

# Optik Metro Ağları

---

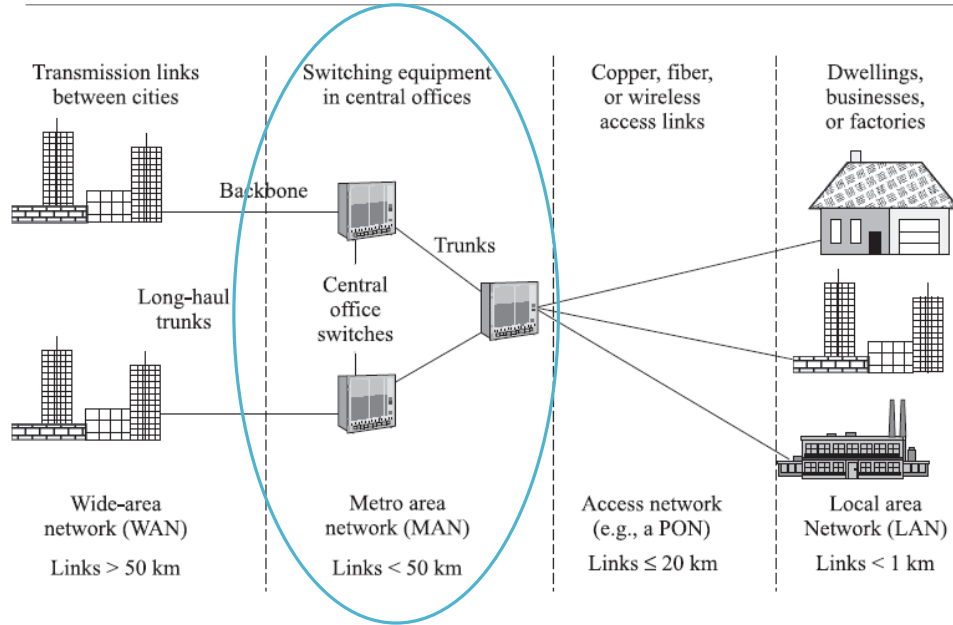
DR. ÖĞRETİM ÜYESİ ABDULLAH SEVİN

# Amaç

---

- ❑ Optik Metro Ağlarını tanımak
- ❑ Trafik grunlama kavramını tanımak

# Metro Ağı



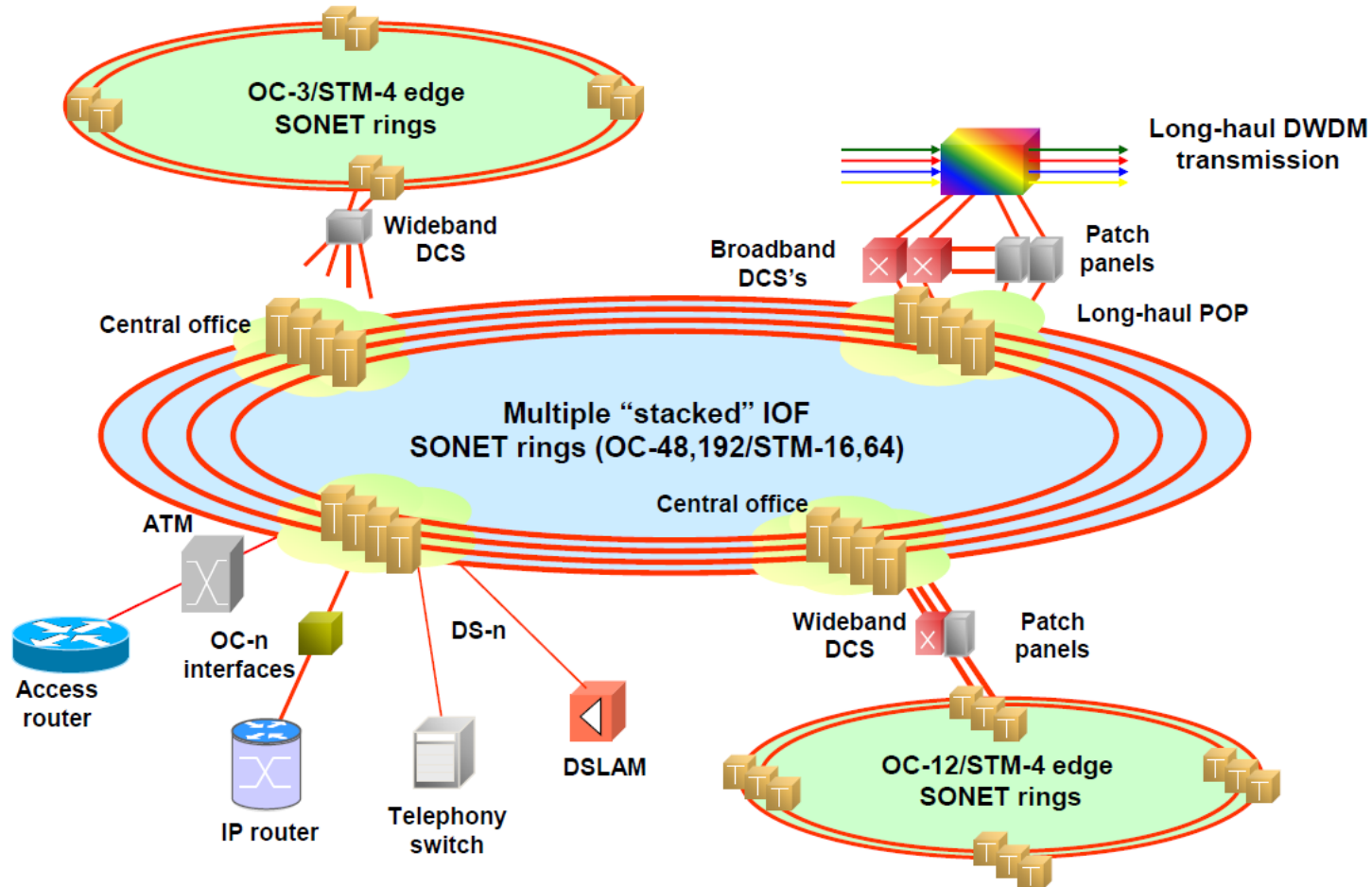
□ Metro Ağı (<50 km)

