

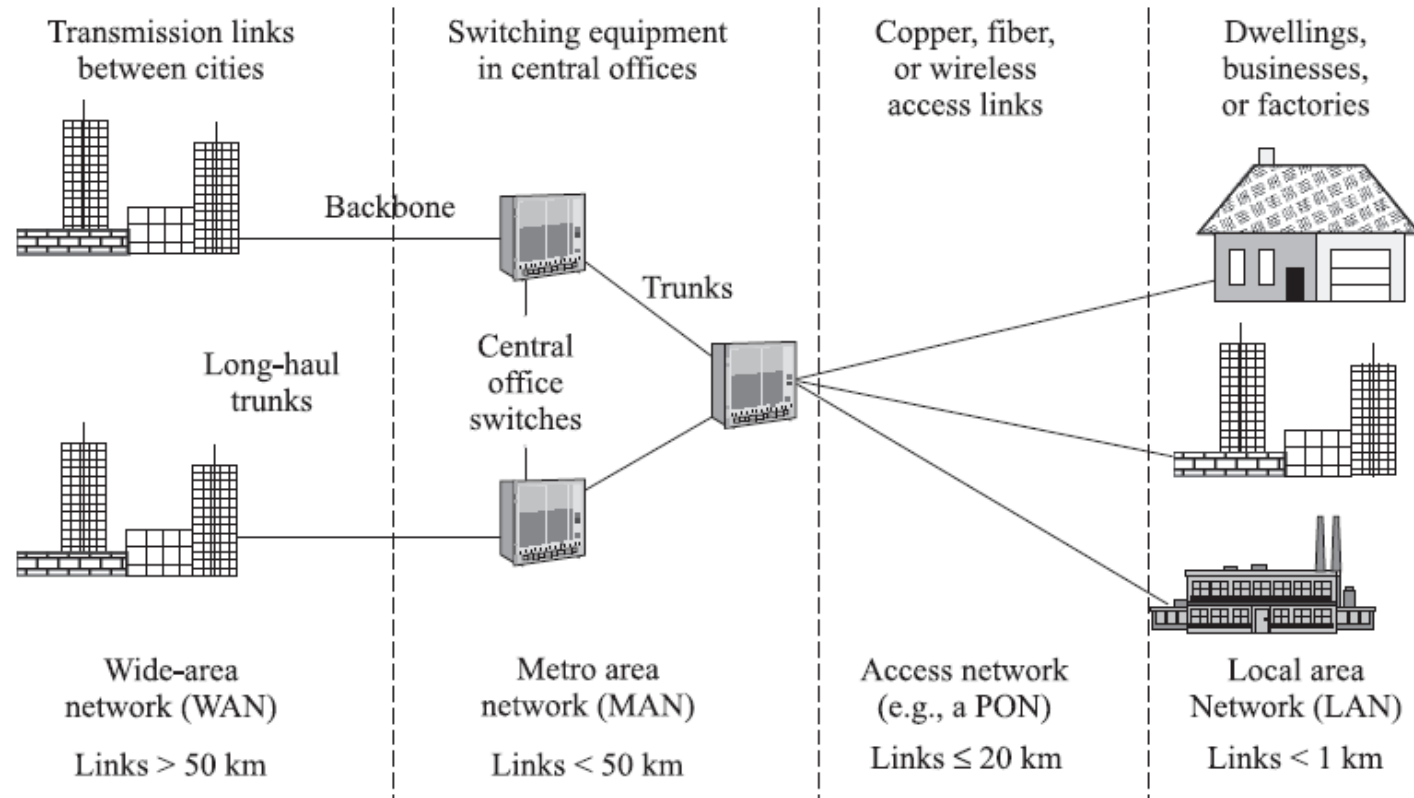
Fiber Optik Ağlara Giriş

DR. ÖĞRETİM ÜYESİ ABDULLAH SEVİN

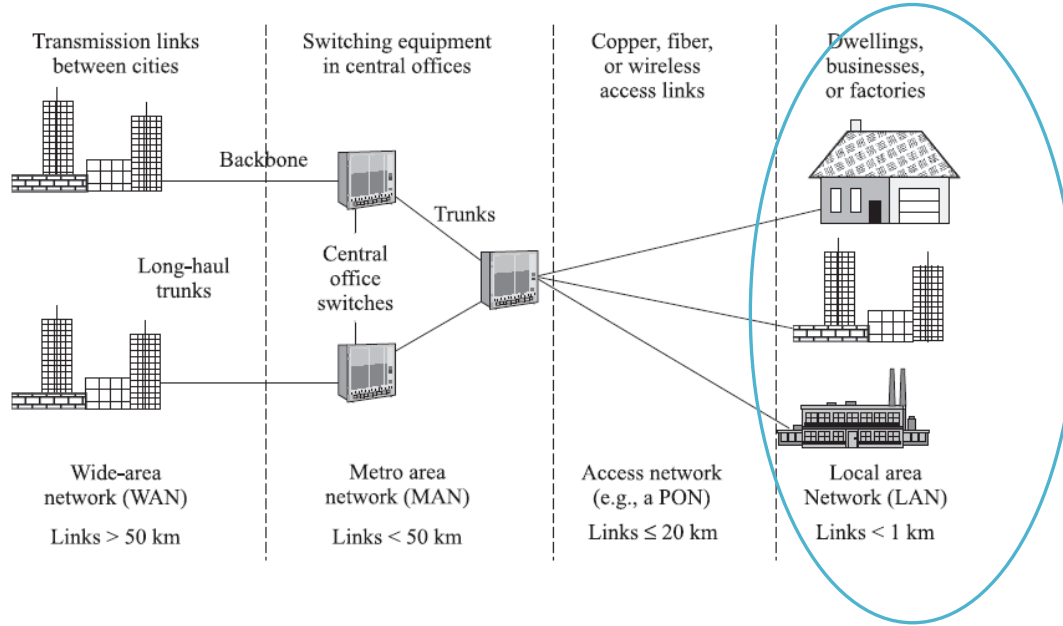
Amaç

- ☐ Fiber optik ağ yapısının genel olarak incelenmesi
- ☐ Fiber optik ağı genel görünümü
- ☐ Fiber optik ağ elemanları
- ☐ Fiber optik katman

Fiber Optik Ağı Genel Görünümü



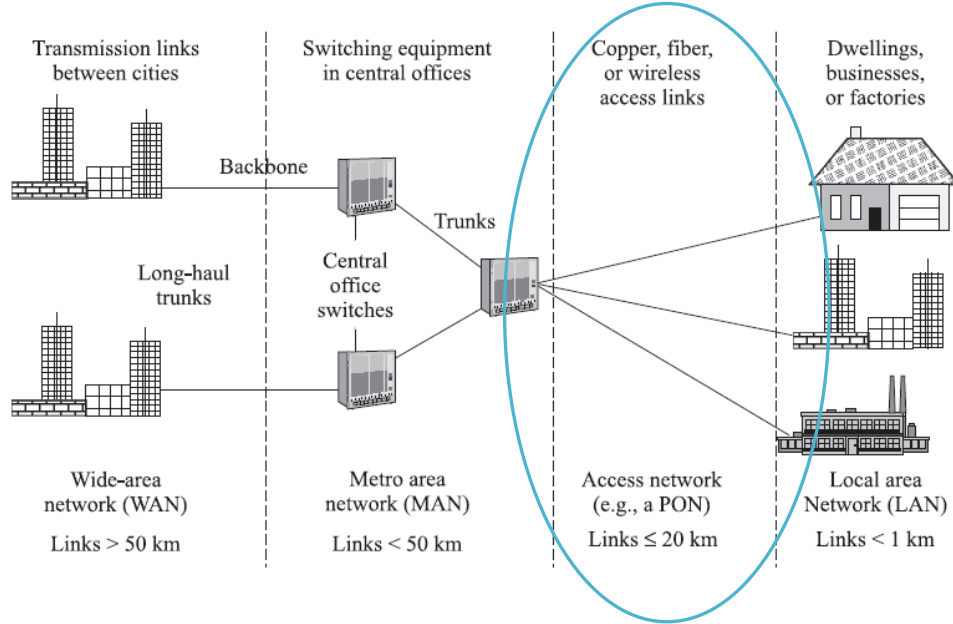
Son kullanıcı



❑ Son kullanıcılar :

❑ Laptoplar, Telefonlar, IoT vb. akıllı cihazlar farklı ortamlardan (WiFi, Ethernet, Hücresel ağ) internete bağlanabilmektedir.

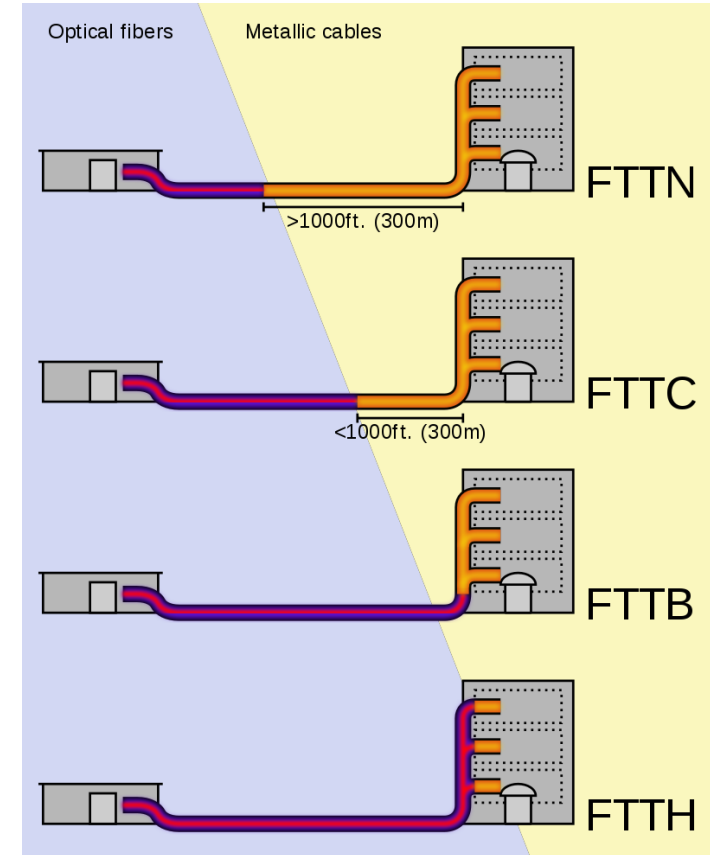
Erişim Ağı



- Erişim Ağı (<20 km), Birkaç km
- Bir erişim ağı, merkezi bir anahtarlama tesisinden bireysel şletmelere, kurumlara ve evlere uzanan bağlantıları kapsar.
- Kullanıcılar yüksek bantgenişliği talep ediyor. Ama mevcut teknolojiler (WiFi, DSL, ADSL, Ethernet, Hücresel ađ) yavaş
- PON (Passive Optical Networks) –FTTx

