüksek hızlarda ve uzun mesafelerde bunun hiçbir önemi kalmaz ve optik haberleşme sistemleri maliyet açısından da avantajlı duruma geçer.

- Diğer haberleşme sistemlerinde olduğu gibi henüz tam bir standartlaşmaya gidilememiştir

- Kaynak ve algılayıcıların çalışma ömürleri sınırlıdır.

- Yeni tekniklerin kullanılmasına ihtiyaç vardır [5]

### 2.8: KESİM DALGA BOYU $\lambda_c$ ; nanometre:

Bu parametre ise yalnızca tek modlu fiberler için belirtilen bir parametredir ve fiberin tek modlu olarak çalışabilmesi için mümkün olan minimum dalga boyu değeridir. Şayet fiberin uyarılması için belirlenen kesim dalga boyundan daha kısa dalga boyu kullanılırsa, tek modlu fiber, çok modlu fiberler gibi davranmaya başlayacaktır.

Şekil: 1.8'de tek modlu ve çok modlu fiberlerin karakteristiklerinin bir özeti verilmiştir. Burada verilen değerler ticari maksatlarla kullanılan optik fiberlerde bulunabilen değerlerdir. Bunlardan başka günümüzde 1550 nm de kullanılan zayıflamaları çok düşük (0,15 dB/km) fiberler uzun mesafe ve büyük band genişliklerinin istendiği durumlar için tercih edilmektedir.

	MM	SM
Kılıf çapı ( $\mu m$ )	125	125
Bandgenişliği (MHz/Km)	$<2$	$<100$
Zayıflama (dB/km)	3 veya 1	0,5
Kabul açısı	0,2	-----
Kesim dalga boyu (nm)	-----	$<1300$

Şekil: 1.8 Tek Modlu ve Çift Modlu Fiberlerin Karakteristikleri.

## 2.9: BAND GENİŞLİĞİ MHz/km:

Daha önce de belirtildiği gibi fiberlerin band genişliği üzerine gelen sınırlama, ışığın dağılması nedeniyledir. Çok modlu fiberler için modlararası dağılıma baskın olduğundan band genişliği de etkin olarak modlararası dağılmaya bağlıdır.

Diğer dağılıma tipi olan kromatik dağılıma ise özellikle tek modlu liflerde band genişliği üzerine sınırlama getiren önemli bir etkidir. Kromatik dağılıma etkisini hesaba katmak için ışık kaynağının spektral genişliğinin bilinmesi gerekir.

## 2.10: KABUL AÇISI N.A Numerical Aperture:

Bu yalnızca çok modlu lifler için hesaplanan ve kaynaktan alınan ışığın fibere hangi oranla veriminde kopye edildiği hakkında bilgi veren bir katsayıdır. Işığın fibere gireceği açının maksimum değerinin sinüsü alınarak bulunur.

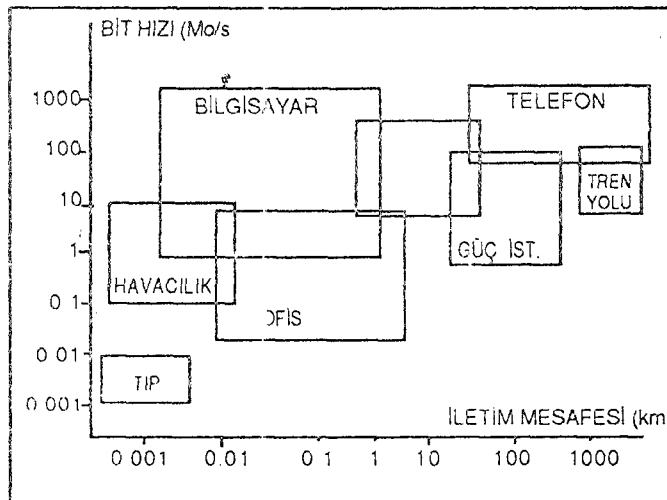
## 2.11. UYGULAMA ALANLARI

Fiber optik haberleşme sistemlerinin zayıflamasının çok az, band genişliğinde çok yüksek olması bu sistemlerin yüksek hızlı data iletimi, telefon haberleşmesi, video işaretinin iletimi, kablolu TV v.b gibi sistemlerde tercih edilir hale gelmesine sebep olmuştur. Bunlardan başka bazı özel uygulamalarda şöylece not edilebilir.

- Askeri uygulamalar (gürültüden etkilenmemesi, küçük hacimli olması)
- Banka uygulamaları (data şebekelerine yapılabilecek kaçak girişlere karşı emniyetli olması)
- Patlayıcı madde ortamlarında (kısır devre gibi bir sorun olmaması)
- Güç istasyonları (gürültüden bağımsız ve sağlam izolasyonlu olması)
- Proses kontrol (gürültüden bağımsız ve küçük hacimli olması)

Aşağıda Şekil: 1.9'da mümkün olan uygulamaların hız ve uzunluk parametrelerine göre değişimleri verilmiştir. Şu anda fiber optik haberleşme sistemlerinin en yaygın olarak kullanıldığı saha telefon ve data haberleşme sistemleridir.

Telekomünikasyon uygulamalarına bakıldığında üç farklı sistem görülebilir. Bunlar, abone ya da LOCAL şebeke, santraller arası bağlantı yani JONKSİYON şebekesi ve nihayet uzun mesafe haberleşmeleri için TRUNK şebekeleridir. [4]



Şekil: 1.9 Mümkün olan uygulamaların hız ve uzunluk parametrelerine göre değişimi.



## 2.12: FİBER OPTİK ŞEBEKE ÇEŞİTLERİ

### a) TRUNK ŞEBEKELERİ

Koaksiyel kablolarla yapılan iletim işlemlerinde genellikle frekans bölmeli çoğullama prensibi kullanılıyordu. Daha sonra sayısal tekniklerin artmasıyla beraber PCM sistemleri baskın çıkmaya başladı. Özellikle uzun mesafe haberleşme sistemleri sayısal mikrodalga iletimini kullanıyordu. 1980'li yıllardan sonra ise uzun mesafe ve yüksek hızların söz konusu olduğu yerlerde fiber optik haberleşme sistemleri diğer kablo ortamları ve mikro dalga ile haberleşme sistemlerine göre birçok üstünlükleriyle beraber kullanılmaya başlandı. Şu anda ise pek çok ülkede telefon haberleşme sistemleriyle data haberleşme sistemlerinde artık tamamen fiber optik haberleşme sistemleri kullanılmaktadır.

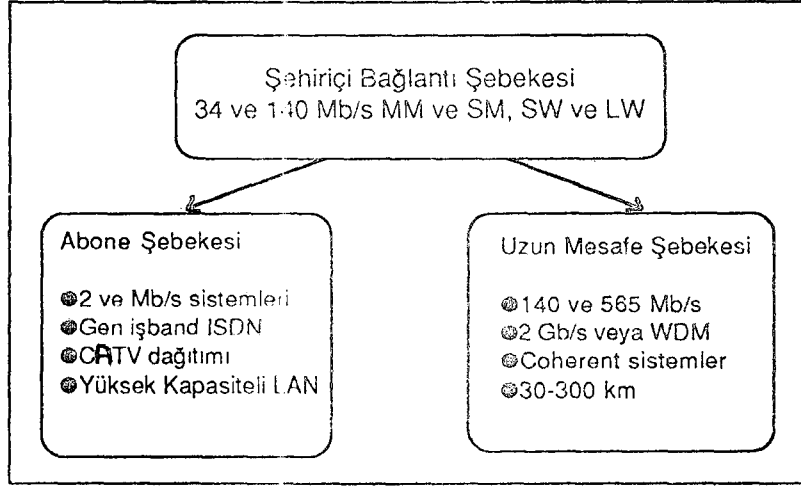
### b) JONKSİYON ŞEBEKELERİ

Son on yıla kadar analog santrallar arasında genelde iki telli iletim ortamları yaygındı. Daha sonra bu ortamlardaki zayıflama etkilerini azaltabilmek için dijital PCM santrallar kullanılmaya başlandı. Şu anda büyük şehirlerde santrallar arasındaki iletim ortamlarının çok büyük bir kısmı bakır kablolardır. Bunlar bilgi kapasitelerinin az olmalarından dolayı, hem maddi açıdan zorluk problemlidir. Mesela İstanbul gibi haberleşme trafiği çok yoğun olan bir şehirde iki santral arasındaki bağlantıyı kurabilmek için belki yüzlerce, hatta binlerce kablo çiftini çekmek gerekmektedir. Bunların toprak altı kanallardan iletilmesi gerekir. Bu da başlı başına bir sorundur. İşte bu gibi sorunlara büyük kolaylıklar getiren fiber kabloların iletim ortamı olarak kullanılmasıyla, hem doğal olarak küçük olan hacimlerinden, hem de çok yüksek bilgi taşıma kapasitelerinden istifade edilebilecektir. Kaba bir rakam söylemek gerekirse, bir kaç yüz tane bakır kablonun göreceği iş tek bir fiber kabloyla halledilebilecektir. Fiber kabloların izolasyonlarının çok sağlam olması nedeniyle, taşınmaları, aktarılmaları daha kolaydır.

### c) LOKAL ŞEBEKE

Bugün lokal şebekelerde genelde 2 ve 8 Mbit/s PCM -sistemleri kullanılmaktadır. Şimdilik bu sistemler için en iyi iletim ortamı koaksiyel kablolardır. Çünkü burada mesafenin kısa olması ve hızın fazla yüksek olmamasından dolayı fiber optik sistemler daha lüks ve pahalı olacaktır. Ancak ileride CATV sistemlerin hizmete girmesiyle bu sahada da fiber optik sistemlerin kullanılmalarının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Bu konuda batı ülkelerinde uygulamaya konulan sistemlerde fiber optik teçhizat kullanılmaktadır. Şekil: 1.10'da fiber optik sistemlerin günümüzdeki ve gelecekteki mümkün uygulamaları görülmektedir. Burada;

- MM : Çok modlu optik fiber
- SM : Tek modlu optik fiber
- SW : Kısa dalga; 0,85 $\mu$ m dalga boyu
- LW : Uzun dalga; 1,3 ve 1,55  $\mu$ m dalga boyu
- WDM : Dalga boyu bölmeli çoğullama
- ISDN : Tümlleşik hizmetler sayısal şebekesi
- CATV : Kablolu televizyon
- LAN : Yerel sistemler



Şekil: 1.10 Fiber Optik Sistemlerin günümüzdeki ve gelecekteki mümkün uygulamaları.

### 2.13. FİBER OPTİK TERİMLER

Bu bölümde fiber optik haberleşme sistemlerine ilişkin bazı terimler kısaca izah edilecektir.

#### a) IŞIK:

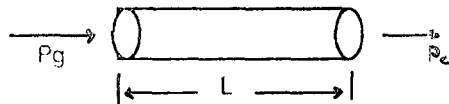
Genelde ışık deyince elektromanyetik spektrumun gözümüzle görebildiğimiz kısmı akla gelir. Ancak optik haberleşmede kaynak olarak kullanılan ışık elektromanyetik radyasyonun görünmeyen kısımlarını kapsar. Bugün fiber optik haberleşme sistemlerinde kızıl ötesi ışınlar bölgesine düşen 0,85  $\mu$ m; 1,33  $\mu$ m; 1,55  $\mu$ m; dalga boylarında ışık kullanılır. Özellikle bu değerlerin kullanılması, fiber kablolardaki zayıflamalarla ilgilidir.

#### b) DAĞILMA:

Optik dalga kılavuzunda yani liflerde yayılan dalgaların bozulmasına dağılma denir. Dağılma genelde iki biçimde görülür. Biri kromatik dağılmadır ki, ışığın renk dağılımıyla ortaya çıkar. (Bir prizmada görüldüğü gibi). Diğeride çok modlu fiberlerde söz konusu olan modlararası dağılmadır. Bu ise farklı moddaki işaretlerin belli iki nokta arasındaki mesafeyi farklı zamanlarda almalarından kaynaklanır. Bu dağılma etkilerinden dolayı optik dalga kılavuzları alçak geçiren filtre gibi davranırlar. Ancak genelde bu geçirme bandı çok geniştir.

#### c) BAND GENİŞLİĞİ:

Optik dalga kılavuzlarının alçak geçiren bir filtre gibi davrandığı bir önceki kısımda belirtilmişti. Band genişliği; dalga kılavuzunda yayılan sinüsoidal bir sinyalin dağılmalar ve diğer zayıflamalar nedeniyle gücünün yarıya indiği frekanstır. Eğer sinyal hiç güç kaybetmeden ilerlemiş olsaydı belli bir L uzunluğundaki optik lif için çıkan gücün giren güce oranı 1 olup bunun LOG değeri 0 olacaktı. Ancak çıkan gücün, giren gücün yarısı olması durumunda bunun logaritmik değeri  $10 \log 2 = -3$  dB olacaktır. O halde band genişliğini, güç oranlarının -3 dB'e düştüğü frekans olarak da tanımlayabiliriz.



Şekil: 1.11

**d) ÇOK MODLU FİBER:**

Dairesel kesitinin yarıçapı optik dalga boylarına göre çok daha büyük olan optik fiberlere çok modlu fiber denir. Çok modlu fiberlerin kullanılması halinde söz konusu olan modlararası dağılıma değişken indisli profillerin kullanılmasıyla belli bir minimumda tutulabilir. Değişken profilli çok modlu fiberlerin standardı CCITT-G. 651 ile belirlenmiştir.

**e) TEK MODLU FİBER:**

Yarıçapı optik dalga boyları mertebesinde yani max. 10 um civarında olan fiberlere tek modlu fiber denir. Bu tür fiberlerde yalnızca tek bir mod iletilir. Tek modlu fiberlerin band genişlikleri yalnızca kromatik dağılıma ile sınırlı olduğundan çok yüksek frekanslarda ve uzun mesafelerde iletim söz konusu olduğunda kullanımları çok uygundur. Tek modlu fiberlerin standardı CCITT-G. 652 ile belirlenmiştir.

**f) KIRILMA İNDİSİ:**

Işığın boşluktaki hızını  $C$ , ve boşluk dışında bir ortamdaki hızını  $V$  ile gösterirsek ışığın  $V$  hızıyla yayıldığı ortamın bağıl kırılma indisi  $n=C/V$  oranıyla tarif edilir.

Işığın boşluk dışı ortamlardaki hızı, daima boşluktaki hızından küçük olacağından herhangi bir boşluk dışı ortam için  $n>1$  'dir. Dikkat edilirse burada bir bağıl değer söz konusudur. Yani boşluk ortamı için  $n=1$  alınarak diğer ortamların kırılma indisleri buna bağılı olarak hesaplanır. Silisyum fiberlerin kırılma indisleri  $n=1,5$  civarındadır. Bu değer dışardan başka maddelerin katkılanmasıyla değiştirilebilir.

### 3: FIBER OPTİK SİSTEMLERİ

#### 3.1 GİRİŞ

Bir ışık kaynağı (LED, LD), fiber optik kablo ve bir ışık dedektöründen ibarettir. Günümüzde kullanılmakta olan iletişim sistemlerinden simetrik kablo (bakır kablo) ve radyolink iletişimi güncelliğini korumaktadır

Transmisyon sistemlerinin kesintisiz bir şekilde sağlanabilmesi için alternatifli sistemler gereklidir. Onun için santraller ve şehirlerarası bilgi aktarımı yeraltı kablo sistemi veya hava ortamı kullanılarak yapılmaktadır.

Radyolinkler aracılığı ile yapılan bilgi transferi bazı hallerde sakıncalar doğurmaktadır. Çünkü hava ortamı her zaman değişebilmekte (soğuk, sıcak, rüzgar, toz rutubet vs.) ve gönderilen bilgiler alıcı tarafına istenilen seviyede iletilmemektedir. Diğer taraftan gizlilik gerektiren durumlarda hava ortamını kullanmak mahsurludur. Bunun yanında yeraltı kablo sistemi ile yapılan uzak mesafe haberleşmesi; bilgi transferi güvenilirlik ve ekonomik yönden Raydoling sistemlerine göre avantajlıdır. Çünkü Radyolin sistemlerinin bakım işletmesi, yer üstünde görünür yerde olması ve sistemlerin taşıyıcı frekans sayılarının sınırlı olması nedeniyle istenildiği kadar sistem kurulamaması gibi mahsurları bulunmaktadır.

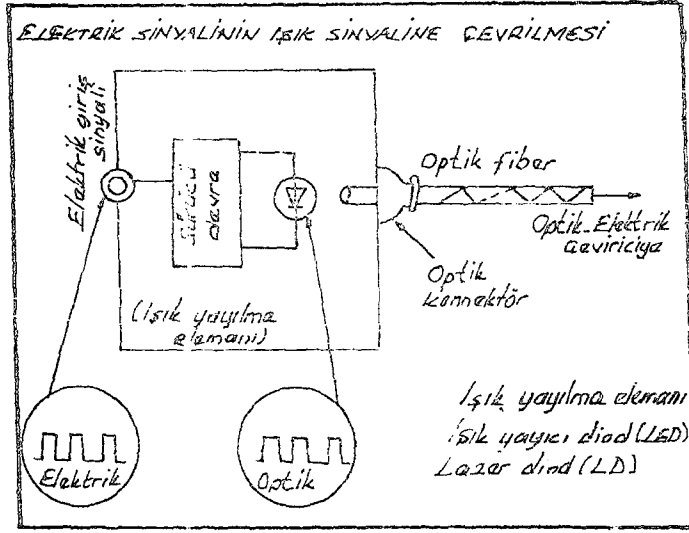
Günümüze kadar jonksiyon irtibatı ve uzak mesafe haberleşmesi simetrik kablolar ve koaksiyel kablolar ile yapılmakta olup, halen kullanılmaktadır. Bakır kablo ile yapılan uzak mesafe haberleşmesinde her 2 kilometrede bir yüksekteç kullanılması gerekmektedir. Ve en fazla 15-20 km. mesafede kullanım sahası bulunmaktadır. Daha uzak mesafe haberleşmesi için koaksiyel kablolar kullanılmış her 4.5 kilometrede bir repetör kullanılmak suretiyle 2800 kanal nakledilebilmiştir. Aynı şekilde her 1.5 kilometrede bir repetör ve digital iletişim tekniği kullanılarak bilgi taşıma kapasitesi 4 misli artırılmıştır.

Daha önceleri santraller ve şehirlerarası uzak mesafe haberleşmesinde kullanılan koaksiyel kablo ile günümüzde kullanılmaya başlanan tek modli fiber kablolar mukayese edildiğinde; kablonun fiziki yapısı, bilgi taşıma kapasitesi, tesis ve bakımı yönünden fiber optik kablolar çok çok avantajlıdır. Diğer taraftan 565 M bit/sn'lik sistem kullanılarak yapılan bir bilgi naklinde koaksiyel kablo kullanıldığı takdirde her 1.5 km. mesafede bir tekrarlayıcı kullanılacak ve güzergah boyunca bu tekrarlayıcıların sayısı arttıkça kablonun kaybı da o oranda artacaktır. Fiber optik kablolar ise tekrarlama aralığı 30 - 40 kilometre olduğundan kayıplar az olacak ve daha uzak mesafeye ulaşabilecektir. Koaksiyel kablo metalik bir yapıda olduğundan kablonun yeri tesbit edilebilmektedir. [6]

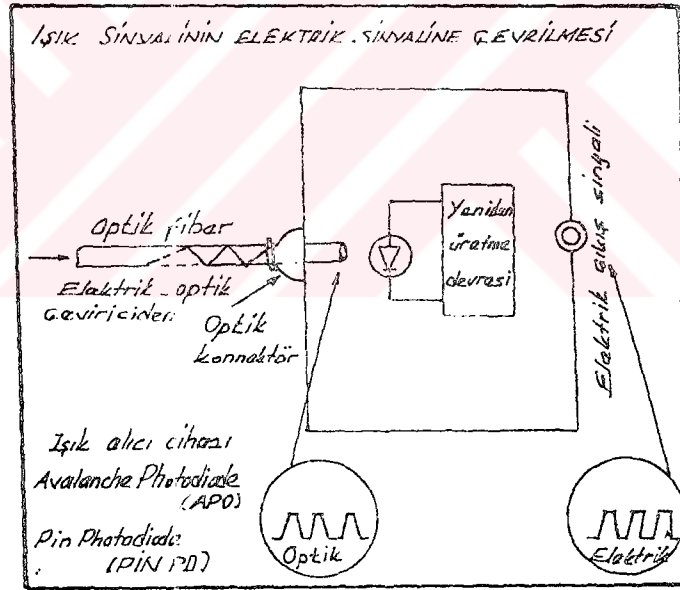
Halbuki fiber optik kablolar metalik yapıda olmadıkları için dışardan tesbiti mümkün olmamaktadır.

