

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SAYISAL FİBER OPTİK İLETİŞİM SİSTEMİNİN TANITILMASI, TASARIMI VE
TEKRARLAYICI MESAFESİNİN ARTIRILMASI

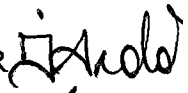



Elektronik Müh. Osman AKÇAY

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Elektronik Yüksek Mühendisi"
Ünvanı Verilmesi için Kabul Edilen Tezdir

83258

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17.06.1999
Tezin Savunma Tarihi : 09.08.1999

83258

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. İ. Hakkı ÇAVDAR 
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Adnan CORA 
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Ali GANGAL 
Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU 

Trabzon 1999

TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖNSÖZ

Fiber Optik Kablo teknolojisi ve optik haberleşme sistemi bir şekilde gelişmektedir. Optik haberleşme sistemi diğer önemli haberleşme sistemlerine iyi bir alternatiftir. Özellikle Türk Telekom A.Ş.'de iyi bir uygulama alanı bulan fiber optik kablo iletişimi hakkında Türkçe kaynak sorunu oldukça önemlidir. Türkiye'de sadece kablolama süreci yapılan fiber optik kablo hammadde olarak ithal edilmektedir. Sahip olduğu avantajlarla çok kritik kullanım alanlarına sahip olan bu teknolojiyi tanıtmak ve incelemenin çok önemli bir çalışma olacağı açıktır.

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenmiş ve konu seçiminde, çalışmalarımın yürütülmesinde ilgisini esirgemeyen Sayın hocam Yrd. Doç. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR'a, Fatih ÜÇÜNCÜ'ye, Yusuf TANDOĞAN'a ve Trabzon Türk Telekom Fiber Optik Servisinde çalışanlara teşekkür etmeyi bir görev bilirim.

Ayrıca Türk Telekom, Netaş, Siemens şirketlerine yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Osman AKÇAY

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Fiber Optiğın Tarihi	2
1.3. Fiber Optik İletimin Diğeri İletim Sistemleriyle Karşılaştırılması	3
1.3.1. Fiber Sistemlerin Üstünlükleri	4
1.3.2. Fiber Sistemlerin Dezavantajları	5
1.4. Optik Fiberde Işık Teorisi	5
1.4.1. Elektromanyetik Tayf ve Dalga	5
1.4.2. Işın Teorisi.....	7
1.4.2.1. Nümerik Açıklık.....	9
1.4.2.2. Fresnel Yansıması	10
1.4.2.3. Rayleigh-Saçınımı, Tyndall-Işığı.....	11
1.5. Optik Haberleşme Sisteminin Tanıtımı.....	11
1.5.1. Işık Kaynakları	13
1.5.1.1. Işık Yayan Diyotlar.....	14
1.5.1.2. Enjeksiyon Lazerli Diyot	16
1.5.2. Fiber Optik Kablo.....	18
1.5.2.1. Fiber Optik Kablo Üretimi	19
1.5.2.2. Fiber Optik Kablo Sınıflandırması.....	20
1.5.2.2.1. Üretim Yöntemine Göre Optik Fiberler	21
1.5.2.2.2. Kullanım Yerine Göre Optik Fiberler	21
1.5.2.2.3. Kırılma İndisine Göre Optik Fiberler.....	22
1.5.3. Işık Dedektörleri.....	25
1.5.3.1. PIN Diyotlar	25
1.5.3.2. Çığ Fotodiyotları	26

	<u>Sayfa No</u>
1.5.4. Ek ve Konnektörler	27
1.6. Optik Haberleşme Sisteminin İncelenmesi	28
1.6.1. Sistem Kayıpları.....	28
1.6.2. Modülasyon ve Kodlama	33
1.6.3. Kırılma İndisi	38
1.6.4. Transmisyon Penceresi.....	39
1.6.5. Optik Fiberde Mod Sayısı	40
1.6.6. Sinyal Kalitesinin Bozulması ve Yükselme Süresi	41
1.6.7. Sinyal Çoğullama.....	42
1.6.8. Optik Sistemde Hata Oranı	42
1.6.9. Sistem Marjini	43
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	44
2.1. Sayısal Fiber Optik Sistem Tasarımı.....	44
2.1.1. Optik Sistem Bileşenlerinin Seçimi	44
2.1.2. Optik Sistemin Tartışılması.....	46
2.1.3. Link Güç Hesabı.....	48
2.1.4. Yükselme Zamanı Hesabı (Rise Time)	49
2.1.5. Sistem Performansında Gürültü Etkileri	50
2.1.5.1. Yansıma Gürültüsü.....	51
2.1.5.2. Chirp Gürültüsü.....	51
2.1.6. Bilgisayar Destekli ve İstatistiksel Model.....	52
2.2. Fiber Optik İletim Sisteminin İstatistiksel Tasarımı	53
2.2.1. İstatistiksel Tasarımın Formüllendirilmesi	55
2.2.2. İstatistiksel Tasarım Tekniği	58
2.2.3. Sayısal Sonuçlar	58
2.2.4. Tasarımın Neticesi.....	65
2.3. Bilgisayar Destekli İstatistiksel Tasarım Metodunun İncelenmesi.....	65
3. BULGULAR ve İRDELEME.....	72
4. SONUÇLAR	76
5. KAYNAKLAR.....	77
6. EKLER.....	78
7. ÖZGEÇMİŞ	110

ÖZET

Bu yüksek lisans tezi, dünyada birçok alanda kullanılmakta olan ve Türkiye’de özellikle haberleşme alanında kullanılan fiber optik sistemlerini tanıtmak, bu çok ilginç ve haberleşme teknolojisinin hemen hemen bütün analizlerini içeren fiber optik teknolojisini irdelemek amacıyla ele alınmıştır.

Fiber kablonun üretimi ve tanıtımı anlatılmış ve fiber optik sisteminin analiz edilmesini sağlayan parametreler tanıtılmıştır. Daha sonra haberleşme sisteminin istatistik analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fiber Optik, Modal Saçılma, Chirp, Fresnel Yansıma, Rayleigh Saçınımı

SUMMARY

The Introducing, Planing of Digital Fibre Optic Communication System and The Increasing of Repeater Space

The aim of this master thesis is to introduce the fiber optic systems which have applications troughout the world, and especially in communication field in Turkey. The fiber optic technology including the fiber optic analysis in communication technology with every respect also has been investigated.

The production of fiber cable were explained and the parameters that provide the analysis of fiber optic systems were introduced. Furthermore, the statistically analysis of communication systems was made.

Key Words: Fibre Optic, Modal Dispersion, Chirp, Fresnel Reflection, Rayleigh Scattering

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Fiber optik kablonun tesisi	5
Şekil 2. Elektromanyetik dalgaların spektrumu	6
Şekil 3. Polarizasyon tipleri.....	7
Şekil 4. Yelekli fiber yapısı.....	8
Şekil 5. Işık dalga kılavuzu	8
Şekil 6. Geniş açı durumu	9
Şekil 7. Dar açı durumu.....	9
Şekil 8. Fresnel kaybı	10
Şekil 9. Rayleigh saçınımı.....	11
Şekil 10. Fiber optik iletişim hattı	12
Şekil 11. LED ve ILD'nin karşılaştırılması	13
Şekil 12. Sade eklemeli LED yapıları	15
Şekil 13. Burrus oyuklu yüzey emisyonlu LED	16
Şekil 14. Led'in ileri akım çıkış gücü özellikleri	16
Şekil 15. Enjeksiyon lazerli diyot.....	17
Şekil 16. ILD'nin ileri yönde akım ve sıcaklığa bağlı çıkış gücü özellikleri.....	17
Şekil 17. Fiber önformunun oluşturulması.....	19
Şekil 18. Önformun fibere dönüşümü veya çekme	20
Şekil 19. Şerit (Ribbon) kablo	21
Şekil 20. Kırılma indisine göre düzenleme	22
Şekil 21. Saçınım kaydırmalı tek modlu fiberlerde indis profili	23
Şekil 22. Çok modlu kademe indisli fiberin indis profili	24
Şekil 23. Çok modlu dereceli indisli fiber.....	25
Şekil 24. PIN fotodiyotun yapısı.....	26
Şekil 25. Çığ Fotodiyotunun yapısı.....	26
Şekil 26. Füzyonla ek yapma safhaları.....	27
Şekil 27. Fiber optiklerde yutma kayıpları.....	29
Şekil 28. Çok modlu basamak indisli bir fiberde ışık yayılımı	30

Şekil 29. Çok modlu basamak indisli bir fiberde darbe yayılması.....	30
Şekil 30. 3 dB band genişliği.....	31
Şekil 31. Işık darbesine band genişliği sıralaması.....	32
Şekil 32. Altt taşıyıcı analog modülasyonu.....	33
Şekil 33. PIN'li dedektör ve APD'li dedektör için optik güç grafikleri.....	34
Şekil 34. Modülasyona bağlı optik güç grafiği	35
Şekil 35. İzin verilebilir ayrılma.....	35
Şekil 36. PIN ve APD'li alıcıların güç duyarlılığı.....	36
Şekil 37. Kodlamalara bazı örnekler	37
Şekil 38. Snell yasası için kırılma modeli	38
Şekil 39. Dalga boyu ile zayıflama münasebeti	40
Şekil 40. Kırılma indisli fiberde indis profili	41
Şekil 41. Fiber-Optik link.....	46
Şekil 42. Bit hızının fonksiyonel olarak alıcı hassasiyeti.....	48
Şekil 43. Bilgisayar simülasyonu için blok diyagram.....	52
Şekil 44. Tekrarlayıcı mesafesinde başarı olasılığı	54
Şekil 45. Rayleigh dağılımında limitlerin incelenmesi	63
Şekil 46. Log-normal dağılımında limitlerin incelenmesi.....	64
Şekil 47. Gauss Dağılımında Limitlerin İncelenmesi.....	64
Şekil 48. 1310 nm dalga boyunda programdan elde edilen Rayleigh dağılımında limitlerin incelenmesi.....	68
Şekil 49. 1310 nm dalga boyunda programdan elde edilen Lognormal dağılımında limitlerin incelenmesi.....	69
Şekil 50. 1550 nm dalga boyunda programdan elde edilen Rayleigh dağılımında limitlerin incelenmesi.....	70
Şekil 51. 1550 nm dalga boyunda programdan elde edilen Lognormal dağılımında limitlerin incelenmesi.....	71
Şekil 52. Band genişliği veya sistemin bit hızına göre tekrarlayıcı özelliği	72

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. LED ve LD'nin özellikleri	14
Tablo 2. Fiberlerin çap değerleri	23
Tablo 3. Tipik kırılma indisleri	39
Tablo 4. Tekrarlayıcı mesafesi için parametre değerleri	59
Tablo 5. Örnekleme sayısının tekrarlayıcı mesafesine etkisi	60
Tablo 6. Başarı olasılığı değişiminin tekrarlayıcı mesafesine etkisi	61
Tablo 7. Değişik parametre sınırlamalarının tekrarlayıcı aralığına etkisi	62
Tablo 8. Program sonuçlarından elde edilen tekrarlayıcı mesafeleri	67



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Bakır tel, eş eksenli kablo R/L, Uydu Haberleşmesi ile iletişimdeki karışma, gürültü, iletişim hızı düşüklüğü, band genişliği uzaklık çarpımı gibi olumsuz etkileri ortadan kaldıran Optik İletim Sistemi, iletişimde yeni bir dönem açmıştır. İdeal denecek derecede saflaştırılmış silikondan oluşan Fiber Optik Damarlarının iletken olarak kullanıldığı Optik Fiber iletişim sahip olduğu geniş olanakları ile, iletişime büyük kolaylıklar ve kalite getirmiştir.

Optik iletim sistemleri yukarıda sıralanan sorunların çözümleri olarak görülmüş, Lazer'in bulunmasıyla da optik iletişim sistemi oldukça kısa sürede iletişimde uygulanmaya başlanmıştır.

Optik iletim sistemlerinin bu kadar hızlı gelişmesinde sanayileşmiş ülkelerin artan istekleri kadar, gelişmekte olan ülkelerin haberleşme isteklerindeki hızlı artışın da etkili olduğu söylenebilir.

Işıksal (optik) haberleşme; görsel anlamda ilk çağlarda ateş ve dumanla (Kızılderililerce oldukça uzun süre) ilkel yöntemlerle kullanılmıştır.

Işıksal olarak; trafik ışıkları (Kara ve demir yolu sinyalizasyonu) hava alanı yaklaşım ışıkları, deniz fenerleri ve ışıldaklar ile haberleşme yapılmaktadır.

Telekomünikasyon alanında, ilk olarak ışıksal (optik) iletimi 1880 yılında A. Graham Bell, Photophone adındaki sistemle telefon haberleşmesinde kullanılmıştır.

Photophone sisteminde iletim ortamı hava olduğundan iletim uzaklığı 200 metreyi geçmemiştir. Sesli sinemanın bulunuşundan sonra, konu yeniden canlanmış 1934 yılında düşük zayıflamalı (kayıplı) cam iletken'den yararlanan bir Optik Telefon Sistemi patenti alınmıştır [1].

Kodla haberleşmenin kullanılmasını da içeren klasik haberleşme ağı içindeki ışık kaynağının modülasyonu uzun zamandır askeri alanda uygulanmıştır. Hüzme ışık sinyali denen bu sistem bugün bile hala kullanılmaktadır. Modülasyon, mors koduna göre açılan ve kapanan odaklama ve bir kapak sistemi için parabolik reflektörlü yüksek yorgunlukta

bir lambadan ibarettir. Alıcı operatör mesajı açmak için ışık hüzmelerini (parıltılarını) okur. Bununla beraber bu sistemin bilgi oranı mekanik ve psikolojik olarak sınırlı ve şifre çözüm işlemi otomatik kolaylıkta değildir.

1960'da Lazerin geliştirilmesi sonucunda optik frekanslara olan ilgi artmıştır. Çünkü Lazer, tek frekanslı birleşik (coherent) optik enerji kaynağıdır. Optik frekans 5×10^{14} Hz. mertebesindedir ve lazerin bilgi kapasitesi kuramsal olarak mikrodalga sistemlerinin bilgi kapasitesinden 10^5 kat daha fazladır; bu sayı ise 10 milyon TV kanalına eşittir. Lazerin böyle büyük iletim potansiyelini değerlendirmek amacıyla atmosferde birçok deney gerçekleştirilmiştir [4].

Yerden uzaya yapılan iletişimi ilerletmek için temel band frekanslarda çalışan optik sistemlerde sayısız gelişmeler yapılmıştır. Yapılan çalışmaların bir kısmı optik fiberler üzerindeki çeşitli araştırmalardır. Çünkü optik fiberler daha güvenilir ve özellikleri de atmosfer kanallarından çok daha üstündür.

1.2. Fiber Optiğin Tarihi

Işık dalgalarının yeryüzü atmosferinde işe yarar bir mesafeye iletimi pratikte mümkün değildir, çünkü su buharı, oksijen ve havadaki küçük parçacıklar ultra yüksek ışık frekanslarını soğurarak zayıflatırlar. Dolayısıyla, kullanışlı olan tek optik iletişim sistemi türü, fiber kılavuz kullanan bir sistemdir. 1930 yılında, İngiliz bilim adamı J.L. Bolrd ile Amerikalı bilim adamı C.W. Hansell, kaplamasız fiber kablolar aracılığıyla televizyon görüntülerini tarayarak ve ileterek patent aldılar. Birkaç yıl sonra Alman bilim adamı H. Lamm, tek bir cam fiberden görüntüleri başarılı bir biçimde iletti. O zamanlar, insanların çoğu fiber optiği daha çok bir oyuncak ya da bir laboratuvarın sınırları içinde sergilenen bir hüner gösterisi olarak değerlendiriyordu, dolayısıyla fiber optik alanında esaslı bir atılım ancak 1950'li yılların ilk yarısında gerçekleştirilebildi [4].

1951 yılında Hollanda'dan A.C.S. Van Heel ile İngiltere'den H.H. Hopkins ve N.S. Kapany, fiber demetleri aracılığıyla ışık iletimi üzerinde deneyler yaptılar. Bu bilim adamlarının araştırmaları, tıp alanında geniş bir kullanıma sahip olan esnek fiberskopun geliştirilmesine olanak sağladı. 1956 yılında Kapany, "fiber optik" terimini üretti [5].

1960'da Lazer (uyarılmış yayılım emisyonu ile ışık yükseltmesi) icat edildi. Nispeten yüksek çıkış gücü, yüksek çalışma frekansı ve aşırı geniş band genişliğine sahip sinyalleri taşıma yeteneği, Lazeri yüksek kapasiteli iletişim sistemleri için çok uygun kılmaktadır.

Lazerin bulunması, fiber optik iletişimle ilgili araştırma çalışmalarını geniş ölçüde hızlandırdı; bununla birlikte fiber optik iletişimde ilk önemli aşama, ancak 1967 yılında, İngiltere'deki Standart Telekomünikasyon Laboratuvarı'ndan K.C. ile G.A. Bockham'ın koruyucu zarflı fiber kabloların kullanıldığı yeni bir iletişim ortamını önermesiyle gerçekleşti [5].

1960'lı yıllarda kullanılan fiber kablolar aşırı kayıplıydı (1000 dB/km'den fazla); bu da optik iletimleri kısa mesafelerde sınırlıyordu. 1970 yılında, New York eyaletinin Corning kentindeki Corning Glass Works'den Kapron, Keck ve Mavrer, 20 dB/km'den daha az kaybı olan bir fiber optik geliştirdiler. Bu, kullanışlı fiber optik iletişim sistemleri oluşturmak için gerekli olan büyük adımdı. 1970'den bu yana, fiber optik teknolojisi olağanüstü gelişmeler kaydetti. Yakınlarda Bell Laboratuvarları, yeniden üreteç olmaksızın 1 milyar GB/s'yi bir fiber kablo üzerinden 120 kilometrelik mesafeye iletmeyi başardı. AT&T, Atlantik okyanusunun iki yakası arasında iletişimi sağlayacak ve 1988 yılında çalışır duruma geçecek bir fiber kablo projesi oluşturmuştur.

1999 yılı itibariyle, Bell Laboratuvarları saniyede bir terabitlik bilginin, tek bir fiber optik tel üzerinden iletilmesinin mümkün olduğunu kanıtladı. Deney aşamasındaki bir fiber optik teknolojisine dayanan buluş, uzak mesafe veri iletiminde dünyada bir ilk niteliğini taşıyor. Bilim adamlarının belirttiklerine göre yeni bir fiber optik yükseltici kullanılarak her 100 ışık dalga boyu üzerinden saniyede 10 GB hızla, yaklaşık 400 km'lik mesafede sinyal aktarımı gerçekleştirilebiliyor.

1.3. Fiber Optik İletimin Diğer İletim Sistemleriyle Karşılaştırılması

Cam ya da fiber kablolar üzerinden iletişimin, klasik metalik ya da koaksiyel kablo üzerinden iletişime oranla son derece önemli üstünlükleri vardır.

1.3.1. Fiber Sistemlerin Üstünlükleri

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

2. Fiber sistemler, manyetik indüksiyonun neden olduğu kablolar arası karışmadan etkilenmezler. Cam ya da plastik fiberler elektriği iletmeyen malzemelerdir; bu nedenle fiber optik kablolarda, akım akışının meydana getirdiği manyetik alan yoktur. Metalik kablolarda, karışmanın başlıca nedeni birbirine yakın yerleştirilmiş iletkenler arasındaki manyetik indüksiyondur.

3. Fiber kablolar, yıldırımın, elektrik motorlarının, florasan ışığın ve diğer elektriksel gürültü kaynaklarının neden olduğu statik karışmadan etkilenmezler; bunun bir nedeni de fiber optiklerin elektrik iletmeme özelliğidir. Ayrıca fiber kablolar enerji yaymazlar, dolayısıyla diğer iletişim sistemleriyle girişime yol açmazlar. Bu özellik, fiber sistemleri askeri uygulamalara çok uygun hale getirir; askeri uygulamalarda, nükleer silahların etkileri (elektromanyetik darbe girişimi) klasik iletişim sistemleri üzerinde çok kötü sonuçlar yaratır.

4. Fiber kablolar; çevre koşullarındaki büyük değişikliklere karşı daha dirençlidir. Metalik kablolara oranla daha geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilirler. Aynı şekilde fiber kablolar, aşındırıcı sıvılardan ve gazlardan daha az etkilenirler.

5. Fiber kabloların monte edilmesi ve bakımı kolay ve daha güvenlidir. Fiber kablolar daha az saklama alanı gerektirir ve daha ucuza nakledilebilir.

6. Fiber kablolar bakır kablolara göre daha emniyetlidir. Kullanıcının haberi olmaksızın fiber kablonun içine kaçak veya gizli bir bağlantı yapmak imkansızdır. Bu da fiberi, askeri uygulamaları açısından cazip kılan bir başka niteliğidir.

7. Henüz kanıtlanmamış olmasına rağmen, fiber sistemlerin metalik malzemenin daha uzun süre dayanacağı varsayılmaktadır. Bu varsayımın dayanak noktası fiber kabloların çevre koşullarındaki değişikliklere daha dayanıklı olmasıdır.

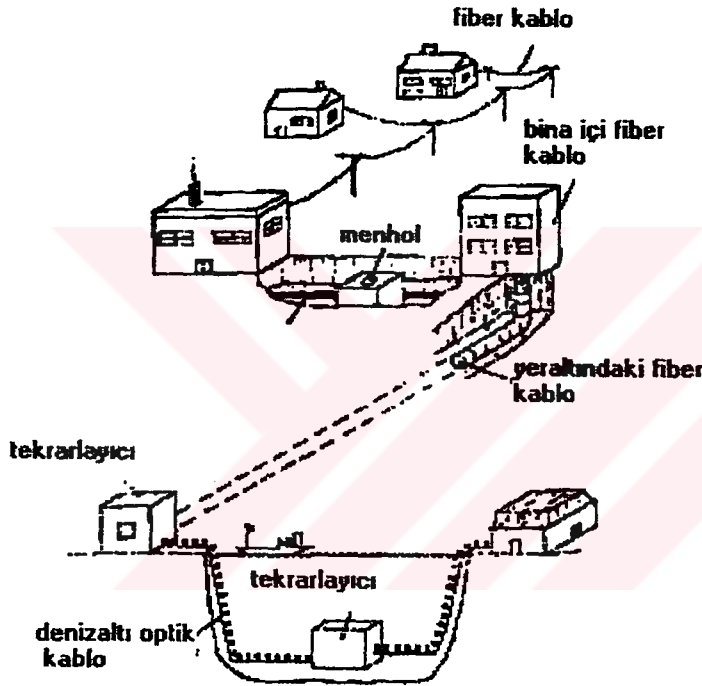
8. Fiber optik bir sistemin uzun vadeli maliyetinin, metalik bir sistemin uzun vadeli maliyetinden daha az olacağı düşünülmektedir.

1.3.2. Fiber Sistemlerin Dezavantajları

Bugün için, fiber sistemlerin birkaç dezavantajı vardır. Tek önemli dezavantaj fiber sisteminin kurulmasında başlangıç maliyetinin daha yüksek olmasıdır, ancak gelecekte fiber sistem kurma maliyetinin oldukça düşeceğine inanılmaktadır.

Bundan başka optik fiberler enerji nakledemezler.

Ayrıca tesisat teknikleri gözleri korumak zorundadır. İşlem cihazlarının yanında çalışıldığı zaman kızıl-ötesi koruma gözlükleri takmak gerekir.



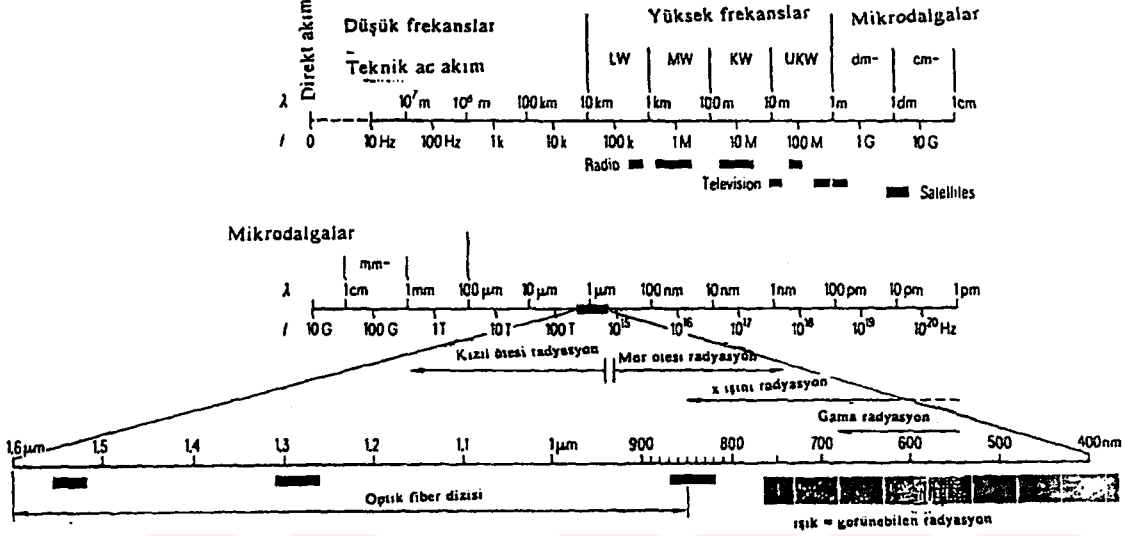
Şekil 1. Fiber optik kablonun tesisi

1.4. Optik Fiberde Işık Teorisi

1.4.1. Elektromanyetik Tayf ve Dalga

Yüzyılı aşan bir süredir elektromanyetik dalgaların bilgi iletişimi için kullanıldığı kanıtlanmıştır. Metal bir iletkenin elektromanyetik dalgaların yayını için bir araç gibi

kesinlikle gerekmediği geçerli bir konudur. Aksine, bu dalgalar, bir boşluk veya bir dielektirik ortam içinde yüksek bir hızla yayılabilirler.

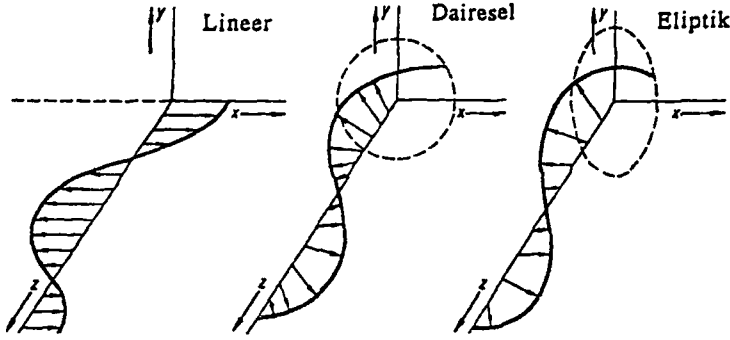


Şekil 2. Elektromanyetik dalgaların spektrumu

Görünebilir ışık, yalnız 380 nm'den (menekşe) 780 nm'ye kadar bir alan işgal eder. Bu alan, ultraviyole radyasyon tarafındaki alçak dalga boyları ile infrared radyasyon tarafındaki yüksek dalga boylarına sınırdaştır.

Optik dalga kılavuzu ile birlikte optik telekomünikasyonda; 850, 1300, 1550 nm'lik dalga boyları tercih edilen 800-1600 nm arasındaki dalga boyu alanı kullanılır. Elektromanyetik dalgaların hava içindeki yayılma hızı 3×10^8 m/s'dir.

Kayıpsız mutlak ortamda, elektromanyetik dalga ve dolayısıyla ışık dalgası, enine dalgalardır. Elektrik ve manyetik alanlar yayılma yönüne dik olarak dalgalanırlar. Elektrik ve manyetik alanlar bir düzlemde yayılıyor ve ayrıca bu dalgaların işaret uçları düz bir hattı izliyorlar ise bunların lineer polarize oldukları söylenebilir. İşaret ucu bir daire veya daha çok bir elips çiziyorsa, dairesel veya eliptik polarizasyon terimleri kullanılır.



Şekil 3. Polarizasyon tipleri

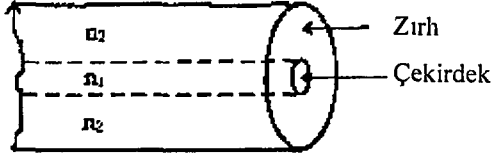
Bir optik ortamda ışık yayılması için gelişmiş bir modelin eldesinde elektromanyetik dalga teorisi kullanılmalıdır. Elektromanyetik dalga yayılımının incelenmesinin temeli Maxwell denklemleridir [8].

Böylece böyle bir dalganın zaman ve uzayda z yönündeki düzlem bir dalga yayını için a yer değişimi aşağıdaki gibi yazılır.

$$a=A.\sin\left(\omega.t-\frac{2\pi}{\lambda}.z\right) \text{ dir.} \quad (1)$$

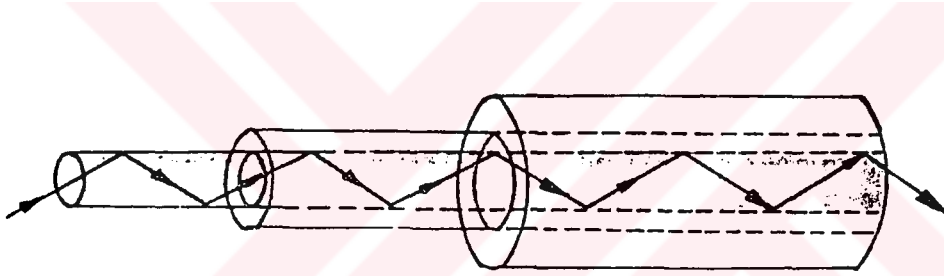
1.4.2. Işın Teorisi

Hava ile kuşatılmış, 1,5 civarında bir kırılma indisine sahip olan silika camdan yapılmış bir dielektrik çubuğun, desteksiz yapısından dolayı (özellikle yayılan optik modların sayısını sınırlamak için, çok ince dalga kılavuzları göz önüne alındığı zaman) ve cam-hava ara yüzeyinin herhangi bir süreksizliğinde ortaya çıkan aşırı kayıplar yüzünden, kullanışlı bir dalga kılavuzu olamayacağı görülmüştür. Bunun yerine zırhlı dielektrik çubuk önerilmiştir. Bu yapı n_1 kırılma indisli şeffaf bir çekirdek ve onu saran, biraz küçük n_2 kırılma indisli şeffaf bir yelekten oluşmaktadır. Zırh, dalga kılavuzu yapısını destekler ve yeterince kalın olduğu zaman, çevre hava ortamına radyasyonla kaybı önemli ölçüde azaltır. Aslında ışık enerjisi, kendisine eşlik eden alanların yelek-hava arayüzeyinde ihmal edilebilir bir değere düşmesine imkan sağlayarak, hem öz hem de yelek içinde taşınır.



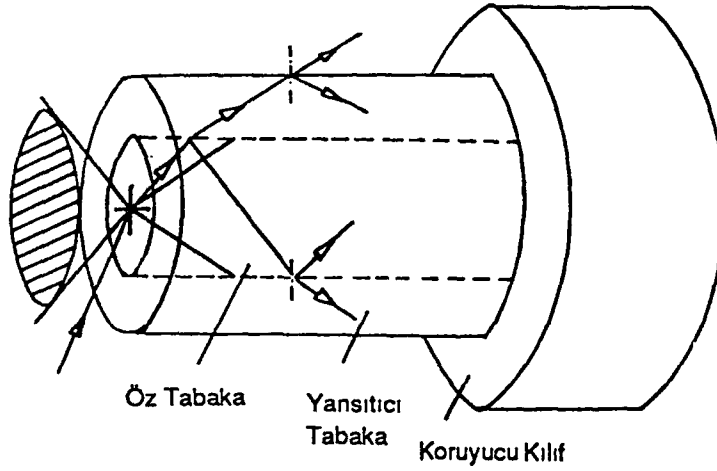
Şekil 4. Yelekli fiber yapı

Işın teorisi modelini kullanarak, ışığın bir optik fiber içindeki yayılımını incelemek için, dielektrik ortamın kırılma indisini hesaba katmak gerekir. Işık iletiminde kullanılan fiber damarlar tam yansıma olayından yararlanan ışık dalga kılavuzlarıdır. Zırh tabakasının kırılma indisi, çekirdek tabakanın indisinden biraz azdır. En üstte de koruyucu (plastik) kılıf vardır. Eksene dik ve düzgün olarak kesilmiş fiber damara dar bir ışın demeti tutulduğunda ışın fiber damar içine girer. Burada ışın demetinin eksenle yaptığı açıya göre ve Snell Kanunu ile açıklanan iki durum oluşur.



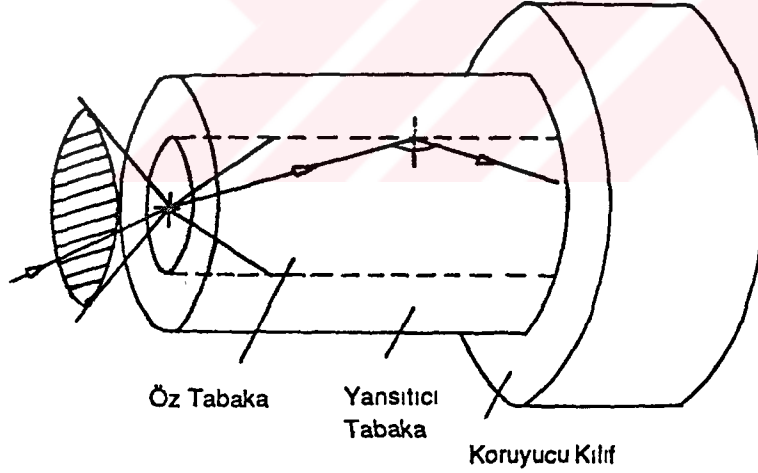
Şekil 5. Işık dalga kılavuzu

Eksenle belirli bir kritik açı değerinden daha geniş açı yaparak çekirdek'den fibere giren ışık, eksene yaklaşacak şekilde kırılır. Bu ışık çekirdek ile zırh tabakası arasındaki yüzeye çarptığında büyük bir kısmı kırılarak zırh tabakasına girer. Çok az bir kısmı da öz içine geri yansır. Bu ışınlar oldukça zayıflar, biraz yol aldıktan sonra sönerler.



Şekil 6. Geniş açı durumu

Eksenle açısı belirli bir kritik açı değerinin altında olacak şekilde özden fibere giren ışık çekirdek ile zırh tabakası arasındaki yüzeyde tam yansımaya uğrar. Bu yansıma ışığın yolu üzerinde tekrarlanır. Optik iletimi sağlayan da bu ışıktır.