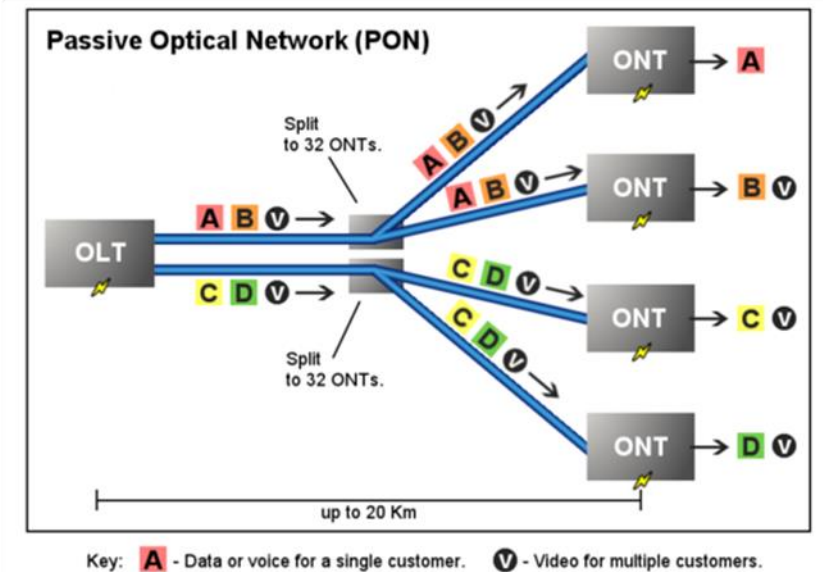
Erişim Ağı

- ❑ **FTTx** (Fiber to the x)
- ❑ **FTTH** (fiber-to-the-home):
- ❑ **FTTB** (fiber-to-the-building, -business, or -basement):
- ❑ **FTTC / FTTK** (fiber-to-the-curb/kerb, -closet, or -cabinet):
- ❑ **FTTN / FTTLA** (fiber-to-the-node, -neighborhood):



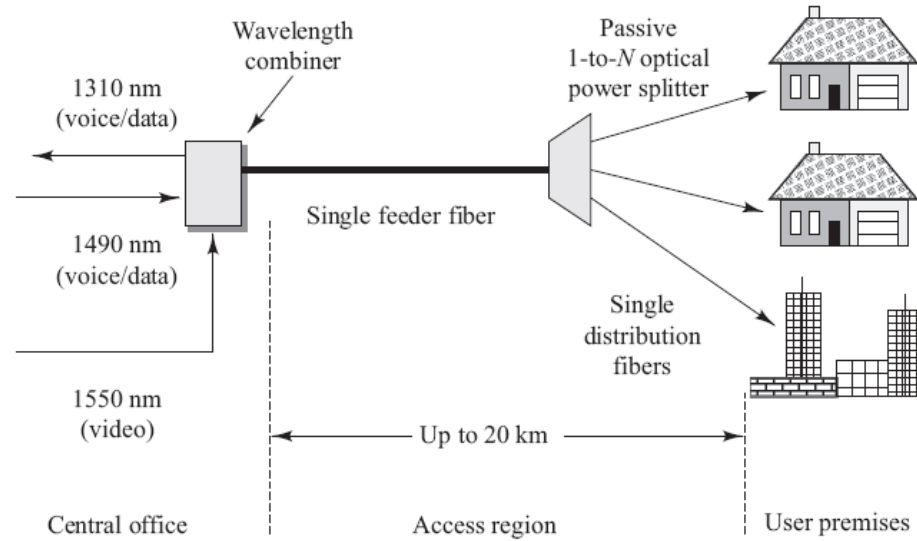
Passive optical network (PON)

- ❑ OLT bir ITU-T terimidir, buna karşılık ONU IEEE terimidir.
- ❑ OLT, fiber optik ışık sinyallerini elektrik sinyallerine dönüştürür
(Fiber optik hattın sonlandığı düğüm)
- ❑ OLT'den gelen sinyalleri bileşen parçalarına (voice telephone, TV, Internet erişimi) demultiplex (ayrıştırma) gerçekleştirir.



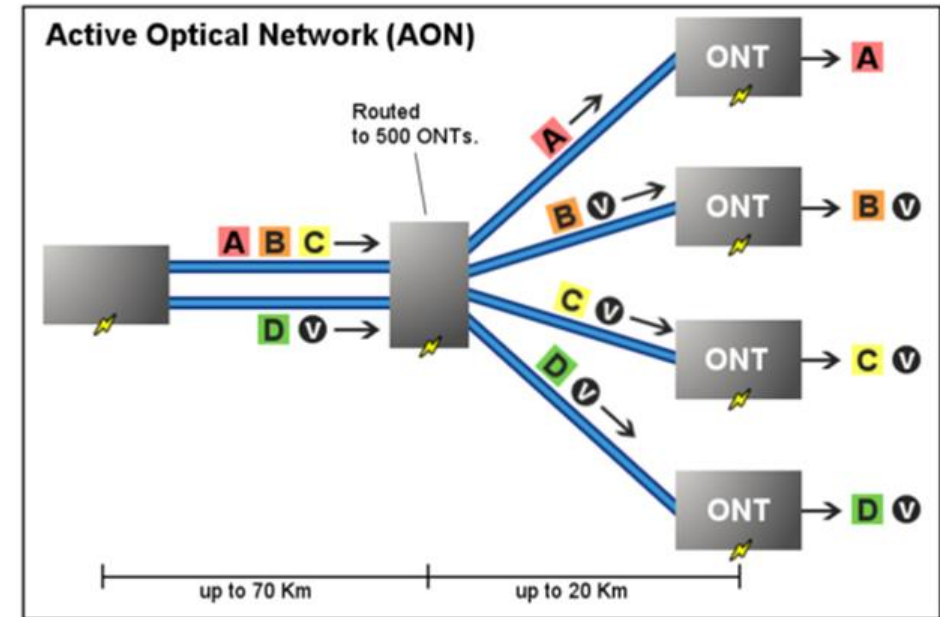
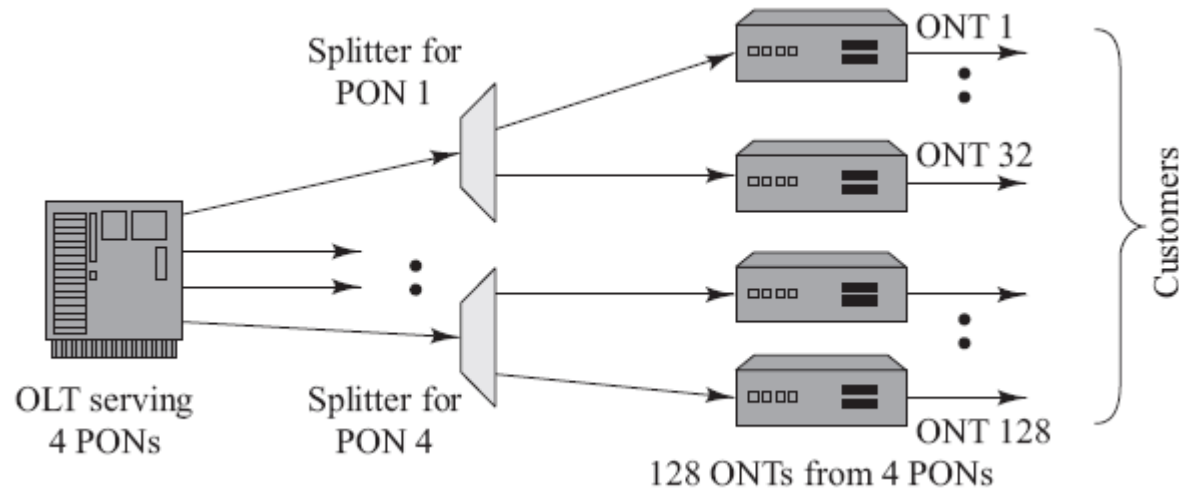
PON

Pasif bir optik ađ (PON), tek bir optik fiberin 128 müşteriye hizmet vermesini sağlamak için güçsüz optik ayırıcıların kullanıldığı, çok noktadan çok noktalı bir FTTP ađ mimarisidir.

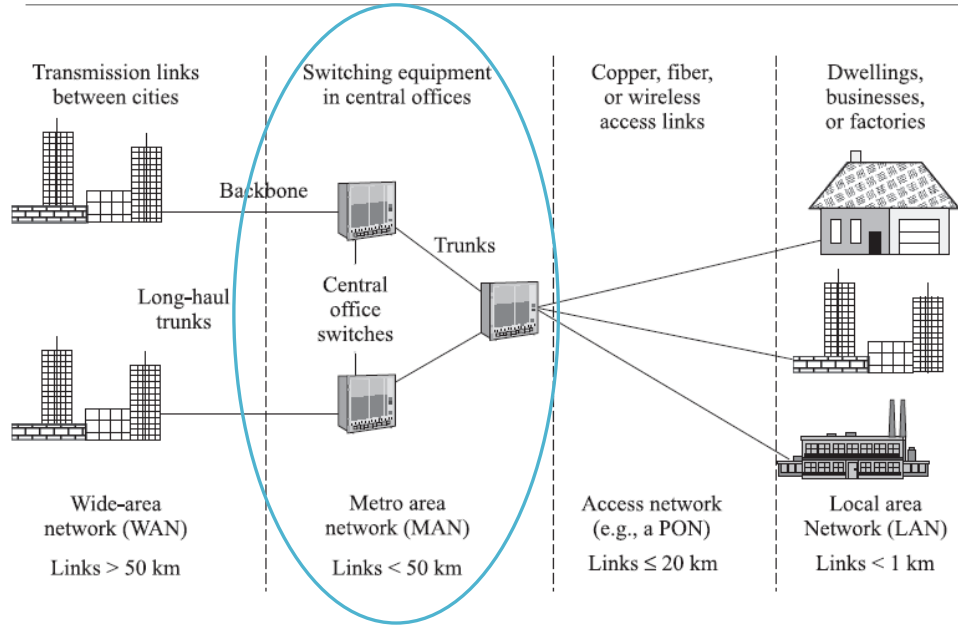


Active optical network

- ❑ AON'lar, bir anahtar veya yönlendirici gibi bir sinyali dağıtmak için elektrikle çalışan ağ ekipmanına dayanır.
- ❑ Normal olarak, sinyaller, AON'in bir optik-elektriksel (optik dönüşüm) gerekir.



Metro Ağı



□ Metro Ağı (<50 km)

□ İlçeleri, şehirleri birbirine bağlayan ağ yapısı

SONET: Synchronous Optical Network (Amerika)

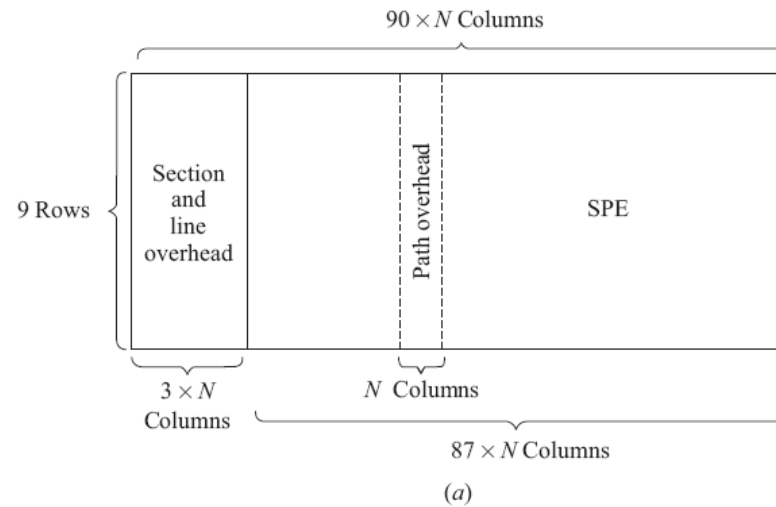
SDH: Synchronous Digital Hierarchy (Avrupa)