#### 3.2 FIBER OPTİK İLETİŞİM SİSTEMİNİN ÇALIŞMASI:

Elektrik akımı şeklinde gelen data sinyalleri elektrik -Optik çevirici devrede ışık sinyallerine dönüşür ve çok yoğun olan ışık optik fibere aktarılır ve kablo sonunda optik -elektrik çevirici devresine gelir. Şekil: 2.1'de elektrik optik çevirici, şekil: 2.2 de optik elektrik çevirici görülmektedir. Burada foto dedektör kullanılarak, gelen ışık sinyali elektrik sinyallerine dönüştürülür ve sinyal tekrar şekillendirilir. İstenilen seviye ve şekle sokulmuş elektrik sinyal tekrar şekillendirilir. İstenilen seviye ve şekle sokulmuş elektrik sinyali esnek koaksiyel kablolar ile multiplexer sistemlerine aktarılır.



Şekil: 2.1 Elektrik Optik Çevirici



Şekil: 2.2 Optik Elektrik Çevirici.

#### 4. OPTİK HABERLEŞME İLE İLGİLİ ELEMANLAR

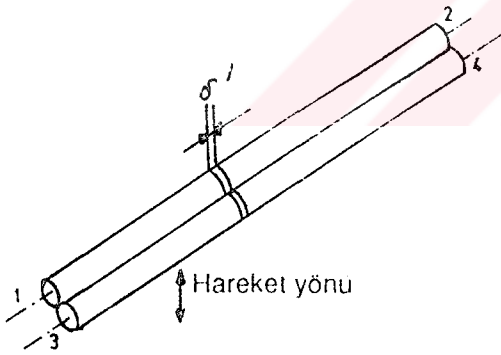
Nokta nokta bağlantılı, fiber optik iletimlerinde, uçları konnektörlü kablo öyle tasarlanmalı ki, verici ve alıcı diyot interface ölçüleri uyumlu olmalıdır. Eğer fiber optik iletim hattının yapısı, bağlantısının kesilmesine izin verecek yapıda olursa, bunun için uygun optik siwiçler mevcuttur.

Bir data haberleşmesi, bir fiber optik veya birkaç verici ve alıcının birleştirildiği bir optikbus sistemiyle iki yönde gönderilecekse optik kuplörler ihtiyaç vardır. Optik kuplörler çok port'ludur. (Müльти port - çok giriş çıkış) Yani, ışığın üzerinden içeriye ve dışarıya kuple edilebileceği en az 3 adet port'u vardır. Dalga boyu bağımsız ve dalga boyu seçicili kuplörler olmak üzere iki çeşit kuplör vardır.

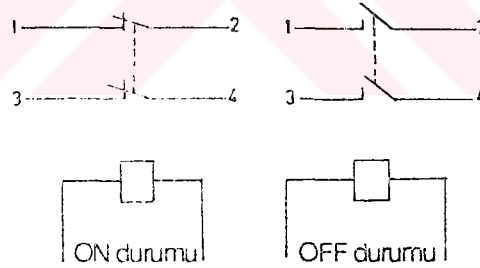
##### 4.1 OPTİK KUPLÖRLER

Bir mekanik rölede "ON" pozisyonunda bir fiber optik lifinin iki uç yüzeyleri, birbirlerine paralel ve zıt olarak öyle yakınlar ki, birinin bir yüzeyinden çıkan ışık, karşıt uçtan içeriye önemli bir kayıp olmaksızın transfer edilir. (Şekil: 3-1)

ON-OFF pozisyonları Şekil: 3-2 bu optik swiç'in ile elektromanyetik rölenin benzerliği gösterilmektedir. Örneğin bu rölelerle iki gelen ve giden fiberler anahtarılanabilir. Yararlanılabilecek dalga boyu ölçüsü 800 nm'den 1500 nm dir. Yerleştirme kaybı 1 dB'dir. Cross-talk zayıflaması > 50dB'dir. [3,7]



Şekil: 3-1 Optik Anahtar



Şekil: 3-2 Fiber Optik Anahtarların Temel Pozisyonları.

##### 4.2 FİBER OPTİK KUPLÖRLER

###### 4.2.1- DALGA BOYU BAĞIMSIZ KUPLÖRLER

Dalga boyu bağımsız kuplörler, iki gruba ayrılırlar 3 ve 4 port'lu kuplörler ve yıldız kuplörler. (MİXER - karıştırıcılar)

###### 3 VE 4 PORT'LU KUPLÖRLER

a) 3 port'lu kuplör: Şekil 3.3 ve 3.4 birbirlerinin devamı olan fiber optik içerisindeki ışık izi fiber ucunda bir ayna görünümü içerir. Fiber optik devam eden, hatla ise bir ayna ile kuple edilir. Terminallere ise bir konnektörle birleştirilirler.

Şayet giriş sinyali 1-2 veya 1-3 nolu bağlantılar arasında 1/1 şeklinde irtibatlanırsa aşağıdaki kayıp değerleri izlenebilir.

2X Konnektör	kaybı	<3 dB
1X Sistem	kaybı	<0,5 dB
1X Kuplör	kaybı	___ 3 dB
		<6,5 dB

1/1 bölüşüm oranına ilave olarak en fazla 1/10'a kadar başka bağlantılarda mümkündür. Bu tip kuplör uygulamalarında 800 -1300 nm dalga boyuna kadar ulaşılabilir. Bunlar step index veya gradet index fiberlerle çalışabilirler.

Kesit yeterince genişlediğinde, ışık 3. ve 2. fiberlerin çekirdek bölgesine geri döner. Işık bölüşüm oranı  $D_2/D_1 < 1$  çap değişimlerine ve uç uzunluklarına bağlıdır. Dalga kılavuzu mod'ları uçların yayılma istikametlerinin fiber eksenine bağlıyla karakterize edildiğinde iki uçlarındaki kuplaj mod'a oldukça bağlıdır.

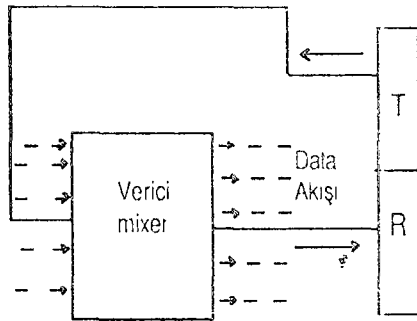
#### b) Yıldız Kuplör

Bir fiber optikten gelen enerjiyi, çift sayılarla en fazla 32 ye bölünmesini temin eder. Bu amaç için, gelen ve giden fiber optiğe kuple edilen, erimiş silis camından küçük, plakacık halinde ince bir mixer içerir. Bunlar plakacıkların dar yüzeylerinin karşısına yerleştirilmiştir. (Şekil: 3-3)

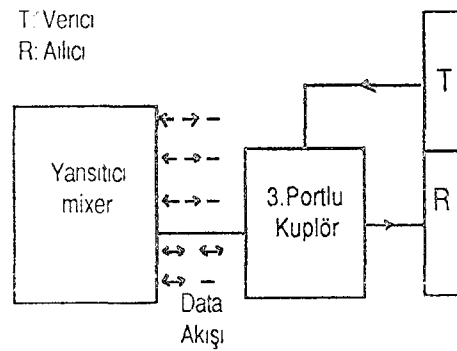
Diğer değişiklikte Şekil: 3-4 de görülen yansıtıcı mixer, fiber optik plakacığının dar tarafına çok yakın şekilde uzanır. Zıt karşı tarafında bir ayna yüzeyi vardır ve böylece bir yansıtıcı olur

Yıldız kuplörlerin dizaynına bağlı olarak 4-32 portu vardır. Bugün kullanılan standart fiber optiklerin hepsi bunlara kuple edilebilir.

Dalga boyu 850 nm den 1800 nm ye ve iletim kaybı 4 port için <8 dB ve 16 port için <18 dB dir. Bu pasif yıldız kuplörlere ilave olarak, aktif yıldız kuplörlerde vardır. Örneğin LAN (Lokal Area network) lerde olduğu gibi;



Şekil: 3-3 Verici Mixer ve Işık İzleri



Şekil: 3-4 Yansıtıcı Mixer ve Işık İzleri

#### 4.2.2 DALGA BOYU ŞEÇİCİ KUPLERLER

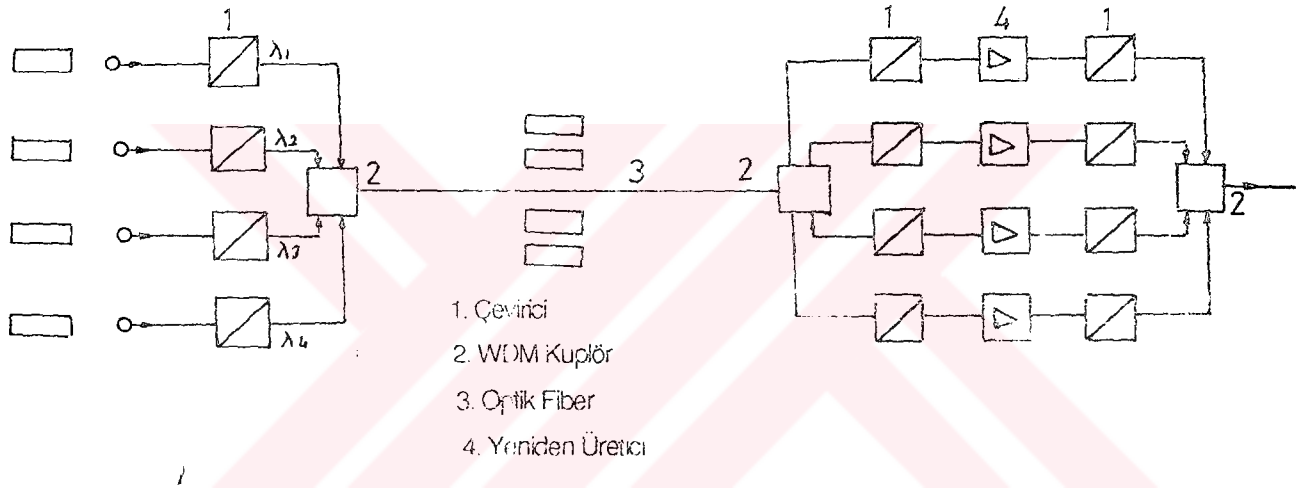
Dalga boyu seçici kuplörler (Şekil 3-5) özellikle kısa mesafelerde ve aktarıcısız hatlar için yapılmış bir konfigürasyondur. 4. farklı dalga boyulu bir elektrooptik dönüştürücü olarak kullanılır. Onun yaydığı ışık bir optik seçici kuplör üzerinden birleştirilir ve bir fiber optikle gönderim yeterli olur. Uygulanan bu metod dalga boyu bölüşüm mültiplexir (WDM) olarak adlandırılır.



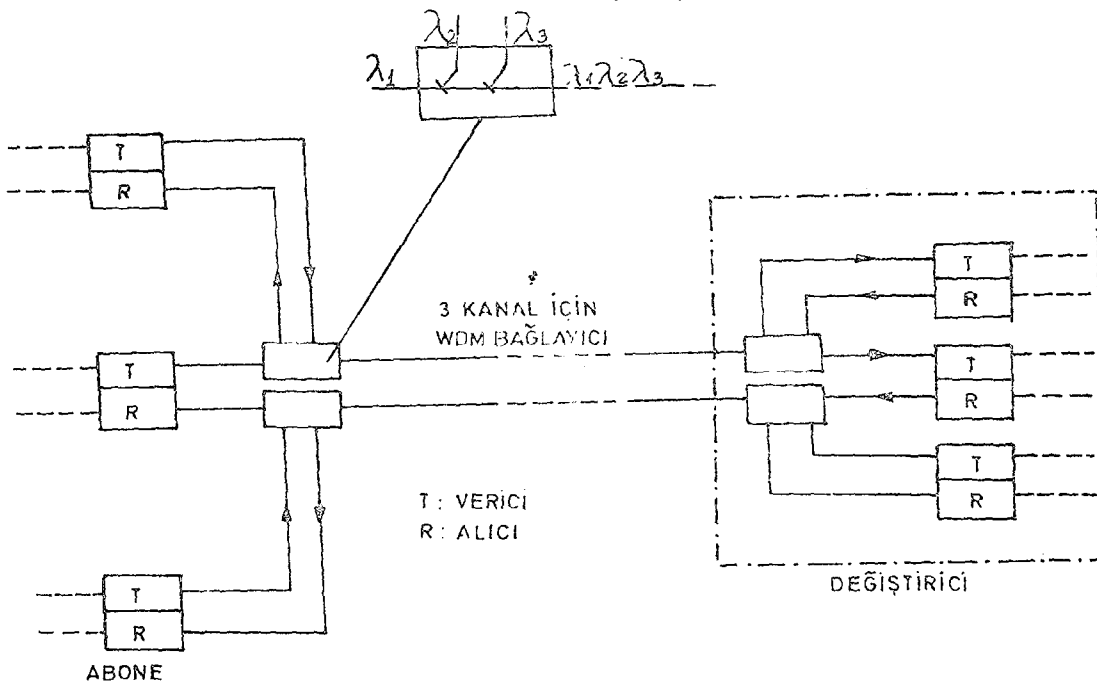
Bir ve iki yönlü WDM kablörler vardır. Bir yönlü WDM kablör sinyalleri bir kaç optik taşıyıcılarla aynı yönde farklı dalga boylarıyla gönderilirler. İki yönlü WDM kablörde sinyaller ters yönde de gösterilirler. Dalga boyu bölüşüm mültiplexle - demültiplexlerin her biri bir devamlı fiber optik ihtiva eder. Onun için ışık izinde gönderilen bir izolatör tabaka vardır. İnterference filtre, bu filitrenin yansıtıcı kolları üzerinde bir veya daha fazla fiber optik devamlı fiber optiğe kuple edilirler. Terminallerde fiber optiğe konnektörle geçilebilir.

Kanal aralama, LED'ler için 400 nm de ve laser diyodlu sistemlerde 40 veya 50 nm de yapılır. WDM kablörlerin gönderim zayıflamaları dikkate alınmalıdır. Örneğin 3 port WDM için bu 0,8-1'dB dir. Bunlar nokta nokta bağlantılarla mukayese edildiğinde hat uzunluğunu kısaltırlar.

Bu durum zayıflama planlamasında dikkate alınmalı ki, farklı dalga boylarında, farklı zayıflamalar planlamada en az avantajlı değer de kılavuz olmalı. WDM kablörler tek mod ve çok modlu fiber optiklerde kullanılmaya uygundur.



Şekil 3-5 Dalga Boyu Bölüşümlü Multiplex (WDM)



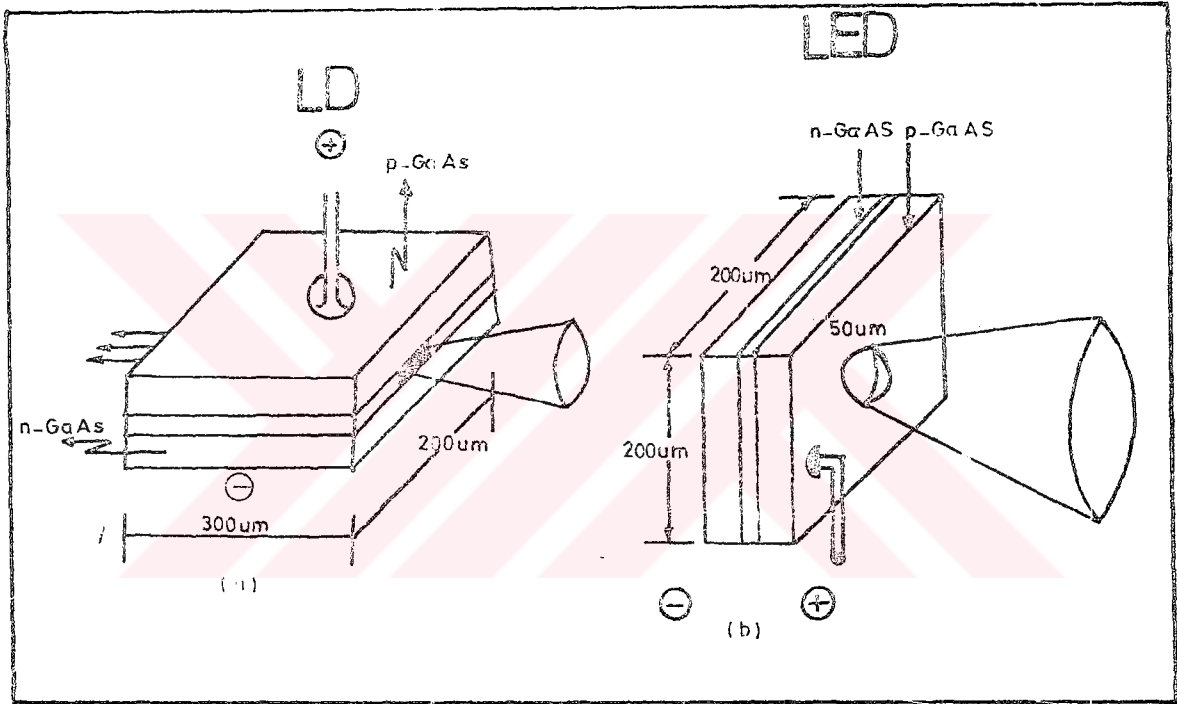
Şekil: 3-6 3 Kanal için WDM Kablör Uygulamalı Geniş Bant Haberleşme Şebekesinde Abone Erişimi.



#### 4.3. AKTİF ELEMANLAR:

Aktif elemanlar olan optik kaynaklar ve algılayıcılar yapı itibarıyla yarı iletken diyodlardır. Şekil: 3.7'de lazer diyodu ve LED olarak ikiye ayırabileceğimiz optik ışık kaynaklarının yapıları şematik olarak gösterilmiştir.

Yarı iletken optik kaynak ve algılayıcıların hepsi kat kat yapılırlar. Bu katlar çeşitli iyonlarla katkılandırılmış ya da katkılandırılmamış olabilir. Neticede bu katları bir diyot yapısını oluştururlar. Şekilden görülebileceği gibi elemanların fiziksel boyulları çok küçük yapılabildiğinden optik fiberlerle çok uyumlu olarak çalışırlar. Verici diyotları pozitif, algılayıcı diyodlar ise negatif yönde kutuplanırlar. Kaynaklar gelen elektriksel işareti ışığa çevirirler. Algılayıcılar ise bunun tam tersini yaparlar.



Şekil: 3.7 Lazer Diyodu ve LED Olarak İkiye Ayırabileceğimiz Optik Işık Kaynaklarının Yapısı [6]

#### 4.4. ABSORBSİYON:

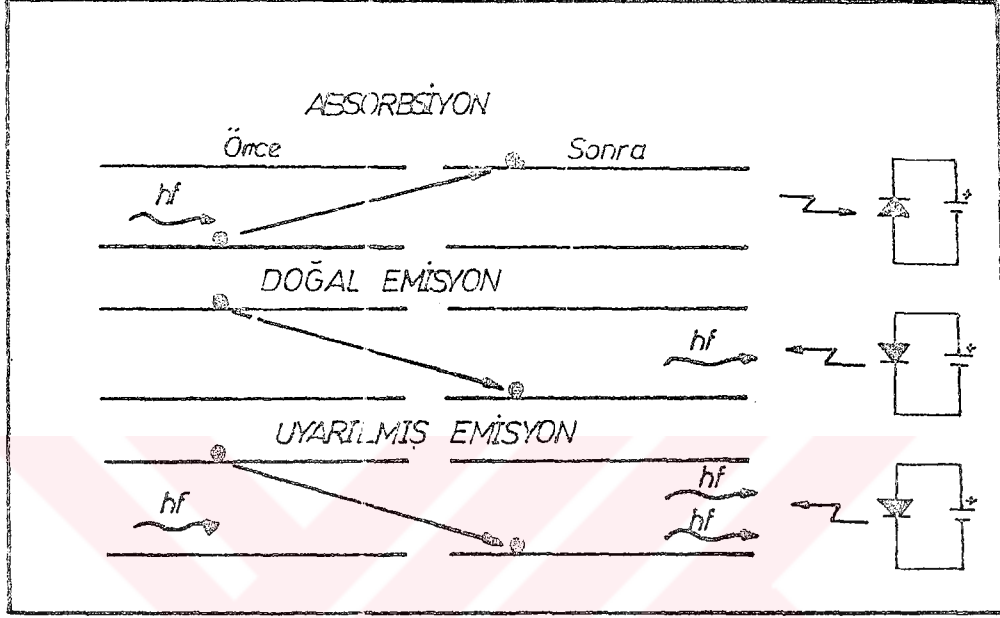
Fotonlar halinde olan optik enerjinin üzerine düşüğü maddenin atomundan elektron koparabilmesine absorpsiyon denir. Foton enerjisiyle sabit kristal yörüngesinden çıkarılan ve serbest hale gelen bu elektronlar iletim maksadıyla kullanılabilirler. Bu algılayıcıların çalışma prensibidir. Bu şekilde çalışan algılayıcılara foto diyot denmektedir.

