

T.C.
TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HABERLEŞME HATLARINDAKİ YOĞUNLAŞMIŞ DALGA BÖLMELİ
ÇOĞULLAMA SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali ÇILGIN

Anabilim Dalı: Elektrik Elektronik Mühendisliği

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK

TEMMUZ-2013

T.C.
TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HABERLEŞME HATLARINDAKİ YOĞUNLAŞTIRILMIŞ DALGA BÖLMELİ
ÇOĞULLAMA SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali ÇILGIN

(921031013)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Temmuz 2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Temmuz 2013

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK (T.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Zeki OMAÇ (T.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul ÇELİK (T.Ü)

TEMMUZ-2013

Ali ÇILGIN tarafından hazırlanan HABERLEŞME HATLARINDAKİ YOĞUNLAŞMIŞ DALGA BÖLMELİ ÇOĞULLAMA SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK

Tez Yöneticisi

Bu alıŐma, jürimiz tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. Bu tez, Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Zeki OMAÇ (T.Ü)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK (T.Ü)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul ÇELİK (T.Ü)

Tarih : 8 Temmuz 2013

ÖNSÖZ

Çağımız; teknolojinin çok hızla geliştiği bir zaman dilimine gelmiştir. Buna insanoğlunun doyumsuzluğu neden olmaktadır. Gün geçmiyor ki yeni iletişim araçları vitrinleri süslemesin. İnsanoğlunun bu hızı takip etmesi bile artık mümkün olamamaktadır. Kullanılan bu teknolojiler hiç şüphesiz ki insanların interneti daha etkin kullanmasını sağlamaya yönelik olarak gelişim göstermektedir. İnternetin gelişmesi, kullanıcıların indirme ve yükleme eylemlerini istenen düzeye gelmesi anlamına gelmektedir. Artan talep, kesintisiz ve en kaliteli veri aktarımı için sistemlerin ve teknolojilerin gelişimini tetiklemiştir. Bu amaçla Yoğunlaştırılmış Dalga Bölmeli Çoğullama Sistemleri (DWDM) telekomünikasyon sektörünün olmazsa olmazları arasına girmiştir. Bu sayede daha düşük maliyette en kaliteli veri aktarımı mümkün olmaktadır.

Bu konuda bana çalışma imkânı sağlayan başta Tunceli Üniversitesi'ne, ardından bu konu ile ilgili benden desteklerini esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Sayın Ömer ÇELİK'E, bana deneylerimi yapma imkânı sağlayan Tunceli Türk Telekom'a teşekkür ederim.

Ali ÇILGIN

TUNCELİ – 2013

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
1.GİRİŞ	1
1.1.1 Türkiye’ de Telekomünikasyon Tarihçesi	3
1.1.2 Kavramlar	7
1.2 DWDM (YOĞUNLAŞTIRILMIŞ DALGA BÖLMELİ ÇOĞULLAMA)	11
1.2.1 Optik Haberleşme İlkeleri	12
1.2.2 DWDM İçin Temel Optik Bilgisi	14
1.2.3 DWDM Hat Yapısı	31
1.2.4 İletim Kapasitesinin Gelişimi	70
1.2.5 ITU Standartları	81
2.MATERYAL METOT	86
2.1 OSA (Optical Spectrum Analyzer) (Optik Spektrum Analizörü)	86
2.2 Optical Attenuator (Optik Zayıflatıcı)	86
2.3 MTS5800	86
3.BULGULAR	87
4.ÖNERİLER	88
KAYNAKÇA	87
ÖZGEÇMİŞ	89

ÖZET

İletişim, canlılar arasında her dönemde olmuştur. İletişim kurabilmek için her çağ kendine göre çözümler sunmuştur. İnsanoğlunun ateşi kullanarak ya daha başka ilkel yöntemlerden günümüze gelen bir yapı söz konusudur. Bu yapı belli zamanlarda en üst seviyeye çıkmıştır. İçinde bulunduğumuz çağ iletişimi en etkin şekilde kullandığımız bir çağdır. Öyle ki; yanımızda oturan arkadaşımızla konuşmak yerine SMS, e-mail atarak ya da farklı sosyal paylaşım siteleri aracılığı ile isteklerimizi bildirdiğimiz zamanlar olmuştur.

Bu yapı insanları ne kadar birbirlerinden uzaklaştırırsa da teknolojik olarak yakınlaştırmaktadır. Sistem içerisinde insanların bu hizmetleri daha kaliteli bir şekilde almasını sağlamak için çeşitli telekomünikasyon şirketleri altyapı sağlayıcısı olarak rol almaktadır. Söz konusu şirketler müşterilerinin talepleri doğrultusunda kendilerini sürekli olarak geliştirmektedir. Gelişim için de bilimin sunmuş olduğu teknoloji kullanılmaktadır. İletim amaçlı olarak kullanılan yoğunlaştırılmış dalga bölmeli çoğullama (DWDM) sistemleri bu tez içerisinde anlatılmıştır. Işık kullanılarak iletimin nasıl gerçekleştirildiği, kullanılan malzemeye bağlı olarak kalitenin nasıl değiştiği görülmüştür.

DWDM teknolojisinin artan trafiği karşılamada nasıl çözümler sunduğu tez içerisinde anlatılmaktadır. Bazen şaşırtıcı boyutlara varan trafikleri taşımak için kullandığımız teçhizat ile eskiden sadece bir ses trafiğini taşımak için kullanılan teçhizatların büyüklüğüne ve maliyetine bakılırsa teknolojinin geldiği nokta hiç şüphesizki daha iyi anlaşılacaktır.

DWDM kullanılarak km'lerce mesafelere bilginin taşınması nasıl gerçekleştirilmektedir? Bakır yerine optik tabanlı cihazların geliştirilmesi bu yapıyı mümkün kılmıştır. İnternetin bağlı olduğu serverlardan sürekli olarak yapılan bilgi akışı DWDM teknolojisi ile daha kolay hale gelmiştir.

Tunceli ilinde 2 ayrı merkezde (Merkez ve Pülümür ilçesi) yapılan çalışmalar sistemin uygulamalı olarak test edilmesini sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler:DWDM,SMS,Email,Trafik,Teknoloji,Haberleşme

SUMMARY

A Research About DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) on Communications Systems

Communication has been in every term. Every century has some solutions on communication. A structure has been until nowadays like using fire or another rude methods. These structure sometimes on peak. And our century is using communication the best. So that; we can use e-mail, sms, and some different social networks when we want to speak with our friends who sits near us.

Although this structure put some distance between people, it cause to become close friends in terms of tecnology. There are many telecommunication companies to provide this groundwork to get qualified. And this companies develop themselves every day according to people requests. They use science for developing. We tell DWDM which is used for in transmission systems. To see that how the transmission achieve with light and also how the qualified change with stuffs.

We tell DWDM solutions on too much traffic in communication systems. We can be confused when we see the size of communication systems which transmitted only a voice. And we can compare systems size also we can be confused about past usage and now usage.

How data transmission can be to miles and mileswith using DWDM? Using optic instead of Cooper make it possible. Using DWDM between internet servers and users increase data rate easily.

We tests the systems in two districts of Tunceli(Merkez-Pülümür) and see systems live.

Keywords:DWDM, SMS,Email,Traffic,Tecnology, Communication,

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 Analog İşaret	8
Şekil 2 Dijital İşaret	9
Şekil 3 Bir analog işaretin bileşenleri	9
Şekil 4 Basit bir haberleşme haritası.....	11
Şekil 5. Ayrıntılı Bir Haberleşme Haritası	11
Şekil 6. DWDM'de sorunlara yol açan etkiler	15
Şekil 7 Emilim	17
Şekil 8 Saçılma	17
Şekil 9 Dispersiyon Olayı	18
Şekil 10 Kromatik dispersiyon etkisi örneği	18
Şekil 11 Mod dispersiyonunun nedeni	19
Şekil 12 Kromatik Dispersiyon	20
Şekil 13 Dalga kılavuzu dispersiyonunun nedeni	20
Şekil 14 Polarizasyon mod dispersiyonu	21
Şekil 15 Fiberde ilerlemeden önce ve ilerledikten sonra bit şekli	22
Şekil 16 Özet olarak doğrusal olmayan etkiler	23
Şekil 17 Raman saçılması	24
Şekil 18 Partikül açısından Raman saçılması	24
Şekil 19 Raman tilti	25
Şekil 20 Rayleigh ve Brillouin Saçılması	26
Şekil 21. SBS Güç Eşiği	26
Şekil 22. Dört dalgalı karışma	27
Şekil 23 FWM ölçümü	28
Şekil 24 FWM, dispersiyon unsuru olmaksızın ve dispersiyonlu dağılımı	28
Şekil 25 Sıfır noktasının altında ve üstünde SPM'nin etkileri.....	29
Şekil 26 XPM	30
Şekil 27 Doğrusal optik etkileri	30
Şekil 28 Doğrusal olmayan optik etkileri	31
Şekil 29 DWDM sistemlerindeki parçalar	32
Şekil 30 İlk DWDM işaret spektrumu	32
Şekil 31 Filtrelenmiş işaret spektrumu	33
Şekil 32 Girişim	33
Şekil 33 Dielektrik ince film filtre	34
Şekil 34 Bragg ızgarası	35
Şekil 35 Fiber Bragg ızgarası	35
Şekil 36 Mach Zender filtresi	36
Şekil 37 Prizmanın etkisi	37
Şekil 38 Izgaranın etkisi	37
Şekil 39 Dar bantlı DTF filtreleri kullanarak ayırma	38
Şekil 40 Dizi dalga kılavuzlu ızgaranın işlevleri	39
Şekil 41 Bir AWG kanalı iletimi örneği	39
Şekil 42 Mach Zender interferometresinin işlevleri	40
Şekil 43 Ayırıcı olarak fiber ızgara	40
Şekil 44 Optik/elektrikli rejeneratörlerden optik yükselticilere geçiş	41

Şekil 45 Optik yükseltici uygulamaları.....	42
Şekil 46 Bir EDFA'nın yerleşim düzeni.....	43
Şekil 47 EDFA'nın işlevleri	43
Şekil 48 EDFA'da gürültü (ASE) oluşumu	44
Şekil 49 Fiber yükselticilerde kullanılan maddeler	45
Şekil 50 Bir Raman yükselticisinin işlevleri	45
Şekil 51 Karşıt yönden pompalanan bir Raman yükselticisinin yerleşim düzeni	46
Şekil 52 Karşıt yönden pompalanan bir Raman hattı boyunca tipik güç şeması	46
Şekil 53 Yaygın olarak bilinen boyutlara sahip bir fiber optiğin tipik yapısı	47
Şekil 54 Dispersiyonu kaydırılan fiber için katkı profilleri	48
Şekil 55 Dispersiyonu kaydırılan fiber	48
Şekil 56 Sıfır olmayan dispersiyonu kaydırılan fiber örneği	49
Şekil 57 NZDF örneği	49
Şekil 58 Etki alanı geniş fiberlerde güç yoğunluğu	50
Şekil 59 Etki alanı geniş fiber	51
Şekil 60 Farklı fiber enine kesitleri ve bağlantı yeri örnekleri.....	51
Şekil 61 Dengeleme fiberi kullanılarak dispersiyonun dengelenmesi	52
Şekil 62 Salınımlı fiber Bragg ızgarasının etkisi	52
Şekil 63 Salınım olmaksızın iletim örneği	54
Şekil 64 Salınımla indüklenmiş bozulma ile iletim örneği	54
Şekil 65 Salınımla indüklenmiş dispersiyon dengelemesine sahip iletim örneği	55
Şekil 66 Bir PMD dengeleyicisinin yerleşim düzeni	56
Şekil 67 Doğrudan modülasyonlu lazer konfigürasyonu	57
Şekil 68 Harici modülasyonlu lazer konfigürasyonu	57
Şekil 69 Fabry-Perot lazeri	58
Şekil 70 DFB lazeri.....	58
Şekil 71 Farklı LED ve lazer tiplerinin özellikleri	59
Şekil 72 Kanal bant genişliğinde modülasyon etkisi	60
Şekil 73 Modülasyon ile spektral genişleme	60
Şekil 74 Yarı iletken MQW modülatörü	61
Şekil 75 Bir Mach Zender modülatörünün yerleşim düzeni	61
Şekil 76 Bir foto diyodun yerleşim düzeni	62
Şekil 77 PIN ve APD diyodunun işlevleri	63
Şekil 78 Farklı detektör maddelerinin spektral yanıtı.....	63
Şekil 79 Optik dağıtıcı	64
Şekil 80 Bir optik yalıtıcının işlevi	64
Şekil 81 Konnektör tipleri	66
Şekil 82 Konnektör tipleri	66
Şekil 83 Bir optik çapraz bağlantının işlevleri	67
Şekil 84 OXC'nin yükselmesi	67
Şekil 85 Aktarma için kabarcıkların kullanılması	68
Şekil 86 Termo-optik aktarmalar	68
Şekil 87 Bir MEMS modülünün işlevleri	69
Şekil 88 MEMS'in elektron mikroskopik fotoğrafı	70
Şekil 89 İletim kapasitesinin gelişimi	71
Şekil 90 Uluslar arası internet bant genişliği	71
Şekil 91 TDM, FDM ve WDM teknikleri arasında yapılan karşılaştırma.....	73
Şekil 92 Elektromanyetik tayf.	75

Şekil 93 100Ghz ızgara dalga boyu planı	75
Şekil 94 50Ghz ızgara dalga boyu planı	76
Şekil 95 WDM'siz durum	77
Şekil 96 WDM'li durum	77
Şekil 97 Kısa mesafe uygulaması örneği	78
Şekil 98 Orta mesafe uygulaması örneği	78
Şekil 99 Uzun mesafe uygulamaları örneği	79
Şekil 100 Verici-Alıcı uygulaması	80
Şekil 101 Optik NE Tipleri	81
Şekil 102 Bazı ITU standartları	82
Şekil 103 DWDM için kullanılan OSA FTB500 cihazı	87
Şekil 104 Tunceli-Pülümür arasında çalışan OptixOSN8800 cihazı	87
Şekil 105 OSA ölçüm yapılmadan önceki ekranı	88
Şekil 106 Tunceli-Pülümür arasında kullanılan dalga boyları	89
Şekil 107 1. Kanala ait değerler	90
Şekil 108 Yoğun trafikli bir hat	90
Şekil 109 Hatalı Çalışan Bir Trafik	91
Şekil 110 Hatasız çalışan bir trafik	92
Şekil 111 Tunceli-Pülümür 1.Kanal Değerleri	93
Şekil 112 Tunceli-Pülümür 2. Kanala ait değerler	93

SEMBOLLER LİSTESİ

AWG	: Dizi Dalga Kılavuzlu Izgaralar
ATM	: Eşzamansız aktarım modu
AON	: Bütün bir ağ
ATM SW	: Asynchronous Transfer Mode Switch(Asenkron iletim anhtar)
APD	: Çığ Foto Diyodu
BS	: Base Station (Baz istasyonu)
BW	: Band Width(Bant genişliği)
CD/DVD	: Compact disk, Digital Video Disk
D	: Bragg ızgaraları arasındaki mesafe
DFB	: Dağıtılmış Geri besleme
DWDM	: Yogun Dalga Boyunu Bölerek Çoğullama (Dense Wavelength Division Multiplexing)
DTF	: Dielektrik İnce Film Filtre
EDFA	: Erbium Katkılı Fiber Yükseltici (Erbium-Doped Fiber Amplifiers)
EDFA	: Erbiyum Katkılı Fiber Yükseltici
FB	: Fabry-Perot
F	: Frekans
FEC	: Forward Error Correction (İleri Yön Hata Düzeltme)
FWM	: Dört Dalgalı Karışma
FTTH	: Fiber To The Home (Eve kadar fiber)
FBG	: Fiber Bragg Izgaraları

FDM	: Frekans bolmeli çoğullama
Hz	: Hertz
IP	: Internet Protocol(İnternet Protokolü)
ITU	: Uluslar arası telekomünikasyon birliği
L3 SW	: Layer3 Switch (3. Katman anahtar)
MEMS	: Mikro elektro mekanik sistemler
MQW	:Çoklu Kuantum Kaynağı
MLM	: Çoklu-Uzunlamasına Modlu
N	: Kanal indisi
NZDF	: Dispersiyonu sıfır olmayan fiber
NE	: Ağ elemanı
OLT	: Optical Line Terminal (Optik Hat Terminali)
ONU	: Optical Network Unit(Optik Ağ Ünitesi)
ODMX	: Optik demultiplex
OMX	: Optik multiplex
OSA	: Optik spektrum analizörü
OADM	: Optik Ekle/Çıkart işlevli Çoklayıcı
PicoBS	: Pico-cell Base Station(küçük baz istasyonu)
PMD	:Polarizasyon Mod Dispersiyonu
PDH	: Eşzamanlı dijital hiyerarşi
RNC	: Radio Network Controller (Radyo Ağ Kontrolörü)
SONET	: Synchronous Optical Network(Senkron Optik Ağ)

SDH	: Synchronous Digital Hierarchy(Senkron Dijital Hiyerarşi)
SBS	:Uyarılmış Brillouin Saçılması
SPM	:Kendiliğinden Faz Modülasyonu
SRS	:Uyarılmış Raman Saçılması
STB	: Set Top Box(Ayar kutusu)
SMF	: Tek modlu fiber
SDH	:Senkron dijital hiyerarşi
T	:Periyod
TDM	:Zaman Paylaşımlı Çoğullama (Time Division Multiplexing)
TCP/IP	: Transmission Control Protokol(iletim kontrol protokolü) internet protokolü
TDM	:Zaman bolmeli çoğullama
UnitMC	: Media Converter(Medya çevirici)
VOA	:Ayarlanabilir yükselteç
XPM	:Çapraz Faz Modülasyonu
Λ	:Işık hızı
$\Delta\tau$:PMD gecikme katsayısı

1.GİRİŞ

Yazının icadı işaretler ile anlaşma ve iletişim kurma yöntemlerini geliştirmiştir. Kayda alınma ile tarih sonraki nesillere aktarılmıştır. Yazı taşa, çamurdan parçalara, ağaca, madeni levhalar üzerine, kâğıda yazılmıştır. Konuşmaların yazı ile ifade edilmeye başlaması ilk kez Sümer' de ve Eski Mısır' da gerçekleşmiştir. Finikeliler ve Romalılar bugünkü alfabeyi oluşturdular. Sümerliler çivi yazısını, Mısırlılar hiyeroglif yazıyı, Romalılar Latin yazısını kullandılar. (Cora, 1991)

- M.Ö 3000 civarı: Mısırdaki hiyeroglif adı verilen yazı sistemi bulundu. Bu yazılar insan hayvan ve eşya şekillerinden ve bazı sembollerden oluşmaktaydı.
- M.Ö 1300 Civarı: Mezopotamya'da (Bugünkü Suriye ve Irak toprakları) ilk alfabenin kullanıldığı bilinmektedir.
- 1045 yılı: Mısırlılar tarafından bulunan papirüs adlı kâğıdı geliştiren Çin'de ilk kez Pi CHENG adlı mucit matbaa harflerini icat etmiş ve kitap basmıştır. Daha sonraları
- 1645 yılı: Avrupa'da Gutenberg adlı mucit matbaa makinesini icat etmiştir.
- 1820 yılı: Danimarkalı OERSTED adındaki bilim adamının elektromanyetik akımı keşfetmesiyle günümüzde kullanılan modern iletişim araçlarının temel çalışma prensipleri doğmuştur.
- 1826 yılı: Günümüzde en yaygın iletişim araçlarından biri olan Fotoğrafi Fransız NIEPCE tarafından bulunmuştur.
- 1843 yılı: Amerikalı bilim adamı kendi adı olan ve (.) ve (-) lerden oluşan MORS alfabesini icat etmiştir.
- 1867 yılı: Amerikalı politikacı ve mucit SHOLES ilk daktilo makinesini icat etmiştir.
- 1873 yılı: Maxwell elektromanyetik dalga denklemlerini buldu.
- 1876 yılı: Amerika'da İskoçya asıllı araştırmacı A.Graham BELL elektrik telleri üzerinden ilk insan sesini iletmeyi başarmış ve bu aletin adına Tele-Phone: Telefon yani uzaktan konuşma adını vermiştir. BELL ile yardımcısı Watson arasında 10Mart 1876 da odadan odaya gerçekleşen bu buluş modern iletişimin başlangıcı sayılmaktadır. Telefonda hemen hemen her gün kim bilir kaç kez kullandığımız ALO sözcüğü, gerçekte bir sevgilinin adının "kısaltılmış" biçimidir. Sevgilinin "tam adı"

"Alessandra Lolita Oswald" dur. Bu sevimli genç kız, telefonu icat eden Alexander Graham Bell'in sevgilisiydi. Graham Bell, telefonu icat edince, ilk hattı sevgilisinin evine çekmişti.

- 1877 yılı: Amerikalı araştırmacı EDISON Fonograf denilen ve ses kaydetmeye yarayan ilk aleti icat etmiştir. İlk kez köpeğinin sesini kaydettiğı bu cihaz günümüzde kasetçaların ve CD/DVD çaların temelini yaratan buluş olmuştur.
- 1894 yılı: Fransız LIMUERE kardeşler İlk sinema makinesini icat etmişlerdir. Böylece görüntünün kayıt edilmesi, saklanması ve yeniden gösterilmesi imkânlı hale gelmiştir. Bu buluş iletişimde devrim sayılmaktadır.
- 1896 yılı: İtalyan MARCONI ilk mors alfabesiyle yaptığı Radyo yayınına başlamıştır. Daha sonra 1901 de ilk okyanus aşırı radyo yayını yapılmıştır. 1907 Yılında ise Kanadalı FESSENDEN adındaki bilim adamı insan sesiyle ilk radyo yayınına yapmıştır.
- 1922 yılı: KORN adlı Alman bilim adamı elektrik tellerinden fotoğraf gönderebilen ilk faks makinesini icat etmiştir.
- 1926 yılı: Logie BAIRD adındaki İskoçyalı bilim adamı insan yüzünün görüntüsünü radyo dalgalarıyla çok uzaklara gönderebilen ve Tele-Vision: Televizyon denen ve uzaktan görme anlamına gelen aleti icat etmiştir. 1936 yılında İngiltere'de İlk kez siyah beyaz TV yayınları BBC tarafından başlatılmıştır.
- 1938 yılı: CARLSON adındaki Amerikalı bilim adamı PhotoCopy: Fotokopi cihazını icat etmiştir.
- 1946 yılı: Amerikalı J.ECKERT ve arkadaşı MAUCHLY adlı bilim adamları askeri amaçlı hesaplar yapmak için dünyanın ilk bilgisayarını icat etmişlerdir. ENIAC adını verdikleri bu bilgisayar 30 ton ağırlığında ve 4 apartman dairesi büyüklüğünde olup içinde 18 000 elektronik tüp (Lamba) bulunmaktaydı. Bu alet günümüzde kullanılan modern bilgisayarların babası sayılmaktadır.
- 1947 yılı: Transistor keşfedildi
- 1962 yılı: Amerikalılar dünyanın ilk iletişim uydusu olan TELSTAR uzaya fırlatmışlardır. Bu uyuyla kıtalar arası Telefon konuşmaları Tele faks Telex haberleşmeleri ve TV -Radyo yayınları yapılması olanaklı hale gelmiştir.

- 1962 yılı: Yörüngedeki iletişim uyduları ilk kez röleli ve yükselteçli telefon sistemleri iletimini kullandı
- 1970 yılı: Amerika'da üniversiteler arası bilgi iletişiminde kullanılmak üzere ARPA denilen yeni bir iletişim sistemi gerçekleştirilmiştir. Bu sistemle ayrı şehirlerdeki bilgisayarların birbirlerine bağlanabilmeleri mümkün olmuştur. 1974 de bu iletişime standart getirilmiş ve adına TCP/IP protokolü denmiştir. Aynı yıllarda Amerika da IBM şirketi bilgi depolamada ve bunun farklı makinelerde kullanılmasını sağlayan ve Floppy denilen disketleri icat etmiştir.
- 1981 yılı: Amerika'da IBM şirketi İlk kişisel bilgisayar denilen ve bugün iletişimde devrim sayılan ve PC adını verdiği bilgisayarı üretmeye başladı.
- 1982 yılı: Hollandalı PHILIPS ve Japon SONY şirketleri Compact Disk (CD) denilen aleti üretmişlerdir Bu cihazlar çok düşük seviyeli LAZER ile çalışmaktadırlar
- 1983 yılı: Amerikalı Microsoft firması günümüzde de hala kullanılmakta olan ve iletişimde çığır açan Windows adını verdiği yazılım sistemini icat etmiştir.
- 1985 yılı: Amerika'da kullanılmakta olan ARPA iletişim sisteminin adı INTERNET adıyla değiştirilmiştir. İnternet bilgi otobanı anlamına gelmektedir
- 1990 yılı: Yaşadığımız çağa adını veren ve iletişimde bu gün son nokta olan WWW yani World Wide Web icat edilmiştir. (Cora, 1991)

1.1.1 Türkiye' de Telekomünikasyon Tarihçesi

- 23 Ekim 1840: Bugünkü Türk Telekom'un Postahane-i Amirane adıyla Sultan Abdülmecit tarafından kuruldu.
- 9 Ağustos 1847: İlk telgraf alma-çekme işleminin başarıyla gerçekleştirilmesi üzerine ilk telgraf hattının İstanbul-Edirne arasında döşenmesine başlandı.
- Temmuz 1881: İstanbul Soğuk çeşme'deki Posta ve Telgraf Nezareti binasıyla Yeni Cami'deki postane arasında tek telli bir telefon çekildi.
- 3 Mayıs 1909: İlk manüel telefon santrali, İstanbul Büyük Postane binasında 50 hatlık olarak tesis edildi.
- 4 Şubat 1924: 406 sayılı Telefon ve Telgraf Kanunu ile yurdun her tarafında telefon tesis etme ve işletme görevi PTT Genel Müdürlüğü'ne verildi.

- 11 Eylül 1926: Türkiye'nin ilk otomatik telefon santrali, 2000 hatlık kapasiteyle Ankara'da hizmete verildi
- 1 Eylül 1929: Tek devreli ilk şehirlerarası haberleşmesi Ankara-İstanbul arasında gerçekleştirildi.
- 1940 yılı: Ankara-İstanbul arasında tesis edilen 2 adet tek kanallı havai hat çoklayıcı sistemi haberleşmede eskiye göre büyük kolaylık sağladı.
- Kasım 1973: İlk otomatik teleks santrali kuruldu.
- 6 Nisan 1976: Antalya-Catania arasında toplam 480 kanallı ilk denizaltı koaksiyel kablosunun hizmete verilmesiyle, çok kanallı yurtdışı haberleşmesi sağlandı.
- 23 Nisan 1979: İlk uydu haberleşme yer istasyonunun hizmete verilmesiyle INTELSAT üzerinden Atlantik bölgesi uyduları kullanılarak 13 ülke ile haberleşme sağlandı.
- 18 Aralık 1984: Türkiye'nin ilk sayısal telefon santrali, Ankara Kavaklıdere'de hizmete verildi.
- 10 Nisan 1985: Haberleşmede kanal kapasitesini artıran fiber optik kablo, ilk kez Ankara(Ulus)-Gölbaşı Uydu yer merkezi arasında yeraltında döşenerek 1310 nm dalga boyunda 140 Mb/s'lik sistem hizmete verildi.
- Kasım 1985: İlk sayısal radyolink sistemi Ankara-İstanbul arasında hizmete verildi.
- 23 Ekim 1986: Mobil telefon, Ankara ve İstanbul'da; çağrı cihazları da Ankara, İstanbul ve İzmir'de hizmete verildi.
- 4 Mart 1987: Avrupa'da ilk olarak uydu sistemi üzerinden video konferans ülkemizde gerçekleştirildi.
- 15 Temmuz 1987: İller arasına fiber optik kablo, ilk kez Aydın-Denizli arasında havai olarak döşendi.
- Aralık 1988: İlk olarak Ankara, Çankaya'da Kablo TV hizmeti verilmeye başlandı.
- 1989: DPN modülleri kullanılarak ilk Paket Anahtarlamalı Data Şebekesi olan TURPAK kuruldu. Şebeke üzerinden X.25, ITI, SNA servisleri verilmeye başlandı.
- 21 Aralık 1990: Fransız Aerospatiale firması ile "TÜRKSAT Milli Haberleşme Uyduları" sözleşmesi imzalandı.
- 24 Aralık 1990: EMOS 1 projesiyle, İtalya-Yunanistan-Türkiye-Ortadoğu arasında fiber optik denizaltı kablosu üzerinden haberleşme sağlandı.

- 1991 yılı: Kırsal alan santrallerinin transmisyonunu sağlamak üzere düşük kapasiteli sayısal radyolink sistemleri servise vermeye başlandı.
- 23 Şubat 1994: Türkiye GSM teknolojisiyle tanıştı. Haberleşmede sınır tanımayan GSM ilk kez Ankara, İstanbul ve İzmir'deki abonelerine hizmet vermeye başladı.
- Nisan 1994: Özel bir santralin (PABX) sağladığı tüm özellikleri Ulusal Telefon Şebekemiz üzerinden sağlayan Centrex telefon hizmeti vermeye başlandı.
- 11 Ağustos 1994: Türkiye'nin ilk uydusu TÜRK SAT uzaya fırlatıldı.
- 1994: TURMEOS-1 (Türkiye Marmara Ege Optik Sistemi) ve TURCYOS (Türkiye-Kuzey Kıbrıs Denizaltı Fiber Optik Kablosu) hizmete verildi.
- 24 Nisan 1995: PTT'deki telekomünikasyon ve posta hizmetlerinin birbirinden ayrılmasıyla Türk Telekomünikasyon A.Ş. kuruldu.
- 1996 yılı: Türkiye-İtalya-Ukrayna-Rusya'yı kapsayan ITUR Denizaltı Fiber Optik Kablo Sistemi servise verildi. TURPAK şebekesi üzerinden yüksek hızlı veri iletimi sağlayabilen Frame Relay ve ATM servisleri devreye verildi. Türkiye Ulusal İnternet Altyapı Ağı (TURNET) hizmete verildi
- 12 Nisan 1996: Ses, veri ve görüntü iletim altyapısını teşkil eden, santraller arası bir işaretleşme sistemi olan NO 7 Türkiye'ye merhaba dedi.
- 10 Temmuz 1996: Türkiye'nin ikinci uydusu TÜRK SAT 1C uzaya fırlatıldı.
- 7 Kasım 1996: Türk sat uydularını üreten Aeorspatiale ve Türk Telekom ortaklığıyla kurulan Eurasiasat'ın kuruluş anlaşması imzalandı.
- 1997 yılı: Türkiye'deki tüm üniversiteleri TURPAK şebekesi üzerinden birbirine bağlayan Ulusal Akademik Ağ (ULAKNET) projesi hayata geçirildi. KAFOS (Karadeniz Fiber Optik Sistemi) ve TBL (Trans balkan Linki Karasal Fiber Optik Sistemi) hizmete verildi.
- Nisan 1997: Ses frekans kablosu şebekesinin daha uygun bir şekilde kullanılması amacıyla sayısal hat çoklayıcı sistemlerin kullanımına başlandı.
- 27 Nisan 1998: GSM lisansı, 25 yılına Türkcell ve Telsim şirketlerine devredildi.
- 28 Ağustos 1998: İnternet erişimini Türkiye geneline yaymak, hızlı ve kaliteli hizmet sunabilmek amacıyla yeni adıyla TTNetwork eski adıyla TTNet ulusal internet altyapı ağına ilişkin sözleşme imzalandı.

- 29 Ocak 2000: Türk Telekom, 23948 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 4502 sayılı Kanun ile KİT statüsünden çıkarılarak özel hukuk hükümlerine tabi anonim şirket oldu.
- 11 Ocak 2001: Türk Telekom ve Alcatel ortaklığı ile kurulan EURASIASAT şirketi tarafından yaptırılan TÜRK SAT 2A uydusu Güney Amerika'daki Kourou Üssü'nden uzaya fırlatıldı.
- Mayıs 2001: Sabit telefonlardan CLIP (Arayan Numaranın Görülmesi) ve CLIR (Arayan Numaranın Görülmemesi) özelliği hizmete verildi.
- 1 Şubat 2002: Türk Telekom, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği'ne (ITU) ve işletmecisi olarak, sektör bazında Radyo iletişim ITU-R, Standardizasyon ITU-T, Geliştirme ITU-D kuruluşlarına üye oldu.
- Nisan 2003: SDH (Synchronous Digital Hierarchy) tabanlı sayısal radyo sistemleri servise vermeye başlandı.
- Ekim 2003: Deneme amaçlı ilk Metro Ethernet uygulamaları başlatıldı.
- 2004 yılı: Türk Telekom'un GSM Operatörü Aycell ile İŞ-TİM'in birleşmesi sonucu kurulan TT&TİM İletişim Hizmetleri A.Ş. "Avea İletişim Hizmetleri A.Ş." ticari unvanı ile 19 Şubat 2004 tarihinde resmen kuruldu.
- 17 Mayıs 2004: Telekomünikasyon Kurumu tarafından UMTH'ye yönelik 2. Tip telekomünikasyon lisansları vermeye başlandı. UMTH konusunda lisans alan firmalar ile Türk Telekom arasında "C Tipi UMTH'ye İlişkin Ara bağlantı Sözleşmesi" imzalanmaya başlandı.
- 8 Mayıs 2004: İstanbul Türkiye ve Katanya (İtalya) arasındaki MEDTÜRK Denizaltı Fiber Optik Kablo Sistemi hizmete verildi.
- 22 Temmuz 2004: Türk sat Uydu Haberleşme ve İşletme Anonim Şirketi (Türk sat A.Ş.) kuruldu. Türk Telekom'dan ayrı bir şirket olarak faaliyetine başladı.
- 14 Kasım 2005: Türk Telekom'un özelleştirilmesi çalışmaları tamamlanarak, yüzde 55'i Oger Ortak Girişim Grubu'na devredildi. (Cora, 1991)

1.1.2 Kavramlar

1.1.2.1 Telefonun temel çalışma prensibi

Bir elektrik devresi üzerinden bir telefon konuşmasının yapılması sırasında meydana gelen olaylar şöyle sıralanabilir;

- 1) Ses enerjisi mekanik enerjiye dönüşür.
- 2) Mekanik enerji elektrik enerjisine dönüşür.
- 3) Elektrik enerjisi nakledilir.
- 4) Karşı tarafta elektrik enerjisi manyetik enerjiye dönüşür.
- 5) Manyetik enerji mekanik enerjiye dönüşür.
- 6) Mekanik enerji ses enerjisine dönüşür.

Elektrik titreşimlerinin havadaki yayılma hızı 300 bin km/sn mertebesinde olduğundan telefon ile konuşanlar, aradaki uzaklığa rağmen, karşı karşıya bulunuyorlarmış hissine sahiptirler. Telefon cihazı bağlı bulunan santraller yardımıyla karşı taraftaki kişi ile konuşmayı sağlar ve santral de bu konuşma esnasında ücretlendirmeyi yapar.

1.1.2.2 Sinyal

➤ Verici Sistem

Gönderilecek elektrik sinyallerini modülasyon işlemiyle fiziki kanalda veya yayılım ortamında gönderilmeye uygun hâle getirir. Verici sistemin gücü ve kalitesi iletilebilecek mesafeyi belirlemede rol oynar.

➤ Alıcı sistem

Alınan sinyaldeki mesajın gönderilmeden önceki hâliyle elde edilmesini sağlayan elektronik elemanlardan oluşan cihazlardır. Modüle edilerek gönderilen sinyali demodüle ederek kullanıcının anlayabileceği aşamaya gelmesini sağlar.

➤ **Sinyal Zayıflaması**

Ortama göre değişkenlik gösteren ve genelde mesafe ile ters orantılı olarak değişen bir parametredir.

➤ **Sinyal Bozulması (distortion)**

İletilen sinyalin farklı nedenlerle bozulması olaydır. Gerek iletim ortamının etkisi, gerekse kullanılan iletim tekniğine bağlı olarak sinyalde bozulmalar meydana gelebilir.

➤ **Analog İşaret**

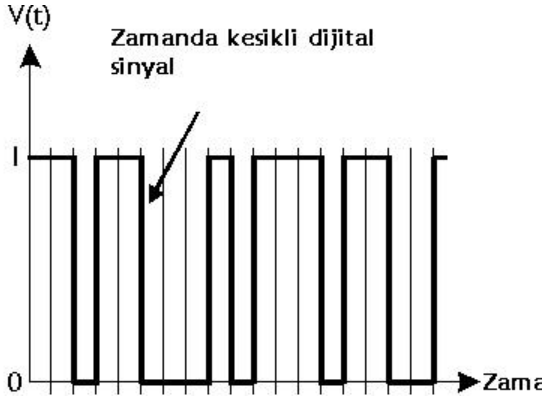
Genliği, frekansa ve faza bağlı olarak zamanla değişen işarettir. Şekil-1 de gösterilmiştir.

➤ **Sayısal işaret**

Sayısallaştırılmış sinyal. Bir analog sinyalden belirli örnekler alınır ve analog sinyalin tam karşılığı olmayan dijital sinyal oluşturulur. Girişteki verinin saklanma veya aktarılma şeklinin değiştirilmesiyle elde edilir. Sayısal veri ile analog veri arasındaki en büyük fark, analog verinin sürekli olan bir ölçekte, sayısal verinin ise rakamlarla sınırlı olan, sürekli olmayan bir ölçekte var olmasıdır. Şekil-1 deki analog sinyalin şekil-2 de dijital sinyal olarak gösterimi mevcuttur.



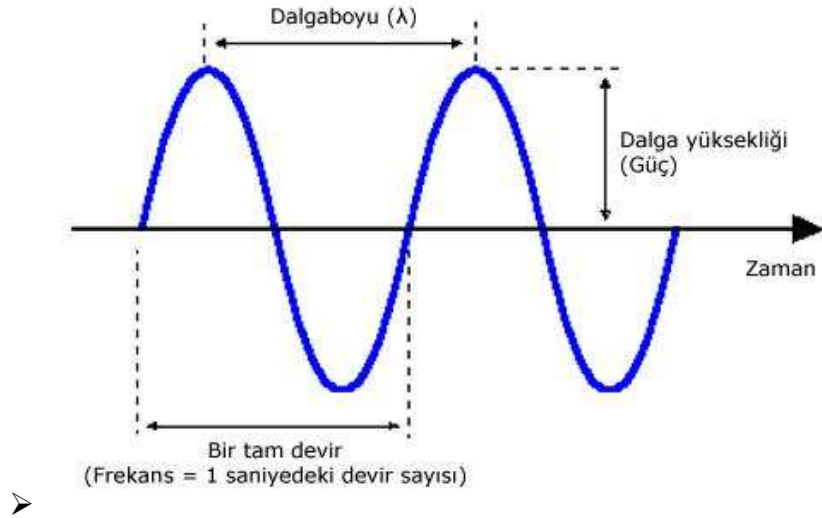
Şekil 1 Analog İşaret



Şekil 2 Dijital İşaret

➤ Periyot

Bir $x(t)$ analog işarete $x(t+T)=x(t)$ olacak şekilde T pozitif bir sayı ise Bu işaret periyotiktir. T değerine periyod ve $f=1/T$ ($\text{Hz}=1/\text{sec}$) periyodun tersine de frekans denir. Frekans 1 saniyedeki periyot sayısıdır.



Şekil 3 Bir analog işaretin bileşenleri

➤ Frekans

Frekans veya titreşim sayısı bir olayın birim zaman (tipik olarak 1 saniye) içinde hangi sıklıkla, kaç defa tekrarlandığının ölçümüdür, matematiksel ifadeyle periyodun çarpmaya göre tersidir. Bir olayın frekansını ölçmek için o olayın belirli bir zaman aralığında kendini kaç kere

tekrar ettiği sayılır sonra bu sayı zaman aralığına bölünerek frekans elde edilir. SI birim sisteminde frekans, Hertz (Hz) ile gösterilir. Bir Hertz, bir olayın saniyede bir tekrarlandığı anlamına gelir. Olayın iki Hertzlik bir frekansa sahip olması ise, olayın saniyede kendini iki kere yinelediğini ifade eder. Frekansı ölçmenin başka bir yolu ise olayın kendini tekrar etmesi arasında geçen süreyi tayin etmektir zira frekans bu sürenin çarpmaya göre tersi olduğundan dolaylı olarak elde edilebilir.

Frekans $f=1/T$ formülüyle hesaplanabilir. Burada: f = Frekans, T = Peryot 'tur.