□ İlçeleri, şehirleri birbirine bağlayan ağ yapısı

**SONET: Synchronous Optical Network (Amerika)**

**SDH: Synchronous Digital Hierarchy (Avrupa)**

# Hiyerarşik Metro Ağ Yapısı



# 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.

# Metro Ağı

---

- ❑ SONET veri iletiminde Optical Carrier (OC-Optik Taşıma Seviyeleri) ile Synchronous Transport Signals (STS\_Eşzamanlı İletim Sinyalleri) adında parametreler tanımlamıştır.
- ❑ 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.

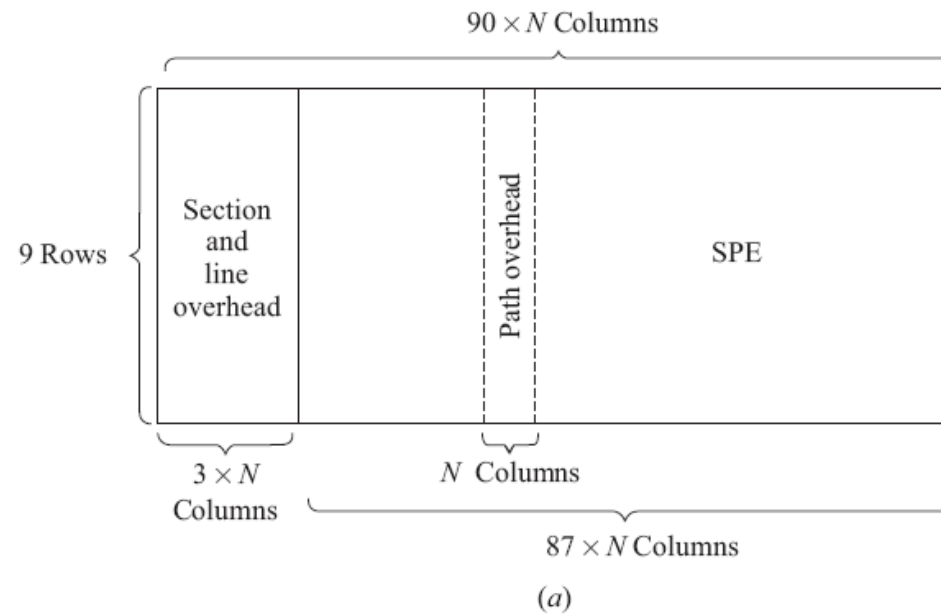
# OC-n (Optical Carrier)

- OC- (Optical Carrier), fiber optik ağlarında taşınabilen dijital sinyaller için iletim bantgenişliği spesifikasyonlarının standartı
- STM-STS frameleri OC-n bağlantıları üzerinde taşınır.