#### 4.5. EMİSYON:

Emisyon absorpsiyonunun tersi bir işlemdir. Yani eğer iletken halde bulunan serbest elektronlar pozitif kutuplanmış bir diyot yapısına girerlerse diyot yapısında bulunan deliklere girebilirler. Serbest elektronlar daha az enerji seviyesinde bulunan bu deliklere ya da boşluklara atarken dışarıya fotonlar halinde ışık enerjisi salarlar. LED'lerin çalışması yukarıda bahsedildiği gibidir. Lazer diyodlarının çalışması ise temelde aynı prensibe dayanmakla birlikte biraz daha farklıdır. Bunlarda meydana gelen ışığın bir kısmı kristal içine geri yansıtılarak yeni serbest

elektronlar üretilir. Üretilen bu elektronlar tekrar eski seviyelerine dönerken ışık yayarlar ve olay bu şekilde pozitif geri besleme ile devam eder. Bu geri besleme vasıtasıyla, lazer diyodlarının çıkışından diğer kaynaklara göre çok daha güçlü ışıklar elde edilebilmektedir.

Gerekli diğer kısımlarında ilavesiyle, optik kaynak ve algılayıcılara sırasıyla vericiler ve alıcılar denebilir. Aşağıdaki kısımlarda alıcı ve vericilerin bazı karakteristikleri tartışılmıştır.



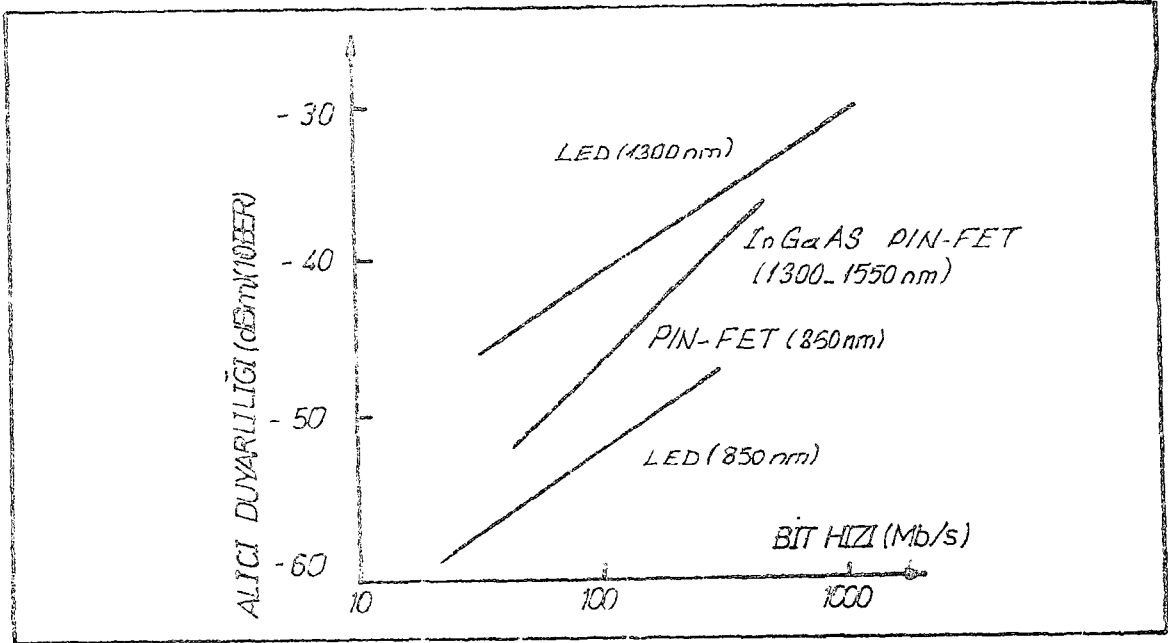
Şekil: 3.8 Absorbsiyon - Doğal Emisyon - Uyarılmış Emisyon

#### 4.6. ALICI DUYARLILIĞI dBm:

Duyarlılığın kalitesi daima hata oranına göre kıyas edilir ve sayısal sistemler de bu hata oranı, bit hata oranı (BER) olarak tanımlanır. Pratikte BER  $10E-9$  olması istenir. Buna göre bir optik alıcının duyarlılığını, BER  $10E-9$  olmasını sağlayacak biçimde alıcının girişine kabul edebileceği min. optik güç olarak tarif edebiliriz. Gerçekten de, alıcı girişine gelen optik güç seviyesi bu duyarlılık değerinden daha küçük olduğu takdirde bit hata oranı istenilen değerlerden daha büyük olabilecektir ki, bu da istenmeyen bir durumdur. Şekil: 3.9'de alıcı duyarlılığı üzerine tipik değerler verilmiştir.

NOT: 1. pencerede (850 nm) çalışan alıcılar, 2. pencerede (1300 nm) çalışan alıcılardan daha iyi duyarlılık değerine sahiptirler.

Duyarlılık, sistemin hızı yani bit oranı arttıkça azalır.



Şekil: 3.9 Alıcı Duyarlılığı üzerine tipik değerler.

#### 4.7. VERİCİ GÜCÜ dBm:

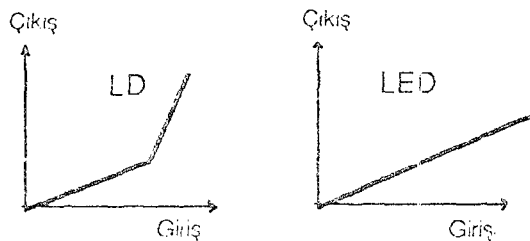
Telekomünikasyon uygulamalarında kullanılan vericilerin, fiber lifin içine kuple edebildiği optik güç bugün için 0 dBm ya da 1 mW'dan daha azdır. Lazer diyodların verimi LED'lere nazaran çok daha yüksektir. LED'lerin tipik olarak fibere kuple edebildikleri güç -20 dBm civarındayken lazer diyodları en az -5 dBm kadar kuple edebilmektedirler.

#### 4.8. SPEKTRAL GENİŞLİK Spectral Width, nm:

Bütün kaynaklar belli bir merkez çalışma dalga boyu etrafında dağılmaya sahiptir. Daha önce bahsedildiği gibi darbe dağılması sistemin bilgi taşıma kapasitesi ya da hızını sınırlayan bir faktördür. Kromatik bozulmadan gelecek zararlı etkiler, mümkün olduğu kadar monokromatik olan kaynaklar kullanılarak azaltılmaya çalışılır. Lazer diyodları çok dar spektral genişliğe sahiptirler ki tipik değeri birkaç nm dir. LED'lerde ise tipik olarak 100 nm, civarındadır.

#### 4.9. OPTİK GÜCÜN SÜRME AKIMINA BAĞIMLILIĞI:

LED'ler kendilerini süren akıma karşı lineer bağlı bir optik güç verirler, ancak Lazer diyodları lineer olmayan bir cevaba sahiptirler. Belli bir eşik akımının altında LED gibi davranırlar. Bu eşik aşınca normal Lazer gibi çalışır. Lazer diyodunun eşik akımı sıcaklık ve süreyle değişir. Bundan dolayı LD'lerinin çalışma ortamı sıcaklığı ile çıkış güçlerini kararlı hale getirecek önlemler alınmalıdır.



Şekil: 3.10 LED ve Lazer diyodu giriş-çıkış eğrisi.

#### 4.10. MODÜLASYON FREKANSI MHz

Laser diyodları doğal yapıları itibarıyla LED'lerden daha hızlıdır. LED'ler için tipik çalışma hızları 100 MHz civarındayken Laserler için bu bir kaç GHz olabilmektedir.

#### 4.11.LED

Kendiliğinden emisyonla ışık yayan bir yarı iletken diyod LED olarak (ışık yayan diyod) adlandırılır. Elektrik akımının ışığa dönüşümünün kalitesi harici quantum verimliliği ile tanımlanır ki, yarı iletken diyodta birleşimine geçen yük taşıyıcıları sayısına bağlı olarak, birim zamanda yayılan fotonların sayısı ile tanımlanır. (Ga As için tipik olarak 0,5%-1.0%) sıcaklık artışıyla quantum verimliliğinin düşmesi sebebiyle, birleşim bölgesinin ısıtılmasından kaçınılmalıdır. Yani oluşan ısının dağıtımı sağlanmalıdır. Örneğin LED'in kontrüksiyonu gibi.

LED'in çalışması için yayılan ışığın dalga boyuda önemlidir. Bu genelde  $E_g$  enerji bölgesi (duvarı) ile tesbit edilir, aşağıdaki bağlantı uygulanır.

$$\lambda = \frac{1,24}{E_g} \quad \lambda \text{ - um olarak dalga boyu}$$

$E_g =$  Enerji bölgesi (Duvanı) Ev

$h\nu = 1,24$

Galyum Arsenid (Ga As) için  $E_g$  değeri (Oda sıcaklığında) 1,43 eV dir.  $\lambda$ 'da 0,89 um olarak bulunur.

İndiyum Fosfat (InP) için;

$E_g = 1,35$  eV ve buna karşılık gelen  $\lambda = 0,92$  um olarak bulunur.

Bir LED'in spektral genişliği  $\Delta\lambda$  yaklaşık olarak dalga boyunun karesi ile orantılıdır. Böylece büyük dalga boylarına doğru spektral genişlik çok büyür.

Bir LED'in cevap verme süresi oldukça önemli karakteristiktir. Bu yükselme zamanına bağlıdır. Bu limitin altında, diyod enjekte edilen akımdaki, değişiklikleri takip edemez. Tipik minimum ömür birkaç nanosaniye mertebesinde. Bu  $d = 100$  MHz lik modülasyon band genişliğine takabül eder.

Yükselme zamanı ve quantum verimliliği boşluk, konsantrasyonuna bağlı olduğundan, ikisi aynı anda optimize edilemezler. Özellikle hızlı LED'ler enjekte edilen akıma bağlı olarak bir kaç foton yayarlar.

Yapı ve Karakteristikler

Aşağıda, verici diyodların birçok ihtimallerinden 3 örnek verilmiştir. Bunlar;

$\lambda \approx 900$  nm için Planar Ga As diyod

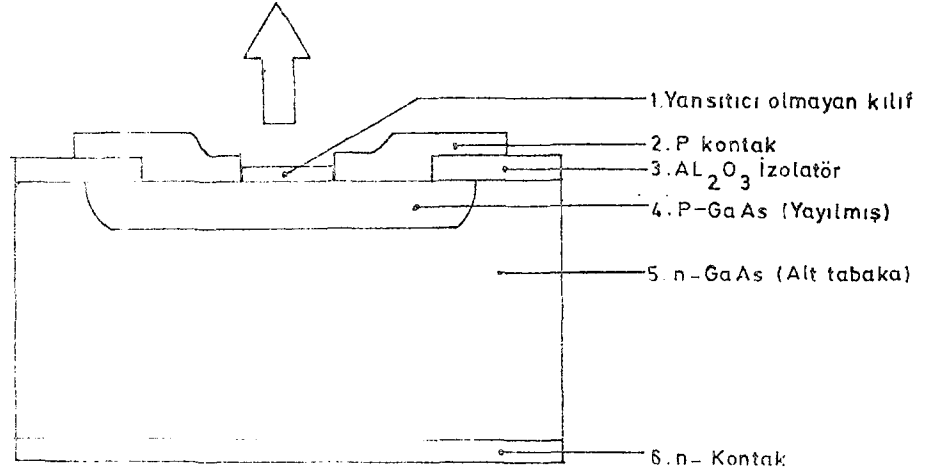
$\lambda \approx 830$  nm için Yüksek Parlaklık Al Ga As/Ga As diyodlar

$\lambda \approx 1300$  nm için Yüksek parlaklık In Ga As P/ In P diyodlar

tablo 3.1 de tipik değerler listelenmiştir.

-880-950 nm dalga boyu için Ga As diyod

Ga As diyodu verici diyodlarının en basit yapısına haizdir. (Şekil: 3.11) Diyod, Ga As-tabaka temel ve onun üzerinde 200 um kalınlığında P tabakadan meydana gelmiştir. P alanında üretilip P yüzeyinden yansıyan infrared ışık fiber optiğe gönderilir.



Şekil:3.11 Düzlemsel bir GaAs diyodum Şematik yapısı

800-885 nm dağa boyu için yüksek parlaklı Al Ga As/Ga As diyod (Burrus tipi)

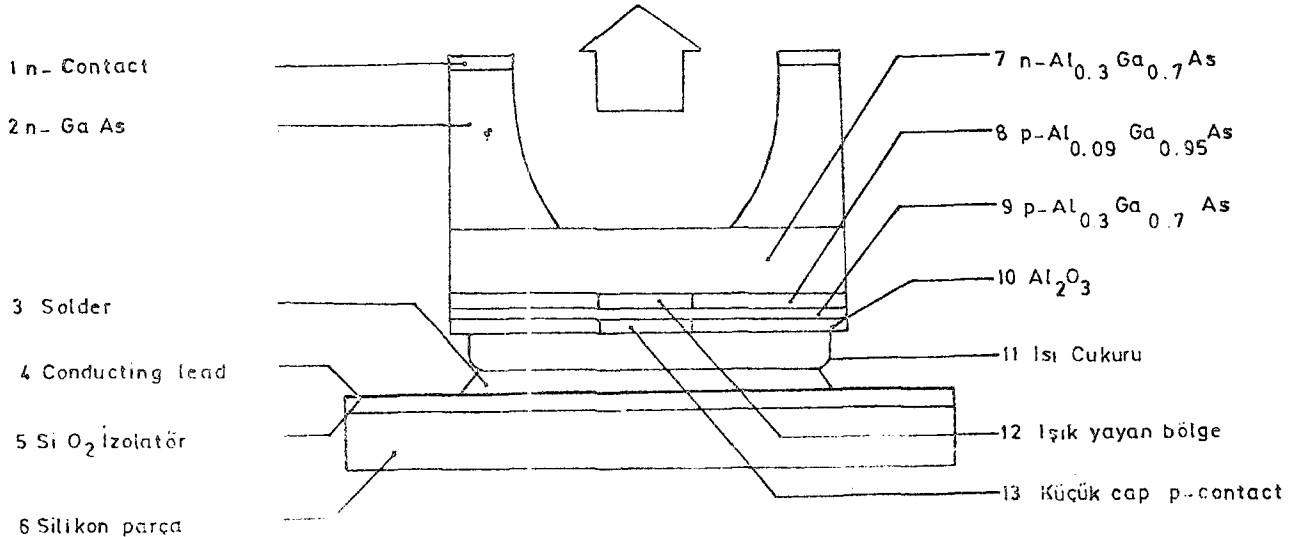
Diyod, bir cuboid yarı iletken kristalinden oluşur. Bir çift zıt yapı, farklı kalınlıklarda 3 Al Ga As tabakasından oluşur.

Aşağıya doğru bakan bu düzgün sıralı 3 tabaka araya yerleştirilmiş, perçin şekilde altın soğutucu iki diyod iletken bir kontak ve  $\text{SiO}_2$  izolatörle silikon chip'e lehimlenir. Kristal diyodum alt tarafında, bir  $\text{Al}_2\text{O}_3$  izolatörü küçük yüzey alanı ile P kantağa akım akışını sınırlar.

Kalınlık ve özellikle üstünü kaplayan, Al Ga As dopingi seviyesi, çok düşük ölçülemeyecek kadar, akım akacak şekilde seçilirler. Sonuç olarak, P kantağın biraz daha, geniş çaplı alanında, aktif Al Ga As tabaka emisyon için uyarılır. Böylece istenilen küçük yayma (Emilting) alanı temin edilir. (Şekil: 3.12)

Ga, As alt tabaka yukarıya doğru yayılan intraret ışığı fiber optiğin içerisine gönderir. Bu yayılma aktif tabaka çok ince olduğundan, önemsenmeyecek kadar, içerisinde kendiliğinden absorbe olur.

Ga As alt tabaka içerisinde, yalnız birkaç mikrometre içerisinde tamamen absorbe olmasına rağmen Al Ga As içerisinde, boydan boya absorbe olmadan geçer. Ne kontak geriye kalan Ga As malzemeye uygundur. Bu yapının bir avantajı var ki, küçük yüzey alanlı P kantağı yardımıyla, küçük ışık yayan alan yaratılabilir. [6]



Şekil. 3.12 Yüksek ışıklı Al Ga As'nin Şematik yapısı.

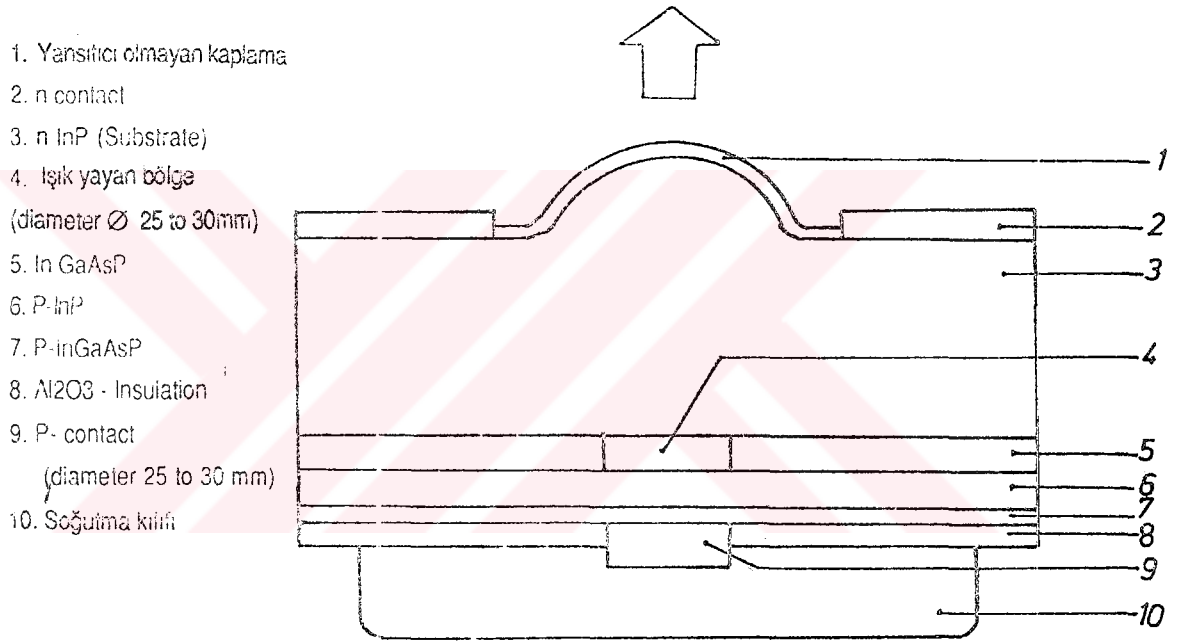
-1300 -1550 nm dolayındaki dalga boyu için yüksek parlaklı In Ga As P/ In P diyodları.

Verici diyodları "ikinci percere" (1300 nm) için, malzemede bir değişiklik, üçlü yarı iletgendən Al Ga As'den dördlü yarı iletken In Ga As P ve InP alt tabaka kristali yapılmalıdır.

Basitçe, dördlü yüksek parlaklıklı diyodların yapısı (Şekil: 3.13) Al Ga As / Ga As diyodlarına karşılık gelir

In Ga As P'den yapılmış bir yarı iletken 1300 nm dalga boyunda ışık yayar ve bu InP'ye eş uyumludur. Böylece çift zıt yapı, yeniden kullanılabilen verici diyodları için çok etkilidir. İçerisindeki InP bariyer (Engel) rolü oynar. In Ga AsP'de P endirilmiş tabakasının fonksiyonu, bir kontak (iletken) tabakadır.