➤ **Dalga Boyu**

Tekrarlayan iki işaret arasındaki mesafe olarak adlandırılır.Şekil-3 açıklayıcıdır bu konu hakkında. λ =Işık hızı / frekans = f / c (metre)

➤ **Band genişliği**

B =Veri hızı (bps)/(Kodlama oranı x Sembol oranı x FEC) , Hz olarak bulunur. Bir işaretin alt frekansı = f_1 , üst frekansı= f_2 ise işaretin band genişliği $BW=f_2-f_1$ dir.

$$BW=f_2-f_1$$

➤ **Bit**

Dijital elektronikte ve binary sayı sisteminde sadece 0 ve 1 değerleri vardır. Tüm işlemler bu iki değer üzerinden yapılır. 0 ya da 1 bilgisinin her birine bit denir. Bit→0/1 den oluşan bilgi

➤ **Byte**

Elektronik ve bilgisayar bilimlerinde genellikle 8 bitlik dizilim boyunca 1 veya 0 değerlerini bünyesine alan ve kaydedilen bilgilerin türünden bağımsız bir bellek ölçüm birimidir.

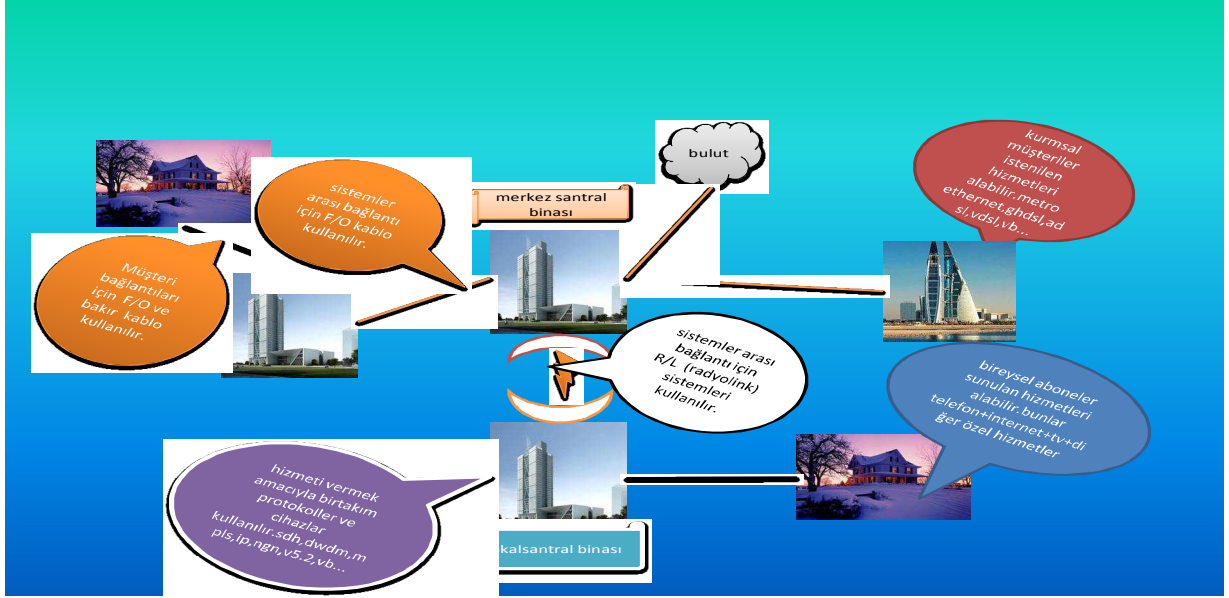
➤ **Baud Rate (Baud Oranı)**

Data iletiminde modülatör çıkışında bir saniyede meydana gelen sembol (baud) değişikliğine baud hızı denir. Baud hızı baud/sn ile gösterilir. Baud hızı sinyalin anahtarlama hızını gösterir.

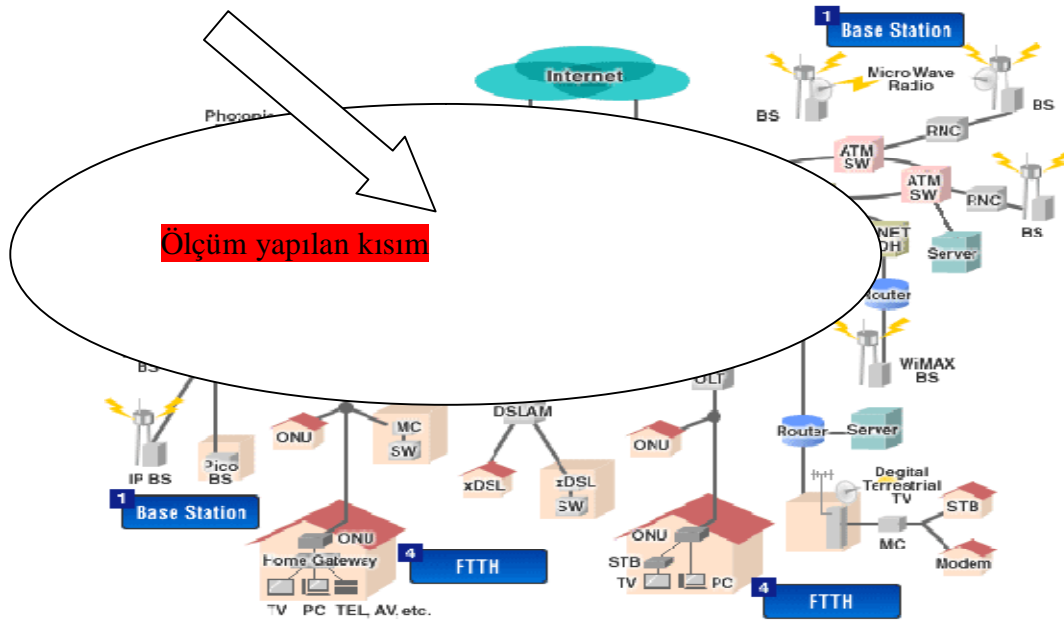
➤ **BER: Bit Error Rate (Bit Hata Oranı)**

Sayısal bilgi iletiminde gönderilen veri içindeki bozulan ya da yanlış algılanan bit oranını ifade eder. $BER = \frac{\text{Gönderilen hatalı Bit Sayısı}}{\text{Gönderilen Toplam Bit Sayısı}}$

1.2 DWDM (YOĞUNLAŞTIRILMIŞ DALGA BÖLMELİ ÇOĞULLAMA)



Şekil 4 Basit bir haberleşme haritası



Şekil 5. Ayrıntılı Bir Haberleşme Haritası

1.2.1 Optik Haberleşme İlkeleri

Optik haberleşme sistem kullanımı; artan kanal ve bant gereksinimlerini karşılayabilecek yüksek kapasiteli iletim ortamına, geniş bantlı ve yüksek hızlı iletme, bakırdan daha ucuz malzemedan (camdan) üretilen iletkenlere, nükleer patlama ve elektromanyetik etkilerden etkilenmeyecek bir iletken cinsine duyulan ihtiyaçtan dolayı gerçekleşmiş ve gelişmiştir. Lazer'in bulunmasıyla da optik sistem oldukça kısa sürede iletişimde uygulanmaya başlanmıştır. Optik iletim sistemlerinin bu kadar hızlı gelişmesinde endüstriyelleşmiş (sanayileşmiş) ülkelerin artan istekleri kadar, gelişmekte olan ülkelerin haberleşme isteklerindeki hızlı artışın da etkili olduğu söylenebilir. Bu sistemler şu anda geleceğin haberleşme şebekesinin temelini oluşturacak düzeye gelmiştir ve hızla da yerini almaktadır.

1.2.1.1. Optik (Işıksal) İletimin Gelişim Kronolojisi

- 1880 yılı: A.Graham BELL tarafından Photophone ile 200 m.lik haberleşme sağlanması
- 1887 yılı: Charls Vernen Boys ilk ince cam fiberi (kaplamasız) gerçekleştirdi.
- 1950 Direkt görüntü iletiminde cam fiber kullanılması
- 1958 LASER'in bulunması
- 1960 LASER'in başarıyla çalıştırılması
- 1962 Yarı iletken LASER'lerin geliştirilmesi
- 1962 Yarı iletken foto diyotların geliştirilmesi
- 1964 Dereceli İndisli fiber düşüncesinin ortaya atılması
- 1966 Cam fiber kullanma düşüncesinin ortaya atılması
- 1966 Fiberde örtü tabakası düşüncesinin ortaya atılması
- 1970 Silikadan fiber üretilmesi (20 dB/km. 850 nm. penceresinde)
- 1971 Kullanışlı LD ve LED'lerin bulunması
- 1972 Dereceli Ğndisli fiber üretilmesi (4 dB/km. 850 nm.)
- 1973 Optik kabloların askeri haberleşmede kullanılması
- 1973 Optik tekrarlayıcıların geliştirilmesi
- 1973 CVD yöntemiyle fiber üretimi
- 1973 Fiber üretiminde OVD yönteminin açıklanması

- 1974 Fiber üretiminde MCVD yönteminin (Cam tüpün içine silikon yerleştirilmesi) açıklanması. (2.4 dB / km.)
- 1975 1310 nm. Optik penceresinin bulunması
- 1976 1310 nm. Işık dalga boyunda GalnAsP Laser Diyot'un üretimi
- 1976 Ark (Füzyon) yöntemiyle fiber kaynağının gerçekleştirilmesi
- 1976 45 Mbit/s'lik çoğullama sisteminin denenmesi
- 1977 Fiber üretiminde VAD yönteminin açıklanması
- 1978 Çok Modlu fiber kablo ilk tesisinin başlanması
- 1979 Fiber zayıf lamasının (4 dB/km'den 1550 nm.) 0.2 dB/km.'ye indirilmesi
- 1980 GalnAsP 1550 nm. ışık dalga boyunda Laser Diyot'un üretimi
- 1980 1310 nm.lik ilk ticari sistemin tesis edilmesi
- 1981 Dereceli Indisli fiber kabloların kullanılması
- 1981 100 Mb/s hızda yineleyici (tekrarlayıcı) aralığının 10 km.ye çıkması
- 1983 Tek Modlu fiber kablo üretiminin (VAD yöntemiyle) başlaması
- 1983 400 Mb/s hızla 25 km.lik yineleyici (tekrarlayıcı) aralığının sağlanması
- 1984 Optik fiber sistemlerinin abone göz devrelerine (SONET) uygulanması
- 1984 Derin sulara gömülecek denizaltı fiber kablo için UV reçinesinin geliştirilmesi
- 1985 100 damarlı Dereceli Indisli Fiber Şeritli Ribbon kablo üretimi
- 1987 1550 nm.lik Saçınım Kaymalı fiber damar kullanılması
- 1987 VAD yöntemiyle 100— 500 km.lik (tek parça) fiber damar üretilmesi
- 1987 1.6 Gb/s çoğullama sistemle (23 040 kanal) yineleyici arası 40 km.ye erişilmesi
- 1989 1550 nm.lik ışıkla 400 Mb/s.lik hızla çoğullama ve yineleyici aralığının 120 km.ye çıkması
- 1990 400 km.lik yineleyicisiz fiber üretiminin tesisinin gerçekleştirilmesi
- 1991 2.5 Gb/s.lik çoğullama ile 30.720 kanala erişme (STM—16)
- 1995 2.5 Gb/s.lik hızla 100 Km.ye çıkması
- 1996 10 Gb/s.lik hızla 80 Km.ye çıkma çalışmaları (STM—64)
- 1997 40 Gb/s.lik hızla 300 Km.lik üretili.
- Bugünkü optik fiber (cam iletken) iletim sistemi gelişimine 1960'lı yıllarda başlamış, 1966 yılında Charles K.Kao iletim ortamı olarak cam fiber ve (modüleli) Kızılötesi ışık kullanarak işaretin uzaklara iletilebileceğini kurumsal (teorik) olarak göstermiştir.

- 1970 yılında CBW (Corning) Şirketince zayıflaması (Optik Pencere 850 nm. Dalga boyunda) 20 dB/km. olan ilk fiber üretilmiştir. bir yıl sonra da Belli şirketi oda sıcaklığında çalışan Solid State Laser Diyod üretmiştir. 1972 yılında Dereceli Indisli fiber damar üretilmiş zayıf lama 4 dB/km.ye düşürülmüştür.
- 1975 yılında 1310 nm. Penceresi'nin bulunup 1979'da zayıflama'nın 0.2 dB/km.ye indirilmesi sağlanmıştır. 1983'de 400 Mb/s hızla 25 km.lik yenileyici aralığı sağlanıp, 4 yıl sonra 1550 nm. lik Saçınım Kaymalı Tek Modlu bir damar ve karmaşık yerine tek frekanslı basit bir Lazer kullanarak 400 Mb/s hızında 107 km. boyunca hatasız veri (data) iletimi gerçekleştirdiklerini Plessey Firması açıklamıştır. 1.6 Gb/s sistemi ile (23.040 kanal) ineleyci arası 40 km.ye erişilmiştir. Aynı yıl VAD üretim yöntemiyle 100—500 km.lik (tek parça) fiber damarlar üretilmiştir. İki (1989) yıl sonra 1550 nm.lik iletim sistemi ve 400 Mb/s.lik sistemle 120 km.lik yenileyici aralığına ulaşılmıştır. Çalışmalar 4 Gb/s hız ve 200 km. tekrarlayıcı aralığına erişmek için yoğunlaştırılmış bulunmaktadır. (Yarangümeli, 1990)

1.2.2 DWDM İçin Temel Optik Bilgisi

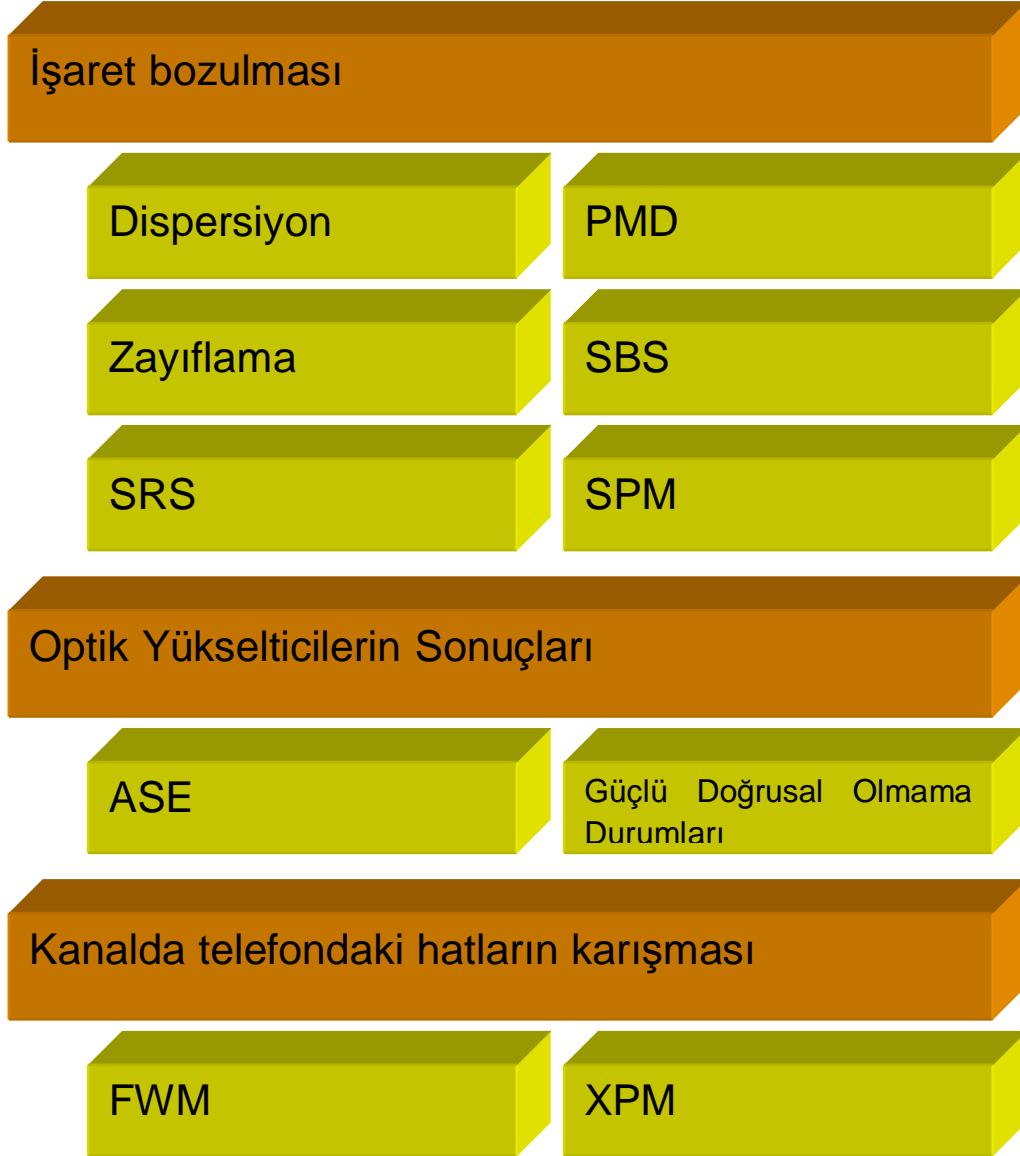
WDM teknolojisi söz konusu olduğunda optik düzeyde göz önünde bulundurulana parametreler dikkate alınmalıdır. Bu parametrelerden bazıları geleneksel optik sistemlerde (örneğin SDH) ortaktır ancak daha nettir, diğerleri ise yenidir ve hala inceleme aşamasındadır.

İşaret bozulması ile ilgili parametreleri şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Zayıflama
2. Dispersiyon (Yayıma)
3. Polarizasyon Mod Dispersiyonu
4. Kendiliğinden Faz Modülasyonu
5. Uyarılmış Brillouin Saçılması
6. Uyarılmış Raman Saçılması

Bütün bu etkiler geleneksel sistemlerde de mevcuttur ancak bunlar artık daha yüksek bir öncelik düzeyi ile göz önüne alınmaktadır. WDM sistemlerinde optik yükselticilerin yoğunluklu kullanımı yükseltilmiş anlık yayılım gürültüsünün ve doğrusal olmayan daha güçlü etkilerin oluşmasına neden olmaktadır. Kanaldaki telefonda hatların karışmasına neden

olan ve yalnızca WDM sistemlerinde mevcut, dört dalgalı karışma ve çapraz faz modülasyonu gibi etkileri de olmaktadır. Şekil-6 bu durumların kısa tarifidir. (Nokia Siemens Networks, 2009)



Şekil 6. DWDM'de sorunlara yol açan etkiler

1.2.2.1 Zayıflama

Kirlilik, mikro kırıklar, vb. nedeniyle ışık fiberden kayıpsız geçemez. Bu kayıplara iki önemli nedenden dolayı meydana gelir. (Nokia Siemens Networks, 2009)

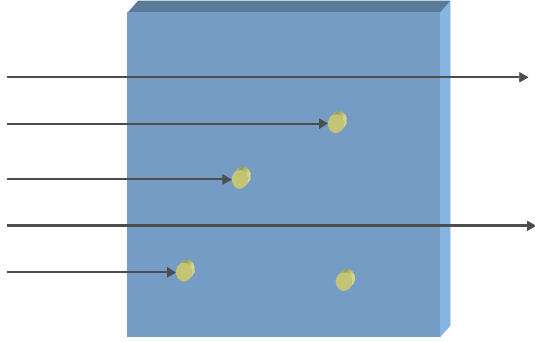
➤ Emilim

Işığın, materyal tarafından emilmesi ile gerçekleşir. Fiber optiklerde kullanılan camın oldukça düşük bir emilim katsayısına vardır. Buna karşın yine de çok az ışık kaybolur.Şekil-2 yaşanan emilimi göstermektedir.

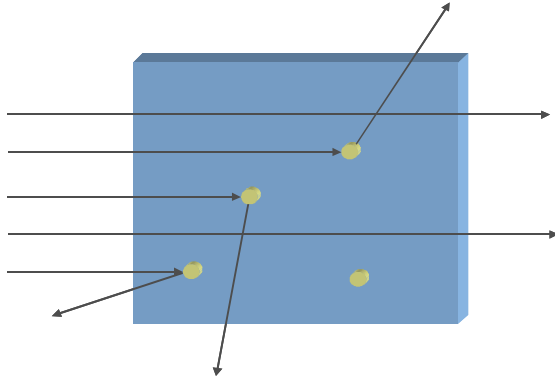
➤ Saçılma

Işık saptıktan sonra kaybolur. En önemli faktör, gücün vericiye doğru geri saçılmasına yol açan sözde Rayleigh saçılmasının varlığıdır.(Şekil- Bilinen bir etkiye sahiptir: Bu, güneş ışığının saçılarak gökyüzünün mavi renkli olarak görünmesinin de nedenidir!

Ne kadar teoride göz önünde bulundurulmasa da, normalde var olan bükülme kayıplarının önüne geçilememiştir. Her bir fiber, belli bir minimum bükme yarı çapı aşılırsa, çekirdekte bütün yansıma özelliğini kaybeder. Bu genelde fiber ağlarda yapılmadığından çok önemli değildir.



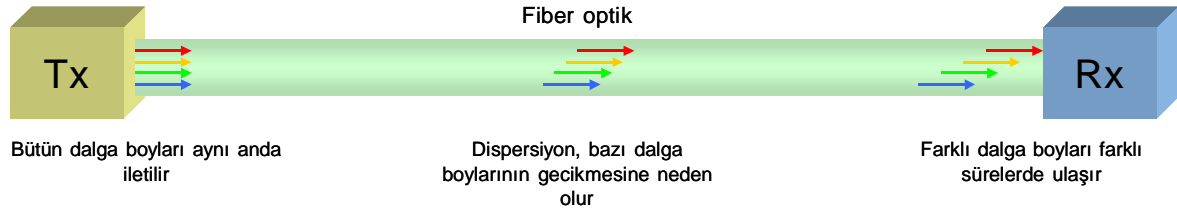
Şekil 7 Emilim



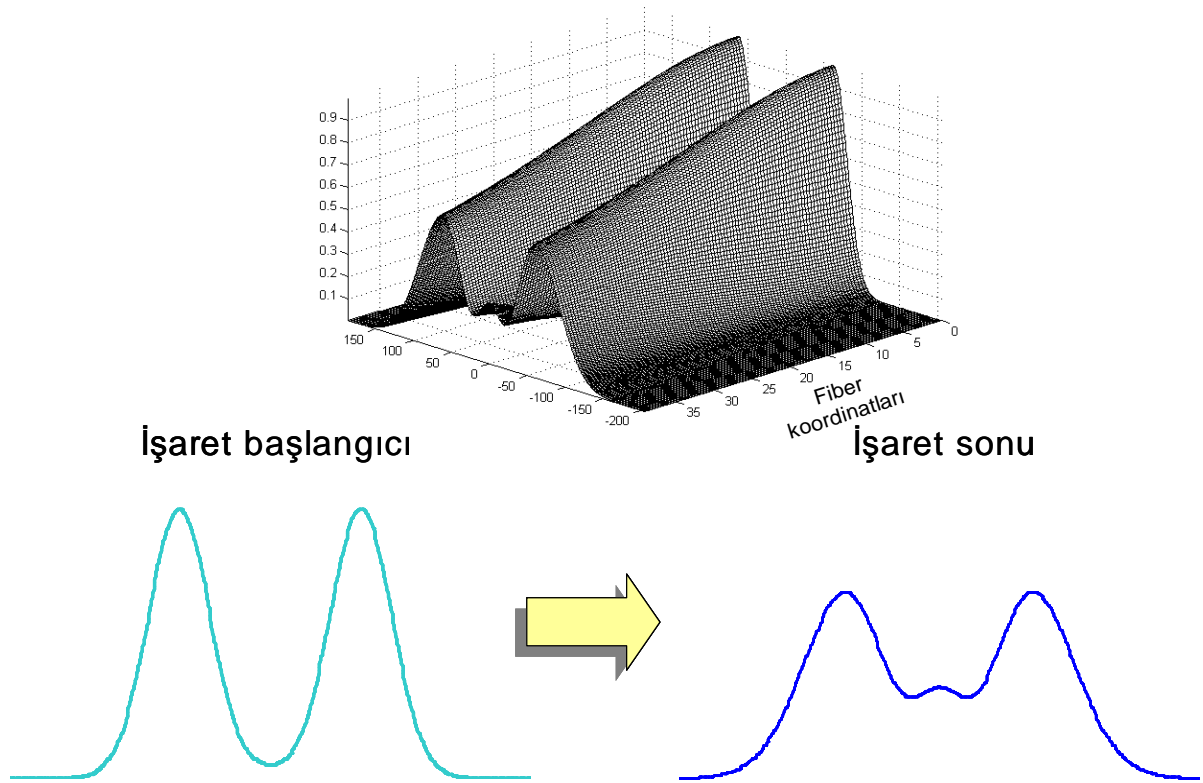
Şekil 8 Saçılma

1.2.2.2 Dispersiyon (Yayıma)

Dispersiyon(Şekil-9) esas olarak, camın kırılma indisi n'nin (optik "yoğunluk"), farklı dalga boylarının aynı ortamda farklı hızlarda ilerlemesine (kromatik dispersiyon)(Şekil-10) neden olan ışığın dalga boyuna bağlı olmasına dayanır. İletişim teknolojilerinde, dispersiyon optik darbelerin fiber optikte ilerledikçe dispersiyon eğilimine girmesiyle meydana gelir. Sonuç olarak, alınan bir bitin A '1' ya da '0' olup olmadığını ayırt etmek daha zor hale gelir. Bu etki, Semboller arası Karışma (ISI) olarak adlandırılır. Dispersiyon sorunu, yüksek bant genişlikli işaretleri taşıyan uzun fiberlerde kritik bir durum almaktadır. Toplam dispersiyon, dalga boylarının dispersiyonu ve hızı ps/nm, bir fiberin dispersiyon katsayısı ise ps/nm-km birimleri ya da fiber uzunluğunun her km.si için her nanometre başına piko saniye olarak ölçülür. Matematiksel olarak ifade edersek dispersiyon, Kırılma İndisi n'nin dalga boyuna farkıdır λ . (Nokia Siemens Networks, 2009)



Şekil 9 Dispersiyon Olayı



Şekil 10 Kromatik dispersiyon etkisi örneği

Dispersiyonun farklı tipleri olduğu bilinmektedir.

➤ **Mod Dispersiyonu**

Çok modlu bir fiberde bulunan farklı modlar farklı yollara ve bu yüzden farklı ilerleme sürelerine (tek modlu fiberlerle bağlantılı değildir) sahiptir.(Şekil-11)

➤ **Profil Dispersiyonu**

Derecelendirilmiş indisli fiberlerde, derecelendirme profilindeki kirlilik ve hatalar ek dispersiyona neden olur.(Şekil-12)

➤ **Kromatik Dispersiyon**

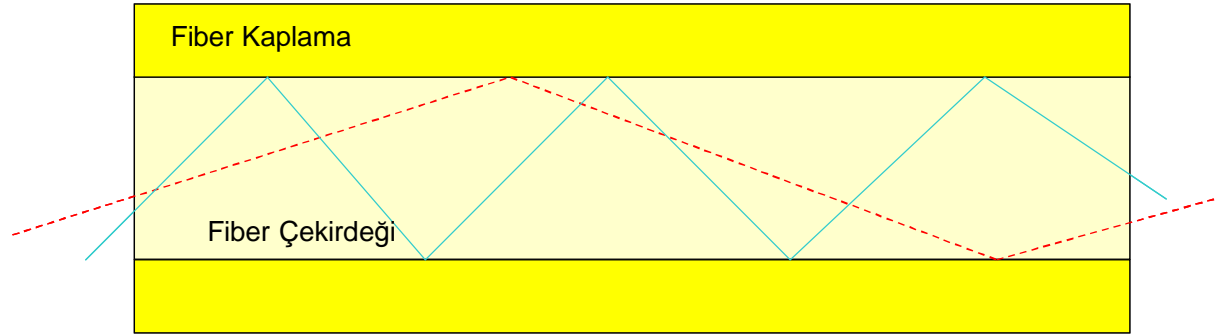
Tek modlu fiberde, kromatik dispersiyon baskın faktördür. Bu dispersiyon şunlardan oluşur:

➤ **Materyal Dispersiyonu**

Bu arı bir fiziksel özelliktir ve camda kullanılan farklı dalga boylarının farklı hızlarını açıklar. Bu özellik, fiber kuvvetlendirildiğinde yalnızca çok az değişiklik gösterir.

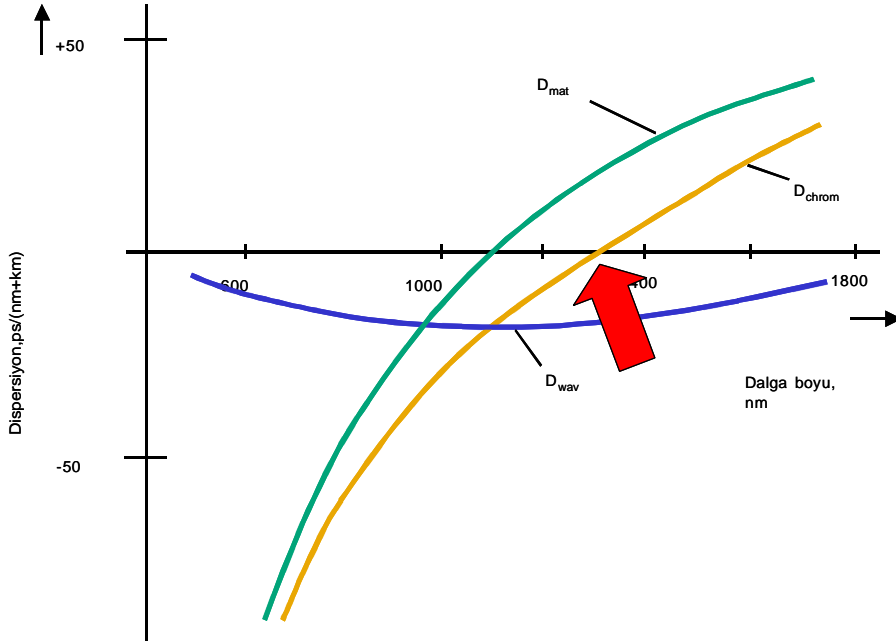
➤ **Dalga Kılavuzu Dispersiyonu:**

Bu dispersiyon türü büyük oranda derecelendirilmiş indinin profiline bağlıdır. Böylece, fiberin toplam dispersiyonunu etkilemek olanaklıdır.

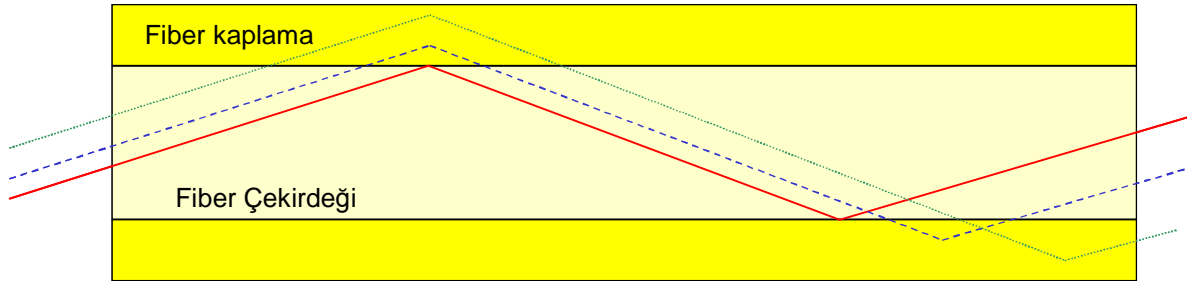


Şekil 11 Mod dispersiyonunun nedeni

Kromatik Dispersiyon



Şekil 12 Kromatik Dispersiyon



Şekil 13 Dalga kılavuzu dispersiyonunun nedeni

➤ Polarizasyon Mod Dispersiyonu

Tek modlu fiberlerdeki temel mod, ortogonal olarak polarize edilmiş iki bölüm ya da polarizasyon modlarından oluşur.(Şekil-14) Çevresel koşullardan (uzama, eğilme, bükülme,...) dolayı indis profiline radyal simetrisi bozulur. Sonuç olarak, söz konusu iki bölüm, darbenin geçici genişlemesine yol açan farklı hızlara sahiptir. PMD'nin sonucu, ek ISI'dır. Söz konusu polarizasyon modlarının birleşmesinden dolayı, toplam gecikme ve darbe

genişlemesi yalnızca fiber uzunluğunun kare köküne bağlıdır: (Nokia Siemens Networks, 2009)

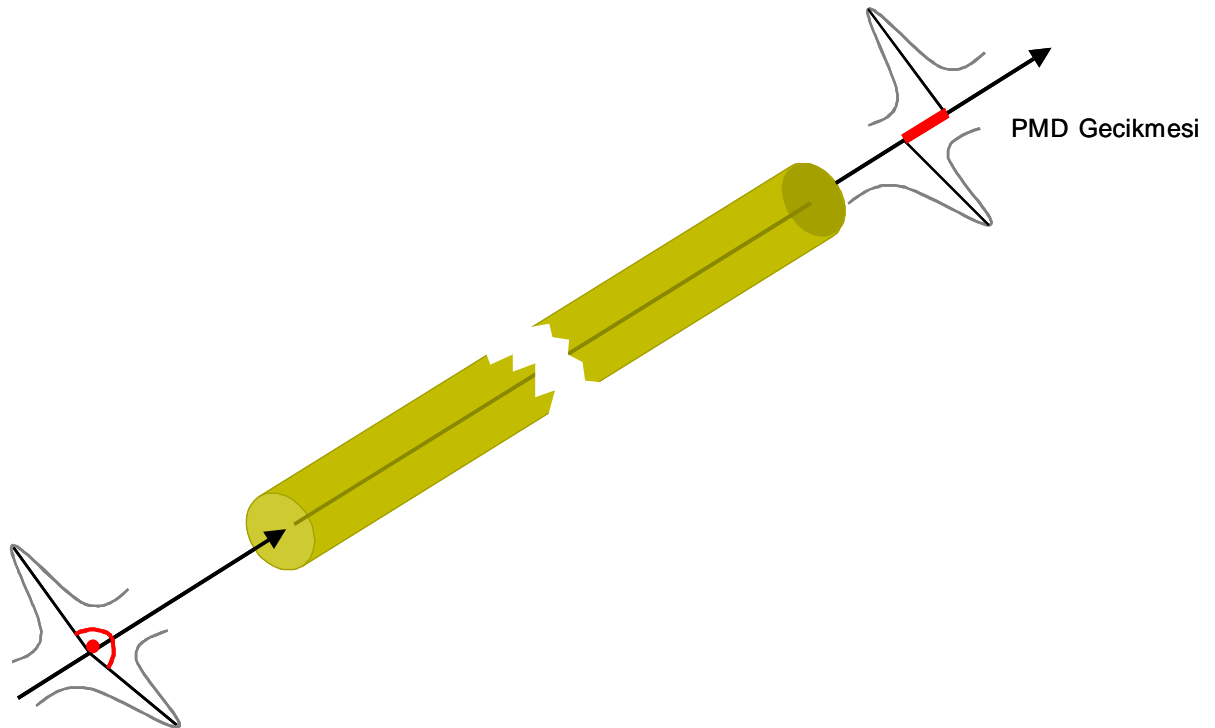
$$\Delta\tau=L^{-0.5} * \Delta\tau_{\text{coeff}}$$

burada $\Delta\tau$, ps/ 0.5 km olarak verilen, PMD gecikme katsayısıdır.

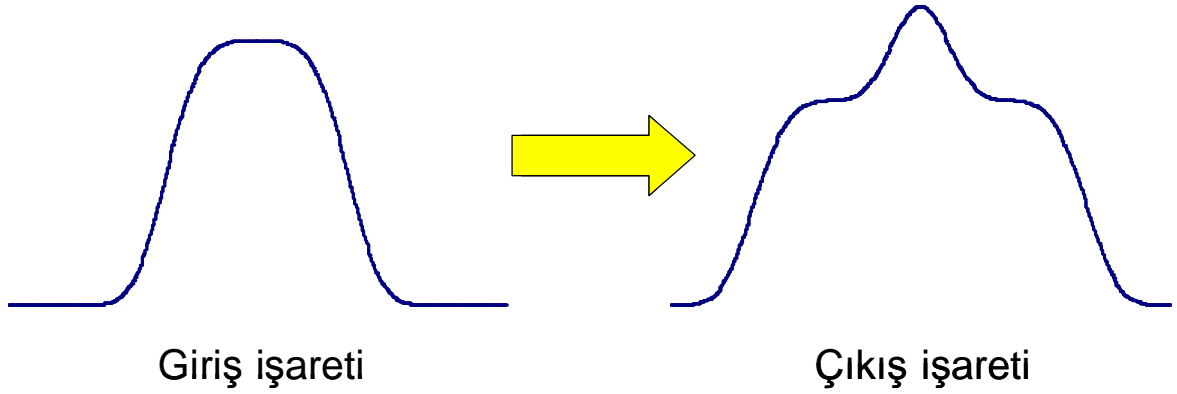
İkinci durum, elbette birçok çevresel koşula bağlı olan ve genelde üretici tarafından ortalama bir değer olarak belirtilen bir fiber özelliğidir. Fiber çekirdek eliptikliği, enine gerilme, eğilme, bükülme, EDFA'lardaki yalıtıcılar, yaşlanma fabrikasyona göre değişiklik gösterir.

Olağan sistemlerde PMD'nin uygulama açısından bir bağlantısı yoktur. Bununla birlikte, dispersiyon ile yönetilen ve oldukça dar bant genişlikleri kullanan DWDM sistemlerinde PMD, özellikle yüksek bit hızı iletimini sınırlayan oldukça önemli bir faktör durumuna gelmektedir.

PMD'nin en büyük sorunlarından biri, PMD'nin zamana çok fazla bağımlı olabilmesidir. Örneğin bir fiber hattının yanından geçen, fiberde bozulmalara yol açabilecek titreşimlere neden olan bir kamyon veya treni düşündüğümüzde bu durum açıklık kazanmaktadır.



Şekil 14 Polarizasyon mod dispersiyonu



Şekil 15 Fiberde ilerlemeden önce ve ilerledikten sonra bit şekli

1.2.2.3 Doğrusal olmayan etkiler

Işık materyale girdiğinde, ışık ve partiküller etkileşime girmeye başlar ve farklı fotonların etkileşimine girmesine neden olur. Bu etkilerin birçoğu güce bağlıdır ve yalnızca belli bir eşik gücünde başlar. Doğrusal olmayan etkiler fiziksel olarak ele alınırsa iki ana sınıf altında toplanabilir;(Şekil 16.)

1. Saçılma olguları

- Raman saçılması
- Brillouin saçılması

2. Doğrusal olmayan Kerr

- Dört dalga karışma
- Kendiliğinden faz modülasyonu
- Çapraz faz modülasyonu

Adından da anlaşılacağı gibi birinci sınıf, saçılma mekanizmalarını içermekte, ikincisi ise ışığın değişmesi dolayısıyla materyal ile değişmekte, böylece kendi kendini etkilemektedir.