Şekil 7. Dar açı durumu

1.4.2.1. Nümerik Açıklık

Nümerik açıklık (NA), bir fiber optiğin ışık toplama yetisini ölçmede kullanılan bir nitelik sayısıdır. NA'nın büyüklüğü ne kadar az olursa, fiberin harici ışık kaynağından

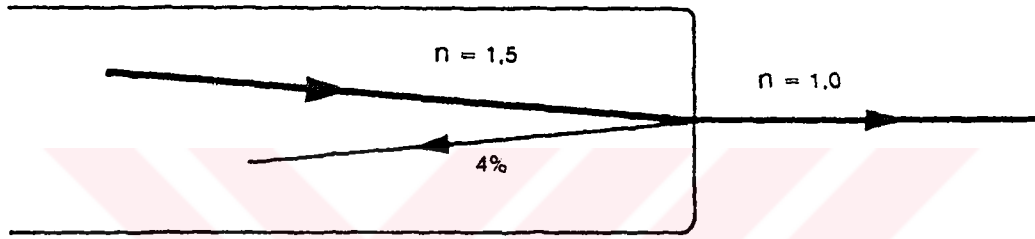
kabul ettiği ışık miktarı da o kadar fazla olur. Kademe indexli bir fiberde nümerik açıklık,

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \text{ dir.} \quad (2)$$

Dereceli indexte, NA Kritik açının sinüsüdür.

$$NA = \sin Y_c \quad (3)$$

1.4.2.2. Fresnel Yansıması

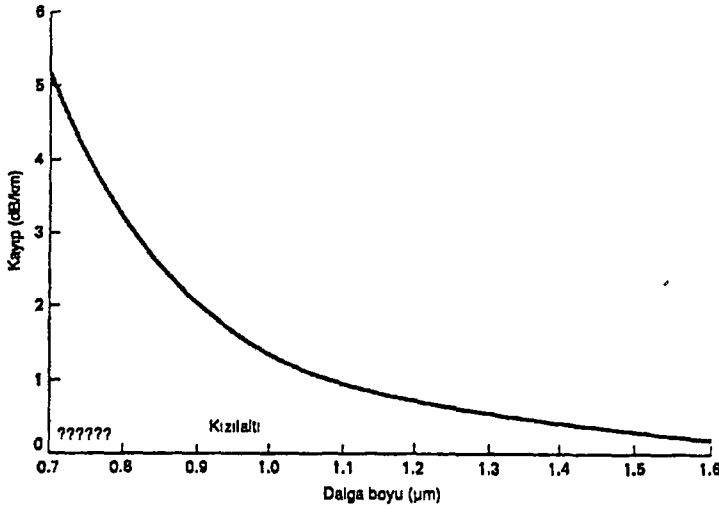


Şekil 8. Fresnel kaybı

Bir yüzeye dik gelen ışık buraya tam olarak nüfuz edemez. Işığın küçük bir parçası yansımaktır. Yansıyan ışığın yüzde olarak gelen ışığa göre oranı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R = \left(\frac{n - 1}{n + 1} \right)^2 \quad (4)$$

1.4.2.3. Rayleigh-Saçınımı, Tyndall-Işığı



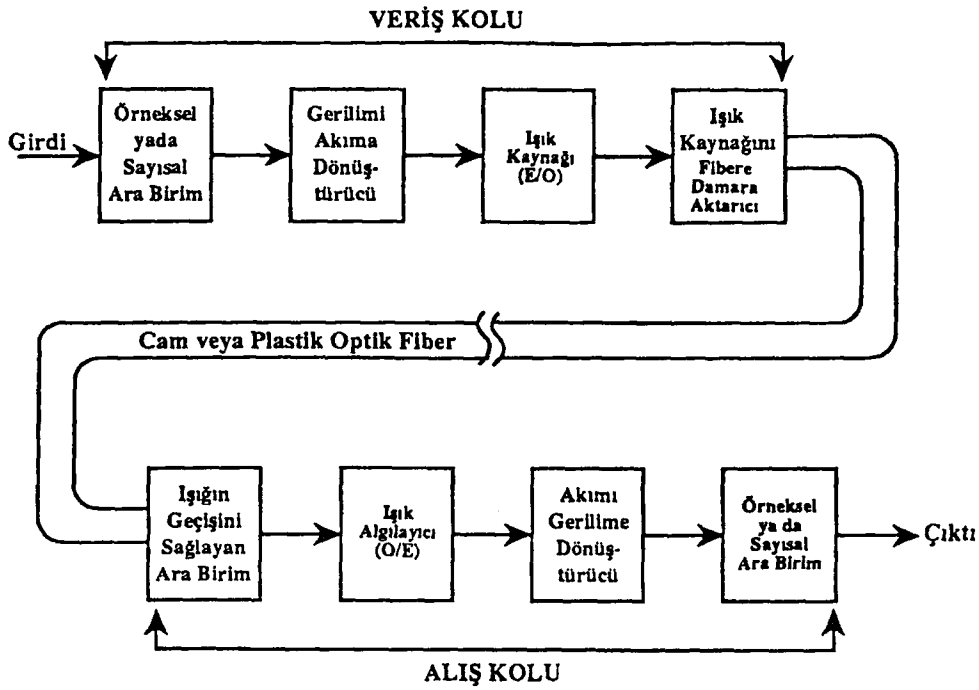
Şekil 9. Rayleigh saçınımı

Işık tam olarak homojen olmayan bir materyalin içinde yayıldığı zaman ışık yayılım yönünden başka yönlerde görülebilir. Rayleigh-saçınımı olarak adlandırılan bu fenomen küçük parçacıkların ve homojen olmamanın varoluşunun bir sonucudur. Işığın tüm yönlerde yayılmasıyla ilgilidir. Yayılan ışık Tyndall-ışığı olarak adlandırılır. Bu saçılma λ^{-4} ile orantılıdır.

1.5. Optik Haberleşme Sisteminin Tanıtımı

Aşağıdaki şekil fiber optik bir iletişim hattının basitleştirilmiş blok diyagramını göstermektedir. Hattın üç asal ögesi, verici, alıcı ve fiber kılavuzdur.

Verici şunlardan oluşur: analog ya da sayısal bir arabirim, bir gerilim-akım dönüştürücüsü, bir ışık kaynağı ve bir kaynaktan-fibere ışık bağlayıcı. Fiber kılavuz, ya cam ya da plastik bir kablodur. Alıcı ise şunları içerir: bir fiberden ışık dedektörüne bağlaşım aygıtı, bir fotodedektör, bir akım-gerilim dönüştürücüsü, bir yükselteç ve analog ya da sayısal bir arabirim.



Şekil 10. Fiber optik iletişim hattı

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

Gerilim akım dönüştürücüsü, giriş devreleri ile ışık kaynağı arasında elektriksel bir arabirim vazifesi görür. Işık kaynağı, ya ışık yayan bir diyot (LED) ya da lazer diyodudur (LD). Bir LED ya da bir LD tarafından yayılan ışık miktarı, sürme akımının miktarına eşittir. Gerilim-akım dönüştürücüsü, bir giriş sinyal gerilimini, ışık kaynağını sürmede kullanılan bir akıma dönüştürür.

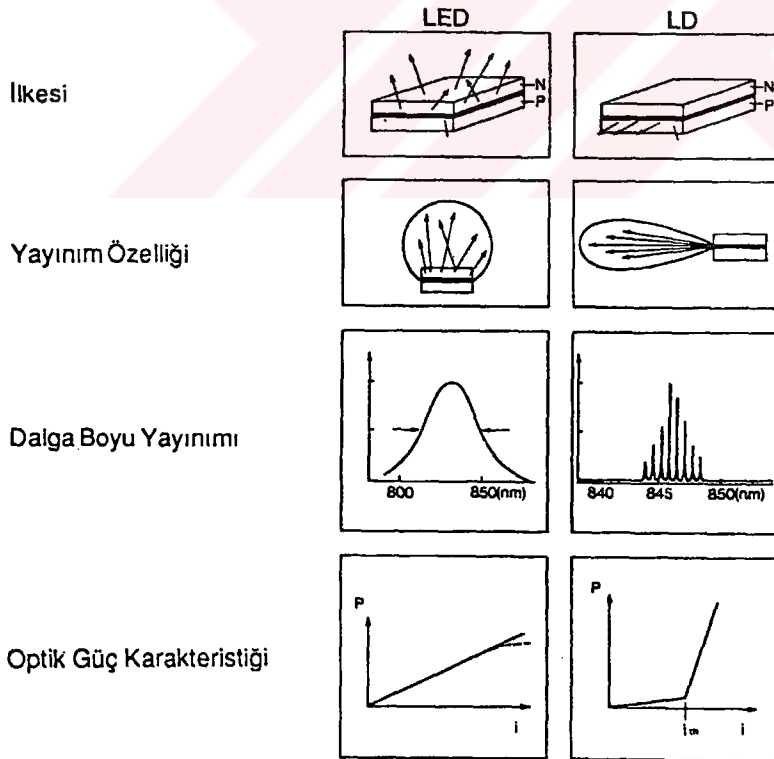
Kaynaktan fibere bağlayıcı, mekanik bir arabirimdir. İşlevi, kaynaktan yayılan ışığı fiber optik kabloya bağlamaktır. Fiber optik, cam ya da plastik fiber çekirdekten, bir koruyucu zarftan ve bir koruyucu kılıftan oluşmaktadır. Fiberden ışık dedektörüne bağlaşım aygıtı da mekanik bir bağlayıcıdır. Bu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

Işık detektörü çoğunlukla ya bir PIN (pozitif-saf-negatif) diyot ya da bir APD'dir (avalanch photo diode). Gerek APD gerekse PIN diyot, ışık enerjisini akıma dönüştürür. Dolayısıyla, bir akım-gerilim dönüştürücü gereklidir. Akım-gerilim dönüştürücüsü, dedektör akımındaki değişiklikleri çıkış sinyal gerilimindeki değişikliklere dönüştürür.

Alıcı çıkışındaki analog ya da sayısal arabirim elektriksel bir arabirimdir. Eğer analog modülasyon kullanıyorsa, arabirim, empedansları ve sinyal düzeylerini çıkış devreleriyle eşler. Eğer sayısal modülasyon kullanılıyorsa, arabirimde bir de sayısal-analog dönüştürücü bulunmalıdır.

1.5.1. Işık Kaynakları

Temel olarak, fiber optik iletişim sistemlerinde ışık üretmede yaygın olarak kullanılan iki aygıt vardır: Işık yayan diyotlar (LED'ler) ve enjeksiyon lazerli diyotlar (ILD'ler). Her iki aygıtın da avantajları ve dezavantajları vardır ve birine oranla öteki aygıtın seçilmesi, sistem gerekliliklerine bağlı olarak yapılır.



Şekil 11. LED ve ILD'nin karşılaştırılması

Genel olarak; LED'ler sürücü ve denetim (kontrol) devrelerinin basitliği dolayısıyla dar bantlı kısa erimli haberleşme sistemlerinde ve aygıt içi bağlantılarında, LD'ler ise yüksek güçlü olduklarından geniş bantlı uzak erimli (mesafe) haberleşme sistemlerinde kullanılmaktadır (3).

Tablo 1. LED ve LD'nin özellikleri

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

LED'ler

- Az güç harcarlar
- Uzun ömürlüdürler
- Ucuzdurlar
- Tesisi kolaydır
- Düşük güçlülüdürler
- Düşük tepki hızları vardır

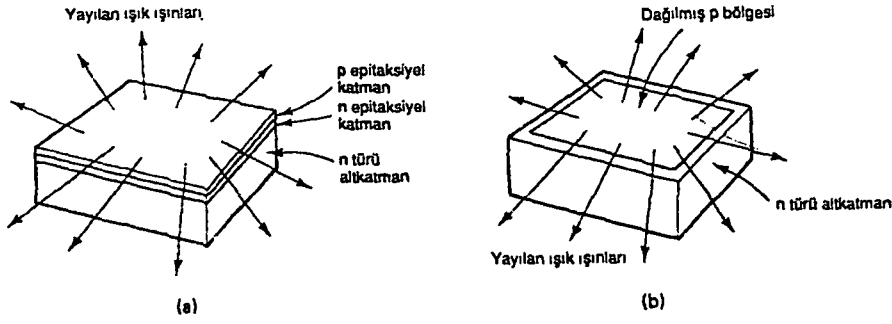
LD'ler

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

1.5.1.1. Işık Yayan Diyotlar

Temel olarak, ışık yayan diyot (LED) yalnızca bir P-N eklem diyodudur. Çoğunlukla, alüminyum galyum arsenit (Al Ga As) veya galyum arsenit fosfit (Ga As P) gibi yarı iletken bir malzemedendir yapılır. LED'ler ışığı doğal emisyonla yayırlar; ışık, elektronlar ile deliklerin yeniden birleşiminin bir sonucu olarak yayılır. Diyot ileri öngerilimli olduğunda, p-n eklemi üzerinde azınlık taşıyıcıları meydana gelir.

Azınlık taşıyıcıları eklemde, çoğunluk taşıyıcıları ile yeniden birleşip, enerjiyi ışık şeklinde verirler.

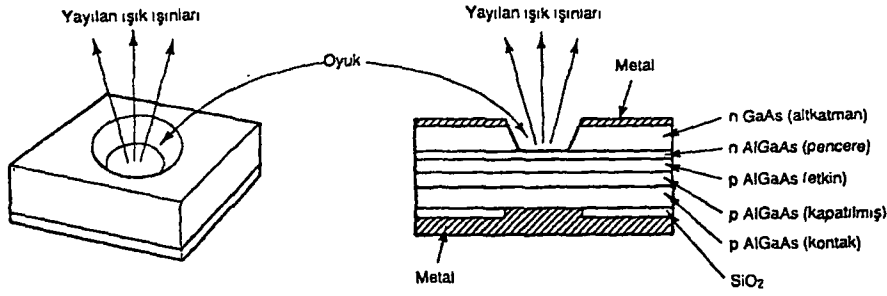


Şekil 12. Sade eklemli LED yapıları (a) Silisyum katkılanmış galyum arsenit,
(b) Düzlemsel dağılmış

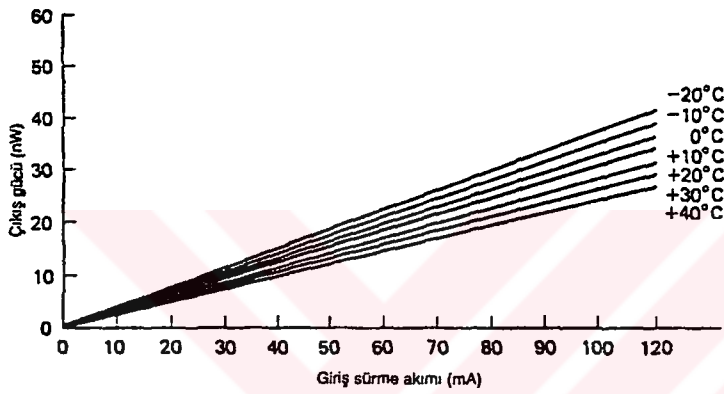
Bu süreç, temel olarak klasik bir diyottaki süreç ile aynıdır. Aradaki fark şudur: LED'lerde belli yarı iletken malzemeler ve katkılanma maddeleri, süreç ışımaya yapacak (foton üretecek) şekilde seçilir. Foton, elektromanyetik dalga enerjisinin bir nicimidir. Fotonlar ışık hızında ilerleyen parçalardır, ancak durağan halde iken kütleleri yoktur. Klasik yarı iletken diyotlarda (sözgelimi germanyum ve silisyum), süreç temel olarak ışımaya yapmaz ve foton üretimi olmaz. Bir LED imal etmek için kullanılacak malzemenin enerji aralığı, LED'den yayılan ışığın görünür ışık olup olmadığını ve ışığın rengini belirler.

En basit LED yapıları, sade eklemli, epitaksiyel olarak büyütülmüş ve tek dağılmış aygıtlardır, bu yapılar Şekil 12'de gösterilmiştir. Epitaksiyel olarak büyütülmüş LED'ler, genellikle silisyum katkılı galyum arsenitle yapılırlar. Bu tür LED'den yayılan tipik bir dalga boyu 940 nm'dir; 100 mA'lık ileri yönde akımda çıkış gücü 3 mW'tır. Düzlemsel dağılmış (sade eklemli) LED'ler 900 nm'lik bir dalga boyunda yaklaşık 500 μ W çıkış yaparlar. Sade eklemli LED'lerin önde gelen dezavantaj, ışık emisyonlarının yönlü olmayışıdır; bu da bu tür diyotları fiber optik sistemler açısından kötü bir seçenek haline getirir.

Telekomünikasyon gibi önemli pratik uygulamalar için 100 Mbps'yi aşan veri hızları gerekmektedir. Bu uygulamalar için, oyuklu LED geliştirilmiştir. Oyuklu LED'i, Bell Laboratuvarlarında Burrus ve Dawson geliştirilmiştir. Bu LED, yüzey emisyonlu bir LED'dir.



Şekil 13. Burrus oyuklu yüzey emisyonlu LED

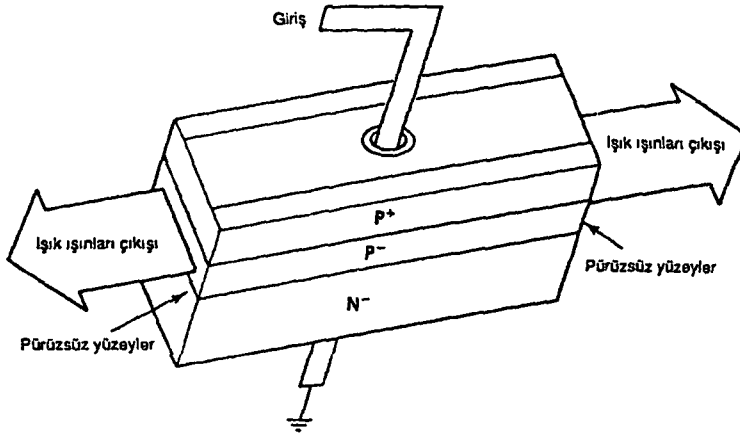


Şekil 14. Led'in ileri akım çıkış gücü özellikleri

1.5.1.2. Enjeksiyon Lazerli Diyot

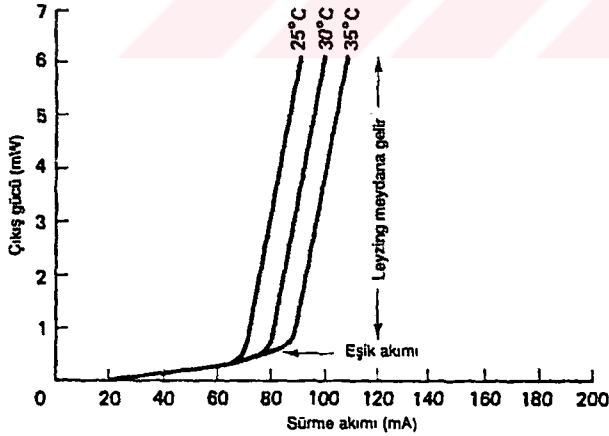
Lazer sözcüğü "uyarılmış yayılım emisyonu tarafından ışığın yükseltilmesi" [İngilizce "light amplification by stimulated emission of radiation"] sözcüklerinin ilk harflerinden oluşturulmuş bir kısaltmadır. Lazerler, gazlar, sıvılar ve katı maddeler de dahil olmaz üzere çok farklı malzemelerden yapılır, ancak fiber optik iletişimde en çok kullanılan lazer türü yarıiletken lazerdir.

Enjeksiyon Lazerli diyot (ILD) LED'e benzer. Aslında, belli eşik akımının altında ILD, LED gibi davranır. Eşik akımının üstünde, ILD salınım yapmaya başlar; Leyzing meydana gelir [6].



Şekil 15. Enjeksiyon lazerli diyot

İleri öngerilimli p-n eklemli bir diyottan akım geçerken, yarı iletken malzemenin enerji aralığı tarafından belirlenen bir frekansta doğal emisyonla ışık yayılır. Belli bir akım düzeyine ulaştığında, p-n eklemının her iki yanında üretilen azınlık taşıyıcılarının ve fotonların sayısı, daha önceden uyarılmış azınlık taşıyıcıları ile çarpışmaya başlayacakları bir düzeye ulaşır. Bu da iyonizasyon enerji düzeyinde bir artışa neden olur ve taşıyıcıları kararsız hale getirir.



Şekil 16. ILD'nin ileri yönde akım ve sıcaklığa bağlı çıkış gücü özellikleri

Bu durum meydana geldiğinde, tipik bir taşıyıcı çarpışma öncesi normal değerinin üzerinde bir enerji düzeyinde karşıt bir taşıyıcı türüyle birleşir. Bu süreç içinde iki foton

oluşur; foton, başka bir taşıyıcıyı uyarır. Temel olarak fotonların sayısında bir kazanç gerçekleştirilmiş olur. Bunların meydana gelebilmesi için, çok sayıda taşıyıcı (delikler ve elektronlar) sağlayabilecek büyük bir ileri yönde akım gereklidir.

ILD'nin yapımı LED'in yapımına benzer; aradaki fark, ILD'de uçların oldukça pürüzsüz olmasıdır. Aynayı andıran uçlar, fotonları etkin bölgede yakalar ve fotonlar uçlar arasında ileri geri yansırken serbest elektronları deliklerde normalden daha yüksek bir enerji düzeyinde birleşmesi için uyarır. Bu sürece Leyzing denir.

Şekil 16'dan da görüldüğü üzere eşik akımına ulaşıncaya kadar çok az ışık gücünün elde edildiği görülmektedir; daha sonra Leyzing meydana gelir. Bundan sonra, sürme akımındaki küçük değişikliklerle optik çıkış gücü önemli ölçüde artar. Şekilden ILD'nin optik çıkış gücü büyüklüğünün, LED'ye oranla çalışma sıcaklığına daha fazla bağlı olduğu görülebilir.

1.5.2. Fiber Optik Kablo

Optik fiber denince akla ilk anda cam fiberler gelebilir. Kullanımı az olmakla birlikte özel plastik malzemeden yapılan optik fiberler de bulunmaktadır. Bunların zayıflamaları cam fiberlerin zayıflamasının 100 ila 1000 katıdır.

Halen Bell Laboratuvarları, silikat olmayan bir maddenin, çinko kloritin kullanıldığı diğer bir çeşidin kullanılıp kullanılmayacağını araştırmaktadır. Yapılan ilk deneyler bu maddeden yapılmış fiberlerin, cam (silika bazlı) benzerlerinden 1000 kat daha verimli olacağını göstermiştir.

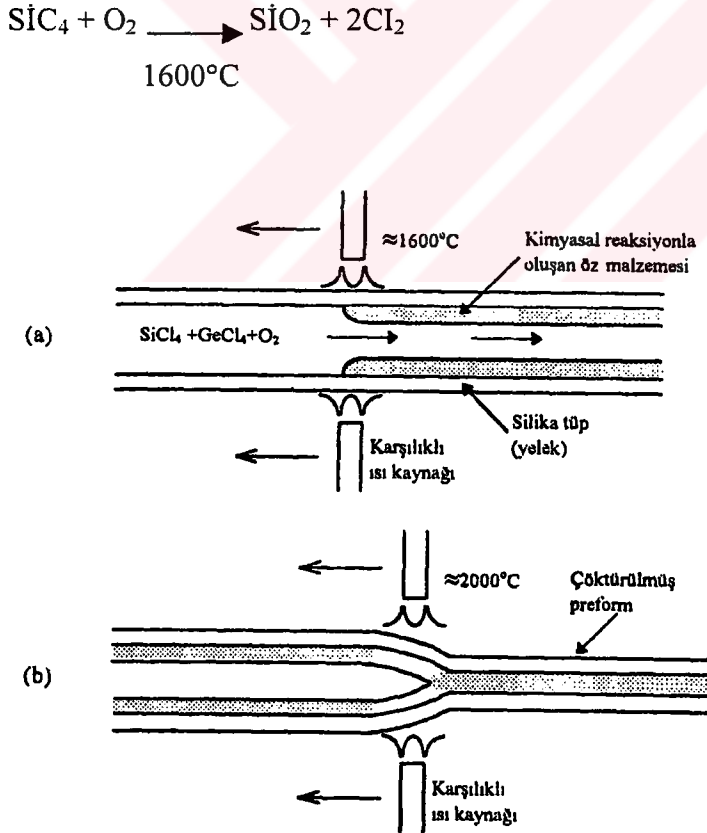
Plastik fiberlerin cam fiberlere oranla çeşitli avantajları vardır. Birincisi plastik fiberler daha esnektir ve bu nedenle camdan daha dayanıklıdır. Monte edilebilmeleri daha kolaydır; basınca daha dayanıklı ve daha ucuzdurlar; üstelik cama oranla yaklaşık %60 daha hafiftirler. Plastik fiberlerin dezavantajı,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

Günümüzde mevcut birçok farklı kablo tasarımları mevcuttur. Düzenlemeye bağlı olarak, kablo şunları içerebilir: bir çekirdek, bir koruyucu zarf, bir koruyucu tüp, tamponlar, mukavemet öğeleri ve bir ya da daha fazla koruyucu kılıf.

Kullanılacak kablo düzenlemesi türü, sistemin performans gereklilikleriyle ekonomik ve çevresel şartlara bağlıdır.

1.5.2.1. Fiber Optik Kablo Üretimi

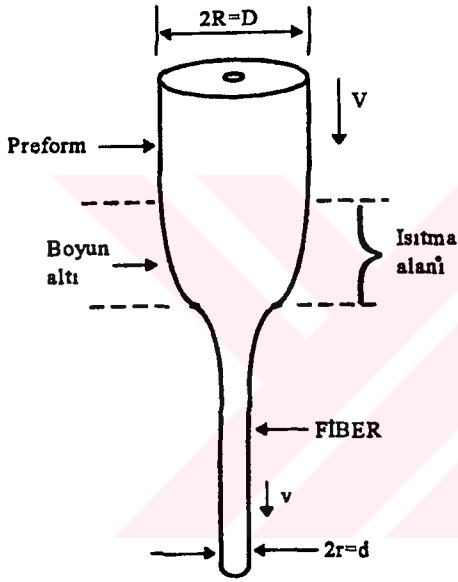
Fiber yüksek saflıkta silis camından üretilmektedir. Diğer ticari camlar saflık derecelerinin düşük olmaları ve dolayısıyla zayıflama değerlerinin çok yüksek olmaları nedeni ile optik iletişimde kullanıma uygun değildir. Fiberler kullanılış amacına uygun mekanik, geometrik ve optik özellikleri sağlamak amacıyla birçok değişik yöntemle imal edilmektedir. Hemen hemen kullanılan yöntemlerin hepsinde önce bir önform (Preform) elde edilir. Önform çekirdek camı ve zırh camından oluşan ve bir cam kütüktür. Kesitine bakıldığında daha sonra imal edilecek olan fiberin geometrik ölçüleri ve kırılma indisi profili büyütülmüş halde görülür. Değişik yöntemlerle yapılan önform üretiminde genelde aşağıdaki kimyasal reaksiyon gerçekleştirilerek çok yüksek saflıkta SiO_2 elde edilir (8).



Şekil 17. Fiber önformunun oluşturulması

Ancak ışığın iletim özelliklerini arzu edilen hale getirmek için camın kırılma indisi değerinde değişiklik yapmak gerekmektedir. Bunu sağlamak amacıyla SiCl_4 'e bazı kimyasal bileşikler eklenerek (GeO_2 , B_2O_3 vb.) yukarıdaki reaksiyon gerçekleştirilebilir. Bu işleme Dopaj denir. Sonuçta kırılma indisi yüksek bir öz camı, buna karşılık kırılma indisi değeri öz camından biraz daha düşük olan kılıf camı elde edilerek ön form tamamlanmış olur.

Daha sonra bir çekme kulesi aracılığı ile bir ucundan yüksek derecede ısıtılan önform fiber olarak çekilerek makaralara sarılır. Bu işlem sırasında üzerine akrilat malzemesinden plastik bir kılıf (primary coating) geçirilir (8).



Şekil 18. Önformun fibere dönüşümü veya çekme

1.5.2.2. Fiber Optik Kablo Sınıflandırması

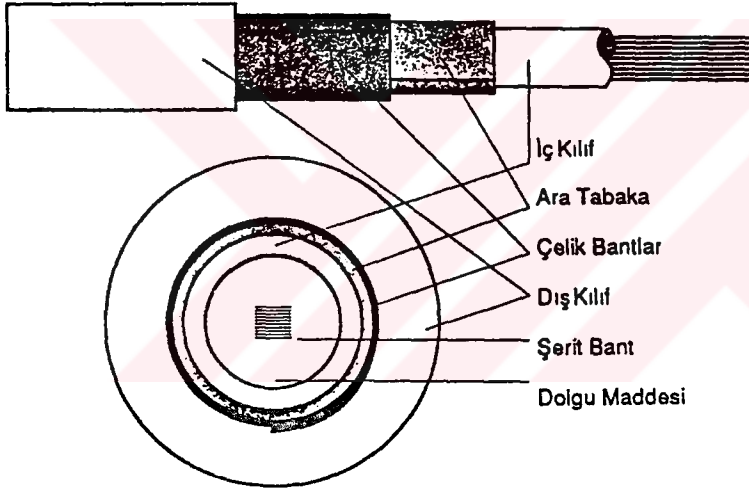
Birçok istenilen özelliğin yanısıra, onlardan yararlanabilmek için, fiberlerde de dikkat edilmesi gereken bazı konular vardır. Optik fiberler, hammaddesinin cam olmasından kaynaklanan kırılğan bir yapıya sahip olup gerilme ve uzama dayanıklılığı da düşüktür. Bu nedendir ki, fiberler doğrudan, oldukları gibi kullanılmayıp, kablo haline getirilmelidir. Ayrıca iletişim kalitesi ve kullanım alanına göre de yapısal sınıflandırılması gerekmektedir [3].

1.5.2.2.1. Üretim Yöntemine Göre Optik Fiberler

a) Gevşek tüp: Bu yöntemde, fiber veya fiberler termoplastik bir malzemeden yapılan bir tüp içerisine, tüp iç çeperi ile arasında boşluk kalacak şekilde yerleştirilir. Aradaki boşluk, özel bir jel ile doldurulur.

b. Sıkı tüp: Bu tip kılıf fiber damar üzerindeki koruyucu tabakanın üzerine doğrudan doğruya uygulanır. Bina içi optik bağlantılı yapılması gerekli olan yerlerde, kullanılmak için üretilir. Böylelikle çok yer kaplamayacak optik iletimi sağlarlar.

c. Şerit fiber: Bu yöntemde, yan yana getirilmiş fiberler termoplastik malzeme ile, boşluksuz olarak kaplanırlar. Birçok fiberin, kompakt bir şekilde bir araya getirilmesine olanak veren bu yöntem , özellikle yoğun veri akışı olan yerler için, gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır.



Şekil 19. Şerit (Ribbon) kablo

1.5.2.2.2. Kullanım Yerine Göre Optik Fiberler

- a. Dahili tip kablolar
- b. Harici tip kablolar
 1. Havai kablolar
 - a. Metalik askı telli
 - b. Metalsiz taşıyıcılı

2. Yeraltı kablolar

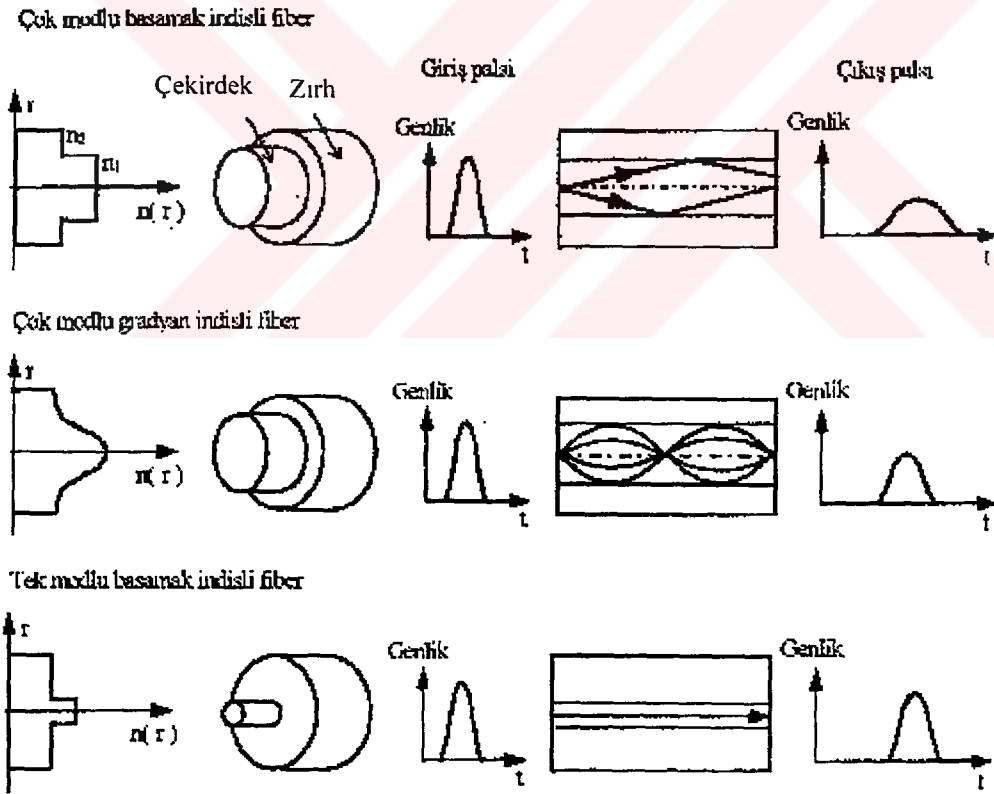
- a. Kanal tipi
- b. Doğrudan gömülebilir tip

3. Özel kablolar

- a. Denizaltı tipi
- b. Aleve dayanıklı tip
- c. Ara bağlantı tipi (pig-tail)
- d. Plastik fiberli tip (özellikle görüntü işleme, tıp elektroniği, algılayıcı bağlantıları, dekorasyon amaçlı kullanımlar için).

1.5.2.2.3. Kırılma İndisine Göre Optik Fiberler

Temel olarak üç fiber optik düzenlemesi vardır.