Temel matzeme, ışığı fiber optik içerisine göndörme yeteneğini artırmak için birleşik lens şeklini alır.

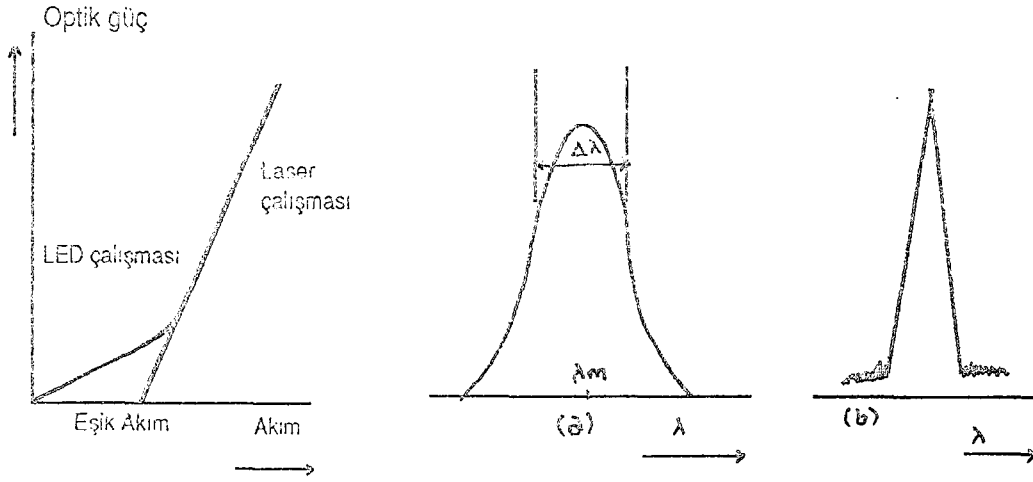


Şekil: 3.13 In Ga As P / In P Yüksek ışımalı diyodun şematik yapısı.

#### 4.12 LASER DİYOD

Bir laser diyod, zorlanmış emisyon kullanan bir ışık kaynağıdır. Laser, Light (ışık) Amplification (Amplifikasyon) by stimulated (Zorlanmış) Emission (Emisyon) Of radiation (Işıma) yüksek akım yoğunluğu boyunca, laser içerisinde iletkenlik bandında çok miktarda aşırı yük taşıyıcısı üretilir. Böylece güçlü bir zorlanmış emisyon meydana gelir. Bu amplifikasyon fotonlar üzerine etkisi bi- optik resonatörle ki, bu resonatör genellikle yarı şeffak paralel iki aynadan oluşur, güçlendirilirler, laser diyod içerisindeki bu aynalar yüzeyleri yarı iletken çatlamasıyla -yarılmasıyla ve ilave koruyucu tabaka sağlanmış, tabii kristal yüzeyleridir.

Laser diyod ve LED diyod arasındaki farklı göstermek için, Şekil: 3.14 tipik bir ışık akım karakteristik eğrisini göstermektedir. Diyod akımı artırıldığında threshold (kırılma noktası) kristal içerisinde ışık emplifikasyonunun başlayacağı noktaya yaklaşır ve bunun yukarısında güçlü laser i emisyonu başlar. LED diyodların geniş spektral dağılımlarıyla kayımlandığında laser işlemindeki emisyon çok dar bir veya yalnız birkaç spektral hattanoluşur. (Şekil: 3.15)



Şekil: 3.14 Bir Laser

Şekil: 3.15 Bir LED (a) ve bir Laser (b)

Diyodun Işık-Akım Karakteristiği.

Diyod emisyonunu Spektral dağılımı.

Bir verici spektrum genişliği genellikle yarı maksimum güçteki (FWHM) tam genişlik  $\Delta\lambda$  veya tam etkin değeri (FRMS)  $\Delta\lambda_{(FRMS)}$  olarak verilir, burda, gaus şekilli spektrum için aşağıdaki bağıntı uygulanır;

$$\Delta\lambda = \sqrt{\ln 4} \Delta\lambda_{FRMS} \approx 1.18 \Delta\lambda_{FRMS} \text{ veya}$$

$$\Delta\lambda_{FRMS} \approx 0,85 \Delta\lambda$$

Bir LED emisyonunun bir laser ışınıyla kıyaslandığında zorlanmış emisyon nedeniyle laser ışınları boşlukta birbirlerine daha yapışiktır.

Yayılan hüzme LED diyodunkinden oldukça dardır ki, ışığı fiber optik içerisine etkili göndermeyi kolaylaştırır. (Şekil:3-16)

Laser diyodlar yapılarına göre iki gruba ayrılırlar ve laser içerisinde dalga kılavuzu yan daralma tipi tarafından karakterize edilirler. Her tiptek (gruptan) en çok kullanılanlar birçok tiplerin örneği olarak tarif edileceklerdir.

Kazanç Güdümlü (Klavuzlu) Laser Diyodlar (GLD) (Şekil: 3.17)

Örnek 800 - 900 nm dalga boyu için oksit çizgili GaAlAs / GaAs laser. Bu index biçimi sapması optik ampifikasyon biçimine tekabül eder ve bu kazanç olarakta bilinir. Böylece bu tip laser diyodlar, kazanç güdümlü kontrolü laser diyodlar olarak bilinir.

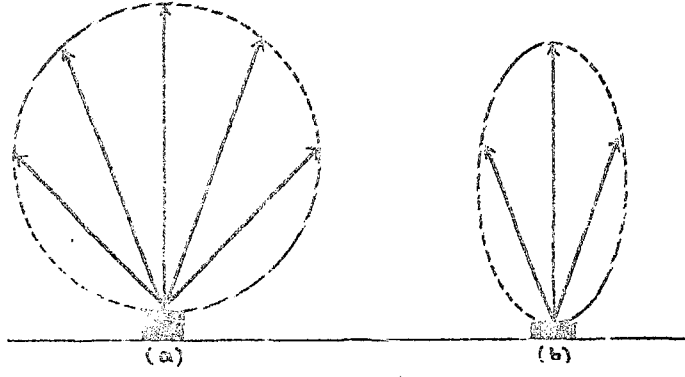
Index Klavuzlu Laser diyodlar (ILD) (Şekil: 3.18)

Örnek 1300 - 1600 nm dalga boyu için GaInAsP / InP - MCRW (Tepesi metal kaplı dalga klavuzlu) Laser

Dalga klavuzları içerisinde yapılmış laser diyodları index güdümlü laser diyodları (ILD) olarak adlandırılırlar, çünkü onların daimi kalıcı index şekil kaymaları - biçim sapmaları vardır.

Şekil: 3.19 ısının, bir LED ve laser diyodta optik güç ve akıma etkisini gösteriyor. Tablo 3.1'de de dijital optik iletimi için laser diyodların 25 °C deki tipik bazı değerleri ve karakteristikleri verilmiştir. [3,6]





Şekil: 3.16 Bir LED (a) ve Lazer (b) Emisyonunun boşluktaki dağılımı.



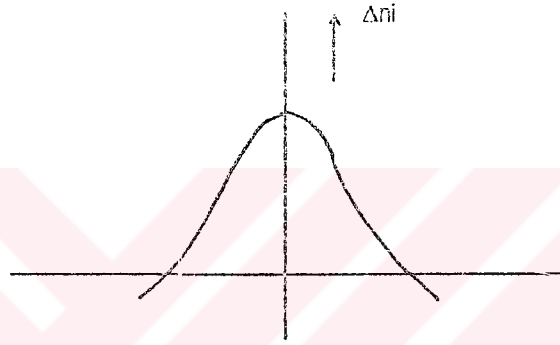
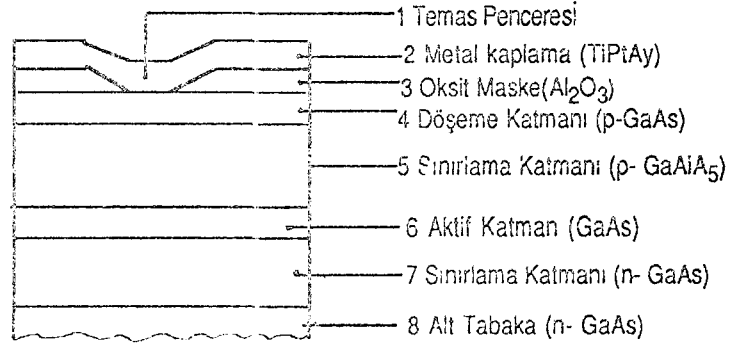


Tip	Dalga Boyu (nm)	Spektral Genişlik (nm)	Yarıiletken Madde	Yapı	Yayıtır	Yükselme Zamanı	Bir OWG içine atılmış olan ışık gücü	Mbit/s hızındaki iletim Mesafe
LD	880-885	3-5	GaAlAs/GaAs	Çift hetero	Ardışık	1	15 50 um (mW) Çap 10 um	5-20 565
LD-MCRW	1300-1550 <sup>a</sup>	3-5	GaInAsP/InP	Çift hetero	Ardışık	1	1-3 0.5-1.5	3 Km 1200

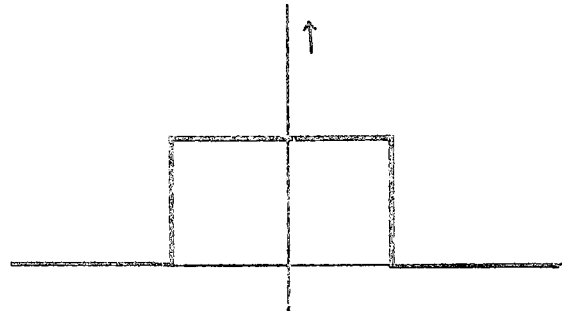
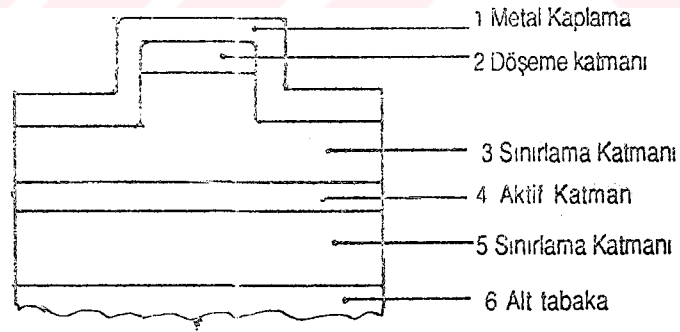
a) Geliştiriliyor

b) Bit hızı ve uzunluğunun üretimi sabittir.

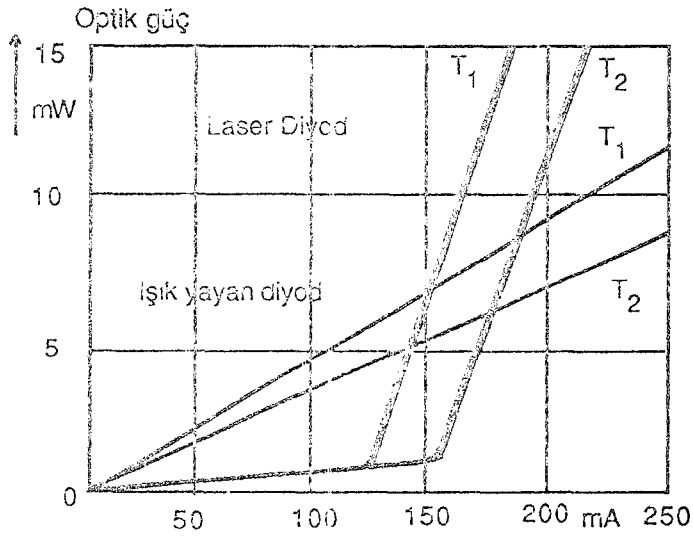
Tablo:3-1 Laser diyod karakteristikleri



Şekil: 3.17 Bir çubuk oksit Laserin yapısı ve dalga klavuzlama mekanizması



Şekil: 3.18 Bir MCRW Laserin yapısı ve dalga klavuzlama mekanizması



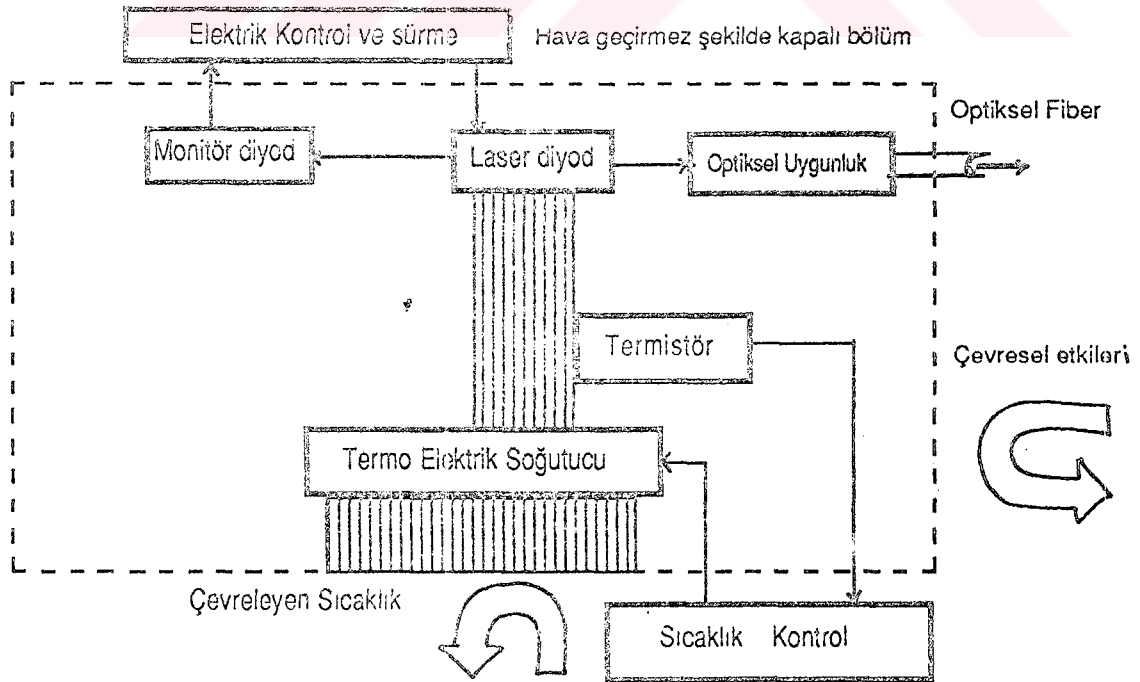
Şekil:3.19. Isının, bir LED ve laser diyotta ileri yönde akım optik güç ve akım etkisini gösteriyor.

#### 4.13 LASER MODÜLÜ

Laser diyodların pratik olarak çalıştırılabilmeleri bazı fonksiyonel grupları gerektirir. Bunlar sızdırmaz bir hücre içerisine yerleştirilirler ve bu birimlerin hepsi laser modülü olarak adlandırılırlar.

Modül sızdırmazlığını sağlayan bir diyodun ışık yayan yüzeyini optimum olarak kuple edilmiş ışığı dışarıya besleyecek -gizleyecek bir adaptör modül içerisinde yer alır.

Isı kontrol fonksiyonu oldukça önemlidir. Peltier soğutucuları bu amaç için kullanılırlar.



Şekil: 3.20 Bir Laser Modülünün modüler tasarımının şeması.

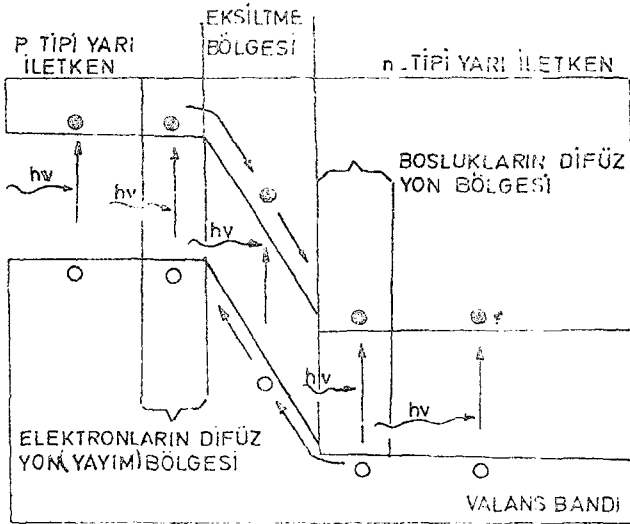
#### 4.14. DEDEKTÖRLER

Bir fotodiyod, yarı iletken içerisinde ışık ışınlarının yutulması etkisinden faydalanır. Bu etkide, enerji yüklü fotonların enerji aralığı  $E_g$ 'den daha yüksek enerjyle ışınlanması bir çift elektron boşluğu yaratır ve bu elektriğın iletilmesinde kullanılır. Teoride, yarı iletken PN birleşimleri yalnız ışık endeksasyonu boyunca taşıyıcıları uyarmak için değil, ışığı almak için kullanılabilirler. Şekil: 3.21 (a) bu işlemleri şematik olarak vermiştir.

PN birleşiminin depletion tabakasında üretilen yük taşıyıcıları ve difuzyon bölgesindeki yük taşıyıcıları tedekte edilebilirler. Evvelce üretilen iki yük taşıyıcısının, depletion tabakasındaki elektrik alanı tarafından hemen ayrılmasına rağmen, daha sonra azınlık yük taşıyıcıları depletion tabakası tarafından dışarı çekilip, karşı nötr yarı iletken bölgeye gönderilmeden önce, ilk önce PN birleşimine difuz etmelidirler.

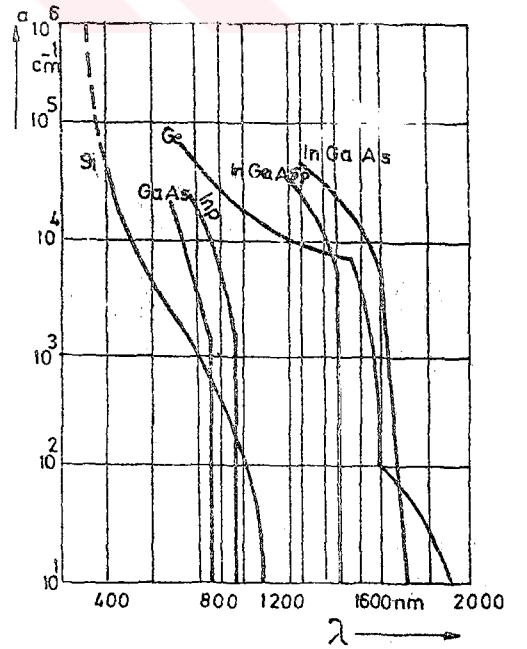
Bu iki işlemden dolayı elektrik akımı daha dışardaki daireden akar. Bu tip alıcıların üretimi için, silikon ve germanyum veya 3 -4 -5 maddeleri bileşimleri çok sık kullanılırlar. Şekil:3.21(b) çok sık kullanılan yarı iletken maddelerin dalga boyu  $\lambda$  nın bir fonksiyonu olarak yutum-absorption katsayıları  $\alpha$  yı gösteriyor.

Şekil: 3.21 (b)den görüleceği gibi Si, 1000 nrr altındaki değerler için çok uygundur. Daha yüksek dalga boyları için Ge daha avantajlıdır. 1300'den 1600 nm'ye kadar bir foto diyod malzemesi olarak InGaAs veya InGaAsP çok uygundur. [8]



● Elektron  
○ Boşluk

Şekil: 3.21 (a)



Şekil: 3.21 (b) Yarı iletken maddenin dalga boyunun fonksiyonu olarak yutum-absorption katsayısı.

#### 4.15: PIN FOTODİYOD

Düşük yutum katsayılı yarı iletkenlerde, P ve N tipi yarı iletkenler arasına undoped yarı iletken tabakanın yerleştirilmesi ışınım yutumu için alanı genişletir.