Metro Ağı

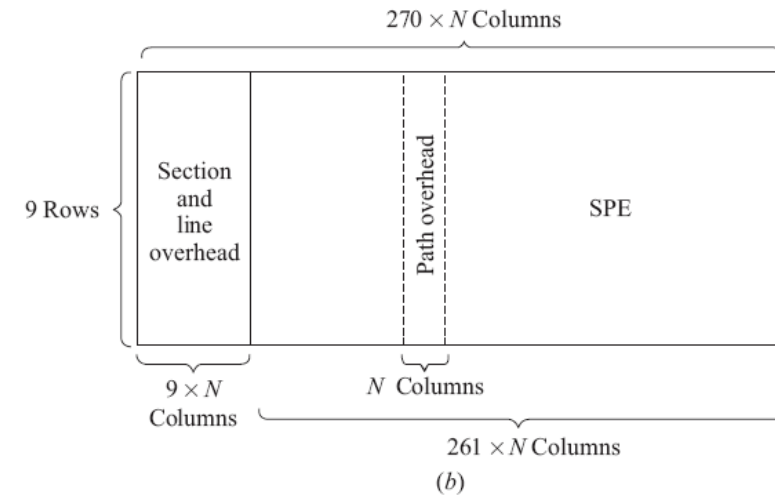
- ❑ SONET ve SDH fiber optik ağlar üzerinden data iletimi için oluşturulmuş standartlardır.
- ❑ SONET (Synchronous Optical NETwork), National Standards Institute (ANSI) tarafından oluşturulmuştur ve Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılan bir veri iletim standardıdır.
- ❑ SDH (Synchronous Digital Hierarchy) ise International Telecommunications Union (ITU) tarafından yayımlanan ve daha çok Avrupa ve Asya'da kullanılan bir veri iletim standardıdır.
- ❑ Türkiye'de temel olarak tercih edilen standart ise Avrupa ülkelerinde de tercihi olan SDH'tir.
- ❑ SONET veri iletiminde Optical Carrier (OC-Optik Taşıma Seviyeleri) ile Synchronous Transport Signals (STS_Eşzamanlı İletim Sinyalleri) adında parametreler tanımlanmıştır. Bu parametreler verinin belli basamaklardaki iletim hızını ifade etmektedir. Her iki terim de sayısal olarak aynı değerleri karşılamaktadır. SDH teknolojisinde ise SONET'in bu parametrelerine karşılık Synchronous Transport Module (STM-Eş Zamanlı İletim Birimi) parametresi tanımlanmıştır.

SONET/SDH

(a) STS-N SONET frame



(b) STM-N SDH frame



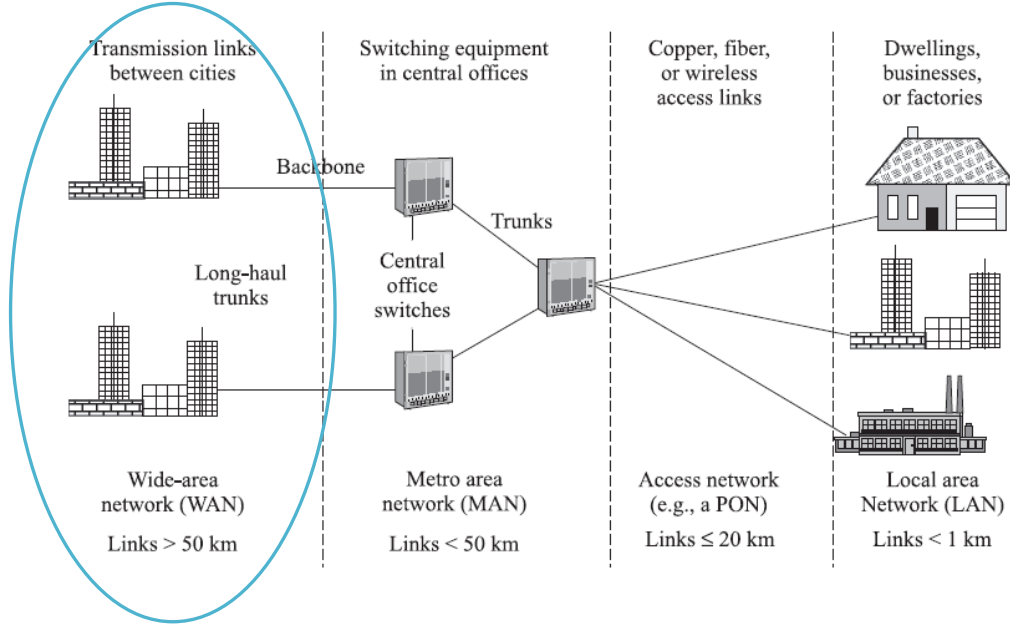
<i>SONET level</i>	<i>Electrical level</i>	<i>SDH level</i>	<i>Line rate (Mb/s)</i>	<i>Common rate name</i>
OC-N	STS-N	—	$N \times 51.84$	—
OC-1	STS-1	—	51.84	—
OC-3	STS-3	STM-1	155.52	155 Mb/s
OC-12	STS-12	STM-4	622.08	622 Mb/s
OC-48	STS-48	STM-16	2488.32	2.5 Gb/s
OC-192	STS-192	STM-64	9953.28	10 Gb/s
OC-768	STS-768	STM-256	39813.12	40 Gb/s

$$\text{STS-1} = (90 \times 8 \text{ bits/row}) (9 \text{ rows/frame}) \times 125 \mu\text{s/frame} = 51.84 \text{ Mb/s}$$

FOA gelişimi (1. Nesil)

- ❑ 1980 yılında başladı
- ❑ Fiber optik iletim sistemleri ile sınırlı - sistemin geri kalanı elektrik sinyali
- ❑ Böylece, elektronik büyük darboğaz oldu!
- ❑ Alınan optik verinin düşmesi ve iletilmesi gerekiyordu - bu noktadan noktaya bir sistemdi
- ❑ Örnek: Senkron Optik Ağ (SONET) ve Senkron Dijital Hiyerarşi (SDH), Fiber Dağıtılmış Veri Arabirimi (FDDI), Fiber Kanallar
- ❑ Optik TDM'ye dayanan bu sistemler (10 Gb / s ve 40 Gb / s)
- ❑ WDM teknolojisi kullanılarak daha yüksek kapasiteli sistemler üretildi (1 Tb / s) - tek bir telefon hattının sadece 60 Kb / s olduğunu unutmayın!)

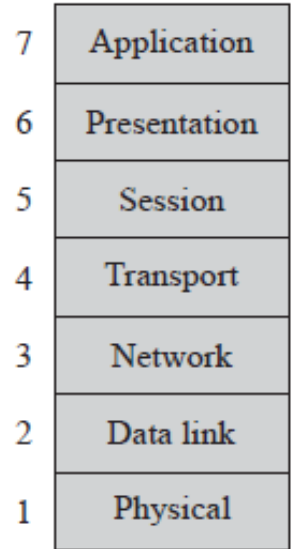
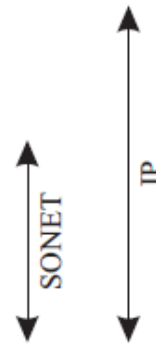
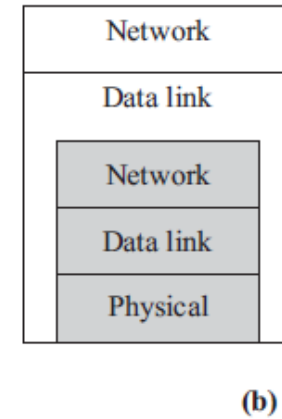
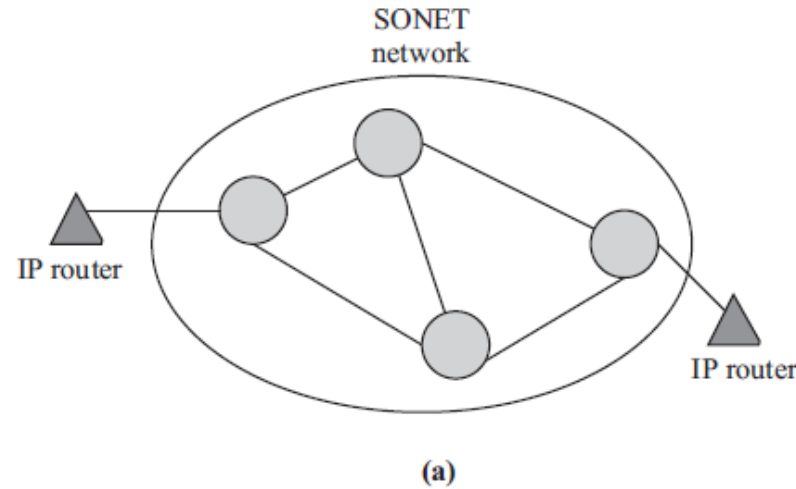
Omurga Ağı



- ❑ Omurga Ağı (>50 km)
- ❑ Omurga (uzun mesafeli) ağ (backbone long-haul networks)
- ❑ 100'ler-1000'ler km
- ❑ Örgüsel (Mesh) yapı
- ❑ OXC (Optical cross-connects) Optik bağlantı düğümleri

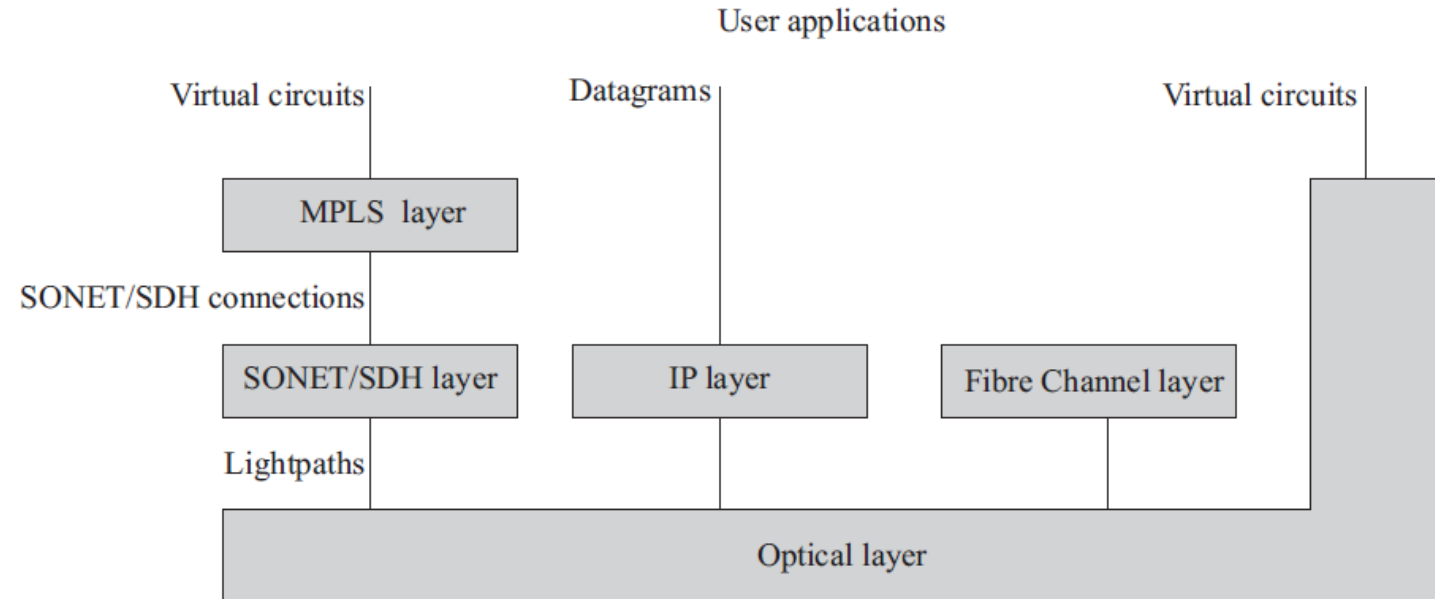
FOA katmanı / Optik katman

- ❑ Fiziksel katman özelliklerini barındırır: Fiber kablolar, modülasyon teknikleri
- ❑ Veri Bağı katmanı özellikleri: Kontrol mekanizmaları,
- ❑ Ağ Katmanı : Yönlendirme vb.
- ❑ Not: Devre anahtarlama (Paket anahtarlama değil)



Optik katman

- Üstündeki çeşitli istemci katmanlarını destekleyen ikinci nesil optik ağ katmanından oluşan bir ağın katmanlı görünümü.