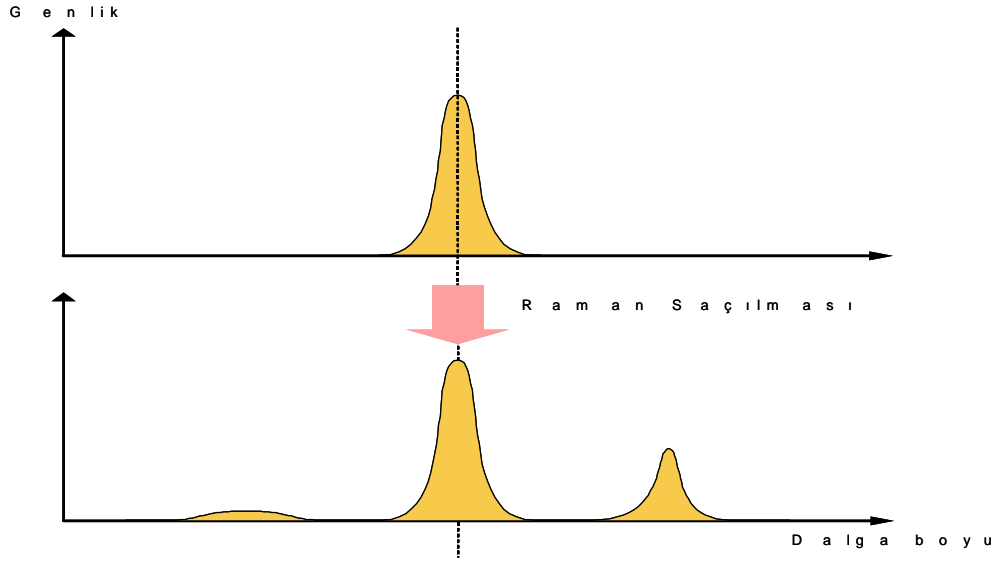


Şekil 16 Özet olarak doğrusal olmayan etkiler

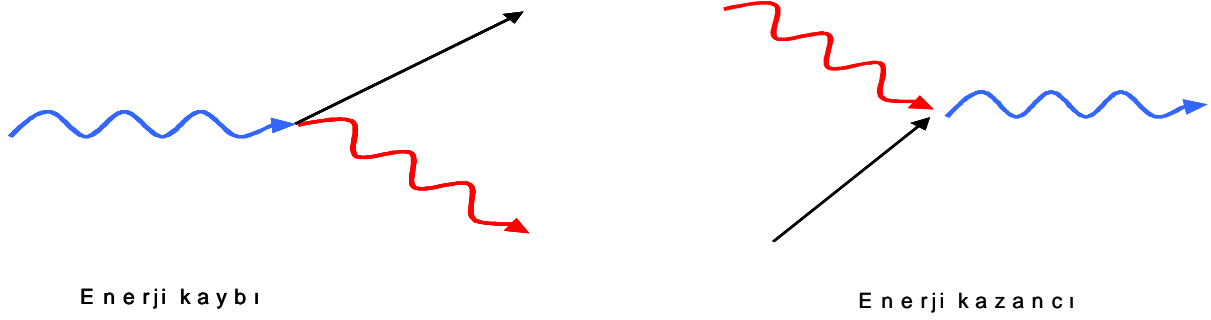
➤ **Saçılma Olguları**

• **Uyarılmış Raman Saçılması**

Raman saçılması, lineer optik süreçte, elastik olmayan foton saçılmalarından biridir. Aydınlatma kaynağından gelen fotonların büyük bir çoğunluğu atom ya da molekülden elastik bir şekilde saçılır. Buna Rayleigh saçılımı denir. Ancak bazıları (yaklaşık olarak 10 milyonda 1 foton) uyarılmış bir şekilde saçılırlar. Bu tür saçılmada yayımlanan fotonların frekansları elastik saçılmada olduğundan genelde daha düşüktür ve algılanabilmeleri için çok özel dedektörler gerekir. Madde içerisinde yer alan Fonon bir Fotona çarpabilmekte, böylece enerjisini biraz artırabilmektedir. Sonuç olarak, saçılmadan sonraki ilk tepe değerinin yüksek ve düşük dalga boylarında yanlarda iki tepe değeri almasına neden olur. Daha yüksek enerjiye sahip olan taraftaki tepe değeri genelde, bu değerlerin çevresinde, Fotonların enerjisini yükseltebilecek çok fazla Fonon bulunmadığından göz ardı edilebilmektedir.(Şekil-17,18)



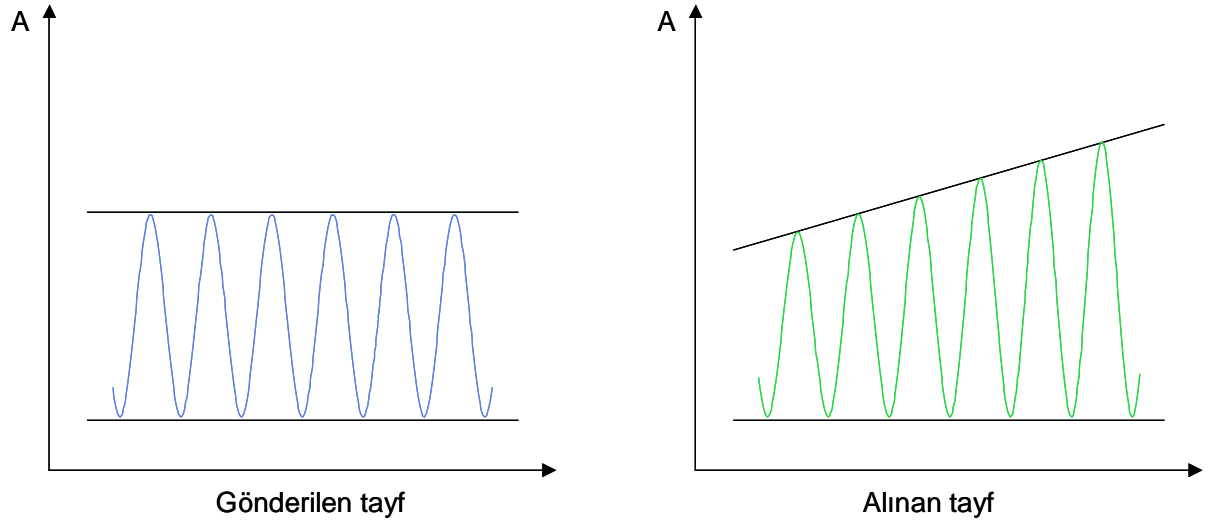
Şekil 17 Raman saçılması



Şekil 18 Partikül açısından Raman saçılması

Raman saçılmasında bir ayar frekansının bu saçılmanın yanından geçen ışığının etkisi altında gerçekleşmesi durumunda saçılma, tamamen aynı frekansın bir fotonunu oluşturur. Enerjinin geri kalanı, atomik yapının titreşimleri biçiminde, bir fonon olarak yayılır. Buna, "Uyarılmış Raman Saçılması" denir.

DWDM sistemlerinde, yüksek frekanslı kanallar, kanalda telefon hattında karışma ile sonuçlanan ve Çapraz Faz modülasyonu gibi doğrusal olmayan diğer etkileri güçlendiren düşük frekanslı kanallara enerji kaybeder (Raman-Tilt). Sistemlerde ön ayarlama kullanılması, bu etkiyi giderebilir. (Nokia Siemens Networks, 2009)



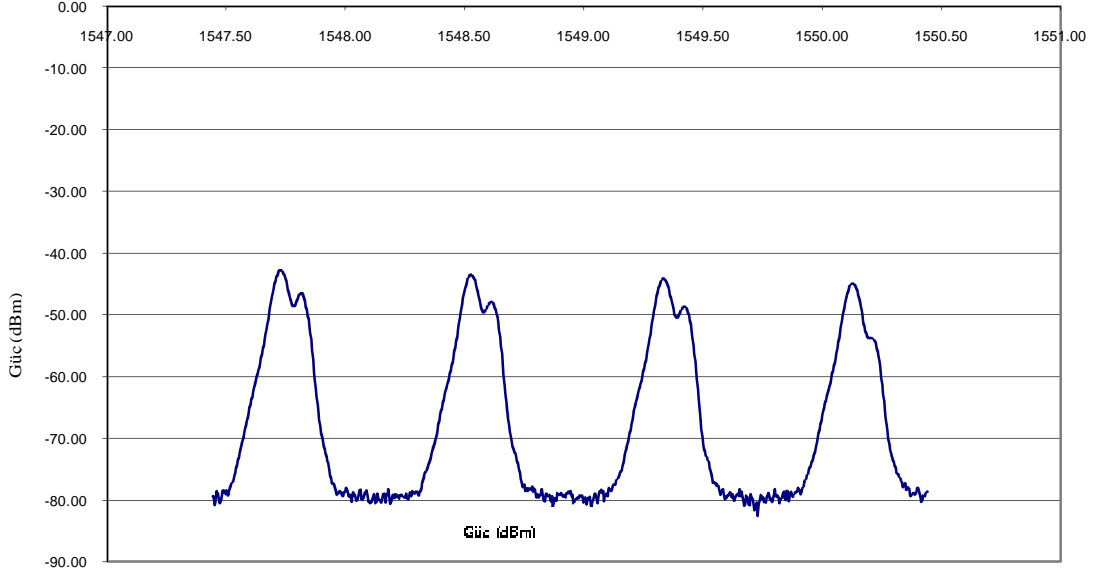
Şekil 19 Raman tilti

- **Uyarılmış Brillouin Saçılması**

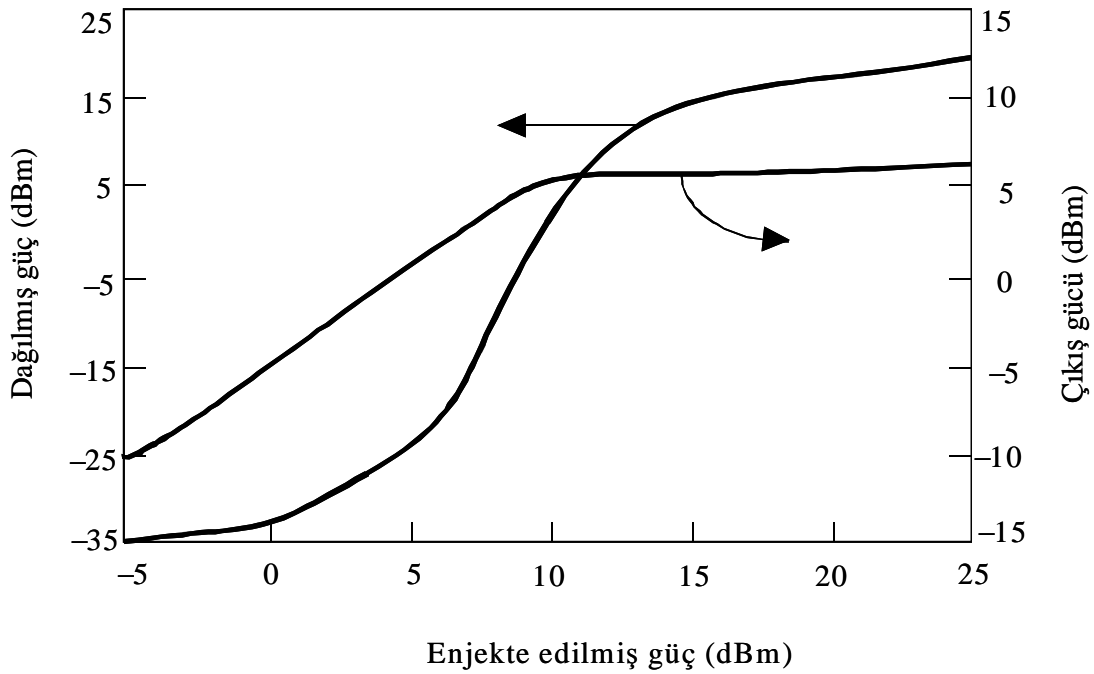
Raman Saçılmasına benzer bir etki gösteren Brillouin Saçılması ile aralarındaki temel fark, saçılmadan bir başka fonon türü (akustik fononlar) nün neden olmasıdır. Tepe değerleri Raman Saçılmasına göre farklı bir biçimde etkilenmesine karşın, saçılan ışık 1150nm'de yaklaşık 11GHz aşağı doğru kaymaktadır ve telefon hatlarındaki karışmaya da neden olmaktadır. SBS geriye doğru hareket ettiğinden, iki yönlü olduğunda daha bir önem arz etmektedir. Meydana gelen olay; kanalın kendi ile karışması ve böylece ileriye yönde önemli bozulma dolayısıyla kayba neden olmasıdır.

Doğrusal olmayan diğer etkiler gibi SBS yalnızca, belli bir güç eşiğini geçerken önemli bir etki doğuracak şekilde oluşur.

SBS'nin etkisini azaltmak için, iletim lazerinin, bazı zamanlar "pilot ton" olarak da adlandırılan çok düşük bir frekansla, artan hat genişliği ile SBS alçalırken modüle edilir.



Şekil 20 Rayleigh ve Brillouin Saçılması



Şekil 21. SBS Güç Eşiği

➤ **Doğrusal olmayan Kerr**

• **Dört dalgalı karışma**

Dört dalgalı karışma, doğrusal olmayan Kerr etkilerinden birincisidir. Kırılma indisinin güce bağımlı bir bileşene sahip olması dolayısıyla oluşur: $n=n(\lambda)+n_{Kerr}*P$.

Bu, atomların, ışıkla etkileşim ve elektronların osilasyonuna yol açan iki kutuplu yapısıyla alakalıdır. Işık bu şekilde materyali değiştirir ve sonuç olarak aynı materyal ile değişir, böylece kendi kendini etkiler. Bu durum, diğer etkiler arasında, ışık hızının bir darbenin gücüne bağımlı olmasına neden olur!

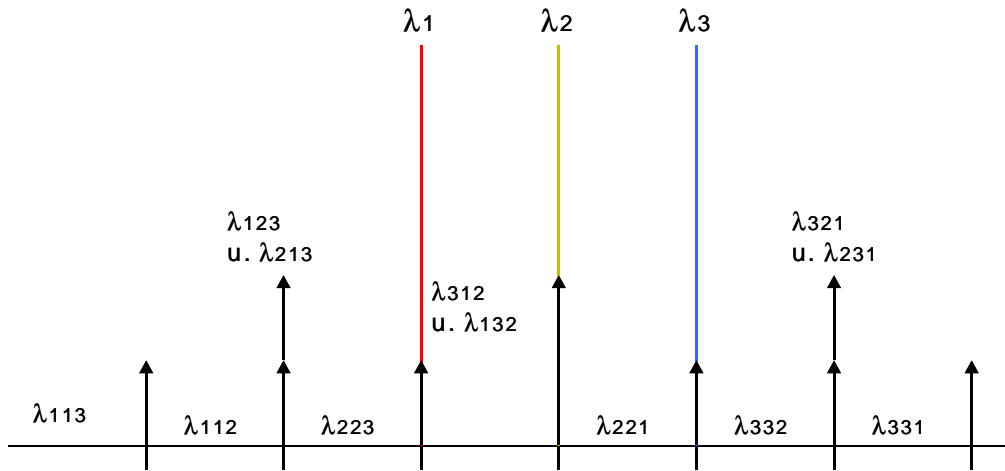
FWM, çok kanallı sistemlerde önemi büyük olan bir etkidir. Farklı dalga boylarındaki 3 işaretin bir fibere girdiği düşünülürse, FWM olgusu, 4 foton ya da dalga arasındaki etkileşim ile oluşur ve işaretlerin frekanslarda oluşmasına neden olur.(Şekil-22,23)

Olası bütün f_x, f_y, f_z kombinasyonları için $f_{FWM}=f_x+f_y-f_z$

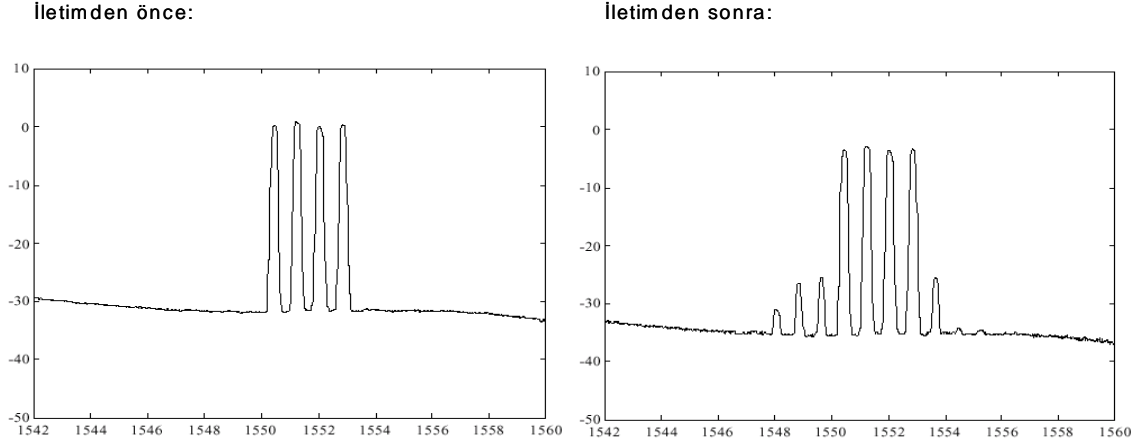
f_{123} frekansı bu yüzden $f_{123}=f_1+f_2-f_3$ denklemi ile elde edilir.

Bu "Hayalet" dalga boylarının toplam indis şu şekilde verilir: Hayalet indisi = $0.5N^2(N-1)$ burada N, kanal indisidir. Bu durumda, 16 kanallı bir sistemde 1920 Hayalet bulunacaktır!

Söz konusu etki, özellikle DWDM sistemlerindeki gibi eşit aralıklarla yerleştirilmiş dalga boyu ızgarasına sahip sistemlerde telefonda hatların karışmasına neden olur.



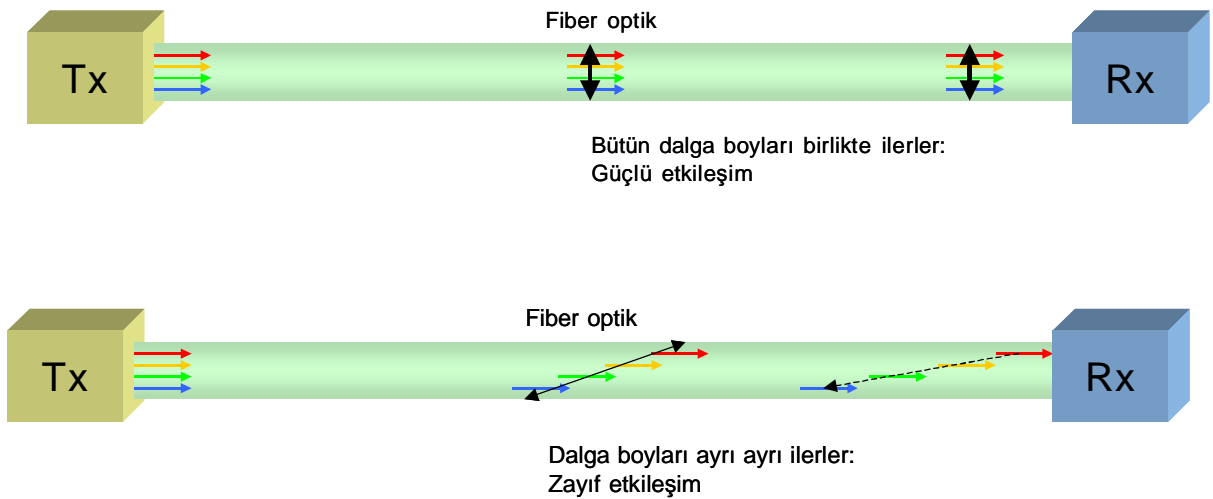
Şekil 22. Dört dalgalı karışma



Şekil 23 FWM ölçümü

FWM'yi kontrol etmenin bir yolu dispersiyondur: dispersiyon artması FWM'nin önemini azaltır. Bu durumun düşük dispersiyonda oluşması; bütün kanalların fiberde aynı hızda ilerlemesi, böylece ışık işaretlerinin birbirlerine uzaysal olarak yakın olmasından kaynaklanır. Böylece, her bir kanal diğerlerini rahatlıkla etkileyebilir. Yüksek dispersiyonda ise kanallar farklı hızlarda ilerlemekte (darbe götürmesi), böylece hiçbir zaman uzaysal olarak yakın olmamakta ve FWM'nin etkisini azaltmaktadır.

FWM'yi etkileyen diğer faktörler ise kanal aralığındaki bir artış ya da eşit olmayan bir kanal aralığının kullanılmasıdır.



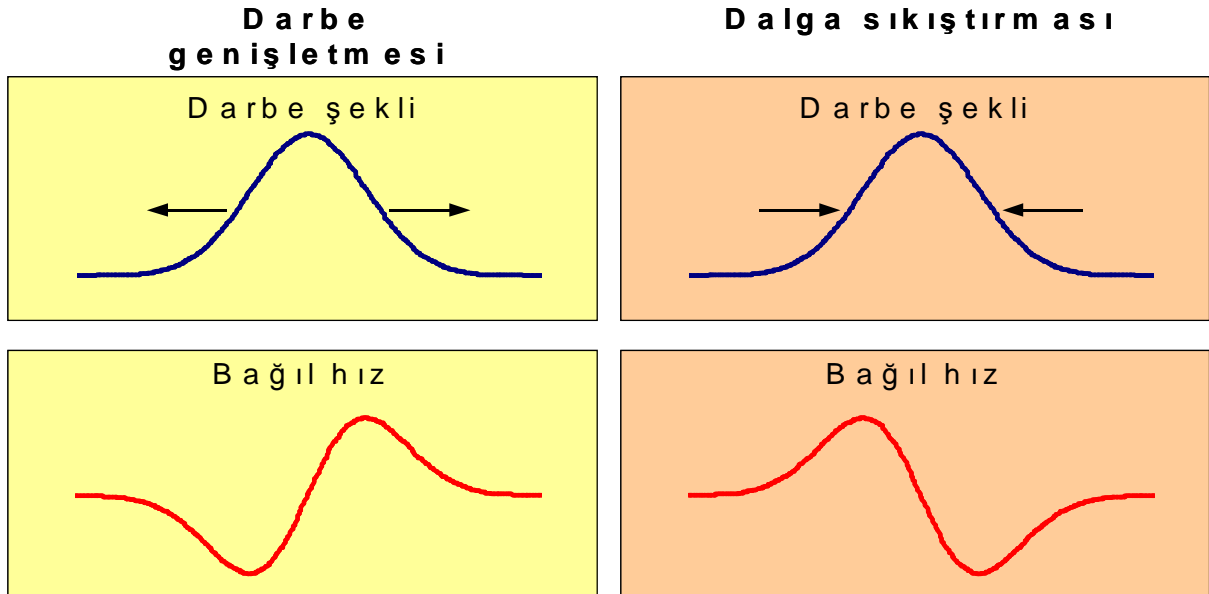
Şekil 24 FWM, dispersiyon unsuru olmaksızın ve dispersiyonlu dağılımı

- **Kendiliğinden Faz Modülasyonu**

SPM, ışığın ilerleme hızı kırılma indisine bağlı olduğundan güce bağımlı kırılma indisinin doğrudan sonucudur. Burada gerçekleşen olay, bir darbenin bazı bölümlerinin diğerlerinden daha yavaş ilerleyerek darbenin genişlemesi ya da sıkıştırılması ile sonuçlanmaktadır.

Sonuç olarak , dispersiyon ile benzerlik gösterir ve darbe genişliğini artırır.

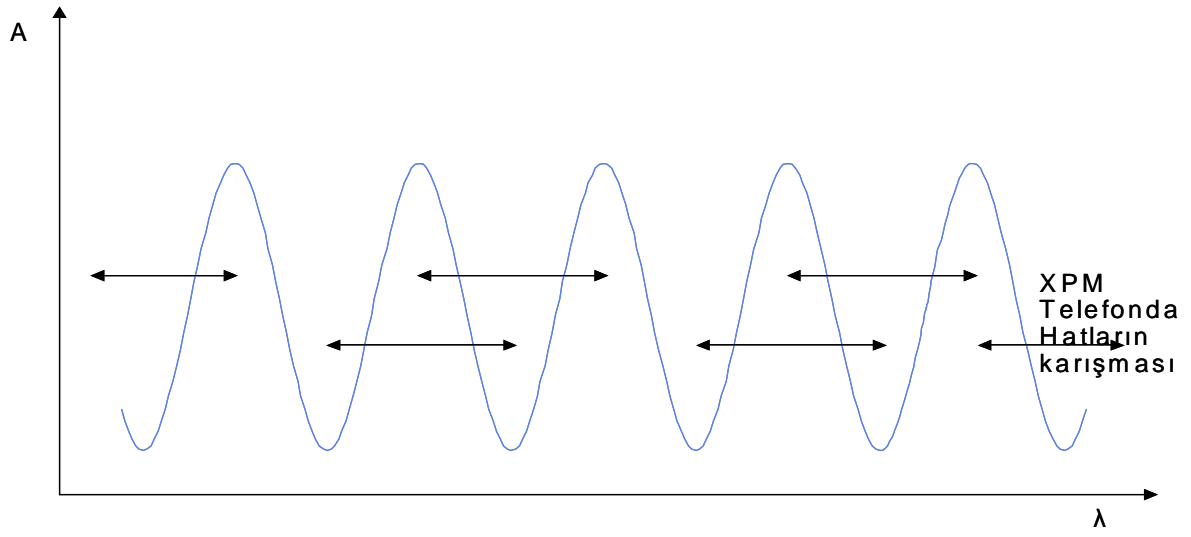
SPM ve dispersiyonun ortaya çıkardığı sonuç dispersiyon biçimine bağlıdır. Sıfır dispersiyon noktasının altındaki darbe, dispersiyon ile SPM „aynı yön“de bir işleve sahip olduğundan genişlemesine neden olur. Bu noktanın üstünde ise, dispersiyon ve SPM birbirini dengeleyerek genişlemeyi azaltmasını sağlar.



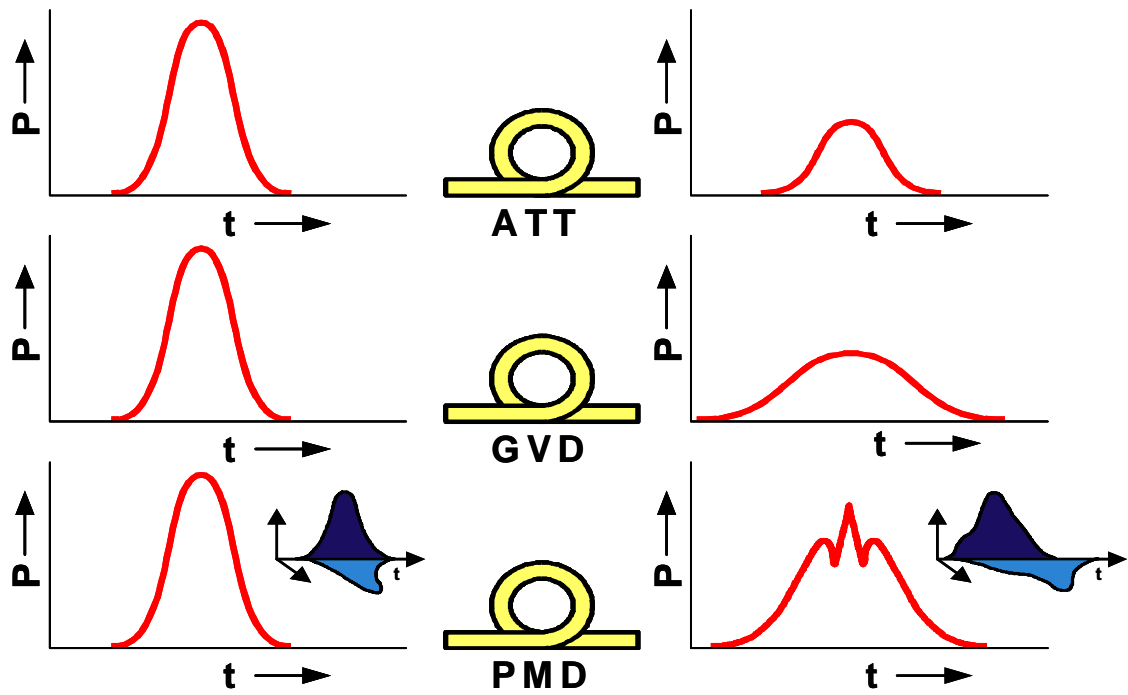
Şekil 25 Sıfır noktasının altında ve üstünde SPM'nin etkileri

- **Çapraz Faz Modülasyonu**

Bir diğer doğrusal olmayan etki, Çapraz Faz Modülasyonudur (XPM).XPM, temelde SPM ile aynıdır. Aralarındaki fark, kırılma indisinin XPM'de, WDM işaretindeki bütün kanalların gücünden etkilenmesinden ileri gelmesidir. Dispersiyon ile birlikte alındığında XPM, kanallar arasında telefonda hatların karışmasının yüksek bir düzeyde gerçekleşmesi ile sonuçlanan, SMF'deki baskın doğrusal olmayan bir etki olduğu anlaşılır.Şekil-27 ve 28 doğrusal ve olmayan optik etkilerini açıklamaktadır. (Nokia Siemens Networks, 2009)

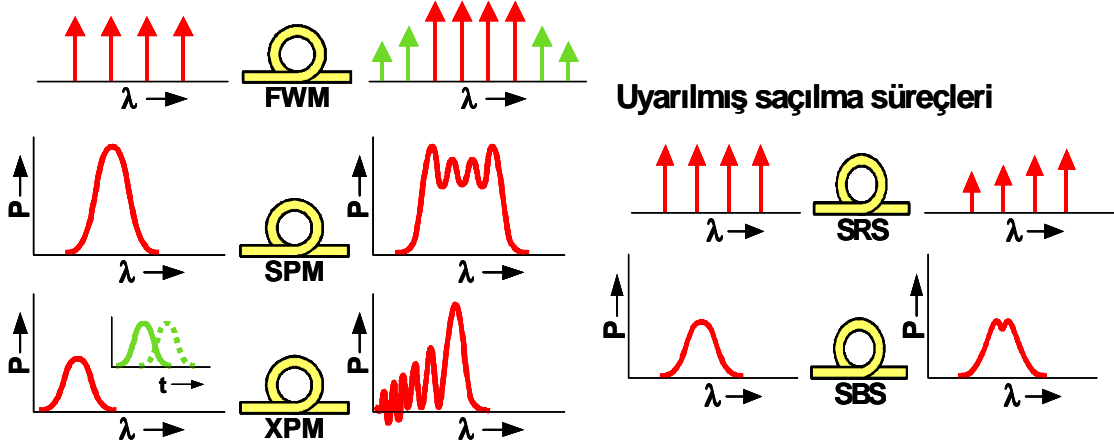


Şekil 26 XPM



Şekil 27 Doğrusal optik etkileri

Doğrusal olmayan Kerr



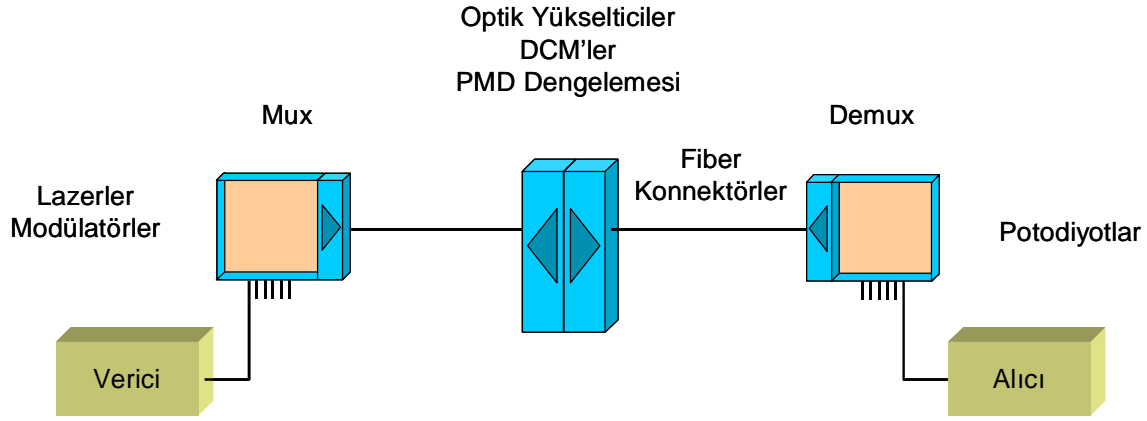
Şekil 28 Doğrusal olmayan optik etkileri

1.2.3 DWDM Hat Yapısı

Bir DWDM hattı incelenirken hangi parçalardan oluştuğu bilinmelidir. Farklı katmanlarda kullanılan farklı ekipmanların neler olduğunun bilinmesi bize olayı daha iyi analiz etmemiz için yardımcı olur. Belli başlı DWDM parçaları aşağıda sıralanmıştır;

1. Lazer ve Modülatörler
2. Optik Çoklayıcılar/ Ayırıcılar
3. Optik Yükselticiler
4. Dispersiyon Dengeleme Modülleri
5. PMD Dengeleyicileri
6. Fiber
7. Foto diyotlar
8. Konnektör ve Yalıtıcılar

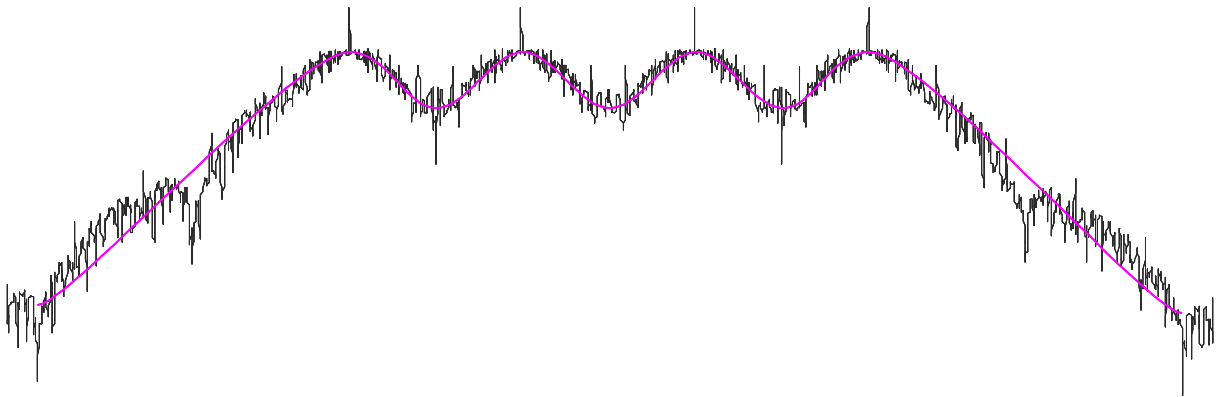
Bu cihazların çoğu pasif, analog bir yapıdadır.(Şekil-29) Böylece, bir DWDM hattının taşınan işaretlere saydam olabileceği anlamına ortaya çıkar. Ancak, bu pasif cihazları, maksimum performans elde etmek için gerek elektriksel gerek optik arayüzlerle kontrol edilen aktif parçalara dönüştürme yönünde çalışmalar devam etmektedir.



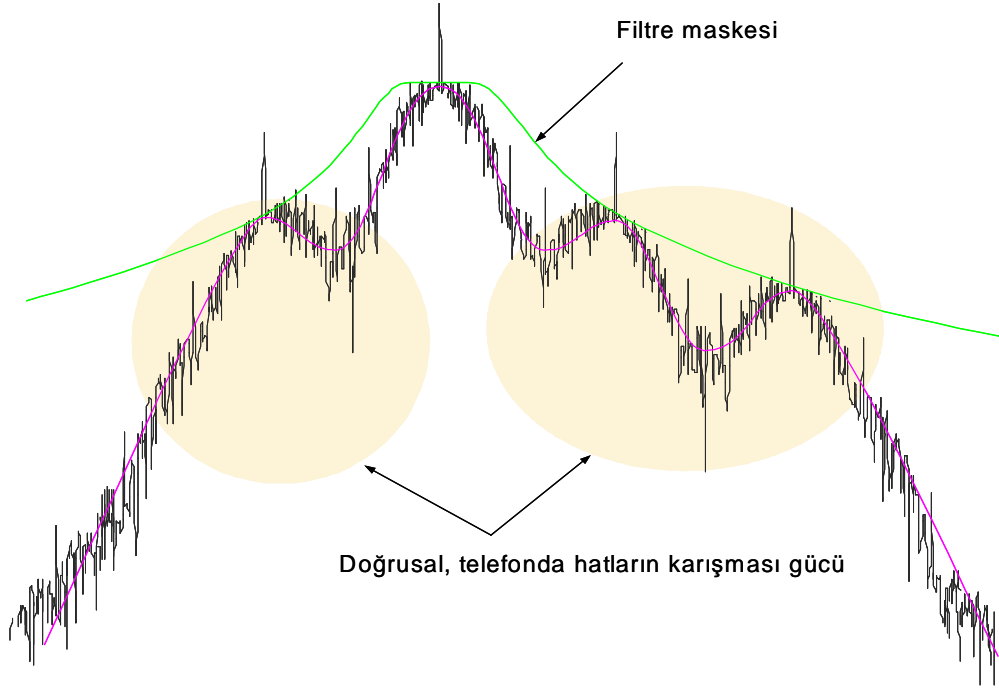
Şekil 29 DWDM sistemlerindeki parçalar

1.2.3.1 Filtre ve Izgaralar

DWDM'de, belirli bir dalga boyunun filtrelenebilmesinin önemi büyüktür. Birçok filtreleme yöntemi bulunmasıyla beraber, bu tekniklerden çoğu ya tek ya da girişim kullanan bir başka biçimdedir. İyi bir DWDM optik filtresi için, yalıtım (diğer kanallardan gelen gücün yok edilmesi) ve bozulma (filtre yanıtından kaynaklanan işaret bozulmasını en aza indirmek) kapasitesi koşul olmaktadır. Bir filtrenin iyi yalıtım sağlamaması durumunda, telefonda hatların doğrusal girişiminden kaynaklanan işaret bozulmasına neden olur. Bu durum, diğer kanallardan gelen gücün seçili kanala girişim yaparak alıcıya ulaşacağı anlamına gelir. İyi bir yalıtım düzeyi elde etmenin yolu ancak, filtrenin bant genişliğini azaltıp filtre bozulmasını arttırarak mümkün olur. Sistemin tasarımcısı bu iki faktörü birbiriyle uzlaştırmalıdır.(şekil-30,31)



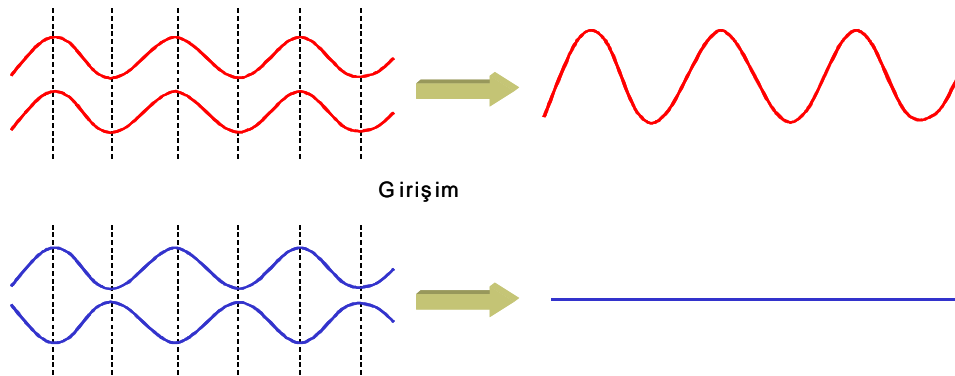
Şekil 30 İlk DWDM işaret spektrumu



Şekil 31 Filtrelenmiş işaret spektrumu

➤ **Girişim**

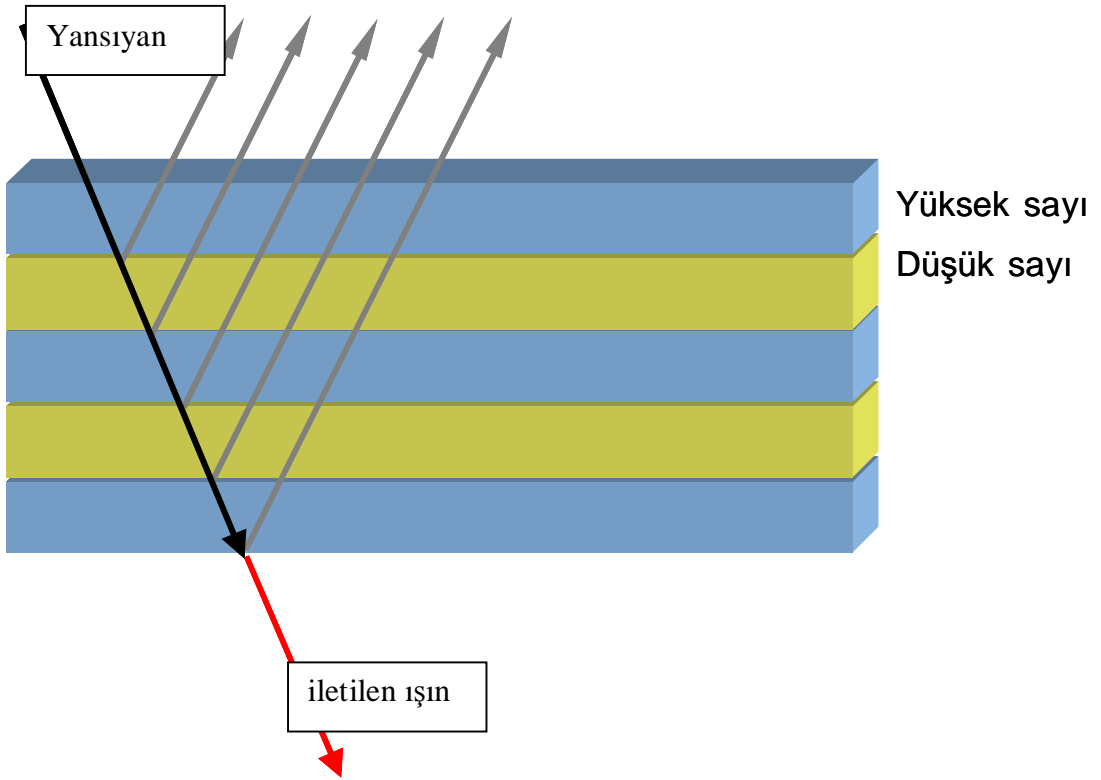
Işık, bir dalga olarak düşünüldüğünde iki dalganın karışması esnasında nasıl bir sonucun ortaya çıkabileceğinin bilinmesi gereklidir. İki den fazla dalganın karışması, girişim olarak adlandırılır. İki dalganın aynı faza sahip olması durumunda iki dalga birleşir ve yüksek genliğe sahip ortak bir dalga oluşturur. Bununla beraber, iki dalganın karşıt faza sahip olması durumunda, bu dalgalar birbirlerini yok eder ve herhangi bir dalga alınmaz.(Şekil-32)



Şekil 32 Girişim

➤ Dielektrik İnce Film Filtre

Optik ince filmler, optik elemanların üzerine gelen ışığın yansıtılması ve geçirilmesinin değiştirilmesi için bu elemanlar üzerine kaplanan ince katmanlardır.(Şekil-33) DTF Filtreleri, her bir katman $\lambda/4$ kalınlığında olmak üzere, yüksek kırılma indisli ve düşük kırılma indisli alternatif katmanlardan oluşan filtrelerdir. Yüksek kırılma indisli katmanlarda yansıyan ışık, fazını değiştirmezken düşük kırılma indisli katmanlarda yansıyan ışık 180° kaydırılır. Yapıcı girişim durumu bir kez daha bir dalga boyunun geçmesi ve diğerlerinin yansımaya neden olur. Geçişlerdeki bant kaybının 0.3dB'den az oluşu, kanal aralığının 0.8nm'den daha iyi ve kanallar arasında telefonda hatların girişiminin -28dB 'den az olması avantaj sağlamaktadır. (Optik İnce Filmler Proje Raporu, 2013)



Şekil 33 Dielektrik ince film filtre

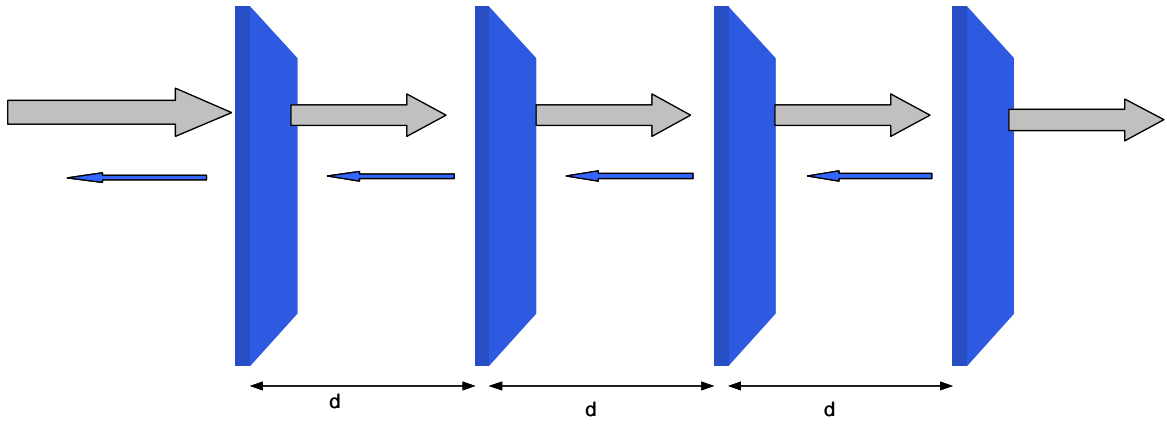
➤ Bragg Iızgarası

Genel anlamda Bragg ızgarası (ya da Bragg Reflektörü) bir dalga boyu aralığında yüksek yansıtıcılık sağlamak için tek modlu fiber çekirdeği içinde kırılma indisinin periyodik olarak modülasyonuna imkan verir. Genel görünüşü Şekil-34 verilmiştir.