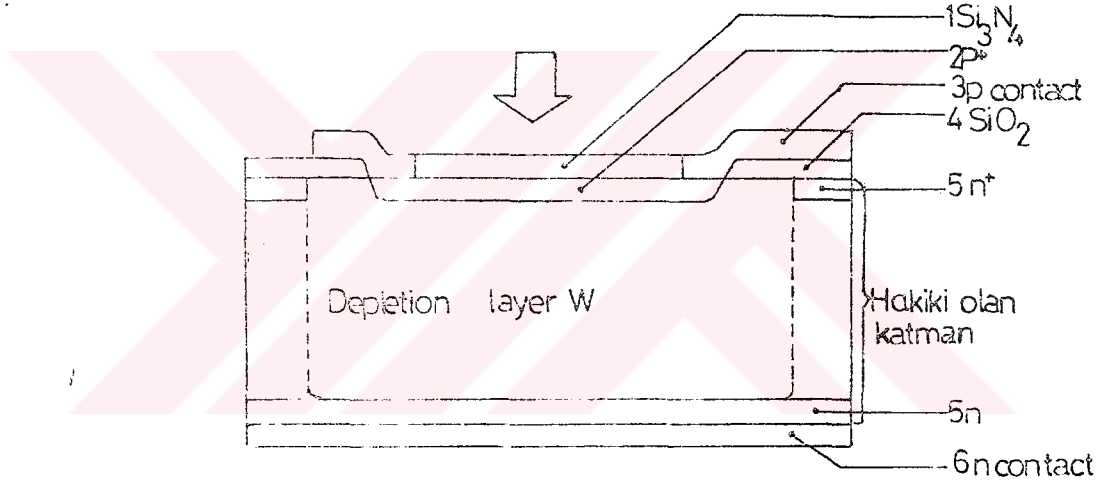
##### a) Silikon Fotodiyodlar (1100nm'ye kadar dalga boyları için)

Şekil: 3.22, bir  $p-n^+$  yapıyla bir diyodun tasarım şemasını gösteriyor ki,  $v$  iletken olmayan i-bölgesini gösterir. Infrared ışık diyodu p-dölgesi boyunca geçer ve  $Si_3N_4$  kaplı yüzeyi yansıma kayıplarını önler.

PIN fotodiyodlarının hassasiyetini artırmak için FET transistörleri kullanılabilir. Bu PIN-FET modüllerinin hybrid dizaynı çok yüksek hassasiyete ulaşabilir.

##### b) Avalanche Fotodiyodları

Elektrik alan içerisinde yük taşıyıcıların hızlandırılması, çarpma iyonizasyonu ile daha fazla yük taşıyıcısı üreterek yüksek hıza ulaştığında, oldukça güçlü foto akımı yaratılır. Bu işlem avalans kırılma olarak adlandırılır ve APD (avalanche photodiode) olarak adlandırılan fotodiyoda karşılık gelir.



ŞEKİL: 3.22. Bir  $p-n^+$  yapıyla bir diyodun tasarım şeması.

##### - Silikon Avalans (APD) (1100 nm'ye kadar dalgaboyları için)

Basitçe, yukarıda anlatılan PIN fotodiyodu bir avalans diyodu olarak çalıştırılabilir. Avalans kırılması için ihtiyaç olan yüksek alana ulaşmak için gerekli olan gerilim çok yüksektir.

Bir APD diyodunun tasarımı Şekil: 3.23'da gösterilmiştir. Teknik sebeplerden dolayı bu tip diyodlar yalnız  $p^+np$  dizaynında yapılabilirler.

Şekil: 3.24, silikon PIN fotodiyodu ve  $10^{-9}$  hata oranındaki bir APD alıcılarının hassasiyetlerinin kıyaslanması gösterilmektedir.

##### - InGaAs/InP Avalans Fotodiyodları. (1300 nm Dalga Boyları İçin)

Şekil: 3.25'de bu diyodun tasarım şeması gösterilmiştir. Tam PIN diyodtaki gibi ışınım alt tabakada olur, lakin PN birleşim InGaAs tabakada değil InP tabakasıdır.

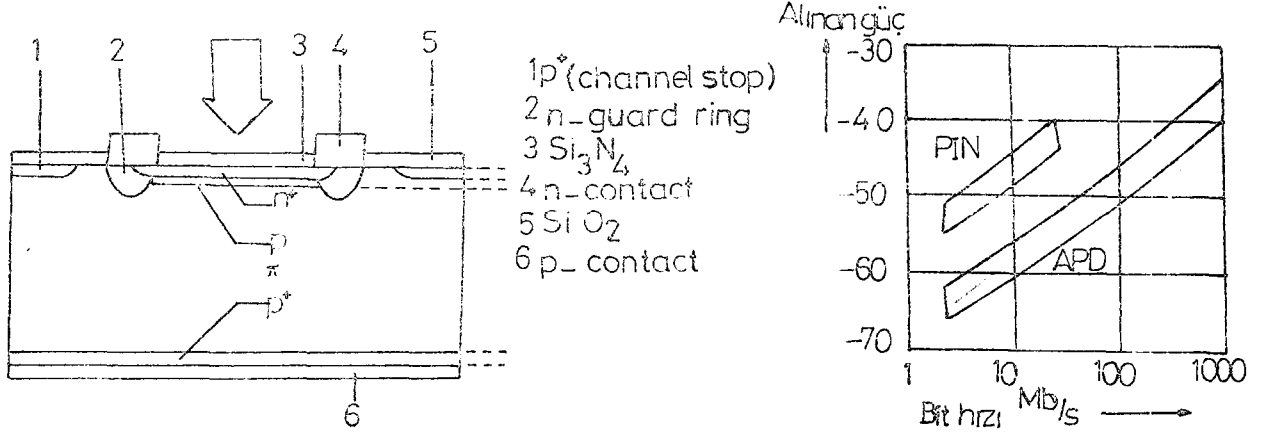
Sonuçta, yüksek güçlü elektrik alanı bölgesi n-InP tabakasında oluşur ki, burada avalans kırılması çok kolay başlanır. Fotonlar tarafından üretilen başlıkları toplamak için, InGaAs tabakasında düşük güçlü elektrik alanı oluşturmak gerekir.

1300 nm Dalga Boyu İçin Diğer diyodlar:

- Germanyum avalans foto diyodları, bir APD'nin üretimi nispeten kolay, fakat teknolojik

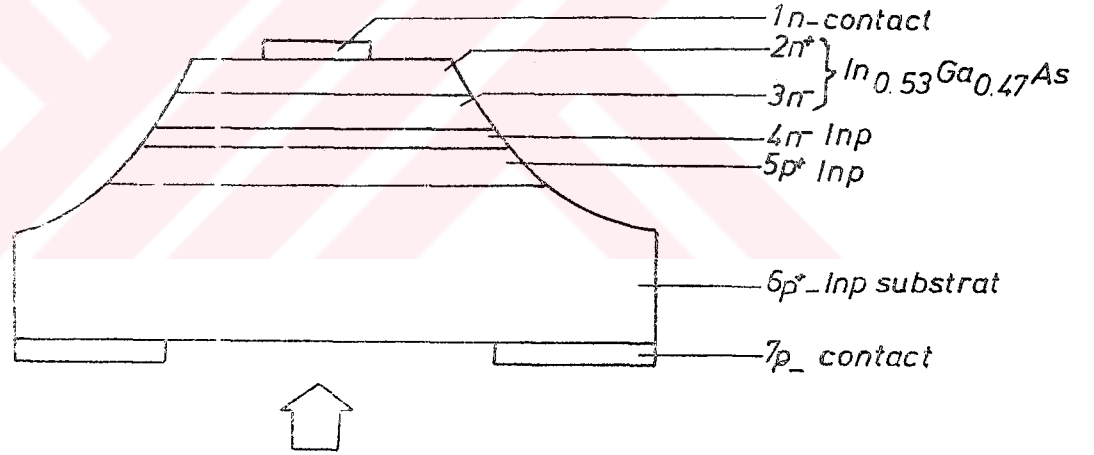
olarak daha az önemlidirler.

- InGaAs/InP fotodiyodunun bir GaAs-FET ile kombinasyonu.



Şekil: 3.23 Silikon avalans diyodunun tasarım şeması.

Şekil: 3.24 Bir APD ve PIN fotodiyodunun hassasiyeti.




Şekil: 3.25. InGaAs/InP Avalans diyodunun Tasarım Şeması.

Tip	Dalga Boyu (nm)	Yarıiletken Yapı Maddesi	Kuvvetlendirme	Spektral Duyarlık (A/W)
PIN-PD	400-1000	Si	Planer/PIN	None
APD	400-100	Si	Planer	X10-X100
PIN-PD	1300	Ge	Mesa/palaner	None
APD	1300	Ge	Mesa/planer	X10 0.7-0.9
PIN-PD	900-1600	InGaAs/InP	Mesa/planer	None
APD	900-1600	InGaAs/InP	Mesa/planer	X10-X50

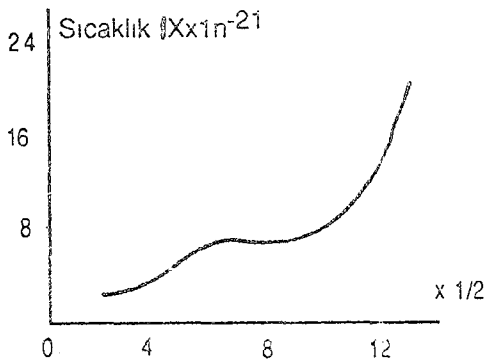
Tablo: 3.2 APD<sub>s</sub> nin karakteristiklerini verir.

## 4.16 RCA C3.818E SİLİKON (APD) DİYOD VE ÖZELLİKLERİ

ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER 25°C'da	FOTODİYOD BİAS VE AMPLİFİKATÖR VOLTAJİ ± 6 VOLT			BİRİM
	MİN.	TYP.	MAX.	
RESPONSİBİLİTE				
At 900nm .....	$2.4 \times 10^5$	$3.9 \times 10^5$	R	V/W
At 1060nm .....	$6.0 \times 10^4$	$9.7 \times 10^4$		V/W
Gürültü eşdeğer gücü (NEFP)				
f=100KHz, Fo				
$\Delta f=1.0$ Hz				
At 900nm .....	—	$3.8 \times 10^{-14}$	$1.3 \times 10^{-13}$	W/Hz.1/2
At 1060nm .....	—	$1.6 \times 10^{-13}$	$5 \times 10^{-13}$	W/Hz.1/2
ÇIKIŞ				
Gürültü voltajı				
YOĞUNLUK				
f=100KHz =100MHz				
$\Delta f=1.0$ Hz	—	$1.5 \times 10^{-8}$	$3 \times 10^{-8}$	V/Hz.1/2
Çıkış empedas	—	25	50	
Sistem Bandandth				
fo 3db point	35	50	—	MHz.
LINEERLİK SAHASI				
Yükselme zamanı				
RL = 50Ω				
$\lambda = 900$ ve 1060nm				
DÜŞME ZAMANI				
RL = 50Ω				
$\lambda = 900$ ve 1060nm				

Şekil: 3.26 RCA C3.818E silikon APD'nin elektriksel karakteristikleri

Yarı iletken çığ fotodiyodlarda (APD) iki temel gürültü kaynağı vardır. Bunlar ısı gürültü ve shot gürültüdür. Isıl gürültü işaret akımından bağımsız olmasına karşılık, shot gürültü işaret akımına bağımlıdır. Akım ve işaretin band genişliği, alıcının işaret gürültü oranı (SNR) belirlemede kullanılır. İşaret gürültü oranı, ortalama işaret gücünün, gürültü kaynaklarının oluşturduğu ortalama güce oranıdır. Şekil: 3.27'de, kullanılan optik alıcının işaret gürültü oranı değişimi verilmektedir.

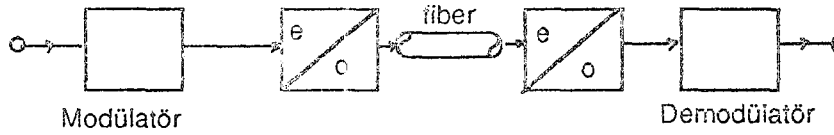


Şekil: 3.27: RCA C30818E'nin işaret gürültü oranı.

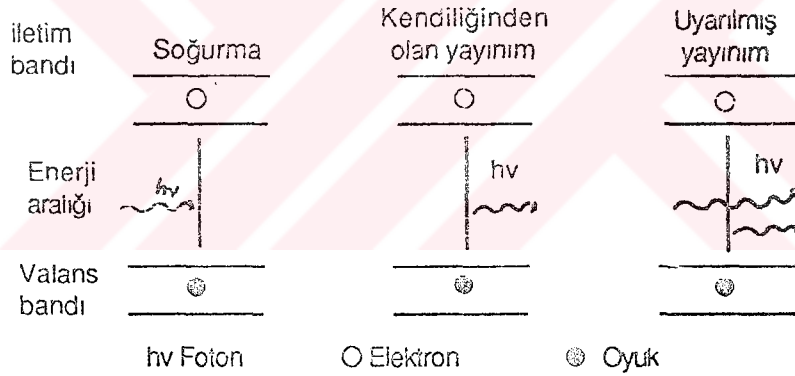
Çalışmada optik lif olarak RS Components'in nüve çapı 1 mm, sayısal açıklığı 0.47 olan ve görünür dalga boylarında çok kullanışlı polimer kablosu kullanılmıştır. 665 nm de zayıflaması 200 dB/km dir. Koruma amacıyla siyah polietilenle kaplı kablonun minimum bükülme yarıçapı 15 mm dir, çalışma sıcaklık aralığı  $-30^{\circ}\text{C}$  ile  $+95^{\circ}\text{C}$  arasındadır. [9]

## 5. OPTİK SİNYALİN DÖNÜŞTÜRÜMESİ

Işık sinyallerini bir fiber optikle göndermek için, fiber optiğin başlangıcında ve sonunda, elektrik sinyallerini optik, optik sinyalleri de elektrik sinyallerine dönüştürecek uygun verici ve alıcı elemanlara ihtiyaç vardır.



Şekil: 4.1 Fibrer-Optik Transmisyon Şeması



Şekil: 4.2 Bir yarı iletkende Elektro-Optik İlişkiler.

Verici tarafında, bir elektrik sinyali ışık kaynağının şiddetini modüle eder. Optik sinyal fiber optiğe kuple edilir (Aktarılır) ve böylece alıcıya verir. Foto alıcı buna tekrar bir elektrik sinyaline çevirir.

Yarı iletken teknolojisinde özellikle 3.4.5 maddelerin elektro-optik dönüştürücüler (Transduser) ve onların alışılmadık kullanışlı olduğu görülmüştür. Bunlar, örneğin tablo 3.1 deki periyodik grubun 3.4 ve 5. elemanları Ga As P/In P yarıiletkenlerin valans bandı isimli iki enerji sahasının alanı vardır. Bunlar birbirinden  $E_g$  enerji duvarı ile ayrılırlar. (4-2)

Yarı iletken içerisine giren bir foton kendi enerjisi  $h\nu$ 'yi valans bandtaki bir elektrona bırakır. Böylece elektron yüksek enerjili iletkenlik bandına yükselir. İşlemin devamında foton kaybolur ve valans bandtan ayrılır. Elektronun yerinde pozitif boşluk olarak bilinen bir boşluk oluşur. Bu elektro-optik olaylardan bir tanesidir. (Şekil:4-2)

Eğer iletkenlik bandının elektron dağılım dengesinde fazla elektron varsa, bu elektron valans bandı geri düşer. Böylece her elektron için bir foton yarı iletkenden dışarı çıkarak yayılır.



Bu işlem aşırı şarj taşıyıcılarının yayılımının tekrar bileşimi olarak bilinir. Çünkü bu işlemde fazla elektronlar ve boşluklar azalır. Bu kendiliğinden emisyon veya ışık yayma olarak adlandırılır. (Şekil: 4-2)

Fotonlar yarı iletken içerisinde, aşırı yük taşıyıcılarının çok miktarda tekrar, birleşmesine sebep olduğunda, zorlanmış emisyonlar oluşur. (Şekil: 4-2) Yani fotonların emisyonu azalır. Bu durumdaki önem, neşredilen yayılımın kendisini uyararak yayılımın, faz ve dalga boyuna eşit oluşudur. Bu 3 işlem daima birinin kontrolü ile aynı anda oluşur ve teknik olarak kullanılabilir. Foto diyot yutumdan (Emmeden) faydalanır, ışık yayan diyot zorlanmış emisyon kullanır ve laser diyonu zorlanmış emisyonundan yararlanır.

İçerisinde elektrik akımı elektronlar tarafından iletilen (Negatif yükle parçacıklar) yarı iletkenler N tipi olarak adlandırılır. P tipi yarı iletkenlerde elektrik iletimi boşluklar (Pozitif yüklü taşıyıcılar) la yapılır. P ve N tipi yarı iletkenliğin birleşiminde diyod oluşturur.

## 5.1 VERİCİLER

Fotonların yayılmak için zorlanması veya kendiliğinden emisyon sağlayabilmesi için aşırı yük taşıyıcıları yarı iletken içerisine verilmelidir. Bu, yük taşıyıcılarının bir PN birleşimi yoluyla enjekte edilmesiyle sağlanır. Eğer PN birleşimi ileri yönde çalıştırılırsa, P tabakasına ilave elektronlar ve N tabakasına bu ilave holelar (boşluklar) enjekte edilir ki, bunlar foton yaymak için kullanılırlar.

Emisyonla birlikte yük taşıyıcıları enjeksiyon işlemi, enjeksiyon aydınlanması olarak adlandırılır. Bu vericilerde, örneğin LED'lerde ve laser diyodlarda uygulama alanı bulur. [4]

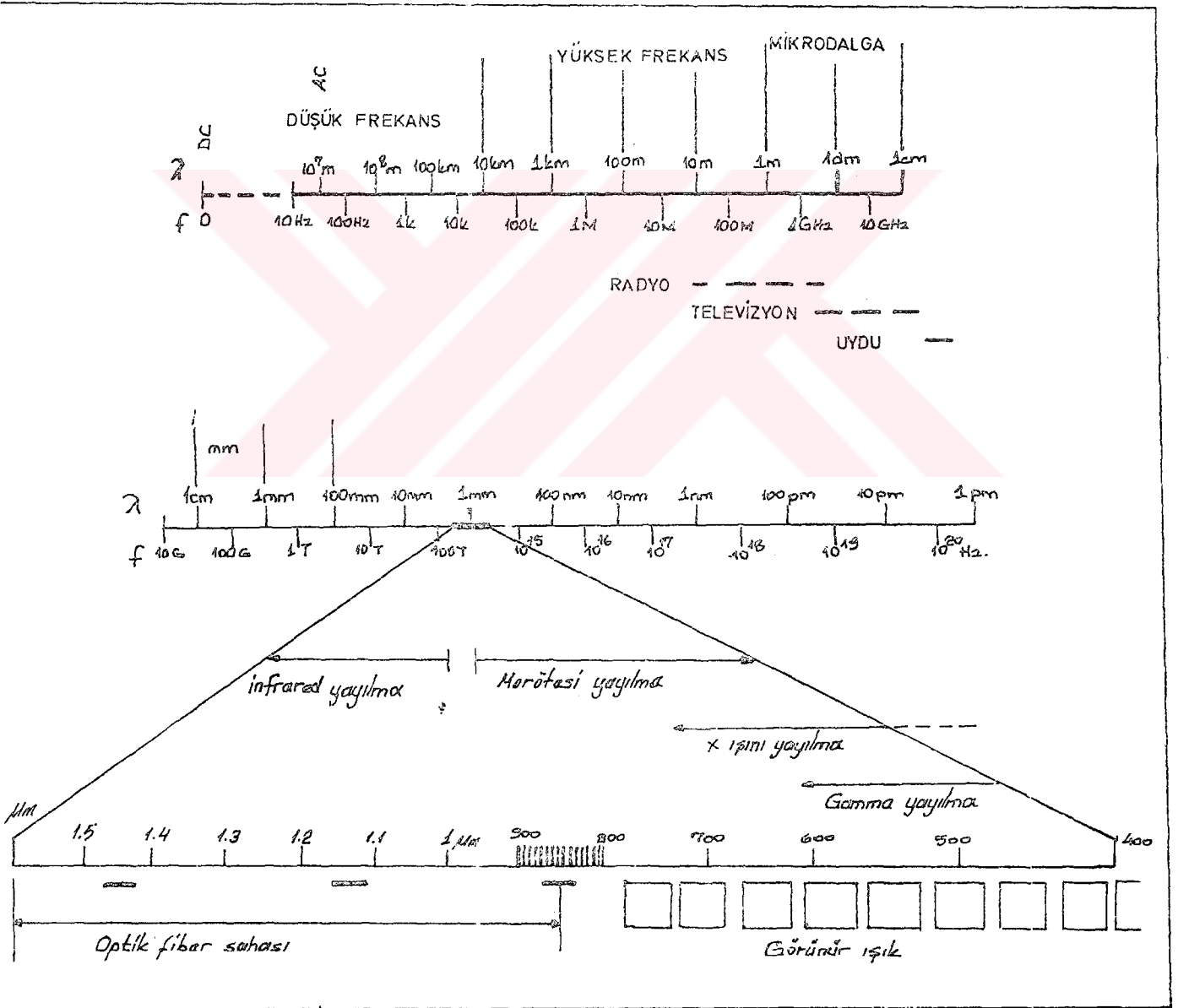
## 5.2 ELEKTROMANYETİK DALGA SPEKTRUMU

Elektromanyetik dalgaların (EMI) yüzyıllar öncesinden bilgi transferi için kullanılabileceği ispat edilmiştir. EMD'ların bilgi transferinde kullanılabilmesi, bir iletim ortamına ve dalganın bu ortamda yayılması prensibine dayanmaktadır.