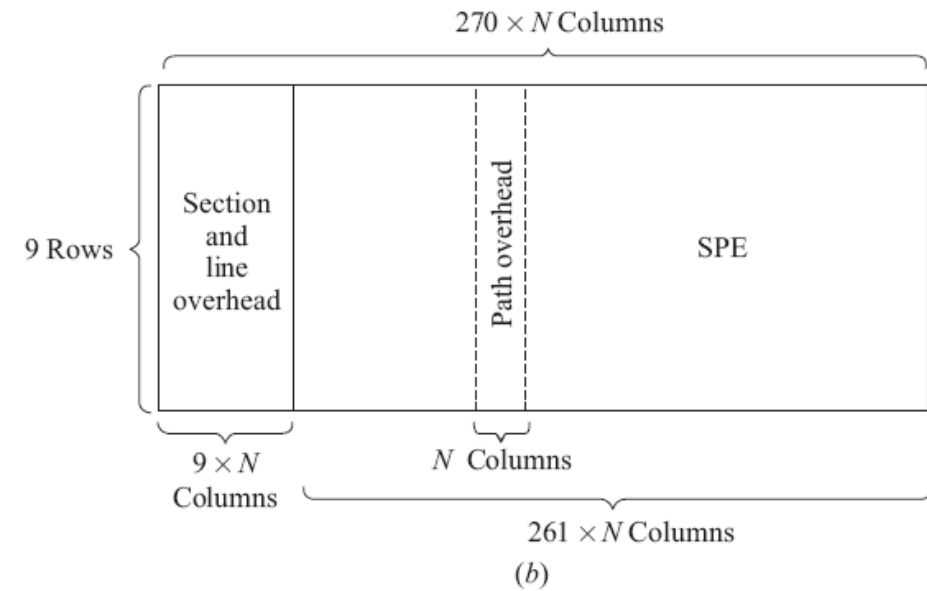
<i>SONET level</i>	<i>Electrical level</i>	<i>SDH level</i>	<i>Line rate (Mb/s)</i>	<i>Common rate name</i>
OC-N	STS-N	—	$N \times 51.84$	—
OC-1	STS-1	—	51.84	—
OC-3	STS-3	STM-1	155.52	155 Mb/s
OC-12	STS-12	STM-4	622.08	622 Mb/s
OC-48	STS-48	STM-16	2488.32	2.5 Gb/s
OC-192	STS-192	STM-64	9953.28	10 Gb/s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