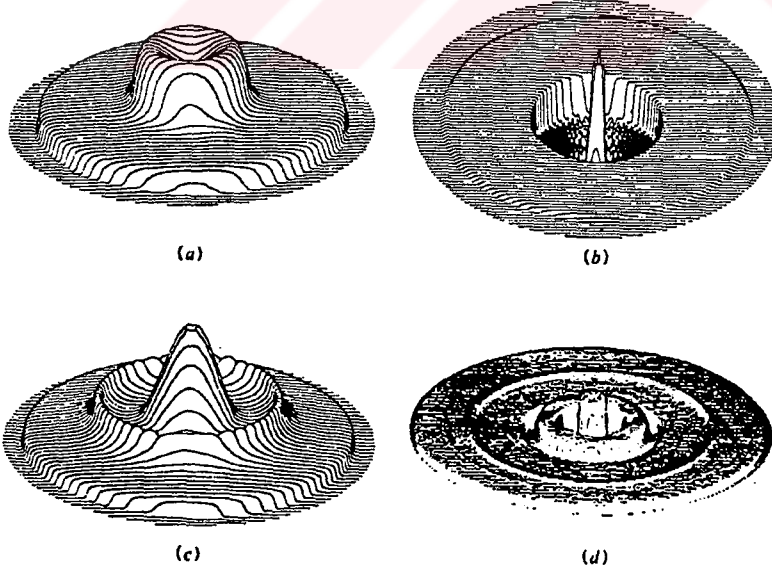
Şekil 20. Kırılma indisine göre düzenleme

Tablo 2. Fiberlerin ap değerleri

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

a. Tek modlu basamak indisli fiber

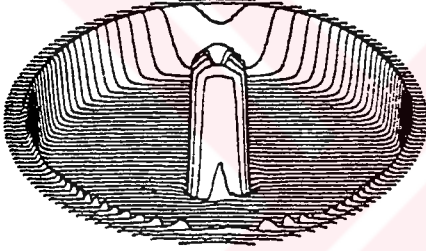
İçinden aynı anda, yalnız tek bir ışık ışınının geçişine izin verir. En yaygın fiber çeşididir. Yeterince küçük bir merkezi çekirdeğe sahiptir. Bu da ışığı ışık kaynağından fibere bağlamayı güçleştirir. Fiberde yayınım yapan bütün ışınlar yaklaşık aynı yolu izledikleri için kabloyu aynı sürede kat eder ve kabloya giren ışık darbesi alma ucunda başlangıçtakine çok yakın bir biçimde elde edilir. Daha geniş bant genişlikleri ve daha yüksek bilgi iletim hızları vardır. Pahalıdırlar ve imal edilmeleri zordur. Uzak mesafeli iletişim ve şehir şebekeleri, CATV şebekeleri ve optik güçlendirme sistemlerinde kullanılır. Kullanılan dalga boyu 1310 veya 1550 nm'dir. Kaliteli üretim ve Saçınım Kaydırmalı Tek Modlu fiberlerle zayıflama 0,15 dB/km'ye düşürülmüştür. Böylece 565 Mb/s iletim hızında yineleyicisiz 100 km.lik uzaklığa bilgi bozulmadan iletilmiştir.



Şekil 21. Saçınım kaydırmalı tek modlu fiberlerde indis profili

b. Çok modlu basamak indisli fiber

Çok modlu kademe indeksli düzenleme, tek modlu düzenlemeye benzer; aradaki fark merkezi çekirdeğin çok daha geniş olmasıdır. Bu tür fiberde kabloya daha çok ışık girmesine imkan vardır. Çekirdek/yelek arasındaki sınıra kritik açıdan daha büyük bir açıyla çarpan ışık ışınları çekirdekte zikzak şeklinde yayılım yapar ve sürekli olarak sınırdan yansır. Fiberde yayılım yaparken, bir ışık ışının izleyebileceği çok sayıda yol olduğu görülebilir. Bunun sonucu olarak, bütün ışık ışınları aynı yolu izlemez, dolayısıyla fiberin bir ucundan diğer ucuna mesafeyi aynı zaman süresi içinde kat etmezler. Bu fiberler ucuz ve imalleri kolaydır. Işık darbesi yayılım sonunda bozulmaya uğrar ve band genişliği ile bilgi aktarım hızı diğer fiberlere göre daha azdır. Mod sayısının artması ve zayıflamalar tekrarlayıcı uzaklığını ters yönde etkiler. Endüstriyel tesisler ve video kontrol sistemlerinde kullanılır. Kullanılan dalga boyu 850 veya 1310 nm'dir.



Şekil 22. Çok modlu kademe indisli fiberin indis profili

c. Çok modlu gradyan indisli fiber

Çok modlu dereceli fiberin belirleyici özelliği, sabit olmayan kırılma indisli merkezi çekirdeğidir; kırılma indisi, merkezde maksimumdur ve dış kenara doğru tedrici olarak azalır.

Işık bu tür fiberde kırılma aracılığıyla yayılır. Bir ışık ışını, çekirdek boyunca diyagonal olarak yayılım yaparken, sürekli olarak daha az yoğun ortamdan daha yoğun ortama geçer. Dolayısıyla, ışık ışınları devamlı kırılırlar ve sürekli olarak bükülürler. Işık fibere çok farklı açılardan girer. Işık ışınları fiberde yayılım yaparken, fiberin dış bölgelerinde ilerleyen ışık ışınları, merkeze yakın ilerleyen ışıklardan daha fazla mesafe kat ederler. Kırılma indisi merkezden uzaklaştıkça azaldığı ve ışığın hızı kırılma indisiyle ters orantılı olduğu için, merkezden uzakta ilerleyen ışık ışınları, daha yüksek bir hızda yayılım yapar.

Dolayısıyla ışınlar, fiberin bir ucundan bir ucuna olan mesafeyi yaklaşık aynı sürede kat eder. Bu tür fiberler, öteki fiber türlerine kıyasla bir ara fiber türü olarak değerlendirilir. Endüstriyel şebekelerde, Local Area Networks (LAN s), kısa mesafeli şehir şebekelerinde kullanılır. Kullanılan dalgaboyu 850 veya 1310 nm'dir



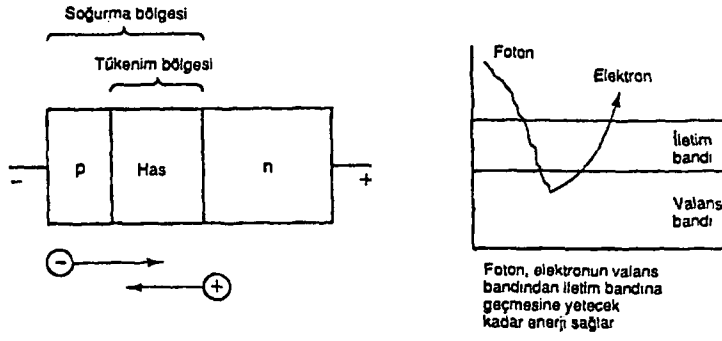
Şekil 23. Çok modlu gradyan indisli fiber

1.5.3. Işık Detektörleri

Fiber optik iletişim alıcılarında ışık enerjisini algılamada yaygın olarak kullanılan iki aygıt vardır: PIN (pozitif-has-negatif) diyotlar ve APD (çığ fotodiyotları).

1.5.3.1. PIN Diyotlar

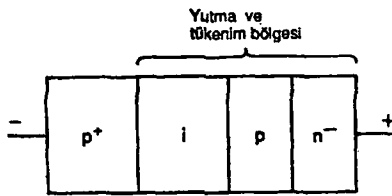
PIN diyot, fiber optik iletişim sistemlerinde en çok kullanılan ışık detektörüdür. Çok az katkılanmış (hemen hemen saf ya da has) bir n-türü yarı iletken madde katmanı, çok fazla katkılanmış iki (biri n-türü, diğeri p-türü madde) temas alanının eklemi arasına sıkıştırılmıştır. Işık aygıtı çok küçük bir pencereden girer ve taşıyıcısız has maddenin üzerine düşer. Has madde katmanı, aygıtı giren fotonların çoğunu soğuracak kalınlıkta yapılmıştır. Temel olarak, PIN fotodiyot, LED'ye tamamen karşıt bir tarzda çalışır. Fotonların çoğu has maddelerin valans bandındaki elektronlar tarafından soğurulur. Fotonlar soğurulduğunda, tüketim alanında taşıyıcıların oluşması için yeterli enerji elde edilir ve böylece akım aygıttan akabilir [6].



Şekil 24. PIN fotodiyotun yapısı

1.5.3.2. Çığ Fotodiyotları

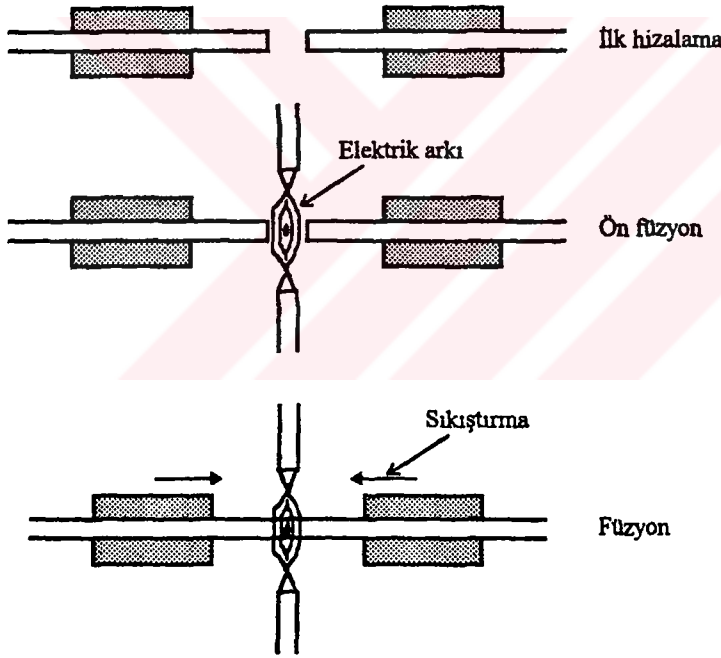
APD'nin yapısı pipn'dir. Işık diyota girer ve ince, çok katkılanmış n-katmanı tarafından soğurulur. Bu i-p-n eklemi üzerinde yüksek bir elektriksel alan şiddeti oluşmasına neden olur. Yüksek ters öngerilimli alan şiddeti, oluşmasına neden olur. Yüksek ters öngerilimli alan şiddeti, eklemün çöküm gerilimine yakın değerlerde çarpma iyonizasyonuna sebep olur. Çarpma iyonizasyonu esnasında, bir taşıyıcı öteki bağlı elektronları iyonize etmeye yetecek enerjiyi kazanabilir. Bu iyonize edilmiş taşıyıcılarda daha fazla iyonizasyon meydana gelmesini sağlarlar. Süreç bir çığ gibi devam eder ve gerçekte dahili bir kazanca ya da taşıyıcı katlanmasına (çoğalmasına) eşdeğerdir. Dolayısıyla APD'ler, PIN diyotlardan daha duyarlıdır. APD'lerin dezavantajları, nispeten uzun geçiş süreleri ve çığ katlama (çoğalma) faktöründen kaynaklanan dahili olarak üretilen ek gürültüdür (6).



Şekil 25. Çığ Fotodiyotunun yapısı

1.5.4. Ek ve Konnektörler

Uzun mesafeli hatlar oluşturmak için, çeşitli uzunluklardaki optik fiberlerin birbirlerine bağlanmaları gerekir. Çoğu durumda, tekrarlı sökme-bağlama işlemlerine gerek olmadığından, bu bağlantılar sürekli olmalıdır. Bu tip bir bağlantı sabit bağlantı veya ek olarak adlandırılır. Ekin esas amacı, iletim ortamının sürekliliğini temin etmek olduğundan, ekin öncelikli hedefi, mümkün olan en küçük kuplaj kaybını sağlamaktır. Bu ihtiyaç özellikle 1310 ve 1550 nm'lik dalga boylarında çalışan uzun optik hatlar için önemlidir; çünkü bu dalga boylarında fiber 1dB/km'nin birkaç onda biri kadarlık düşük bir zayıflatmaya sahiptir. Ekler mekanik olarak yapılabildiği gibi füzyonla yani iki fiber ucu erime noktasına kadar ısıtılıp ve uygun bir basınç uygulanıp lehimlenmesiyle de yapılabilir.



Şekil 26. Füzyonla ek yapma safhaları

Fiberden fibere kuplaj cihazı olan optik fiber konnektörleri, iki fiber parçası arasında iyi kuplaj verimi sağlamakla birlikte, fiberlerin birbirleri ile kolay eşleştirilmesini ve ayrılmasını da sağlarlar. Optik hatların iki ucunda alıcı ve vericilere bağlantı için gerekli olurlar.

İyi konnektörler, her zaman aynı ek kaybı göstermeli ve çevre şartlarına karşı kararlı olmalıdır. Haberleşme sistemlerinin tasarımında kayıp hesaplarında ek ve konnektör kayıpları da hesaba katılmalıdır. Bu kayıplar tipik olarak;

Ekler için $<0,1$ dB

Konnektörler için $<1,5$ dB olmalıdır.

1.6. Optik Haberleşme Sisteminin İncelenmesi

Optik haberleşme sisteminin analizi için bir takım önemli kavramlara ve açıklamalara ihtiyaç duyulur. Bunlar optik haberleşme sisteminin doğasını anlamaya yardım eder.

1.6.1. Sistem Kayıpları

Optik bir sistemin tasarımını yaparken, sistem için bir toplam kayıp analizi hesaplamak gereklidir. Yapılacak ilk iş, arzu edilen sinyal-gürültü oranı (SNR) veya bit hata oranını (BER) sağlamak üzere fotodetektörlerde gereken optik gücü belirlemektir. Verici ile detektör arasında çeşitli optik kayıplar meydana gelmektedir. Bu kayıpları şu şekilde sıralanabilir [5]:

- Giriş bağlaşım kaybı
- Bağlantı parçası/ek kaybı
- Fiber zayıflaması
- Çıkış bağlaşım kaybı

Giriş ve çıkış bağlaşım kaybı; kaynaktan fibere, fiberden kaynağa optik gücün aktarımı sırasındaki uyumsuzluklar meydana gelir.

Fiber kabloda meydana gelen iletim kayıpları da ışık gücünde bir azalmaya neden olur ve böylece sistem band genişliğini, bilgi iletim hızını, verimliliği ve sistemin genel kapasitesini azaltır.

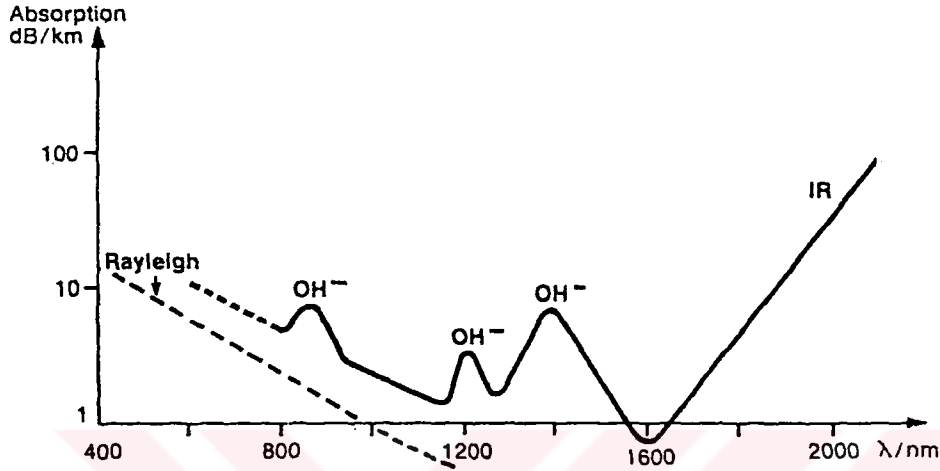
Bunları şöyle sıralayabiliriz;

a. Soğurma kayıpları

1. Morötesi soğurma
2. Kızılaltı soğurma
3. OH⁻ (Nem) yutması

b. Rayleigh saçınım kayıpları

Işık ışınları fiberde yayınım yaparken fiberdeki camdaki küçük düzensizliklerden dolayı birçok yönde saçınıma uğrar. Bu saçınım yapan ışınlar koruyucu zarftan dışarı çıkarak kayba neden olur. Buna Rayleigh saçınım kayıpları denir.



Şekil 27. Fiber optiklerde yutma kayıpları

c. Dalga boyu ayrılması

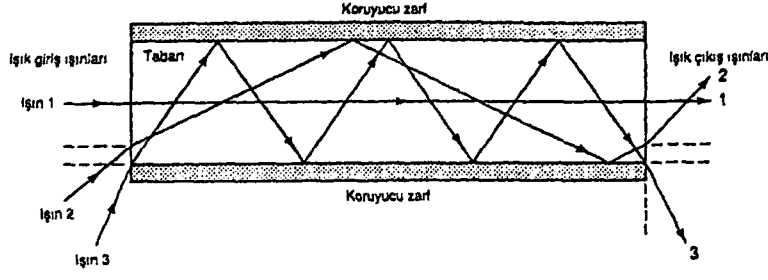
Işık yayan diyotların (LED) çeşitli dalga boylarını içeren ışık yayması ve her dalga boyunun farklı hızda ilerlemesi sonucu fiberde aktarılan ışık sinyali fiberin uç noktasında bozulmaya uğrar. Buna kromatik bozulma denir. ILD (injection laser diode) gibi tek dalga boyunda ışık yayan bir kaynak kullanarak bertaraf edilebilir.

d. Yayılım kayıpları

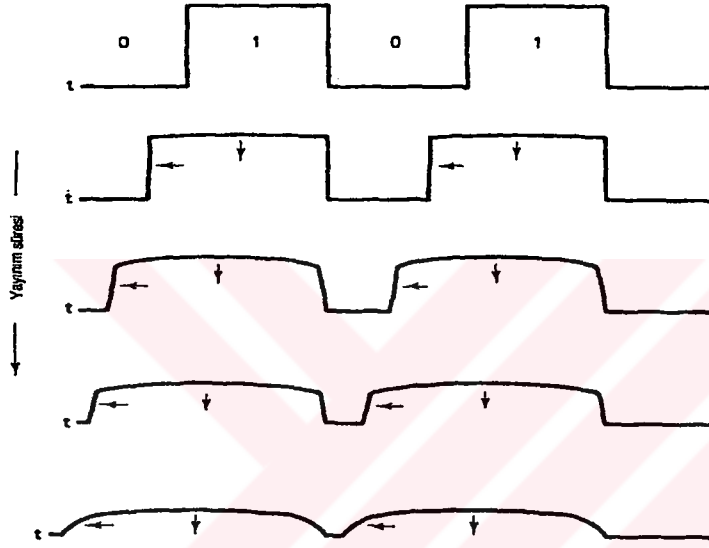
Bu kayıplara fiberdeki küçük bükümler ve burulmalar neden olur.

e. Modal yayılma

Modal yayılmanın ya da darbe yayılmasının nedeni, bir fibere farklı yollar izleyen ışık ışınlarının yayınım sürelerindeki farktır. Modal yayılmanın yalnızca çok modlu fiberlerde meydana gelebileceği açıktır. Derece indisli veya tek modlu fiberler kullanarak bertaraf edilebilir. Bu sayısal iletimde girişime sebep olur.



Şekil 28. Çok modlu basamak indisli bir fiberde ışık yayılımı



Şekil 29. Çok modlu basamak indisli bir fiberde darbe yayılması

Yapılan analizler sonucunda çok modlu bir fiberde darbe yayılması (4)₁

$$t_{ps} = n_1 \cdot L \cdot \Delta / C \quad (5)$$

olarak bulunur.

Burada;

n_1 : Çekirdeğin kırılma indisi

n_2 : Zırhın kırılma indisi

$$\Delta = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1}$$

L: Fiberin uzunluğu

C: Işığın hızı'dır.

Böyle bir sistemde hatta müsaade edilen en fazla veri hızı; UPRZ (unipolar return to zero) dereceli darbeleri bir iletim için;

$$f_b \text{ (bps)} = \frac{1}{t_{ps}} \quad (6)$$

dır.

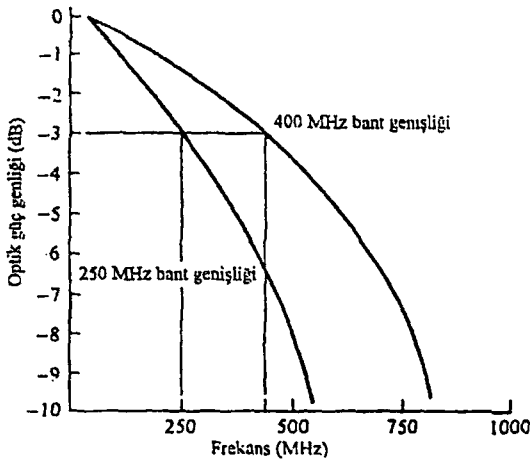
Darbe yanıtı genişliği, çekirdek ile koruyucu zarf arasındaki farkın bir fonksiyonudur. Kademe indisli bir fiberde, modal darbe yanıtı indisleri genişliği, bu indisler arasındaki farkla doğrusal olarak değişir. Derece indisli bir fiberde, genişlik farkın karesiyle orantılıdır. Örneğin; $n_1 - n_2 = 0,02$ 'lik bir indis farkı için, dereceli indisli bir fiberde ayrılma, 0,0004 ile orantılıdır. Bu önemli bir iyileşme meydana getirir. 3 dB ayrılması için tipik değerler şunlardır:

- Basamak indisli, 15 ns/km
- Gradyan indisli, 2,5 ns/km

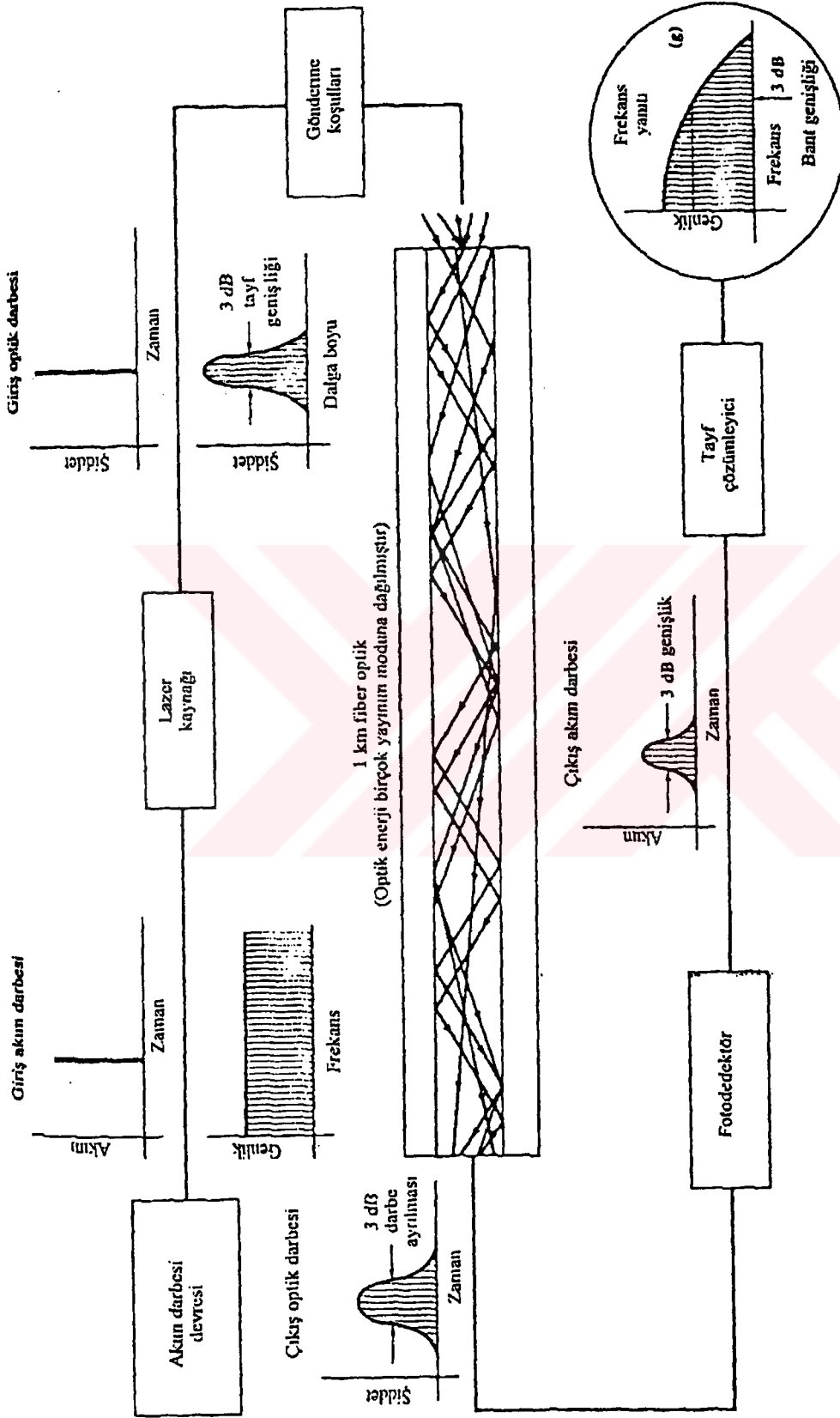
Yukarıdaki değerler darbe yayılmasının fiberin boyuyla orantılı olduğuna işaret etmektedir. Gerçekte, yeterince uzun fiber boylarında bu değerler uzunluğun kare köküyle orantılıdır. Bunun nedeninin, modlar arası bağlaşım olduğu düşünülmektedir.

Şekil 30'da, boyu 1 km olan iki fiberin band genişliği gösterilmektedir. Bu fiberlerin sırasıyla 250 MHz ve 400 MHz band genişliklerine sahip olduğuna dikkat edin. 5 km'lik bir hatta, 3 dB noktaları sırasıyla 50 MHz ve 80 MHz olur.

Bir fiberin 3 dB frekansı, çıkış sinyalinin Fourler dönüşümünü almak suretiyle bulunur. Değerler genellikle 1 km fiber uzunlukları için verilir.



Şekil 30. 3 dB band genişliği



Şekil 31.1. Işık darbesine band genişliği sıralaması

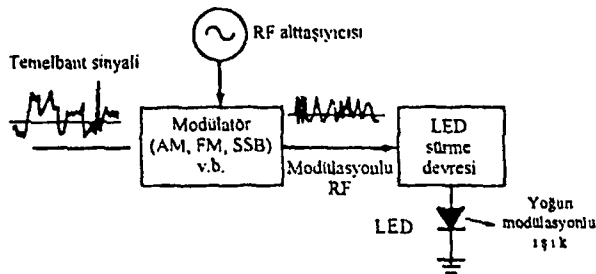
1.6.2. Modülasyon ve Kodlama

Hem LED'leri hem de ILD'leri, bu diyotların üzerinde akmakta olan akımı değiştirmek suretiyle modüle etmek mümkündür. Önce, analog bilgiyle modülasyon gerçekleştirmek için gerekli yöntemleri göz önünde bulunduralım. Örneğin; temelbant analog-yoğunluk modülasyonu kullanabiliriz. LED'in çıkış optik gücü, giriş elektriksel sinyaliyle doğrusal olarak değişir. Bu yöntem kullanıldığında LED'e uygulanan öngerilim, aşırı modülasyonun (kırpma) meydana gelmeyeceği bir düzeyde olmalıdır. Sinyal algılaması, bir kare yasası (optik güçten elektriksel akıma) fotodiyotu ve bir akım-gerilim ön yükseltici aracılığıyla meydana gelir.

Eğer çeşitli sinyalleri frekans bölmeli çoğullama kararı alınmışsa, optik modülasyondan önce temelbant analog bilgiyi ön işleme tabi tutmak gereklidir. Bu tür sistemlerde, alttaşıyıcı analog yoğunluk modülasyonu kullanmak yaygın bir uygulamadır. Temelbant analog sinyal önce RF alttaşıyıcı modüle eder, sonra modülasyonu RF taşıyıcı optik kaynağı şiddet modülasyonuna tabi tutar (Şekil 32). Modülasyon indisleri aşırı modülasyonu önleyecek şekilde seçilir.

Fiber optik sistemlerde darbe modülasyonu iyi bir alternatif oluşturmaktadır. Darbe konumu modülasyonu (PPM) ve darbe kod modülasyonu (PCM) gibi teknikler buna örneklerdir. Fiber optik iletişim sistemlerinin geniş band genişliği bu seçenekleri cazip kılmaktadır, çünkü bu seçeneklerde mevcut genişbant genişliği avantajından yararlanmak mümkündür. Temelbant analog yoğunluk modülasyonuna oranla daha yüksek bir SNR iyileştirmesi gerçekleştirilebilir.

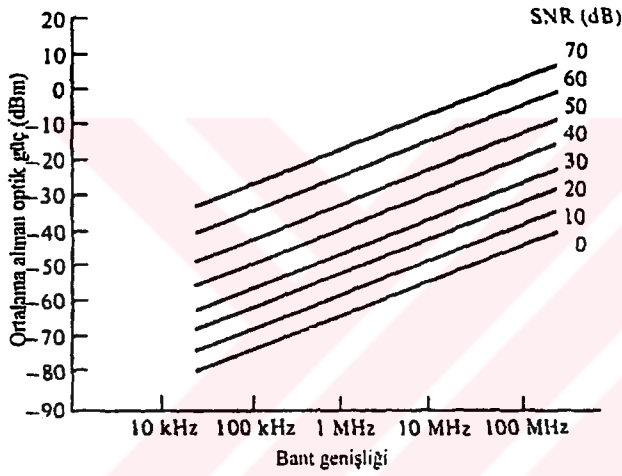
Kullanılabilir SNR, fotodiyot ve ön-uç yükseltici tarafından belirlenir. Bu seçim, detektörün band genişliğine ve gönderilebilecek ortalama optik güce bağlıdır.



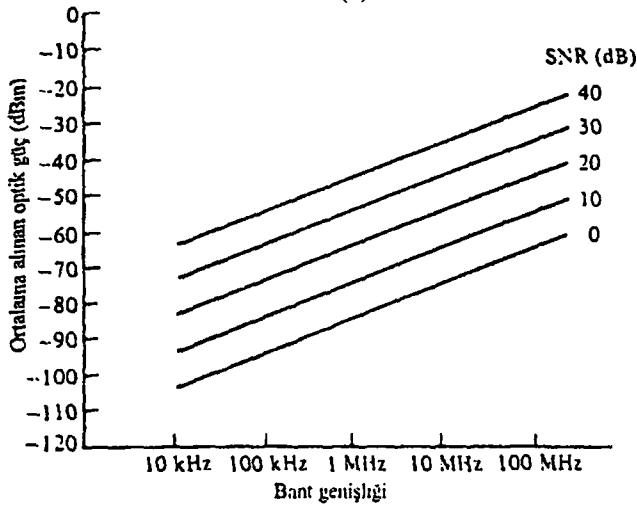
Şekil 32. Alttaşıyıcı analog modülasyonu

Şekil 33, PIN ve APD'li analog alıcılarda band genişliğine bağlı ortalama alınan optik güç performans eğrilerini göstermektedir.

Daha önce darbe modülasyonunun SNR'de bir iyileştirme sağladığı belirtilmiştir. Analog modülasyonla karşılaştırmak açısından, Şekil 34 'e bakınız. Karşılaştırma için bir PIN diyodu ele alalım ve SNR'yi 60 dB olarak sabitleyelim. Şekilden 60 dB'lik bir SNR'yi muhafaza etmek için PPM'nin analog-yoğunluk modülasyonuna oranla 30 dB daha az optik güç gerektiğine dikkat edin. 20 dB/km'lik tipik bir fiber kaborda, bu fark hat uzunluğunun 1,5 km. kadar artırılabilir. PCM 18 dB'lik bir kazanç marjı sağlar. Kazanç marjındaki bu artışın bedeli, band genişliğinde bir artıştır. Dolayısıyla, her iki tekniğin nihai sınırı, izin verilen sistem ayrılmasıdır. İzin verilen ayrılma Şekil 35'de gösterilmiştir.

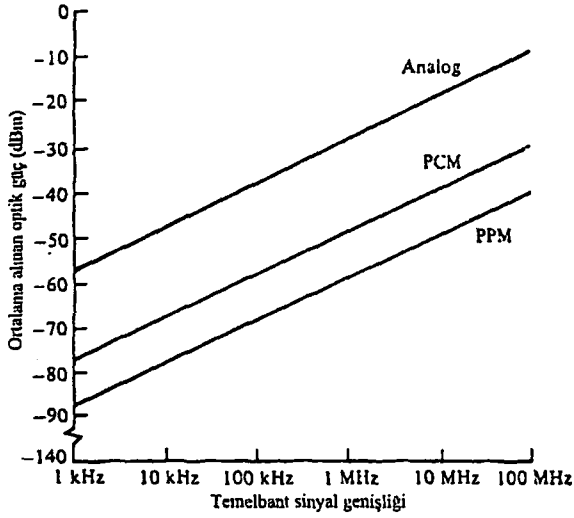


(a)



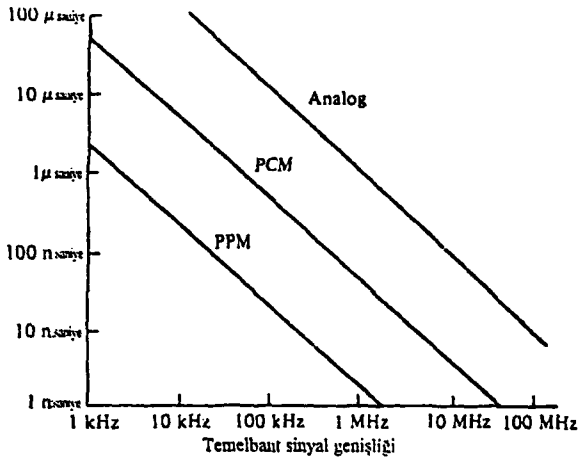
(b)

Şekil 33. (a). PIN'li dedektör ve (b) APD'li dedektör için optik güç grafikleri



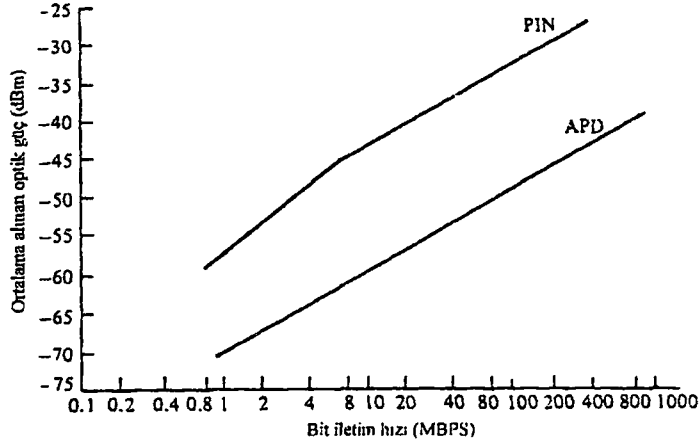
Şekil 34. Modülasyona bağlı optik güç grafiği

İkili sayısal veriyi fiber optik bir hat üzerinde iletmek için en dolaysız teknik, optik kaynağı "açık" ve "kapalı" konumlara anahtarlamaktır. Performans ölçüsü olarak SNR'nin yerini BER alır. PIN'li ve APD'li alıcıların gerektirdiği optik güç Şekil 36'da gösterilmiştir. 10 Mbit/s'lik bir veri iletim hızında, PIN diyotlu bir alıcı yaklaşık -43 dBm'lik ortalama alınan optik güç gerektirir. Karşılaştırma yapılırsa aynı hız için APD, -60 dBm gerektirir, bu da 17 dB'lik bir marj oluşturur.



Şekil 35. İzin verilebilir ayrılma

Bir başka yaklaşım, önce bir RF taşıyıcı sayısal olarak modüle etmek ve sonra ışık kaynağını şiddet modülasyonuna tabi tutmaktır. Frekans, genlik ya da faz kaydırmalı anahtarlama gibi bilinen teknikler kullanılabilir.