Böylece EMD'ler elektriksel iletkenliği olmayan yarı iletken yada akım içinde yüksek hızla yayılabilmektedirler.

EMD spektrumu ve dağılımı Şekil: 4.3 de görüldüğü gibidir.

Spektrumda da görüleceği üzere, optik kılavuzlarla ışık iletişimi 800 ile 1600 nm yakın kızıl ötesi dalga boyu kullanılmış ve bu dalga boyları arasında 850, 1300 ve 1550 nm'lik optik iletişim için çalışma dalga boyları seçilmiştir. [7]



Şekil: 4.3 EMD Spektrumu ve Dağılımı.

## 6. FİBER OPTİKLERİN PRATİK ALGILAMALAR İÇİN KULLANIMI

### 6.1 GİRİŞ

İnterferometrik sıcaklık ve basınç algılamasında düşük maliyetli fiber optik uygulamaları.

Üretim ve malzeme maliyetindeki son düşüşler ucuz fiberoptiklerin daha kolay elde edilmesini sağlamış ve algılama alanında daha çok deney yapılabilmesine imkan vermiştir. Fosfor uçlu yada reaksiyon tipli fiberleri ihtiva eden eski teknikler dış yerlerin tabii fiberoptik avantajından yararlanırdı. Fakat bu tip algılayıcılar, ışık yayılımı veya kimyasal metodların olmadığı etkileşimlerde kullanılamıyordu. Daha zararsız metodların geliştirilmesi gerekiyordu. Devam eden araştırmalar ve fiyatların hızla düşmesi fiber algılama mühendisliğinin yeri seviyelerine öncülük etti; pratikte düşük fiyatlı, düşük dereceli fiber kullanımı çok başarılı bir şekilde ispatlandı.

### 6.2 TEMEL FİBER İLETİMİ

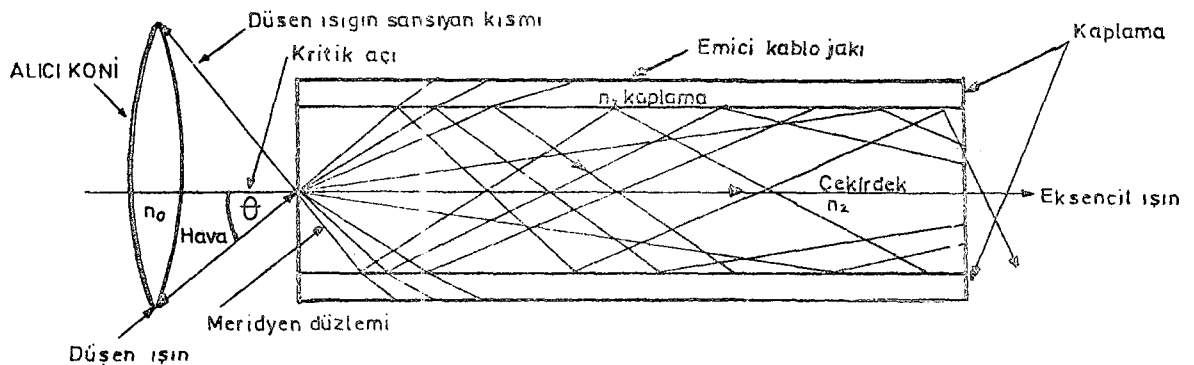
Fiber optik algılamada kullanılan asil eleman sadece optik fiber, özellikle çoklu mod fiberlerdir. Tek modlu fiber, algılayıcı sistemlerin bir çoğunda çok modlu fiberlerin yerini aldığından, büyük hassasiyet hataları ortaya çıkmaktaydı. Kolay olması açısından bu yazı çok modlu fiberle sınırlı kalacaktır.

Fiber ile ölçümün temeli fiber boyunca ışık yayılımının toplam iç yansımalarıdır. (TIR: Total Internal Reflection). Fiberin bir ucunda nümerik aralıktan (veya şekil: 5.1'de gösterilen konik girişten) giren ışın fiber boyunca kaplamaya çarparak toplam iç yansımalarla (TIR) gidecektir. Tipik çok modlu fiberin iç çapı 20-200 mm arasında ve kaplama çapı 125-400 mm seviyelerindedir. Kaplama, sırasıyla bir dış kol tertibatıyla yada koruyucu malzemeye kaplanır. Eğer kaplama mat ise, fiber boyunca gönderilen ışığın sadece dahili yansımaları, fiberin merkez eksenine boyunca, bir dış çekirdek ile iç kaplama yüzeyinden diğer dış çekirdek ile iç kaplama yüzeyine sıçrar. Her ne kadar bu tip fiberler (algılayıcı kullanımı için) tek modlu optik fiberden daha hassas olsada, harici mat kaplamalı ve parlak yüzeyli çok modlu bir fiberden daha az hassastır.

Çok modlu bir fiberde parlak kaplama kullanımı bir elastik (Plastik, Algılayıcı uygulamaları için tipik bir yansıtıcı kaplama malzemesidir.) ve cam (veya herhangi bir çekirdek malzeme olabilir) arasındaki bir optik yüzeyin oluşturulmasıyla hassasiyet artar.

Fiber optik algılama, fiber içerisindeki zayıflamayı en iyi hale getiren bir özellikte çalışır (Yalnızca az kaliteli malzeme değil yansıma işlemi sonucundan). Bu, zayıflama daha az (Tipik olarak 0,1 dB/Km) olduğunda haberleşme alanındaki eskimiş standart kanunlarla tamamen uyuşmaz.

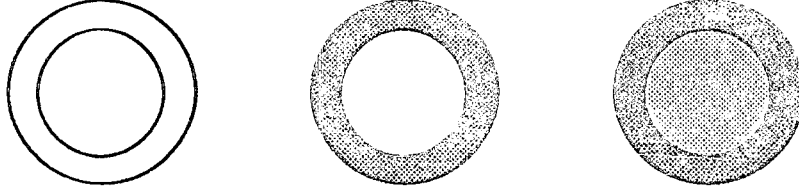
Bazı fiber üreticiler, algılama sistemlerinde kullanmak için yüksek kayıplı ve yüksek çift-kırılmalı fiberleri tercih etmektedirler. Algılama sistemleri, ısı, basınç, gerilme, ivme akustik dalgalar, sıvı derinliği ve hacmi, elektrik alanı, manyetik alan, sapma algılamalarda kullanılmaktadır. (Son durumdaki, fiberoptik ring jiroskoplarda yıllardır kullanılmaktadır). Fiber optik algılayıcıların alışılmış ölçme metodlarına göre avantajları, yüksek data hızları için potansiyeli ve tehlikeli bölgelerde elektriksel bağımsızlığı olan elektromagnetik ve radyo frekansı girişimleri için fiberin dayanıklılığını sağlamasıdır.



Şekil: 5.1: Büyük çekirdekli katı kaplamalı fiberde boyuna kesit.

### 6.3 ISI ALGILAMA

Bir fiber optik algılayıcı ile ısı ölçümü çekirdek/kaplama arayüzündeki ısıl genişleme katsayısının değişmesiyle yapılır. (Şekil: 5.2) kablo ısısının artması yada azalmasıyla, çekirdek/kaplama arayüzündeki ısıl denge değiştirilir; çünkü çekirdek ve kaplama farklılıklarla genişler (yada büzülür).



Şekil: 5.2 -Isının artmasıyla, nokta girişim deseninin grafikte açıklanmasıyla solda, çevre ısı dengesi hiç bir desen oluşturmaz ortada, ısı artmaya başlamıştır; noktalar daha çok çekirdek kaplama bölgesinde yoğunlaşmıştır. En sağda, sıcaklık daha da artmıştır; nokta deseni çekirdeğe doğru hareket eder.

Örneklerde, fiber optik interferometrenin bir kolu durumundayken, bu etki, tıpkı bir spiral etkisi gibi, interferometrik matrisin karşılaştırılmasındaki uygun bir eğim gibi ortaya çıkar. Isı artıyorsa spirallenme çekirdeğe doğrudur; Eğer ısı düşüyorsa spirallenme etkisi çekirdek Merkezinden dışarıya doğrudur.

Fiberoptikle algılanan ısı, bir çift dönüşümü işlemdir. İşlemin ilk adımı, ölçüden ısının, fiber çekirdek ve kaplamasında bağıl lineer yada eksenel değişime dönüştürülmesidir. Bu boyuta ait değişim sonra saçak/girişim oluşumuna dönüştürülür. Çekirdek ve kaplama için boyutsal değişiklikle saçak değişimleri arasındaki toplam etkileşim iki basamaklı bir hesaplama işlemiyle tanımlanabilir. İlk adımda, çekirdek ve kaplama için ayrı ayrı saçak değişimleri hesaplanır; Aşağıdaki formül kullanılır.

$$F_c = [(n-1)\alpha\Delta T]/\lambda \quad (1)$$

çekirdek veya kaplama

Burada, n kaplama yada çekirdek malzemesinin kırılma indisi (birimsiz),  $\alpha$  0-100 °C ısı seviyesinde kaplama yada çekirdek malzemesinin ısıl genişleme katsayısıdır.

[1/ °C birimli], L ölçme parçası uzunluğu (cm),  $\lambda$  kaynak dalga boyudur (nm)  $\Delta T$  ise sıcaklık değişimidir (°C).

İkinci adım aşağıdaki formül kullanılarak sistemin ortalama saçak değişimlerinin hesabını yapar.

$$F_{c \text{ sistem}} = [(n_{\text{Ort}}-1) (\Delta L_{\text{Ort}})] / \lambda \quad (2)$$

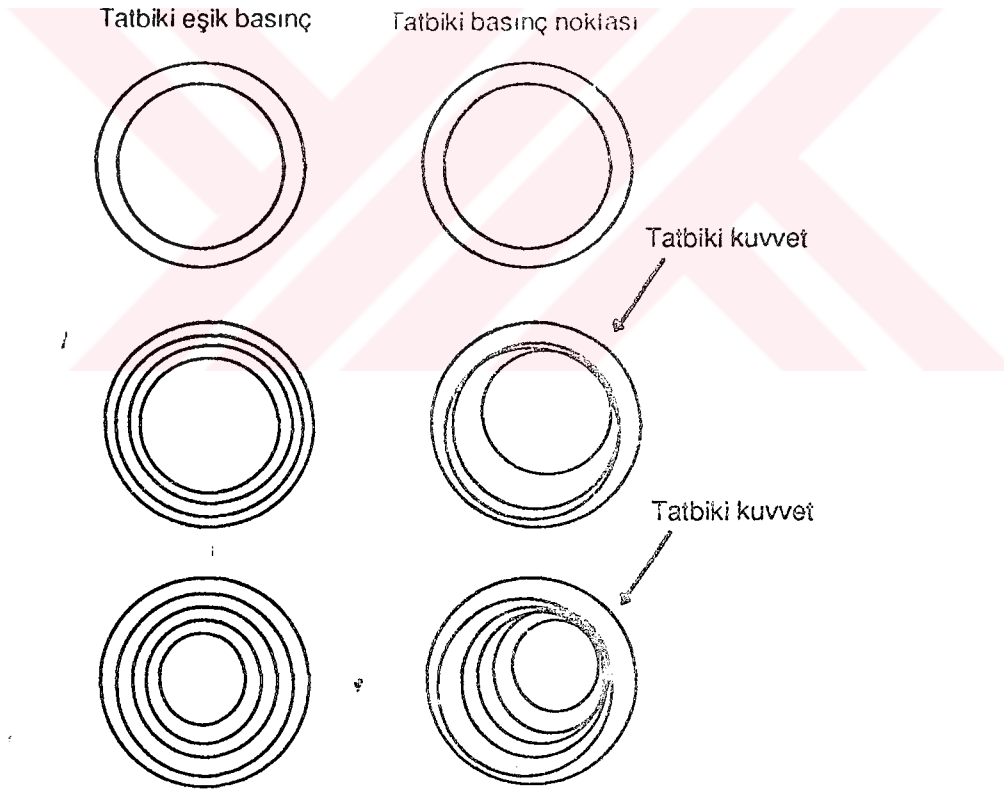
Burada  $n_{\text{Ort}}$  çekirdek ve kaplama malzemelerinin ortalama kırılma indisi (birimsiz),  $\Delta L_{\text{Ort}}$  çekirdek ve kaplama malzemesinin lineer boyutundaki ortalama değişimdir. (cm) ve  $\lambda$  kaynak dalga boyudur (nm). Birinci denklem eritilerek birleştirilmiş kuartz cam çekirdek maddesi için yaklaşık 3 saçak değişimi ve teflon TFE kaplama maddesi için  $\approx 360$  saçak değişimini verir (ısıdaki 100 °C değişimler için) denklem 2'nin çözümü ile her iki yapı için denklem 1'in

çözümünün ortalamasının sonucunda ispatlandığı gibi  $\approx 189$  saçak değişimi oluşur.

Basit indirgemelerle, bu sistemin ısıdaki her bir  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  değişimle  $\approx 1$  saçak değişimi oluşturduğu söylenebilir. Her  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  değişimde bir saçak değişim hassasiyeti sistemi kurulmasına, şartlara, montaj ve diğer bazı faktörlere bağlı olarak elde edilebilir. Sistemin doğruluğu doğrudan  $\alpha$  nın belirlenmesiyle ilişkilidir. Sistemin tekrarlanabilirliği kullanılan çekirdek ve kaplama maddelerinin elastikiyetlerine bağlıdır. [10]

#### 6.4. BASINÇ ALGILAMASI

Optik fiber kullanarak basınç algılaması, optik fiberin hacimsel esneklik katsayısına yada uygulanan sıkıştırılabilirlik durumuna bağlıdır. (Şekil: 5.3) kablodaki basıncın artması yada azalmasıyla, çekirdek ve kaplama arasındaki fark çekirdek kaplama ara yüzeyinin bozulmasına sebep olur. Bu, kabuk etkisi olarak bilinen, girişim matrisindeki orantılı bir karışımla ortaya çıkar. Basınç arttığında kabuk etkisi çekirdeğin merkezine doğru kayar; basınç düştüğünde ise çekirdeğin merkezinden dışarı doğru hareket eder.



Şekil: 5.3 -Basınç değişimiyle, kabuk etkisi deseninin grafiksel açıklanması üstte, dış çevre basınç dengesi hiçbir desen oluşturmaz. Orta (Solda), kabukta, kabule etkisi oluşturan dış çevre basıncı artar. Orta (Sağda) uygulanan noktasal kuvvetle artan basınç, kaplamada merkezleri aynı nokta olmayan halkalar oluşturur. En altta (Solda), basıncın artması çekirdek merkezinde dikkata değer kabuk etkisi oluşturur. En altta (Sağda) uygulanan noktasal kuvvetin artmasıyla çekirdekteki merkezleri aynı olmayan kabuk etkisi gözlenmiştir.

Optik fiberle basınç ölçümü, üç dönüşümlü bir işlem gerektirir. İlk adım, ölçülen basıncın bağıl hacime ait değişime dönüştürülmesidir. İkincisi hacime ait bilginin lineer yada eksenele

değişime çevrilmesidir. Üçüncüsü ise; bu boyutsal değişimi uygun saçak/girişim oluşuna dönüştürmektedir.

Çekirdek ve kaplamanın her ikisi için saçak değişimleri ve boyuta ait değişim arasındaki tüm etkileşim, aşağıdaki şekilde tanımlanır. Önce, denklem 3 kullanılarak, çekirdek için saçak değişimleri hesaplanır.

$$F_{c_{\text{çekirdek}}} = [(n-1) (\Delta PV) / B \pi r^2] / \lambda \quad (3)$$

Buradan  $n$  çekirdek maddesinin kırılma indisi;  $\Delta P$  basınçtaki değişim ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ );  $V$  algılanan parçadaki çekirdek maddesinin hacmi ( $\text{cm}^3$ );  $B$  çekirdek maddesinin hacim modülüdür ( $\text{Kg}/\text{Cm}^2$ );  $r$  çekirdek maddesinin yarıçapı ( $\text{cm}$ );  $\lambda$  ise kaynak dalga boyudur ( $\text{nm}$ ).

Sonra denklem 4 kullanılarak kaplama için ayrı ayrı saçak değişimleri hesaplanır.

$$F_{c_{\text{kaplama}}} = [(n-1) ((\Delta PV) / B \pi (R^2 - r^2))] / \lambda \quad (4)$$

Burada  $n$  kırılma indisi;  $R$  kaplama Maddesinin dış yarıçapıdır. ( $\text{Cm}$ ). Daha sonra, denklem 5 kullanılarak, ortalama sistem saçak değişimleri hesaplanır:

$$F_{c_{\text{sistem}}} = (n_{\text{Ort.}} - 1) (\Delta L_{\text{Ort.}}) / \lambda \quad (5)$$

Burada  $n_{\text{ort}}$ , çekirdek ve kaplamanın ortalama kırılma indisi;  $\Delta L_{\text{ort}}$ , çekirdek ve kaplama maddelerinin lineer boyutundaki ortalama değişimidir.  $\lambda$  ise kaynak dalga boyudur. ( $\text{nm}$ )

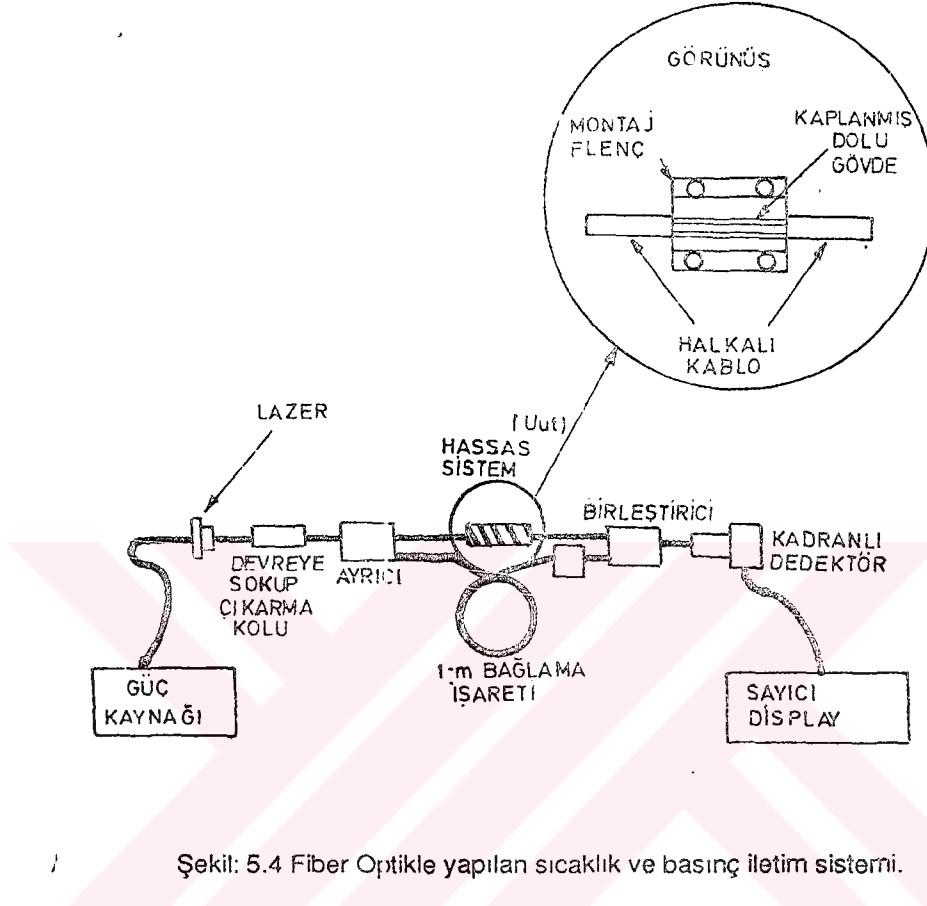
Denklem 3, ısıtılarak birleştirilmiş quartz-cam çekirdek maddesi için  $\approx 146$  saçak değişimini verir ve denklem 4 bir teflon TFE kaplama maddesi için  $\approx 1635$  saçak değişimi verir (Tüm maddeler basıncın  $1000 \text{ kg} / \text{cm}^2$  lik değişim altındadır). Denklemlerin 5'inin çözümü ile denklem 3 ve 4 ün üç ayrı ortalamasının sonucu ile isbatlanan,  $\approx 2616$  saçak değişimini verir. Basit bir indirgeme gösterir ki, bu sistem her  $0,38 \text{ Kg} / \text{Cm}^2$  için  $\approx 1$  saçak değişimi sağlar. Kurmaya, şartlara, montaja ve ilgili diğer faktörlere bağlı olarak her bir  $0,10 \text{ Kg} / \text{Cm}^2$  artışta bir saçak değişimi hassasiyetide elde edilebilir. Sistemin doğruluğu, direk olarak  $B$  nin değişimine bağlıdır. Sistemin tekrarlanabilirliği kullanılan çekirdek ve kaplama maddelerinin elastikyetlerine doğrudan bağlıdır.