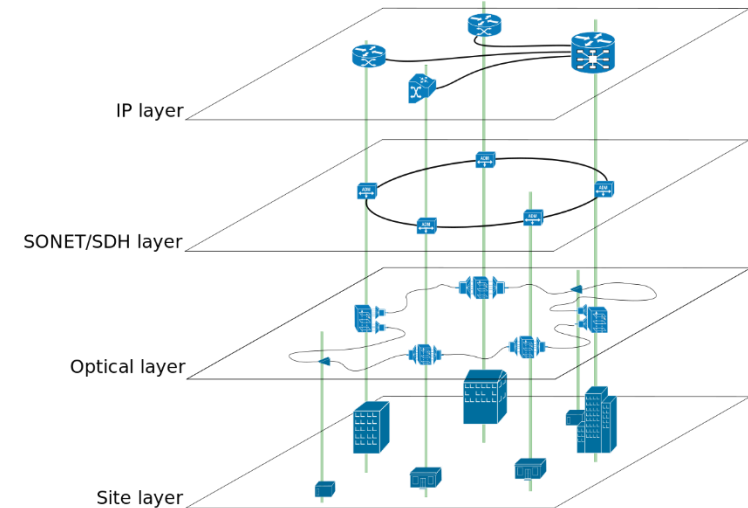
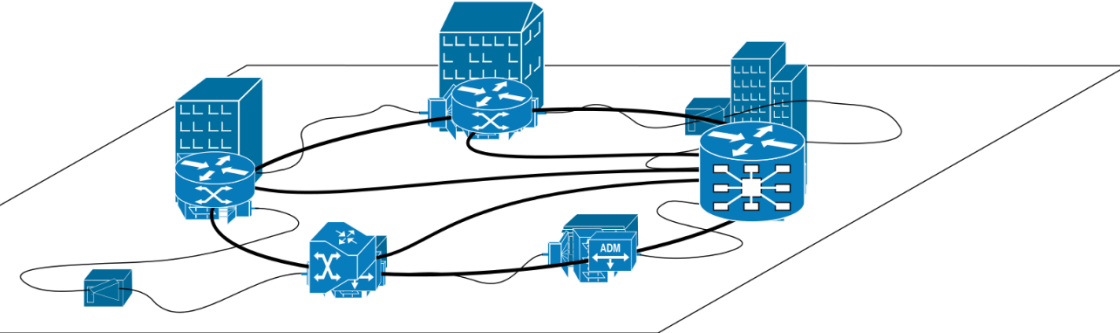


Telekom İş Modelleri

1. İş modeli #1: Ağın, toprağın altından başlayarak sahibi ve sadece IP-tabanlı servisler sunar (Türk Telekom, SuperOnline).
2. İş modeli #2: 1. katman yapıya sahip ve müşterilerine sattıkları servisleri müşterilerde başkalarına satabilir (bu modele örnek GNs).
3. İş modeli #3: Üçüncü taraflardan fiber veya iletim kapasitesi kiralar ve sadece IP-tabanlı servisler sunar.
4. İş modeli #4: Bantgenişliği simsarı (bandwidth broker).ISP'ler ile (iş modeli #3) ağ operatörleri (iş modeli #2)arasında arabuluculuk yapar (ISP'lerin ağ operatörlerinden bant genişliği kiralamasını sağlar).

Örnek bir yer paylaşımı ağı (overlay network)

- ❑ İş modeli 1 hepsini kapsar
- ❑ İş modeli 2 altyapıya sahip (1. ve 2. katman) ama IP tabanlı hizmet vermiyor
- ❑ İş modeli 3 altyapıya sahip değil ama bunları kir alıyor ve IP tabanlı hizmet veriyor (3. ve 4. katman)
- ❑ İş modeli 4 arabulucu



TE –NE –NP

- Trafik Mühendisliği (Traffic Engineering-TE)
 - «Bantgenişliği» nerede ise «trafiği» oraya koy
- Ağ Mühendisliği (Network Engineering-NE)
 - «Trafik» nerede ise «bantgenişliğini» oraya koy
- Ağ Planlaması (Network Planning -NP)
 - «Trafik» nerede öngörülüyorsa «bantgenişliğini» oraya koy

Trafik Mühendisliği (Traffic Engineering-TE)

- ❑ «Bantgenişliği» nerede ise «trafiği» oraya koy
- ❑ Yönlendirme (routing) problemi: paketleri, paket akımlarını, yada devreleri uygun bantgenişliklerine atama
- ❑ On-line(dinamik): karar çok çabuk (milisaniyeler içerisinde) verilmeli (Operasyonel gider – Operational expenditure-OpEx)
- ❑ Performans metrik: Bloke etme olasılığı (blocking probability), kontrol ek yükü hacmi (control overhead), yakınsama zamanı/ağdaki yön. tabloların oluşması yani ağın kurulma zamanı (convergence time)

Ağ Mühendisliği (Network Engineering-NE)

- ❑ «Trafik» nerede ise «bantgenişliğini» oraya koy
- ❑ Bir ağ çalışmaya devam ederken ve üzerindeki trafik (muhtemelen) asimetrik olarak artınca, ağın belli bölgelerinde tıkanmalar oluşabilir.
- ❑ Bu durumda trafiğin arttığı bu bölgeleri rahatlatmak için ekstra bantgenişliği eklemek gerekir (sermaye gideri –Capital expenditure-CapEx).
- ❑ NE karar verme süresi haftalar veya aylar ile ifade edilebilir.
- ❑ Performans metrik: Tükenme olasılığı (exhaustion probability)

Ağ Planlaması (Network Planning -NP)

- ❑ «Trafığın» nerede öngörülüyorsa «bantgenişliğini» oraya koy
- ❑ Bir ağın sıfırdan planlanması –karar verme aralığı yıllarla ifade edilir.
- ❑ Örnek: Düğümler arası trafik talepleri verildiğinde minimum maliyetle dizayn et (yani ağın her bağlantısına ne kadar bantgenişliği konulacak ve trafik ağ bağlantıları üzerinden nasıl yönlendirilecek).
- ❑ Performans/optimizasyon metrik: maliyet
- ❑ Gerçek hayatta NP problemi biraz daha karmaşıktır. Örneğin elimizde genelde yıllık trafik tahminleri vardır. Diyelim ki 5 yıl için NP yapacağız.
- ❑ Bu durumda 1. yıl tahminlerine göre düşük maliyetle ağ dizayn edilir.
- ❑ Takip eden yıllar içinse nasıl/nereye kapasite artırımını yapılacağı planlanır.

Optik ağ özellikleri

❑ Çoğu kişi optik ağ oluşturmayı (optical networking) fizik alanındaki optiğin bir uzantısı olduğunu ve bu konu ile fizikçilerin yada elektrik mühendislerinin çalışması gerektiğini düşünür.

❑ **Optik ağlar:**

❑ Tamamen optik olmak zorunda değildir.

❑ Tamamen devre anahtarlama olmak da zorunda değildir.

❑ **Optik ağın özellikleri:**

❑ **İletim:** Optik kablolar üzerinden olmalı.

❑ Haberleşme ışık sinyalleri üzerinde gerçekleştirilir.

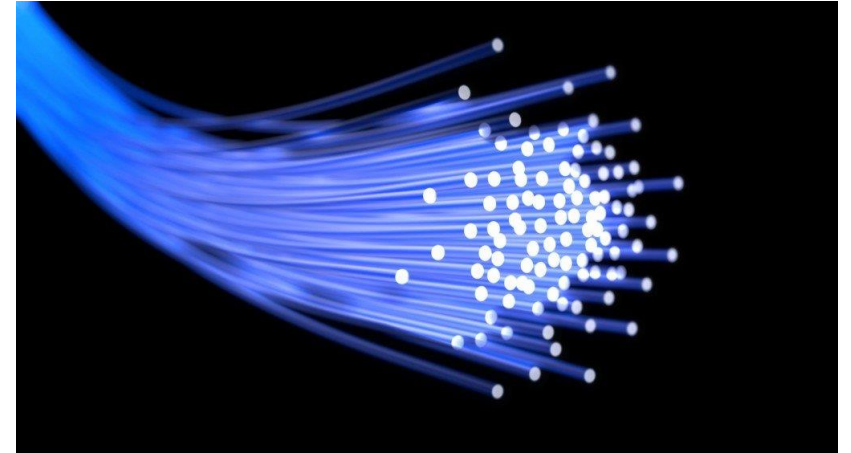
Fiber Optik: Ne kadar hızlı?

☐ Işık ne kadar hızlı (boşlukta)

- ☐ 3×10^8 m/sn
- ☐ 300.000 km/sn
- ☐ 1 milyar km/saat
- ☐ 30 cm/nanosn

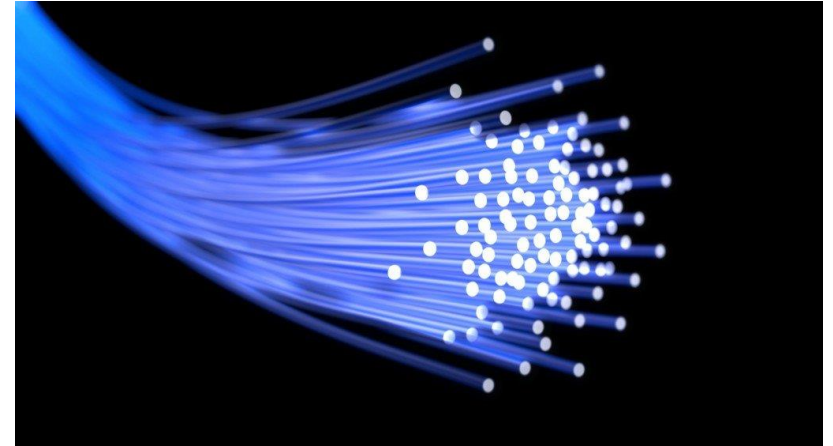
☐ Fiber kablo

- ☐ Hammaddesi: Cam, plastik (Polymer)
- ☐ Işık duvarlarından yansıyarak ilerler
- ☐ Fiberdeki ışık, ışığın boşluktaki hızının 2/3'ü hıza sahiptir (200.000 km/sn)



Kapasite

- ❑ Son teknolojiler ile bir fiberdeki ışık 1 Tbps(1.000 Gbps) kapasiteye sahiptir.
- ❑ Her fiber 160 farklı dalga boyunda aynı anda veri gönderebilir.
- ❑ Bir fiber kabloda 400 tane fiber bulunabilir.
- ❑ $160 \times 400 \text{ Tbps} = 64 \text{ Pbps}$



Optik ağ özellikleri

- ❑ **Anahtarlama:** optik olabilir, elektronik olabilir, melez (hybrid) olabilir, devre olabilir, paket olabilir, yığın olabilir
- ❑ Günümüzdeki en uygun yaklaşım: Elektronik devre anahtarlama (optik->elektrik siny.)
- ❑ IP ağ oluşturmada optik ağın faydaları:
 - ❑ Herhangi iki IP router'ı direk bir (sanal) bantgenişliği hattı (hangi kapasitede isteniyorsa STS-1,...,STS-192) ile bağlama
 - ❑ Talep üzerine kapasiteyi artırma yada azaltma
 - ❑ IP routerları bağlayan topolojiyi dinamik olarak değiştirme
 - ❑ Tamamen ayrılmış bir kontrol ağı oluşturma (sanal ağ)

Optik Ağ özellikleri

- ❑ İhtiyaç:
- ❑ Her geçen gün artıyor
- ❑ Bu ihtiyaçlarımız bize küresel haberleşme ağları üzerinden ulaştırılıyor, fakat bu ağlarda bugüne kadar kullanılan Internet ve ATM teknolojileri bu öngörülebilir bantgenişliği taleplerini karşılamakta yetersiz kalmaktadır.