Şekil 36. PIN ve APD'li alıcıların güç duyarlılığı

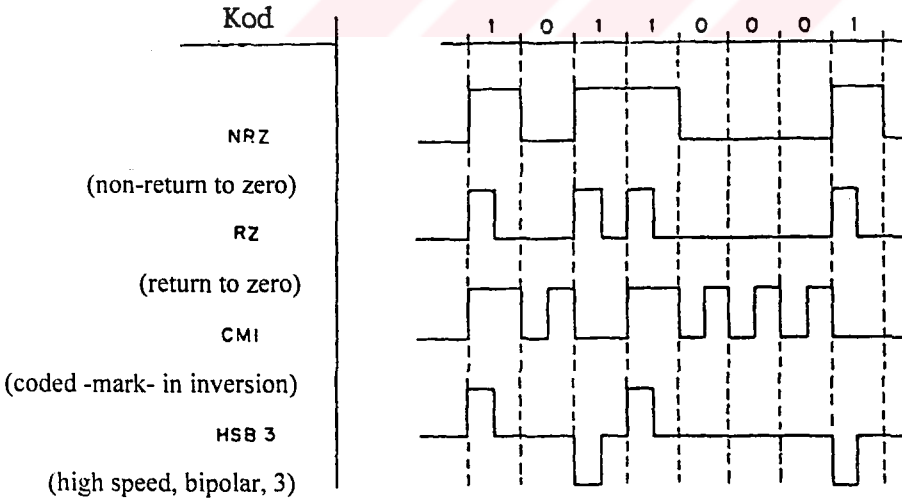
Kodlama çoğu zaman, bozulma olmaksızın uzun bir 1'ler veya 0'lar dizisinin iletilmesine olanak sağlamalıdır. Bu, yüksek hızlı fiber optik hatlarda sorunlara neden olabilir, çünkü bütün ışık darbeleri tek kutupludur (açık veya kapalı) ve alıcı, dc kayma hatalarını önlemek üzere ac bağlanmalıdır. Fiber optiklerde veri iletimi tek kutuplu olmalı ve her bit için geçiş içermelidir. Dolayısıyla, özellikle yüksek veri iletim hızlarında klasik sıfıra dönüşsüz (NRZ) kod uygun olmayabilir.

Fiber optik alıcılar tipik olarak birkaç milivolt aralığında algılanan sinyallerle çalışırlar; alınan sinyalin 1 mi yoksa 0'ı mı temsil ettiğine karar vermek için bu sinyaller bir referans düzeyi ile karşılaştırılmalıdır. Sinyal düzeyi düşük olduğu için, bir dc karşılaştırması hatalara yol açılabilir, çünkü yeterli derecede kararlı bir dc referans gerilimi sağlamak güçtür. Ayrıca, referans normal olarak 1 ve 0 durumları arasında orta noktada olmalıdır. ancak tepe sinyali birçok değişkenin bir fonksiyonu olarak değişir; fiberin uzunluğu, LED'in sıcaklığı, yaşı vb. dolayısıyla, referans gerilimin kararlı olması yetmez; referans gerilimi aynı zamanda tepeden tepeye sinyal genliğinin bir fonksiyonu olarak ayarlanmalıdır.

Eğer sinyal kapasitif olarak bir karşılaştırıcıya bağlanmışsa, referans toprak potansiyeline yakın bir değere ayarlanır, böylece sinyalin yükselişiyle düşüşün

minimumları ve maksimumları toprak düzeyinin üstünde ve altında simetrik olarak gerçekleşir (sinyalin iş saykılının (darbe süresinin peryoda oranı) %50 olması kaydıyla). Kodlama teknikleri, gönderilen sinyallerde %50 darbe süresinin peryoda oranına çok yakın kalmak suretiyle alıcıda ac bağlama kullanımına olanak sağlarken aynı zamanda, alıcının sinyallerin kodunu çözerek herhangi bir darbe süresinin peryoda oranına sahip başlangıçtaki veri akışını tekrar oluşturmasına olanak sağlar. Alıcıda dc yükseltgeçler yerine ac yükseltgeçlerin kullanılması, tasarımcının, daha yüksek duyarlılığı, daha az sıcaklık bağımlılığı ve daha fazla dinamik aralığı olan devreler tasarlanmasına imkan sağlar.

Böylece, özellikle iletişimdeki digital transmisyon kodu birkaç bağımsız taşıyıcı dalga boyunun çoğullamasına izin veren ve aynı zamanda alıcının band genişliğini azaltacak kadar küçük bir spektral genişliği işgal etmek zorundadır. Bu spektral genişlik teknik zorluklardan kaçınmak için ve alıcının kuplaj kapasitesinde gözden kaybedilen düşük frekans bileşenlerini tekrar elden geçirmekten kaçınmak için tercihen sıfır frekansta sıfır olmalıdır. Ayrıca kod, tekrar elde edilmek için saat zamanlarına izin vermek zorundadır. Fiberler çok seviyeli kodlar için yapılmazlar. Ancak ışık ve karanlığın alternatifleri için yapılır. Işık yayıcılar farklı eşitsizliklerde seviyeler yapabilen Lineer olmayan durumlar sunarlar [5].



Şekil 37. Kodlamalara bazı örnekler

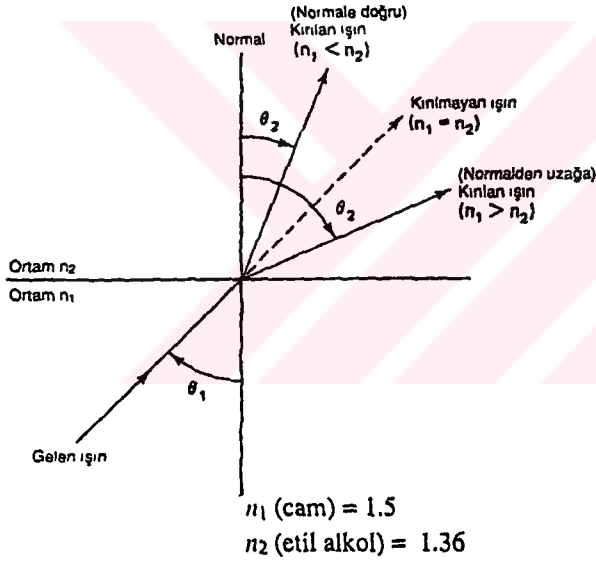
1.6.3. Kırılma İndisi

Farklı yoğunluklardaki iki ortamın sınırında meydana gelen bükülme ya da kırılma miktarı, önceden tahmin edilebilir ve iki ortamın kırılma indisine bağlıdır. Kırılma indisi, bir ışık ışınının boşluktaki yayılım hızının, belli bir ortamdaki yayılım hızına oranıdır. Matematik olarak;

$$n = \frac{c}{v} \quad (7)$$

Kırılma indisi frekansın da bir fonksiyonu olmakla birlikte, çoğu uygulamadaki değişim önemsizdir. Bir ışık ışınının farklı kırılma indislerine sahip iki geçirgen ortamın sınırına geldiğinde nasıl hareket ettiği Snell yasası ile açıklanabilir.

$$n_1 \cdot \sin\theta_1 = n_2 \cdot \sin\theta_2 \quad (8)$$



Şekil 38. Snell yasası için kırılma modeli

Tablo 3. Tipik kırılma indisleri

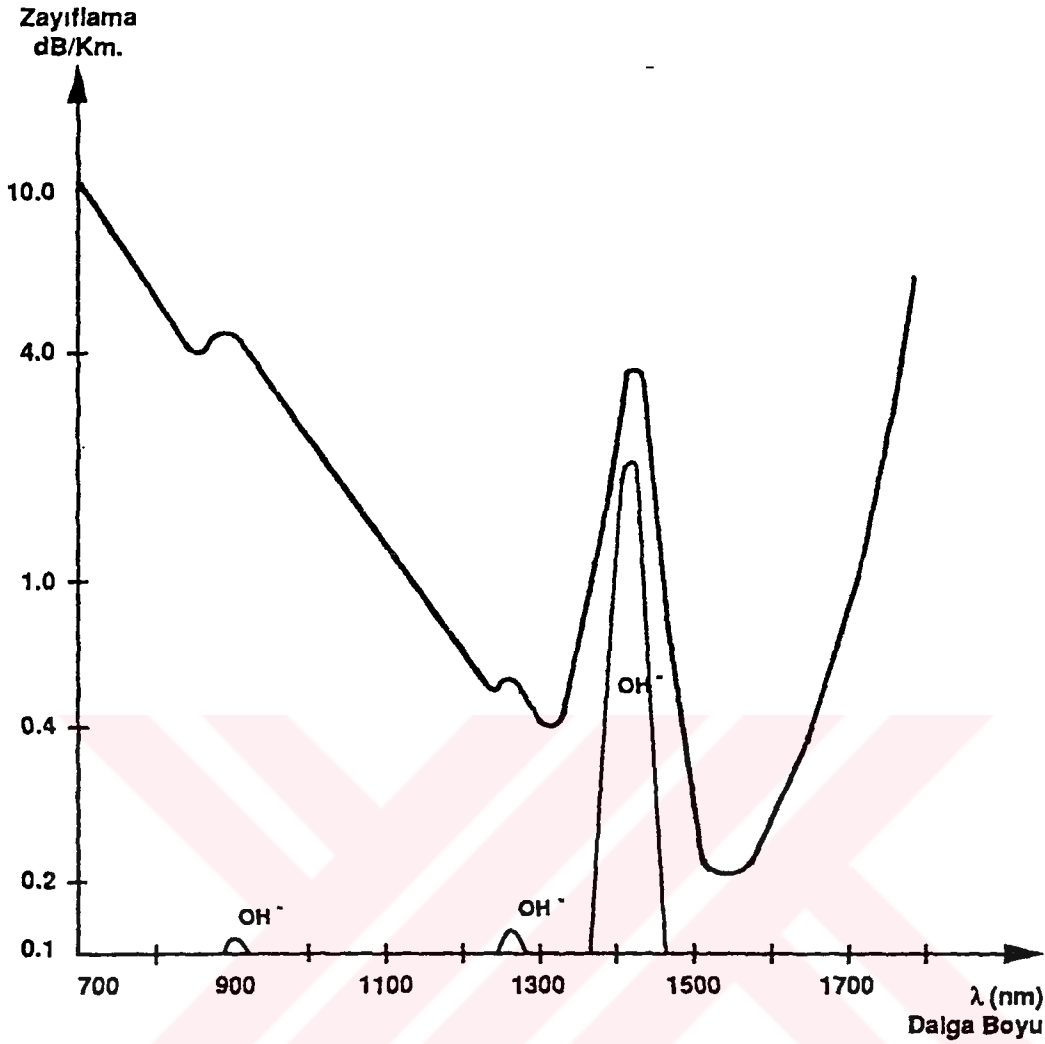
Ortam	Kırılma İndisi ^a
Vakum	1.0
Hava	1.0003 (1.0)
Su	1.33
Etil alkol	1.36
Eritilmiş kuvars	1.46
Cam fiber	1.5-1.9
Elmas	2.0-2.42
Silisyum	3.4
Galyum arsenit	3.6

1.6.4. Transmisyon Penceresi

Günümüzde optik iletişimde temel olarak zayıflama değerlerinin düşük olduğu, yani fiberin imalatından dolayı bu dalga boylarına düşük direnç göstermesinden dolayı üç dalga boyu yani üç transmisyon penceresi kullanılmaktadır.

- Birinci pencere: 800-900 nm bölgesi
- İkinci pencere: 1310 nm
- Üçüncü pencere: 1550 nm

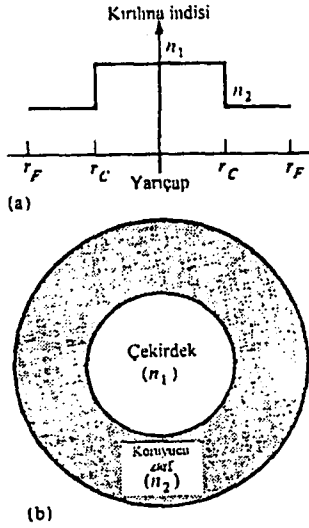
Genelde arzu edilen zayıflama değerleri, özellikle iletişim alanında 1310 nm için 0,36 dB/km., 1550 nm'de 0,22 dB/km.'dir.



Şekil 39. Dalga boyu ile zayıflama münasabeti

1.6.5. Optik Fiberde Mod Sayısı

Tüm gerekli durumları karşılayan belirli elektrik ve magnetik alan dağılımları yayılma modları olarak adlandırılırlar. Eğer çekirdeğin çapı (bir veya iki dalga boyu) yeterince küçükse o zaman dalga kılavuzu içinde sadece tek bir mod yayılacaktır. Bu baskın mod bir HE_{11} modu olup TM veya TE modu değildir. Daha ziyade uzunluk boyunca ne elektrik ne de magnetik alanların sıfır olmadığı bir melez moddur. Bir d çaplı özün kademe indisli dalga kılavuzunda oluşabilen modların sayısı sayısal metodlar ile belirlenmiş olup Gloge tarafından çizilen eğriler vasıtasıyla bulunabilir [4].



Şekil 40. Kademe indisli fiberde indis profili

1.6.6. Sinyal Kalitesinin Bozulması ve Yükselme Süresi

Sinyal kalitesinin düşmesine gürültü ve bozulma neden olur. Fiber optik bir sistemde temel gürültü kaynağı alıcıdır. Ancak, ışık kaynağının sürme akımına bağlı güç özelliklerinin doğrusal olmaması gibi başka parametreler de, harmonik bozulma oluşturarak sistem performansını düşürebilirler. Bu durum özellikle ILD'ler için geçerlidir. Malzeme kaynaklı ayrılma ve modal yayılma bozulmaya yol açar. Bu bozulma, darbeli sistemlerde semboller arası girişim; analog iletiminde ise band sınırlamalı genlik bozulması olarak kendini gösterir. LED kaynaklarının tayf genişlikleri; 30 nm ile 50 nm arasındır. Bu, 4 ns/km civarında bir malzeme kaynaklı ayrılmaya neden olur. ILD'lerin tayf genişlikleri 2 nm ile 4 nm arasındır. Bu nedenle, ihmal edilebilir bir malzeme kaynaklı ayrılma söz konusudur.

Son olarak, sistemin yükselme süresi bir sinyalin şeklini bozabilir. Sistemin yükselme süresini kaynağın, detektörün ve fiberin, yükselme süreleri belirler. LED'lerin yükselme süreleri ise 0,1 ns ile 2 ns arasında değişir. Fiberin öteki ucunda, PIN'ler ve APD'ler 1 ns ile 4 ns arası yükselme sürelerine sahiptir.

Sistemin toplam yükselme süresi;

$$t_{\text{sistem}} = 1,1 [t_{\text{kaynak}}^2 + t_{\text{modül}}^2 + t_{\text{malzeme}}^2 + t_{\text{detektör}}^2] \quad (9)$$

Bir analog sistemin 3dB band genişliği

$$B = \frac{0,35}{t_{\text{sistem}} \text{ (sn)}} \text{ Hz} \quad (10)$$

dir.

1.6.7. Sinyal Çoğullama

Birden çok farklı sinyal gönderilecekse, bu tür çoğullama gereklidir. Frekans bölmeli ve zaman bölmeli çoğullama (FDM ve TDM), bu işlem için kullanılacak bildik tekniklerdir. Eğer bir sinyal için ayrı bir fiber mevcut ise uzay bölmeli çoğullama (space division multiplexing) kullanılabilir. Daha yeni bir teknik alan dalga boyu bölmeli çoğullamada (wavelength division multiplexing), farklı dalga boylarında kaynaklar kullanılır. Bu teknik, uygun sinyali seçmek için fotodetektörlerde filtreler gerektirir. Bu tekniğin avantajı, fiberlerin bant genişliğinin artmasıdır.

1.6.8. Optik Sistemde Hata Oranı

Alınan darbeler, ayrıldıkları zaman bölmelerinin (slotlarının) dışına çıktıkları zaman ve rastlantısal gürültüler sebebiyle hata meydana gelir. Çoğu hata ışık ve karanlık sinyalleri arasındaki karışmadan meydana gelir.

Yeniden kurulan mesajın kalitesi, uzun darbe dizisi içinde yanlış bitlerin sayısı ve alınan toplam bitlerin sayısının oranı olan hata olasılığı veya hata oranı ile karakterize edilir.

Gösterilebilir ki sinyal gücü ν da merkezlenmiş σ standart sapmalı Gauss rastlantı değişkeni ise hata olasılığı,

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{\nu}{2\sqrt{2}\sigma} \right) \quad (11)$$

$$P_e = P(0 | 1) = P(1 | 0) \quad (12)$$

Q parametresi, alınan sinyal gücü ve efektif gürültü seviyesinin oranı olarak tanımlanan $\frac{S}{N}$ (sinyal gürültü oranı) ile orantılıdır.

$$Q = \frac{v}{2\sigma} = \frac{1}{2} \cdot \frac{S}{N} \quad (13)$$

1.6.9. Sistem Marjini

Sistem marjini, alıcı için gerekli en düşük değer üstünde elde edilebilir dB değeridir. Deneysel olarak 6 dB civarında bir sistem marjinin; sıcaklık değişimi, yaşlanma ve kablo arızası sebebiyle zayıflama artışını karşılamak için yeterli olacağı düşünülmektedir.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Sayısal Fiber Optik Sistem Tasarımı

Optik transmision linki optik fiber transmision ortamı, optik kaynak, fotodetektörler ve buna ilişkin alıcı ve konnektörlerden oluşur.

Bu bileşenlerin tek tek uygulamalar için uygun olup olmadığının sınanması ve bu bileşenlerin (modal yayılma ve bir hata oranı gibi) sistem performans ölçütleri ile nasıl ilişki de olduğunu görmek gerekir. Sonra verilen bir bileşenler grubu için ve verilen bir sistem ihtiyaçları için, fiber optik linkinin zayıflama ihtiyaçlarını karşılayıp karşılamadığını veya güç seviyesini desteklemek için tekrarlayıcılara gereksinim olup olmadığını belirlemek için güç hesabı analizinin hesaplanması gerekir. Son adımda tüm sistem performans ihtiyaçlarının karşılandığını doğrulamak için bir sistem yükselme zamanı (rise-time) analizi gereklidir.

Sonra, analizleri optik fiberler üzerinden sayısal data iletimi için uygun olan kod şemalarına dönüştürmek gerekir. Bu kod şemaları, yeterli zamanlama iyileşmesini garanti etmek ve alıcıda hatayı izlemeyi kolaylaştırmak için sayısal data akışında redundansı ve rastlantısızlığı takdim etmek için kullanılır.

Bir kez bir sayısal fiber optik linki kurulunca onun tüm performansını ölçmek çoğunlukla gereklidir. Linkin data transmision karakteristiğini değerlendirmek için basit fakat güçlü bir metod göz-pattern diyagramı tekniğidir.

400 Mb/s gibi çok yüksek hızdaki haberleşmede, tek modlu fiber optik kablo uygulamaları için sistem ve bileşenlerin gürültü faktörleri de bir fiber optik iletim sistemi kalitesini etkiler. Bunlar zayıflama ve modal gürültü, yansıma gürültüsü ile lazer-chirp gürültüsüdür [10].

2.1.1. Optik Sistem Bileşenlerinin Seçimi

En basit transmision linki, bir ucunda verici, diğer uçta alıcı bulunan noktadan noktaya bir hattır. Bu tip linkler fiber optik teknolojisinde en asgari istekte yer tutarlar ve daha karmaşık sistem mimarisini sınamak için temel olurlar.

Optik link tasarımı; fiber, kaynak ve fotodetektörler işlem karakteristikleri arasında birçok ilişkilendirilmiş değişkenlere ihtiyaç duyar. Fiber optik iletişim linklerinde performans ve fiyat sınırlamaları çok önemli olduğu için, tasarımcı beklenen sistem ömrü üzerinde muhafaza edilebilecek istenen performans seviyesini elde edebilecek komponentleri dikkatlice seçmek zorundadır.

Bir linkin analizinde ihtiyaç duyulan anahtar sistem ihtiyaçları şunlardır [10].

1. İstenen (mümkün olabilen) tranmisyon mesafesi
2. Data oranı veya kanal band genişliği
3. Bit hat oranı (BER)

Bu ihtiyaçları yerine getirmek için tasarımcı aşağıdaki bileşenlerin bir seçimine ve onların ilişkili karakteristiklerine sahiptir.

1. Çok modlu veya tek modlu optik fiber
 - a. Çekirdek-zırh çapı
 - b. Çekirdek-zırh kırılma indisli profili
 - c. Band genişliği veya malzeme ve mod yayılması
 - d. Zayıflama
 - e. Sayısal açıklık
2. LED veya Laser diyot, optik kaynak
 - a. Emisyon dalgaboyu
 - b. Spektral genişlik
 - c. Çıkış gücü
 - d. Emisyon paterni
 - e. Yayılan modların sayısı
3. Pin veya Çığ fotodiyot, optik alıcı
 - a. Tepkisellik
 - b. İşlem dalgaboyu
 - c. Hız
 - d. Hassasiyeti



Şekil 41. Fiber-Optik link

Çoğunlukla iki analiz istenen sistem performansını uygun düşürmek için uygulanır. Bunlar; link güç analizi ve sistem yükselme zamanı analizleridir. Link güç bütçesi analizinde öncelikle belirli bir BER'i ihdas etmek için ihtiyaç duyulan optik verici gücü ve minimum alıcı hassasiyeti arasındaki güç marjini belirlenmelidir. Bu marjin daha sonra, konnektöre, eklere, diğer fiber kayıplarına ve ısı etkisi gibi diğer ek marjinlere ayrılabilir. Eğer bileşen seçimi, başarmak için izin verilen istenen transmisyon mesafesine izin vermez ise bileşenler değiştirilmeli veya linke tekrarlayıcılar eklenmelidir.

Şayet bir kez link güç bütçesi kurulursa, tasarımcı istenen tüm sistem performansını elde etmek için bir sistem yükselme zamanı analizini yapabilir. Şimdi bu iki analiz daha detaylı tetkik edilebilir.

2.1.2. Optik Sistemin Tartışılması

Link güç bütçesinin hesaplanmasında ilk defa hangi dalga boyu ile iletim yapılacağına karar verilir, daha sonra bu bölgede çalışacak bileşenler seçilir. Şayet mesafe datanın iletebileceğinin üzerinde çok uzak değilse 800-900 nm bölgesinde işlem yapmaya karar verir. Diğer yandan iletişim mesafesi bağıl olarak uzaksa 1300 veya 1500 nm etrafındaki dalga boylarında meydana gelen daha düşük zayıflama ve modal yayılmanın avantajlarını kullanılabilir.

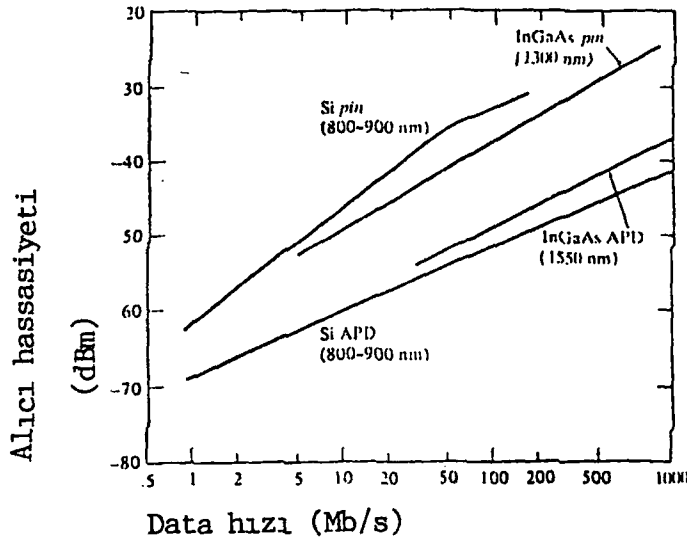
Belirli bir dalga boyuna karar verilmişse, daha sonra 3 optik link bloğu; alıcı, verici, optik fiberin sistem performansı karşılıklı olarak ilişkilendirilebilir. Normal olarak tasarımcı bu elementlerden ikisinin karakteristiğini seçer ve sonra sistem performansının ihtiyaçlarıyla uyum sağladığını görmek için üçüncüsüyle bunları birleştirir. Burada ilk olarak fotodetektörün seçimi prosedürü izlenebilir. Sonra bir optik kaynak seçilir ve optik sinyalin güç seviyesini desteklemek için hatta bir tekrarlayıcının ihtiyaç duyulmasından önce datanın bir fiber üzerinden ne kadar uzağa iletebileceği görülebilir.

Tek başına bir fotodetektör seçiminde; belirlenmiş bir data oranında bit hata oranı (BER) ihtiyacını tahmin etmek için fotodetektör üzerinde alınması zorunlu minimum optik gücü belirlemeye ihtiyaç vardır. Pin fotodiyotun avantajları; daha basit, sıcaklığa karşı daha az değişen ve daha ucuz olmasıdır. Ledler ve lazer diyotler arasında karar verilmesi gereken sistem parametreleri; data hızı, tranmisyon mesafesi ve fiyatıdır. Lazerin spektral genişliği çok daha dardır. Data hızı-mesafe çarpımı çok daha fazladır. Lazer diyotlar tipik olarak bir ledten 10-15 dB daha fazla optik gücü bir fibere aktarıldığı gibi lazer ile daha büyük takrarlayıcısız iletim mesafesi mümkündür.

Optik fiberler için tek modlu veya çok modlu olması arasında bir seçim yapılabilir. Bu seçim kullanılan ışık kaynağının tipine ve tolere edilebilen dalga boyu ayrılması ve modal yayılma miktarına bağlıdır. Ledler çok modlu fiberler ile kullanılmaya meyillidir. Görülmüştür ki ledler, 560 MB/sn'lik data hızında birkaç km'nin üzerinde bir tek modlu fiberle tranmisyon için başarılı optik güçlere ulaşmışlardır. Bir ledten bir fibere aktarabilen optik güç çekirdek-zırh kırılma indisi farkına (Δ) bağlıdır. Bu fiberin sayısal açıklığı ile ilişkilidir. Δ artarsa fibere aktarabilen güç artacaktır. Bununla birlikte modal yayılma da aynı zamanda büyüdüğü için fibere aktarabilen güçleri maximum tolere edilebilen modal yayılma arasında bir seçim yapılmalıdır.

Lazer diyotla ya tek modlu ya da çok modlu fiber kullanılabilir. Tek modlu fiberler çok yüksek bit hızı-mesafe çarpımı karşılayabilirler. (30 Gb/sn.km değerlerine varılabilir). Tek modlu fiberlerin bir dezavantajı; küçük çekirdek genişliğine (5-16 μm çapı) sahip olduğu için fiber eki daha zor yapılır.

Kablo olmuş bir fiberin zayıflama karakteristiği seçildiği zaman, fiberin kendi zayıflamasına ek olarak kablolama sürecinden kaynaklanan aşırı bir kayıp hesaba katılmalıdır. Bunlara aynı zamanda sıcaklık değişimleri, konnektörlerdeki toz ve nemlerden oluşan kayıplar da eklenmek zorundadır.



Şekil 42. Bit hızının fonksiyonu olarak alıcı hassasiyeti

2.1.3. Link Güç Hesabı

Fotodetektörde alınan optik güç fibere aktarılan ışığın miktarına, fiberde meydana gelen kayıplara, konnektör ve ek kayıplarına bağlıdır.

Link kayıp hesabı, linkteki her bir elemanın sırasıyla ayrı ayrı kayıplarından elde edilir. Bu kayıp elemanlarının her biri dB olarak ifade edilir.

$$\text{Kayıp} = 10 \cdot \log \frac{P_{\text{çık}}}{P_{\text{gir}}} \quad (14)$$

$P_{\text{çık}}$, P_{gir} kayıp elemanının giriş ve çıkışındaki optik güçler iken.

Bu çeşit bir kayıp dağılımında, bir link güç marjını normal olarak, ilerde eklenebilecek bileşenlerden doğacak kayıplar, ısı değişimleri ve bileşenlerin yaşlanması için izin verdiği durumlar için analizde göz önüne alınmıştır. 6-8 dB'lik bir link marjını bu beklenmeyen sistem kayıpları için kullanılır.

Link kayıp hesabı basit olarak, fotodetektörle ışık kaynağı arasında izin verilen toplam optik güç kaybı olarak hesaba katılır ve bunun içinde kablo zayıflaması, konnektör ve ek kaybı, sistem marjini ayrılmıştır. Böylece şayet P_s kaynaktan ayrılıp fiber ucunda ortaya çıkan optik güç ise ve P_r alıcı gücü-hassasiyeti ise;

$$P_T = P_s - P_r = 2 L_c + \alpha_f \cdot L + \text{sistem marjini} \quad (15)$$

Burada L_c konnektör kaybı, α_f fiberin zayıflaması (dB/km), L tranmisyon mesafesi, sistem marjini nominal olarak 6 dB alınır. Burada basit olarak ek kayıpları kablo kaybına eklenmiştir.

2.1.4. Yükselme Zamanı Hesabı (Rise Time)

Bir yükselme zamanı hesabı analizi, optik fiber linkinin sınırlamasını ve sinyalin ne kadar bozulduğunu belirlemek için elverişli bir metoddur. Özellikle modal yayılma buna bir örnektir. Bu yaklaşımda linkin toplam yükselme zamanı t_{sistem} , her bir iştirakçinin yükselme zamanlarının karelerinin toplamının kareköküdür.

$$t_{\text{sistem}} = 1,1 \left(\sum_{i=1}^N t_i^2 \right)^{1/2} \quad (16)$$

Sistem hızını sınırlayabilen önemli olarak 4 temel element; vericinin yükselme zamanı t_{kaynak} , malzeme kaynaklı ayrılmadan doğan yükselme zamanı t_{malzeme} , modal dağılımdan doğan yükselme zamanı t_{modal} ve alıcının yükselme zamanı $t_{\text{dedektör}}$ 'dür. Genel olarak, bir sayısal linkin toplam geçiş zamanı azalışı bir NRZ bir periyodunun %70'ini veya bir RZ bit periyodunun %35'ini aşamaz. Bir bit periyodu data hızının karşılığı olarak tanımlanmıştır.

Verici ve alıcı, yükselme zamanları, genel olarak tasarımcı tarafından bilinir. Verici artışı zamanının sebebi esasen ışık kaynağı ve onun akım devresine yorulur. Alıcı artış zamanı fotodetektörler cevabından ve alıcı ön ucunun 3 dB elektriksel band genişliğinden kaynaklanır. Alıcının ön ucunun tepkisi birinci derecede alçak geçiren filtre (basamak tepkisine sahip) ile modellenilebilir.

Çok modlu fiberler için, yükselme zamanı malzeme kaynaklı ayrılma ve modal yayılmaya bağlıdır. Analizi; fiber uzunluğunun, kullanılan dalgaboyunun bir fonksiyonu olduğu için daha güçtür. Malzeme kaynaklı ayrılmadan kaynaklanan yükselme zamanı lazer kaynağının hem kısa hem uzun dalga boyları için ihmal edilebilir. 800-900 nm bölgesinde, malzeme kaynaklı ayrılmadan 0,07 ns/(nm.km) civarında bir faktör linke etki eder.

Pratikte, bir optik fiber link nadiren sürekli, eksiz bir fibere sahiptir. Bunun yerine, birçok fiber uzun bir link formu için birleştirilir. Sonra olay yeni bir modal dağılım

fiberden fibere bağlantıda meydana geldiği için daha karmaşık olur. Bunun en önemli sebebi karışık fiberlerdeki farklı çekirdek kırılma indisi profilleridir.

Modal yayılma için, 1.6.1.'deki (5) nolu formülü kullanacağımız gibi fiberden yayılan gücü bir gauss tepkesi ile modelleyerek ve 3dB band genişliğinden modal yayılmadan kaynaklanan yükselme zamanını

$$t_{\text{modal}} = \frac{0,44}{B_M} (\text{ns}) \quad (17)$$

olarak bulabiliriz.

B_M (Gb/sn) olarak fiberin 3dB band genişliğidir.

Fotodetektörün yükselme zamanını, alıcının alçak geçiren filtre tepkesinin %10'dan %90'a kadar artışından

$$t_{\text{dedektör}} = \frac{0,35}{B_{rx}} (\text{ns}) \quad (18)$$

olarak bulabiliriz.

B_{rx} (Gb/s), alıcının 3dB elektriksel band genişliğidir.

Böylece toplam sistem yükselme zamanı [10].

$$t_{\text{sistem}} = 1,1 \left[t_{\text{kaynak}}^2 + \left(\frac{0,44}{B_M} \right)^2 + D_{\text{mal}}^2 \sigma_{\lambda}^2 \cdot L^2 + \left(\frac{0,35}{B_{rx}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (19)$$

Burada tüm zamanlar (ns)'dir ve σ_{λ} optik kaynağın spektral genişliği, L hattın boyu ve D_{mal} , ns/(nm.km) cinsinden malzeme kaynaklı ayırılma faktörüdür.

2.1.5. Sistem Performansında Gürültü Etkileri

Bir optik sisteminde optik gücün yayılmasında, spektral kusurlar, dalga kılavuzlarının yapısından veya doğasından gelen etkileşimler etkili olur. Böylece fotodetektörlere gelen optik güç seviyesinde değişimler olur. Bu değişimler alıcı güç gürültüsünü doğurur. Bu yüzden yüksek hızlı optik lirklerde özellikle ciddi olan optik güç hataları oluşur. Ana gürültüler [10],

- Fiber zayıflamalar
- Modal gürültü
- Yansıma gürültüsü
- Chirp gürültüsü

Modal gürültü günümüzde özellikle haberleşmede kullanılan tek modlu fiber linklerinde yoktur.

Modal gürültü daha çok çok modlu fiberlerde, farklı modların gecikmelerinden meydana gelir. Modal gürültü daha çok daha yüksek bit hızları için (400 Mb/s ve yukarısı) için telaffuz edilir. Başarılı şekilde bastırılmayan yan modlar arasındaki güç bölünmesi ile meydana gelen yüksek sistem bit hata oranının olmasını engellemek için lazerler dikkatlice seçilmek zorundadır.

2.1.5.1. Yansıma Gürültüsü

Işık bir fiber linkinde hareket ettiği zaman, bir kısım optik güç; ek, kuplör ve konnektörlerdeki hava-cam arayüzleri gibi kırılma indisi farklılıklarından geri yansıtılır. Yansıyan sinyal hem alıcı hem de verici performansını düşürebilir.

Yüksek hızlı sistemlerde, bu yansıyan güç, lazer kararsızlığına yol açabilen optik geri beslemeye sebep olur. Bu düzensizlikler ya parlaklık gürültüsü (çıkış güç değişimleri) ya jitter (darbe bozulması) ya da lazerde faz gürültüsü olarak belirir. Sonra onlar dalgaboyu spektral genişliğini ve eşik seviyesini değiştirebilir.