[11]

## 6.5. SİSTEM TEORİSİ

Çok modlu fiber örgü üzerinden ayırıcıyla (splitter) bağlanan laser diyotta başlayalım. (Şekil: 5.4). Tek hatta bağlı olan ayırıcıdan çıkan ışık bir metrelik fiberde bir sarım içinden geçer. Bu sarım algılayıcı ve önceki sarım tekrarı arasında girişimi veya uygunsuzluğu telafi edecek şekilde içerden ayarlanabilen hava boşluklu etalon ile sarılmıştır. Etalon, kalibrasyon için gerekli biyaslamayı ortadan kaldırır.





Diğer hat, ayırıcıdan çıktıktan sonra algılayıcıya (Uut) bağlanır. Algılayıcı, ısı yada basınç (yada her ikisi birden) için algılanacak hedef alan ile doğrudan bağlantılı olarak yerleştirilmiştir.

Algılayıcı yada tekrarlama kollarının veya hatlarının hepsi (ayarlanabilir hava boşluklu bir atalona) bir karıştırıcı da tekrar bir araya getirilir; tek bileşekli fiber çıkışı dörtleyici dalga boyları eşit foto-dedektöre gönderilir. Dış uyarıdaki tepkinin diferansiyel değişimi ile bir nokta interferogram şeklindeki sonuç girişim deseni (ler) bir dörtleyici dedektöre gönderilir. Eğer burada bir ısıya neden olan kayma varsa dedektör dörtleyicileri sıfır noktasından veya merkezden dışarı doğru aktif duruma geçer. Eğer basınca neden olan kayma varsa sadece dedektörün sıfır noktasında yada merkezinde yoğunlaşacak olan dedektör yüzeyindeki değişim aktiveleşir.

Deteksiyonu çözümlenecek olan elektronik sistemler bisaylama, tarama ve faz uygunlaştırıcı devreleri ihtiva eder (son düzeltme için genişleme/yoğunlaşma etkisi, soğuma/ ısınma, basınç artması/basınç azalması ile aynıdır).

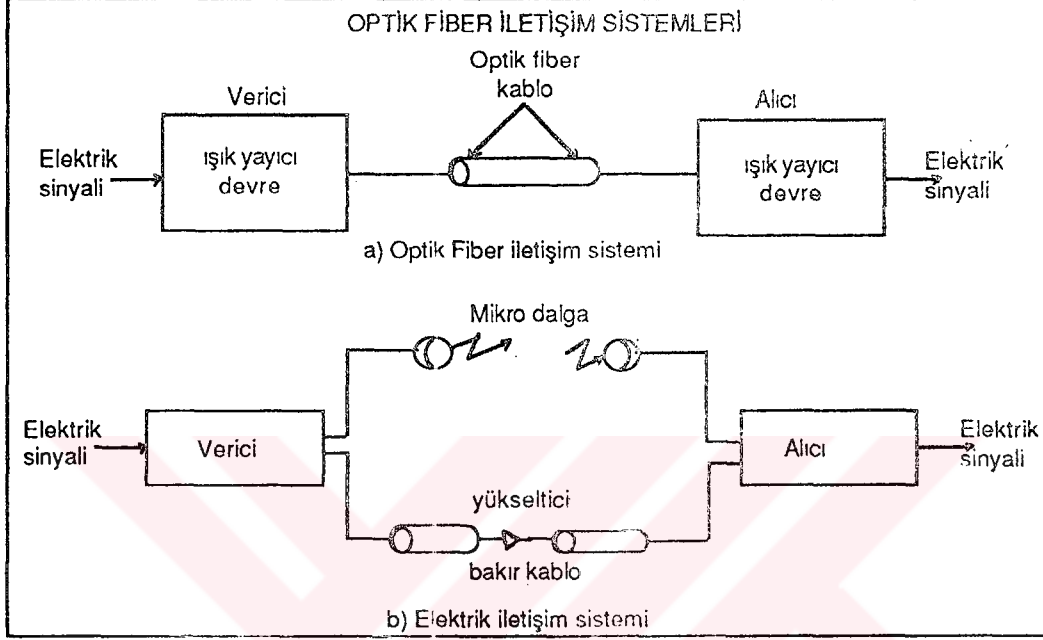
Sistem uygulamaları, boşluk, radyo aktif, tehlikeli kimyasal ve düşman bölgelerinde olabilir. Çekirdek ve kaplama birimleri dışında başka "birleşici" parça yokken bakım en düşük seviyededir.

## 6.6. İLETİŞİM SİSTEMİ

Günümüzde data iletişimi Şekil: 5.5 de görüldüğü gibi üç değişik sistemde yapılmaktadır.

Özellikle uzak mesafe haberleşmesi elektriksel olarak iki şekilde yapılabilmektedir. Elektrik sinyali vericide kuvvetlendirilerek ve elektromanyetik dalga iletişimi ile bakır kablo veya hava iletim ortamı kullanılarak alıcıya ulaştırılmaktadır.

Optik iletişim ise, elektirsel sinyal ışık yayıcı diyotlar veya lazer diyotlar ile ışık sinyaline dönüştürülür ve optik fiber kablo üzerinden alıcıya aktarılır. Alıcıda bilgi içerikli ışık sinyali hassas foto dedektörler kullanılarak elektrik sinyaline çevrilir. Böylece bilgi transferi gerçekleştirilmiş olur.



Şekil: 5.5 Optik Fiber İletişim Sistemleri.



## 7. ELEKTRİK ALAN BİLEŞENLERİNİN FİBER-OPTİK ALGILAMASI

### 7.1. GİRİŞ:

Elektrik alanların optik algılaması için, çeşitli sensör tipleri vardır. Bunların birçoğu, elektrooptik etkilerle üretilen optik faz değişimleriyle çalışırlar. Büyük kristaller ve kristal dalga klavuzlarını içeren algılama elemanları, camlar veya sıvılar gibi izotropik ortamlardır. (Kerr etkisi)

Fiber optik modülatörlerin gelişmesiyle, yeni bir başlangıç meydana gelmiştir. Burada, elektrik alan, bir optik fiberden iletilir ve piezo-elektrik malzemenin zorlanmasıyla oluşur. (ters piezo elektrik etkisi). Fiber uzunluğunun değişimi, uygulanan alanla orantılı olarak, optik faz kaymasına sebep olur. Elde edilen faz kayması, genellikle elektrik alan yönünün, karmaşık bir fonksiyondur. Elektrik alanının yönü, farklı uzay doğrultularındaki alan bileşenlerine, sensör farklı tepki verdiğiğinde, sensörün yönüyle orantılıdır. Alan geometrisinin veya sensör yönünün her değişiminde, yeniden ayarlanması gereken voltajlar, yerel alan ölçümleri ile anlaşılabilir.

Bu konuda sadece, sabit sensör eksenine paralel olan, alan bileşenlerine duyarlı, fiber optik alan sensör kavramı incelenmiştir. Diğer uzay doğrultularındaki, alan bileşenleri etkili değildirler. Sensörün fiziksel prensibi, ters piezo elektrik etkisinin simetri özelliğine bağlıdır.

Bu çalışma yön algılamalı alan dedeksiyonunun esas olduğu durum için elektrik alanının hat integrasyonu, voltaj algılama fikrinden yola çıkılarak yapılmıştır. Ayarlanması geometrik parametrelerden bağımsız olduğunda, voltaj sensörünün algılama kabiliyeti, alan integrasyonunun yeterince büyük olmasına bağlıdır. Bir yön seçici alan sensörü, elektrooptik yöntemlere alternatif olarak, elektrik alan dağılımının gösterimiyle de ilgilidir.

7.2. Bölümde sensörün fiziksel özellikleri, detaylı bir şekilde tanımlanmıştır. Yön duyarlılık alan dedeksiyonuna, uyumlarından dolayı yirmi piezo elektrik kristal camının, sistematik buluşunun sonuçlarını özetleyeceğiz. 7.3. bölümde sensör planına uygun, bazı malzeme özelliklerini izah edeceğiz. Deneysel sonuçlar ve izahları bölüm 7.4.'te ve son olarakda özet bilgileri verilecektir.

### 7.2.FİZİKSEL PRENSİP:

Özel elektrik alanlarının, fiber optikle algılanması için geliştirilen teknik, ters piezo elektrik etkisinin, simetri özelliğine göre çalışır. Özel alan bileşimi ile üretilen piezo elektrik gerilimler için, piezo elektrik kristalografik nokta grupları bulunmuştur. Diğer iki uzay yönleri katkıda bulunmazlar. Boydaki uzaması uygun alan, bileşeniyle doğru orantılı olan ve interferometrik olarak ölçülen uygun bir gerilim optik fibere aktarımı yoluyla kaydedilir.

Gerçek sensör dizaynı ve piezo elektrik malzemenin seçimi ile ilgili değişik çözümler mevcuttur. Aşağıdaki bölümlerde izahımızı Şekil: 7.1'de gösterilen 3 temel şekille sınırlandıracağız. İlk dizaynda (Şekil: 7.1 a) disk (yuvarlak) yüzeyli piezo elektrik malzeme gerekir. Kristalografik nokta grubu ve kristalografik eksenlerin doğrultuları, sadece diske dik doğrultudaki alan bileşeni seçilecek şekilde ve uygun piezo elektrik gerilme disk çevresinde değişim yapacak şekilde seçilir. Farklı olarak, daire çevresi, alan bileşenleri ile normale dik olarak birleşmiş gerilmelerden etkilenmez. Daire çevresinin değişimi, diski birkaç dönüşle sınırlayan, fiber uzunluğunu değiştirir. Kristalografik eksenlerin yönlerine benzeyen Tablo 7-1'de verilmiştir. Daha ileri çizimler için,  $D_3$  camını (quariz) daha detaylı inceleyeceğiz.  $D_3$  için piezo elektrik gerilme katsayıları matrisi

$$\begin{matrix} d_{11} & -d_{11} & 0 & d_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -d_{14} & -2d_{11} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

Kristalografik x doğrultusu boyunca uygulanan bir elektrik alanı, x civarındaki boylamasına eksene olan kırılmada olduğu gibi, sırasıyla x ve y doğrultuları boyunca, boyuna ve enine piezo elektrik gerilme meydana getirir. y boyunca uygulanan elektrik alanı y ve z civarında kırılmalar (shears) meydana getirir. z boyunca uygulanan alanlar gerilmeler meydana getirmez.

Disk normaline paralel alan bileşenlerinin özel dedeksiyonu için, kristalografik x eksenleri normale paralel seçilmelidir.

x boyunca alan bileşenlerine uygulanmış çapraz gerilme yalnızca daire çevresindeki bir değişmeye uygun miktarda (dij nin 1. dereceden terimlerinde) katkıda bulunur. x boyunca oluşan alanlar tarafından üretilen, boyuna kırılma yalnızca, piezo elektrik gerilme katsayısına denk gelen yüksek dereceli terimlere katkıda bulunur.

Bu durum geometrik olarak gösterilmektedir. Bundan dolayı, gerilme katsayıları  $10^{-12}$  C/N derecesindedir. Bütün pratik alanlarda yüksek dereceli terimler ihmal edilebilir. y boyunca oluşan alanlarla birleştirilen kırılmalardan fayda sağlanmaz. Daire çevresinin bağlı değişimi

$\Delta L/L = - (1/2) d_{11} E_x^{(in)}$  ile verilir. Burada  $E_x^{(in)}$  piezoelektrik malzeme içerisindeki x boyunca oluşan alandır. (1/2) faktörü, gerilme katkısının radyal (açısal) olmasından, fakat faktörü, gerilme katkısının radyal (açısal) olmamasından, fakat yalnız y boyutu boyunca meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Tablo 1'de listelenen diğer kristalografik nokta grupları için kısmi bir alan bileşen duyarlılığı benzer şekilde kolaylıkla gösterilir. [12]

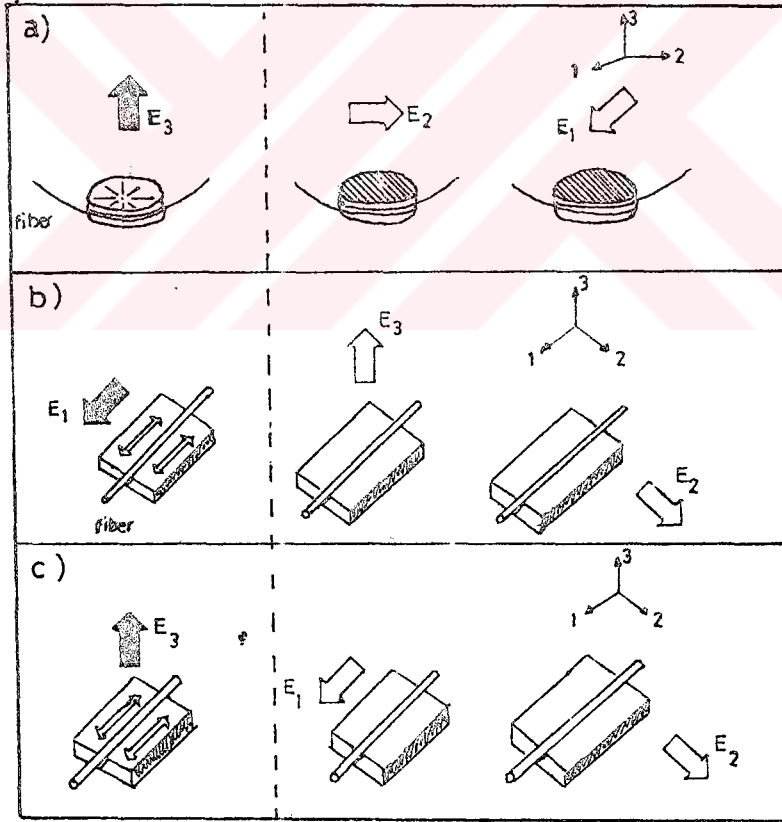
Diğer iki sensör dizaynı Şekil:7.1 (b) ve (c) de gösterilmektedir. Burada, algılama elemanları yüzeyindeki yarık içine doğrusal olarak yerleştirilen fiberli tabakadır. Elektrik alan bileşenlerinin, fibere paralel yada tabaka düzlemine dik seçilmesiyle kristalografik nokta grupları ve yönlenmesi duyarlı hale gelmeye başlar. Birçok durumda, ilgili piezo elektrik gerilme fiber yönünde ortaya çıkar ve seçilen alan bileşeniyle orantılı olarak fiber uzunluğunu değiştirir.

Uygun kristalografik nokta grupları ve yönlenmeleri Tablo: 7.2 ve 7.3'de listelenmiştir. Tablo: 7.1 Disk şeklindeki sensör elemanları için kristalografik nokta grupları

Nokta Grubu	Disk normaline paralel Kristal ekseni
$C_2$	İki sipirli eksen
$C_{2v}$	İki sipirli eksen
$C_3$	Üç sipirli eksen
$C_{3v}$	Üç sipirli eksen
$D_3$	* İki sipirli eksen
$D_{3/h}$	İki sipirli eksen
$C_4$	Dört sipirli eksen
$C_6$	Altı sipirli eksen
$C_\infty$	$\infty$ sipirli eksen
$C_{4v}$	Dört sipirli eksen
$C_{6v}$	Altı sipirli eksen
$C_{\infty v}$	$\infty$ sipirli eksen

Örnek olarak tekrar  $D_3$  sınıfını gözönüne alalım, eğer, fibere paralel alan bileşeni  $D_3$  simetri malzemesiyle ölçülürse (Şekil: 7.1 b) boyuna sıkıştırılmış eksenler (fiber yönü) kristalografik x yönüne paralel şekilde yönlendirilmiş olmalıdır. Diğer eksenleri yönlendirmesi keyfidir. Diğer bir deyişle, eğer bir kristalografik x eksenini plaka düzlemine dikey olarak yönlendirilirse (yani y eksenine paralelse), ve fiber yerleştirilirse, sensör yalnız plakaya dik alan bileşenlerine duyarlı olacaktır. (Şekil: 7.1 b) veya çapraz gerilmeler (Şekil: 7.1 c) x eksenini boyunca oluşan alanla birleştirilir. Her iki durumda da bağıl fiber uzamasının mutlak değeri  $\Delta L/L = |d_{11} E_x^{(in)}|$  ifadesine eşittir. Kırılma gerilmelerinin katkısı olmaz. İfade edilmelidir ki, eğer Şekil: 7.1 c deki dizaynda fiber y den (ve z) başka yönlerde sıraya konulursa, sensör yalnızca x eksenini boyundaki alanlara duyarlı kalacaktır. Fakat, sadece çapraz gerilmeler değil, bu alan bileşeniyle birleşmiş boyuna kırılmada fiber uzunluğundaki değişime etki edecektir.  $d_{14}$ ' $d_{11}$  oranına bağlı olan, maksimum değere ulaşan bütün gerilmelerin veya dikkate alınmayan diğerlerinin toplam etkisinin bulunduğu durumda yönler oluşur. z yönü boyunca (3'lü eksen) gerilme ortaya çıkmaz.

Ayrıca görülür ki, Şekil: 7.1 b'deki plakaların yerine silindirik şeklindeki piezo elektrik malzemeler kullanılabilirse, silindirik eksenin kristalografik yönlendirmesi boyuna plaka ekseninin yönlendirmesine eşdeğerdir. Uygun bir piezoelektrikle çaplı fiber buna bir örnek olacaktır.



Şekil: 7.1 Farklı elektrik alan bileşenlerinin duyarlılığı. Siyah kalın oklarla gösterilen alan bileşenleri bir sensör cevabı (Tepki) üretir, içi boş oklara paralel olan alan bileşenleri için bir sensör cevabı oluşmaz.

Tablo: 7.2 Eğer fibere paralel alan bileşenleri ölçülürse plaka tipi sensör elemanları için kristalografik nokta grupları ve yöntemleri

Kristalografik Nokta grubu	Fibere paralel kristal Eksen
$C_2$	İki sipirli eksen
$C_{2v}$	İki sipirli eksen
$C_3$	Üç sipirli eksen
$C_{3v}$	Üç sipirli eksen
$D_3$	İki sipirli eksen
$D_{3h}$	İki sipirli eksen
$C_4$	Dört sipirli eksen
$C_6$	Altı sipirli eksen
$C_\infty$	$\infty$ sipirli eksen
$C_{4v}$	Dört sipirli eksen
$C_{6v}$	Altı sipirli eksen
$C_{\infty v}$	$\infty$ sipirli eksen
T	Üç sipirli eksen
$T_d$	Üç sipirli eksen

Not: Diğer kristal eksenlerinin yönlenmesi keyfidir. [13]

Tablo: 7.3 Plaka tipi sensör elemanları için kristalografik nokta grupları ve yönlendirmeler plaka düzlemine dikey alan bileşenleri ölçüldüğü durum için.