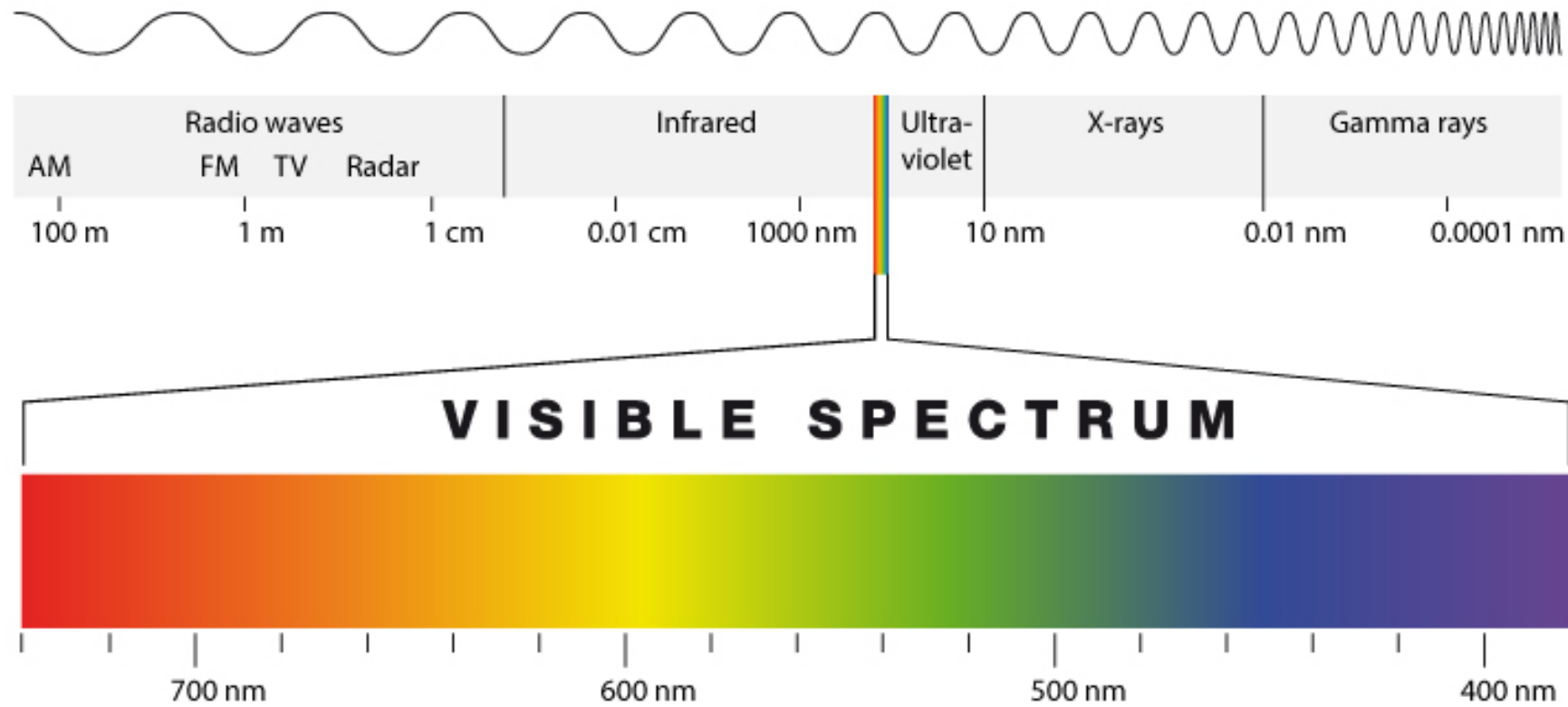
Özellikler

- Devasa bant genişliği (50 Tbps'in üzerinde)
- Düşük sinyal zayıflaması (0.2dB/km)
- Elektronik girişime (karışmaya) karşı bağımsız
- Elektromagnetik yayılım olmadığından yüksek güvenlik
- Aynı kablo içerisindeki fiberler arasında sinyal karışması (cross talk) yada girişimi (interference) oluşmaz
- Düşük sinyal bozulması
- Düşük güç ihtiyacı
- Düşük materyal kullanımı, az yer kaplama, hafif, yanmaz, düşük maliyetli
- Yüksek elektrik direnci (yüksek voltajlı elektrik ekipmanların yanında bile kullanılabilir)

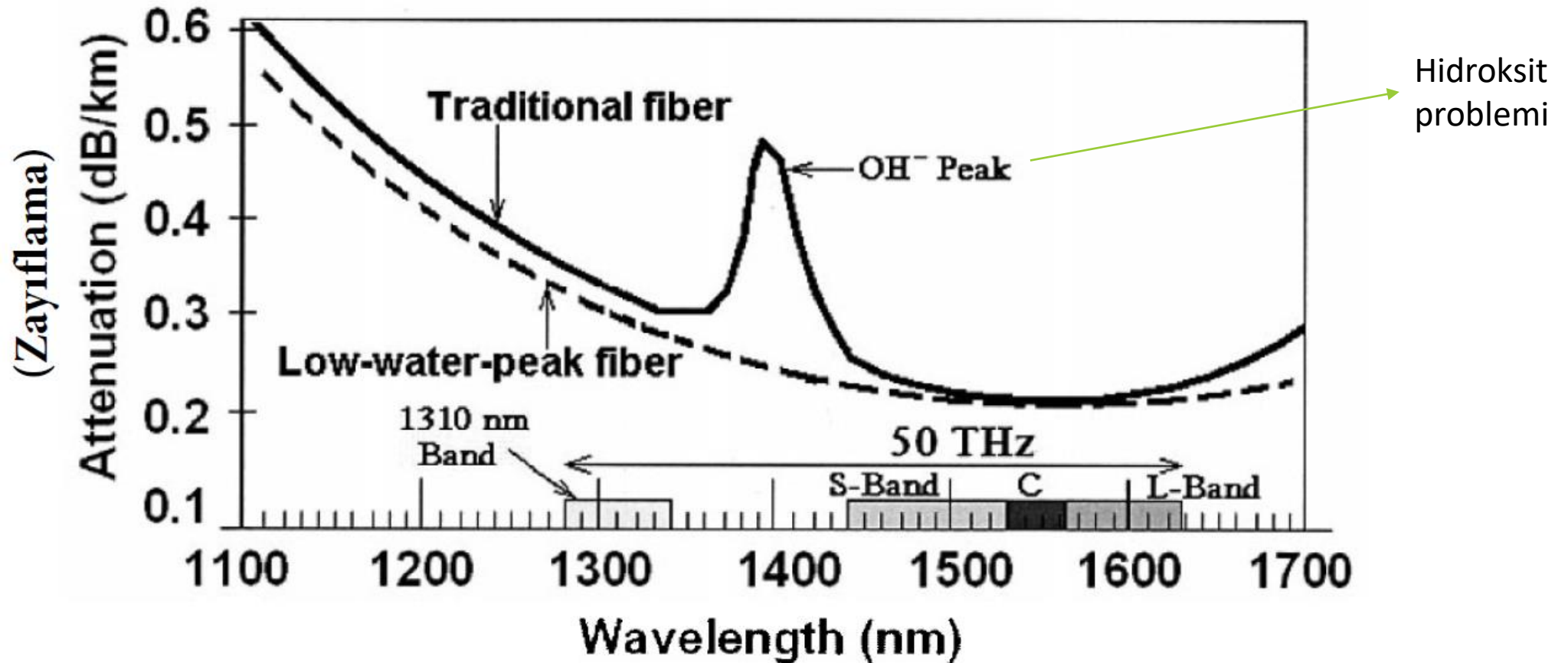
Dalgaboyu-Bölmeli Çoklama (Wavelength-Division Multiplexing-WDM)

- ❑ Dalga boyu = Işığın frekansı (Genelde nm ile ifade edilir.)
- ❑ $\lambda = \frac{v}{f}$ veya $\lambda = \frac{c}{f}$
- ❑ Görünür ışık 700 nm (10^{-9} m) (kırmızı) ile 400nm (mor)
- ❑ **WDM = Frekans-bölmeli çoklamanın (FDM) ışığa özel hali**
- ❑ Bir fiberde sinyallerin değişik dalga boyları ile çoklanması

Elektromanyetik Dalga Spektrumu



Dalgaboyu-Bölmeli Çoklama (Wavelength-Division Multiplexing-WDM)



ITU Dalga boyu Ölçeği (ITU Wave length Grid)

Optik ağların yaygınlaşması ile WDM sistemlerinin standartlaşması ihtiyacı doğmuştur.

Kullanabilecek dalga boylarını standartlaştırma Uluslararası Telekomünikasyon Birliđi'nin (International Telecommunication Union) liderliğinde gerçekleşti.

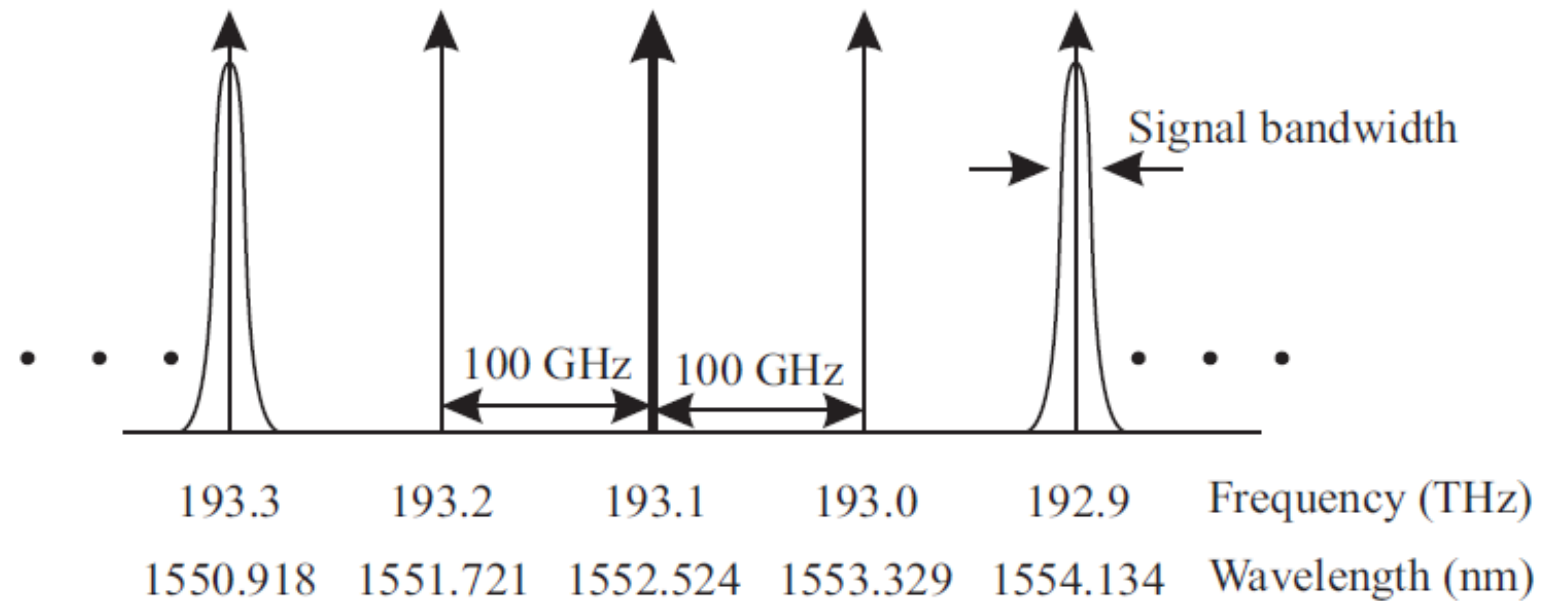
Fiberin 1550 nm düşük kayıplı bölgesine denk gelecek şekilde bir standart dalga boyu kümesi (ITU ölçeği) belirlenmiştir (Frekans ?).