Ne yazık ki verici ve alıcıdaki optik gücün artması bu etkilerden doğan bit hata oranı performansını düzeltmez. Böylece bu yansımayı yok edecek; hava-cam ara yüzelerine indis uyumlaştırıcı yağ veya jel kullanmak gibi çözümler denenmelidir.

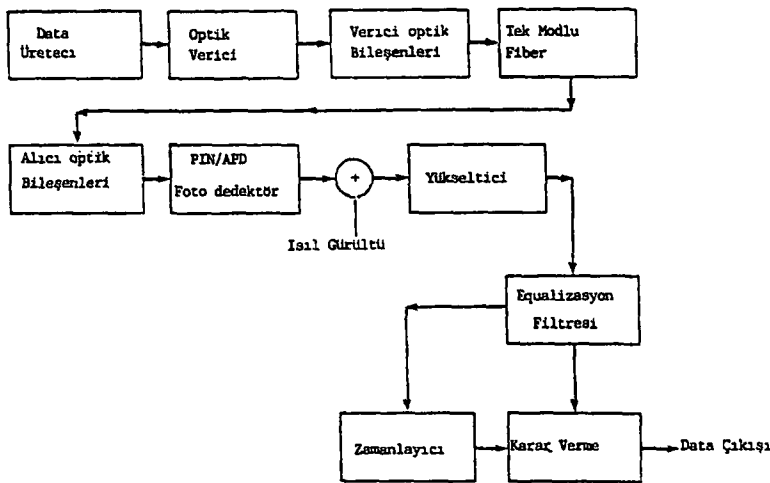
2.1.5.2. Chirp Gürültüsü

CW (sürekli dalga) işlevleri altında bir tek modda osilasyon yapan bir lazer bir sürme akımı ile direk olarak module edildiği zaman, taşıyıcı yoğunluğunda modülasyonun yol açtığı değişimlerle oluşan bir frakans farklılaşması, yani chirp meydana gelir. Bu lazer chirpi, Lazer emisyon dalga boyunda değişiklik yaparak parlaklıkla module edilmiş darbeler için önemli modal bozulmalara sebep olur. Bu özellikle 1550 nm'deki sistem işlemlerinde doğrudur.

2.1.6. Bilgisayar Destekli ve İstatistiksel Model

Bir optik linkin tasarımında, mümkün olabilen bozucu etkileri engellemek için başarılı bir güç marjı yakalanırken ve belirli bir bit hata oranı muhafaza edilirken, iletim mesafesini maksimum yapmak arzu edilir. Bunun için ilk adım olarak, 2.1.3. bölümünde tamamlanmış Link güç hesabı yapılabilir. Bu bölümde, fiber kaybı, Lazer çıkış gücü, alıcı hassasiyeti, sıcaklık ve yaşlanma sebebiyle meydana gelen düşüşün en kötü durumu farz edilerek bir optik güç hesabı formüle edilmiştir. Optik güç bütçesinin bir dezavantajı, kayıp terimleri arasındaki ilişkiyi göstermemesidir. Bu en iyi; bit hata oranı, güç marjini, modal veya malzeme kaynaklı bozulmalardan kaynaklanan güç kayıpları, modülasyon teknikleri ve gürültü seviyeleri gibi tüm performans ölçümlerini hesaba katan bir bilgisayar simülasyonu ile başarılıdır.

Performans faktörlerinin birleştirilmesine ek olarak model, gerçek bir sistemde tek tek bileşenlerin parametrelerinin hatırı sayılır bir şekilde değişebildiği gerçeğini de hesaplamalıdır. Çoğu komponentler en kötü durum değerlerinde performans göstermeyeceği fakat belirli bir ortalama kesin değer etrafında çalışacağı için en kötü durum hesabı, link tasarımı zorlaştığı için önemli fiyat artışlarını gerektirebilir. Tasarımcılar, sistemi şayet zamanın küçük bir yüzdesinde güç bütçesini aşacak şekilde tasarlıyorsa, önemli fiyat tasarrufları yapabilirler. Bu methodla uzun mesafe Linklerindeki tekrarlayıcı mesafesi en kötü durumdakinin üzerinde daha iyiye arttırabilir. Bu yaklaşım istatistiksel tasarım olarak adlandırılır [10].



Şekil 43. Bilgisayar similasyonu için blok diyagram

Bilgisayar simülasyonunu gerçekleştirmek için önce Şekil 43'deki gibi bir blok diyagram düzenlenebilir. Optik kaynağın girişi, bu rastlantısal data üreticinin kodlanmış çıkışı olarak seçilebilir. Data, tek tek etkileri analiz etmek için yeterli uzunlukta kelime boyuna sahip rastlantısal ikili dizidir. Örneğin; semboller arası bozulmayı hesap etmek için, giriş bir bit üretici M sistemin hafıza boyu iken, M bitin tüm mümkün kombinasyonlarını içermelidir. $N=2^M$ 'lik en büyük boyda bir rastlantısal dizi M uzunluğun tüm kombinasyonlarını içerir. Tek modlu fiberlerin ve tipik fiberlerin modal yayılma gibi etkenlerini karakterize etmek için 64'den 1024'e (M=6'da 10'a) bir bit dizisi uygundur. Kodlama 1 ve 0'ların uzun dizisinin oluşmasını engellemek için kullanılır Böylece verici ve alıcı devreleri basitleştirilir. Kaynak çıkışı konektör, kuplör gibi optik bileşenlere aktarılır.

Bir sonraki blokta fiberin modal ve kayıp karakteristikleri sinyali etkiler. Fiber ya optik güç-domeninde ya da optik alan domeninde modellendirilebilir. İlk model, fiberin optik güç domeninde Lineer bir sistem olduğunu varsayıyor. Bu direk deteksiyon sistemlerinde bulunan giriş bit hızı ve fiber uzunluğunun incelenmesinde geçerli bir kabuldür.

Güç-domen modeli, kaynak spektral genişliği, modülasyon sinyal genişliğiyle karşılaştırılabilir olduğu zaman hatalı olur. Bu durumda; fiberi, modülasyon temel bant sinyal band genişliği üzerinde sabit bir band geçiren filtre olarak tanımlayan alan-domen modeli kullanılır.

Alıcı tarafta ya bir pin ya da bir APD optik gücü bir gürültü bileşeni ile bir elektrik akımına dönüştürür. Alıcı elektronikindeki termal gürültü ilerde, filtrelenmiş, örneklenmiş ve iletme seviyesinde seçilmiş bir eşikle karşılaştırılmış sinyali etkiler. Zamanlama bilgisi alınan dalga şeklinden çıkartabilir ve karar işlevi sürecinde kullanılabilir.

Yapılan işe en uygun simülasyonlar piyasadaki paket yazılım programları kullanılarak yapılabilir.

2.2. Fiber Optik İletim Sisteminin İstatistiksel Tasarımı

Fiber optik transmisyon sisteminin tasarımı, tekrarlayıcı mesafesi üzerinde 3 bağımsız limitin tahminini gerektirir [3].

1. **Zayıflama limiti:**Güç hesabı ile belirlenen bir Limit olarak tanımlanır.

2. Dispersiyon Limiti: Dalgaboyu ayrılması, etkileri ile belirlenen bir Limit olarak tanımlanır.

3. Chirp Limiti: Bir tek frekanslı Lazer, direk parlaklık modülasyonuna maruz kaldığı zaman, dalgaboyu kayması sebebiyle sistem marjindeki kayıplarla belirlenen bir limit olarak tanımlanır.

Özellikle son 2 limit, Gıgabit hızındaki iletim sistemlerinin tasarımıyla ilgilidir ve tekrarlayıcı mesafesinin tahmininde kontrol faktörleri olabilirler.

Tüm bu limitler ya bir en kötü durum tasarım yaklaşımı kullanarak ya da bir istatistiksel tasarım yaklaşımı kullanarak değerlendirilebilir. İyi bilinir ki, istatistiksel tasarım yaklaşımı tekrarlayıcı mesafesini artırmasıyla en kötü durum tasarımının üzerinde bir avantaja sahiptir.

Bundan sonra; zayıflama, dispersiyon ve chirp Limitlerinin istatistiksel tavrı üzerinde ve optik sistem parametre değerleri için farklı olasılık dağılım kullanılmasının etkileri araştırılabilir. İstatistiksel metodlar önceden de fiber optik sistemlerinin tasarımında uygulanmıştır. Fakat optik sistem parametrelerinin istatistiksel değişimlerinin madellenmesi yeni bir yaklaşımdır. Bu tasarım yaklaşımı sayesinde bilinen bir olasılık yoğunluk fonksiyonu (pdf) ile tüm optik sistem parametreleri modellenebilir.

Bu bilinen olasılık dağılım fonksiyonları daha sonra tekrarlayıcı mesafesi için bir olasılık yoğunluk fonksiyonu hesap etmek için kullanılır. 0,95 veya 0,99 olasılıkla belirlenen bir tekrarlayıcı mesafesi değeri başarılı olasılık olarak adlandırılır ve sonra onun olasılık dağılım fonksiyonundan seçim yapılır. Bu değer Şekil 44'te gösterilen zayıflama, dispersiyon veya chirp tarafından tekrarlayıcı mesafesini belirleyen limit olarak alınır.



Şekil 44. Tekrarlayıcı mesafesinde başarı olasılığı

Optik sistem parametreleri (lazer spektral genişliği, fiber zayıflaması, ek kayıplar vb.) için uygun olasılık yoğunluklarından çeşitli dotalar alınabilir. Çoğu pratik durumda Gauss dağılımı, en iyi bilinen ve en çok kullanılan dağılım olmasından kullanılabilir. Fakat her zaman Gauss dağılımı yeterli olmaz. Örneğin; bir fiber içinden optik sinyalin yayılımı zayıflamayı tecrübe edecektir. Şayet zayıflama pozitif bir rastlantı değişkeni olarak kabul edilirse, rastlantı değişkeninin sadece pozitif değerleri için var olan (tek yanlı dağılım) bir dağılım çift yanlı bir dağılımdan daha uygun bir seçim olabilir. Benzer argumanlar diğer sistem parametreleri (lazer spektral genişliği) için tek yanlı dağılım kullanımını gerektirebilir.

Bu anlatılanların ışığında, optik sistem parametrelerinin rastlantısal tavrını modellemek için iki tahmini dağılımı için (Rayleigh ve Log normal) uygulama yapılabilir. Buna ek olarak karşılaştırma amacıyla Gauss dağılımını kullanılabilir. Bu dağılımların seçimi tamamiyle keyfidir. Tüm dağılımlar üreticiler tarafından belirlenen maksimum ve minimum değerler arasında sıkıştırılmıştır. Daha sonra tekrarlayıcı mesafesi üzerinde üç limit için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının incelemesi yapılır.

En küçük limit tekrarlayıcı mesafesini belirler.

Bu çalışma aşağıdaki sorularla ilişkilendirilebilir [3].

1. Optik-fiber sistem parametreleri için olasılık dağılım fonksiyonunun seçimi tekrarlayıcı açıklığında ne kadar etkilidir?
2. Dağılım parametrelerinin örnekleme sayısının sınırlamasıyla tekrarlayıcı açıklığı ne kadar etkilenir?
3. Başarı olasılığın farklı seçimiyle tekrarlayıcı açıklığı ne kadar hassas hesaplanır?
4. Sistem parametrelerini sınırlarını belirlemek tekrarlayıcı açıklığını ne derecede etkiler?

2.2.1. İstatistiksel Tasarımın Formüllendirilmesi

Zayıflama, dispersiyon ve chirp limitlerinin olasılık dağılım fonksiyonları aşağıdaki gibi kullanılır [1].

A. Zayıflama limiti

Bu analizde tek modlu lazer kaynağı kullanıldığı için modal gürültü ihmal edilebilir. Sistemin güç hesabı eşitliği şöyle yazılabilir.

$$\underline{P}_r = \underline{P}_t - \left[n \cdot \underline{L}_c + \alpha_f \cdot \underline{L}_A + \left(\frac{\underline{L}_A}{3} + 1 \right) \cdot \underline{L}_j + L_d + L_{ch} + M \right] \quad (20)$$

Altı çizili değişkenler bir rastlantı değişkeni olduklarını gösterir.

\underline{P}_r : 1 mW göre dB cinsinden fotodetektör hassasiyeti

\underline{P}_t : : 1 mW göre dB cinsinden fibere aktarılan Lazer gücü

n : iki tekrarlayıcı arasındaki konnektör sayısı

\underline{L}_c : dB cinsinden her bir konnektörün zayıflaması

L_d : dB cinsinden her bir ekin kaybı

α_f : Km'deki dB açısından fiberin zayıflama katsayısı

\underline{L}_j : Her ekin zayıflaması, dB

\underline{L}_A : Kilometre olarak zayıflamanın sebep olduğu tekrarlayıcı mesafesi

L_d : dB cinsinden dispersiyon kaybı

L_{ch} ; dB cinsinden chirp kaybı

M : dB cinsinden sistem marjini

Burada fiber uzunluğunun her 3 km'sinde bir ek olduğu farz edilmiştir.

Zayıflama sebebiyle oluşan \underline{L}_A tekrarlayıcı mesafesi (22) numaralı formülün çözümünden,

$$\underline{L}_A = \left[\underline{P}_t - (\underline{P}_r + n \underline{L}_c + \underline{L}_j + L_d + L_{ch} + M) \right] / (\alpha_f + \underline{L}_j / 3) \quad (21)$$

Şimdi zayıflama limitinin $f_{LA}(L_A)$ olasılık dağılım fonksiyonu, rastlantı değişkenleri dizisine bir dönüşüm uygulanan Jacobien kuralı kullanılarak bulunabilir.

Pratikte $f_x(x)$ dağılımı, üretici tarafından belirlenen x değişkeninin maksimum ve minimum değerleri arasında sınıflandırılabilir. Örneğin; tek modlu bir fiberde α_f zayıflama katsayısının tipik olarak 0,29 dB/km (A) ve 0,41 dB/km (B) (1310 nm dalga boyunda) arasında olacağı garanti edilebilir. Şayet α_f bu limitler içinde bir Rayleigh dağılımı olarak hesap edilirse,

$$f_{\alpha_f}(\alpha_f) = \frac{g(\gamma, A, B, \alpha_f)}{\int_A^B g(\gamma, A, B, t) dt} \quad (22)$$

Burada;

$$g(\gamma, A, B, \alpha_f) = \begin{cases} \frac{\alpha_f}{\gamma^2} \cdot e^{-\alpha_f / 2\gamma^2} \cdot U(f), & A \leq \alpha_f \leq B \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

f_{LA} (LA)'nın, sınırlandırılmış Gauss, Rayleigh ve Log normal dağılımlarının kapalı fonksiyonundan elde edilmesi veya tahmini ancak bilgisayar simülasyonu ile mümkündür.

B. Dispersiyon limiti

Verici lezari sonlu spektral genişliği sayesinde giren ışık darbeleri fiber boyunca yayılırken zamanla genişler. Bu bitler arası karışımına sonuçlanır. Böylece bit hata oranı artar. Toplam darbe genişlemesi τ , L uzunluğundaki bir fiberde yayınımdan sonra,

$$\tau = \underline{D} \cdot \underline{\sigma}_\lambda \cdot L \quad (\text{psn}) \quad (23)$$

D: psn / (km.nm) cinsinden dispersiyon katsayısı

σ_λ : nm cinsinden lazerin spektral genişliği

L: km cinsinden fiberin uzunluğu

Yüksek hızlı sistemlere 1 dB'den daha düşük alıcı hassasiyetini temin etmek için maksimum izin verilen genişleme $0,4T$ 'dir (T bit periyodu ve R hat iletim hızı iken $T=1/R$).

Dispersiyon sayesinde izin verilen tekrarlayıcı mesafesi,

$$\underline{L}_D = 4 \cdot 10^5 / \underline{D} \cdot \underline{\sigma}_\lambda \cdot R \quad (\text{km}) \quad (24)$$

R: Mb/sn iletim hızı

f_{LD} (LD) dispersiyon limitli olasılık yoğunluk fonksiyonu, Lazer spektral genişliği ve dispersiyon katsayısının sınırlandırılmış dağılım fonksiyonlarının fonksiyonu olarak ancak sayısal çözümlerle ve L_A 'nın çözümünde izlenen kuralla hesaplanabilir.

C. Chirp limiti

Uzun mesafeli fiberlerde, Lazer chirp etkisi tekrarlayıcı aralığı için bir sınırlamadır. Chirp olayı module edilmiş Lazerin dalga boyu değerinde bir δ_λ değişim terimidir. Alıcı hassasiyetini dB cinsinden l_{ch} chirp sayesinde meydana gelen bir kayıp terimi ile modelleyebiliriz.

$$l_{ch} \cong k \cdot \underline{D} \cdot L \cdot |\delta_\lambda| \cdot R^2 \quad (25)$$

$k = 5 \text{ dB} \cdot \text{ns}$

l_{ch} değeri 1 dB'lik bir değerle sınırlandırılırsa, chirp sayesinde oluşan tekrarlayıcı aralığı,

$$L_{ch} = \frac{10^9}{k \cdot |\delta\lambda| \cdot D \cdot R^2} \text{ (km)} \quad (26)$$

Aynı kurallarla ve sayısal çözümlerle $f_{L_{ch}}$ (L_{ch}) hesaplanabilir.

2.2.2. İstatistik Tasarım Tekniği

Daha önceki bölümde formülize edilen; L_A zayıflaması, L_{CH} chirpi, L_D dispersiyonu ile tekrarlayıcı mesafesi sınırlandırılır. $P_t, P_r, \alpha_f, l_c, \sigma_\lambda, D, \delta\lambda$ dağılımları, ortalama değerleri, standart sapmaları bilinen rastlantı değişkeni olarak farzedilmiştir. Daima sıfır ortalamalı Gauss rastlantı değişkeni olarak alınan $\delta\lambda$ hariç tüm parametreler için aynı dağılımla hesap yapılır. Herbir parametre dağılımı ölçülerek veya üretici tarafından belirlenen belirli bir maksimum ve minimum değerlerde sınırlandırılmıştır. Parametrelerin gerisi bilinen değerlerden seçilmiş olarak alınır.

Önceden belirlenen örnek sayısı, her bir rastlantı değişkeni için onların sınıflandırılmış dağılımlarından üretilir. Bu örnek değerleri daha sonra L_A zayıflama limiti, L_D dispersiyon limiti, L_{CH} chirp limiti için uygun değerleri bulmak için (23), (26), (28) nolu formüllerle kullanılır. Son olarak L_A, L_D, L_{CH} 'nin hesap edilmiş değerleri onların olasılık yoğunluk fonksiyonlarını tahmin etmek için kullanılır. Verilen bir başarı olasılığı değerini aşan L_A, L_D, L_{CH} değeri onun ilgili dağılımından hesap edilir. Verilen bir başarı olasılığı ve parametre dağılımları için zayıflama, dispersiyon veya chirp ile tekrarlayıcı mesafesinin sınırlandırılmış değeri bulunur.

2.2.3. Sayısal Sonuçlar

Tablo 4, 1310 ve 1550 nm'lik iki dalga boyunda 2,4 Gb/s bir fiber optik iletim sistemi için, tekrarlayıcı mesafe üzerinde zayıflama, dispersiyon ve chirp parametre değerlerini gösterir.

Tablo 4. Tekrarlayıcı mesafesi için parametre değerleri

Parametre	Ortalama Değer		Standart Sapma		Maksimum Değer		Minimum Değer	
	$\lambda=1310$ (nm)	$\lambda=1550$ (nm)	$\lambda=1310$ (nm)	$\lambda=1550$ (nm)	$\lambda=1310$ (nm)	$\lambda=1550$ (nm)	$\lambda=1310$ (nm)	$\lambda=1550$ (nm)
Lazer gücü (dBm)	-2,67	-4,32	0,26	0,537	-2,22	-3,50	-3,40	-5,20
Lazer spektrum genişlikleri (nm)	3,17	0,24	0,43	0,038	4,27	0,31	2,05	0,18
Lazer Chirp (nm)	0,0	0,0	0,03	0,03	0,1	0,1	-0,1	-0,1
Alıcı hassasiyeti (dBm)	-37,57	-37,57	0,942	0,942	-35,90	-35,90	-39,10	-39,10
Fiber zayıflaması (dB/km)	0,35	0,21	0,022	0,015	0,41	0,27	0,29	0,18
Fiber dispersiyonu (ps/nm-km)	1,67	16,6	0,35	0,8	2,72	19,0	0,62	14,5
Konnektör kaybı (dB)	0,5	0,5	0,1	0,1	0,8	0,8	0,2	0,2
Ek kaybı (dB)	0,075	0,075	0,0083	0,0083	0,1	0,1	0,05	0,05

Sistem marjini= 2,5 dB, dispersiyon kaybı= 1 dB, sistem hızı= 2488,0 Mbit/s

Tablo 5 0,95'lik başarı olasılığı ve 3 farklı parametre olasılık dağılım fonksiyonu (Rayleigh, Log normal, Gauss) için tekrarlayıcı mesafesinin rastlantı örnek sayısına hassasiyetini gösterir. Hesaplanan tekrarlayıcı mesafesi rastlantı değişkeni örnekleme sayısı N'ye büyük hassasiyet göstermez. Bütün parametre dağılımları için 5000'den daha büyük bir N için mükemmel bir benzerlik elde edilir. Bununla birlikte Rayleigh dağılımı diğerlerine göre daha küçük tekrarlayıcı mesafesi üretir. Rayleigh dağılımının ortalama değer etrafında simetrik olmayan şekli iki sınır değeri arasında daha büyük değer üretmeye meyil gösterir. Gauss ve Log normal verilen data değerlerine daha iyi uyum sağlar veya benzerlik gösterir. Ayrıca özdeş sonuçlar üretir.

Tablo 5. Örnekleme sayısının tekrarlayıcı mesafesine etkisi

A (Zayıflama Limiti) (km)					
PDF	N = 100	N = 1000	N = 5000	N = 10000	N = 20000
Rayleigh	98,5	99,0	98,0	98,0	98,0
Lognormal	108,0	108,0	108,5	108,5	109,0
Gauss	111,0	108,0	109,0	109,0	109,0
B (Dispersiyon Limiti) (km)					
Rayleigh	30,8	30,9	30,8	30,7	30,7
Lognormal	33,6	32,4	32,8	32,7	32,8
Gauss	32,9	32,6	32,9	32,8	32,8
C (Chirp Limiti) (km)					
Rayleigh	33,3	31,8	30,6	32,1	31,8
Lognormal	28,8	32,1	32,7	31,8	32,1
Gauss	38,7	32,4	32,4	32,4	32,1

(mesafe km olarak verilmiştir, başarı olasılığı= 0,95, $\lambda=1550$ nm).

Tablo 6 1310-1550 dalga boylarında başarı olasılığıyla tekrarlayıcı mesafesini gösterir. Şekil 44'de görülen olasılık dağılımının altındaki gölgeli alan azaldığı için artan başarı olasılığı ile tekrarlayıcı mesafesi azalır. Bu azalış onların olasılık dağılım fonksiyonlarındaki keskin yükselme kenarlarından dolayı L_A ve L_D için çok hızlı değildir. Bu elde edilen tekrarlayıcı mesafesi uygun zayıflama ve dispersiyon limitlerinkinden daha küçük olduğu için başarı olasılığının tekrarlayıcı mesafesinde bir ek kayıp olmaksızın önemli bir şekilde artabileceğini gösterir.

Tablo 6. Başarı olasılığı değişiminin tekrarlayıcı mesafesine etkisi

A (Zayıflama Limiti) (km)								
PDF	$\lambda = 1310 \text{ nm}$				$\lambda = 1550 \text{ nm}$			
	p= 0,95	p= 0,97	p= 0,99	p= 0,999	p= 0,95	p= 0,97	p= 0,99	p= 0,999
Rayleigh	69,5 (12,8)	69,0 (12,0)	67,0 (8,8)	65,0 (5,5)	98,0 (16,7)	96,0 (14,3)	93,5 (11,3)	89 (6,0)
Lognormal	73,0 (18,5)	72,0 (16,9)	70,0 (13,6)	67,5 (9,6)	108,5 (29,2)	106,5 (26,7)	103,0 (22,6)	98,5 (17,3)
Gauss	73,0 (18,5)	72,0 (16,9)	70,0 (14,5)	68,0 (10,4)	109,0 (29,2)	107,0 (27,4)	104,0 (23,2)	99,0 (18,5)
B (Dispersiyon Limiti) (km)								
Rayleigh	18,1 (31,2)	17,2 (24,6)	15,7 (13,8)	14,5 (5,1)	30,7 (12,5)	30,0 (9,9)	28,9 (5,9)	27,8 (1,8)
Lognormal	21,3 (54,3)	20,2 (46,4)	18,4 (33,3)	16,3 (18,1)	32,7 (19,8)	32,0 (17,2)	30,7 (12,5)	28,9 (5,9)
Gauss	21,2 (53,6)	20,3 (47,7)	18,7 (35,5)	16,7 (21,0)	32,6 (19,4)	31,8 (16,5)	30,7 (12,5)	29,2 (7,0)
C (Chirp Limiti) (km)								
Rayleigh	291,0 (144,9)	258,0 (117,2)	210,0 (76,8)	156,0 (31,3)	31,8 (87,0)	28,8 (69,4)	24,6 (44,7)	20,4 (20,0)
Lognormal	306,0 (157,6)	273,0 (129,8)	228,0 (91,9)	177,0 (49,0)	32,1 (88,8)	28,8 (69,4)	26,4 (44,7)	20,7 (21,8)
Gauss	306,0 (157,6)	276,0 (132,3)	225,0 (89,4)	177,0 (49,0)	32,1 (88,8)	28,8 (69,4)	24,6 (44,7)	20,7 (21,8)

(mesafe km olarak verilmiştir, örnekleme sayısı=20.000)

Parantez içindeki mesafeler en kötü durum dizaynına göre yüzde artışı gösterir.

	<u>1550 nm</u>	<u>1310 nm</u>
Zayıflama için en kötü durum:	84,0 km	61,6 km
Dispersiyon için en kötü durum:	27,3 km	13,8 km
Chirp için en kötü durum:	17,0 km	118,8 km

En kötü durum dizaynı, metodunda minimum değeri kullanan lazer gücü hariç, tüm parametrelerin maksimum değerleri kullanılır. Tablo'dan açıkça görülür ki tüm parametre dağılımları ve başarı olasılığı için 1550 nm dalga boyu ve 2,4 Gb/s data hızında zayıflamadan daha çok dispersiyon ve chirp ile tekrarlayıcı mesafesi sınırlandırılır. Böyle bir durumda tekrarlayıcı mesafesi lazer gücü veya alıcı hassasiyetinin artması ile basitçe arttırılmaz. Olaya yalnız daha dar spektrumlu bir lazer, düşük dispersiyon katsayılı bir

fiber (dispersiyon kaymalı fiber) ve 2,4 Gb/sn daha düşük hızı kullanarak çözüm getirebilir.

Bu yüzden Gb/s'lik Fiber optik transmisyon sistemleri için mutlaka her bir durum için ayrı ayrı olarak tekrarlayıcı mesafesi üzerinde zayıflama, dispersiyon chirp limitleri gereklidir. Kullanılacak tekrarlayıcı mesafesi çoğunlukla bu 3 limitin en küçüğüne eşit olmalıdır.

Tablo 7 tekrarlayıcı mesafesi üzerinde parametrelerin dağılımlarının σ standart sapması baz alındığı değişik sınırlama değerlerinin etkisi görülmektedir.

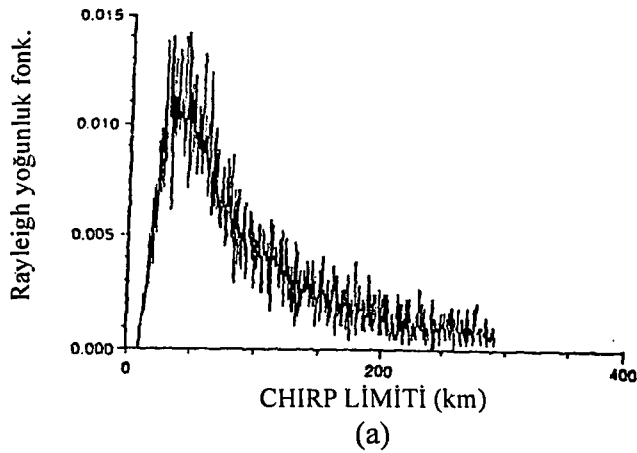
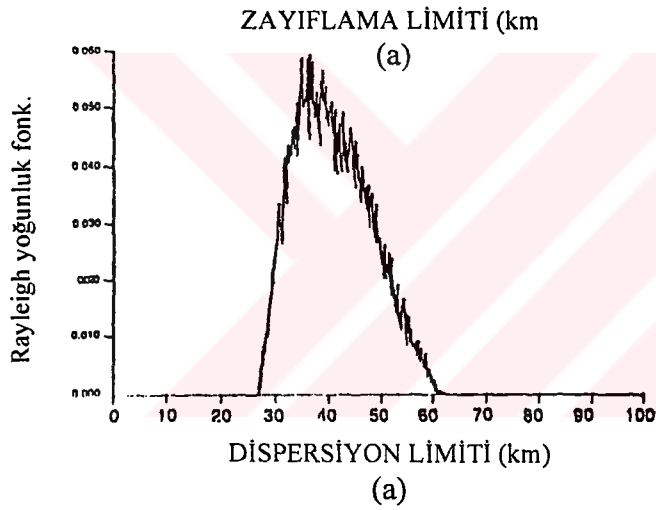
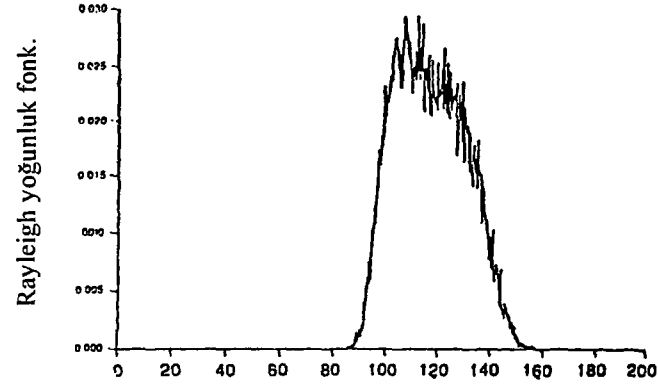
Tablo 7. Değişik parametre sınırlamalarının tekrarlayıcı aralığına etkisi

A (Zayıflama Limiti) (km)			
PDF	Ortalama $\pm 2\sigma$	Ortalama $\pm 3\sigma$	Ortalama $\pm 4\sigma$
Rayleigh	107,0 (14,4)	100,5 (22,7)	95,0 (32,7)
Lognormal	110,0 (17,5)	108,5 (32,5)	108,0 (50,8)
Gauss	110,0 (17,5)	108,5 (32,5)	108,0 (50,8)
B (Dispersiyon Limiti) (km)			
Rayleigh	31,1 (11,3)	27,8 (16,3)	25,9 (25,1)
Lognormal	33,1 (18,4)	32,3 (35,1)	31,7 (53,1)
Gauss	32,8 (17,4)	32,2 (34,7)	32,2 (55,6)
C (Chirp Limiti) (km)			
Rayleigh	37,8 (27,7)	32,7 (73,0)	31,8 (133,8)
Lognormal	37,5 (26,7)	32,1 (69,8)	31,8 (133,8)
Gauss	37,5 (26,7)	32,1 (69,8)	31,8 (133,8)

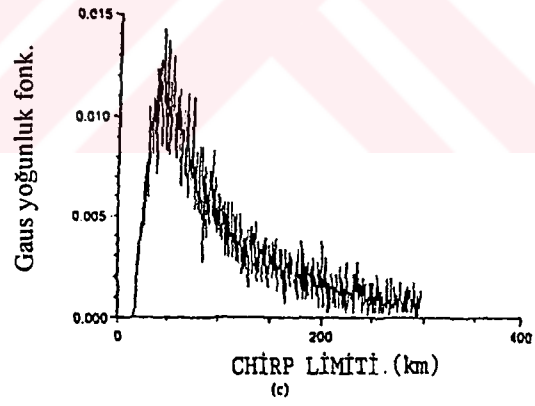
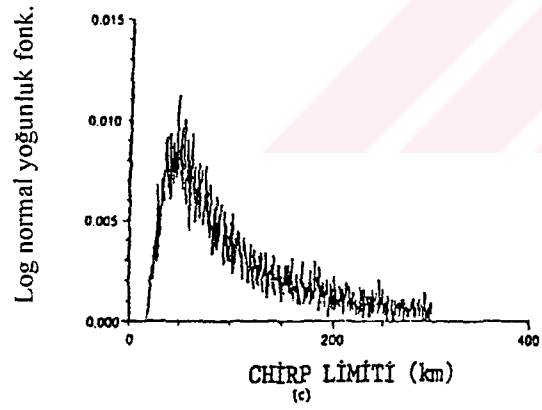
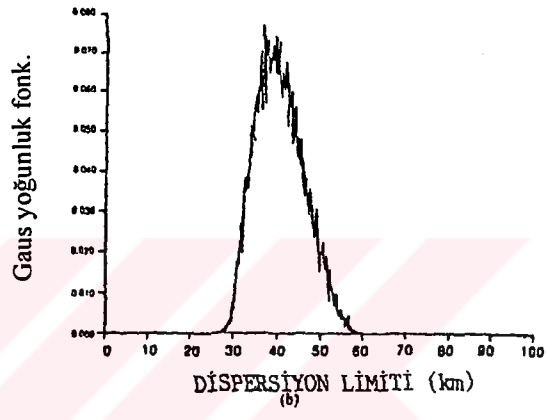
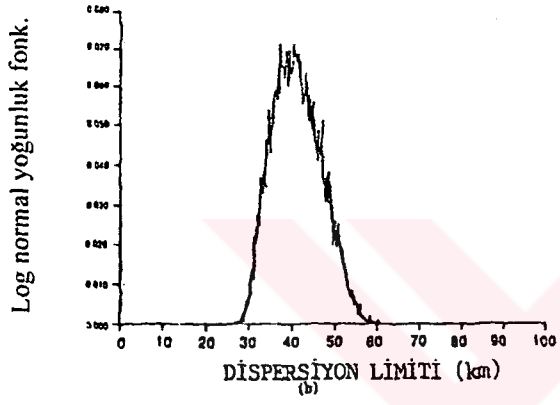
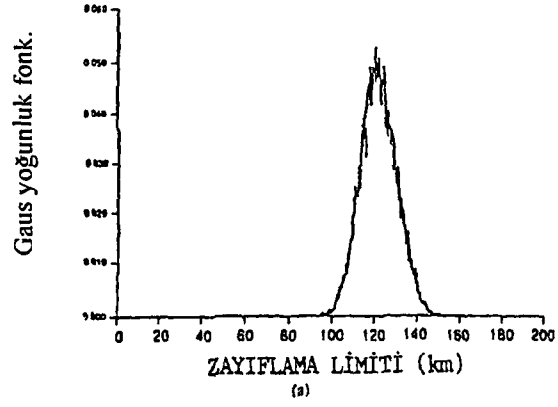
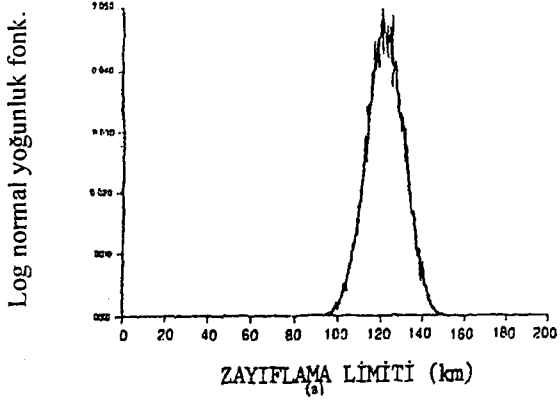
(mesafe km olarak verilmiştir, başarı olasılığı=0,95, örnek sayısı=20.000 $\lambda= 1550$ nm, σ =parametrelerin standart sapması, parantez içindeki ifadeler en kötü duruma göre yüzde artışlardır)

Şekil 45, 46, 47'de üç olasılık yoğunluk fonksiyonu (Rayleigh, Log normal ve Gauss) için tekrarlayıcı mesafesi üzerinde zayıflama, dispersiyon, chirp limitlerinin hesaplanan dağılım fonksiyonları gösterilmiştir.