# SONET/SDH

(a) STS-N SONET frame



(b) STM-N SDH frame



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

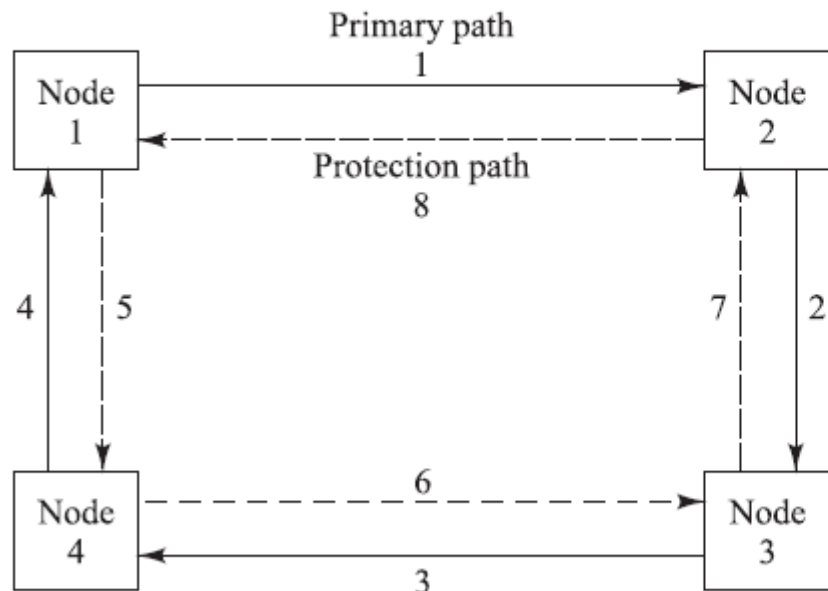


# SONET ve SDH

---

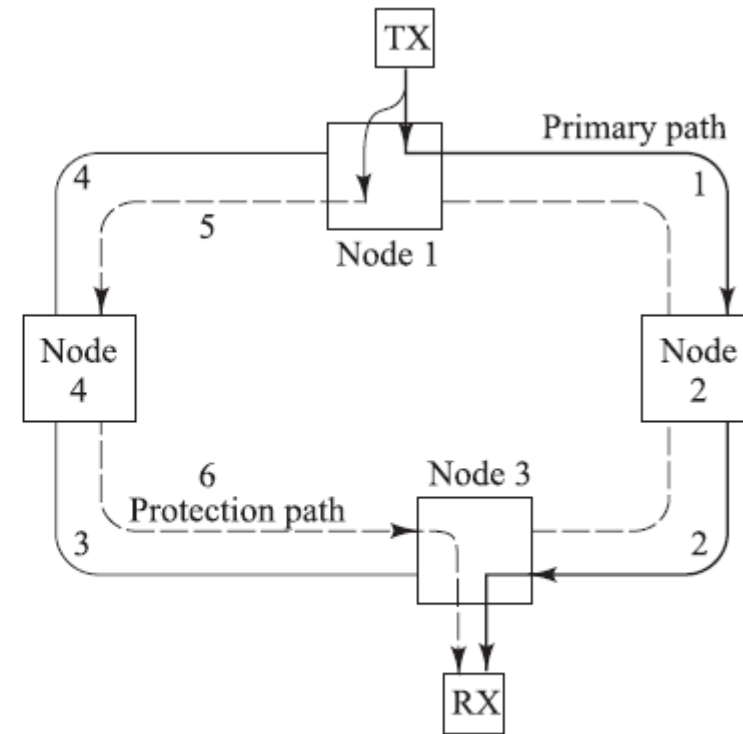
- ❑ SONET ve SDH, bir halka veya örgü mimarisi olarak yapılandırılabilir
- ❑ SONET / SDH halkaları kendiliğinden iyileşen halkalardır, çünkü belirli bir yol boyunca akan trafik, bağlantı parçasının kesilmesinin veya bozulmasının ardından otomatik olarak alternatif veya bekleme yoluna geçirilebilir
- ❑ İki popüler SONET ve SDH ağı:
  - ❑ 2 fiber, tek yönlü, yol anahtarlama halka
  - ❑ 2 fiber veya 4 fiber, çift yönlü, hat anahtarlama halka (2 fiber veya 4 fiber BLSR)

# SONET ve SDH



(a)

2-fiber, unidirectional, path-switched ring (2-fiber UPSR)

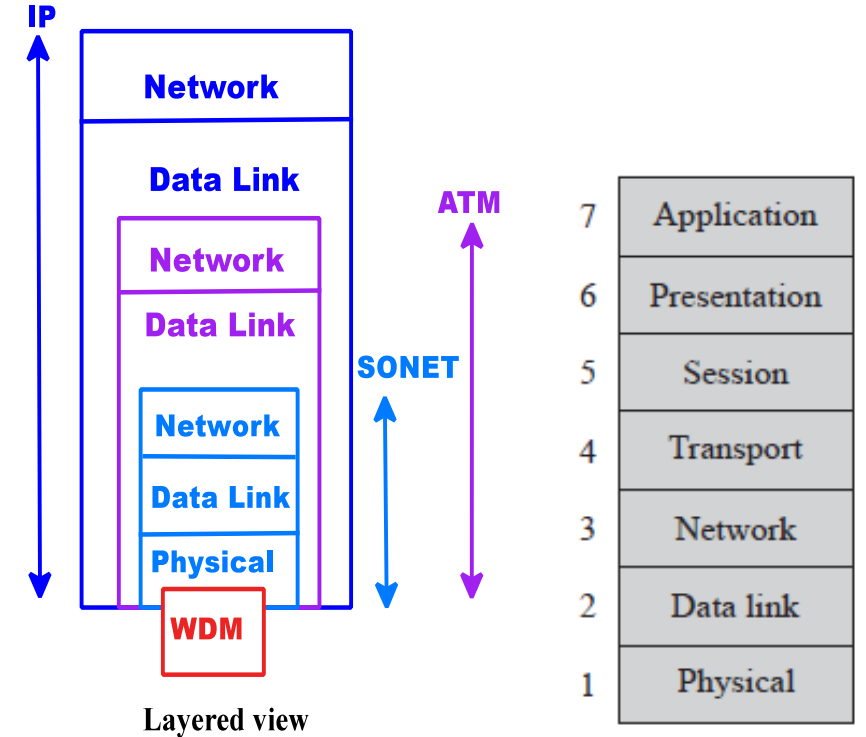
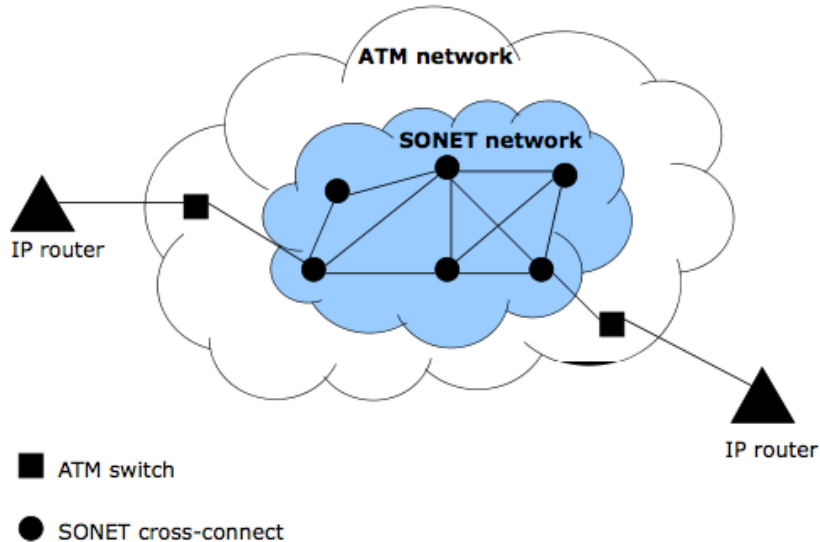