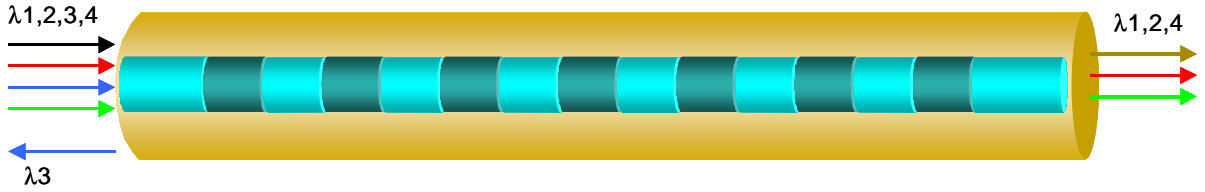
$$d = n \cdot \lambda_B / 2$$

burada n, 1,3,5,..'tir.

Bragg reflektörleri çok yüksek bir yansıtma kapasitesine sahiptir ve bu yüzden yüksek güçlü lazerler için ayna olarak kullanılırlar. Bragg ızgaralarının değişik bir şekli de fiber bragg ızgarasıdır.(Şekil-35) Bir fiber çekirdeğinin kırılma indissini değiştirerek, bir dalga boyu yansıtılırken diğerlerinin geçtiği bir Bragg ızgarası elde etmek mümkündür.



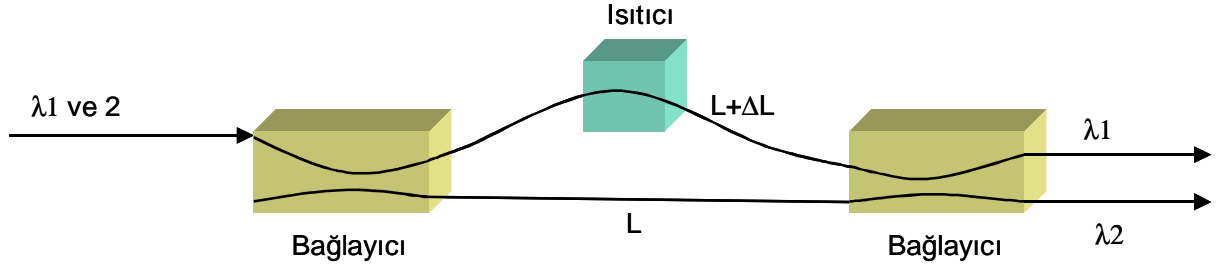
Şekil 34 Bragg ızgarası



Şekil 35 Fiber Bragg ızgarası

➤ Mach-Zender Filtresi

İki dalga boyunun bir karışımı, gücü her iki hat üzerinde eşit olarak dağıtan ilk bağlayıcıya gelir. Hatlardan biri uzun olması, farklı bir optik yol uzunluğu ve faz değişikliği kullanılmasına olanak verir. Bu faz farkının akıllıca seçimi ilk dalga boyunun girişim ısısına maksimum birinci fiber ve ikinci dalga boyunun ikinci fiberde sahip olması, böylece iki işareti ayırması anlamına gelmektedir. Uzunluk farkı ve böylece faz değişikliğini düzenlemek için bir ısıtma cihazı kullanarak bir Mach-Zender filtresini ayarlamak olanaklıdır.(Şekil 36)



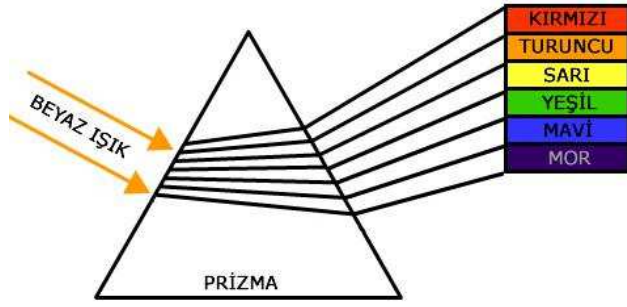
Şekil 36 Mach Zender filtresi

1.2.3.2 Optik Çoklayıcı ve Ayırıcı

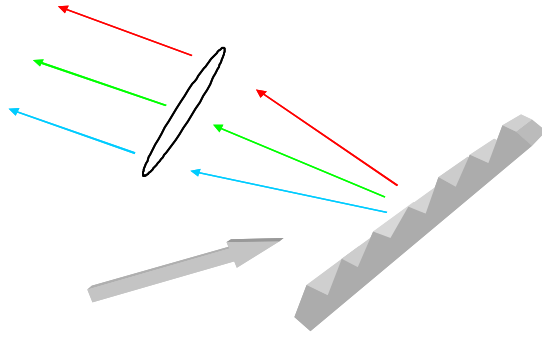
Bir optik ayırıcı, optik filtrelerin bir parçası ya da ayrı bir cihaz olarak yapılabilir. Amaç, ilk kanalları bir DWDM işaretinden çekmektir. Bu cihazın istenen özellikleri optik filtrenin özellikleri ile aynıdır: yalıtım ve işaret bozulması. Kanal indis ve aralığı, ancak ayırıcılar kanal indis ya da kullanılabilir toplam dalga genişliğine sınırlamalar getirdiğinde göz önünde bulundurulmalıdır. Birçok ayırıcı, simetrik cihazlardır ve çoklayıcı olarak da kullanılabilir. En basit ve en iyi bilinen optik ayırıcı prizmadır. Dispersiyon etkisi kullanılarak (farklı dalga boyları için farklı ışık hızı) ışık kendi spektral bileşenlerine ayrılır.(Şekil-37)

➤ Dağıtma Izgarası

Dağıtma ızgarasının işlevi, prizmanın işlevi ile çok benzer olup dağıtma ızgarasında yalnızca, girişim önemli bir faktördür. Işığın bir karışımı da kendi katkı yapan dalga boylarına ayrılır. Bu ızgara ile, 50GHz'ye kadar düşen kanal aralıkları elde edilebilmektedir.



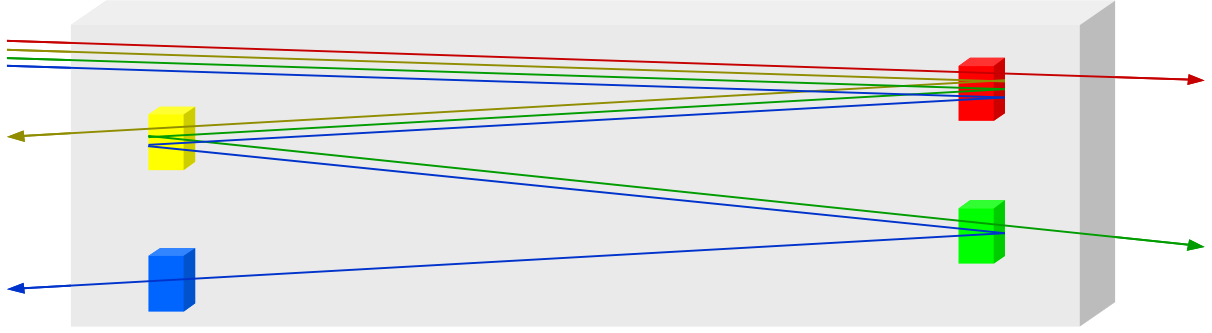
Şekil 37 Prizmanın etkisi



Şekil 38 Izgaranın etkisi

➤ **Dielektrik İnce Film Filtre**

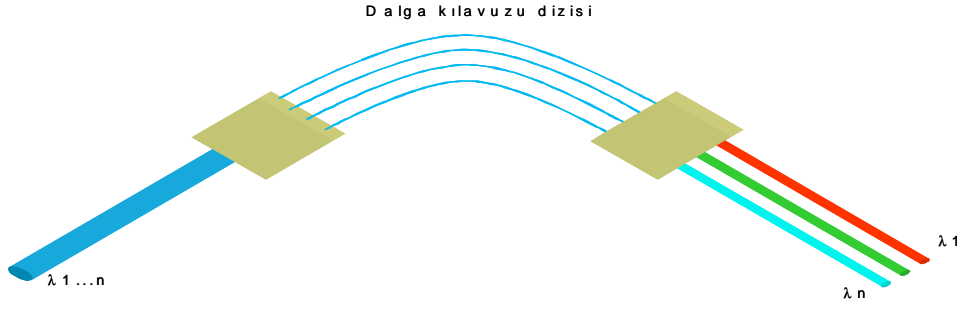
DTF filtresi, az indisli kanalın çoklanması ya da ayrılması amacına oldukça uygundur. Bunlar, sıra ile bağlı olup her bir filtre belirli bir dalga boyunu düşürür. Bu yöntem kolay olsa da bir güçlüğü vardır; her bir yansıma, yaklaşık 0.1dB'lik zayıflatmaya neden olmaktadır. Bu, özellikle çok indisli kanal söz konusu ise, son ayrılan kanalın ilkinine göre çok daha yüksek oranda zayıflatıldığı anlamını taşımaktadır. Bu özellik, DTF'lerin kullanımını, kanal indisini yaklaşık 16 ile sınırlayarak ciddi ölçüde kısıtlama yapmaktadır.(Şekil-39) Bu cihazlarla ulaşılabilir minimum aralık yaklaşık 100GHz'dir.



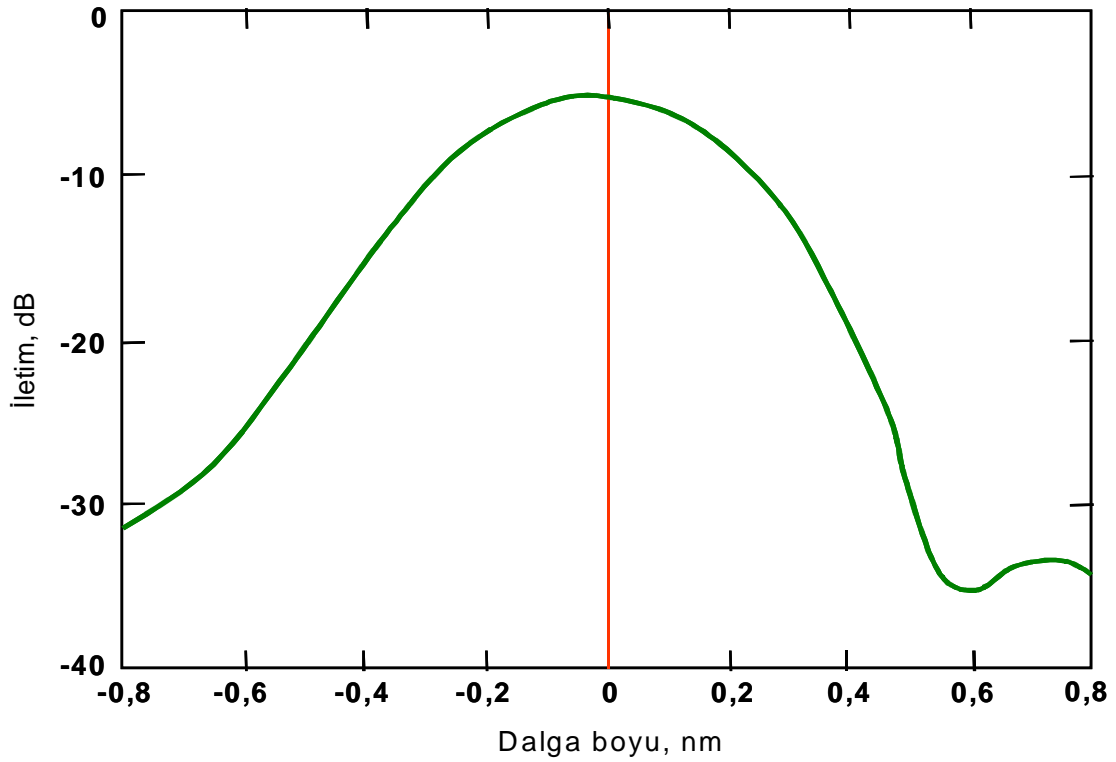
Şekil 39 Dar bantlı DTF filtreleri kullanarak ayırma

➤ **Dizi Dalga Kılavuzlu Izgaralar**

Girişim olgusuna dayanan bir başka teknik AWG'lerdir. Bu teknikte, optik uzunluk farkları kullanılarak her bir dalga boyunun çıkış fiberlerinde maksimum düzeye sahip olması sağlanır. Örneğin, bir WDM işaretini ayırmak için giriş işareti, bir bağlama bölümünden geçtikten sonra bir dizi düzlemsel dalga kılavuzuna bağlanır. Dispersiyon sırasında, her dalga kılavuzundaki işaretle, dalga kılavuzunun farklı uzunluklarından dolayı farklı bir faz değişikliği gerçekleşir. Ayrıca, faz değişiklikleri yine dispersiyon ile ilgili olan dalga boyuna bağlıdır. Sonuç olarak, farklı kanallar farklı uzaysal noktalar ya da farklı dalga kılavuzlarının girişlerine odaklanmaktadır. Bu yöntem, bütün kanallar az ya da çok aynı kayba uğradığından indisi daha çok olan kanallar için daha uygundur. Dizi dalga kılavuzlu ızgaralar minimum 50GHz'lik kanal aralıklarını yönetebilmektedir.(Şekil-40,41)



Şekil 40 Dizi dalga kılavuzlu ızgaranın işlevleri



Şekil 41 Bir AWG kanalı iletimi örneği

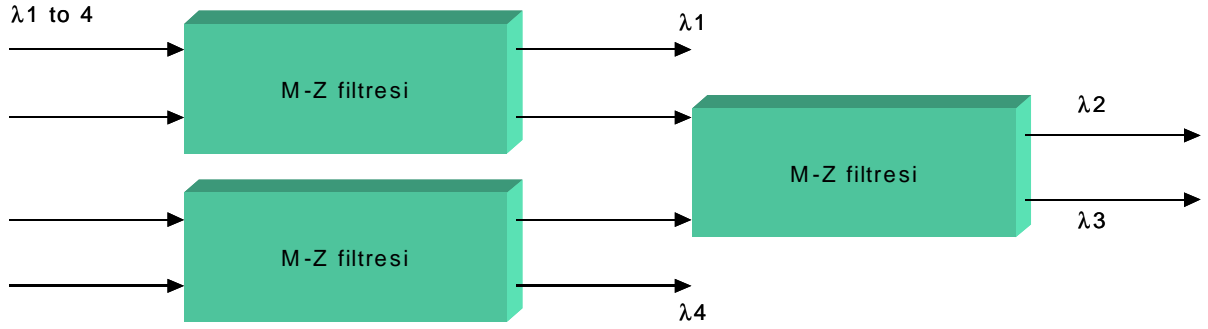
➤ **Mach Zender İnterferometresi**

Mach Zender filtrelerinin kademeli bir dizisini kullanarak farklı dalga boyu uzunluklu bir dizi kanalı ayırmak (ya da çoklamak) olanaklıdır. Bu Mach Zender interferometreleri, geleneksel teknoloji ile alt katmanlar ile bütünleştirilebilmektedir.(Şekil-43)

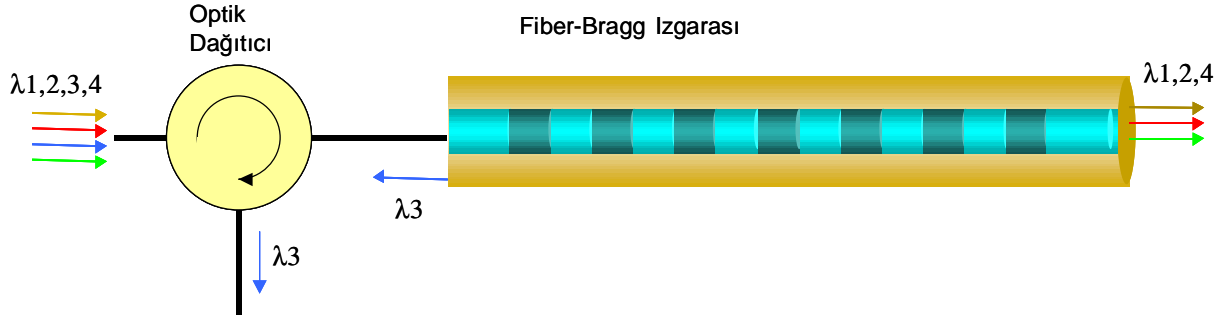
➤ **Fiber Bragg Iızgaraları**

Çok dalga boylu bir işareti dalga boylarına göre ayırmak için optik dağıtıcı ile Fiber-Bragg ızgarasının (FBG) bileşimi kullanılabilir. Bu yöntem, tekli dalga boyları

kolayca çıkarılabildiğinden özellikle optik ekle-çıkart işlevli çoklayıcılar için ilginçtir. Daha da ilginç ise söz konusu cihazı, piezo teknolojisini kullanan Fiber-Bragg ızgarasının sabite uzunluğunu değiştirerek ayarlama olanağıdır. Bunun bir yararı, her FBG için yalnızca 0.2dB'lik görece düşük ekleme kaybı olmasıdır. İkinci yararı ise yalnızca 25GHz'lik ulaşılabilir kanal aralığının bulunmasıdır.(şekil-43)



Şekil 42 Mach Zender interferometresinin işlevleri

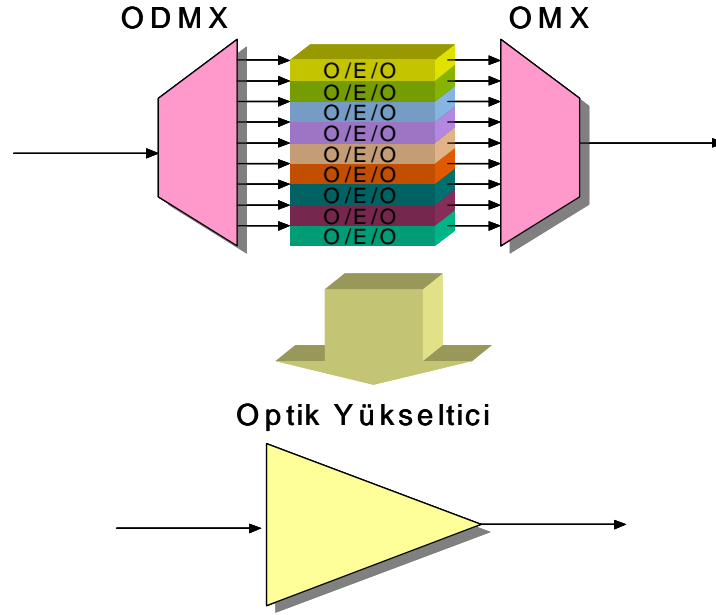


Şekil 43 Ayırıcı olarak fiber ızgara

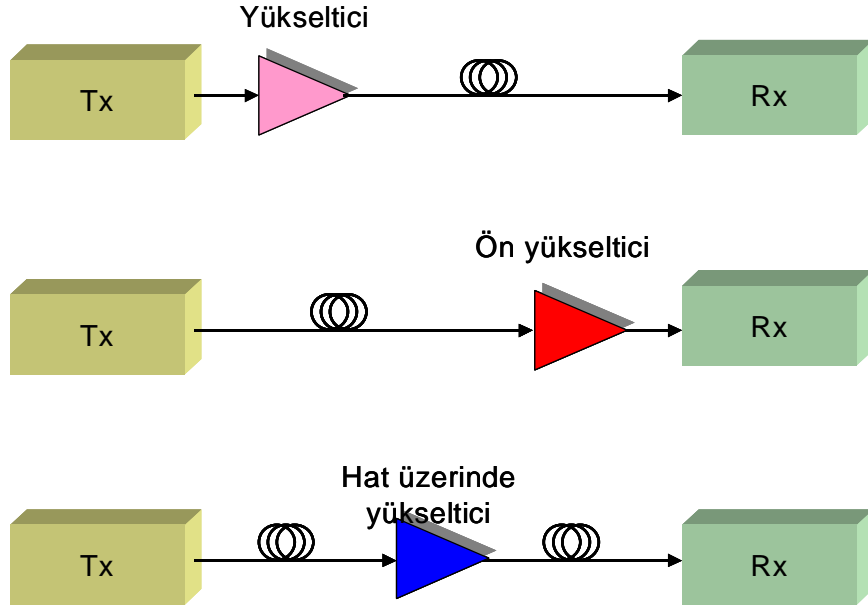
1.2.3.3 Optik Yükselticiler

Fiber kayıpları ve dispersiyonu, herhangi bir fiber optik iletişim sisteminin iletim mesafesini sınırlar. Uzun mesafeli WDM sistemlerinde, optik işaretin, bir alıcı kullanılarak optik işaretin elektrik alanına dönüştürüldüğü ve daha sonra bir verici kullanılarak bu işaretin yeniden üretildiği tekrarlayıcılarda periyodik yeniden üretimi ile aşılmaktadır. Bu rejeneratörler, çok kanallı ışık dalgalı sistemler için çok karmaşık ve pahalı olmaktadır. Optik işaretin yeniden üretimi dispersiyon ile sınırlı sistemler için gerekli olmasına karşın, kayıp ile sınırlı sistemler optik işareti doğrudan yükselten optik yükselticiler ile değiştirilirse bu yeniden üretimden büyük ölçüde yararlanmaktadır. 1980'lerde birçok tipte optik yükseltici araştırılmış ve geliştirilmiştir. Teknoloji ileri bir düzeye ulaştığından günümüzde optik

yükselticiler fiber optik iletişim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.(Şekil-44) Hat üzerinde, yardımcı ve ön yükseltici uygulamaları mevcuttur.(şekil-45) Hat üzerindeki yükselticiler doğrudan optik rejeneratörlerin yerine kullanılmaktadır. Yardımcı yükselticiler ise çıkış gücünü artırmak için verici ya da çoklayıcının hemen ardından kullanılmaktadır. Ön yükselticiler, alınan gücü artırmak ve mesafeyi büyütmek için alıcı ya da ayırıcıdan önce kullanılmaktadır. Her bir konfigürasyonun kullanımının yararları ve güçlükleri sistem tasarımcısı tarafından göz önünde bulundurulmalıdır. İletim fiberinde doğrusal olmayan etkiler söz konusu ise ve ayrıca yükselticiler gürültü oluşturuyorsa sorunlar ortaya çıkar. DWDM'de kullanılan optik yükselticilerde ilişkin yüksek sinyal gücü düşük gürültü düzeyli yükseltme profili şeklinde özelliklerin bulunması gereklidir.



Şekil 44 Optik/elektrikli rejeneratörlerden optik yükselticilere geçiş



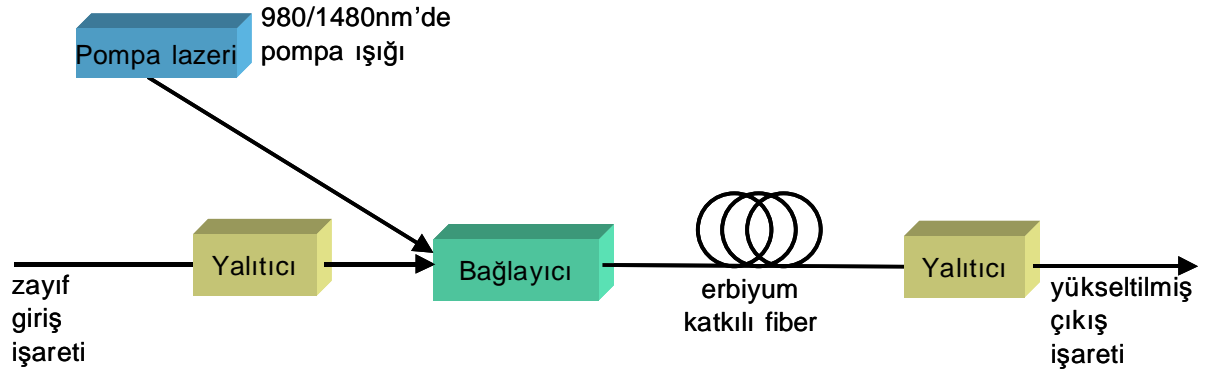
Şekil 45 Optik yükseltici uygulamaları

➤ **Erbiyum Katkılı Fiber Yükseltici (EDFA)**

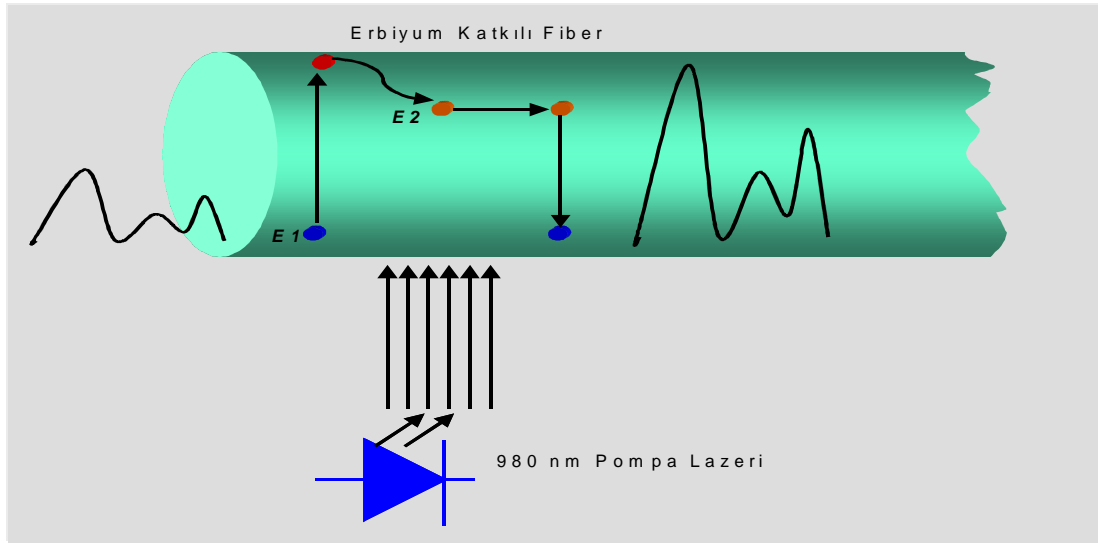
Optik yükseltme, yanı sıra bir işaretin önceden yükseltilmesi ya da artırılmasında çok sık olarak EDFA'lar (Erbiyum katkılı fiber yükselticiler) kullanılır. Bu sistemler temelde bir pompa lazeri, işaret ve pompa ışığını birleştirmek için bir bağlayıcı ve birkaç metre uzunlukta erbiyum katkılı fiber parçasından oluşur. 980 ile 1480nm arasındaki pompa lazeri E1 enerjisinden gelen Erbiyum iyonlarının elektronlarını daha yüksek, uyarılmış bir düzeye yükseltir. Bir sonraki adımda, elektronlar biraz alçalarak E2 enerji düzeyine iner. Bu şekilde, pompa ışığı ile işaret ışığının birbirini etkilememesi sağlanır. Son olarak, „indüklenmiş yayma“ kullanılır. İşaret ışığının bir fotonu elektrondan geçer; bunun sonucunda söz konusu elektron daha önce sahip olduğu E1 enerjisine iner, aynı zamanda henüz geçen fotonla aynı bir başka fotonu yayar. Böylece, işaret yükseltilir. Kısaca, EDFA'da pompa ışığı işaret ışığına dönüştürülerek işareti yükseltir. Sinyal gücü, erbiyum-iyon yoğunlaşması, çekirdek yarı çapı, yükseltici uzunluğu, pompa gücü ve pompa konfigürasyonu gibi faktörlerden etkilenmektedir. EDFA'lar, bütün üçüncü ve dördüncü iletim pencerelerini yükseltmek için kullanılabilir. Tipik EDFA değerleri şöyledir:

Tipik EDFA değerleri

	C Bandı	L Bandı
Dalga boyu aralığı	1530-1565nm	1570-1605nm
Toplam çıkış gücü	14-25dBm	14-25dBm
Aktif fiber uzunluğu	10-60m	50-300m
Pompa lazeri indissı	2-6	3-8



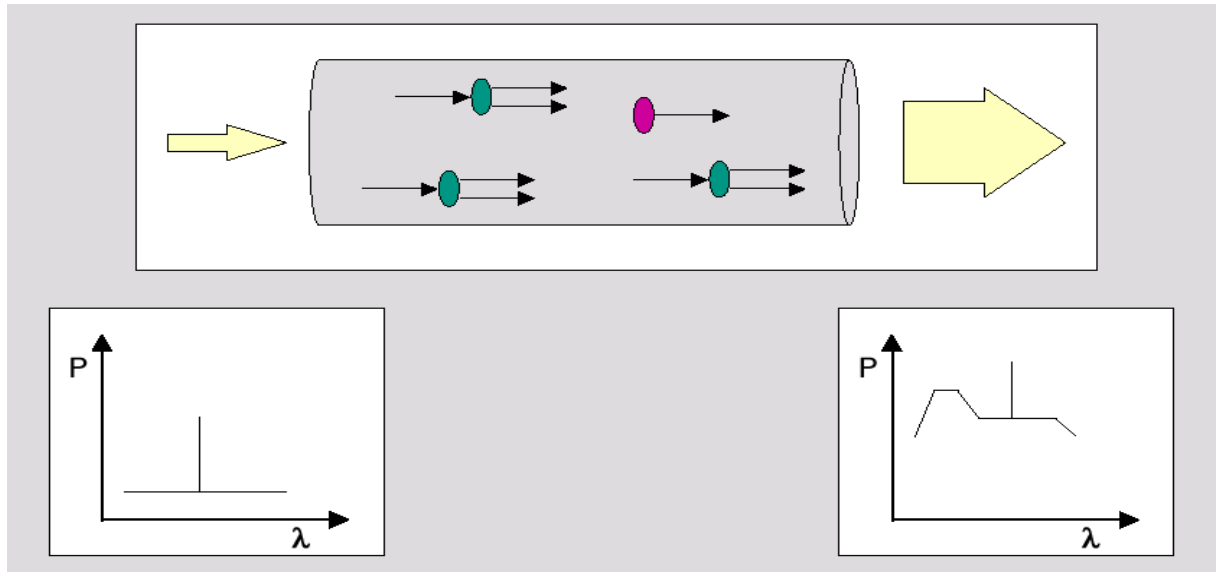
Şekil 46 Bir EDFA'nın yerleşim düzeni



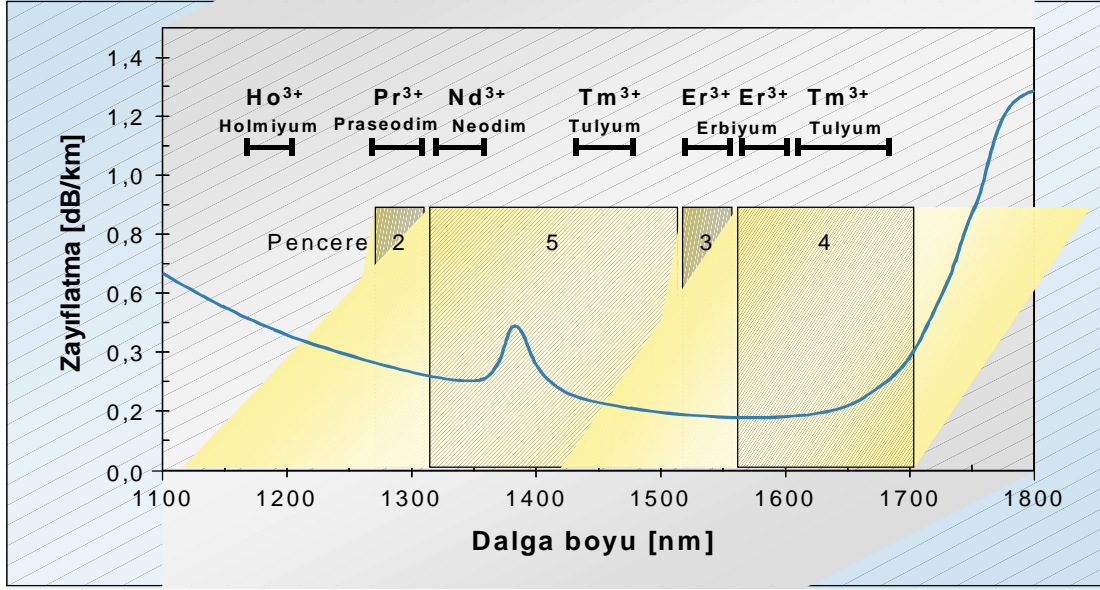
Şekil 47 EDFA'nın işlevleri

EDFA ile yapılan yükseltmelerde birtakım güçlüklerle karşılaşılabilir. Yükseltme, aralık üzerinde doğrusal değildir. Bütün kanalları karşılaştırılabilir bir güç düzeyine ayarlamak için her bir ayrı kanalı önceden vurgulamak amacıyla değişken optik zayıflatıcıları (VOA'lar) kullanmak gerekir. İkinci olarak, toplam çıkış gücünün, iletilen kanal indisinden bağımsız olarak sabit kalmasıdır. Bu, kanal indisi arttıkça her kanal için daha az güç ve olanaklı en kısa hop gerçekleştiği anlamına gelir. Son olarak, sözde yükseltilmiş anlık yaymadır (ASE)(Şekil-48). Bazı uyarılmış elektronlar, indüklenmeden zemin düzeyine iner. Söz konusu ışınım da yükseltilir ve gürültü arka planının önemli bir bölümünü oluşturur.

Bunun yanında yaraları da mevcuttur. Bütün 1550nm'lik alanın eş zamanlı yükseltilmesi, 1 ila 1000mW toplam çıkış gücü olanağı, büyük dinamik aralıklara sahip olması, uzun mesafeli uygulamalara uygun olması şeklinde sıralanabilir. Bu yüzden, EDFA'lar günümüzde en yaygın kullanılan yükseltici tipidir. EDFA'lar genelde kademelidir ve bunun iki yararı vardır: Örneğin 980nm'de pompalanan bir yükseltici ile 1480nm'de pompalanan bir başka yükselticinin kademelendirilmesi yoluyla gürültünün azaltılması. VOA bulunan yükselticilerin özellikleri ayarlanarak eğim dengelenebilmektedir. Erbiyum gibi nadir bulunan diğer elementler de diğer dalga boyu aralıklarının yükseltilmesinde kullanılabilir. Günümüzde, bununla beraber, anılan yükselticiler kullanıma hazır değildir.(Şekil-49) (Miltra Martha P., 2001)



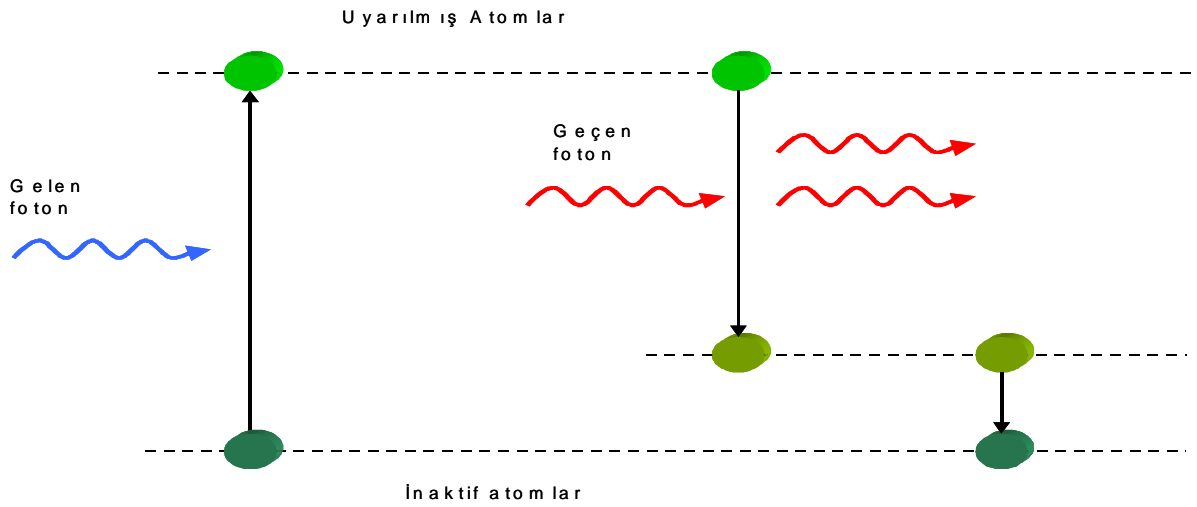
Şekil 48 EDFA'da gürültü (ASE) oluşumu



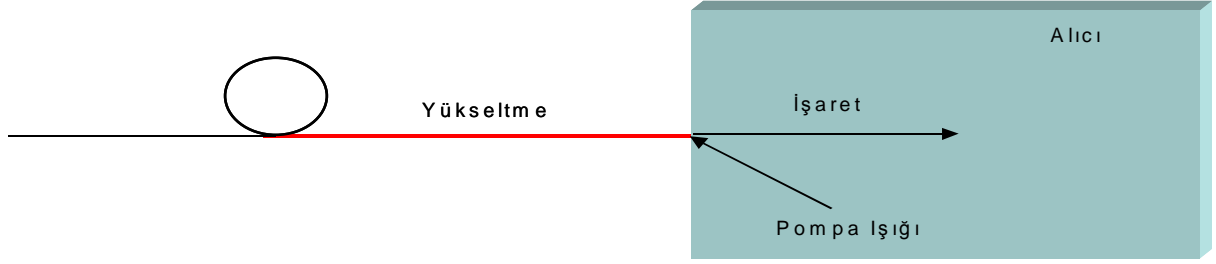
Şekil 49 Fiber yükselticilerde kullanılan maddeler

➤ **Raman / Brillouin Yükselticisi**

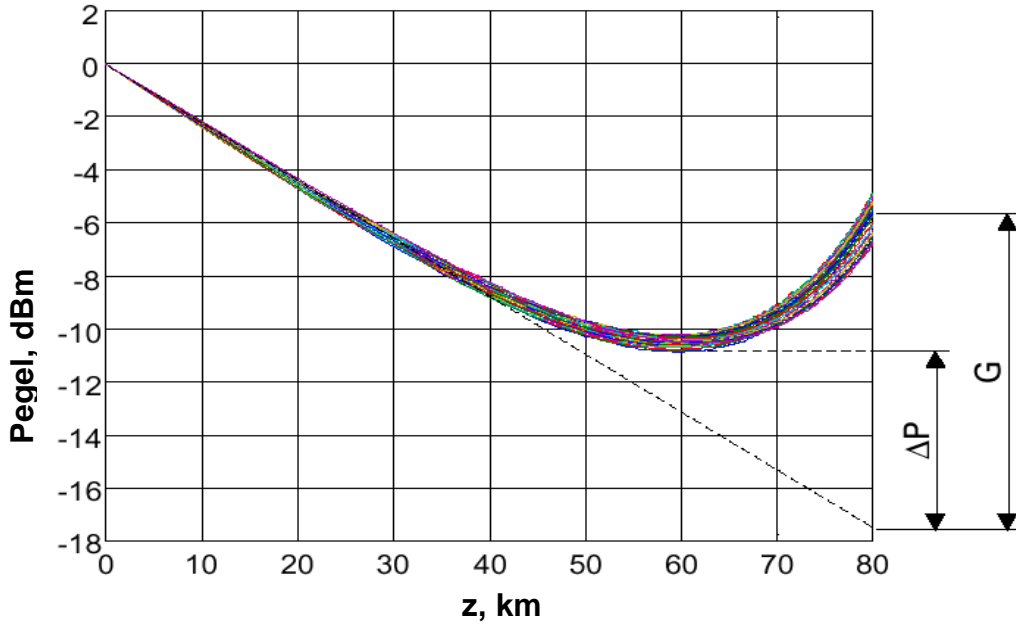
Yükseltmede, Uyarılmış Raman ve Brillouin Saçılması da kullanılabilir. Fiber yükselticilerin aksine bu yükselticiler genelde alma tarafından pompalanır. Elde edilen başlıca yarar, bu yükselticilerin, saçılma ile işaret ışığına dönüştürülen pompa ışığının dalga boyuna bağlı olarak 1300 ila 1600nm'nin üzerinde bütün bir aralıkta kullanılabilmesidir. Elde edilen sinyal gücü, 10 ila 14dB aralığında olabilmektedir.(Şekil-50,51,52)



Şekil 50 Bir Raman yükselticisinin işlevleri



Şekil 51 Karşıt yönden pompalanan bir Raman yükselticisinin yerleşim düzeni

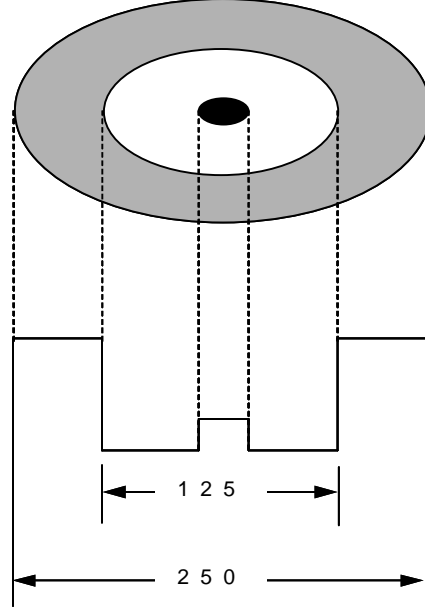


Şekil 52 Karşıt yönden pompalanan bir Raman hattı boyunca tipik güç şeması

1.2.3.4 Fiber Optik

Fiber optik, optik iletişim sisteminin ana parçasını oluşturur.(Şekil-53) Fiber optik tasarımı ilk kez kullanıldığı 1950'lerden itibaren etkileyici bir şekilde gelişmiştir ve sürekli olarak yeni ve özel fiberler geliştirilmektedir. Bir fiber optik temel olarak bilgi taşıma camı (**çekirdek**), görece "daha iyi" cam (**ince kaplama**), İnce kaplama üzerine koruyucu plastik katman (kaplama) oluşur. Fiber, bu çekirdek -ince kaplama- kaplamanın bileşimidir. Çekirdek ve ince kaplamanın özellikleri fiber tipini tanımlar. Fiberin farklı bölümlerinin kırılma indissı ana özelliği oluşturmaktadır. Kırılma indisini değiştirerek kromatik dispersiyon ve doğrusal olmayan etkilerin önemini değiştirmek mümkündür. Fiber optik yapıldığında, düşük kromatik dispersiyon, düşük PMD,FWM olmaması istenen özelliklerdir.