$\delta\lambda$ spektral genişliği tüm dağılımlarda Gauss alınmıştır.



Şekil 45. Rayleigh dağılımında limitlerin incelenmesi



Şekil 46. Log-normal dağılımında limitlerin incelenmesi

Şekil 47. Gauss Dağılımında Limitlerin İncelenmesi

2.2.4. Tasarımın Neticesi

a. İstatistiksel tasarım, en kötü durum tasarımdan daha uzun tekrarlayıcı mesafesi ile sonuçlanır.

b. Verilen başarı olasılığı için hesaplanan tekrarlayıcı mesafesi, rastlantı değişkeni parametrelerin seçimine göreceli olarak hassaslık gösterir. Bu özellikle doğrulukla tam olarak bilinmeyen dağılımların kullanımını daha kolay yapar.

c. Tekrarlayıcı aralığı başarı olasılığının çok hassas bir fonksiyonu değildir. Bununla birlikte başarı olasılığı için uygun değer, hata performans sonuçları üzerinde istatistiksel tasarımın etkisi hesaba katıldıktan sonra, CCITT performans kriterlerine uygunluğu onayladıktan sonra belirlenmek zorundadır.

d. Dispersiyonun 2,4 Gb/s veri hızında tekrarlayıcı aralığını sınırlandırdığı görünüyor. Dispersiyon limiti 1550 nm'de 82 km'den az ve 1310 nm'de 20 km'den azdır. Buna karşın zayıflama limiti 110 ve 73 km'dir. Bu dispersiyon limitleri geniş spektral genişliğine sahip lazerlerdendir. Bugün çok dar spektral genişlikli lazerlerle 1310 nm'de 100 km'ye ulaşılmıştır.

e. Chirp Limiti de özellikle 1550 nm'de dikkatlice izlenilmek zorunda olan bir sınırlamadır. Chirp Limiti başarı olasılığı ve sınırlama değerlerinin değişimlerine zayıflama ve dispersiyondan daha hassastır. Bugün özellikle özel dizayn edilmiş lazerle veya özel dispersiyon kaymalı fiberlerle $2A^0$ 'a düşürülmüştür.

2.3. Bilgisayar Destekli İstatistiksel Tasarım Metodunun İncelenmesi

Bu çalışmada daha önceki bölümde Zayıflama, Dispersiyon ve Chirp limitleri için olasılık dağılım fonksiyonları verilen tekrarlama mesafesinin; yine aynı Rayleigh ve Lognormal olasılık dağılım fonksiyonları ile daha düşük $N=100$ 'lük bir örnek sayısı için, 1310 ve 1550 nm dalga boyları ile ayrı ayrı Tablo 4'deki parametre değerleri ve (23), (26), (28) nolu formüller kullanılarak incelenmesi yapılmıştır. Bu incelemede Matlab grafik program ile bilgisayar desteğinden yararlanılmıştır.

Tablo 4'te verilen lazer gücü, alıcı hassasiyeti gibi 8 parametre, ortalama ve standart sapma verileri ile minimum ve maksimum değerleri arasında 100 dilime ayrılmıştır. Her dilimde Rayleigh ve Lognormal olasılık dağılım fonksiyonları yardımı ile

olasılık değerleri hesaplanmıştır. Her değişken için bu değişkenlerin dağılımlarına göre bir dizi oluşturulmuştur. Bu dizide olasılığı en yüksek olan dilim en fazla yer almıştır (olasılık değerine bağlı olarak). Daha sonra L_A , L_D ve L_{CH} değerleri, bu dizideki parametrelerden bilgisayar desteği ile rastgele seçim yapılarak (23), (26), (28) formüldeki yerine koyularak en büyük dizi boyu kadar hesap edilir.

Son olarak hesaplanan L_A , L_D , L_{CH} değerleri çizdirilir. Bu çalışmada hesap edilen 0,95'lik başarı olasılığı için 0,05'lik bir kümülatif toplam ile eğri üzerinden istenen tekrarlayıcı mesafesi km olarak hesaplanmıştır. 2.2. bölümünde 1550 nm için hesaplanan eğrilerle bu çalışmadaki 1550 nm değerleri seçilen örnek sayısına rağmen büyük benzerlik göstermektedir. 1310 nm'de, tekrarlayıcı mesafesi Chirp limitinde 1550'ye göre büyük bir artış gösterse de Zayıflama ve Dispersiyon Limitleri için daha düşük mesafe değerlerine ulaşılmıştır. Bu tasarım için bir dezavantaj durumudur. Bu ilişki Şekil 39'daki dalgaboyuna göre zayıflama eğrisinden de incelenebilir.

İstatistik tasarım metodu diğer en kötü durum tasarımına göre fiber optik iletişim sisteminin tasarımında, parametre seçiminde tekrarlayıcı mesafesinin belirlenmesinde büyük kolaylıklar ve avantajlar getirir.

Jacobian kuralı kullanılarak yapılan integral zmlerine bir alternatif olabilecek bu bölümde anlatılan bilgisayar destekli bu zm yardımıyla fiber optik iletişim sisteminin tasarımına bir bakış getirilmiştir. Tablo 5'deki $N=100$ 'lk örnekleme sayısına göre elde edilen önceki sonuçlardan daha küçük fakat yakın sonuçlar alınmıştır.

Maksimum tekrarlayıcı aralığını hesaplamaya yarayan bu istatistiksel metodla bulunan bu 3 limit değerinin en küçüğü alınarak tasarım tamamlanır.

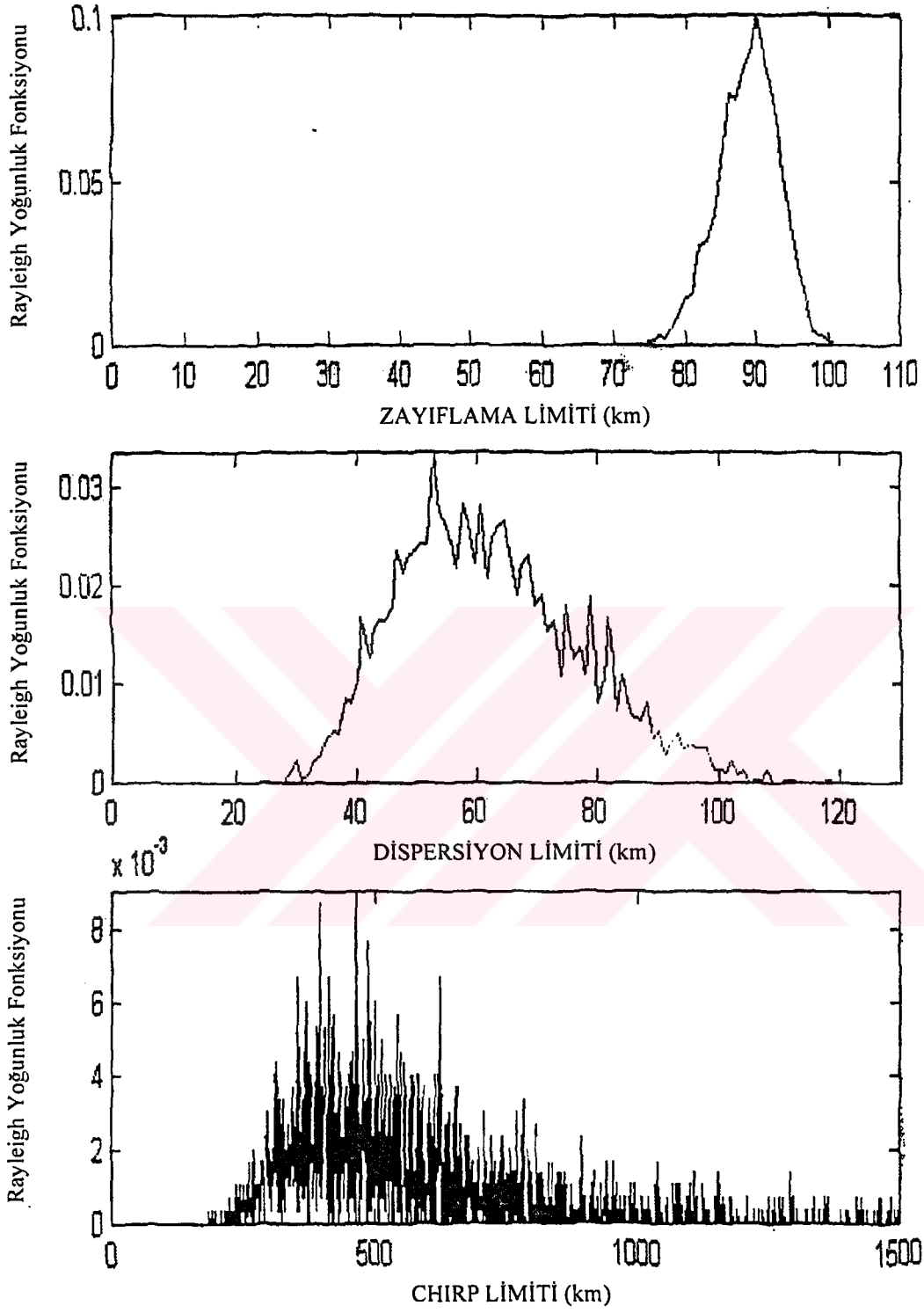
Yapılan hesaplama sabitler aşağıdaki gibi seçilmiştir.

Örnekleme sayısı	$N=100$
Ek sayısı	$n=1$
Başarı olasılığı	$=0,95$
Dispersiyon kaybı	$l_d=1$ dB
Chirp cezası	$l_{ch}=1$ dB
Sistem marjini	$M=2,5$ dB
Haberleşme hızı (MHz)	$R=2488$

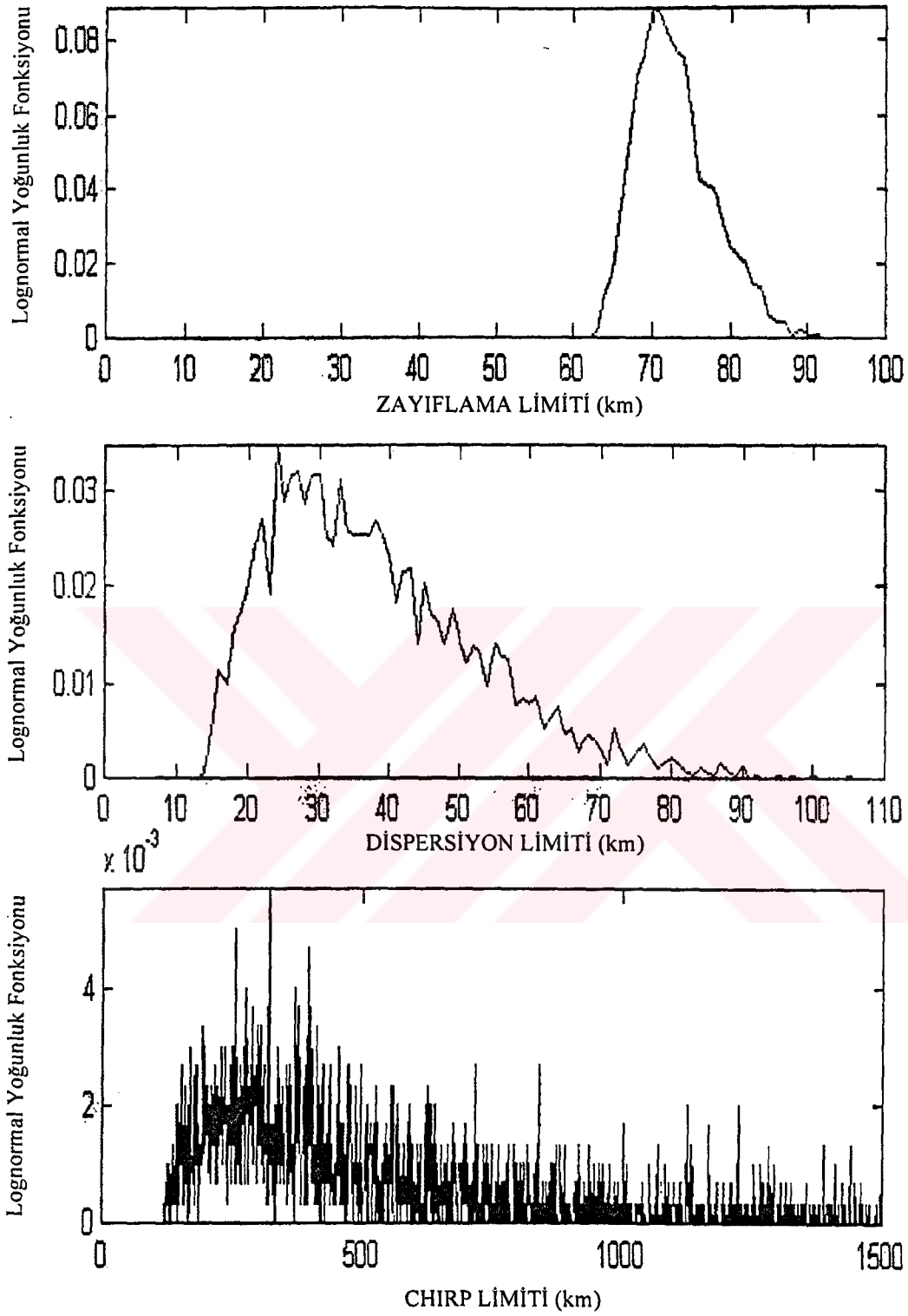
L_A , L_D , L_{CH} limitlerinin olasılık dağılım fonksiyonlarının hesaplanması ve çizimini yapan Matlab bilgisayar programları ekte sunulmuştur.

Tablo 8. Program sonuçlarından elde edilen tekrarlayıcı mesafeleri

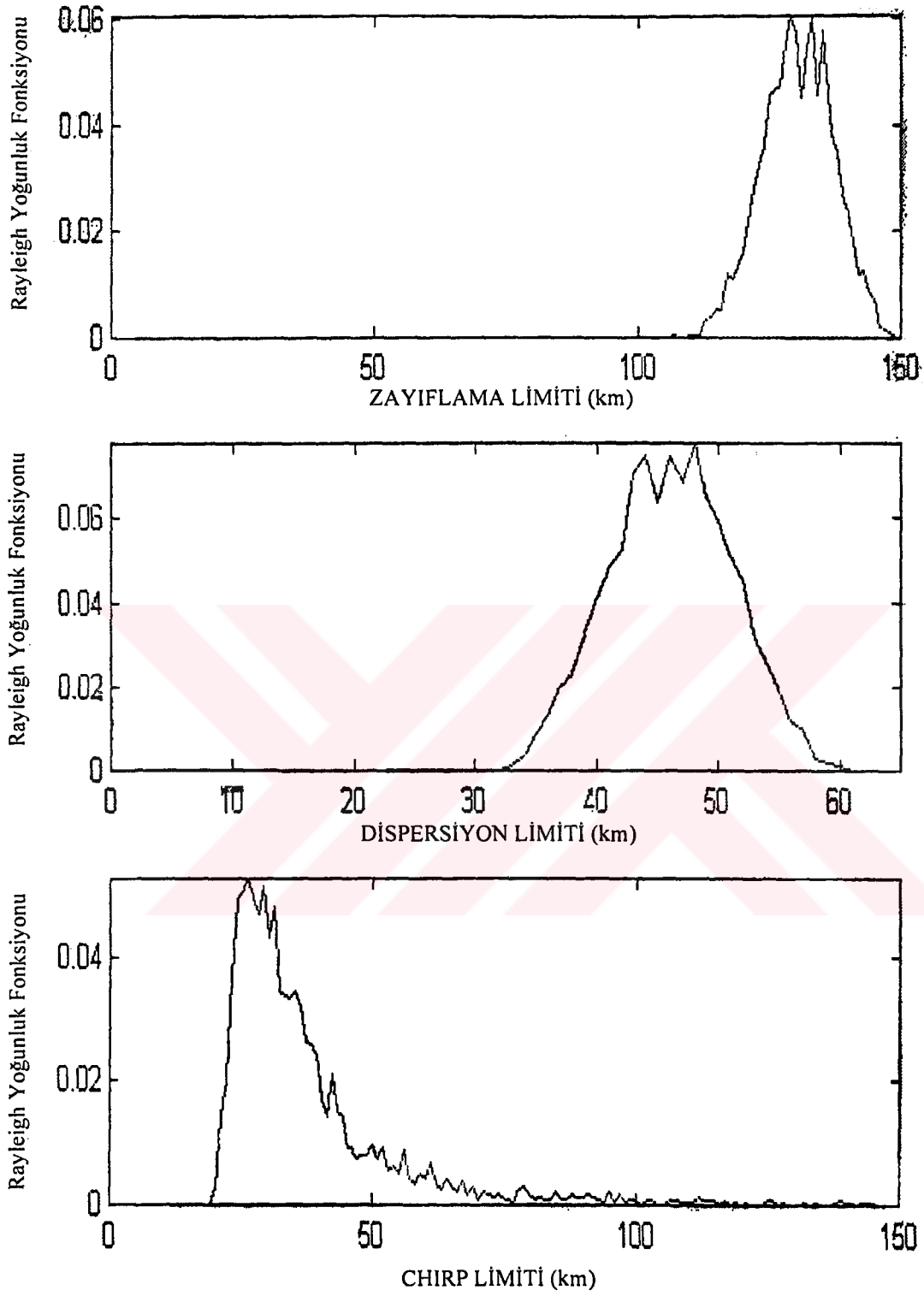
Rayleigh Dağılımı İçin Elde Edilen Sonuçlar			
	Zayıflama Limiti	Dispersiyon Limiti	Chirp Limiti
$\lambda = 1310 \text{ nm}$	80 km	39 km	293 km
$\lambda = 1550 \text{ nm}$	118 km	36 km	21 km
Lognormal Dağılım İçin Elde Edilen Sonuçlar			
	Zayıflama Limiti	Dispersiyon Limiti	Chirp Limiti
$\lambda = 1310 \text{ nm}$	65 km	17 km	167 km
$\lambda = 1550 \text{ nm}$	90 km	28 km	19 km



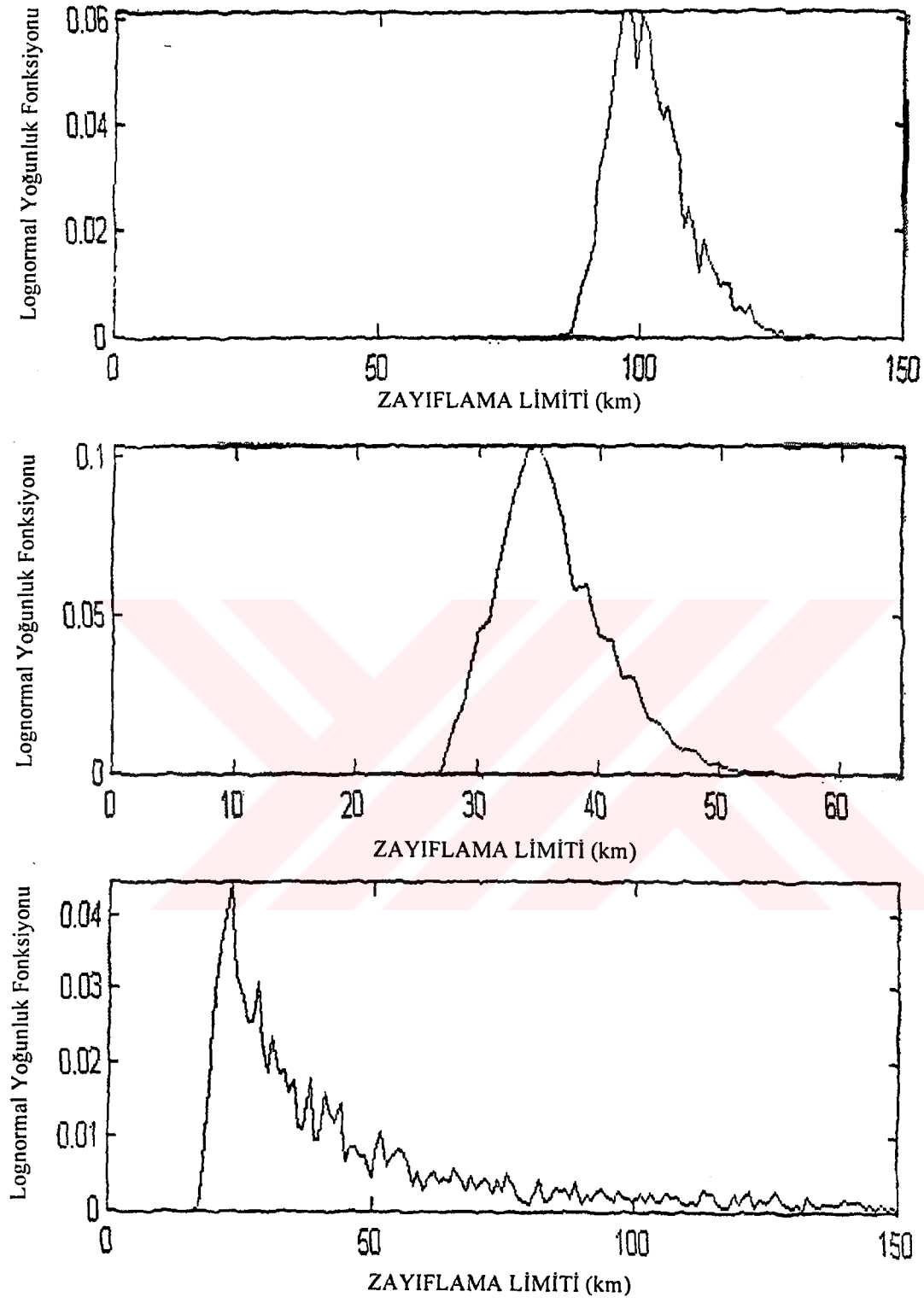
Şekil 48. 1310 nm dalga boyunda programdan elde edilen Rayleigh dağılımında limitlerin incelenmesi



Şekil 49. 1310 nm dalga boyunda programdan elde edilen Lognormal dağılımında limitlerin incelenmesi



Şekil 50. 1550 nm dalga boyunda programdan elde edilen Rayleigh dağılımında limitlerin incelenmesi



Şekil 51. 1550 nm dalga boyunda programdan elde edilen Lognormal dağılımında limitlerin incelenmesi

3. BULGULAR ve İRDELEME

Fiber optik iletişimin en yaygın kullanım alanı ülkemizde hiç kuşkusuz Türk Telekom'un kullandığı santraller arası haberleşme uygulamasıdır. 1985 yılında başlayan uygulamalar 1999 yılı itibariyle 60.000 km'yi aşmış durumdadır. 100 km'ye kadar tekrarlayıcı aracılığıyla CCITT standartlarına uygun fiber kablolarda telefon haberleşmesi sağlanmaya çalışılmaktadır. Türk Telekom'da çoğunlukla tek modlu fiberler kullanılmaktadır. Türk Telekom'un kendi standartlarıyla [3],

Zayıflama (ort) : 0,36 dB/km

Öz çapı : $9,2 \pm 0,5 \mu\text{m}$

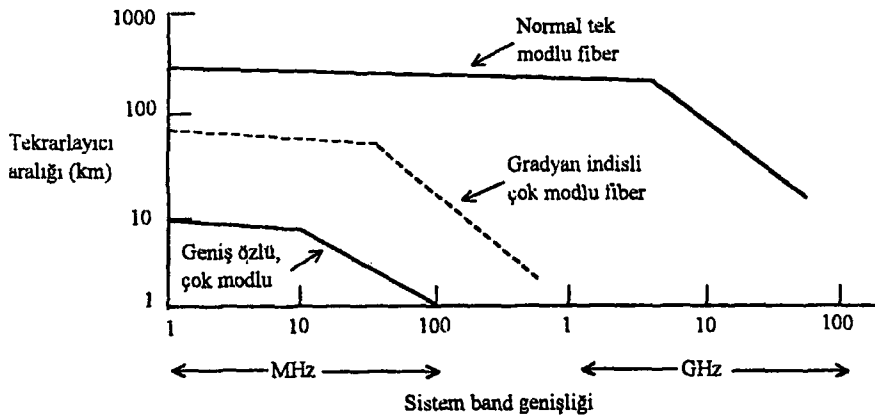
Kromatik saçınım sabiti: 3,5 ps/nm \times km

Yelek çapı: $125 \pm 2 \mu\text{m}$

Depolama Taşıma Sıcaklığı: $-40/+70^\circ\text{C}$

Tesis sıcaklığı $-10/+50^\circ\text{C}$ 'dir.

Kullanılan dalgaboyu çoğunlukla 1310 nm ve de 1550 nm'dir Genelde 4, 12, 36, 50, 100 fiber damarlı fiberler kullanılır. Kullanılan lazerin spektral genişliği 4 nm'dir. Tek modlu fiberin tipik band genişliği-uzunluk çarpımı 100 GHz. km'dir. Hata oranı BER, 10^{-9} kadar hassasiyet göstermektedir. 2, 8, 34, 140, 565 mb/s'lik PCM çoğullama hiyerarşileri kullanılmaktadır. Çekirdek-zırh kırılma indis profili 1,5-1,485'dir.



Şekil 52. Band genişliği veya sistemin bit hızına göre tekrarlayıcı özelliği

Trabzon-Akçaabat arası; 10 damarlı tek modlu 17,7 km'lik bir fiber optik kablo ile birbirine bağlanmıştır. 140 Mb/s'lik PCM sistemi kullanılmıştır. 2 Mb/s'lik bölüm NRZ, 2-34 Mb/s arası HDB3, 34-140 Mb/s arası CMI hat kodlaması yapılmıştır. 10^{-9} hata oranı ile sistem tasarlanmıştır.

Diğer özellikler:

Mesafe : 17,7 km

Optik çıkış gücü: -8 dBm

Optik alışı duyarlılığı: -4 dBm

Dalgaboyu : 1310 nm

Ek zayıflaması : 0,15 dB (11 tane)

Konnektör zayıflaması: 1,5 dB (2 tane)

n_1 öz kırılma indisi: 1,5

n_2 yelek kırılma indisi: 1,485

Öz çapı : 9 μ m

Yelek çapı : 125 μ m

Kaynak yükseltme zamanı: 1 ns

Dedektör yükselme zamanı (APD): 1 ns

a. Sistemin güç hesabı;

Kablo zayıflaması= $0,36/\text{km} \times 17,7 \text{ km} = 6,37 \text{ dB}$

Ek kaybı= $11 \times 0,15 \text{ dB} = 1,65 \text{ dB}$

Konnektör kaybı= $2 \times 1,5 \text{ dB} = 3 \text{ dB}$

Düşük hızlı bir sistem ve Lazer kullanıldığı için dispersiyon ve chirp kaybı ihmal edilebilir ve sistem marjineyle karşılanabilir.

Toplam link kaybı= $6,37 + 1,65 + 3 = 11,02 \text{ dB}$

Sistem marjini= 6 dB olarak alınabilir (Yaşlanma, arızalar, sıcaklık gibi sonradan eklenen faktörler için)

Verici gücü = -8 dBm iken

Alıcıdaki optik seviye= $-8 \text{ dBm} - 11,02 \text{ dB} - 6 \text{ dB}$

= -25,02 dBm'dir.

Alıcı duyarlılığı: -40 dBm

Aşırı güç: $-25,02-(40)=+14,98$ dB

Bu aşırı güç 140 mb/s hızında S/N oranını veya BER hata oranını iyileştireceği gibi alıcı uçta kullanılan zayıflatıcı elamanlarla karşılanabilir.

b. Sistemin yükselme zamanı hesabı;

Bit hızı= 140 Mb/s (70 MHz, NRZ formatında)

Kablonun band genişliği: 100 GHz. Km

$$17,7 \text{ km için; } \frac{100\text{GHz.km}}{17,7 \text{ km}} = 5,64\text{GHz}$$

$D_{\text{mal}} = 3,5 \text{ ps/nm.km}$

$\sigma_{\lambda} = 4 \text{ nm}$

$t_{\text{kaynak}} = 1 \text{ ns}$

$t_{\text{dedektör}} = 1 \text{ ns}$

$$t_{\text{modal}} = \frac{0,44}{5,64 \times 10^9} = 0,000078 \text{ ns (19) nolu formül,}$$

$$t_{\text{malzeme}} = D_{\text{mal}} \cdot \sigma_{\lambda} \cdot L = 3,5 \cdot 4 \cdot 17,4 = 243,6 \text{ ps}$$

$$= 0,2436 \text{ ns (21) nolu formül,}$$

(21) nolu formülden

$$t_{\text{sistem}} = 1,1 \cdot \sqrt{1^2 + (0,000078)^2 + (0,2436)^2 + 1^2}$$

$t_{\text{sistem}} = 1,57 \text{ ns'lik sistem yükselme zamanı bulur.}$

NRZ sinyalin 140 Mb/s'lik hızda %70 bit süresi,

$$\left(\frac{1}{140 \frac{\text{Mb}}{\text{sn}}} = 7,14 \text{ ns} \right), 0,70 \times 7,14 = 5 \text{ ns} = t_{\text{sistem}}$$

Bulunan t_{sistem} , 5 ns'lik değeri aşmadığı için yükselme süresi tedarik edilmiştir.

3 dB'lik analog sistem bant genişliği (12) nolu formülden,

$$B = \frac{0,35}{t_{\text{sistem}}(\text{sn})} \cong 222 \text{ MHz}, 70 \text{ MHz'lik band genişliği sağlanmıştır.}$$

Bu güzergahta kullanılan fiber optik kabloda dalgaboyunun birkaç katı bir çekirdek çapı olduğu için mod sayısı düşüktür.

$$\text{Optik fiberdeki ışık hızı} = \frac{c}{1,5} = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{Sayısal açıklık NA} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 0,2116 \text{ 'dır}$$



4. SONUÇLAR

Yapılan bu tez çalışmasında günümüzün çok önemli bir haberleşme sistemi olan "Sayısal Fiber optik İletişim Sistemi" nin tasarımına bir yaklaşım yapılmıştır. Fiber optik sisteminin donatımı ve tasarımına ilişkin bilgiler verildikten sonra tasarıma matematiksel ve istatistiksel olarak yaklaşmıştır. İrdeleme bölümünde bunlara ilişkin pratik uygulamaya yer verilmiştir.

Optik sistem bileşenlerinin ve analiz sonuçlarının yapılan karşılaştırılmasında haberleşme için ve özellikle Türk Telekom uygulamaları için; optik kaynak olarak düşük spektral genişlik için lazer diyot, fotodetörler için pın diyot ve fiber optik kablo için tek modlu kablo ve 1310 nm. dalga boyu kullanılmıştır.

Fiber optik sistemlerin maliyeti yüksektir. En optimum sayısal haberleşme şartlarında, en güvenli güzergah durumunda maksimum iletim mesafesini tekrarlayıcısız olarak yakalamak ve bunu en düşük maliyette gerçekleştirmek makul bir istatistiksel yaklaşımla ve modellemelerle mümkün görülmektedir.

Ülkemizde fiber optik haberleşme 1985 yılından beri gittikçe yaygınlaşmaktadır. Türk Telekom'un Çalışmaları tüm santraller arası bağlantıları fiber optik kablo yapmaktır. Bütün köy santrallerine kadar yönlendirilen bu çalışma dünyadaki öncü uygulamalarla abonelere kadar indirilmesi için çalışmalar başlatılmıştır.

Fiber optik haberleşmeye özgü haberleşme avantajları sayesinde bilgisayarlar, tıp alanı, kapalı devre, televizyon, sinyalizasyon, askeri alanda nükleer enerji santralleri gibi uygulama alanlarında optik sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bugün bazı önemli fiber optik kablo güzergahları; Türkiye-Ukrayna-Rusya'yı birbirine bağlayacak ITUR projesi (565 Mb/s, 85 km), Türkiye-Bulgaristan-Romanya-Moldova'yı bağlayacak KAFOS projesi (622 Mb/s), İtalya-Yunanistan-İsrail-Türkiye arasındaki EMOS-1 D fiber optik Denizaltı Kablo Sistemi (3840 telefon kapasitesi), Atlas okyanusunda ve Amerika kıtası ile Avrupa arasında tesis edilen ilk transatlantik fiber optik denizaltı kablo sistemi olan Tat-8 (1988'de servise verilmiş, 6398 km) dir. Bu çalışmalar hızla gelişmekte ve uydu teknolojisine alternatif olan fiber optik sistemler önem kazanmaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Çankaya, S., Ertürk, S. Optik İletim Kuramı, 2. Baskı, PTT MGB Matbaası Ankara, 1994.
2. Elrefaie, A., Romeiser, M. Shenmugan, S. Computer Simulation of Digital Lightwave Links, IEEE Journal on Selected Areas in Communicataons, 6, (1988) 94-105.
3. Maaveni, M. Shafi, M., A Statistical Design Approach for Gigabit-Rate Fiber-Optic Transmission System, Journal of Lightwave Technology, 8, (1990) 1064-1072.
4. Şeker. S., İletişim Sistemlerinin Planlanması, 1. Baskı, Boğaziçi Üniversitesi Matbaası, İstanbul 1993.
5. Killen, H., Modern Elektronik İletişim Teknikleri, 2. Baskı, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 1997.
6. Toması, W., Elektronik İletişim Teknikleri, 2. Baskı, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 1997.
7. Derfler, F., Network Sistemleri, 1. Baskı, Sistem Yayıncılık, İstanbul, 1996.
8. Özsoy, S.,Fiber Optik, Birsen Yayınevi, Kayseri, 1998.
9. Halley, P., Fibre Optic Systems, Second Edition, John Wiley&Sons Ltd., Paris, 1985.
10. Keiser, G.. Optical Fiber Communications, Second Edition, Mc Graw-Hill,Inc, Singapore, 1991.
11. Siemens, Fiber Optic Cables, John Wiley&Sons.