Kristalografik nokta grubu	Düzlem normalinin yönü	Fiber yönü (Masmimum gerilme)
C2	İki sipirli eksen	Maksimum gerilme fonksiyonunun
C2v	İki sipirli eksen	fizyoelektrige katsayı orantısı
S4	Dört sipirli eksen	
C4	Dört sipirli eksen	Keyfi
C6	Altı sipirli eksen	Keyfi
C $\infty$	$\infty$ - sipirli eksen	Keyfi
C4v	Dört sipirli eksen	Keyfi
C6v	Altı sipirli eksen	Keyfi
C $\infty$ v	$\infty$ sipirli eksen	Keyfi
D3	İki sipirli eksen	Not:    Üç sipirli eksen
D3h	İki sipirli eksen	⊥ Üç sipirli eksen
D2	İki sipirli eksen	45° W.r.t iki sipirli eksen
D2d	İki sipirli eksen	45° W.r.t. iki sipirli eksen
T	İki sipirli eksen	45° W.r.t. iki sipirli eksen
T4	Dört sipirli eksen	45° W.r.t. Dört sipirli eksen
D4	⊥ Dört sipirli eksen	45° W.r.t. Dört sipirli eksen
D6	⊥ Altı sipirli eksen	45° W.r.t. Altı sipirli eksen
D $\infty$	⊥ $\infty$ - sipirli eksen	45° W.r.t. $\infty$ - sipirli eksen

a = Maksimum gerilme yönü  $d_{14}/d_{11}$  oranına bağlıdır. [13]

### 7.3. ALGILAMA MADDELERİ

$\alpha$  quartz (sınıf  $D_3$ ), Lithium niobate ( $C_{3v}$ ), barum titanate ( $C_{4v}$ ) ve piezo elektrik seramikler (PZT,  $C_{6v}$ ) ihtiva eden daha önce bahsedilen simetrik (ahenkli) ihtiyaçları karşılayan ticari olarak bulunabilen piezo elektrik maddeleri, polyvinylidene fluoride (PVDF) gibi piezo elektrik polymerler ve ilgili bileşikler ( $C_{2v}$ ) kadar iyidirler. Yüksek algılama için, dahili alanı maksimum yapmak için büyük piezoelektrik gerilme katsayılarına dij, ve düşük bağıl geçirgenlik katsayıları 6 j sahip olan maddeler tercih edilir.  $d/t$  oranı için tipik nümerik data yaklaşık olarak  $0.11 \times 10^{-12} \text{C/N}$  (PZT) den  $2 \times 10^{-12} \text{C/N}$  (PVDF) ye olan sahay kapsar. Açıkca piezo elektrik seramiklerin yüksek dielektrik sabitleri, yüksek piezoelektrik gerilme katsayılarına rağmen bu maddeler grubunu daha az tercih edilir duruma getirir.  $d_{11}/\epsilon_{11} = 0,51 \times 10^{-12} \text{C/N}$  li quartz orta saha içerisinde yer alır. Algılamanın azaltılmasına ilaveten, yüksek dielektrik sabitleri önemli alan bozulmalarında (distorsiyonlara) sebep olabilir.

Quartzlı bu bozulmalar nisbeten düşük dielektrik sabitlerinden dolayı en aza indirilebilir. Uygun piezoelektrik gerilme katsayısı  $d_{11}$ 'in ve dielektrik sabiti  $\epsilon_{11} (-2 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$  ve  $0,3 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$  sırasıyla) nin nisbeten sıcaklığa az bağımlılığın yüksek bir elektrik öz direnci ( $7.5 \times 10^{17} \Omega\text{m}$  kadar iyi olması quartz'ın daha ileri avantajlarıdır.

Elektrik polarizasyonunun frekans bağımlılığına sebep olabilen şarj değişikliği (şarjın bir

yerden bir başka yere kayması) ihmal edilir. Quartz'ın kısmi bir avantajıda onun üstün kararlılığıdır. Bunun tersine, piezoelektrik seramikler veya polymerler yozlanma (yıpranma) dan dolayı şiddetli problemlere sebep olabilir. [13,14,15]

#### 7.4. DENEYSSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneysel olarak artırılmış quartz, PVDF, PZT ye sahibiz. Yukarıda geçen belirli sebebler için, bağımlı olanlar içinde quartz konusunda düşünceğiz. Detaylı çalışmalar 3 mm disk kalınlıklı (+) ve 10 mm disk çaplı (D) olan ve Şekil:7.1 a daki gibi disk biçimli sensörler (algılayıcılar) için yapıldı. Kristalografik x eksenleri disk yüzeylerine dikey olarak yönlendirilir. Fiber polarizasyonunun sekiz dönüşü (turu) (york HB 600) diskin daire çevresine bağlandı. Fiber uzaması bir fiber mach-zehnder interferometresinde ölçüldü. Bir Helyum-neon laseri ışık kaynağı olarak kullanıldı. Interferometre enine çalıştırıldı öyle ki çıkış işareti interferometre kolları arasındaki bağıl faz kaymalarıyla direk olarak orantılıdır. İşaret dalgalanmaları (polarizasyon kararsızlıklarından meydana gelen) uygun bir teknik kullanarak yüzde onun (10) birkaç katı olarak azaltıldı.

Bir spektrum analiz edici işaret deteksiyonu için kullanıldı.

İlk olarak, sensörün dinamik sahası ve lineerliği gözden geçirildi. Sensör alan yönünde normal işaretli diskle paraleli kapasitör düzleminin (anot kapasitör) homojen elektrik alanı içine konuldu. Kapasitör düzlemleri disk yüzeyleriyle direk temas kurmaktaydı. 2570 Hz frekanslı değişken bir ac voltajı V, kapasitör düzlemine uygulandı. Şekil: 7.2 sensör işaretini  $E=V/t$  elektrik alanının bir fonksiyonu olarak göstermektedir. İşaret genliği,  $10^{-1}$  V<sub>rms</sub>/cm nin altından  $2 \times 10^3$  V<sub>rms</sub> ye kadar olan elektrik alan şiddetine karşılık gelen büyüklüğün yaklaşık 5 katı veya daha fazla alanın uygulanmasıyla lineer olarak artırılır. En üst limit, optik faz kaymalarını  $n/2$  den küçük olduğu durumda çalışması için dizayn edilmiş olan inferferometre sistemiyle belirlenir. En alt limit akustik gürültü oranının 1 olması yaklaşık, elektrik alanının  $1,5 \times 10^{-2}$  V<sub>rms</sub> /cm değerine karşılık gelir. Bu, bir  $4 \times 10^{-6}$  rad optiksel rms faz kaymasına veya  $4 \times 10^{-4}$  nm lik bir optiksel rms yol değişimine eşdeğerdir. 50 Hz lik bir frekansta alınabilecek en küçük işaret temel gürültünün en yüksek seviyesinden dolayı alınabilecek en yüksek işaretin yaklaşık 10 faktörü kadardır. (% on gibi) alternatif olabilecek fiber optik interferometre dizaynı araştırmaları düşük frekanslar için çevre bozucu etkilerin daha az olabileceği göstermektedir. Hala bu şartlar altında çalışmalar devam etmektedir. Dikkat edilirse basit olarak sensörün dizayn parametreleri değiştirilerek, örneğin fiber dönüşleri 1 sargı sayısı veya sensör çapı gibi, çalışma sahası özel istekleri karşılamak için ayarlanabilir.

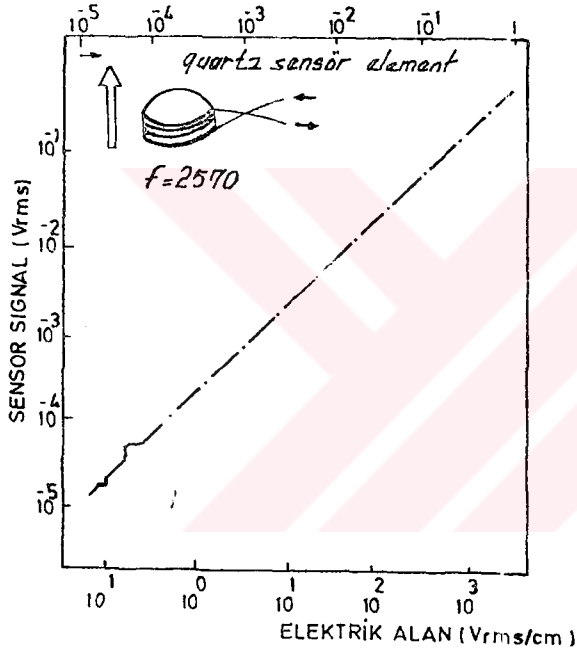
Deneysel araştırmaların ana amacı sensörlerin yön duyarlılığının gerçekleşmesini kapsamaktadır. Bu amaç için sensör işareti, disk normalı n ve bir homojen dalgalı alan ( $2,7 V_{rms}/cm$ , 8 KHz) arasındaki  $\theta$  açısının bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Bu ölçme elektrik alanının azimut açısının değişimleri için tekrar edilmiştir. Şekil: 7.3 nın sabit bir değeri için deneysel datayı gösterir.  $1 \cos \theta$  fonksiyonuyla mükemmel bir uyum bulunmuştur. (Dikkat edilirse deneysel data normalize edilmiştir. Öyleki, data noktası  $\theta=0^\circ$  de 1 e karşılık gelmektedir. Sensör cevabının cosinüs bağımlılığı ve gerçekten işaretin dan bağımsız olması; sensörün, n'e paralel alan bileşeninin hariç tutulduğu dedeksiyonu yapma kabiliyetini gösterir.

Bu noktada belirtilmelidir ki quartz disk içerisindeki elektrik alanının yönü genellikle uygulanan harici alanın yönünden farklıdır. Eğer harici alan ana geometrik ve kristalografik eksenlere paralelse bir tesadüf (kesişme) vardır. Yinede, açıkca görülür ki disk normalı boyunca dahili alan bileşimi daima normal ile uygulanan harici alan arasındaki açının cosinüsü ile orantılıdır. Orantılılık faktörü bağıl geçirgenliğe bağlıdır. Benzer düşünceler Şekil: 7.1 b ve c deki yassılaştırılmış (levha gibi olmuş) tip sensörler uygulanır. Sönsör şeklinin ideal elipsoidden uzaklaşmasının sebep olduğu dahili alanın ortaya çıkabilen homojen olmayan türlerinin, simetri esasları için, sensör cevabının (tepkisinin)  $1 \cos \theta$  bağımlılığına etkisi olmamalıdır.

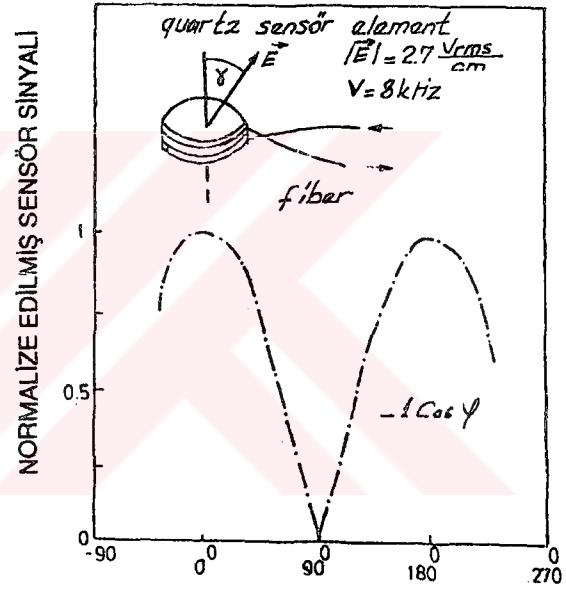


Diğer tarafta, eğer kristalografik eksenini geometrik sensör eksenine karşılaştırmazsa (kesişmezse) sensörün duyarlık yönü ve sensör geometrisi arasında açık bir ilişki olmaz ve buna ilaveten sensör yalnızca tek bir alan bileşeni için duyarlı olamayabilir.

Diğer bir nokta sensör cevabının frekans bağımlılığıdır. Dedeksiyon sisteminin 50 KHz lik band genişliği içinde, mekanik olarak izole edilmiş sensör işaretinin frekans bağımsızlığı bulunmuştur. Quartz disk'in titreşim rezonanslarının birkaç yüz kilohertz'in üzerindeki frekanslarda sensör cevabının etkilemesi beklenmektedir. Verilen temel rezonansın geometrik boyutları için radyal titreşimler 400 KHz olarak kabul edildi. Eğer uygun boyutlarda plateletip sensörler kullanılırsa megahertz sahası içinde piezoelektrik rezonansları kaydırmak mümkün olmalıdır.



Şekil: 7.2



Şekil: 7.3

## SONUÇ

Optik lifler gerek haberleşme alanında ve gerekse endüstrinin çeşitli kısımlarında gün geçtikçe daha yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu kullanım esnasında optik fiberin içerisinde taşınan bilgilerin meydana gelecek fiziksel değişikliklerden nasıl etkilendikleri sonucunun diğer iletim için kullanılan metal kablolarla üstünlükleri ve dezavantajları verilmiştir.

Daha sonraki bölümlerde optik fiberin sistemlere uyumu ve bunları sağlayan aktif elemanların yapısı ve pasif elemanların kullanımı, kullanım anında olan etkinlikleri belirtilmiştir. Elektromanyetik dalga spektrumunu inceleyerek optik fiberin çalışma frekansları belirtilerek çalışma bandı ortaya çıkmıştır.

Optik fiberin pratikte ısı algılamasındaki etkilerini, ısıya olan duyarlılığını ve basınç algılamalarını inceleyerek iletim sistemindeki etkin hassasiyeti gözlenmiştir.

Elektrik alan bileşenlerinin fiziksel prensiplerden belirli piezoelektrik kristal türlerinin simetri özelliklerinin kendi elektrik alan bileşenlerinin fiber optik algılama için kullanılabileceği gösterilmiştir. Dinamik saha veya duyarlılık (hassasiyet) gibi önemli performans karakteristikleri temel olarak elektro optik alan sensörleri için karşılaştırılabildiği bulunmuştur. Piezoelektrik sensör şeklin büyük bir avantajı gerçek sensör kafasının basitliğidir. Fiber optiklere transduser malzemesinin bağlantısı açıktır. Tersine olarak, elektro optik kristallerinin fiber optiklere bağlantısı oldukça karmaşıktır. Benzer problemler dielektrik dalga kılavuzlarının fiber optiklere bağlanmasıyla ortaya çıkar.

Sensör şeklinin mümkün olan uygulamaları, elektrik alanın çizgi bütünüyle veya elektrik alan dağılımlarının planlanmasıyla yapılan voltaj algılamayı içerir.



## İRDELEME

ışığın bilgi gönderme-alma yada kısaca bir haberleşme aracı olarak çok eskiden beri kullanıldığı bilinmektedir.

Daha sonra telgraf, telefon, radyo haberleşmesi ortaya çıktıkça optik haberleşme unutulur gibi olmuş fakat 1960'lı yıllardan 1970'li yıllara doğru camın hammaddesi silisyumdan çekilen liflerin ışığın yayılması için bir iletim ortamı olabileceği laboratuvar çalışmaları bazında da olsa ispatlanarak günümüz haberleşmesinde en önemli faktör durumuna gelmiştir. Tabii ki bu yenilikler beraberinde teknolojiye de çok ileri mertebelere gidilmesini ve maliyeti düşürücü verimi artırıcı insanlık hizmetine en mamur olacak şekle sokulmaya çalışılmıştır. Bunun örneğini ikinci bölümde optik fiber ile diğer kabloların teknik özelliklerinde içerilmiştir.

Optik fiberin diğer haberleşme sistemlerine adaptasyonu örneğin ışığın bir analog veya sayısal frekanslara dönüşümleri ve ışığın hızının algılanması ve verici sistemlerin laser diyodlar yardımı ile elektrik enerjisinin ışık enerjisine dönüşümünü sağlayacak yan periferallerin üretilmesini zorunlu kılmıştır.

Günümüzde bu diyodların ve maliyetlerinin hiç de ekonomik rakamlar olmadığını izlenmektedir. Bunlarla birlikte işçilik hizmetlerinin aşırı hassasiyet ve ek işlemlerinin zorlukları izlenmiştir.

Bu çalışma esnasında haberleşmedeki fiber optik sistemlerin çalışmanın birkaç boyutunda tamamını kapsayacak içerikte optik algılama elemanlarını bunların çalışmasını, teknik özelliklerini, eski teknolojiye oranla üstünlüklerini, data akışını, geniş bant haberleşmesini, modülatör ve demodülatörlerle elektrik sinyallerinin optik sinyale çevrimi incelenmiştir. Vericilerde kullanılan diyodların dalga boylarına göre adlandırılması, yapısı ve özellikleri incelenerek tablo halinde düzenlenmiştir. Yine burada led diyod ile laser diyodun mukayesesi yapılarak led diyodun emisyonunun laser emisyonuna oranla boşluklar birbirine daha uzaklık ve kullanım alanına göre sınıflandırılmaları incelenmiş olup, tablo 4.2.'de karakteristikleri verilmiştir. Günümüzün kullanılmakta olan RCA C 30818 E silikon (APD) diyodun elektriksel karakteri çalışma ısısındaki değişiklikler bir tablo ve grafik halinde belirtilmiştir. Temel fiber iletiminde ısı ve basıncın etkileri matematiksel formüllerle çözümlenerek çalışma alanlarına göre tipleri (kesit ve uzunluk) belirlenmiştir. Elektrik alan bileşenleri incelenerek fiber optik algılama için geliştirilen ters piezoelektirik etkisi incelenmiştir. Kristal grafik nokta grupları ve yöntemleri tablo 7.2'de ve tablo 7.3'de verilmiştir.

## KAYNAKLAR

- 1- CULSHOW, B., "Optical Fiber Sensing and Signal Processing", Peter Peregrinus Ltd. , London, 1986, UK.
- 2- WOLSTEIN, S.D. "Using Fiber - Optics for Practical Sensig", Lasers and Optronics, Vol. 8, No: 77, July 1989.
- 3- Mahlke / 6055 Ing. " Fisberoptik Cobles" Fundamendals Cable Enyinceriny systems Planniny, 1982, New York. (Siemens)
- 4- Fiber Optik hat sistomlari - Telotaş Argo
- 5- Valis, T., Turner, R.D. MENSURES, R.M., "Distributed Fiber - Optics Sensing Based an CounterpropagatingWaves", Applied Optics, Vol. 28, No,11 June 1989.
- 6- T. Sasano, "Laser CT and Laser PD for EHV Power Transmission Lines", Electr. Eng. in Jpn. (Engl. transl. of Denki Gakkai Zasshi) 93.91 (1973)
- 7- G.A. Massey, D.C. Erickson, and R.A. Kadleç, "Electromagnetic Field Components: Their Measurement Usung Linear Electrooptic and Magneto optic Effecis, "Appl. Opt. 14.2712 (1975).
- 8- J WILSON J.F.B. HAWKES "Opto Electronics An Introduction. Prentice hall , 1989, London
- 9- RS Components Data Book, 1989, London
- 10- M.C. Farries and A.J. Rogers, "Temperature Dependence of the Kerr Effect in a Silica Optical Fiber, " Electron. Lett. 19.890 (1983)
- 11- M. Imai, H. Tanizawa, Y. Othsuka, Y. Takase, and A. Odajima, "Piezzoelactric Copolymer Jacketed Single-Mode-Fibers for Electric-Field Sensor Applications, "J. Appl. Phys. 60.1916 (1986)
- 12- Y. Hamasaki, H. Gotoh, M. Katoh, and S. Takeuehi, "OPSEF: An Optical Sensor for Measurement of Hing Electric Field Intensity, "Electron. Lett. 16,406 (1980)
- 13- P.D. DeSoza and M.D. Mermelstein, "Electric Field Detection with a Piezoelectric Polymer-Jacketed Single-Mode Optical Fiber, "Appl. Opt 21.4214 (1982)

- 14- L.J. Donalds, W.G. Ferench, W.C. Mitchell, R.M. Swinehart, and T. Wei, Electric Field Sensitive Optical Fiber Using Piezoelectric Polymer Coating "Electron. Lett. 18.327 (1982)
- 15- K.P. Koo and G.F.H. Sigel, "An Electric Field Sensor Utilizing a Piezoelectric Polyvinylidene Fluoride (PVF<sub>2</sub>) Film in a Single-Mode Fiber Interferometer, "IEEE J. Quantum Electron QE-18670 (1982)