Fiber çapraz kesiti
ve
kırılma sayısı.



İletim uygulamalarında kullanılan fiber optik in boyutları şöyledir:

Yaklaşık çekirdek çapı: 8 μm , 50 μm , 62,5 μm

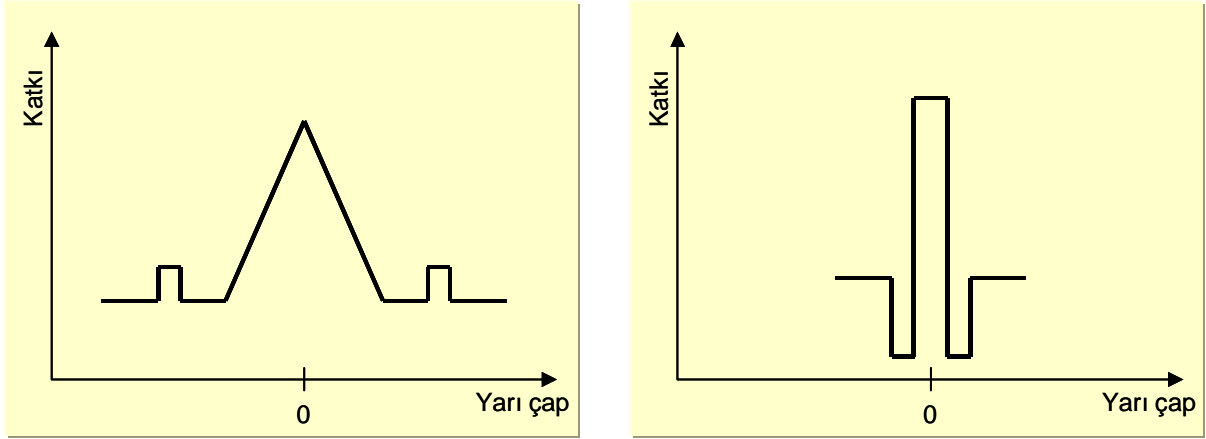
İnce kaplama ile çapı: 125 μm

Kaplama ile çapı: 250 μm

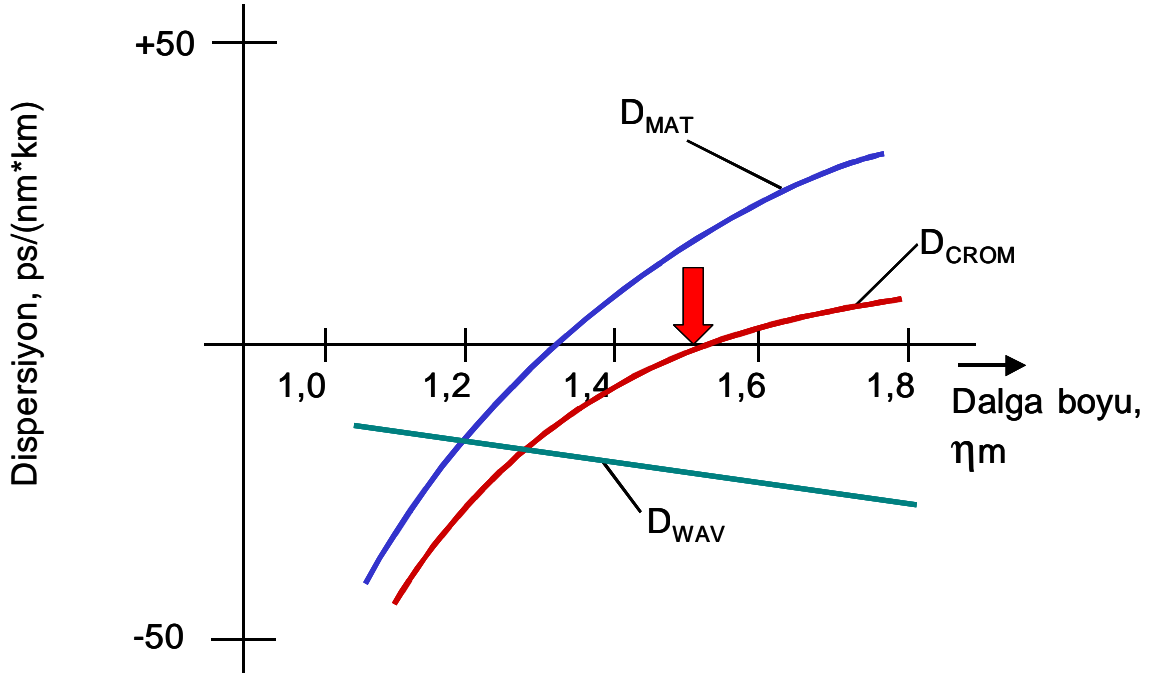
Şekil 53 Yaygın olarak bilinen boyutlara sahip bir fiber optiğin tipik yapısı

➤ Kromatik Dispersiyon

Standart tek modlu fiberde bulunan kromatik dispersiyon sorunu (G.652'ye göre SSMF), sıfır değerine olağan tek modlu fiber gibi 1300nm'de değil 1550 nm'de sahip olan, dispersiyonu kaydırılan fiber kullanılarak (G.653'e göre) çözülebilmektedir. Bu tip fiber kurulu ya da mevcut değilse standart tek modlu fiber ile birlikte dispersiyon dengeleme fiberi ya da dispersiyon dengeleme filtreleri kullanılabilir.(Şekil-54,55)



Şekil 54 Dispersiyonu kaydırılan fiber için katkı profilleri



Şekil 55 Dispersiyonu kaydırılan fiber

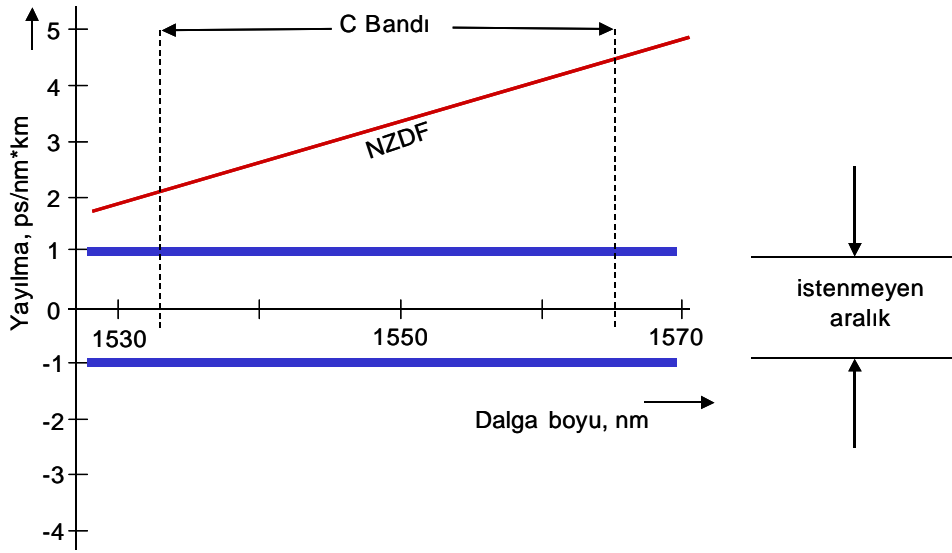
➤ Dört dalgalı girişim

Sıfır dispersiyonu kaydırılan fiber FWM ile büyük sorunlar oluşturduğundan kullanılmamalıdır. Dispersiyon olmaması bütün dalgaların aynı hızda, „birbirine yakın olarak“ ilerlemesine neden olur, böylece bu dalgalara FWM etkileşimi için çok fazla zaman vermesine neden olur. Bunun çözebilmek için, düşük ancak, gerek pozitif gerek negatif, gözle görülür bir dispersiyona sahip sıfır olmayan dispersiyonlu fiber (G.655'e göre NZDF)

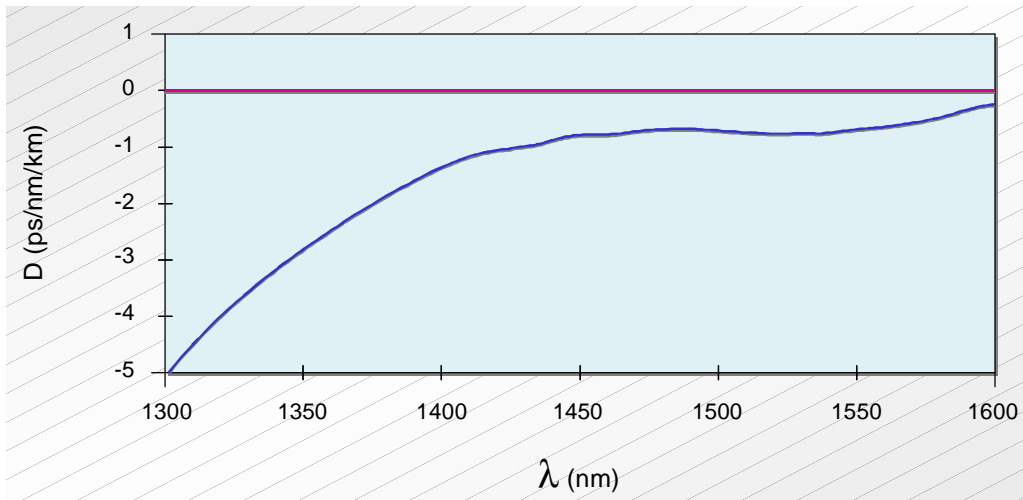
kullanmaktır.(Şekil-56,57) Dispersiyon eğrisinin düzleştirilmesi, sorunu gidermektedir. Her bir durumda, dispersiyon sorunu, dispersiyonu dengeleyici cihazlarla aşılabilmektedir.

➤ Polarizasyon Mod Dispersiyonu

PMD sorunu ilk önce kullanıcı tarafından göz önünde bulundurulmak zorundadır ancak, özellikle yaşlı fiberlerin kullanılması durumunda WDM'nin aralık performansı üzerinde hala ciddi bir etkiye sahiptir. Bu yüzden, bu sorunu çözen PMD dengeleyicileri geliştirilmiştir.



Şekil 56 Sıfır olmayan dispersiyonu kaydırılan fiber örneği

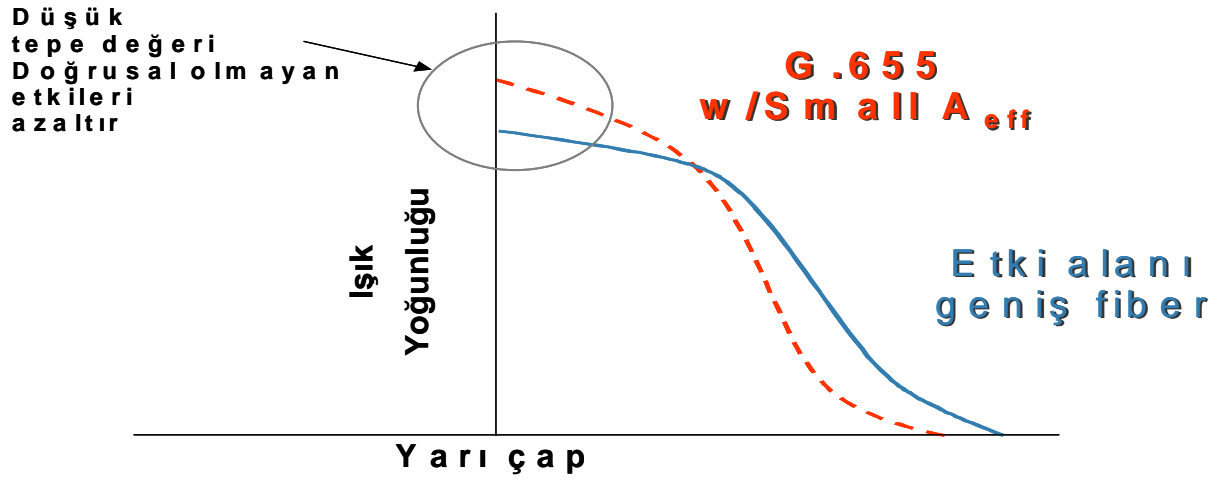


Şekil 57 NZDF örneği

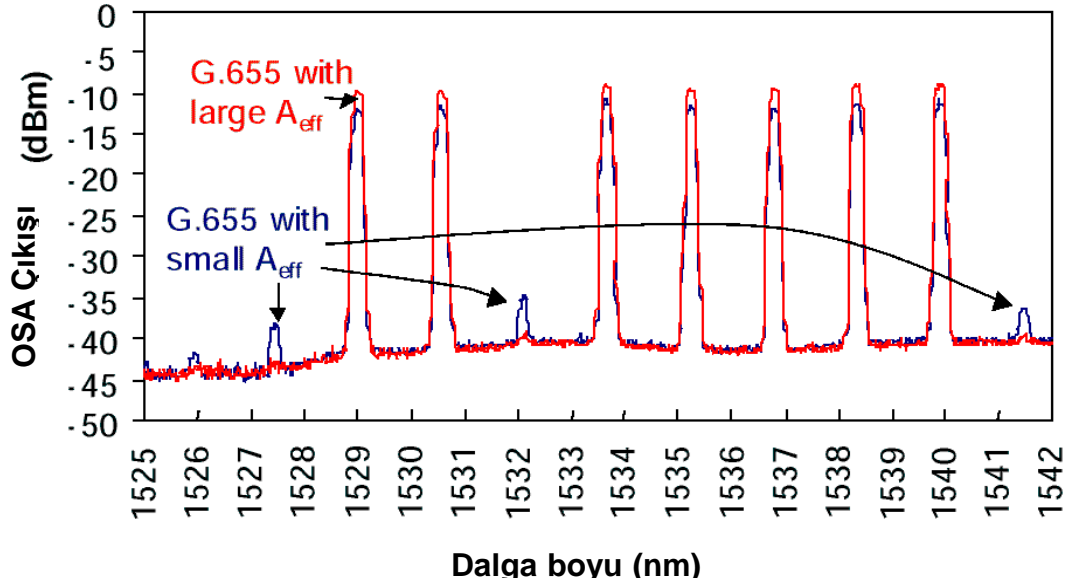
➤ Doğrusal olmama durumları

Birçok doğrusal olmama durumu, güç yoğunluğunun artması ile daha kötü bir hal almaktadır. Bu, genel olarak ifade edersek NZDF, SMF'den daha küçük bir enine kesite sahip olduğundan doğrusal olmayan daha fazla durum ortaya çıkaran bir sorundur.

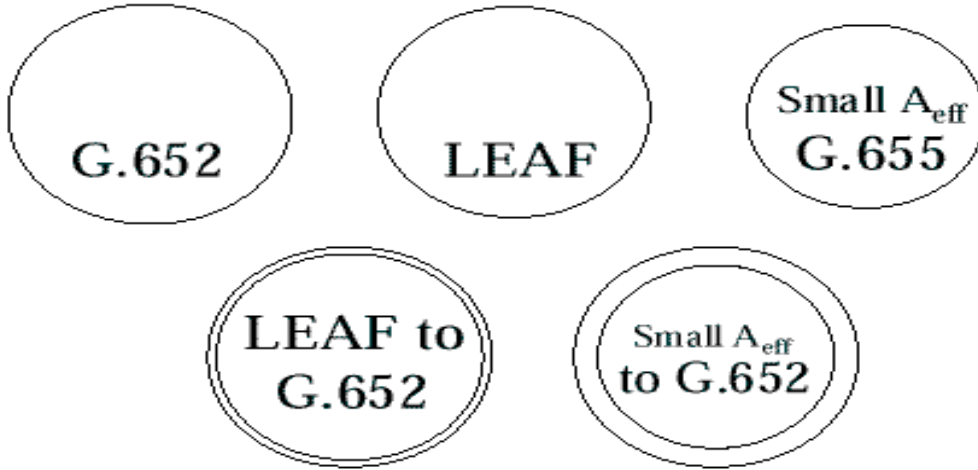
Etkin fiber alanına güç oranını küçük tutmak için, olağan NZDF ile karşılaştırıldığında güç yoğunluğunu düşüren „geniş etkin alan“lı NZ fiberleri kullanılabilir. Ek bir yarar olarak, SMF'ye daha iyi bağlantı yerleri elde edilir.(Şekil-58,59,60)



Şekil 58 Etki alanı geniş fiberlerde güç yoğunluğu



Şekil 59 Etki alanı geniş fiber



Şekil 60 Farklı fiber enine kesitleri ve bağlantı yeri örnekleri

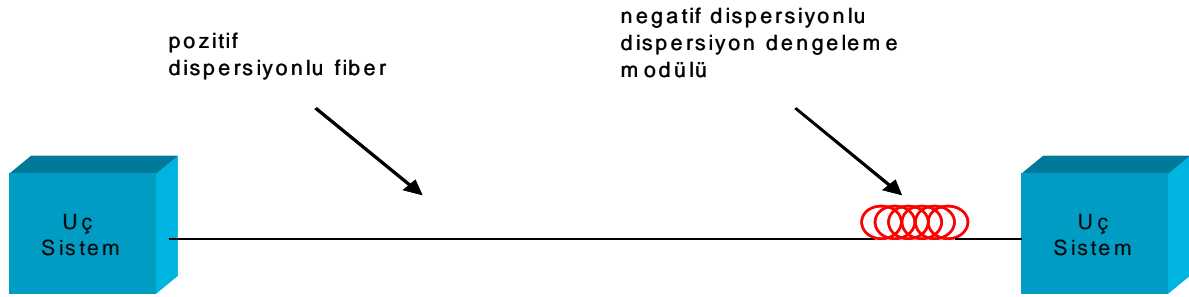
1.2.3.5 Dispersiyon Dengeleme Modülleri

➤ Dispersiyon Dengeleme Fiberi

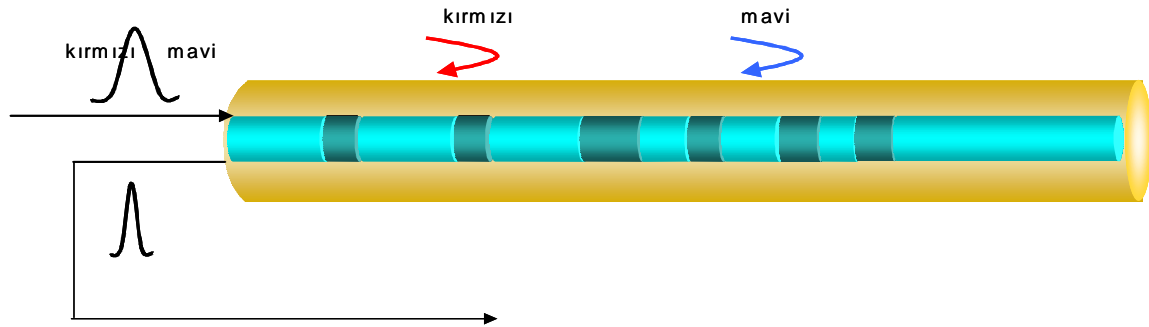
İletim yolunda, olağan iletim fiberinin aksine büyük bir dispersiyon katsayısına sahip, uzunluğu kısa bir fiber kullanılır. Fiber genelde sarılır ve bir modül olarak kullanılır, dengeleme fiberinin uzunluğu normal fiberin ne kadar dengelendiğine bağlıdır.(Şekil-61)

➤ Salımlı (indis değişimli) fiber Bragg Izzarası

"Salımlı", indis değişiminin doğrusal, değişken bir karakter sıklığına sahip olduğu anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, uzun dalga boyları daha önce, kısa dalga boyları ise daha sonra yansıtılmaktadır. Bu, optik dağıtıcı ile birleştiğinde dispersiyonun dengelenmesi amacıyla kullanılabilir.(Şekil-62)



Şekil 61 Dengeleme fiberi kullanılarak dispersiyonun dengelenmesi

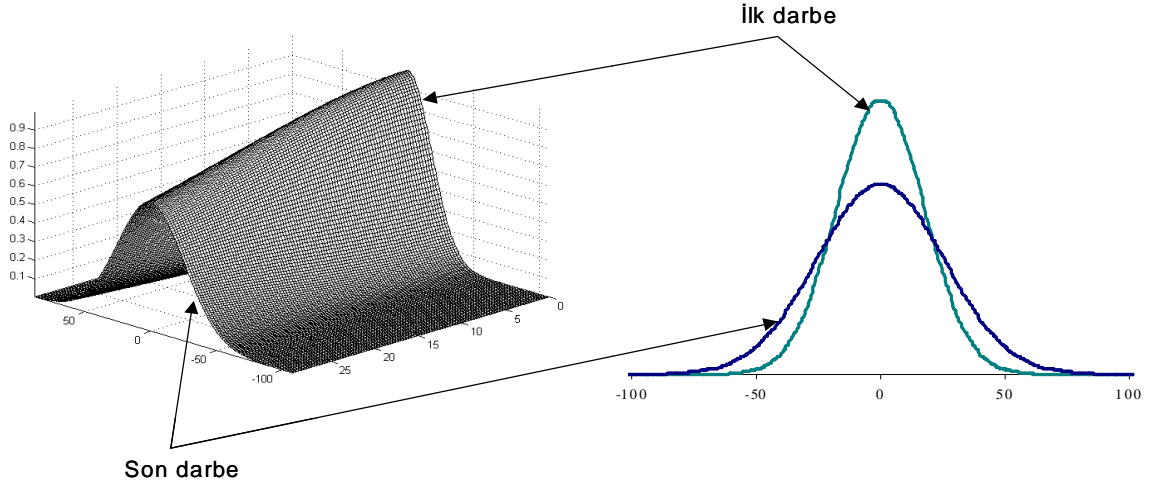
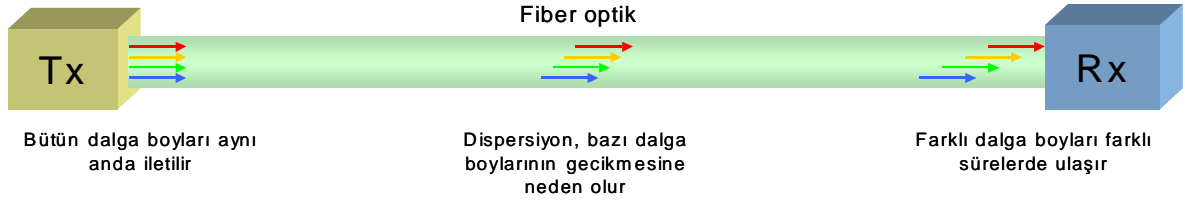


Şekil 62 Salımlı fiber Bragg ızgarasının etkisi

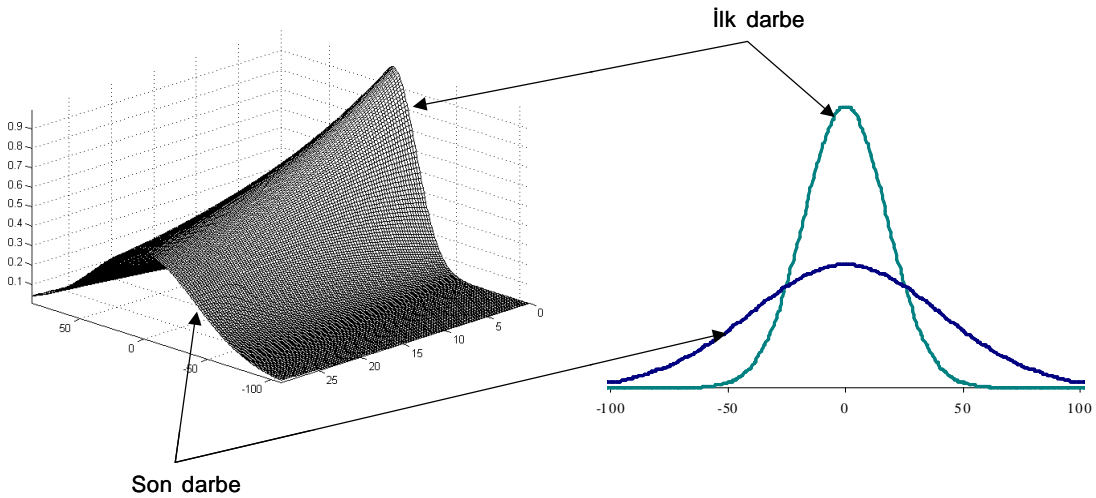
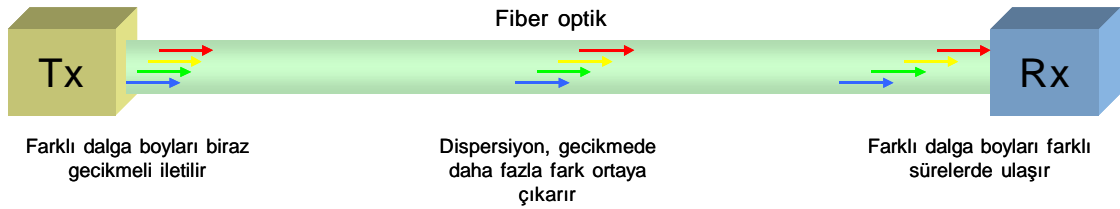
➤ Lazer Salınımı

Dispersiyon salımlı fiber (ya da taşıyıcı frekans kaydırması, iletilen dalga boyundaki osilasyonlar) ile birlikte pozitif ya da negatif faktör olabilmektedir. Dispersiyon nedeniyle

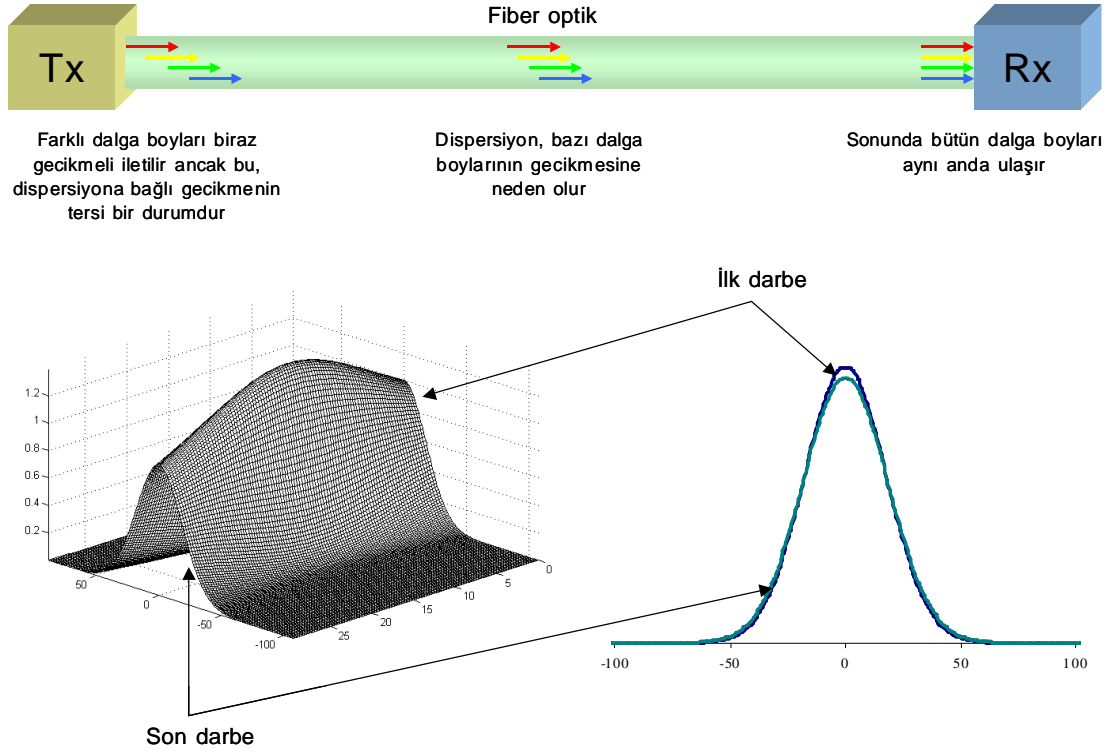
bazı dalga boylarının diğerlerinden daha hızlı ilerlediği düşünülürken, salınım parametrelerini doğru bir şekilde ayarlayarak yavaş dalga boylarını hızlı dalga boylarından önce iletmek olanaklıdır. Bu şekilde, iletilen işaret fiberin belli bir uzunluğuna kadar dispersiyona karşı dirençli olmaktadır. Harici modülatörler, salınımı kontrol etmek için, doğrudan modüle edilen lazerlere göre daha az ve daha kolay sonuç doğurmaktadır. (Şekil-63,64,65) (Nokia Siemens Networks, 2009)



Şekil 63 Salınım olmaksızın iletim örneği



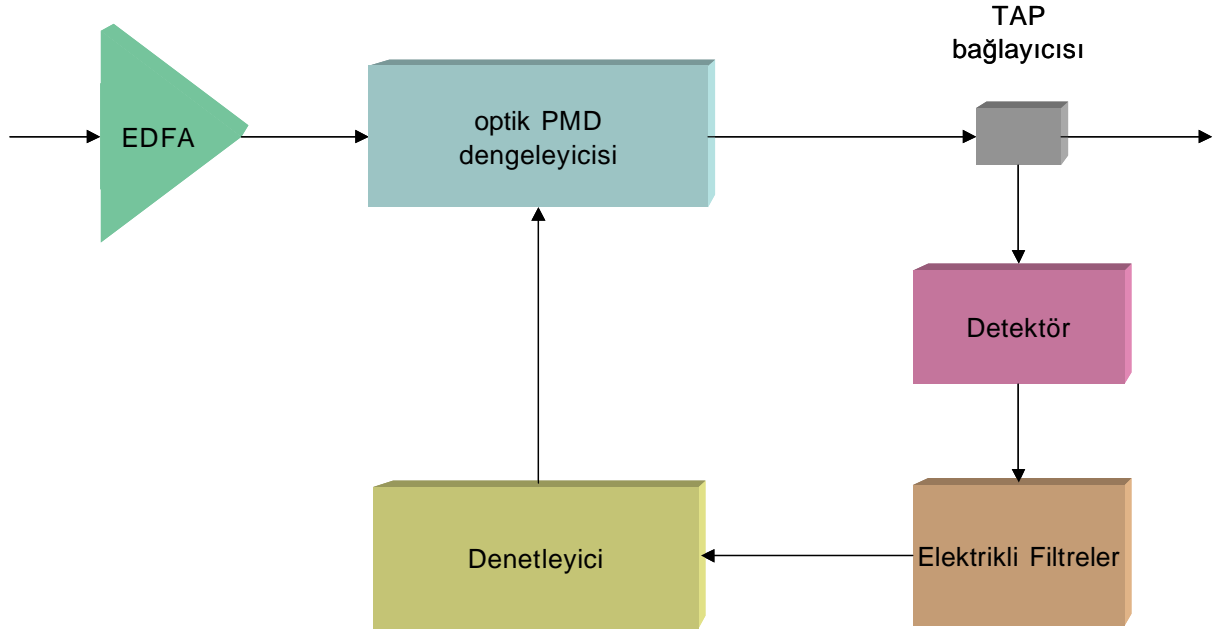
Şekil 64 Salınımla indüklenmiş bozulma ile iletim örneği



Şekil 65 Salımla indüklenmiş dispersiyon dengelemesine sahip iletim örneği

1.2.3.6 PMD Dengelemesi

WDM sistemlerinde, özellikle yüksek bit hızları söz konusu olduğunda, PMD sorunu ortaya çıkmaktadır. Şu an, optik, opto elektronik ve elektronik teknikler dahil farklı teknikler kullanılmaktadır. Optik teknikte, örneğin bir dizi polarizasyon denetleyicisi ve sabit gecikme ya da polarizasyon denetleyicisi/işın ayırıcısı ve değişken optik gecikmesi kullanılabilir. Başlıca sorun, PMD'nin zamana bağımlı bir olgu ve bu yüzden dengelemenin olağan dispersiyonda olduğu gibi statik olarak değil dinamik olarak gerçekleştirilmek zorunda olmasıdır. Bu tür dengeleyiciler için yanıtama süresi mümkün olduğunca kısa, örneğin 50ms aralığında olmalıdır. PMD dengeleyicisinin kendisi, göz önüne alınmak zorunda olan görece yüksek bir ekleme kaybına sahip olduğundan EDFA'nın sağında gösterilen örnek ek olarak kullanılabilir.(Şekil-66)



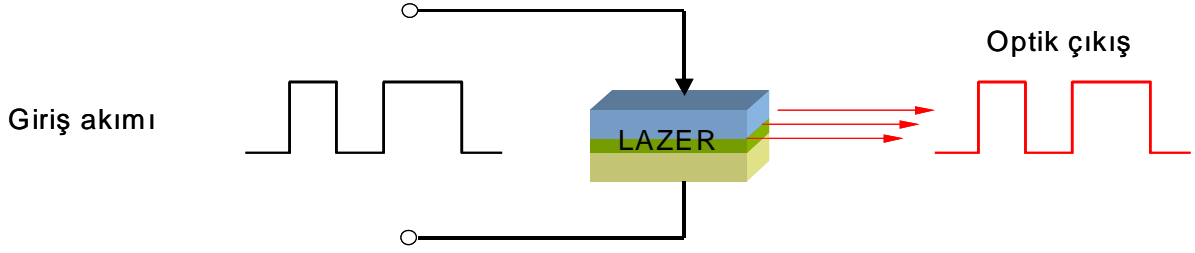
Şekil 66 Bir PMD dengeleyicisinin yerleşim düzeni

1.2.3.7 Lazer ve Modülatörler

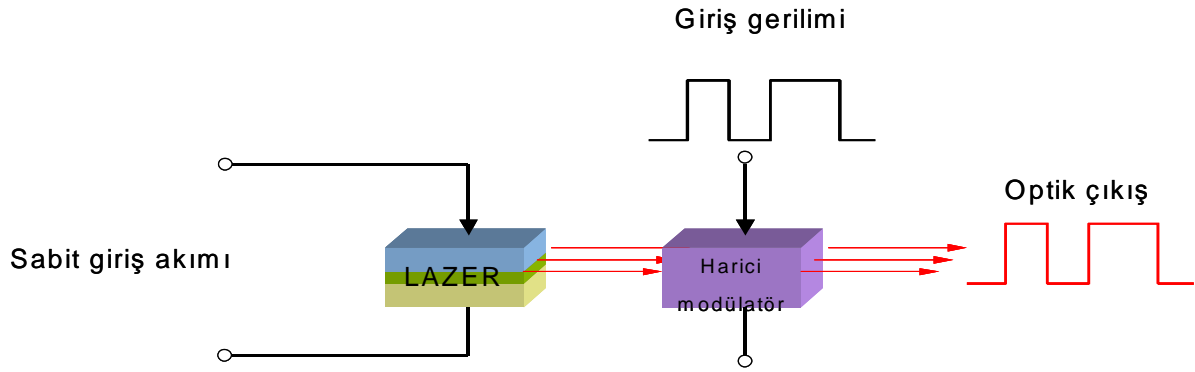
Lazerler, optik işaretlerin üretilmesi amacıyla optik güç sağlama işlevine sahiptir. DWDM sistemleri, akımla yürütülen n ve p tipi katkı katmanların bir bileşiminden oluşan yarı iletken lazerler kullanmaktadır. Üretilen ışığın kalitesi büyük oranda lazer yapısına bağlıdır ve gerekli uygulamaya göre birçok tipte cihaz geliştirilmiştir. Lazerler, doğrudan ya da harici olarak modüle edilebilmektedir. İlk durumda lazer akımı, ışık çıkış işaretini açan ya da kapatan giriş işaretidir. İkinci durumda ise lazer akımı sabit kalır ve ışığı harici bir cihaz modüle eder.