ITU Dalga boyu Ölçeği

- Işık hızı = $c = 3 \times 10^8$ m/s,
- $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$, $1 \text{ }\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$, $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$,
- ($1 \text{ KHz} = 10^3 \text{ Hz}$), ($1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$), gigahertz ($1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$) veya terahertz ($1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$).
- Frekans $\sim = (3 \times 10^8) / 1550 \times 10^{-9} = 193 \text{ THz}$
- (193.548.387.096.774 yani 19354838709677419 Hz)

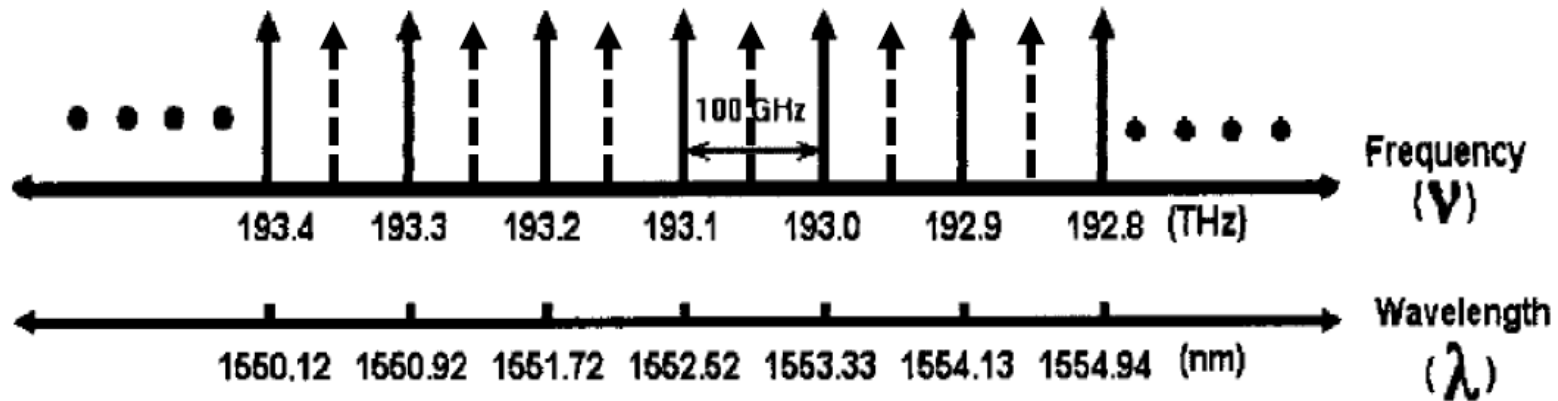
ITU Dalga boyu Ölçeği

□ 100-GHz grid



ITU Dalga boyu Ölçeği

□ 50-GHz grid Yaklaşık 300 dalga boyu



İletim Bantları ve kapasiteleri

Band	Inferior Limit		Superior Limit		Passband Bandwidth (THz)	Signal-to-Noise Ratio (dB)	Theoretical bandwidth (Tbps)
	Frequency (THz)	Lambda (nm)	Frequency (THz)	Lambda (nm)			
O-Band	220.436	1360	237.931	1260	17.495	60	348.70
E-Band	205.337	1460	220.436	1360	15.098	60	300.03
S-Band	195.943	1530	205.337	1460	9.395	60	187.25
C-Band	191.561	1565	195.943	1530	4.382	60	87.34
L-Band	184.488	1625	191.561	1565	7.073	60	140.98
U-Band	178.981	1675	184.488	1625	5.507	60	109.77
TOTAL							1174.97

Shannon teoremi

$$C = B * \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$n = \frac{299792458}{/}$$

C = Kanal Kapasitesi

B = bandgenişliği

S/N = SIGNAL/NOISE

WDM Grids ITU-T G.694.1

General Lambda Count for All Bands						
Band	Band Limits		Number of Lambdas			
	Inferior Limit (nm)	Superior Limit (nm)	100 GHz	50 GHz	25 GHz	12.5 GHz
O-Band	1260	1360	175	350	700	1400
E-Band	1360	1460	151	302	604	1208
S-Band	1460	1530	94	188	376	752
C-Band	1530	1565	44	88	176	352
L-Band	1565	1625	71	142	284	568
U-Band	1625	1675	55	109	217	433

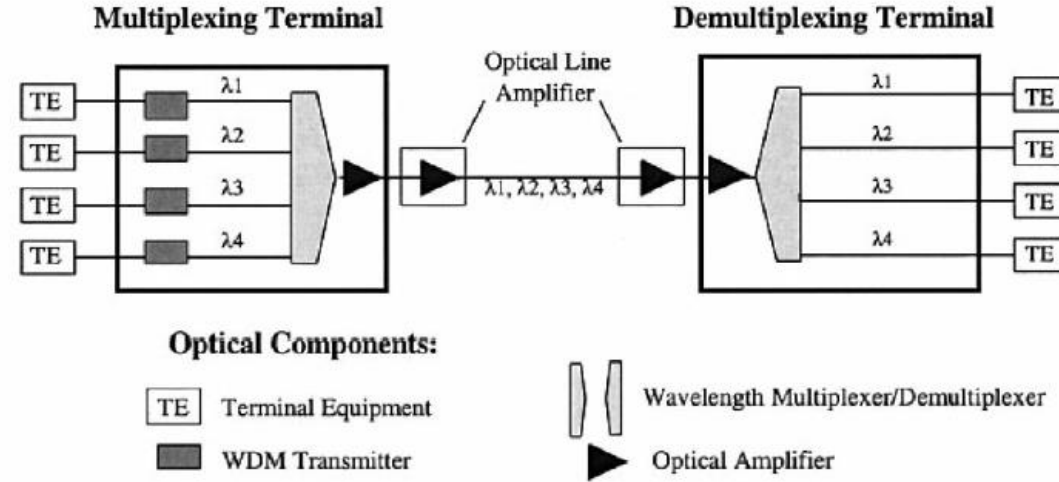
Frequency spacing	Allowed frequencies (THz)
12.5 GHz	$193.1 + n \times 0,0125$ (with n positive, negative or null)
25 GHz	$193.1 + n \times 0,025$ (with n positive, negative or null)
50 GHz	$193.1 + n \times 0,05$ (with n positive, negative or null)
100 GHz	$193.1 + n \times 0,1$ (with n positive, negative or null)

Esnek Optik Ağlar(Flexible Optical Networks)

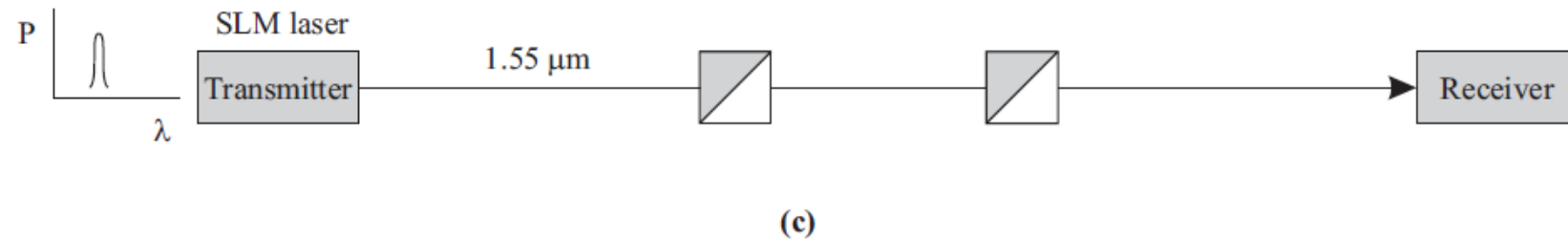
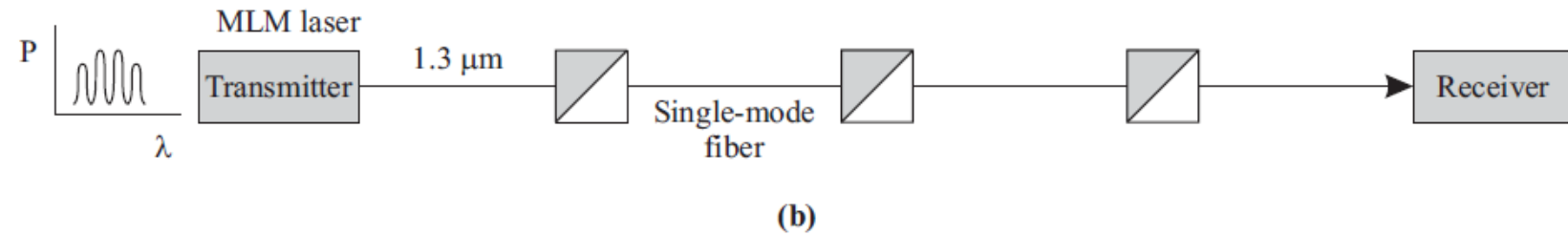
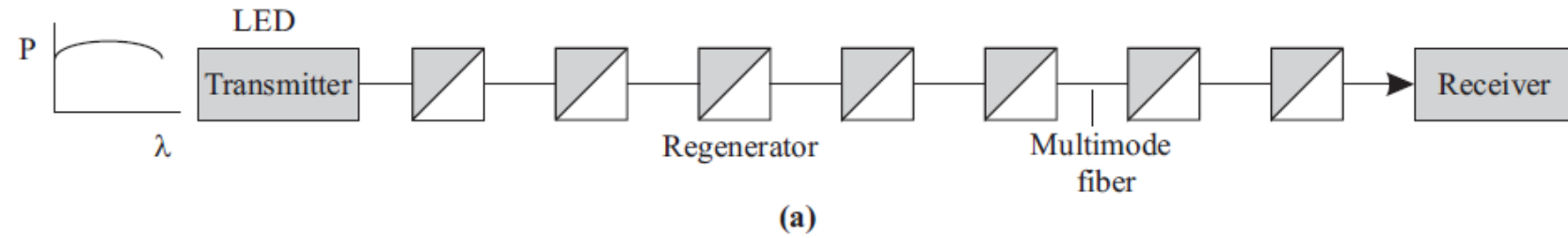
- 50-GHz grid üzerinde 100Gbps hızında dalga boyları tanımlanabiliyor. Ama daha yüksek hızlar (400Gbps, 1 Tbps, vs.) 50-GHz grid ile eşleşmiyor. Çünkü bu hızlar daha küçük aralıklı bir grid gerektiriyor.
- Optik ağlarda kullanabilecek bir teknoloji: OFDM (Orthogonal Frequency Divison Multiplexing)
- Daha küçük aralıklarda çalışma imkanı sunuyor.
- Farklı hızların aynı anda kullanım gereksinimi: Çok hat hızlı ağlar (Multi-Line Rate Networks)
- Mini-grid: 25 GHz, 12.5 GHz, 6.25 GHz'lik mini-gridler tanımlanabilir.
- Her hat hızı için mini-gridler birleştirilebilir.
- Örneğin 12.5 GHz mini-grid için 100Gbps hız 4 mini-grid kullanarak ve 400Gbps ise sadece 1 mini-grid kullanılarak gerçekleştirilebilir.