(b)

2-fiber or 4-fiber, bidirectional, line-switched ring

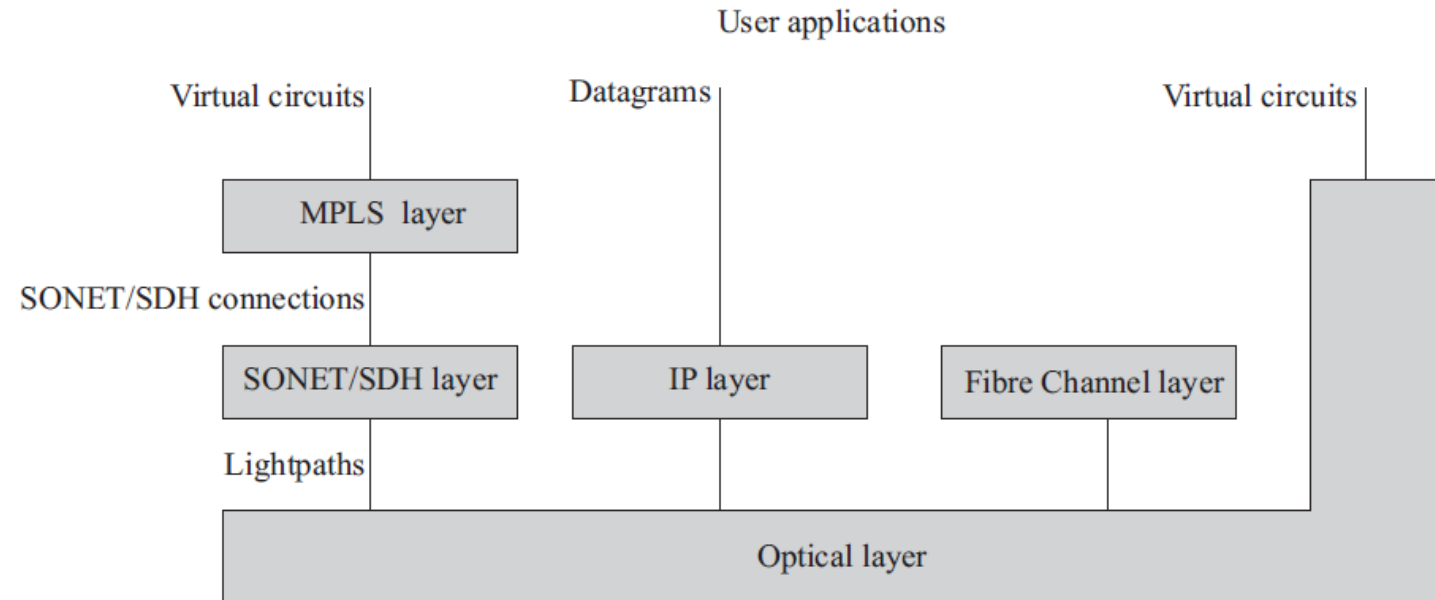
# FOA katmanı / Optik katman

- ❑ 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.



# IP İletimi

- ❑ Bir LAN'da IP genellikle Ethernet üzerinden çalışır. Bir WAN'da, tipik olarak SONET üzerinden ve artan bir şekilde doğrudan SONET üzerinden geçen ATM tarafından taşınır. Gelecekte, IP'nin doğrudan DWDM lifi üzerinden çalışması bekleniyor (en sağdaki diyagram).