Düşük dalga boyu toleransı, dar bant, yüksek dalga boyu, ses bu iletim birimlerinin gereklilikleri arasında gösterilebilir. Bir lazer, modüle edilmediğinde açık bir taşıyıcı oluşturma kapasitesine sahip olduğunda dar bant olarak adlandırılır. Düşük kanal aralığına sahip DWDM sistemleri, işaret için kullanılan bant genişliğini en aza indirmek amacıyla dar bantlı lazerler gerektirirler. Dalga boyu doğrusallığı, lazerin çevresel değişikliklerle (bir başka deyişle sıcaklık, nem) iletilen aynı dalga boyunu sürdürebilmesi olarak açıklanabilir. Ses ya da taşıyıcı frekans kaydırması, iletilen dalga boyundaki osilasyonlardır. Bu osilasyonlar, uygulanan akımdaki lazer maddesinin bağımlılığından kaynaklanmaktadır. Bu etki özellikle, doğrudan modüle edilen lazerlerde ortaya çıkmakta ve pratik bir sonuç olarak

işaretin dalga genişliğini arttırmaktadır. Lazerler ayrıca EDFA'lar için pompa lazeri işlevi görürler . Bu lazerler, oldukça yüksek bir güce sahip lazerlerdir ve genellikle, gerekli yüksek pompa gücünü vermek için farklı bağlama cihazları aracılığıyla kademelendirilirler.(Şekil-67,68)



Şekil 67 Doğrudan modülasyonlu lazer konfigürasyonu



Şekil 68 Harici modülasyonlu lazer konfigürasyonu

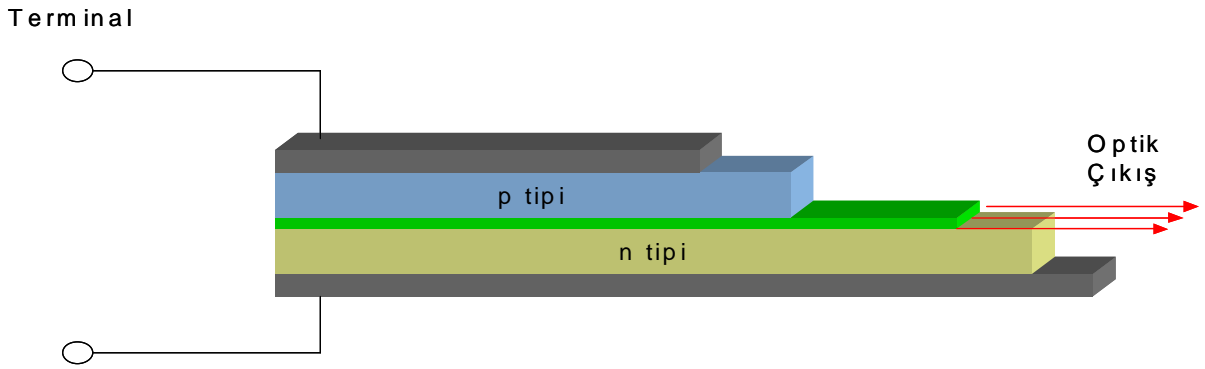
➤ Lazerler

• Fabry-Perot Lazeri

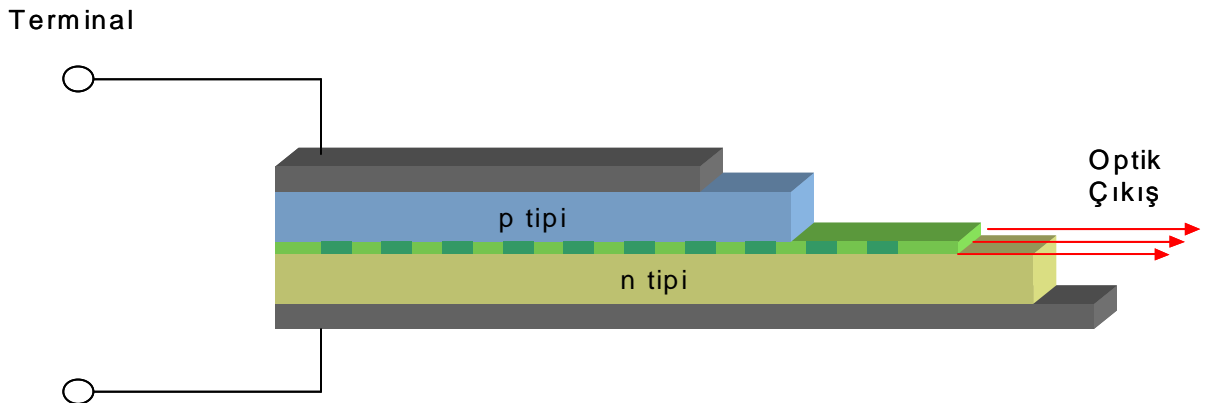
Fabry-Perot Yapısı, yarı iletken bir lazerin en basit biçimidir. Esas olarak, bu lazerler bir n ve p tipi katkılı katmandan oluşan, düzlemsel ışık yayan diyotlardır. Bu iki katman arasında, lazer işleminin gerçekleştiği aktif bölge bulunur. Lazer, dalga boyunu seçebilmek için bu bölgeye, bölerek elde edilebilecek bir interferometre biçiminde olmak zorundadır. Lazer boşluğunun uzunluğu, lazer dalga boyunu belirler. Fabry-Perot interferometresi gibi FP Lazeri de çok "iyi" değildir: İstenen dalga boyuna ek olarak, etkin bir şekilde daha büyük bir hat genişliği sağlayan "yan dalga boyları" elde edilir. Bu yüzden FP Lazeri, "Çoklu-Uzunlamasına Modlu" (MLM) Lazer olarak da adlandırılır.

- **Dağıtılmış Geri besleme Lazerleri**

DFB Lazerleri, DWDM'de yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada, Dielektrik İnce Film Filtrede olduğu gibi temelde aynı yöntemi uygulanır. İşlemin sonunda ayna kullanılmaz ancak, lazer boşluğuna, Bragg Izgarasındaki biraz benzer şekilde katmanlı bir yapı uygulanır. Bu, FP yapısının ortaya çıkardığı etkiye benzer, hatta daha iyi bir etki doğurmaktadır. Hafif daha karmaşık bir yapıya sahip olmalarına karşın DFB lazerleri gerekliliklere daha uygundur. Dar tepe değerleri (yaklaşık 0.0001nm) 1520 ila 1565nm ve üzeri dalga boyu aralığı (üçüncü ve dördüncü pencere) Dengeli DFB lazerleri, gerçekten yalnızca bir lazer modu oluşturduklarından, SLM (Tekli Uzunlamasına Modlu) Lazerleri olarak da bilinmektedir.



Şekil 69 Fabry-Perot lazeri



Şekil 70 DFB lazeri

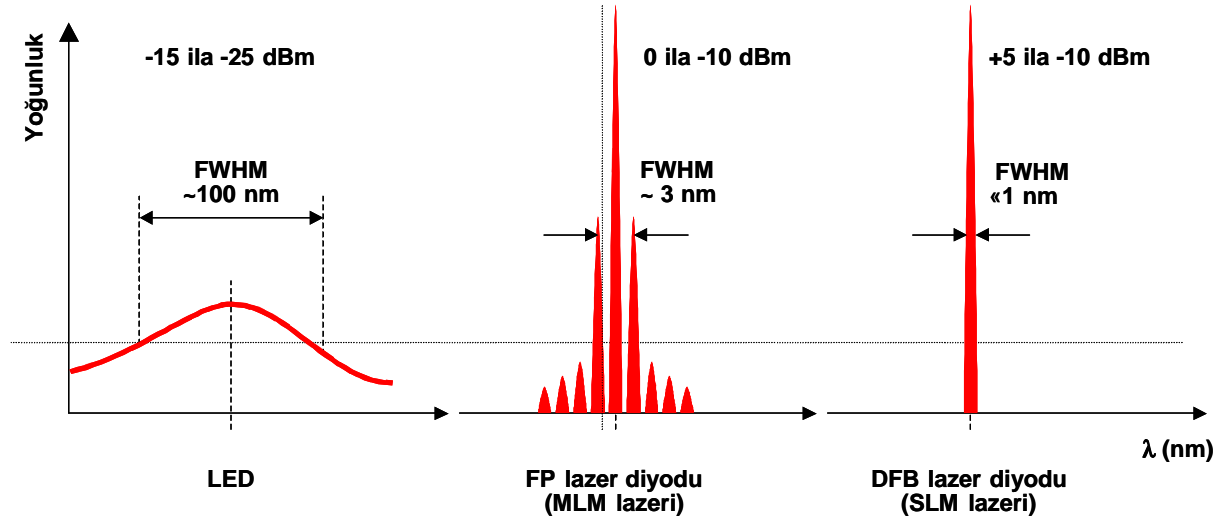
FP Lazerleri olağan tek kanallı iletimlerde "gri" ışık kaynakları olarak yaygın olarak kullanılırken DFB lazerleri, DWDM sistemleri çok daha küçük hat genişliğine sahip olduğundan bu sistemler için genel lazer kaynağını oluşturmaktadır.(Şekil-69,70)

- **Ayarlanabilir Lazerler**

Lazer teknolojisindeki en son gelişme, ayarlanabilir yarı iletken lazerler olmuştur. Bu lazerler, DWDM için ilginç birçok özelliğe sahip olduklarından oldukça aranan lazerlerdir. Birçok renk için tek lazer (yedek!), OADM'lerde kullanım, optik çapraz bağlantılarda kullanım, optik koruma aktarması, vb. için kullanım gibi avantajları mevcuttur. Teknik açıdan ele alındığında lazerler, lazer boşluğunun kırılma indisi değiştirilerek ayarlanabilmektedir. Kırılma indisinin değiştirilmesi, boşluk uzunluğunun değiştirilmesi, böylece dalga boyunun seçili olarak gönderilmesi anlamına gelir.

- **Pompa Lazerleri**

EDFA'ların pompalanmasında genelde, watt aralığına kadar oldukça yüksek güç ortaya çıkaran pompa lazerleri kullanılmaktadır. Hat genişliğine göre daha fazla polarizasyon özelliği ve güç etken olan özelliklerdir.

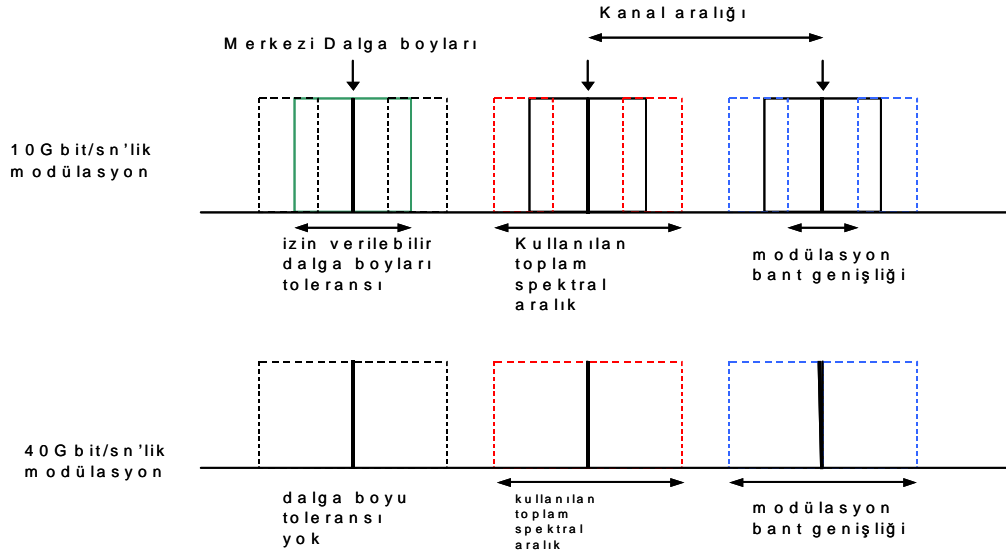


Şekil 71 Farklı LED ve lazer tiplerinin özellikleri

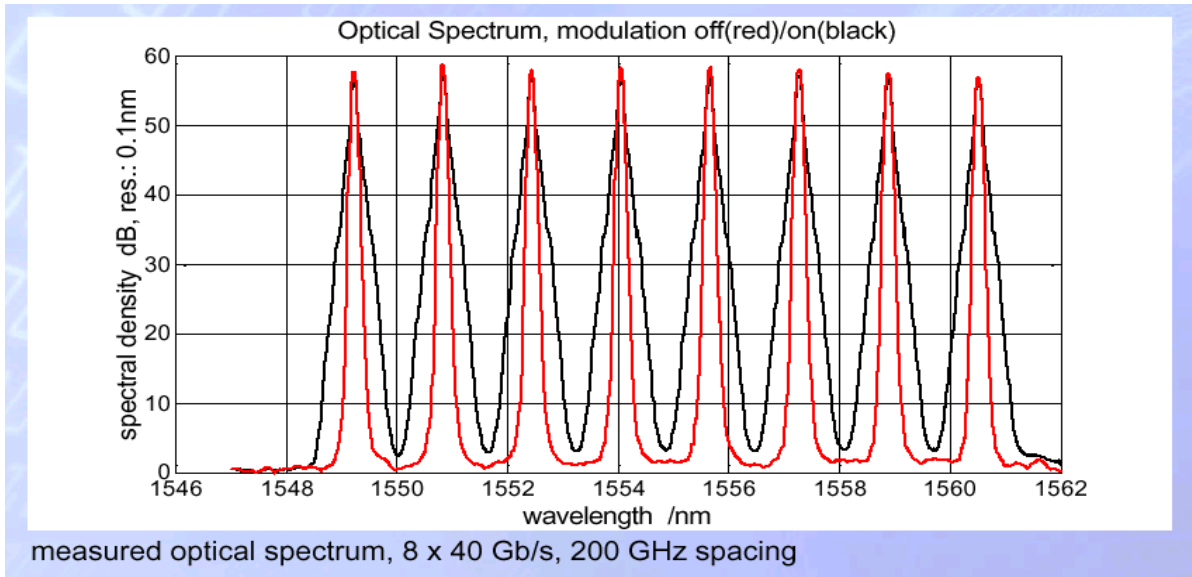
➤ **Modülatörler**

Lazerlerin modülasyonu, lazerin kendisi modüle edilerek ya da harici bir modülatör kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Doğrudan modülasyon, „salınım“, bir başka deyişle lazerin frekans osilasyonları sorununu doğurmaktadır. Bu, aktif bölgenin kırılma indisinin

uygulanan akımla hafif değişmesi, bu yüzden bu bölgenin etkili uzunluğu ve yayılan dalga boyunun değişmesinden dolayı meydana gelir. Bu ise DWDM sistemlerinde karşılaşılan bir sorun olduğundan genellikle harici modülatörler kullanılmaktadır. Bu modülatörler, ses sorunu çözmekte ancak, bir işaret modüle edilirken fiziksel olarak kaçınılmaz olan, hattın belli ölçüde genişlemesini önleyememektedir.(Şekil-72,73)



Şekil 72 Kanal bant genişliğinde modülasyon etkisi



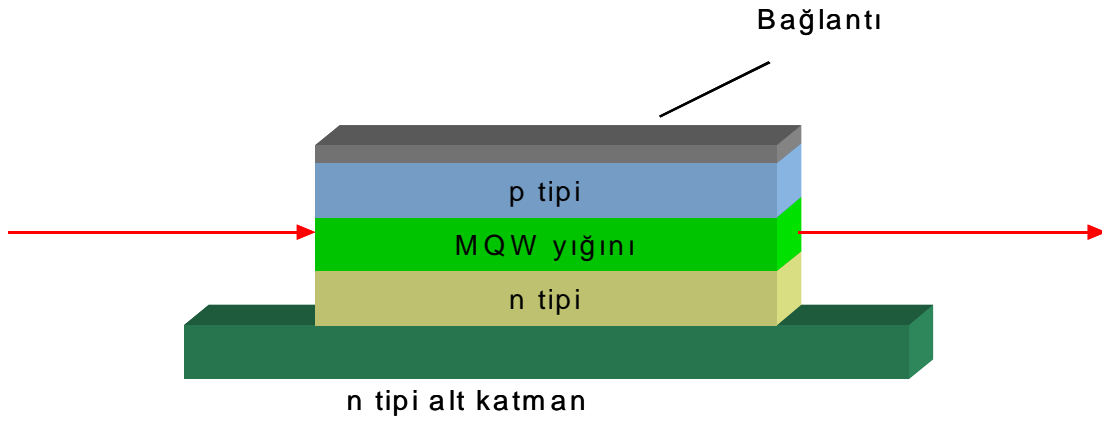
Şekil 73 Modülasyon ile spektral genişleme

- **MQW Modülör**

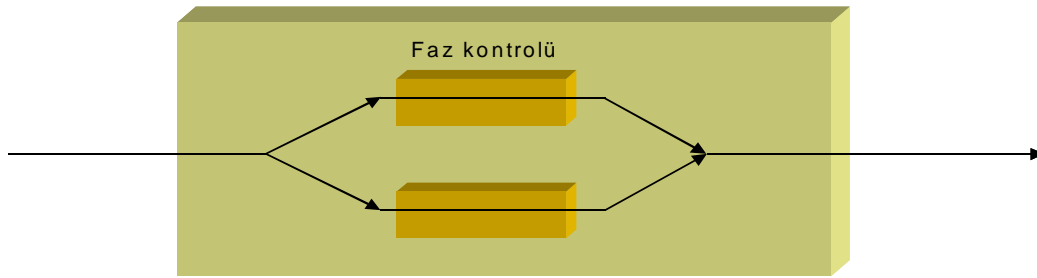
Modülörün bir ucu, yarı iletken MQW (Çoklu Kuantum Kaynağı) modülördür. Bu modülör basit bir işleve sahiptir: gerilim uygulandığında ışık emilir. Modülörün bir başka yararı, lazer gibi aynı alt katmanda üretilebilmesidir.(Şekil-75)

- **Mach Zender Modülörü**

Bu modülörün işlevi, Mach Zender filtresinin işlevine benzerdir. M-Z filtresinin bir kolunun fazı değiştirilerek işaretin iki bölümü ya yapıcı ("on") ya da bozucu ("off") bir şekilde karışır. Bu fazın kontrolü için LiNbO_3 kullanılabilir.(Şekil-76)



Şekil 74 Yarı iletken MQW modülörü



Şekil 75 Bir Mach Zender modülörünün yerleşim düzeni

1.2.3.8 Foto detektörler

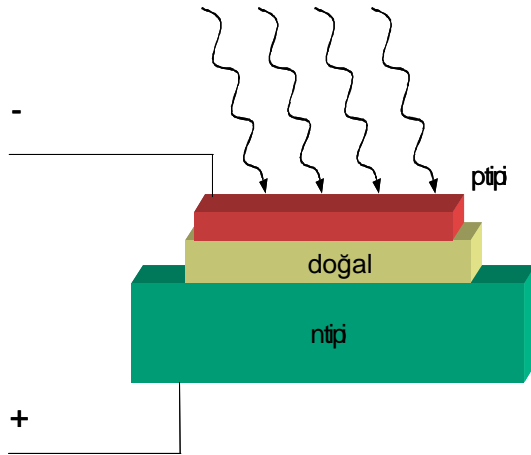
Bütün optik iletim sistemlerinde genellikle PIN Diyotları ve APD Diyotları diye iki tip foto detektör kullanılmaktadır.(Şekil-76)

➤ PIN Diyodu

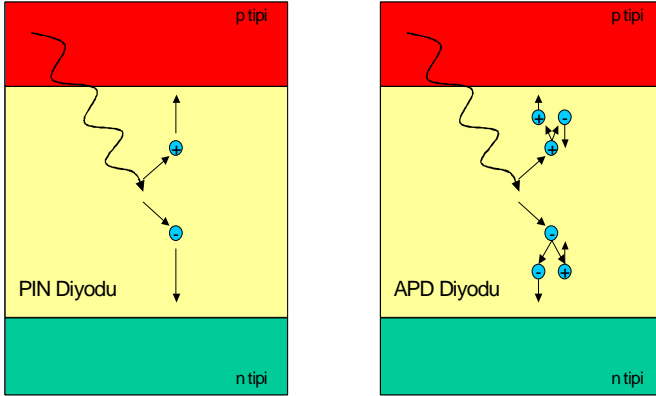
Bu diyoda, diyodun yapısından dolayı bu ad verilmiştir: p katkılı doğal ve n katkılı yarı iletken madde, katmanlı bir yapıda kullanılır. Diyotlar, tersine bir şekilde etkilenir. Her bir olay fotonu, bir çift elektron deliğinin oluşturulmasına neden olur, elektron ve delik elektrotlara doğru kayar ve bu durum, ölçülebilir bir akıma neden olur. Bu akım, olay fotonu indisi ile orantılıdır. Esas olarak bozulmayı önlemek için, p-n diyotlarının aksine doğal katman eklenir.(Şekil-77)

➤ APD Diyodu

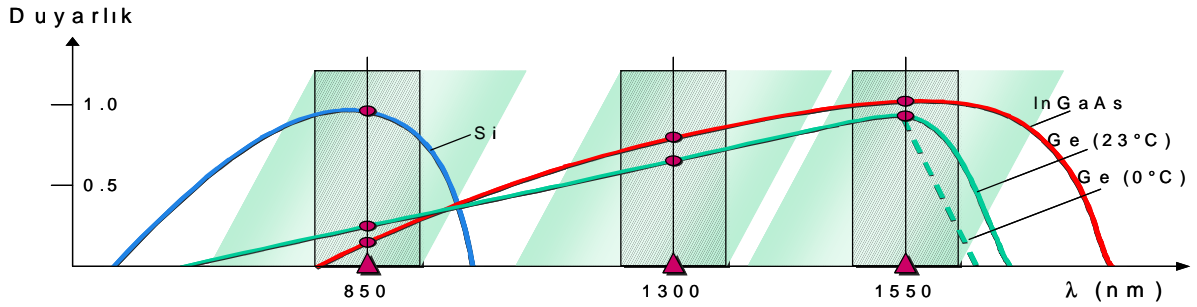
İlke olarak, APD (Çığ Foto Diyodu), PIN diyodu ile aynı şekilde çalışır. Aradaki fark, elektron ve deliklerin, ayrılırken, darbe iyonlaşması ile daha fazla elektron-delik çiftinin oluşturulmasına neden olacak yeterli enerjiyi toplamalarıdır. Böylece, yüklenen partiküllerin bütün "çığı" akar ve daha yüksek bir akım ölçülebilir. Bu yüzden, APD'ler özellikle, çok yüksek duyarlık gerektiren uygulamalar için daha uygundur. Bununla beraber, çığ sürecinin, sinyal gücü faktörünün dalgalanmasına neden olan oldukça "gürültülü" bir süreç olduğunu belirtmekte yarar vardır. (Şekil-77)



Şekil 76 Bir foto diyodun yerleşim



Şekil 77 PIN ve APD diyodunun işlevleri



Şekil 78 Farklı detektör maddelerinin spektral yanıtı

1.2.3.9 Yalıtıcı, Dağıtıcı ve Konnektörler

DWDM'de kullanılan oldukça dar bantlı lazerler, yansıtılan güce fazla duyarlıdır. Bu harici yansımalar ek rezonatör olarak işlev görmekte ve sonuç olarak, dalga boyu doğrusalsızlıkları, mod atlamaları, gürültü, vb. şeklinde ortaya çıkabilmektedir. İletin güçten (yaklaşık -60dB) düşük 6 sıralı bir güç büyüklüğü bile lazeri önemli derecede etkileyebilmektedir.

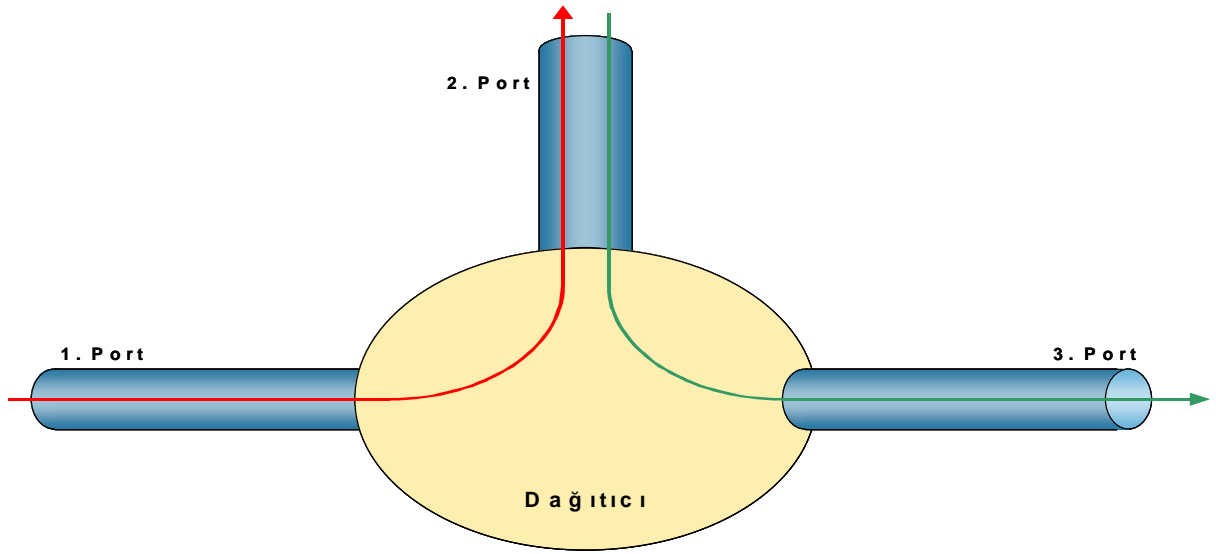
➤ Yalıtıcılar

Basitçe ifadeyle, yalıtıcılar ışığın bir yönden zayıflatma olmaksızın geçmesine izin veren ve ters yönde akışına olanak tanımayan cihazlardır. Bu açıdan bakıldığında, bu cihazlar bir tür "optik diyot"tur. Bu yüzden, yansıtılan güç oldukça zayıflatılır (yaklaşık 30 dB).

Teknik açıdan bakarsak yalıtıcılar, polarizasyon dönüştürücüleri ile doğrusal polarizasyon filtrelerinin bir bileşiminden oluşur. (Şekil-80)

➤ Dağıtıcılar

Yalıtıcılarla benzer yapıya sahip bir cihaz da dağıtıcıdır. Dağıtıcı, 1. portun girişini 2. porta, 2. portun girişini 3. porta ileten ve bu şekilde işlev görmeye devam eden çok portlu bir yalıtıcı türüdür.(Şekil-79)



Şekil 79 Optik dağıtıcı



Şekil 80 Bir optik yalıtıcının işlevi

➤ Konnektörler

Konnektörler, düşük yansımaya garanti etmek için özellikle seçilmek zorundadır. Konnektörler, fiziksel bağlantı ve açılı bağlantı şartlarını getirmelidir. E2000 ya da /APC gibi konnektör tipleri, genel olarak ifade edersek, yüksek dönüş kaybına sahip konnektörlerdir ve bu yüzden bunlar iyi seçimdir. Bütün konnektörler fiziksel bağlantıda meydana gelebilecek kopukluklar ve bu kirli alanlarda gücün emilmesini önlemek için dikkatli bir şekilde temizlenmelidir.(Şekil-81,82)

1.2.3.10 Optik Aktarma Birimleri

DWDM hatlarının gerçekten bir parçasını oluşturmayan ancak bütün optik ağı artan bir şekilde alanına giren bir durum, optik çapraz bağlantılar ile optik ekle/çıkart işlevli çoklayıcıların geliştirilmesi olmuştur. Optik ekle-çıkart işlevli çoklayıcılar, yukarıda ele alınan, ayarlanabilir fiber-bragg ızgaraları, DTF'ler ya da ayarlanabilir lazerler gibi bir dizi teknikte uygulanabilmektedir. Son yenilikler, daha karmaşık ve daha ucuz çözümleri içermektedir. Bununla birlikte, gerçekten büyük bir çapraz bağlantı bir güçlük olarak durmaktadır. Şu an, optik trafik dağıtım panelleri aracılığıyla bağlanmaktadır ve önümüzdeki birkaç yılda veri trafiği patlamasının en azından bir bölümünün çabuk konfigüre edilebilir optik çapraz bağlantılar aracılığıyla aktarılması gereksinimi ortaya çıkacaktır. Esas olarak, trafiği gerek elektriksel gerek optik olarak aktarmak olanaklıdır. Elektrikli aktarma yapısı yalnızca görece düşük bit hızına sahip trafiği taşıyabildiğinden değişik optik biçimlere değinilecektir. Genel olarak ifade edersek, büyük aktarma yapıları küçük birimler şu ya da bu şekilde kademelendirilerek oluşturulabilmektedir. Aktarma yapısına ek olarak, dalga boyu verici-alıcıları, rejeneratörler, vb. dahil bir dizi ek modül kullanılabilir. Şu an, bütün optik aktarma ya da optik ekle-çıkart işlevli çoklayıcı için oldukça sınırlı indisli farklı teknoloji kullanılmaktadır. Farklılıklar, örneğin maksimum matris büyüklüğü ya da aktarma süresidir. Bu yöntemler arasında şunlar bulunur. (Nokia Siemens Networks, 2009)

➤ Katı haldeki çapraz bağlantılar

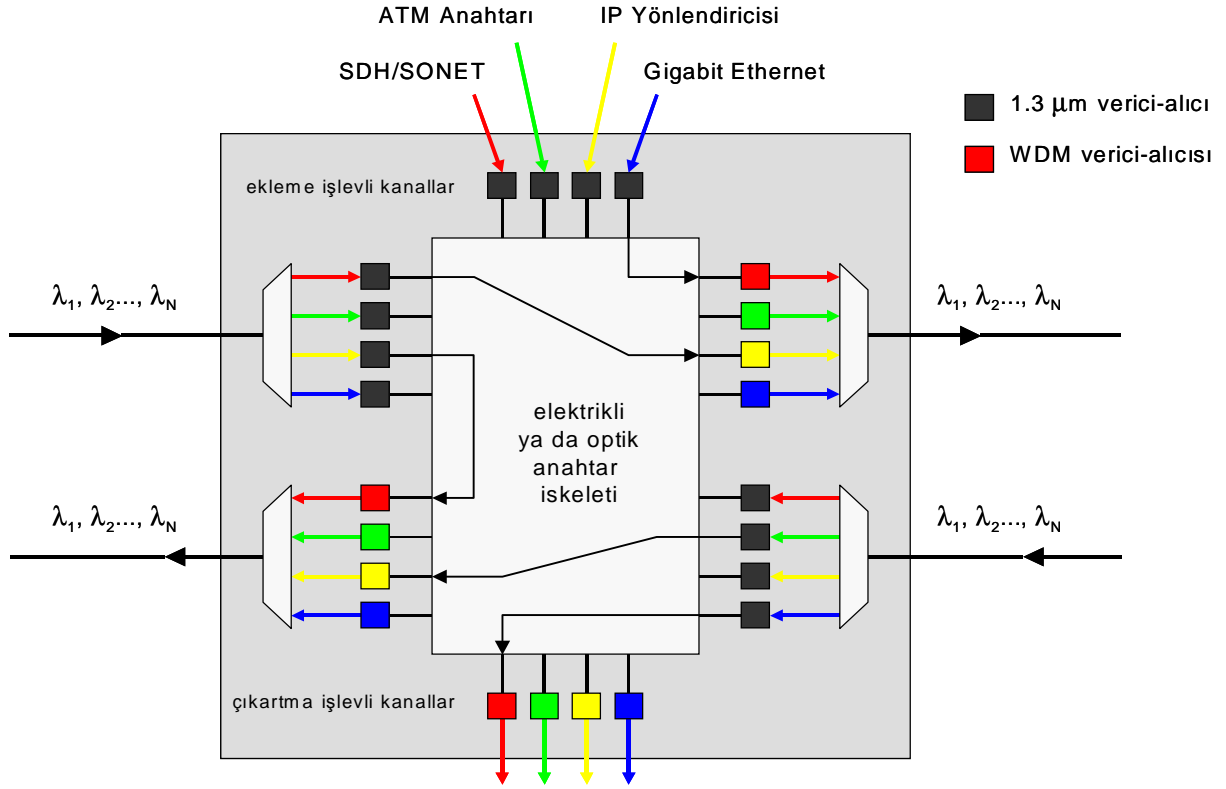
Yarı iletken yönlü bağlayıcıların fiziksel özellikleri değiştirilerek iki giriş işareti iki çıkış fiberine aktarılır. 2x2 aktarmalar kademelendirilerek daha büyük aktarma matrisleri elde edilebilir. Nano saniye aralığında aktarma hızlarına ulaşılabilir.(Şekil 83,84)

Fiziksel bağlantı konnektörü ... / PC				Açılı fiziksel bağlantı konnektörü ... / APC				
LAN WAN				WAN CATV				
TEK YÖNLÜ								
FC	ST	SC	D4	Biconic	DIN-LSA	E2000	Mini-BNC	F-SMA
... / PC	... / PC	... / PC	... / PC	... / PC	... / PC	... / PC	... / PC	... / PC
... / APC	... / APC	... / APC			HRL-10	... / APC		

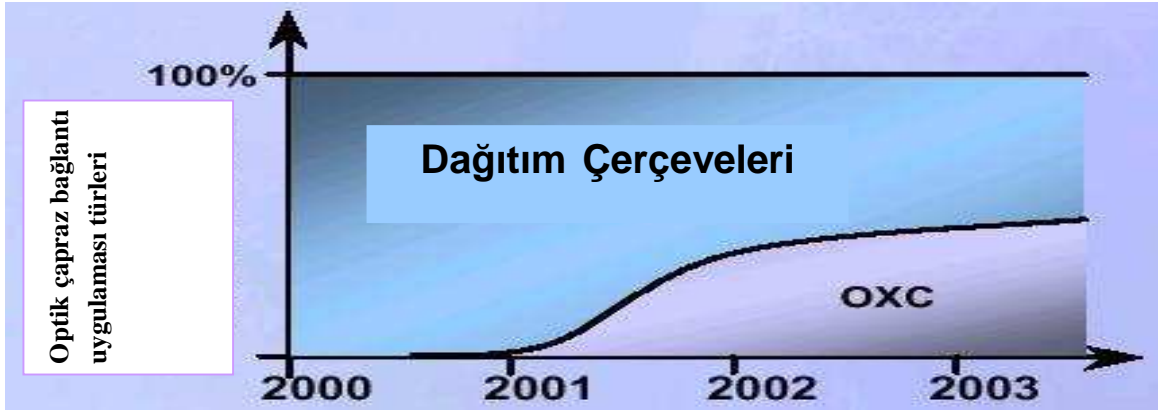
Şekil 81 Konnektör tipleri

Açılı hava boşluklu konnektör					
WAN CATV					
TEK YÖNLÜ			ÇİFT YÖNLÜ		
VFO	EC/RACE	HRL-11	Escon	SC Duplex	Duplex-MIC FDDI
			... / PC	... / PC	... / PC
				.../APC	

Şekil 82 Konnektör tipleri



Şekil 83 Bir optik çapraz bağlantının işlevleri



Şekil 84 OXC'nin yükselmesi

➤ **Likit kristaller**

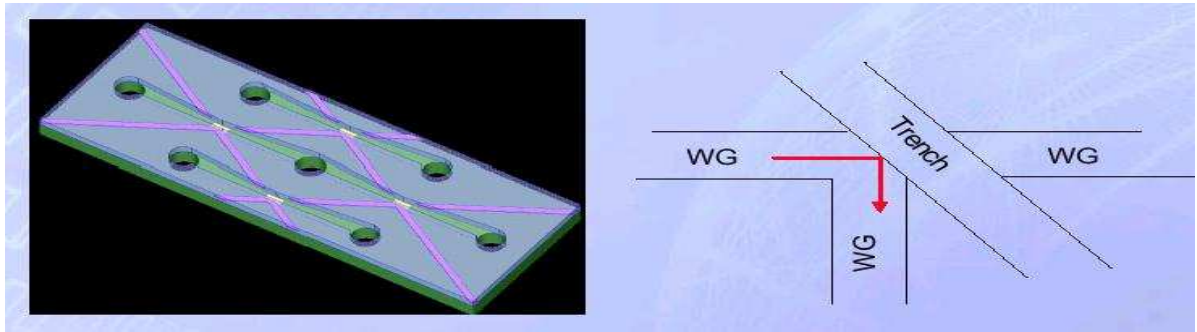
Diz üstü bilgisayar ekranı teknolojisinden alınmıştır; elektrik akımları likit kristallerin özelliklerini, bu kristallerden geçen ışık farklı şekillerde polarize olacak biçimde değiştirir. Bu durumda, pasif optik cihazlar ışığın her bir dalga boyunu, ışık polarizasyonuna bağlı olarak şu ya da bu yöne yönlendirir.

➤ **Küçük kabarcıklar**

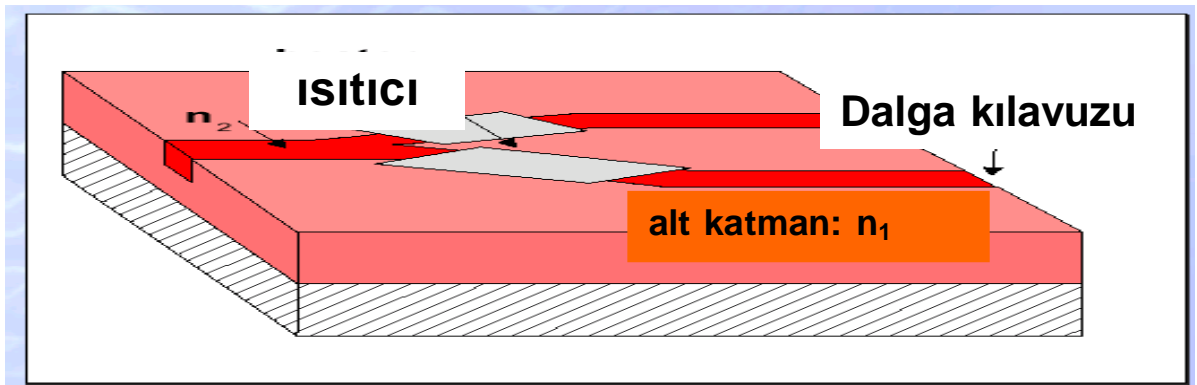
Bunlar, silise oyulmuş mikroskobik kütvetlerden geçerken ışığı kesişen yollara çarpıtarak ayna işlevi görürler. Kabarcıklar, mürekkep püskürtmeli yazıcı teknolojisi ile üretilir.(Şekil-85)

➤ **Termo-optik aktarmalar**

Işık, elektrikli sargılar ile ısıtılan ya da soğutulan camdan geçer. Isı, ışığı bir ya da bir başka fibere girecek şekilde eğerek camın kırılma indissını değiştirir. Aynı işlem, polimer teknolojisini kullanılırken de yapılabilir. (Şekil-86)



Şekil 85 Aktarma için kabarcıkların kullanılması



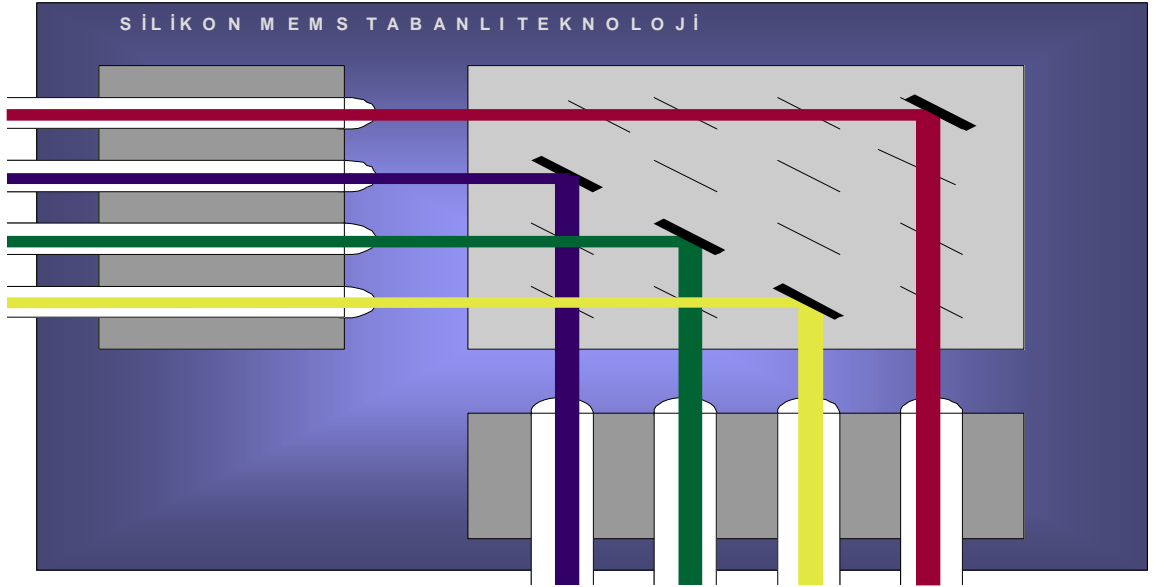
Şekil 86 Termo-optik aktarmalar

➤ **Ayarlanabilir lazerler**

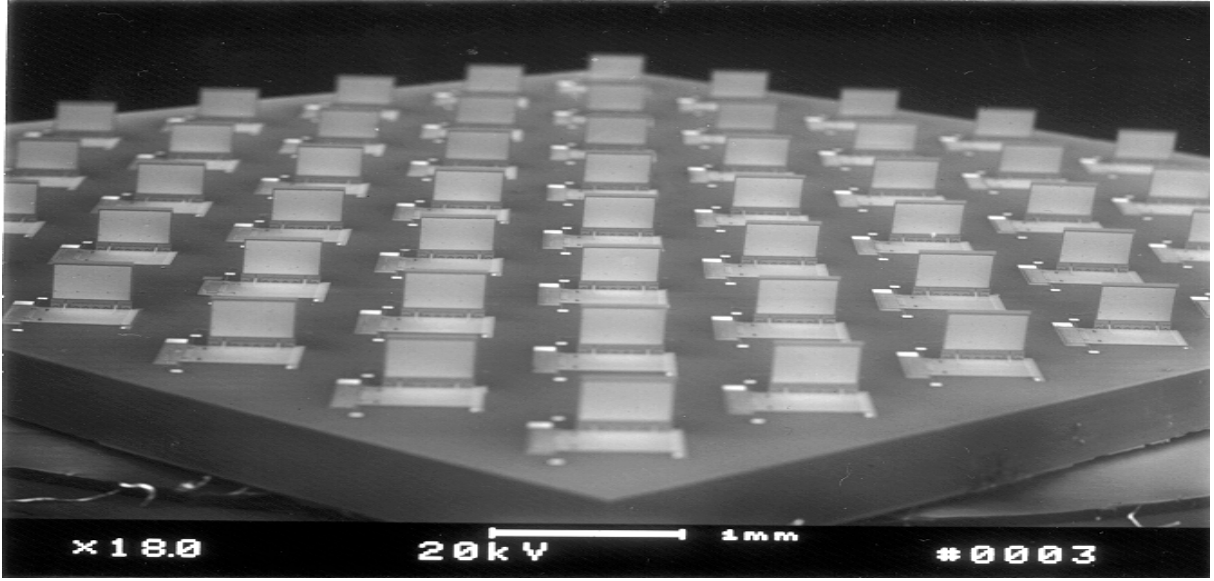
Bu lazerler, ışığı farklı dalga boylarında dışarı verebilmekte ve bir dalga boyundan diğerine çok çabuk geçebilmektedir. Bu yüzden bunlar, aktarmalar, OADM'ler ve normal uçlu optik çoklayıcılar dahil birçok farklı DWDM NE'de kullanım için iyi bir çözümdür.