WDM Ağ Evrimi: Noktadan-noktaya (point-to-point)

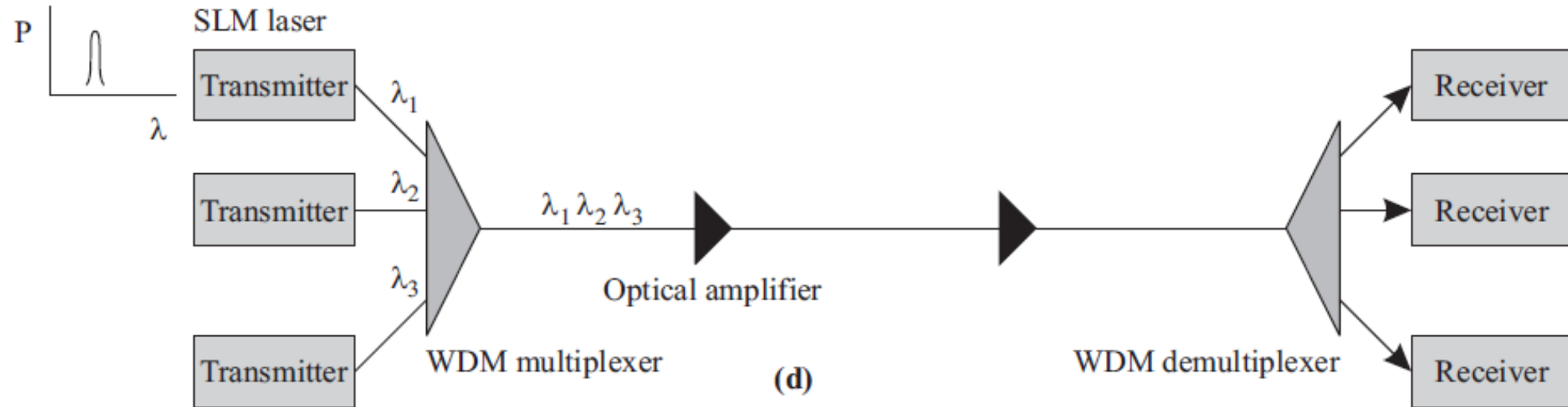
- ❑ WDM teknoloji dünya çapında telekom operatörleri tarafından noktadan noktaya haberleşme için kullanılmıştır.
- ❑ Örneğin talep kapasiteyi aştığı zaman kapasite artımı için WDM çözümleri sunulmuştur. Aşağıdaki örnek noktadan noktaya bir OC-48 (2,5 Gbps) iletim bağlantısının OC-192 (10 Gbps) yükseltilmesini göstermektedir.



Optik haberleşmenin gelişimi



Optik haberleşmenin gelişimi



WDM Ağ Evrimi: Noktadan-noktaya (point-to-point)

WDM ile aynı hat üzerinden birçok 4 dalgaboyuna sahip sinyal gönderilmiştir.

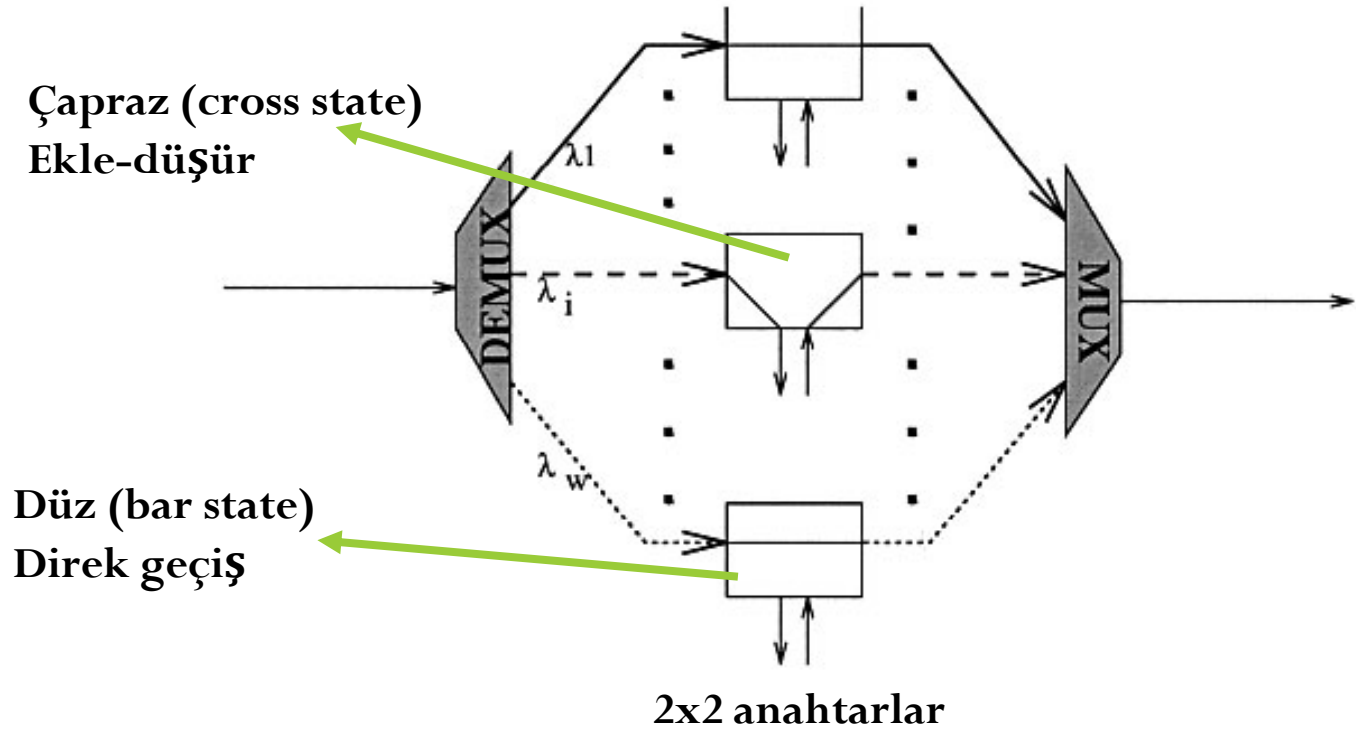
Noktadan-Noktaya haberleşme için kullanılmıştır.

WDM çözümünün dışındaki diğer iki çözüm ise çok maliyetli olacaktır;

- **Ekstra fiberlerin ve sonlandırıcı ekipmanların eklenmesi (çok fiberli çözüm)**
- **OC-192 taşıyabilecek yeni fiber ve ekipmanların konulması (tek fiber çözümü)**

WDM Ağ Evrimi: Dalgaboyu ekle-düşür çoklayıcı (wavelength add-drop multiplexer - WADM)

□ Optik ekle-düşür çoklayıcı (Optical add-drop multiplexer - OADM) olarak da adlandırılır.

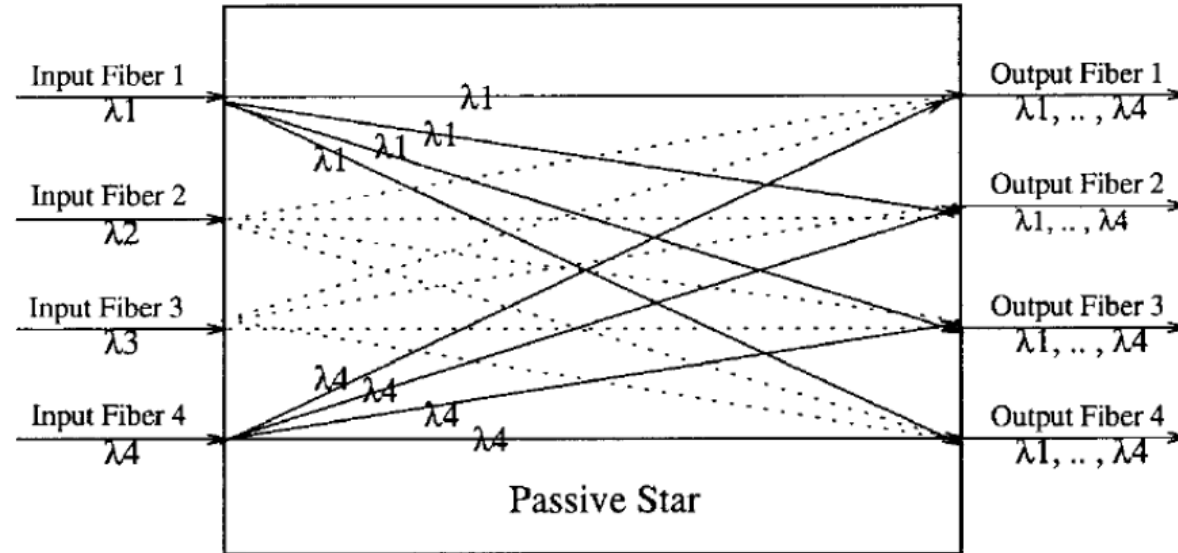


Örnek; A->B->C düğümleri var.

- *A-C --- λ_1 (Düz)
- *A-B --- λ_2 (Çapraz/Düşür)
- *B-C --- λ_2 (Çapraz/Ekle)

Fiber ve Dalgaboyu Anahtarlar (Cross-connects)

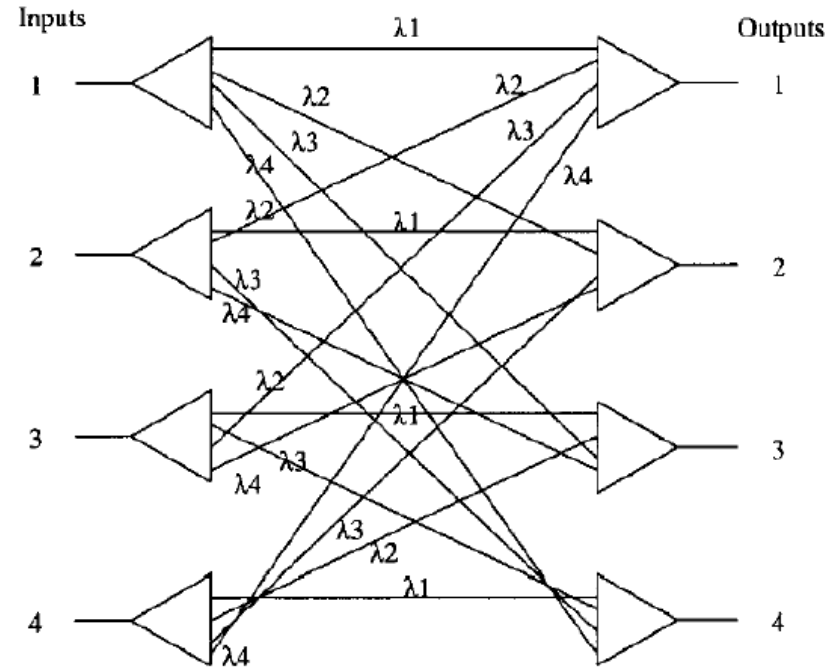
□ Pasif yıldız (passive-star): Broadcast (genel yayım)



4 X 4 pasif star (4 dalgaboyu)

Pasif yönlendirici

- Pasif yönlendirici (passive-router): dalgaboyu yeniden kullanımı (wavelength re-use), sabit yönlendirme,