6. EKLER

Ek 1. 1310 nm ve Rayleigh Olasılık Dağılım Fonksiyonları İçin Matlab Programı

```
clear;
% Rasgele değişkenlerin min., max. ve ortalama değerleri ile
% standart sapmaları giriliyor. Bunlar tipik parametrelerdir.
pt3a=-2.67; pt3s=0.26; pt3max=-2.22; pt3min=-3.40;
pt5a=-4.32; pt5s=0.537; pt5max=-3.50; pt5min=-5.20;
Bl3a=3.17; Bl3s=0.43; Bl3max=4.27; Bl3min=2.05;
Bl5a=0.24; Bl5s=0.038; Bl5max=0.31; Bl5min=0.18;
ga3a=0.0; ga3s=0.03; ga3max=0.1; ga3min=-0.1;
ga5a=0.0; ga5s=0.03; ga5max=0.1; ga5min=-0.1;
pr3a=-37.57; pr3s=0.942; pr3max=-35.90; pr3min=-39.10;
pr5a=-37.57; pr5s=0.942; pr5max=-35.90; pr5min=-39.10;
af3a=0.35; af3s=0.022; af3max=0.41; af3min=0.29;
af5a=0.21; af5s=0.015; af5max=0.27; af5min=0.18;
D3a=1.67; D3s=0.35; D3max=2.72; D3min=0.62;
D5a=16.6; D5s=0.8; D5max=19.0; D5min=14.5;
lc3a=0.5; lc3s=0.1; lc3max=0.8; lc3min=0.2;
lc5a=0.5; lc5s=0.1; lc5max=0.8; lc5min=0.2;
lj3a=0.075; lj3s=0.0083; lj3max=0.1; lj3min=0.05;
lj5a=0.075; lj5s=0.0083; lj5max=0.1; lj5min=0.05;

% Tipik değerler minimumları kadar ötelenerek negatiflikten kurtarılır.
pt3m=pt3max-pt3min; pt5m=pt5max-pt5min; Bl3m=Bl3max-Bl3min; Bl5m=Bl5max-Bl5min;
ga3m=ga3max-ga3min; ga5m=ga5max-ga5min; pr3m=pr3max-pr3min; pr5m=pr5max-pr5min;
af3m=af3max-af3min; af5m=af5max-af5min; D3m=D3max-D3min; D5m=D5max-D5min;
lc3m=lc3max-lc3min; lc5m=lc5max-lc5min; lj3m=lj3max-lj3min; lj5m=lj5max-lj5min;

% Sabit kabul edilen değerler
N=100; % Dilim sayısı
n=1; % bağlantı sayısı
ld=1; % dispersion penalty
```

Ek 1'in Devamı

lch=1; % chirp penalty

M=2.5; % system margin

R=2488; % Haberleşme hızı (MHz)

k=5; % sabit

% Verilen minimum ve maksimum değerler arası N eşit dilime ayrılıyor.

xpt3=linspace(0,pt3m,N); xBl3=linspace(0,Bl3m,N); xga3=linspace(0,ga3m,N); xpr3=linspace(0,pr3m,N);

xaf3=linspace(0,af3m,N); xD3=linspace(0,D3m,N); xlc3=linspace(0,lc3m,N); xlj3=linspace(0,lj3m,N);

% İstenilen aralıklarda değişkenlerin lognormal pdf'leri hesaplanıyor.

ppt3=lognpdf(xpt3,pt3s); pBl3=lognpdf(xBl3,Bl3s); pga3=lognpdf(xga3,ga3s); ppr3=lognpdf(xpr3,pr3s);

paf3=lognpdf(xaf3,af3s); pD3=lognpdf(xD3,D3s); plc3=lognpdf(xlc3,lc3s); plj3=lognpdf(xlj3,lj3s);

xpt3=xpt3+pt3min; xBl3=xBl3+Bl3min; xga3=xga3+ga3min; xpr3=xpr3+pr3min;

xaf3=xaf3+af3min; xD3=xD3+D3min; xlc3=xlc3+lc3min; xlj3=xlj3+l3min;

% pdf'lerin çizimi

%subplot(4,2,1);plot(xpt3,ppt3); subplot(4,2,2);plot(xBl3,pBl3); subplot(4,2,3);plot(xga3,pga3);

subplot(4,2,4);plot(xpr3,ppr3);

%subplot(4,2,5);plot(xaf3,paf3); subplot(4,2,6);plot(xD3,pD3); subplot(4,2,7);plot(xlc3,plc3);

subplot(4,2,8);plot(xlj3,plj3);

%figure

%subplot(4,2,1);plot(xpt5,ppt5); subplot(4,2,2);plot(xBl5,pBl5); subplot(4,2,3);plot(xga5,pga5);

subplot(4,2,4);plot(xpr5,ppr5);

%subplot(4,2,5);plot(xaf5,paf5); subplot(4,2,6);plot(xD5,pD5); subplot(4,2,7);plot(xlc5,plc5);

subplot(4,2,8);plot(xlj5,plj5);

% lognormal dağılımına uygun olarak dataların oluşturulması

ppt3=(ppt3./((max(ppt3))).*1000; pBl3=(pBl3./((max(pBl3))).*1000;

pga3=(pga3./((max(pga3))).*1000; ppr3=(ppr3./((max(ppr3))).*1000;

paf3=(paf3./((max(paf3))).*1000; pD3=(pD3./((max(pD3))).*1000;

plc3=(plc3./((max(plc3))).*1000; plj3=(plj3./((max(plj3))).*1000;

sonpt3=xpt3(1); sonBl3=xBl3(1); songa3=xga3(1); sonpr3=xpr3(1);

sonaf3=xaf3(1); sonD3=xD3(1); sonlc3=xlc3(1); sonlj3=xlj3(1);

Ek 1'in Devamı

```

for i=1:N,
    gec=xpt3(i)*(ones(1,round(ppt3(i))));
    sonpt3=[sonpt3 gec];
    gec=xBl3(i)*(ones(1,round(pBl3(i))));
    sonBl3=[sonBl3 gec];
    gec=xga3(i)*(ones(1,round(pga3(i))));
    songa3=[songa3 gec];
    gec=xpr3(i)*(ones(1,round(ppr3(i))));
    sonpr3=[sonpr3 gec];
    gec=xaf3(i)*(ones(1,round(paf3(i))));
    sonaf3=[sonaf3 gec];
    gec=xD3(i)*(ones(1,round(pD3(i))));
    sonD3=[sonD3 gec];
    gec=xlc3(i)*(ones(1,round(plc3(i))));
    sonlc3=[sonlc3 gec];
    gec=xlj3(i)*(ones(1,round(plj3(i))));
    sonlj3=[sonlj3 gec];
end

% La Ld ve Lch değerlerinin istatistiksel olarak hesaplanması
% bu hesap için değişkenlerin maksimum sayıları kadar iterasyon yapılacaktır.
boy3=[length(sonpt3) length(sonBl3) length(songa3) length(sonpr3) length(sonaf3) length(sonD3)
length(sonlc3) length(sonlj3)];

for i=1:max(boy3),
    pt3=sonpt3(round((length(sonpt3)-1)*rand)+1);
    pr3=sonpr3(round((length(sonpr3)-1)*rand)+1);
    lc3=sonlc3(round((length(sonlc3)-1)*rand)+1);
    lj3=sonlj3(round((length(sonlj3)-1)*rand)+1);
    af3=sonaf3(round((length(sonaf3)-1)*rand)+1);
    Bl3=sonBl3(round((length(sonBl3)-1)*rand)+1);
    D3=sonD3(round((length(sonD3)-1)*rand)+1);
    ga3=songa3(round((length(songa3)-1)*rand)+1);

    La3(i)=(pt3-(pr3+(n*lc3)+lj3+ld+lch+M))/(af3+((lj3)/3));
    Ld3(i)=(4*10^5)/(Bl3*D3*R);
    Lch3(i)=(10^9)/(k*abs(ga3)*D3*(R^2));
end

```

Ek 1'in Devamı

```

sonLa3=zeros(1,round(max(La3)));
sonLd3=zeros(1,round(max(Ld3)));
sonLch3=zeros(1,round(max(Lch3)));

for i=1:3000,
    sonLa3(round(La3(i)))=sonLa3(round(La3(i)))+1;
    sonLd3(round(Ld3(i)))=sonLd3(round(Ld3(i)))+1;
    sonLch3(round(Lch3(i)))=sonLch3(round(Lch3(i)))+1;
end

xLa3=1:length(sonLa3);
xLd3=1:length(sonLd3);
xLch3=1:length(sonLch3);

sonLa3=sonLa3./(trapz(sonLa3,xLa3));
sonLd3=sonLd3./(trapz(sonLd3,xLd3));
sonLch3=sonLch3./(trapz(sonLch3,xLch3));

subplot(3,1,1);plot(xLa3,sonLa3),axis([0 100 0 max(sonLa3)]);title('Dalga boyu=1310 nm için lognormal pdf
parametreleri');xlabel('Attenuation Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');
subplot(3,1,2);plot(xLd3,sonLd3),axis([0 110 0 max(sonLd3)]);xlabel('Dispersion Limit
(Km)');ylabel('Simulated pdf');
subplot(3,1,3);plot(xLch3,sonLch3),axis([0 1500 0 max(sonLch3)]);xlabel('Chirp Limit
(Km)');ylabel('Simulated pdf');

figure;plot(xLa3,sonLa3),axis([60 100 0 max(sonLa3)]);title('Dalga boyu=1310 nm için lognormal pdf
parametreleri');xlabel('Attenuation Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');
figure;plot(xLd3,sonLd3),axis([0 110 0 max(sonLd3)]);title('Dalga boyu=1310 nm için lognormal pdf
parametreleri');xlabel('Dispersion Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');
figure;plot(xLch3,sonLch3),axis([0 1500 0 max(sonLch3)]);title('Dalga boyu=1310 nm için lognormal pdf
parametreleri');xlabel('Chirp Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');

h=zeros(1,3);
l=zeros(1,3);

```

Ek 1'in Devamı

```
for i=1:length(sonLa3),  
    h(1)=h(1)+(xLa3(i+1)-xLa3(i))*((sonLa3(i)+sonLa3(i+1))/2);  
    if h(1)>0.05  
        break,  
    end,  
    l(1)=i;  
end
```

```
for i=1:length(sonLd3),  
    h(2)=h(2)+(xLd3(i+1)-xLd3(i))*((sonLd3(i)+sonLd3(i+1))/2);  
    if h(2)>0.05  
        break,  
    end,  
    l(2)=i;  
end
```

```
for i=1:length(sonLch3),  
    h(3)=h(3)+(xLch3(i+1)-xLch3(i))*((sonLch3(i)+sonLch3(i+1))/2);  
    if h(3)>0.05  
        break,  
    end,  
    l(3)=i;  
end
```

Ek 2. 1550 nm ve Rayleigh Olasılık Dağılım Fonksiyonları İçin Matlab Programı

```

clear;
% Rasgele değişkenlerin min., max. ve ortalama değerleri ile
% standart sapmaları giriliyor. Bunlar tipik parametrelerdir.
pt3a=-2.67; pt3s=0.26; pt3max=-2.22; pt3min=-3.40;
pt5a=-4.32; pt5s=0.537; pt5max=-3.50; pt5min=-5.20;
Bl3a=3.17; Bl3s=0.43; Bl3max=4.27; Bl3min=2.05;
Bl5a=0.24; Bl5s=0.038; Bl5max=0.31; Bl5min=0.18;
ga3a=0.0; ga3s=0.03; ga3max=0.1; ga3min=-0.1;
ga5a=0.0; ga5s=0.03; ga5max=0.1; ga5min=-0.1;
pr3a=-37.57; pr3s=0.942; pr3max=-35.90; pr3min=-39.10;
pr5a=-37.57; pr5s=0.942; pr5max=-35.90; pr5min=-39.10;
af3a=0.35; af3s=0.022; af3max=0.41; af3min=0.29;
af5a=0.21; af5s=0.015; af5max=0.27; af5min=0.18;
D3a=1.67; D3s=0.35; D3max=2.72; D3min=0.62;
D5a=16.6; D5s=0.8; D5max=19.0; D5min=14.5;
lc3a=0.5; lc3s=0.1; lc3max=0.8; lc3min=0.2;
lc5a=0.5; lc5s=0.1; lc5max=0.8; lc5min=0.2;
lj3a=0.075; lj3s=0.0083; lj3max=0.1; lj3min=0.05;
lj5a=0.075; lj5s=0.0083; lj5max=0.1; lj5min=0.05;

% Tipik değerler minimumları kadar ötelenerek negatiflikten kurtarılır.
pt3m=pt3max-pt3min; pt5m=pt5max-pt5min; Bl3m=Bl3max-Bl3min; Bl5m=Bl5max-Bl5min;
ga3m=ga3max-ga3min; ga5m=ga5max-ga5min; pr3m=pr3max-pr3min; pr5m=pr5max-pr5min;
af3m=af3max-af3min; af5m=af5max-af5min; D3m=D3max-D3min; D5m=D5max-D5min;
lc3m=lc3max-lc3min; lc5m=lc5max-lc5min; lj3m=lj3max-lj3min; lj5m=lj5max-lj5min;

% Sabit kabul edilen değerler
N=100; % Dilim sayısı
n=1; % bağlantı sayısı
ld=1; % dispersion penalty
lch=1; % chirp penalty
M=2.5; % system margin
R=2488; % Haberleşme hızı (MHz)
k=5; % sabit

```

Ek 2'nin Devamı

% Verilen minimum ve maksimum değerler arası N eşit dilime ayrılıyor.

```
xpt5=linspace(0,pt5m,N); xB15=linspace(0,B15m,N); xga5=linspace(0,ga5m,N); xpr5=linspace(0,pr5m,N);
xaf5=linspace(0,af5m,N); xD5=linspace(0,D5m,N); xlc5=linspace(0,lc5m,N); xlj5=linspace(0,lj5m,N);
```

% İstenilen aralıklarda değişkenlerin Rayleigh pdf'leri hesaplanıyor.

```
ppt5=raylpdf(xpt5,pt5s); pB15=raylpdf(xB15,B15s); pga5=raylpdf(xga5,ga5s); ppr5=raylpdf(xpr5,pr5s);
paf5=raylpdf(xaf5,af5s); pD5=raylpdf(xD5,D5s); plc5=raylpdf(xlc5,lc5s); plj5=raylpdf(xlj5,lj5s);
```

```
xpt5=xpt5+pt5min; xB15=xB15+B15min; xga5=xga5+ga5min; xpr5=xpr5+pr5min;
xaf5=xaf5+af5min; xD5=xD5+D5min; xlc5=xlc5+lc5min; xlj5=xlj5+lj5min;
```

% pdf'lerin çizimi

```
%subplot(4,2,1);plot(xpt5,ppt5); subplot(4,2,2);plot(xB15,pB15); subplot(4,2,3);plot(xga5,pga5);
subplot(4,2,4);plot(xpr5,ppr5);
%subplot(4,2,5);plot(xaf5,paf5); subplot(4,2,6);plot(xD5,pD5); subplot(4,2,7);plot(xlc5,plc5);
subplot(4,2,8);plot(xlj5,plj5);
%figure
%subplot(4,2,1);plot(xpt5,ppt5); subplot(4,2,2);plot(xB15,pB15); subplot(4,2,3);plot(xga5,pga5);
subplot(4,2,4);plot(xpr5,ppr5);
%subplot(4,2,5);plot(xaf5,paf5); subplot(4,2,6);plot(xD5,pD5); subplot(4,2,7);plot(xlc5,plc5);
subplot(4,2,8);plot(xlj5,plj5);
```

% Rayleigh dağılımına uygun olarak dataların oluşturulması

```
ppt5=(ppt5./(max(ppt5))).*1000; pB15=(pB15./(max(pB15))).*1000;
pga5=(pga5./(max(pga5))).*1000; ppr5=(ppr5./(max(ppr5))).*1000;
paf5=(paf5./(max(paf5))).*1000; pD5=(pD5./(max(pD5))).*1000;
plc5=(plc5./(max(plc5))).*1000; plj5=(plj5./(max(plj5))).*1000;
```

```
sonpt5=xpt5(1); sonB15=xB15(1); songa5=xga5(1); sonpr5=xpr5(1);
sonaf5=xaf5(1); sonD5=xD5(1); sonlc5=xlc5(1); sonlj5=xlj5(1);
```

Ek 2'nin Devamı

```

for i=1:N,
    gec=xpt5(i)*(ones(1,round(ppt5(i))));
    sonpt5=[sonpt5 gec];
    gec=xBl5(i)*(ones(1,round(pBl5(i))));
    sonBl5=[sonBl5 gec];
    gec=xga5(i)*(ones(1,round(pga5(i))));
    songa5=[songa5 gec];
    gec=xpr5(i)*(ones(1,round(ppr5(i))));
    sonpr5=[sonpr5 gec];
    gec=xaf5(i)*(ones(1,round(paf5(i))));
    sonaf5=[sonaf5 gec];
    gec=xD5(i)*(ones(1,round(pD5(i))));
    sonD5=[sonD5 gec];
    gec=xlc5(i)*(ones(1,round(plc5(i))));
    sonlc5=[sonlc5 gec];
    gec=xlj5(i)*(ones(1,round(plj5(i))));
    sonlj5=[sonlj5 gec];
end

% La Ld ve Lch değerlerinin istatistiksel olarak hesaplanması
% bu hesap için değişkenlerin maksimum sayıları kadar iterasyon yapılacaktır.

boy5=[length(sonpt5) length(sonBl5) length(songa5) length(sonpr5) length(sonaf5) length(sonD5)
length(sonlc5) length(sonlj5)];

for i=1:max(boy5),
    pt5=sonpt5(round((length(sonpt5)-1)*rand)+1);
    pr5=sonpr5(round((length(sonpr5)-1)*rand)+1);
    lc5=sonlc5(round((length(sonlc5)-1)*rand)+1);
    lj5=sonlj5(round((length(sonlj5)-1)*rand)+1);
    af5=sonaf5(round((length(sonaf5)-1)*rand)+1);
    Bl5=sonBl5(round((length(sonBl5)-1)*rand)+1);
    D5=sonD5(round((length(sonD5)-1)*rand)+1);
    ga5=songa5(round((length(songa5)-1)*rand)+1);

    La5(i)=(pt5-(pr5+(n*lc5)+lj5+ld+lch+M))/(af5+((lj5)/3));
    Ld5(i)=(4*10^5)/(Bl5*D5*R);
    Lch5(i)=(10^9)/(k*abs(ga5)*D5*(R^2));
end

```

Ek 2'nin Devamı

```

sonLa5=zeros(1,round(max(La5)));
sonLd5=zeros(1,round(max(Ld5)));
sonLch5=zeros(1,round(max(Lch5)));

for i=1:3000,
    sonLa5(round(La5(i)))=sonLa5(round(La5(i))+1);
    sonLd5(round(Ld5(i)))=sonLd5(round(Ld5(i))+1);
    sonLch5(round(Lch5(i)))=sonLch5(round(Lch5(i))+1);
end

xLa5=1:length(sonLa5);
xLd5=1:length(sonLd5);
xLch5=1:length(sonLch5);

sonLa5=sonLa5./(trapz(sonLa5,xLa5));
sonLd5=sonLd5./(trapz(sonLd5,xLd5));
sonLch5=sonLch5./(trapz(sonLch5,xLch5));

subplot(3,1,1);plot(xLa5,sonLa5),axis([0 150 0 max(sonLa5)]);title('Dalga boyu=1550 nm için Rayleigh pdf
parametreleri');xlabel('Attenuation Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');
subplot(3,1,2);plot(xLd5,sonLd5),axis([0 65 0 max(sonLd5)]);xlabel('Dispersion Limit
(Km)');ylabel('Simulated pdf');
subplot(3,1,3);plot(xLch5,sonLch5),axis([0 150 0 max(sonLch5)]);xlabel('Chirp Limit
(Km)');ylabel('Simulated pdf');

figure;plot(xLa5,sonLa5),axis([100 150 0 max(sonLa5)]);title('Dalga boyu=1550 nm için Rayleigh pdf
parametreleri');xlabel('Attenuation Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');
figure;plot(xLd5,sonLd5),axis([25 65 0 max(sonLd5)]);title('Dalga boyu=1550 nm için Rayleigh pdf
parametreleri');xlabel('Dispersion Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');
figure;plot(xLch5,sonLch5),axis([0 150 0 max(sonLch5)]);title('Dalga boyu=1550 nm için Rayleigh pdf
parametreleri');xlabel('Chirp Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');

h=zeros(1,3);
l=zeros(1,3);

```

Ek 2'nin Devamı

```
for i=1:length(sonLa5),  
    h(1)=h(1)+(xLa5(i+1)-xLa5(i))*((sonLa5(i)+sonLa5(i+1))/2);  
    if h(1)>0.05  
        break,  
    end,  
    l(1)=i;  
end  
  
for i=1:length(sonLd5),  
    h(2)=h(2)+(xLd5(i+1)-xLd5(i))*((sonLd5(i)+sonLd5(i+1))/2);  
    if h(2)>0.05  
        break,  
    end,  
    l(2)=i;  
end  
  
for i=1:length(sonLch5),  
    h(3)=h(3)+(xLch5(i+1)-xLch5(i))*((sonLch5(i)+sonLch5(i+1))/2);  
    if h(3)>0.05  
        break,  
    end,  
    l(3)=i;  
end
```


Ek 3. 1310 nm ve Lognormal Olasılık Dağılım Fonksiyonları İçin Matlap Programı

```

clear;
% Rasgele değişkenlerin min., max. ve ortalama değerleri ile
% standart sapmaları giriliyor. Bunlar tipik parametrelerdir.
pt3a=-2.67; pt3s=0.26; pt3max=-2.22; pt3min=-3.40;
pt5a=-4.32; pt5s=0.537; pt5max=-3.50; pt5min=-5.20;
Bl3a=3.17; Bl3s=0.43; Bl3max=4.27; Bl3min=2.05;
Bl5a=0.24; Bl5s=0.038; Bl5max=0.31; Bl5min=0.18;
ga3a=0.0; ga3s=0.03; ga3max=0.1; ga3min=-0.1;
ga5a=0.0; ga5s=0.03; ga5max=0.1; ga5min=-0.1;
pr3a=-37.57; pr3s=0.942; pr3max=-35.90; pr3min=-39.10;
pr5a=-37.57; pr5s=0.942; pr5max=-35.90; pr5min=-39.10;
af3a=0.35; af3s=0.022; af3max=0.41; af3min=0.29;
af5a=0.21; af5s=0.015; af5max=0.27; af5min=0.18;
D3a=1.67; D3s=0.35; D3max=2.72; D3min=0.62;
D5a=16.6; D5s=0.8; D5max=19.0; D5min=14.5;
lc3a=0.5; lc3s=0.1; lc3max=0.8; lc3min=0.2;
lc5a=0.5; lc5s=0.1; lc5max=0.8; lc5min=0.2;
lj3a=0.075; lj3s=0.0083; lj3max=0.1; lj3min=0.05;
lj5a=0.075; lj5s=0.0083; lj5max=0.1; lj5min=0.05;

% Tipik değerler minimumları kadar ötelenerek negatiflikten kurtarılır.
pt3m=pt3max-pt3min; pt5m=pt5max-pt5min; Bl3m=Bl3max-Bl3min; Bl5m=Bl5max-Bl5min;
ga3m=ga3max-ga3min; ga5m=ga5max-ga5min; pr3m=pr3max-pr3min; pr5m=pr5max-pr5min;
af3m=af3max-af3min; af5m=af5max-af5min; D3m=D3max-D3min; D5m=D5max-D5min;
lc3m=lc3max-lc3min; lc5m=lc5max-lc5min; lj3m=lj3max-lj3min; lj5m=lj5max-lj5min;

% Sabit kabul edilen değerler
N=100; % Dilim sayısı
n=1; % bağlantı sayısı
ld=1; % dispersion penalty
lch=1; % chirp penalty
M=2.5; % system margin
R=2488; % Haberleşme hızı (MHz)
k=5; % sabit

```

Ek 3'ün Devamı

% Verilen minimum ve maksimum değerler arası N eşit dilime ayrılıyor.

```
xpt3=linspace(0,pt3m,N); xB13=linspace(0,B13m,N); xga3=linspace(0,ga3m,N); xpr3=linspace(0,pr3m,N);
xaf3=linspace(0,af3m,N); xD3=linspace(0,D3m,N); xlc3=linspace(0,lc3m,N); xlj3=linspace(0,lj3m,N);
```

% İstenilen aralıklarda değişkenlerin lognormal pdf'leri hesaplanıyor.

```
ppt3=lognpdf(xpt3,pt3s); pB13=lognpdf(xB13,B13s); pga3=lognpdf(xga3,ga3s); ppr3=lognpdf(xpr3,pr3s);
paf3=lognpdf(xaf3,af3s); pD3=lognpdf(xD3,D3s); plc3=lognpdf(xlc3,lc3s); plj3=lognpdf(xlj3,lj3s);
```

```
xpt3=xpt3+pt3min; xB13=xB13+B13min; xga3=xga3+ga3min; xpr3=xpr3+pr3min;
```

```
xaf3=xaf3+af3min; xD3=xD3+D3min; xlc3=xlc3+lc3min; xlj3=xlj3+l3min;
```

% pdf'lerin çizimi

```
%subplot(4,2,1);plot(xpt3,ppt3); subplot(4,2,2);plot(xB13,pB13); subplot(4,2,3);plot(xga3,pga3);
```

```
subplot(4,2,4);plot(xpr3,ppr3);
```

```
%subplot(4,2,5);plot(xaf3,paf3); subplot(4,2,6);plot(xD3,pD3); subplot(4,2,7);plot(xlc3,plc3);
```

```
subplot(4,2,8);plot(xlj3,plj3);
```

%figure

```
%subplot(4,2,1);plot(xpt5,ppt5); subplot(4,2,2);plot(xB15,pB15); subplot(4,2,3);plot(xga5,pga5);
```

```
subplot(4,2,4);plot(xpr5,ppr5);
```

```
%subplot(4,2,5);plot(xaf5,paf5); subplot(4,2,6);plot(xD5,pD5); subplot(4,2,7);plot(xlc5,plc5);
```

```
subplot(4,2,8);plot(xlj5,plj5);
```

% lognormal dağılımına uygun olarak dataların oluşturulması

```
ppt3=(ppt3./(max(ppt3))).*1000; pB13=(pB13./(max(pB13))).*1000;
```

```
pga3=(pga3./(max(pga3))).*1000; ppr3=(ppr3./(max(ppr3))).*1000;
```

```
paf3=(paf3./(max(paf3))).*1000; pD3=(pD3./(max(pD3))).*1000;
```

```
plc3=(plc3./(max(plc3))).*1000; plj3=(plj3./(max(plj3))).*1000;
```

```
sonpt3=xpt3(1); sonB13=xB13(1); songa3=xga3(1); sonpr3=xpr3(1);
```

```
sonaf3=xaf3(1); sonD3=xD3(1); sonlc3=xlc3(1); sonlj3=xlj3(1);
```

Ek 3'ün Devamı

```

for i=1:N,
    gec=xpt3(i)*(ones(1,round(ppt3(i))));
    sonpt3=[sonpt3 gec];
    gec=xBl3(i)*(ones(1,round(pBl3(i))));
    sonBl3=[sonBl3 gec];
    gec=xga3(i)*(ones(1,round(pga3(i))));
    songa3=[songa3 gec];
    gec=xpr3(i)*(ones(1,round(ppr3(i))));
    sonpr3=[sonpr3 gec];
    gec=xaf3(i)*(ones(1,round(paf3(i))));
    sonaf3=[sonaf3 gec];
    gec=xD3(i)*(ones(1,round(pD3(i))));
    sonD3=[sonD3 gec];
    gec=xlc3(i)*(ones(1,round(plc3(i))));
    sonlc3=[sonlc3 gec];
    gec=xlj3(i)*(ones(1,round(plj3(i))));
    sonlj3=[sonlj3 gec];
end

% La Ld ve Lch değerlerinin istatistiksel olarak hesaplanması
% bu hesap için değişkenlerin maksimum sayıları kadar iterasyon yapılacaktır.
boy3=[length(sonpt3) length(sonBl3) length(songa3) length(sonpr3) length(sonaf3) length(sonD3)
length(sonlc3) length(sonlj3)];

for i=1:max(boy3),
    pt3=sonpt3(round((length(sonpt3)-1)*rand)+1);
    pr3=sonpr3(round((length(sonpr3)-1)*rand)+1);
    lc3=sonlc3(round((length(sonlc3)-1)*rand)+1);
    lj3=sonlj3(round((length(sonlj3)-1)*rand)+1);
    af3=sonaf3(round((length(sonaf3)-1)*rand)+1);
    Bl3=sonBl3(round((length(sonBl3)-1)*rand)+1);
    D3=sonD3(round((length(sonD3)-1)*rand)+1);
    ga3=songa3(round((length(songa3)-1)*rand)+1);

    La3(i)=(pt3-(pr3+(n*lc3)+lj3+ld+lch+M))/(af3+((lj3)/3));
    Ld3(i)=(4*10^5)/(Bl3*D3*R);
    Lch3(i)=(10^9)/(k*abs(ga3)*D3*(R^2));
end

```

Ek 3'ün Devamı

```

sonLa3=zeros(1,round(max(La3)));
sonLd3=zeros(1,round(max(Ld3)));
sonLch3=zeros(1,round(max(Lch3)));

for i=1:3000,
    sonLa3(round(La3(i)))=sonLa3(round(La3(i)))+1;
    sonLd3(round(Ld3(i)))=sonLd3(round(Ld3(i)))+1;
    sonLch3(round(Lch3(i)))=sonLch3(round(Lch3(i)))+1;
end

xLa3=1:length(sonLa3);
xLd3=1:length(sonLd3);
xLch3=1:length(sonLch3);

sonLa3=sonLa3./(trapz(sonLa3,xLa3));
sonLd3=sonLd3./(trapz(sonLd3,xLd3));
sonLch3=sonLch3./(trapz(sonLch3,xLch3));

subplot(3,1,1);plot(xLa3,sonLa3),axis([0 100 0 max(sonLa3)]);title('Dalga boyu=1310 nm için lognormal pdf
parametreleri');xlabel('Attenuation Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');
subplot(3,1,2);plot(xLd3,sonLd3),axis([0 110 0 max(sonLd3)]);xlabel('Dispersion Limit
(Km)');ylabel('Simulated pdf');
subplot(3,1,3);plot(xLch3,sonLch3),axis([0 1500 0 max(sonLch3)]);xlabel('Chirp Limit
(Km)');ylabel('Simulated pdf');

figure;plot(xLa3,sonLa3),axis([60 100 0 max(sonLa3)]);title('Dalga boyu=1310 nm için lognormal pdf
parametreleri');xlabel('Attenuation Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');
figure;plot(xLd3,sonLd3),axis([0 110 0 max(sonLd3)]);title('Dalga boyu=1310 nm için lognormal pdf
parametreleri');xlabel('Dispersion Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');
figure;plot(xLch3,sonLch3),axis([0 1500 0 max(sonLch3)]);title('Dalga boyu=1310 nm için lognormal pdf
parametreleri');xlabel('Chirp Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');

h=zeros(1,3);
l=zeros(1,3);

```

Ek 3'ün Devamı

```

for i=1:length(sonLa3),
    h(1)=h(1)+(xLa3(i+1)-xLa3(i))*((sonLa3(i)+sonLa3(i+1))/2);
    if h(1)>0.05
        break,
    end,
    l(1)=i;
end

```

```

for i=1:length(sonLd3),
    h(2)=h(2)+(xLd3(i+1)-xLd3(i))*((sonLd3(i)+sonLd3(i+1))/2);
    if h(2)>0.05
        break,
    end,
    l(2)=i;
end

```

```

for i=1:length(sonLch3),
    h(3)=h(3)+(xLch3(i+1)-xLch3(i))*((sonLch3(i)+sonLch3(i+1))/2);
    if h(3)>0.05
        break,
    end,
    l(3)=i;
end

```

Ek 4. 1550 nm ve Lognormal Olasılık Dağılım Fonksiyonları İçin Matlab Programı

```

clear;
% Rasgele değişkenlerin min., max. ve ortalama değerleri ile
% standart sapmaları giriliyor. Bunlar tipik parametrelerdir.
pt3a=-2.67; pt3s=0.26; pt3max=-2.22; pt3min=-3.40;
pt5a=-4.32; pt5s=0.537; pt5max=-3.50; pt5min=-5.20;
Bl3a=3.17; Bl3s=0.43; Bl3max=4.27; Bl3min=2.05;
Bl5a=0.24; Bl5s=0.038; Bl5max=0.31; Bl5min=0.18;
ga3a=0.0; ga3s=0.03; ga3max=0.1; ga3min=-0.1;
ga5a=0.0; ga5s=0.03; ga5max=0.1; ga5min=-0.1;
pr3a=-37.57; pr3s=0.942; pr3max=-35.90; pr3min=-39.10;
pr5a=-37.57; pr5s=0.942; pr5max=-35.90; pr5min=-39.10;
af3a=0.35; af3s=0.022; af3max=0.41; af3min=0.29;
af5a=0.21; af5s=0.015; af5max=0.27; af5min=0.18;
D3a=1.67; D3s=0.35; D3max=2.72; D3min=0.62;
D5a=16.6; D5s=0.8; D5max=19.0; D5min=14.5;
lc3a=0.5; lc3s=0.1; lc3max=0.8; lc3min=0.2;
lc5a=0.5; lc5s=0.1; lc5max=0.8; lc5min=0.2;
lj3a=0.075; lj3s=0.0083; lj3max=0.1; lj3min=0.05;
lj5a=0.075; lj5s=0.0083; lj5max=0.1; lj5min=0.05;

% Tipik değerler minimumları kadar ötelenerek negatiflikten kurtarılır.

pt3m=pt3max-pt3min; pt5m=pt5max-pt5min; Bl3m=Bl3max-Bl3min; Bl5m=Bl5max-Bl5min;
ga3m=ga3max-ga3min; ga5m=ga5max-ga5min; pr3m=pr3max-pr3min; pr5m=pr5max-pr5min;
af3m=af3max-af3min; af5m=af5max-af5min; D3m=D3max-D3min; D5m=D5max-D5min;
lc3m=lc3max-lc3min; lc5m=lc5max-lc5min; lj3m=lj3max-lj3min; lj5m=lj5max-lj5min;

% Sabit kabul edilen değerler
N=100; % Dilim sayısı
n=1; % bağlantı sayısı
ld=1; % dispersion penalty
lch=1; % chirp penalty
M=2.5; % system margin
R=2488; % Haberleşme hızı (MHz)
k=5; % sabit

```

Ek 4'ün Devamı

% Verilen minimum ve maksimum değerler arası N eşit dilime ayrılıyor.

```
xpt5=linspace(0,pt5m,N); xB15=linspace(0,B15m,N); xga5=linspace(0,ga5m,N); xpr5=linspace(0,pr5m,N);
xaf5=linspace(0,af5m,N); xD5=linspace(0,D5m,N); xlc5=linspace(0,lc5m,N); xlj5=linspace(0,lj5m,N);
```