## LAN

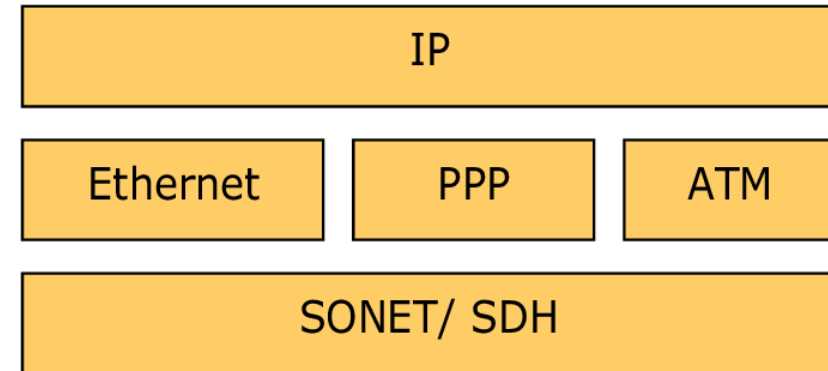
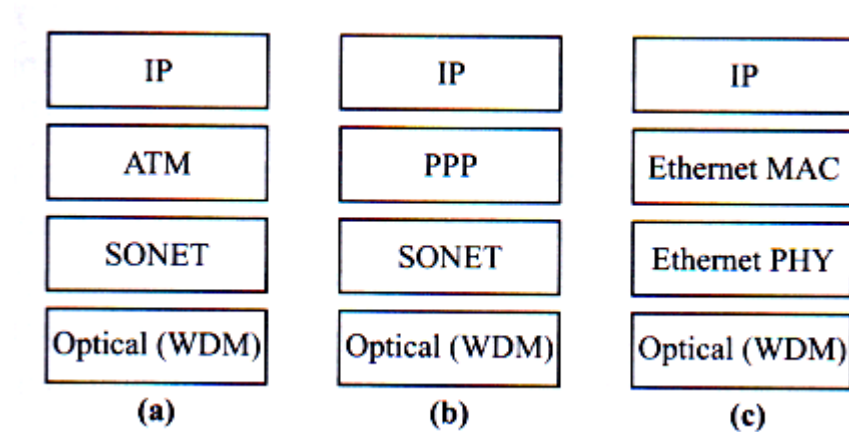
Data, voice, video
IP (layer 3)
Ethernet (layer 2)
Copper

## WAN

Data, voice, video	Data, voice, video	Data, voice, video
IP (layer 3)	IP (layer 3)	IP (layer 3)
ATM (layer 2)	SONET (layer 1)	Fiber
SONET (layer 1)	Fiber	
Fiber		

# Paket anahtarlamaalı optik mimari

---



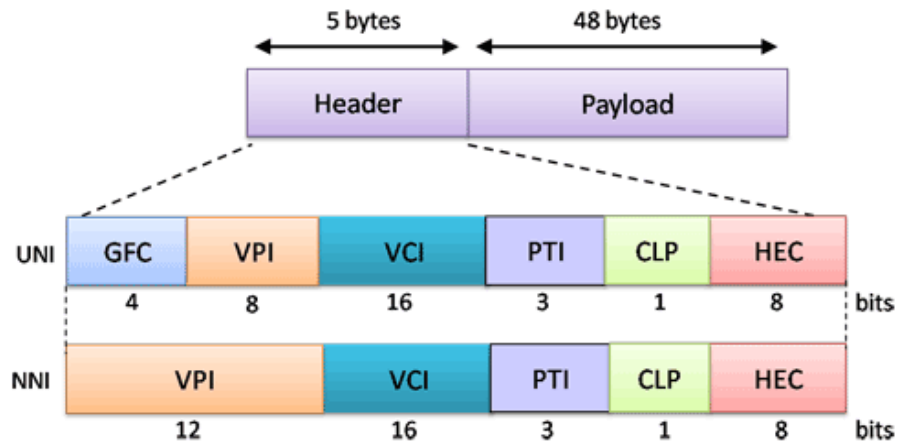
# ATM (Asynchronous Transfer Mode)

---

- ❑ Eşzamansız Aktarım Modu (ATM), ses, resim, video gibi değişik türden verilerin sabit büyüklükte veri paketlerine bölünerek iletimini sağlayan bir ağ teknolojisidir.
- ❑ Veri iletimi sırasında paket anahtarlamanın bir türü olan hücre aktarımı tekniğini kullanır.
- ❑ Eşzamansız Aktarım Modu sabit büyüklükte küçük boyutlu paketler halinde aktarım yaptığından ağ donanımlarına daha etkili anatharlama yapma imkanı sağlar ve çok yüksek veri iletim hızlarına çıkabilir
- ❑ Ayrıca eşzamansız aktarım, bant genişliğinin daha etkili kullanılmasını sağlayarak çeşitli önceliklere sahip verilere boşluk verme imkanı sağlar.

# ATM-Çalışma Şekli

- ❑ Eşzamansız Aktarım Modu bağlantıya yönelik bir aktarım teknolojisidir. Bundan dolayı aktarımın sağlanacağı noktalar arasında bağlantı kurulmalıdır.
- ❑ Bunu sağlamak için öncelikle bir bağlantı kurulum paketi gönderilir. Kurulum paketi geçtiği ATM anahtarlarına bağlantının varlığı ve ihtiyaç duyduğu kaynaklar hakkında bilginin kaydolmasını sağlar. Bu bağlantıya **sanal devre** denir.
- ❑ Bu aşamadan sonra iki taraflı veri aktarımı başlayabilir. Arasında bağlantı kurulan noktalar arasındaki veri aktarımı sabit büyüklükteki paketlerle yapılır.