➤ **MEMS (mikro elektro mekanik sistemler)**

İnce ayna dizileri ilk olarak, sportif olaylar ve pop konserlerinde kullanılan çok büyük video ekranları için geliştirilmiştir. Bunlar, bir fiberin ışığını seçili çıkış fiberine yansıtmak için kullanılmaktadır. Bu ayna ya da prizmalar, bir çip üzerinde bütünleştirilebilmektedir. Büyük bir olası matris ölçeği (burada ele alınan, 1000x1000'dir), düşük kayıplı bağlanabilirlik ve kompakt tasarımı önemli özelliklerindedir. Aktarma hızının, mikro saniye ya da milisaniyedir. Mekanik denge ve uzun dönemli güvenilirlik diğer önemli özelliklerindedir.(Şekil-87,88)



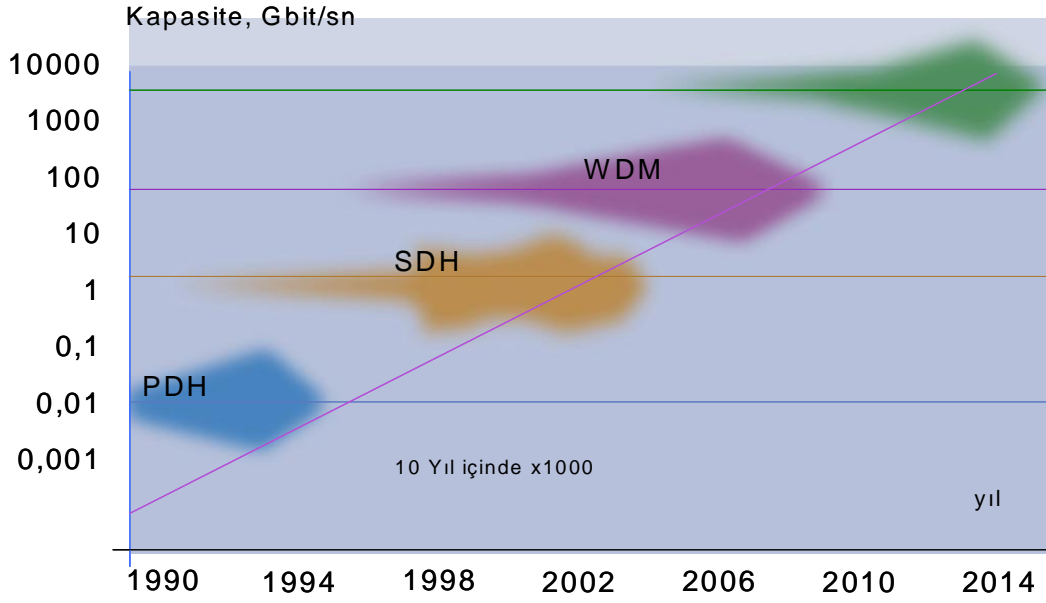
Şekil 87 Bir MEMS modülünün işlevleri



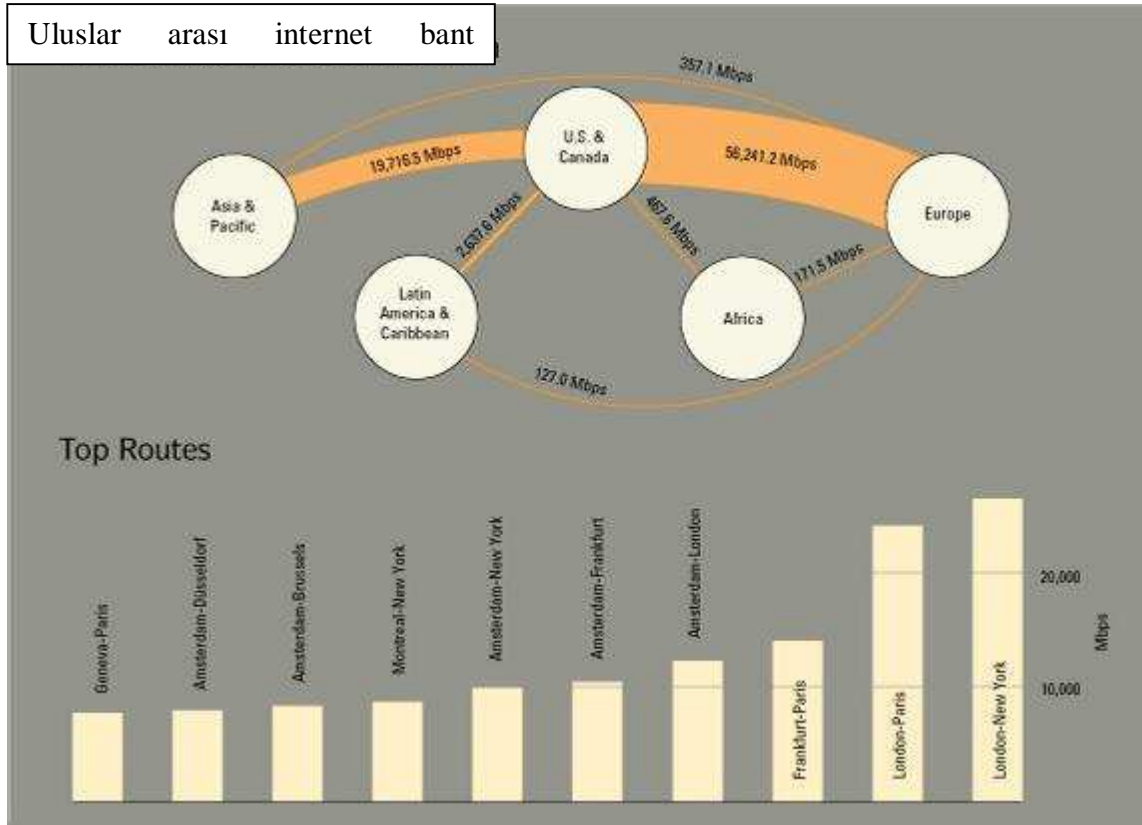
Şekil 88 MEMS'in elektron mikroskobik fotoğrafı

1.2.4 İletim Kapasitesinin Gelişimi

Fiber optiklerin iletim kapasitesi, ışık kaynakları ve detektörler alanındaki önemli gelişmelerle birlikte etkileyici gelişme geçtiğimiz yirmi yıl boyunca fiber optik sanayisinde olağandışı bir büyümeyi beraberinde getirmiştir. Aslında, fiber optik iletişiminin doğuşu, 1980'de tasarruflu fiber optiklerin üretimi ve oda sıcaklığı yarı iletken lazerlerinin kullanılmasıyla aynı döneme rastlar. Bu tarihten itibaren, bu alandaki bilimsel ve teknolojik ilerleme olağandışı olmuş ve fiber optik iletişim sistemleri yaklaşık 15 yılın sonunda beşinci kuşağa ulaşmıştır. Geçtiğimiz yıllarda, dalga boyu paylaşımli çoklama sistemleri ile ikiye katlanan geniş bant fiber optik fiber yükselticilerde de gelişme yaşanmıştır. 1980'lerde optik PDH sistemleri ile 140 Mbit/sn iletimi olanaklıydı. 1990'larda SDH teknolojisi bu kapasiteyi geliştirdi. SDH, 140 Mbit/sn ya da 155 Mbit/sn kapasitesinin 16 katı ($16 \times \text{STM1} = \text{STM16}$, 2.5Gbit/sn) ya da bu kapasitenin 64 katına ($64 \times \text{STM1} = \text{STM64}$, 10Gbit/sn) kadar kapasiteyi iletebilmektedir. Günümüzde, WDM dalga boyu paylaşımli çoklama sistemleri ile, çok uzun mesafelerde 10Gbit/sn kapasitenin 32 ila 96 katı (320Gbit/sn) kapasite iletebilmektedir. Yakında, 10Gbit/sn kapasitenin 160 katı kapasite olanaklı olacaktır. Ayrıca, laboratuarda terabit aralığında iletim (10×10^{12}) gerçekleştirilebilmektedir.(Şekil-89,90)



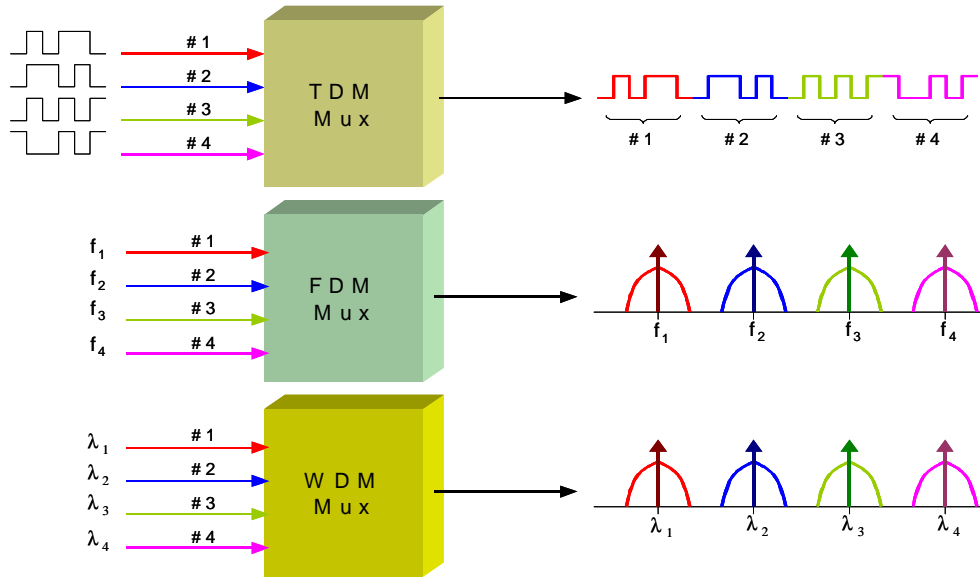
Şekil 89 İletim kapasitesinin gelişimi



Şekil 90 Uluslar arası internet bant genişliği

1.2.4.1 DWDM Temeli

Telekomünikasyonun en başından beri, iletişim kanalı kapasitesinin artırılması gereği söz konusu olmuştur. Amaç, bu kanalın birden fazla kullanıcı tarafından kullanılmasına olanak tanımak, mevcut kaynakları daha iyi yönetmek ya da yalnızca, iletim kapasitesini artırmak şeklinde olabilmıştır. Bu sistemlerin geliştirilmesi her zaman, iletişim kanalı tarafından izin verilen maksimum kapasite ve mevcut teknoloji ile sınırlı olmuştur. Bir iletişim kanalının kullanımını iyileştirmek için birçok teknik kullanılabilir. Zaman Paylaşımlı Çoklama (TDM), Frekans Paylaşımlı Çoklama (FDM gibi çeşitli teknikleri vardır. Bunlar, radyo ve bakır iletim sistemlerinde genel olarak kullanılan tekniklerdir. TDM'de, her bir kullanıcı, iletim süresinin bütün kullanıcılarca paylaşılmasını sağlayan belli bir zaman dilimine atanır. FDM'de ise her bir kullanıcı, iletimi yalnızca karşılık gelen dalga ile gerçekleştiren belli bir frekans aralığına atanır. Bu şekilde, mevcut bant genişliği paylaşılır. Optik sistemler söz konusu olduğunda ise mevcut bant genişliği birden çok Terahertz'in (10^{12} Hz) üzerine çıkabilir. TDM, elektrik teknolojisindeki kısıtlamalardan dolayı çok büyük bant genişliğinden yararlanmak amacıyla kullanılamamaktadır. Basit bir ifadeyle, elektrik devreleri bu frekanslar üzerinde çalışamaz. Burada tipik FDM de bir sorun oluşturmuş ve elektrik düzeyinde frekans çoklama işlevinin kullanılması olanaklı olmamıştır. Bunun çözümü, optik düzeydeki frekans çoklama işlevi ya da Dalga Boyu Paylaşımlı Çoklamanın kullanılması olmuştur. Temel düşünce aynı fiberde farklı işaretlerin taşınması amacıyla farklı optik dalga ya da renklerin kullanılması olmuştur. WDM ile DWDM (Yoğun Dalga Boyu Paylaşımlı Çoklama) arasında ayırım yapılmaktadır. WDM'de, kanallar arasındaki aralık görece büyük olabilmektedir. Yoğun çoklamada ise kanallar arasındaki frekans aralığı 50GHz kadar küçük ya da daha az olabilmekte, böylece iletilen işaretin toplam spektral yoğunluğunu artırmaktadır.(Şekil-91)



Şekil 91 TDM, FDM ve WDM teknikleri arasında yapılan karşılaştırma

1.2.4.2 Dalga Boyu Planı

➤ İletim Penceresi

İşaretlerin iletimi için olası dalga boyları söz konusu olduğunda fiber özellikleri dikkate alınmak zorundadır. Fiber optikler bütün dalga boylarında değil yalnızca belli pencerelerde iletim için uygundur. Günümüzde, genellikle ikinci iletim penceresi (yaklaşık 1300nm) ile 1530 ila 1565nm (Geleneksel Bant olarak da adlandırılmaktadır) ve 1565 ila 1620nm olan (Uzun Bant olarak da adlandırılmaktadır) üçüncü ve dördüncü iletim pencereleri kullanılmaktadır.(Şekil-101) Şu an, üçüncü ve dördüncü pencereye DWDM uygulamaları teknolojik nedenlerle kısıtlanmaktadır. Fiberlerin üretiminde kullanılan malzeme tipleri nedeniyle işaret üzerindeki fiziksel etkilerle oluşan kayıplar kullanılabilir dalga boylarını 1280nm ile 1650nm arasında sınırlamaktadır. Kullanılabilir olan bu aralıkta, fiberlerin üretiminde kullanılan teknikler belirli dalga boylarında daha fazla kayba yol açmakta, böylece bu dalga boylarının kullanımından kaçınılmaktadır.

➤ ITU Dalga Boyu Planı

Bu pencerelerde ITU, G.692'de, kullanılacak DWDM sistemleri için dalga boyu planı olarak tanımlanmıştır. Aslında, dalga boyları değil frekanslar tanımlanmıştır. Bununla

birlikte, f frekansı ile λ dalga boyu aşağıdaki ilişki ile bağı olduğından yukarıda anılan durum sorun olmamaktadır

$$c=f*\lambda$$

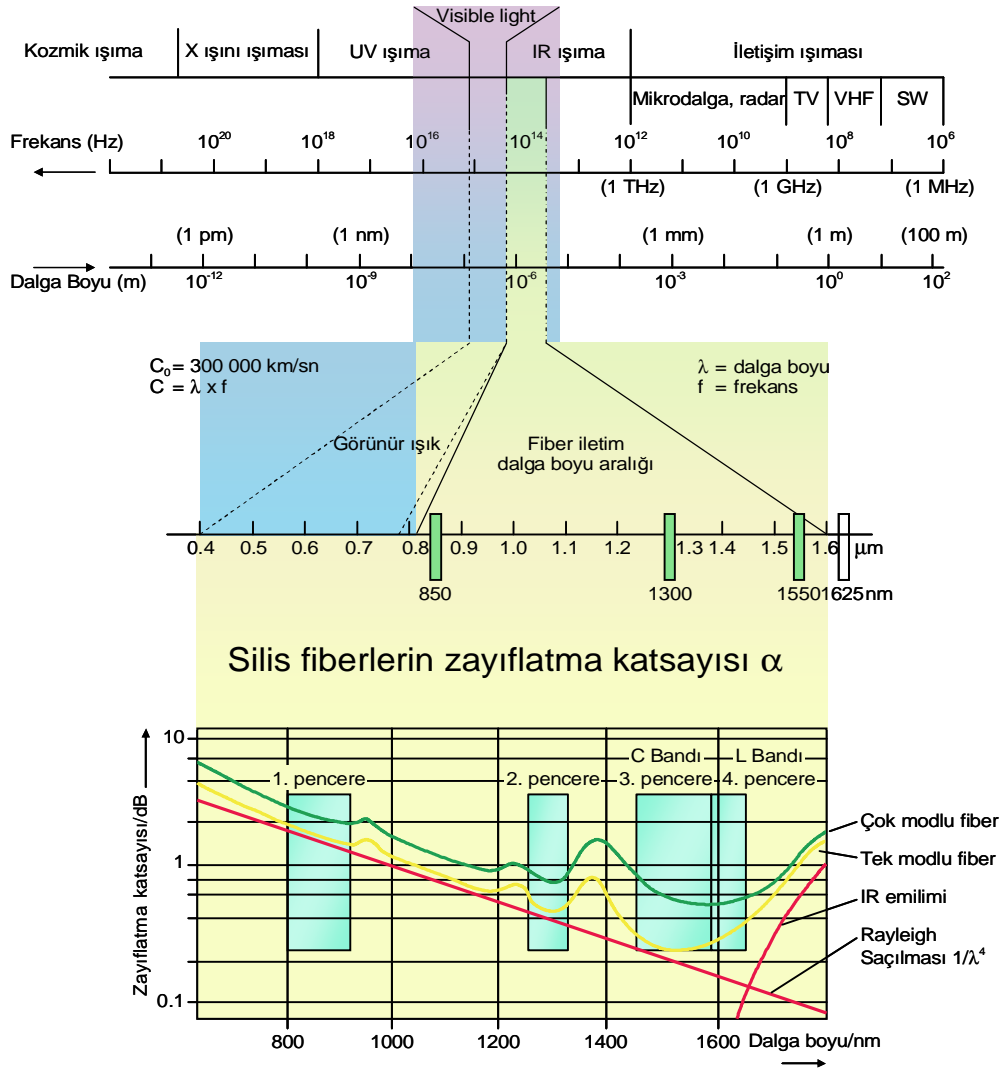
burada c, ışık hızıdır. Tanımlanan bu frekanslar şu denklem ile verilir:

$$f=193.1 \pm m*0.05\text{THz}$$

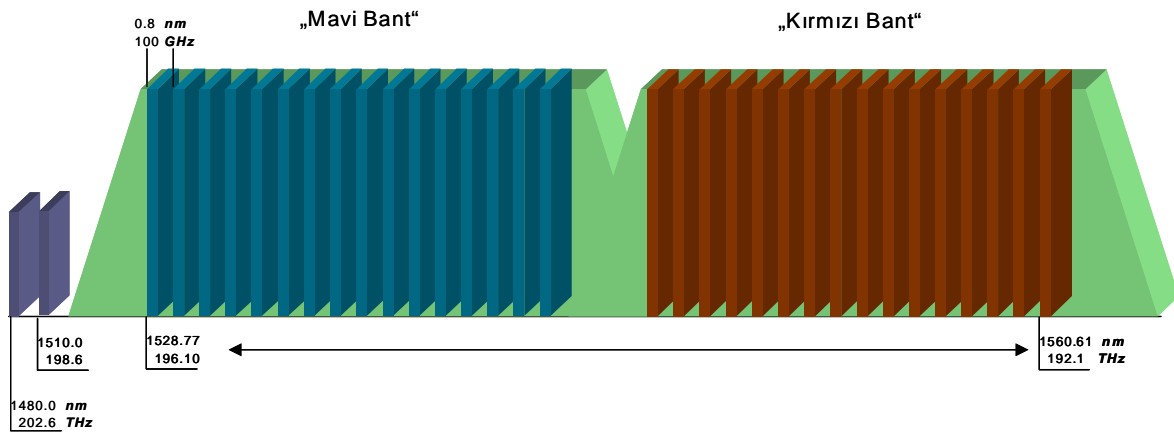
bu, G.692'de tanımlanan ITU'nun başlangıçta 50GHz'lik bir ızgara kullandığı anlamındadır. 100GHz ve 200GHz aralıklar, hatta belli uygulamalar için eşdeğer olmayan kanal aralığına yönelik öneriler bulunmaktadır. Geniş aralığın taşınması daha kolaydır ancak, mevcut ya da planlanan sistemlerin bazıları aslında zaten 50GHz'lik, hatta bunun altındaki bir aralığı kullanmaktadır. Gelecekte, C Bandına ek olarak L Bandı da kullanılacaktır.(Şekil-92,93,94)

➤ **Optik Denetim Kanalı**

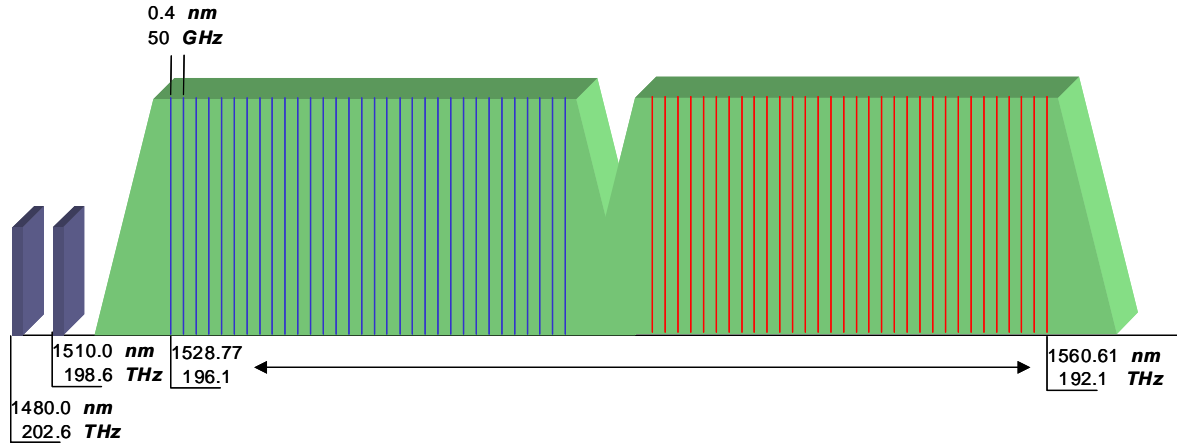
"Çalışan" dalga boylarına ek olarak, DWDM ağı elemanlarını birbirine bağlayan ve SDH ek kanalları ile hemen hemen aynı amacı yerine getiren ek bir optik kanal olan optik denetim kanalı olarak kullanılmak üzere bir başka dalga boyu dizisi (1510 ya da alternatif olarak 1480 ve 1310nm) ayrılmaktadır.



Şekil 92 Elektromanyetik tayf.



Şekil 93 100Ghz ızgara dalga boyu planı



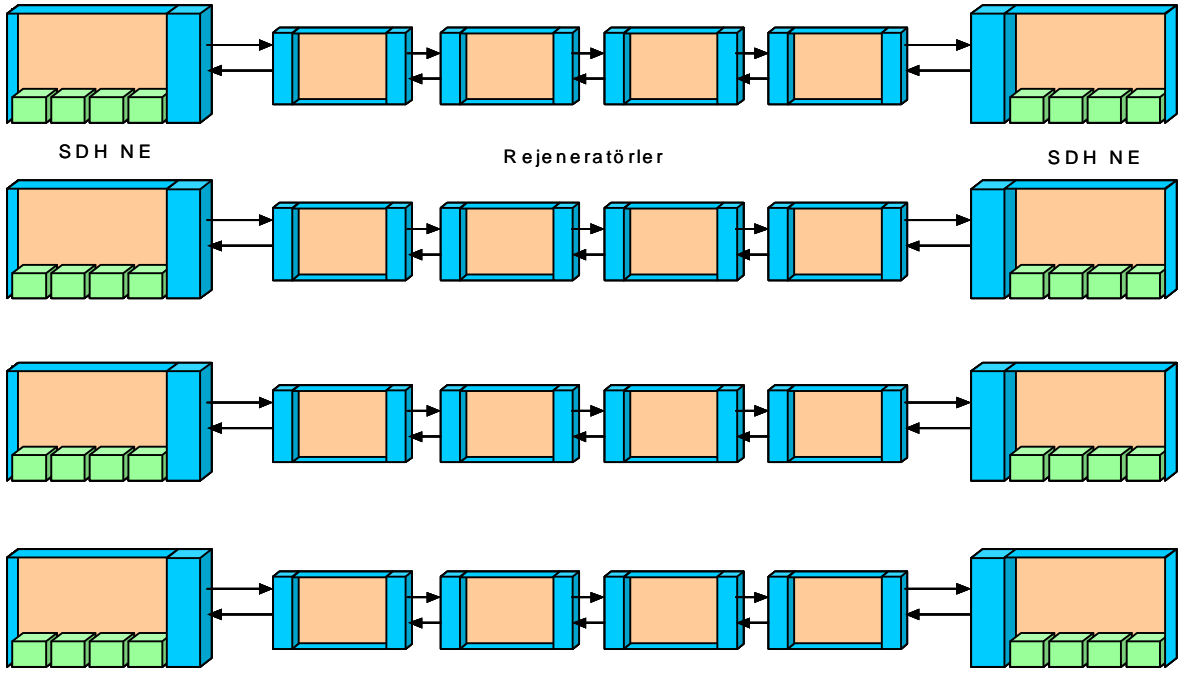
Şekil 94 50Ghz ızgara dalga boyu planı

➤ **Temel Sistem Uygulamaları**

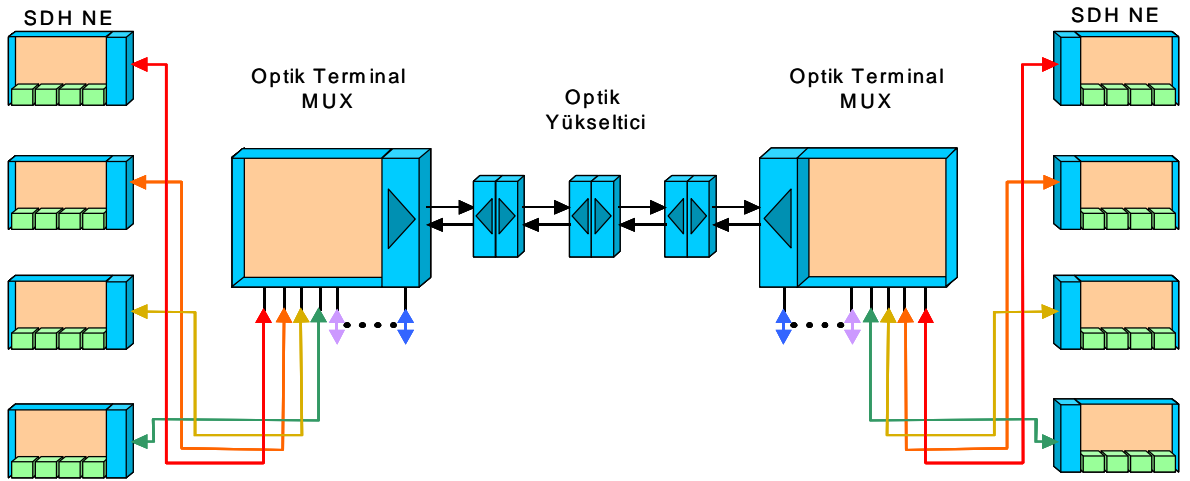
Optik ağlar telekomünikasyon operatörleri için yeni ufuklar açmaktadır. Dalga boyu paylaşımli çoklama (WDM) ve optik yükseltme gibi teknolojiler operatörlere, kapasiteye yönelik talep patlamasını karşılayabilecekleri birçok yol sunmaktadır. Yeni mimariler ağın güvenilirliğini artıracak ve bit hızları ile uzaklık maliyetini düşürecek, böylece ağ operatörleri ve benzer kullanıcılar için ekonomik yararlar oluşturacaktır. Mevcut fiber optik omurga ağları temelinde bütün bir optik ağ (AON) düşüncesi iletişim ağlarımızın yapısına ilişkin yenilikler getirmektedir. Kısaca belirtirsek, optik ağlar bilgi yollarının geleceğini oluşturmaktadır.(Şekil 95,96) (Nokia Siemens Networks, 2009)

Böyle bir optik ağ en çok şu yararları sağlamaktadır;

- Fiberlerin çoklu kullanımı, fiber kısıtlılığı durumunda idealdir
- Düşük maliyetli oldukça yüksek taşıma kapasitesi, optik yükselticilerin çoklu kullanımını sağlamakta, böylece yatırım ve bakım maliyetlerini azaltmaktadır
- Format ve bit hızı saydamlığı ile, ortak bir taşıma ağı üzerindeki veri, video ve ses gibi istenilen datalar taşınabilmektedir.



Şekil 95 WDM'siz durum



Şekil 96 WDM'li durum

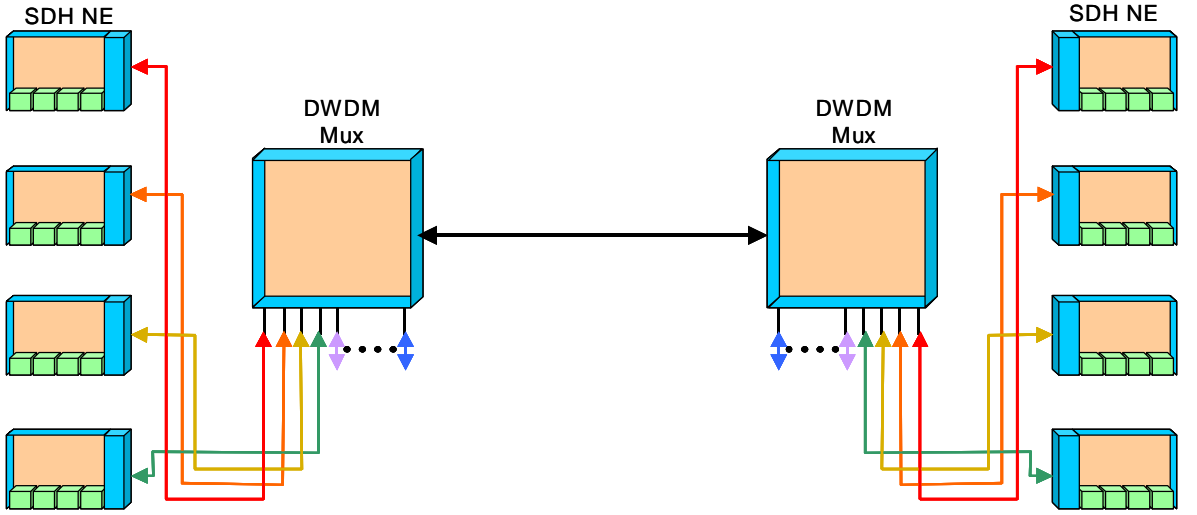
Temel system uygulamalarının yapılma sebepleri aşağıda sıralanmıştır:

- **Kısa mesafe uygulaması;**

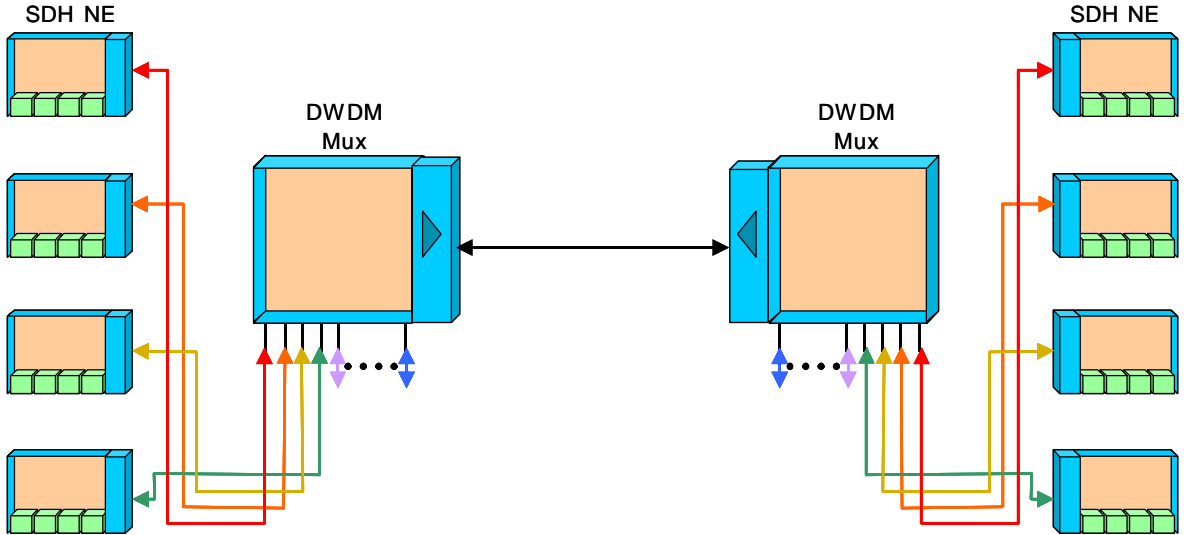
Kısa uzunluklar, Metropolitan WDM ağlarında özel bir yere sahiptir. Hiçbir optik yükseltme işlevi kullanılmamakta, bu yüzden iletim uzaklığı, örneğin 80km'lik aralık, sınırlanmaktadır.(Şekil-97)

- **Orta mesafe uygulaması;**

DWDM Terminalleri optik yükseltici ya da optik ön yükselticilerle donatılırsa ek optik yükseltici birimlerine gerek kalmaksızın daha uzun mesafeler elde edilebilmektedir. Bu teknikle, 140km aralığındaki hop uzunlukları elde edilmektedir.(Şekil-98)



Şekil 97 Kısa mesafe uygulaması örneği

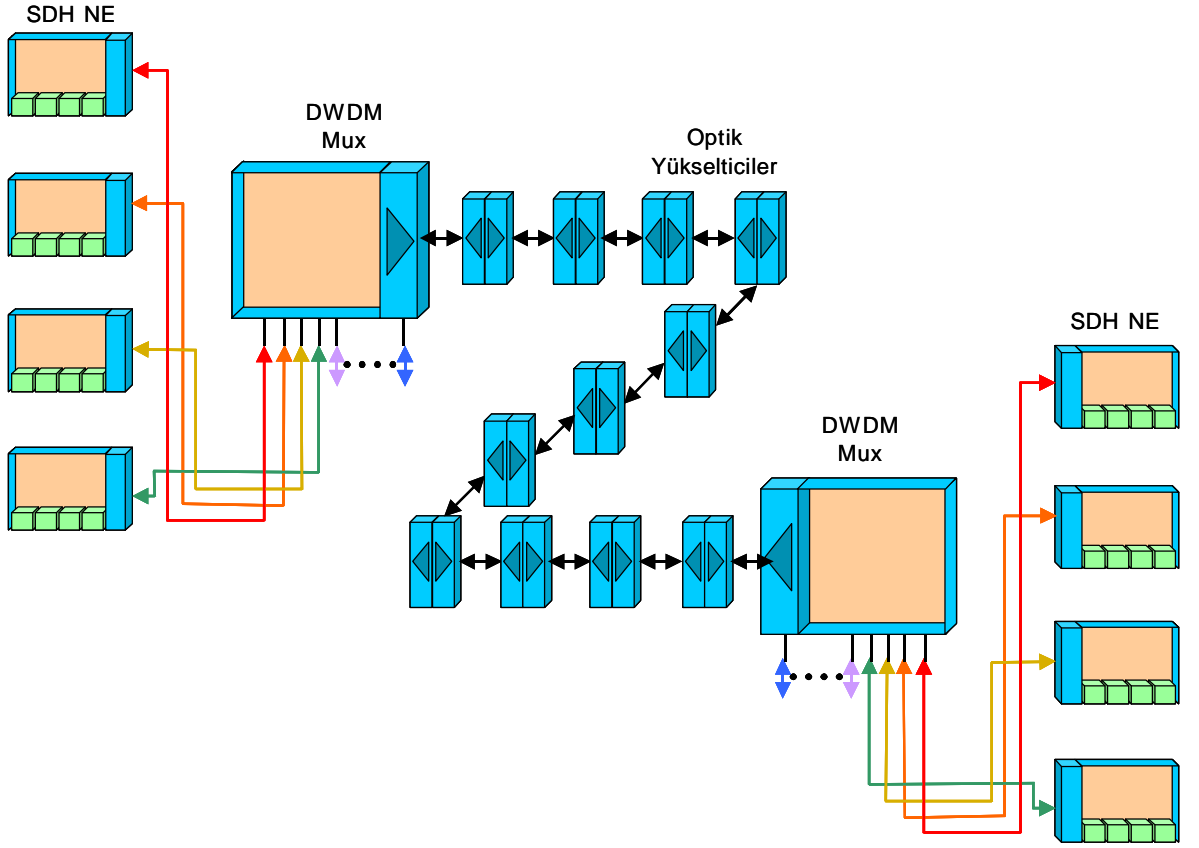


Şekil 98 Orta mesafe uygulaması örneği

- **Uzun mesafe uygulamaları;**

Uzun mesafelerde yeniden elektrik üretimine gerek kalmaksızın yalnızca optik yükseltme kullanılarak birbirine bağlanabilmektedir. Bu teknik kullanılarak, yeniden üretime

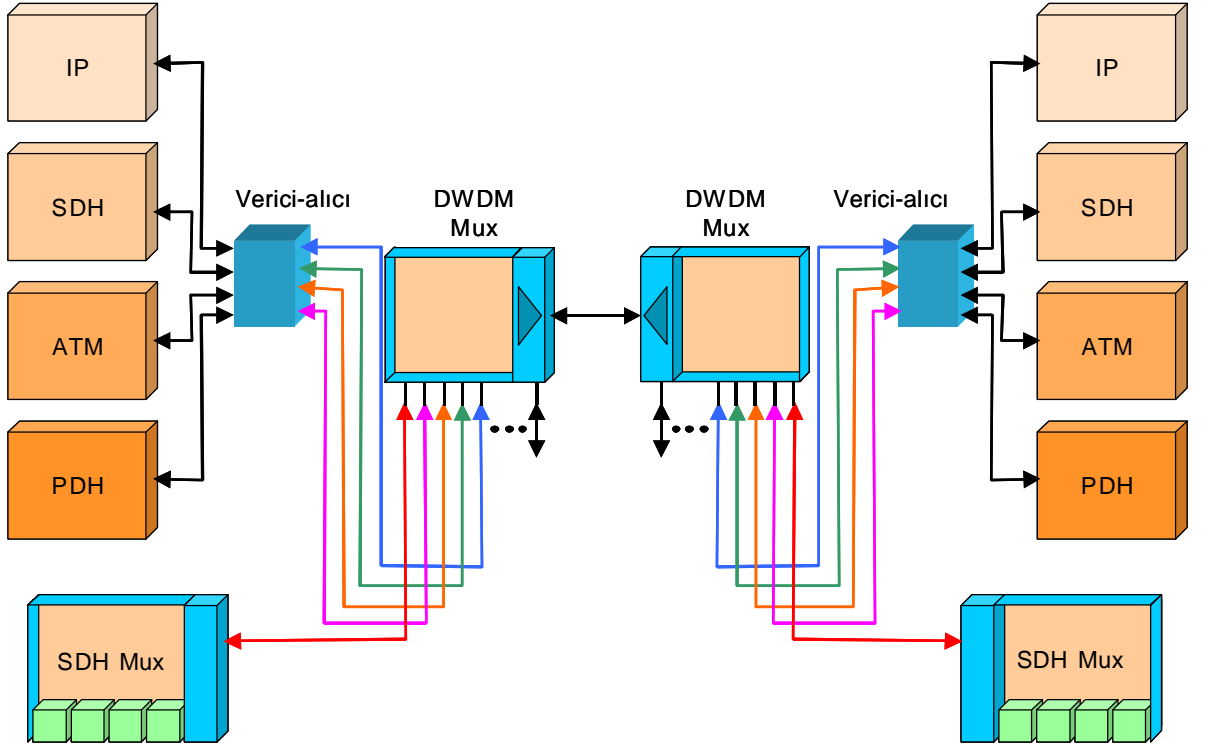
gerek kalmaksızın, özel durumlarda 1000km'nin ötesinde bir mesafe ile uzun hoplar elde edilebilmektedir.(Şekil-99)



Şekil 99 Uzun mesafe uygulamaları örneği

- **Verici-Alıcı Uygulamaları;**

Aralarında SDH, ATM ya da PDH işaretlerinin bulunduğu renkli dalga boylarını üretmeyen donanımdan geniş bir işaret türü yelpazesini iletmek için bir Verici-Alıcı Terminali kullanılabilir. Verici-Alıcı, gelen optik işaretin seçmeli bit hızına uyum sağlar ve kendi dalga boyunu seçili WDM kanalına eşler. Optik saydamlık bir dizi yeni uygulama seçeneği ortaya çıkarır ve ağ operatörlerinin mevcut ağ kaynaklarını çok daha esnek bir biçimde kullanmalarına olanak tanır. Oldukça gelişmiş iletim kapasitesi, sunulan yeni servisler, yeniden yapılandırılan işaretlerin iletimi, diğer satıcıların cihaz ve arayüzlerini kullanma gibi önemli yararlar sağlarlar. Ayrıca yarı saydam verici alıcı uygulamalarında protokoller, oldukça yüksek bir esneklik sağlayarak saydam bir biçimde iletilir.(Şekil-100)



Şekil 100 Verici-Alıcı uygulaması

Genelde üç tip NE bulunmaktadır. Bunlar; (Şekil 101)

- **Optik Çoklayıcı/Ayırıcı**

Renkli işaretleri çoklama ve ayırmada kullanılır.