% İstenilen aralıklarda değişkenlerin lognormal pdf'leri hesaplanıyor.

```
ppt5=lognpdf(xpt5,pt5s); pB15=lognpdf(xB15,B15s); pga5=lognpdf(xga5,ga5s); ppr5=lognpdf(xpr5,pr5s);
paf5=lognpdf(xaf5,af5s); pD5=lognpdf(xD5,D5s); plc5=lognpdf(xlc5,lc5s); plj5=lognpdf(xlj5,lj5s);
```

```
xpt5=xpt5+pt5min; xB15=xB15+B15min; xga5=xga5+ga5min; xpr5=xpr5+pr5min;
xaf5=xaf5+af5min; xD5=xD5+D5min; xlc5=xlc5+lc5min; xlj5=xlj5+lj5min;
```

% pdf'lerin çizimi

```
%subplot(4,2,1);plot(xpt5,ppt5); subplot(4,2,2);plot(xB15,pB15); subplot(4,2,3);plot(xga5,pga5);
subplot(4,2,4);plot(xpr5,ppr5);
%subplot(4,2,5);plot(xaf5,paf5); subplot(4,2,6);plot(xD5,pD5); subplot(4,2,7);plot(xlc5,plc5);
subplot(4,2,8);plot(xlj5,plj5);
```

%figure

```
%subplot(4,2,1);plot(xpt5,ppt5); subplot(4,2,2);plot(xB15,pB15); subplot(4,2,5);plot(xga5,pga5);
subplot(4,2,4);plot(xpr5,ppr5);
%subplot(4,2,5);plot(xaf5,paf5); subplot(4,2,6);plot(xD5,pD5); subplot(4,2,7);plot(xlc5,plc5);
subplot(4,2,8);plot(xlj5,plj5);
```

% lognormal dağılımına uygun olarak dataların oluşturulması

```
ppt5=(ppt5./(max(ppt5))).*1000; pB15=(pB15./(max(pB15))).*1000;
pga5=(pga5./(max(pga5))).*1000; ppr5=(ppr5./(max(ppr5))).*1000;
paf5=(paf5./(max(paf5))).*1000; pD5=(pD5./(max(pD5))).*1000;
plc5=(plc5./(max(plc5))).*1000; plj5=(plj5./(max(plj5))).*1000;
```

```
sonpt5=xpt5(1); sonB15=xB15(1); songa5=xga5(1); sonpr5=xpr5(1);
sonaf5=xaf5(1); sonD5=xD5(1); sonlc5=xlc5(1); sonlj5=xlj5(1);
```

Ek 4'ün Devamı

```

for i=1:N,
    gec=xpt5(i)*(ones(1,round(ppt5(i))));
    sonpt5=[sonpt5 gec];
    gec=xBl5(i)*(ones(1,round(pBl5(i))));
    sonBl5=[sonBl5 gec];
    gec=xga5(i)*(ones(1,round(pga5(i))));
    songa5=[songa5 gec];
    gec=xpr5(i)*(ones(1,round(ppr5(i))));
    sonpr5=[sonpr5 gec];
    gec=xaf5(i)*(ones(1,round(paf5(i))));
    sonaf5=[sonaf5 gec];
    gec=xD5(i)*(ones(1,round(pD5(i))));
    sonD5=[sonD5 gec];
    gec=xlc5(i)*(ones(1,round(plc5(i))));
    sonlc5=[sonlc5 gec];
    gec=xlj5(i)*(ones(1,round(plj5(i))));
    sonlj5=[sonlj5 gec];
end

% La Ld ve Lch değerlerinin istatistiksel olarak hesaplanması
% bu hesap için değişkenlerin maksimum sayıları kadar iterasyon yapılacaktır.
boy5=[length(sonpt5) length(sonBl5) length(songa5) length(sonpr5) length(sonaf5) length(sonD5)
length(sonlc5) length(sonlj5)];

for i=1:max(boy5),
    pt5=sonpt5(round((length(sonpt5)-1)*rand)+1);
    pr5=sonpr5(round((length(sonpr5)-1)*rand)+1);
    lc5=sonlc5(round((length(sonlc5)-1)*rand)+1);
    lj5=sonlj5(round((length(sonlj5)-1)*rand)+1);
    af5=sonaf5(round((length(sonaf5)-1)*rand)+1);
    Bl5=sonBl5(round((length(sonBl5)-1)*rand)+1);
    D5=sonD5(round((length(sonD5)-1)*rand)+1);
    ga5=songa5(round((length(songa5)-1)*rand)+1);

    La5(i)=(pt5-(pr5+(n*lc5)+lj5+ld+lch+M))/(af5+((lj5)/3));
    Ld5(i)=(4*10^5)/(Bl5*D5*R);
    Lch5(i)=(10^9)/(k*abs(ga5)*D5*(R^2));
end

```


Ek 4'ün Devamı

```

sonLa5=zeros(1,round(max(La5)));
sonLd5=zeros(1,round(max(Ld5)));
sonLch5=zeros(1,round(max(Lch5)));
for i=1:3000,
    sonLa5(round(La5(i)))=sonLa5(round(La5(i))+1);
    sonLd5(round(Ld5(i)))=sonLd5(round(Ld5(i))+1);
    sonLch5(round(Lch5(i)))=sonLch5(round(Lch5(i))+1);
end

xLa5=1:length(sonLa5);
xLd5=1:length(sonLd5);
xLch5=1:length(sonLch5);
sonLa5=sonLa5./(trapz(sonLa5,xLa5));
sonLd5=sonLd5./(trapz(sonLd5,xLd5));
sonLch5=sonLch5./(trapz(sonLch5,xLch5));
subplot(3,1,1);plot(xLa5,sonLa5),axis([0 150 0 max(sonLa5)]);title('Dalga boyu=1550 nm için lognormal pdf
parametreleri');xlabel('Attenuation Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');
subplot(3,1,2);plot(xLd5,sonLd5),axis([0 65 0 max(sonLd5)]);xlabel('Dispersion Limit
(Km)');ylabel('Simulated pdf');
subplot(3,1,3);plot(xLch5,sonLch5),axis([0 150 0 max(sonLch5)]);xlabel('Chirp Limit
(Km)');ylabel('Simulated pdf');
figure;plot(xLa5,sonLa5),axis([60 150 0 max(sonLa5)]);title('Dalga boyu=1550 nm için lognormal pdf
parametreleri');xlabel('Attenuation Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');
figure;plot(xLd5,sonLd5),axis([25 65 0 max(sonLd5)]);title('Dalga boyu=1550 nm için lognormal pdf
parametreleri');xlabel('Dispersion Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');
figure;plot(xLch5,sonLch5),axis([0 150 0 max(sonLch5)]);title('Dalga boyu=1550 nm için lognormal pdf
parametreleri');xlabel('Chirp Limit (Km)');ylabel('Simulated pdf');

h=zeros(1,3);
l=zeros(1,3);

for i=1:length(sonLa5),
    h(1)=h(1)+(xLa5(i+1)-xLa5(i))*((sonLa5(i)+sonLa5(i+1))/2);
    if h(1)>0.05
        break,
    end,
    l(1)=i;
end

```

Ek 4'ün Devamı

```
for i=1:length(sonLd5),  
    h(2)=h(2)+(xLd5(i+1)-xLd5(i))*((sonLd5(i)+sonLd5(i+1))/2);  
    if h(2)>0.05  
        break,  
    end,  
    l(2)=i;  
end  
  
for i=1:length(sonLch5),  
    h(3)=h(3)+(xLch5(i+1)-xLch5(i))*((sonLch5(i)+sonLch5(i+1))/2);  
    if h(3)>0.05  
        break,  
    end,  
    l(3)=i;  
end
```



Ek 5. Bazı Fonksiyonlar

1. Gauss Dağılımı:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} \cdot e^{-(x-a)^2/2\sigma_x^2} \quad (\text{E. 1})$$

2. Rayleigh Dağılımı:

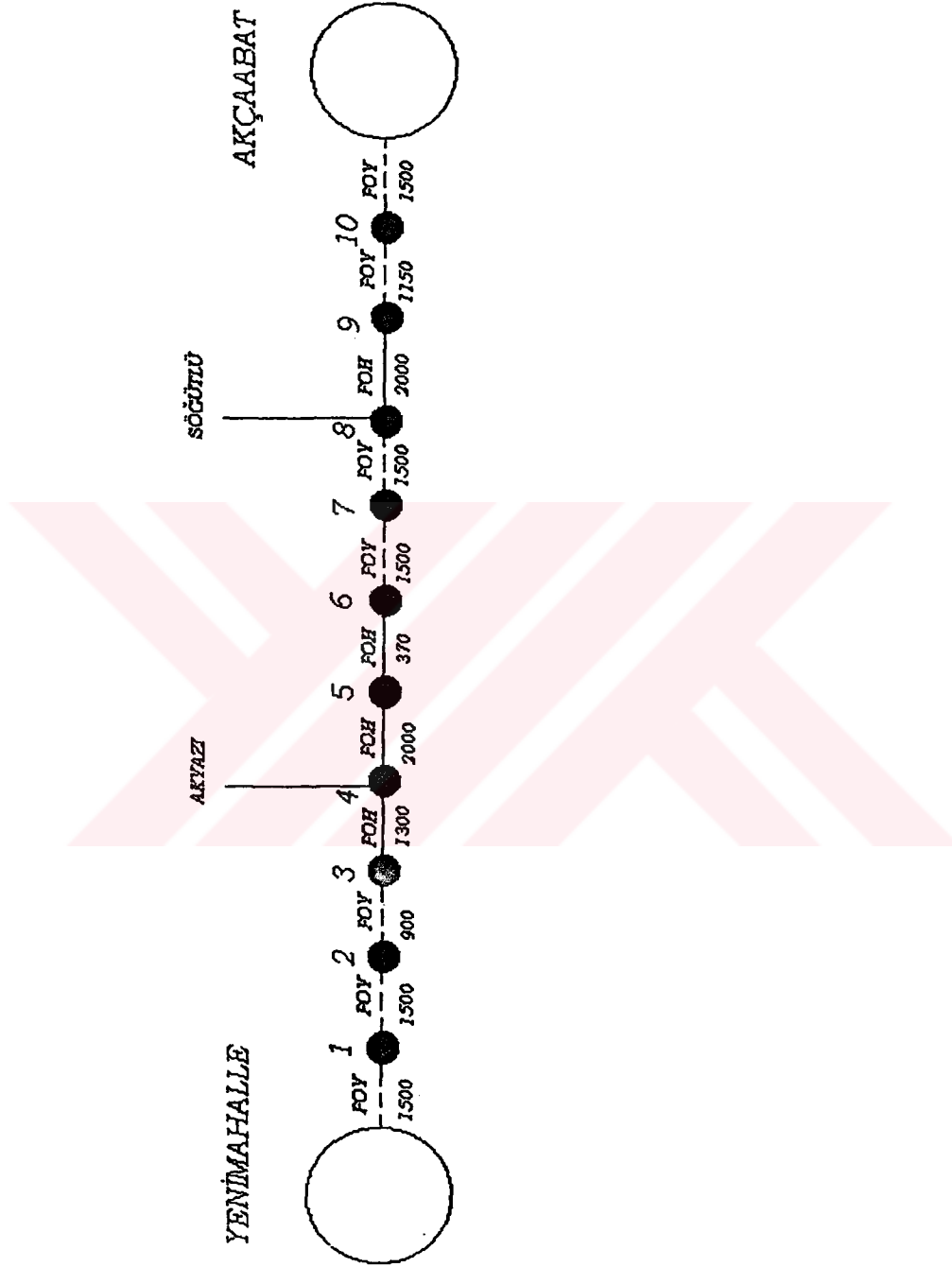
$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma_x^2} \cdot (x-a) \cdot e^{-(x-a)^2/2\sigma_x^2}, \quad x \geq 0 \quad (\text{E. 2})$$

3. Log-Normal Dağılımı:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma_x \cdot x \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-(\ln x - a)^2/2\sigma_x^2} \quad (\text{E. 3})$$

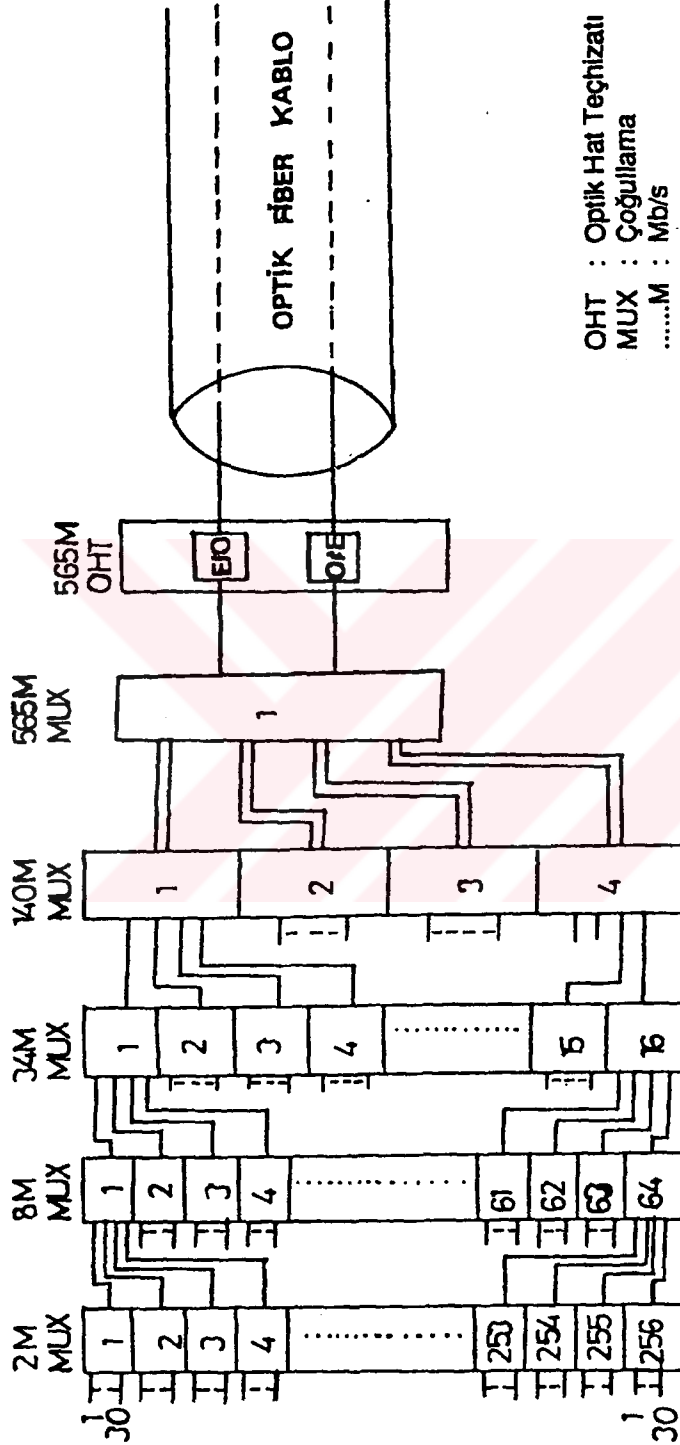
$$4. \text{erfc}_k = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_k^{\infty} e^{-\lambda^2} \cdot d\lambda \quad (\text{E. 4})$$

Ek 6. Trabzon-Akçaabat Fiber Optik Güzergahı



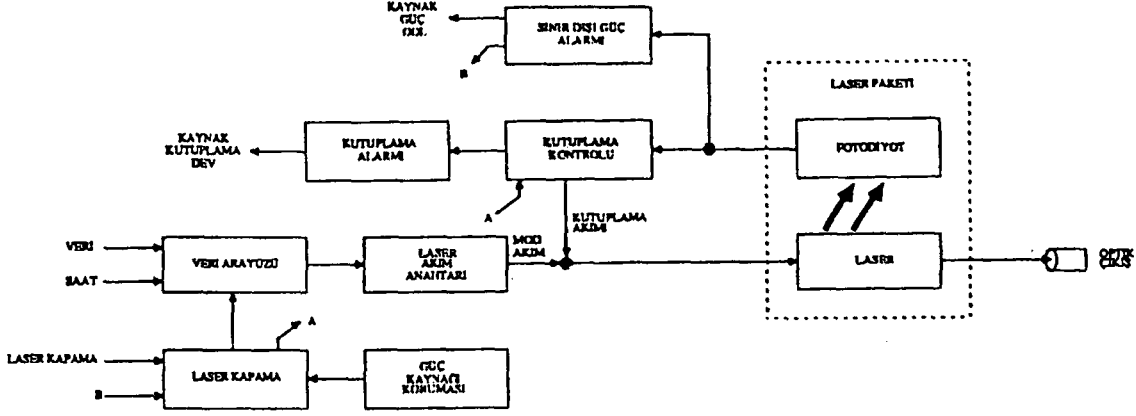
Ek şekil 1. Fiber optik güzergahın ek şematığı

Ek 7. 565 Mb/s Optik Fiber İletim Sisteminin Öbek Yapısı

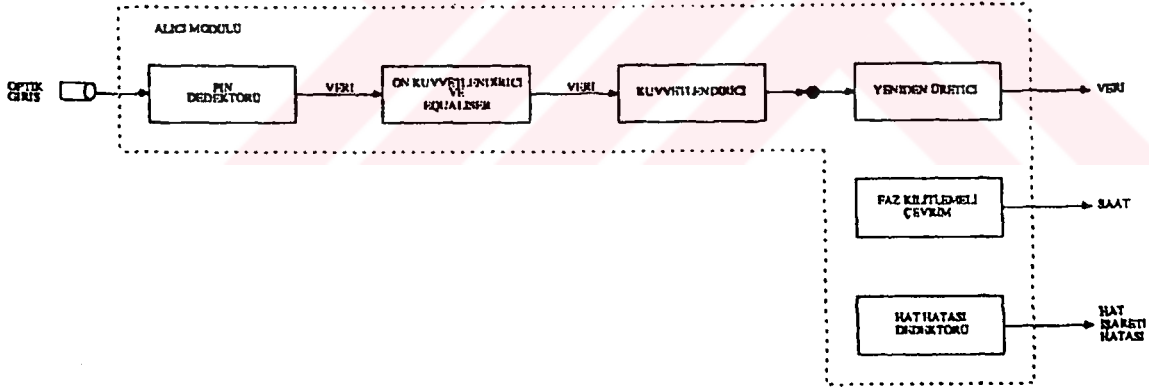


Ek Şekil 2. PCM sisteminin hiyerarşik şematığı

Ek 8. 34 Mb/s Optik Hat Sistemi (Netaş Sistemi)



Ek Şekil 3. Optik verici blok şeması



Ek Şekil 4. Optik alıcı blok şeması

Ek 9. Bazı Önemli Hatırlatmalar

ULUSLARARASI STANDARTLAR

ANSI	American National Standards Institute
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique
CEPT	Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
FTZ	Fernmeldetechnisches Zentralamt
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	International Organization for Standardization
VDE	Verband Deutscher Elektrotechniker e.V

YUNAN ALFABESİ

A α	Alpha	I ι	Jota	P ρ	Rho
B β	Beta	K κ	Kappa	Σ σ ς	Sigma
Γ γ	Gamma	Λ λ	Lambda	T τ	Tau
Δ δ	Delta	M μ	My	Υ υ	Ypsilon
E ε	Epsilon	N ν	Ny	Φ φ	Phi
Z ζ	Zeta	Ξ ξ	Xi	Χ χ	Chi
H η	Eta	Ο ο	Omikron	Ψ ψ	Psi
Θ θ	Theta	Π π	Pi	Ω ω	Omega

Ek 10. Fiziksel Değişmezler

Ek Tablo 1. Yararlı bazı sabitlerin matematiksel değeri

Değişmez Adı	Sembol	Değer
Elektron yükü	q	$1.602 \cdot 10^{-19}$ C
Elektron kütlesi	m	$9.109 \cdot 10^{-31}$ kg
Elektron kütleinin yüküne oranı	q/m	$1.759 \cdot 10^{11}$ C/kg
Birim atomik kütleinin atom kütlesi	...	$1.660 \cdot 10^{-27}$ kg
Proton kütlesi	m	$1.673 \cdot 10^{-27}$ kg
Elektron kütleinin proton kütleine oranı	m/m	$1.837 \cdot 10^3$
Planck katsayısı	h	$6.626 \cdot 10^{-34}$ J.s
Boltzmann katsayısı	k	$1.381 \cdot 10^{-23}$ J/K
Boltzmann katsayısı	k	$8.620 \cdot 10^{-5}$ eV/K
Stefan-Boltzman katsayısı	σ	$5.670 \cdot 10^{-8}$ w/(m ²)k ⁴)
Avagadro sayısı	N _A	$6.023 \cdot 10^{23}$ molekül mol
Gaz katsayısı	R	8.314 J / (deg) (mol)
Işık hızı	c	$2.998 \cdot 10^8$ m/s
Faraday katsayısı	F	$9.649 \cdot 10^3$ C/mol
Bir mol'lük hacim	V _o	$2.241 \cdot 10^{-2}$ m ³
Yerçekimi ivmesi	g	9.807 m/s ²
Boşluğun magnetik geçirgenlik katsayısı	μ_0	$1.257 \cdot 10^{-6}$ H/m
Boşluğun dielektrik katsayısı	ϵ_0	$8.849 \cdot 10^{-12}$ F/m

Ek 11. Fiber Optik İletimde Kullanılan Bazı Kavramlar

A

APD (Avalanche photo diode - Çığ etkili fotodiyot): O/E dönüştürücü olup, yavaş çalışan sistemlerde kullanılırlar. Alıcı uçta bulunurlar.

Analog: Bkz. Örnekselel.

Askı Köprü: Havai F/O kabloların askı teli ile fiber damarlar arasındaki bağlantıyı sağlayan plastik bölümdür.

B

Basamak İndisli Tek Modlu Fiber: Kırılma indisi kesiti basamak şeklinde olup, içinde yalnızca tek bir modun yayıldığı fiber damardır.

Basamak İndisli Çok Modlu Fiber: Kırılma indisi kesiti basamak şeklinde olup, içinde birden çok modun yayıldığı fiber damardır.

Buffer: Bkz. Tüp.

C

Çıplak Fiber Adaptörü: fiber damara geçici olarak tutturularak optik sinyalin sisteme geçişini sağlayan konnektörlerdir.

Çok Modlu Fiber: İçinden birden çok modun (uyarımı) yapıldığı ve yayıldığı fiber.

D

Data: Veri.

Darbe Kod Modülasyonu: Darbelerle (sayısal olarak) yapılan modülasyondur. Çoğullamada kullanılır.

Demultiplexer: Bkz. Optik Ayrıştırıcı.

Dereceli İndisli Çok Modlu Fiber: Kırılma indisi kesiti derece derece değiştirilerek elde edilmiş çok modlu fiberdir.

Digital: Bkz. Sayısal.

Dispersion Shifted Fiber Damar (DSF): Bkz. Saçınım Kaydırmalı Fiber Damar.

Duplexer: Bkz. Optik Çiftleyici.

Diyafoni: Bkz. Karışma.

Dönüştürücüler: Bir sinyali istenilen bir sinyale çeviren birimlere denir.

Ek 11'in Devamı**E**

E/O Dönüştürücü: Elektirik sinyalini optik sinyale dönüştüren etkin (aktif) devre elemanlarıdır. Veriş (Transmitter) kolunda bulunur.

F

Fiber Optik (F/O-FO): Işık iletimini temel olarak alan cam ya da plastikten yapılmış damar. Işıksal damar (Lif).

FDM (Frequency Division Multiplexing): Bkz. Frekans Bölüşümlü Çoğullama.

FO-H: (PTT'de) Askı telli fiber optik kablonun kısa gösterimidir.

FO-Y: (PTT'de) Yeraltı fiber optik kablonun kısa gösterimidir.

Frekans Bölüşümlü Çoğullama (FBC): İletilecek bilgi işaretlerini taşıyıcı dizge aracılığıyla herbirini ayrı bir frekansa modüle ederek karışmadan birleştirerek o iletim ortamından birden çok bilgi işaretinin iletilmesini sağlayan çoğullama.

Fresnel Yansıması: Işık bir ortamdan diğer bir ortama geçişte işığın bir kısmı geri yansır (% 4'lük). Bu yansımaya fresnel yansıması denir.

Fiber Kord: İki ucunda konnektör bulunan Optik Ara Bağlantı kablosu.

H

Hat Teçhizatı (Donanımı): Üzerinde E/O ve O/E dönüştürücünün ve koruma devrelerinin bulunduğu kısımdır.

I

ISDN (Integrated Service Digital Network-Tümleşik Hizmetler Sayısal Şebekesi): Tüm sayısal verilerin iletilebildiği şebekesir. Uziletişim ağı.

Istavroz: Havadan çekilen fiber optik (kablo eklerinde) ek kutusunu direğe tutturmak amacıyla kullanılan (profilden yapılmış) malzemedir.

Işık Dalga Kılavuzları (Optical Wave Guide): Lazer ve işık yayan diyotlarca (LED) üretilen iletişim sinyallerini iletilebilen katı cam ya da plastik damar. Işıksal Damar.

J

Jonksiyon: Santrallar veya sistemler arası uziletişimi (teleiletişimi) sağlayan bağlantı.

K

Karışma (Diyafoni): Bir sinyalin diğer bir sistemi etkilemesine denir. Bu etki asıl sinyalibozar, tek yönlü olabileceği gibi çok yönlü de olabilir.

Ek 11'in Devamı

Kılıf:Fiber damarı saran koruyucu

Kritik Açık:Çok yoğun ortamdan azyoğun ortama geçen ışıklar her iki yüzeyi yalayacak şekilde kırıldığı durumkarda gelen ışığın açısına denir.

Kompozit:Karışık, karma

Kompozit Tüp: Sıkı ve Gevşek tüpün birleştirilerek yapıldığı tüptür.

Konnektör:Fiber damarlara mekanik olarak tutturup aynı zamanda optik iletimini sağlayan malzemelerdir.

Kontrol Merkezi (Control Center):Kablolu TV yayınlarının bir araya getirilip denetlendiği ve Yayın Merkezlerine dağıtımının yapıldığı merkezdir.

Koruyucu Kılıf:Çıplak fiber damarları mekanik etmenlerden korumak ve aynı zamanda renklendirerek birbirine karışmasını önleyen birinci kılıftır.

L

LAN (Local Area Network):Bkz. Yerel iletişim bağı.

LID Sistemi (Local injection and Dedektion):Işığı yerel olarak fiber damarın içerisine verip diğer uçtan alma yöntemidir.

LD (Laser Diode): Elektrik enerjisi etkisiyle yayılan ışığı , uyarma sonucu daha bol olarak yayan diyottur.

LED (Light Emitting Diode-Işık Yayan Diyot):Elektrik enerjisi etkisiyle ışık yayan diyotlara denir.

M

Makro Bending: Büyük kıvrımlar

Mikro Bending:Küçük kıvrımlar.

Mod: Bir noktadan elektromanyetik dalga (E.M.D.) veya ışık yayımı yapabilmek için yapılan uyarı.

Modülasyon (Kipleme): 1-Bilgi (Haberleşme) işaretini kullanılacak ileetim ortamına uygun şekilde önceden belirli frekans bölgelerine kaydırılması veya uygun kapasiteli sayısal gruplara yerleştirilmesidir. 2-Girdi değişkenlerinin taşıyıcı bir sinyalin değişkenlerinden en az birini değiştirmesi ile çıktı değişkeninin üretildiği işlem türü.

N

Natural (Doğal Renk): Saydam (Şeffaf) olup ülkemizde şu an her tüp içine birer tane de Doğal Renkli fiber damar yerleştirilmektedir.

Ek 11'in Devamı

Normal (Fizikte): Kırılma indisleri değişik iki ortam arasındaki o yüzeye dik (90°) olan sanal doğrultu.

Normal Doğrultu: Normal doğrultuyu kapsayan (içeren) düzlemdir.

O

OH Soğurması (Yutulması): Fiber damar içinden geçen ışınların büyük bir kısmı nemden dolayı yutulurlar (zayıflarlar). Bu yutulmaya OH soğurması denir.

Optik: Işık.

Optik Ara Bağlantı: Optik sinyali fiber damardan sisteme veya sistemden fiber damara geçişi sağlayan bir ucunda konnektör bulunan ara geçiş elemanıdır.

Optik Ayrıştırıcı (Demultiplexer): Optik Birleştiricinin birleştirdiği farklı dalga boylarındaki (Çoğullanmış olarak gelen) optik sinyali dalga boylarına göre ayırıştıran devre elemanıdır.

Optik Birleştirici (Multiplexer): Değişik dalga boyunda gelen ışıkları birleştirip tek bir optik sinyal gibi birbirine karıştırmadan birleştiren devre elemanıdır.

Optik Çiftleyici (Duplexer - İkileyici): Bir fiber damardan farklı dalga boylarındaki optik sinyallerin çift yönlü geçişini sağlayan devre elemanıdır.

Optik Dağıtım Çatısı veya Paneli (ODÇ): U Linkler veya konnektörler aracılığıyla optik dağıtımın yapıldığı birim.

Optik Dağıtım Kutusu (ODK): Optik Dağıtım Çatısının çok küçük birimidir. Dağıtım Çatısı (ODÇ) kadar esnek değildir.

O/E Dönüştürücü: Optik sinyalleri elektrik sinyallere dönüştüren etkin (aktif) devre elemanıdır. Alış (Recirver) kolunda bulunur.

Optik Filtre (Süzgeç): İstenilen bir dalga boyundaki optik sinyalleri alıp değerlerini söndürerek istenilen dalga boylarını ayır etmeye yarar.

Optik Yineleyici: Optik iletim sisteminde, iletilmek istenen sinyalleri elektrik sinyallerine çevirip, kuvvetlendirip iletilebilecek optik sinyale çeviren aygıt birim.

Optik Zayıflatıcı: O/E dönüştürücünün alış seviyesinden daha yüksek seviyede optik sinyali zayıflatmak için kullanılır.

Ö

Örneksel (Analog): Bilgi işaretinin genliğini gerilim (vb.) ve zaman boyutunda iki boyutta sürekli olacak şekilde tanımlama olayıdır.

Ek 11'in Devamı

Öz Tabaka: Fiber damarın en içinde bulunan ve ışığın iletiildiği bölümdür.

Örtü Tabaka: Bkz. Yansıtıcı tabaka.

S

Saçınım Kaydırmalı Fiber Damar (SKF): Optik zayıflatmayı en aza indirmek için fiber damarın dikine kesitindeki (profilindeki) kırılma indisi değiştirilmiş fiber damar.

Sayısal (Digital): Bir işareti 1 ve 0 şeklinde işaret olarak değerlendiren bir işarettir.

Sayısal İletim (Digital Transmission): Ses, veri, imge gibi sinyalle ikiller (bitler) halinde kodlanıp gönderimini sağlayan elektrojen ya da optik iletim sinyali.

Sayısal Sinyal (Digital Signal): Biri değişkenleri sayılar olan nicelenmiş sinyal.

Ses Bandı Veri İletimi: Ses kanallarının 4 KHz. bandı içinde iletilen 64 kbit/s hızına değin çıkabilen sayısal sinyal.

SONET (Subscriber Optical Network - Optik Abone Devresi): Abonenin optik fiber kablo ile her tür haberleşmesinin yapılabileceği ağ.

T

Taşıyıcı Dalga: En az bir özelliği kipleme (modülasyon) yoluyla değiştirilebilen dalga biçimi.

Taşıyıcı Dizge: Her bir girdinin değişik bir taşıyıcı sıklığına (frekansına) bindirildiği ve sonuçta çözülerek sinyallerin özgün biçimine getirildiği çok girişli ve tek iletişim yollu dizge.

Terminal: Devrelerin bağlantı, bakım onarım vb. işlerin yapılmasını sağlayan uç.

Time Division Multiplexing (TDM): Bkz. Zaman bölüşümlü çoğullama.

Tüp: Fiber damarların dış etkenlerden korunması ve ayırt edilmesi amacıyla kullanılan silindirik kesitli plastik tüpün için fiber damarlar ve dolgu maddesi bulunan kılıflardır.

U

Uç Birim: 1- Bir veri uz iletişim ortamında veri gidiş-çıkışını sağlayan donanım birimi. 2- Şebekeden aldığı bilgiyi kullanıcıya uygun bir biçimde sunan ve kimi tamamlayıcı işlevleri de yerine getiren, kullanıcının yakınında bulunan donatım.

Uçtaki Kullanıcı: 1- Bir dizgedeki bilginin en sonda vardığı nokta. 2- Veri işleme ve bilgi alış verişi için bir kullanıcı ağını kullanan kişi, süreç, izlenice aygıt ya da dizge.

Ek 11'in Devamı

U'Link: Konnektör ve/veya Çıplak Fiber Adaptöründen ışığın geçmesini sağlayan bir pasif optik devre elemanıdır.

Uz İletişim: Bilginin üretilmesi, saklanması, başka bir yere iletimi, işlenmesi ve tüketimi. Teleiletişim (Telekominikasyon).

Ü

Üstün İletken (Süper İletken - Süper Conductor): Yeterince küçük sıcaklıklarda ve yeterince küçük bir manyetik alanda direncin sıfır olduğu madde.

Y

Yansıtıcı Tabaka: Öz tabakasının dışını çevreleyen ve ışığın kırılmasını sağlayarak yeniden öz içinde ilerlemesini sağlayan tabakadır.

Yayın Merkezi (Head-End): Optik olarak gelen kablolu TV yayınlarının alınıp yükselterek Eşeksenli (Koaxsiel) kablolarla (abonelere) dağıtımının yapıldığı merkezlerdir. Dağıtım Merkezi.

Yerel İletişim Ağı: Yerel olarak her türlü iletişimi sağlayan ağ.

Yitim: Yararlı bir iş için kullanılmadan yiten güç, zayıflama.

Z

Zaman Bölüşümlü Çoğullama: İletilecek bilgi işareti saniyede çok sayıda (birkaç binden birkaç milyona kadar) örnek alıp zamanın belirli aralıklarında (bir sıra içinde) bilgi işaretini ileten çoğullama yöntemi.

Zayıflama: Bir sistemin vermiş olduğu enerjinin tümü diğer bir sisteme iletilmez. Bu aradaki enerji kaybına zayıflama denir. Bu kitapta zayıflamayı Optik zayıflama olarak almaktayız.

7. ÖZGEÇMİŞ

Tezin yazarı 1971 yılında Trabzon'da doğmuştur. Trabzon Teknik Lisesi Elektronik Bölümünde okumuştur. Lisans öğrenimine Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektronik Bölümünde devam etmiştir. İngilizce bilmektedir. Üniversite öğrenimi sırasında Türk Telekom A.Ş.'den öğrenim bursu almıştır. Halen Türk Telekom'da Fiber optik kablo mühendisliğinde mühendis olarak çalışmaktadır.



**T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM
DOKÜMANLARI MERKEZİ**