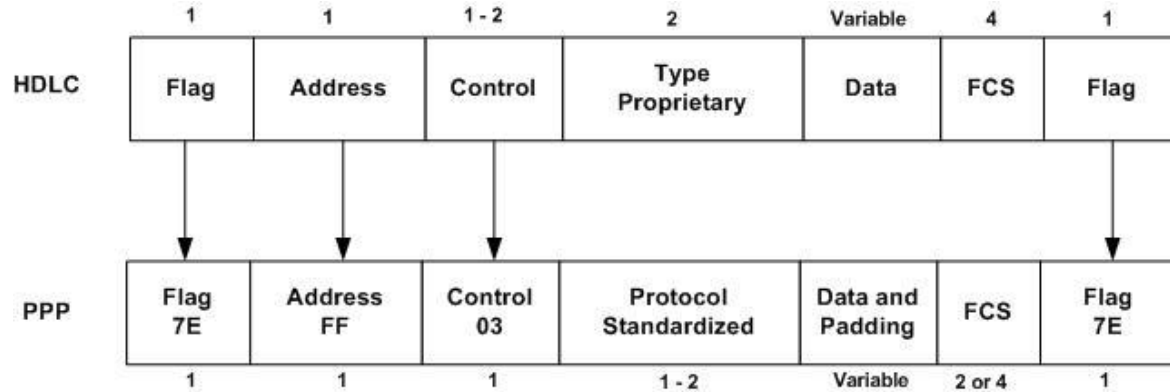
# PPP

---

- ❑ PPP (Point to Point Protokolü) bir Veri Bağlama Katmanı (Data Link Layer) protokolüdür ve veri alışverişi yapmak isteyen iki noktanın, telefon hattı gibi seri bir hat üzerinden bağlantısını sağlayarak çift yönlü iletim (full-duplex) yapılabilmesine olanak sağlar.
- ❑ Günümüzde vazgeçilmez hale gelmiş olan hata düzeltme, veri sıkıştırma, kimlik denetleme ve adresleme özellikleri PPP protokolünün kullanışlı özellikleri arasındadır. PPP'nin geliştirilmesiyle, iki bilgisayarın haberleşebilmesi için ISP (İnternet Servis Sağlayıcısı) tarafından atanan IP'yi sisteme tanıtmak için bir ilave işleme gerek kalmamıştır. Sistem bu tanıtımı otomatik olarak yapmaktadır.

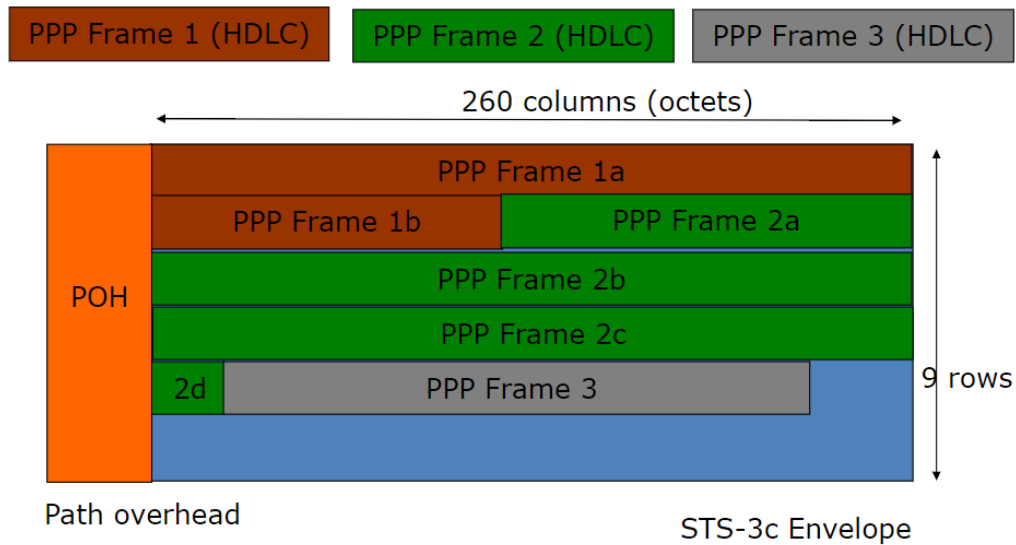
# PPP-Çalışma Şekli

PPP'nin temel amacı seri bir iletim ortamı üzerinden paketlerin aktarılmasıdır. Böylece PPP sayesinde, iki iletişime uygun cihazın özel olarak yapılandırılmış veri paketleri (datagram) sayesinde bilgi değişimi yapması sağlanmış olur.