- **Optik Yükselticiler**

İletilen bütün işaretlerin arı optik 1R yeniden üretimi (yalnızca yükseltme) işlemini yapar.

- **Verici-Alıcılar**

Dalga boyu "değişikliği" ve 2R yeniden üretimi (yeniden şekillendirme, yükseltme) ya da 3R yeniden üretimi (yeniden şekillendirme, yeniden zamanlama, yükseltme) yapar.

- **Rejeneratörler**

İşaretin gerçek 3R yeniden üretimi (yeniden şekillendirme, yeniden zamanlama, yükseltme) işini yapar. Bu yüzden, işaretler ayrılmak, elektriksel olarak yeniden üretilmek ve yeniden çoklanmak zorundadır. Yeniden şekillendirme ve yeniden zamanlama işlevlerini

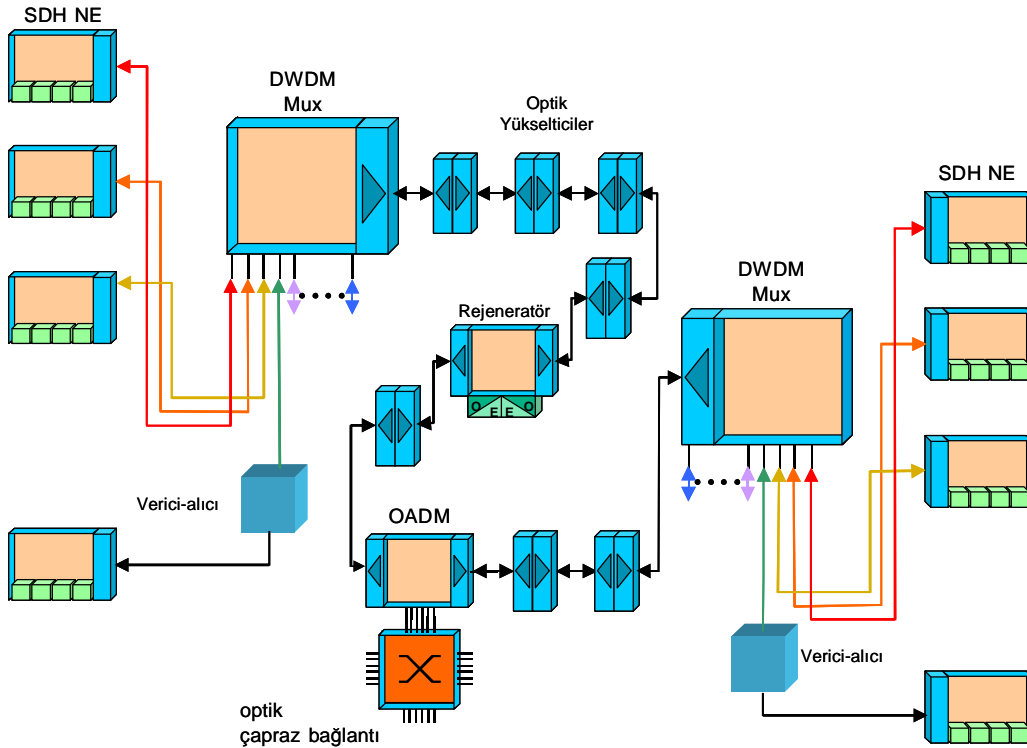
yalnızca bunlar gerçekleştirdiğinden bağlanacak uzunluk yalnızca optik yükselticilerle kapsanamayacak kadar uzunsa gereklidirler.

- **Optik Ekle/Çıkart işlevli Çoklayıcı**

Ortak optik işarete yalnızca belirli dalga boylarının eklenmesi ve işaretten bunların çıkarılmasını yapar. Bütün ayırma ya da diğer teknikleri kullanabilir.

- **Optik çapraz bağlantılar;**

Çapraz bağlantılar yalnızca arı bir optik düzeyde çalışmak zorunda olsalar da optik bir ağda beklenen çok büyük veri yükünü kaldırmak amacıyla kullanılabilir.



Şekil 101 Optik NE Tipleri

1.2.5 ITU Standartları

DWDM sistemlerinde kullanılan bazı çok önemli ITU standartları şöyledir aşağıda verilmiştir.(Şekil 102)

- G.652: Tek modlu fiber optik kablonun özellikleri
- G.653: Dispersiyonu kaydırılmış tek modlu fiber optik kablonun özellikleri
- G.655: Sıfır olmayan dispersiyonu kaydırılmış tek modlu fiber optik kablonun özellikleri
- G.661: Optik yükseltici cihazları ve alt sistemlerinin ilgili genel parametreleri için tanım ve test yöntemleri
- G.662: Fiber optik yükseltici cihazları ve alt sistemlerinin genel özellikleri
- G.663: Optik yükseltici cihazları ve alt sistemlerinin uygulama ile bağlantılı yönleri
- G.671: Pasif optik parçaların iletim özellikleri
- G.681: Optik çoklama dahil optik yükselticiler kullanan ofisler arası ve uzun çekme hattı sistemlerinin işlevsel özellikleri
- G.692: Optik yükselticili çok kanallı sistemler için optik ara yüzler
- G.957: Eş zamanlı sayısal hiyerarşi ile ilgili donanım ve sistemler için optik ara yüzler



Şekil 102 Bazı ITU standartları

2.MATERYAL METOT

Şu ana kadar teorik olarak anlatılan bilgilerin uygulamaları deney ortamları oluşturularak çeşitli ölçü aletleri kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan cihazlar hakkında kısaca bilgi vermek gerekirse;

2.1 OSA (Optical Spectrum Analyzer) (Optik Spektrum Analizörü)

Optik olarak ölçümler yapabilen çok hassas bir cihazdır. Testlerimizde kullandığımız cihaz EXFO firmasına ait FTB500 serisi bir cihazdır. Telekomünikasyon sektöründe DWDM ile ilgilenen bütün altyapı sağlayıcılarının elinde bulunması gereken bir cihazdır. Ayrıntılı bilgi için <http://www.exfo.com/> adresi ziyaret edilebilir.

2.2 Optical Attenuator (Optik Zayıflatıcı)

Optik testlerde kullanılan ayarlanabilen bir zayıflatıcıdır. Test ortamlarında testi yapılan cihazların istenilen değerlerde testlerini yapmak için kullanılmaktadır. Gerçek zamanda oluşabilecek hatalar bu cihaz vasıtasıyla yapılır.Kullanacağımız cihaz WWG firmasına ait bir cihazdır.

2.3 MTS5800

Bu cihazımız Optik ve elektriksel ölçümler yapabilen bir cihazdır. SDH üzerinde yapacağımız trafik testleri bu cihaz ile yapılacaktır. JDSU firmasına aittir.

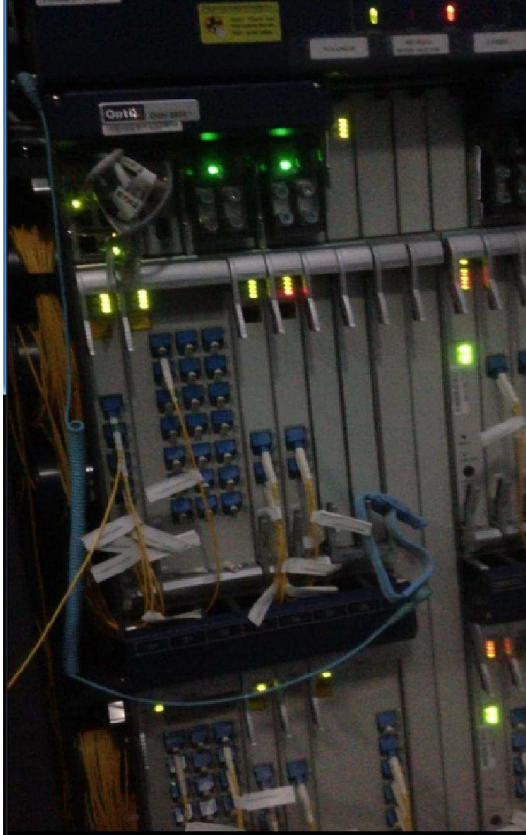
Huawei marka Optix OSN8800 DWDM teçhizatı ile Tunceli-Pülümür arasındaki transmisyon hattında kullanılan yer alan bilgilerin görüntülenmesi sağlanmıştır..

Kullanılacak cihazlar: Optik OSN8800,FTB500

Tunceli-Pülümür arasında transmisyon amaçlı çalışan DWDM sistemi data trafiği olarak önemli bir konumdadır. Gerek şehirler arası çıkış gerekse de lokal bağlantılar için kullanılmaktadır. Bu cihaz üzerinde gerekli testler OSA cihazı kullanılarak yapılmıştır. (Şekil



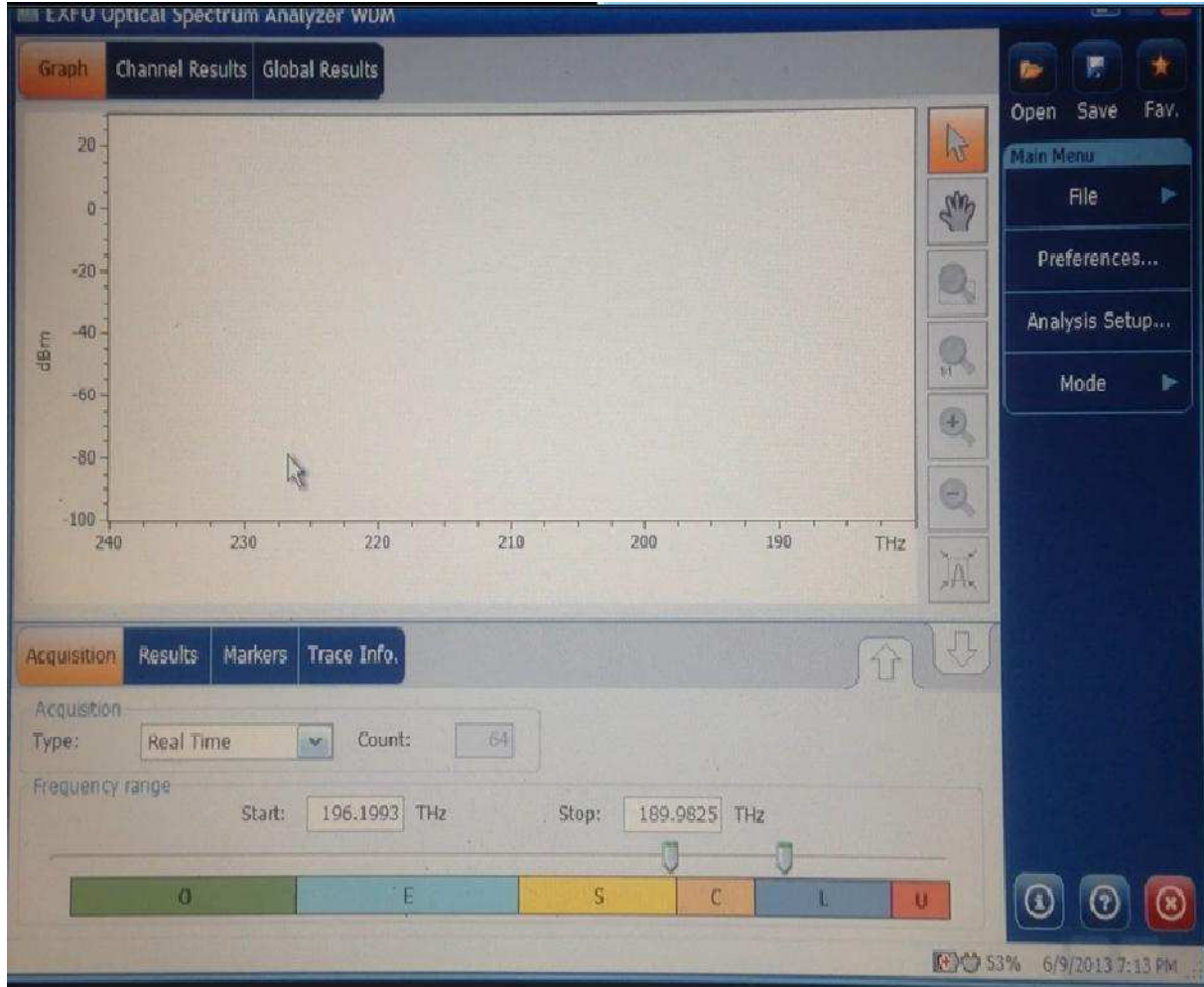
Şekil 103 DWDM için kullanılan OSA FTB500 cihazı



Şekil 104 Tunceli-Pülümür arasında çalışan OptixOSN8800 cihazı

Tunceli-Pülümür arasında çalışan DWDM cihazımız(Şekil-104) üzerinde söz konusu lokasyonlar arasındaki trafiğin taşınması esnasında hangi dalga boylarının kullanıldığını

öğrenmek için FTB500 (Şekil-103) cihaz DWDM cihazının FIU (Fiber Giriş Ünitesi) kartı üzerindeki MON (Monitör) girişine bağlandı. FTB500 cihazının açılması beklendi. Bu işlem yaklaşık 3-5 dk sürdü. OSA açıldıktan sonra test işlemlerini gerçekleştirmek için cihaz üzerindeki bazı ölçüm metotlarını kullanmamız gerekti. Cihaz açıldığında karşımıza ölçümden önce çıkan ekran (Şekil-105) teki gibidir.

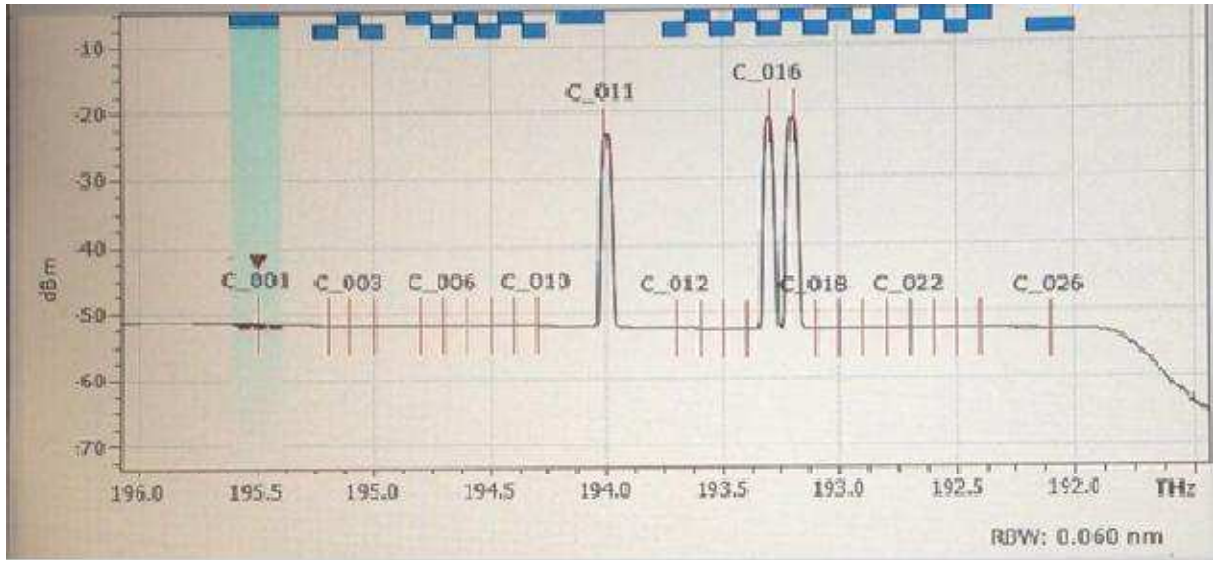


Şekil 105 OSA ölçüm yapılmadan önceki ekranı

Şekil 105 üzerinde yer alan ve ölçümlerimizin gerçekleştirilmesinde kullanılan grafik hakkında bilinmesi gereken bilgiler aşağıdaki gibidir.

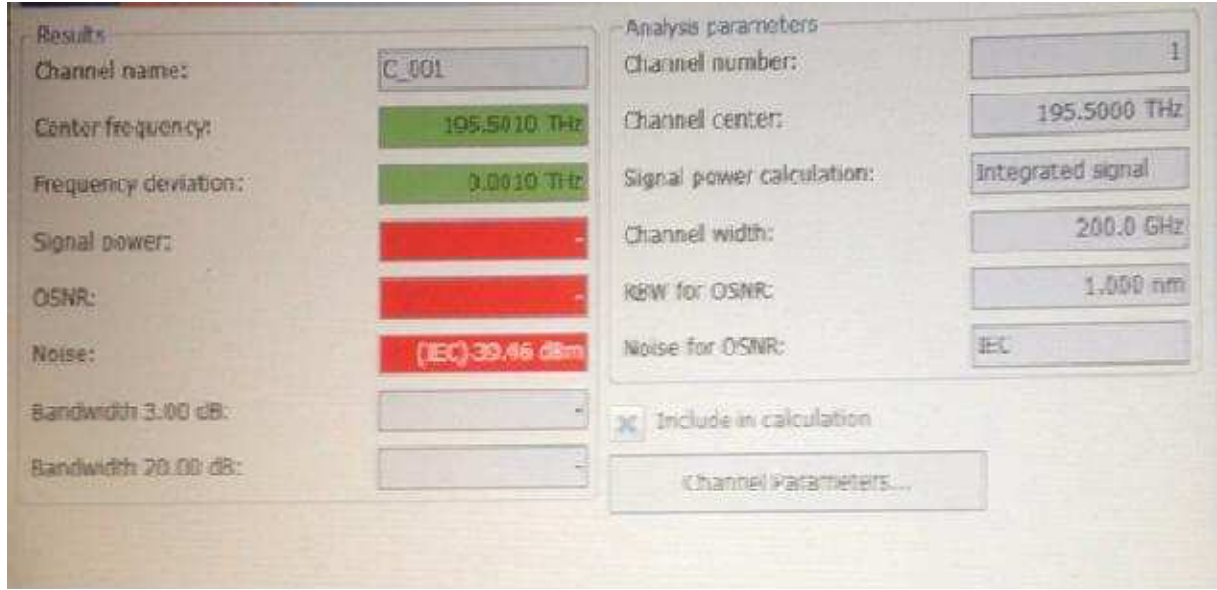
Dikey eksenimiz bizlere dalga boyunun güç değerini dbm olarak göstermektedir. Yatay eksenimiz Kullanılan dalga boyunun frekansı hakkında bilgi vermektedir. Kullanılan frekans bantları yine ekranın en altında bulunmaktadır.

Testimize OSA'nın içerisinde yer alan WDM testi ile başlıyoruz. Bu test ile ölçüm yapılan merkezlerde kullanılan dalga boyları hakkında bilgi sahibi olunabilir. Hangi dalga boylarının kullanıldığı, güç değerleri, vb. gibi nicelikler öğrenilebilir. Şekil 106 da görüldüğü gibi üç adet dalga boyu bu iki merkez için tahsis edilmiştir. Kullanılan bu dalga boyları karşılıklı olarak taşınan her çeşit trafiğin iletiminde kullanılır. Bu dalga boyu planı işletmeci tarafından belirli bir plana göre yapılmıştır. Bu işlemin nasıl yapıldığı anlatılmayacaktır. Önemli olan nasıl yapıldığı değil, kullanılan dalga boylarının trafiği sorunsuz taşımasıdır.



Şekil 106 Tunceli-Pülümür arasında kullanılan dalga boyları

Şekilden de anlaşılacağı üzere 11,16 ve 17. Kanallar iletişim için data trafiğinin taşınmasında kullanılmaktadır. Bu kanallara ait diğer birtakım bilgiler Şekil 107 de görülebilir. İncelenen kanal 1. Kanaldır. Kanalımıza ait taşıyıcı frekansımız 195.5010 THz'lik frekanstır. Kanalımızın bant genişliği 200 GHz'dir. Kanalda oluşabilecek frekans sapmaları kanalın yapısının bozulmasına dolayısıyla taşınan trafiğin kaybına neden olmaktadır.



Şekil 107 1. Kanala ait değerler



Şekil 108 Yoğun trafikli bir hat

Şekil 108 de daha önce Turk Telekom geçici kabullerinde kullanılan bir test ortamına ait OSA çıktısı mevcuttur. Bu ekran çıktısından da anlaşılacağı üzere hattımız yoğun olarak kullanılmaktadır. Hattımıza full olarak trafik yüklenmiş ve kanallar arasında herhangi bir girişime rastlanmamıştır. Bu da taşınacak olan trafiğin kayıpsız iletimi anlamına gelmektedir.

Taşınan bu trafikler içerisinde daha önceden Turk Telekom'a ait test ortamlarında yapılan ve MTS5800 cihazı kullanılarak ölçümleri yapılan 2.5 GB/s lik bir bant genişliğine ait olan trafik testleri Şekil 109 ve 110 da verilmiştir.

The screenshot displays a network testing software interface. At the top, the test configuration is shown: "P1: STM-64 AU-4 VC-4-64c Bulk BERT Term" with a level of -12.7 dBm and a frequency deviation of -1.0 ppm. The test is running for 44 seconds. The interface is divided into several sections:

- Quick Config:** Shows "Auto" and "2^31-1 ITU" pattern.
- Summary:** A red box indicates a "Signal Loss Seconds" event with a duration of 1 second. The cause is "Rx Freq Max Deviation (ppm) (TOO LOW) -590.7".
- SDH / RSOH:** Shows "Frame Sync Loss Seconds" with a duration of 1 second.
- SD - Statistics:** A table showing the duration and status of signal loss events.

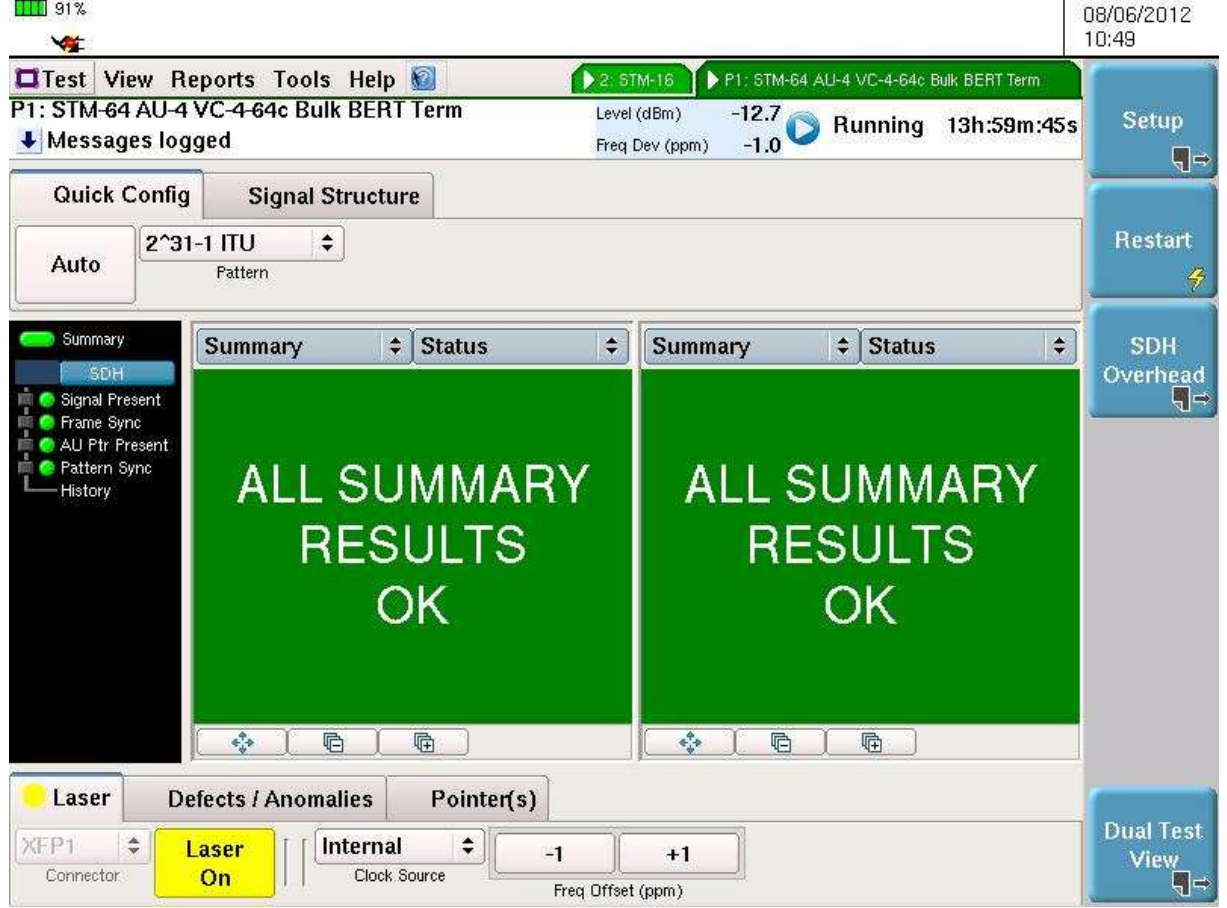
	Dur. (ms)	Status
Longest	2.875	Pass
Shortest	2.875	Pass
Last	2.875	Pass
Average	2.875	
Disruptions	Total = 1	

At the bottom, the "Laser" is shown as "On" and the "Clock Source" is set to "Internal". The "Freq Offset (ppm)" is set to "-1".

Şekil 109 Hatalı Çalışan Bir Trafik

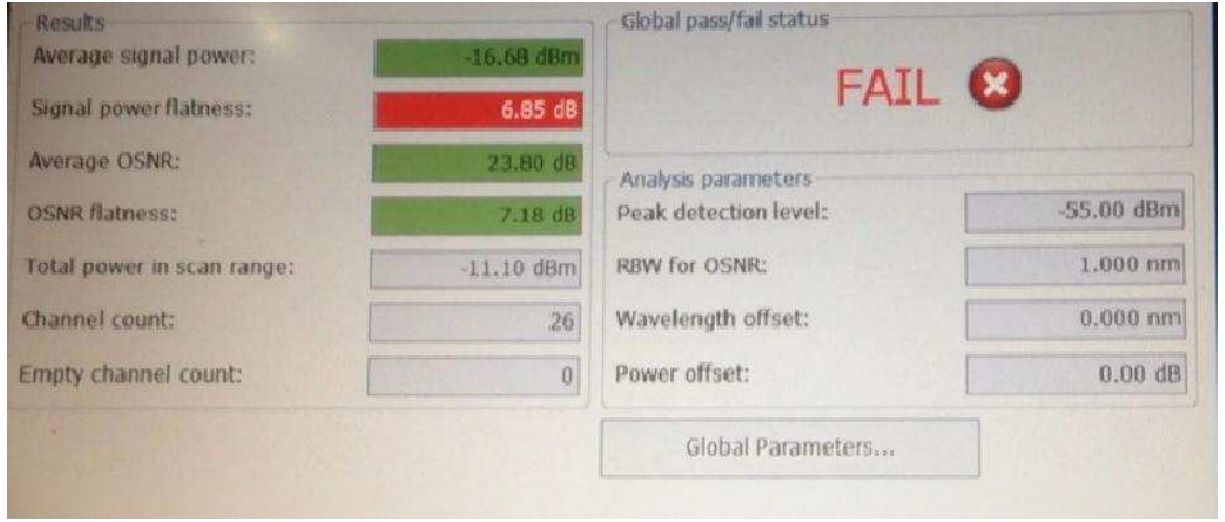
Şekil 109 da yapılan testte amaç iletim ortamına bağlı olarak trafiğin nasıl değiştiği ve bu iletim ortamındaki parametrelerin iyileştirilmesi koşuluyla trafiğin nasıl normale döndüğünü görmektir.(Şekil 110) Ayrıca hassasiyetlerin görülmesi açısından da önemli bir testtir. Kullanılan ayarlanabilen optik zayıflatıcı yardımıyla hattımızın trafik kaybetmesi sağlanmaktadır. Trafik kaybına iletim ortamı(fiber), kullanılan iletim cihazı(sdh, dwdm)

neden olabilmektedir. MTS5800 cihazı ile sanal bir trafik oluşturulmuş ve cihazımızın testi yapılmıştır. DWDM in taşıyacağı trafiklerden biri olan 2.5 GB/s lik data sorunsuz şekilde geçmiştir.

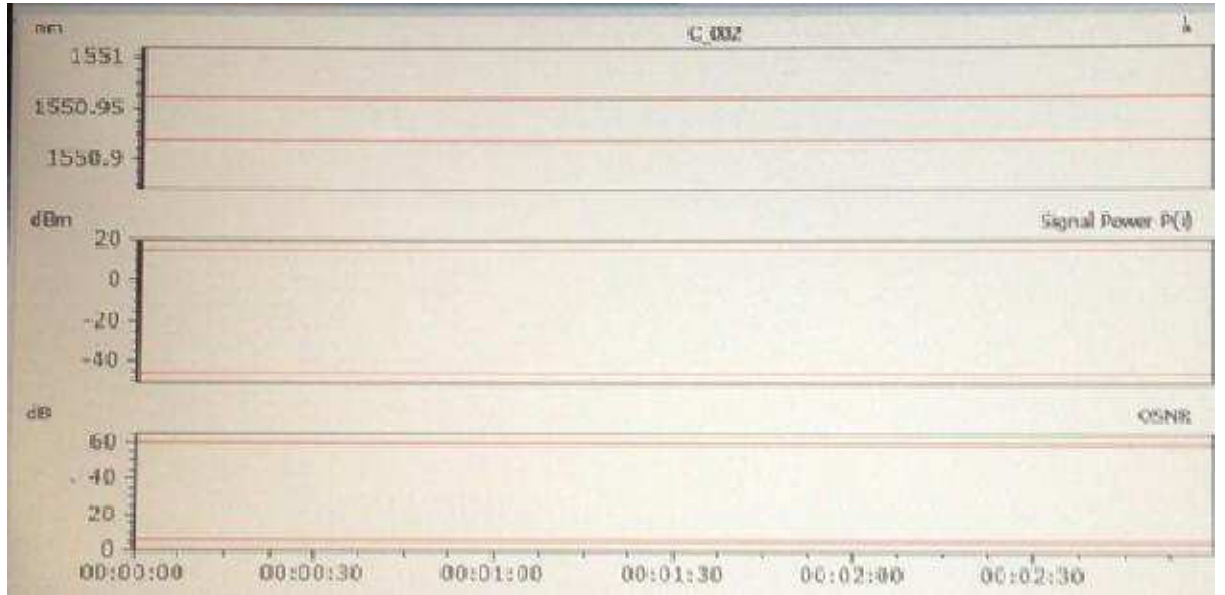


Şekil 110 Hatasız çalışan bir trafik

Tunceli-Pülümür arasındaki kanallarla geri dönersek, Şekil 111 de kanala ait diğer birtakım bilgileri görebiliriz. Burada giriş gücümüz -16.68 dBm ve ortalama sinyalin gürültüye oranı değerimiz 23.8 dB olarak görülmektedir. Bu değerlerimiz incelenen hat için nominal değer aralığındadır. Giriş seviye değerimiz bu değer üstüne çıkarsa (-26 dBm den düşük değerler için) sinyalin kaybolmasına neden olacaktır.



Şekil 111 Tunceli-Pülümür 1.Kanal Değerleri



Şekil 112 Tunceli-Pülümür 2. Kanala ait değerler

Kullanılan bir başka kanal olan 2. Kanala ait grafik Şekil-112 de gösterilmiştir. Burada kanalın frekansı, sinyalin gücü ve sinyalin gürültüye oranı değerlerimiz birlikte görülebilir.

3.BULGULAR

İncelenen DWDM sistemi Tunceli Pülümür arasında çalışan Huawei marka cihaza ait trafik testlerinden oluşmaktadır. Trafikler, öncelikle çalışan trafiklerdir. Herhangi bir kesinti yapılması sistemi olumsuz etkileyecektir. Bundan dolayı Huawei firmasının geliştirmiş olduğu DWDM sistemi üzerinde kesinti yapmadan da ölçümlerin alınabilmesini sağlayan çıkışlardan veriler alınmıştır. Kullandığımız OSA cihazı kalibrasyonu yeni yapılmış ve herhangi bir problem yaratmayacak durumdadır. Yapılan testler, daha önceden Huawei firmasının test aşamasında yaptığı geçici kabuller ve fabrika ortamında yaptığı testler ile karşılaştırılmış aldığı sonuçlar da göz önünde bulundurularak analiz edilmiştir. Ayrıca, taşınan trafiklerin çalıştığı da düşünülürse(internet+ses) testler esnasında herhangi bir probleme rastlanmamıştır. Tahsis edilen kanalların değerlerinin nominal aralıklarda olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan kanallarda herhangi bir girişim olmadığı, trafiğin kayıpsız olarak iletilmesi gereken Pülümür lokasyonuna ulaştığı saptanmıştır. Bundan önce kullanılan SDH cihazları ile karşılaştırıldığında normal olarak ve fiberin bir perinden (2 kıl) gönderilen trafiklerin DWDM cihazı ile yine tek per kullanılarak daha fazla gönderildiği tespit edilmiştir. Ayrıca istenilen düzeydeki bant genişlikleri ayarlanmış ve kayıpsız olarak karşı merkeze ulaştığı gözlemlenmiştir. Yapılan test sonuçları DWDM cihazlarının Tunceli-Pülümür arasında kullanımının koruma yönü olarak kullanımından kaynaklı olarak, Tunceli'nin bir başka yönü olan Kovancılar yönünün kesilmesi durumunda trafiklerin yine bu yönden devam edebileceği görülmüştür. Bu yönüyle de müşterilerin kesintilerden(iletim ortamında oluşabilecek herhangi bir arızadan dolayı; f/o kablonun zarar görmesi, kart arızası, sistem arızası, vb...) minimum ölçüde etkilenmesi için iyi düşünülmüş bir yapıya sahip olduğu saptanmıştır.

4.ÖNERİLER

Her ne kadar DWDM iletim sistemleri açısından kolaylık sağlasa da insanoğlunun taşımak istediği bant genişliklerinin sınırı olmadığından dolayı kapasitesini daha da arttırması beklenebilir. Bir başka durum ise Fiber optikte oluşmaktadır. Şu an itibariyle DWDM sistemleri tek per (2 kıl) kullanarak trafiği taşıyabilmektedir. Bu da iletim ortamını oluşturan F/O kablunun çok etkin olarak kullanımını engellemektedir. Firmalar tarafından yapılan yatırımlar işletmeci açısından düşünüldüğünde ekonomik ve kar marjının yüksek olmasını hedefler ve kısa vadede maliyetini çıkarmasını amaçlar. Eğer bu iletim tek kıl kullanılarak yapılırsa F/O kablo etkin bir şekilde kullanılabilir ve dolayısıyla da işletme maliyetlerinin düşmesine neden olabilir. Ülkemizde bu cihazların üretilmemesi maliyeti etkileyen bir diğer etkidir. Eğer bu cihazların ülkemiz tarafından üretilmesini sağlayacak projeler geliştirilirse maliyetler biraz daha düşürülebilir. Ancak bu konudaki AR-GE merkezlerinin de yeterli miktarda olmayışı da üretim önündeki engellerden biridir. Bir ülkenin haberleşme hatlarında kullanılan cihazların yine o ülke içinde yer alan kendi yerli yapımı olması stratejik olarak da önemlidir. Bunun dışında; küçük merkezlere (trafik kapasitesi 1 Gb/s altında olan merkezler) kurulan SDH teknolojisi yerine de ilerleyen süreçlerde DWDM teknolojisinin kullanılması istenilen bant genişliklerinin sağlanabilmesi anlamına gelmektedir.

KAYNAKÇA

Agrawal, G. P. (2001). *Nonlinear Fiber Optics*. San Diego: Academic Press.

Aydemir, G. (2003). Optik Fiber Haberleşme Sistemlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi Ve Türkiye'deki Uygulamalarının Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi* . Sakarya.

Aydemir, G. (2003). Optik Fiber Haberleşme Sistemlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi Ve Türkiye'deki Uygulamalarının Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi* . Kocaeli.

Aygen, G. (1992). Dünyayı Odamıza Taşıyan Devrim Fiber Optik. *Cumhuriyet Bilim Teknik Dergisi* (283).

Cao S., C. J.-Y. (2004). "Interleaver technology: Comparisons and applications requirements. *J. Lightwave Technol.* , 281-289.

Cheng, C.-H. (2006, JANUARY). Signal Processing for Optical Communication. *IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE* , s. 88,89,94,96.

Cora, A. (1991). Optik Lif Haberleşmeinde Gelişmeler ve Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama. *Elektrik Mühendisleri Odası (EMO) Dergisi* , 35 (375).

Çankaya, S. v. (1993). Optik İletim Kuramı.

Demirburan, A. Y. (tarih yok). Optik Fiber Ve Optik İletişim. *ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ* .

Dempsey Joe, E. M. (2007). Lightwave. *Low-dispersion fiber complements dispersion-tolerant technology* . PennWell Corporation.

H. Suzuki, J. K. (2000). *IEEE Photon. Technol.Lett.* (12).

illiger, E. S.-J. (1999). 80 Gbit/s All-Optical Demultiplexing Using a Hybrid Mach-Zehnder Interferometer Switch with Gain-Clamped Semiconductor Optical Amplifiers.

Miltra Martha P., S. J. (2001). Nonlinear limits to the information capacity of optical fibre communications. *Nature* (411).

Nokia Siemens Networks. (2009). *Components*. Nokia Siemens Networks.

Nokia Siemens Networks. (2009). *DWDM Introduction*. Nokia Siemens Networks.

Nokia Siemens Networks. (2009). *Optical Basics*. Nokia Siemens Networks.

Optik İnce Filmler Proje Raporu. (2013). Nisan 15, 2013 tarihinde www.belgeler.com: <http://www.belgeler.com/blg/2n3w/optik-ince-filmler-proje-raporu> adresinden alındı

Oxenlwe, K. L. (2002). Optical signal processing with semiconductor. *c. Ph. D.thesis* . The Technical Uniof Denmark.

S.Norimatsu, T. (2001). Waveform distortion to stimulated Raman scattering in wide-band WDM transmission systems. *Journal of Lightwave Technology* , 19.

Sahin, Ş. (2006). Yogun Dalga Boyunu Bölerek Çogullama (Dwdm) Sistemlerinde Yeni Anahtarlama Teknikleri Ve İlgili Simülasyonlar. Konya.

Salman, S. (1995). Optik Fiberlerde Zayıflama ve Kayıplar. *Yüksek Lisans Tezi* .

Sankur, B. v. (1992). Y Elektrik—Elektronik—Bilgisayar Terimleri. *Elektrik Mühendisleri Odası (EMO) Dergisi* , 397.

Şaplakoğlu, G. v. (1991). Fiber Optik İletişim. *Elektrik Mühendisleri Odası (EMO) Dergisi* , 36 (381).

Tkach, A. R. (1993). What is the actual capacity of singlemode fibers in amplified lightwave systems. *IEEE Photonics Technology Letters* , 5.

Tüysüzoğlu, S. (1995). Optik Transmisyonunda Yeni Uygulamalar.

Wilson, J. a. (2000). *Optoelektronik*. Değişim Yayınları.

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

Zarschizhy Dr. Helmut, u. R. (2003). Mit Terabit pro Sekunde durch photonische Netze. *Nr.4.Physik Journal* . München: Siemens AG.

ÖZGEÇMİŞ

01.09.1985 tarihinde Tunceli’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Tunceli ‘de tamamladı. Lisans eğitimine 2004 yılında İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde başlayıp 2008 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2011 yılında Tunceli Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2008 yılında Tunceli İl Telekom Müdürlüğünde Network Uzmanı olarak göreve başladı. Halen Tunceli İl Telekom Müdürlüğünde Network Ekip Lideri olarak görev yapmaktadır.