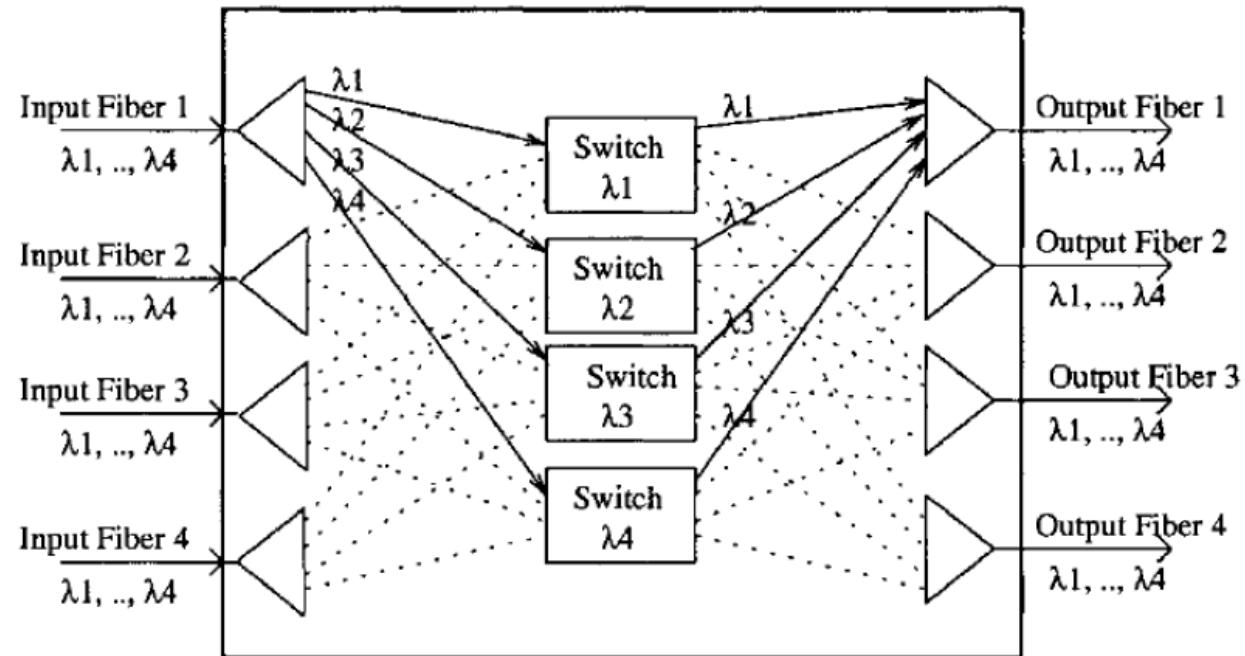


4 X 4 pasif router (4 dalgaboyu)

Not: 1. Giriş ile 2. Çıkış arasında bir talep varsa 2. ışık yolu kullanılmalı

Aktif anahtar

- Aktif anahtar (active switch): yeniden konfigüre edilebilir (reconfigurable), WRS, WSXC



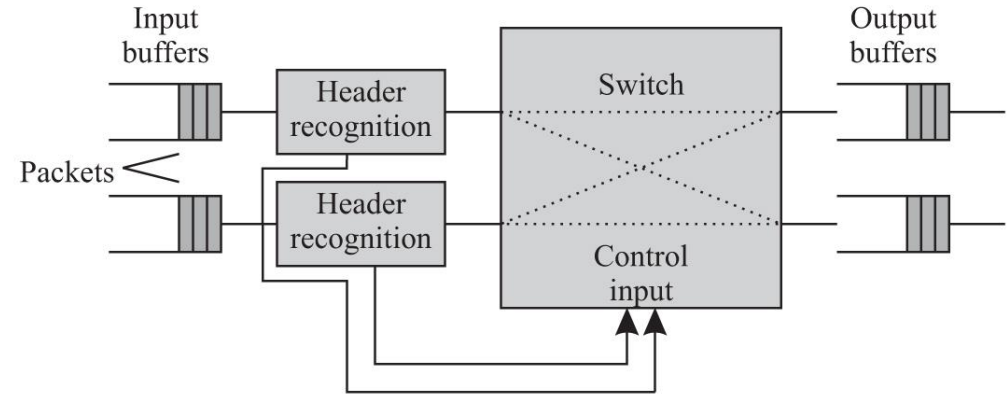
4 X 4 aktif anahtar/switch (4 dalgaboyu)

FOA gelişimi (2. Nesil)

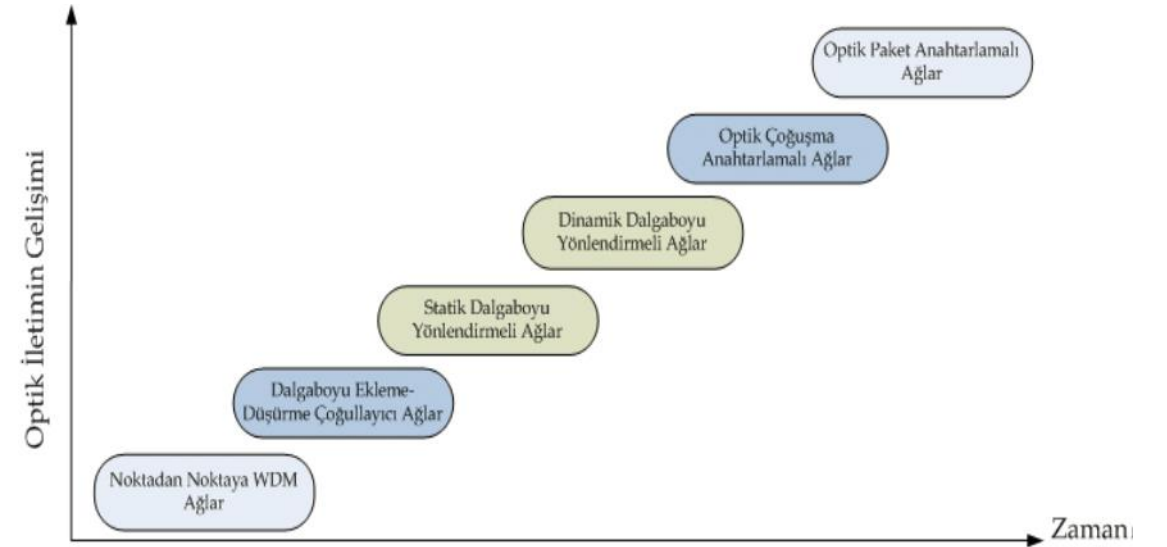
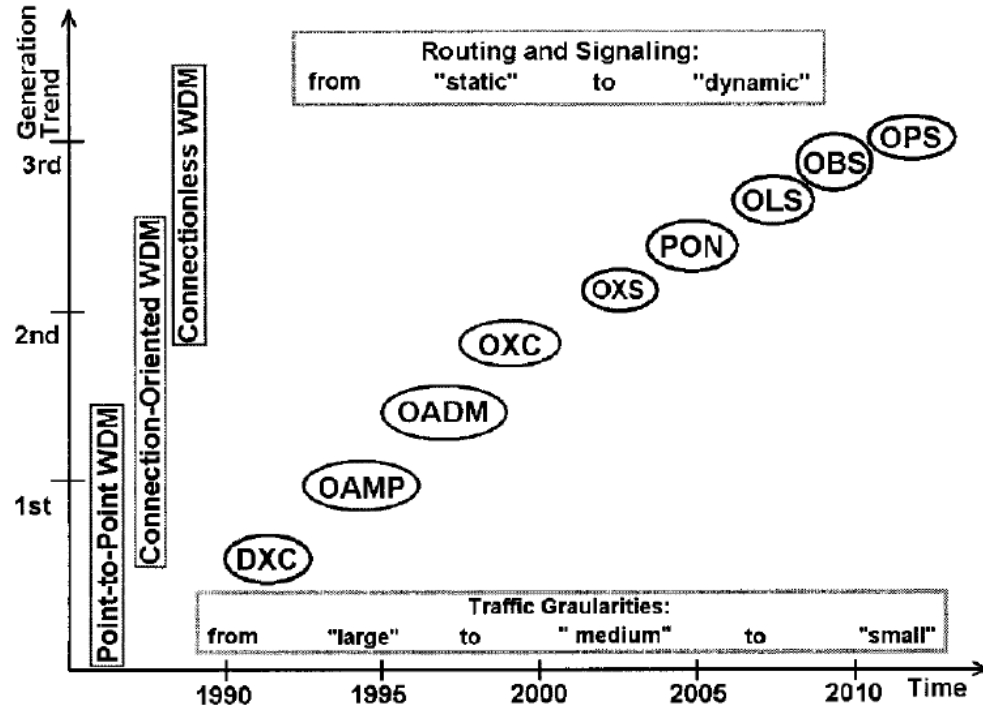
- ❑ Gelen optik sinyaller optik alanda değiştirilebilir (optik anahtarlama)
 - ❑ Artık noktadan noktaya ile sınırlı değil
- ❑ Temel teknolojiler dahil
 - ❑ Optik Eklenti Çoklayıcıları (OADM)
 - ❑ Optik çapraz bağlantılar (OXC)
 - ❑ Optik hat terminalleri (OLT)
 - ❑ Dalgaboyu Ekleme / Bırakma Çoklayıcı (WADM)
 - ❑ Dense WDM (DWDM)
- ❑ Örnekler
 - ❑ FTTH, FTTC, ROADM

FOA gelişimi (3. Nesil)

- ❑ Tüm optik paket anahtarlama
- ❑ Tüm paketler optik alanda işlenir
 - ❑ Hizmete şeffaf
 - ❑ İsteğe bağlı bit hızının işleme alınması
- ❑ Temel teknolojiler
 - ❑ Optik tamponlama!
 - ❑ Hızlı anahtarlama



WDM Ağların Gelişimi

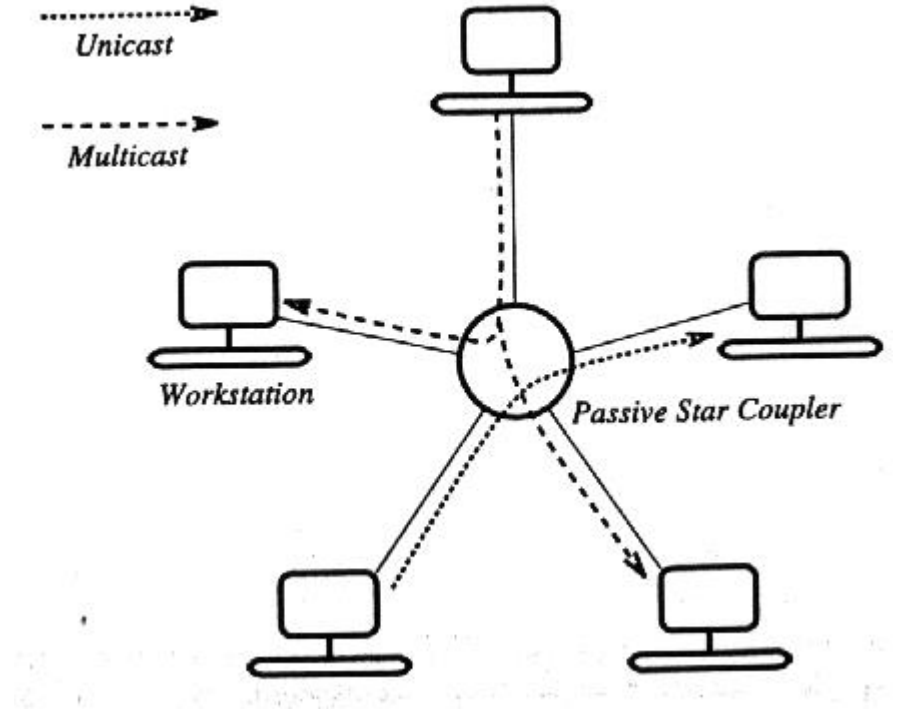


WDM Ağ Yapıları

- ❑ Yayınla-ve-Seç (Yerel) Optik WDM Ağlar
 - ❑ Broadcast-and-Select (Local) Optical WDM Networks
- ❑ Dalgaboyu-Yönlendirmeli (Geniş-Alan) Optik Ağlar
 - ❑ Wavelength-Routed (Wide-Area) Optical Networks

Yayınla-ve-Seç (Yerel) Optik WDM Ağlar

- Pasif yönlendirici bütün düğümlere sinyalleri gönderir. Alıcı düğümler gelen sinyalleri kendine göre filtreliyor ($\lambda_1, \lambda_2 \dots$).



Dalgaboyu-Yönlendirmeli (Geniş-Alan) Optik Ağlar