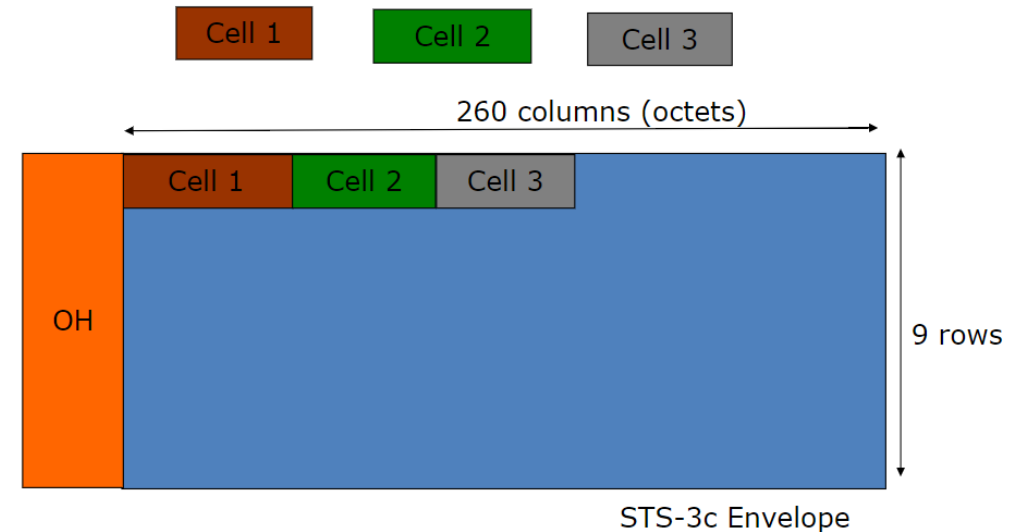


# PPP(Point-to-Point) ve ATM

## PPP over SONET (STS-3c)



## ATM over SONET (STS-3c)



# Trafik Grunlama

---

- ❑Günümüz optik ağlarında iletim kapasitesi WDM (wavelength division multiplexing) yardımıyla önemli ölçüde artmıştır.
- ❑Ağ performansı artık ağırlıklı olarak elektronik olan ağ elemanları ve işlem kapasitesi ile sınırlıdır.
- ❑Etkili grunlama yardımıyla düşük hızlı trafik akışlarını, yüksek kapasiteli optik kanallar üzerinden iletip, elektronik işlemleri minimize ederek ağın perfomansını artırmak mümkündür.
- ❑Amaç; elektronik ekipmanlardaki yükü azaltmak ve işlem hızını artırmaktır.
- ❑Grunlamayı anlamak için öncelikle ADM'i (Add/Drop Multiplexer – Ekle/Çıkar Çoğullayıcısı) anlamak gerekmektedir.

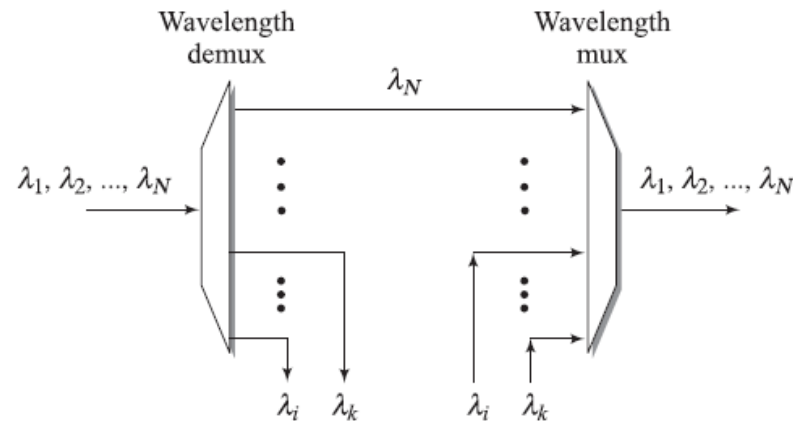
# Trafik Grunlama

---

- ❑ Örneğin, bir düğümden geçen trafiğin büyük bir kısmı bu düğümden kaynaklanmıyor veya düğüm için yönlendirilmiyor.
- ❑ Ara düğümlerde elektronik olarak işlenmesi gereken trafik miktarını azaltmak için, WDM sistemleri, gösterildiği gibi, her dalga boyunun düğümden bırakılmasına ve elektronik olarak işlenmesine veya düğüm elektroniklerinin optik olarak bypass edilmesine izin veren Add / Drop çoklayıcılar (ADM) kullanmaktadır.
- ❑ Bu trafiğin yönetimine de “Trafik Grunlama” olarak adlandırılmaktadır.

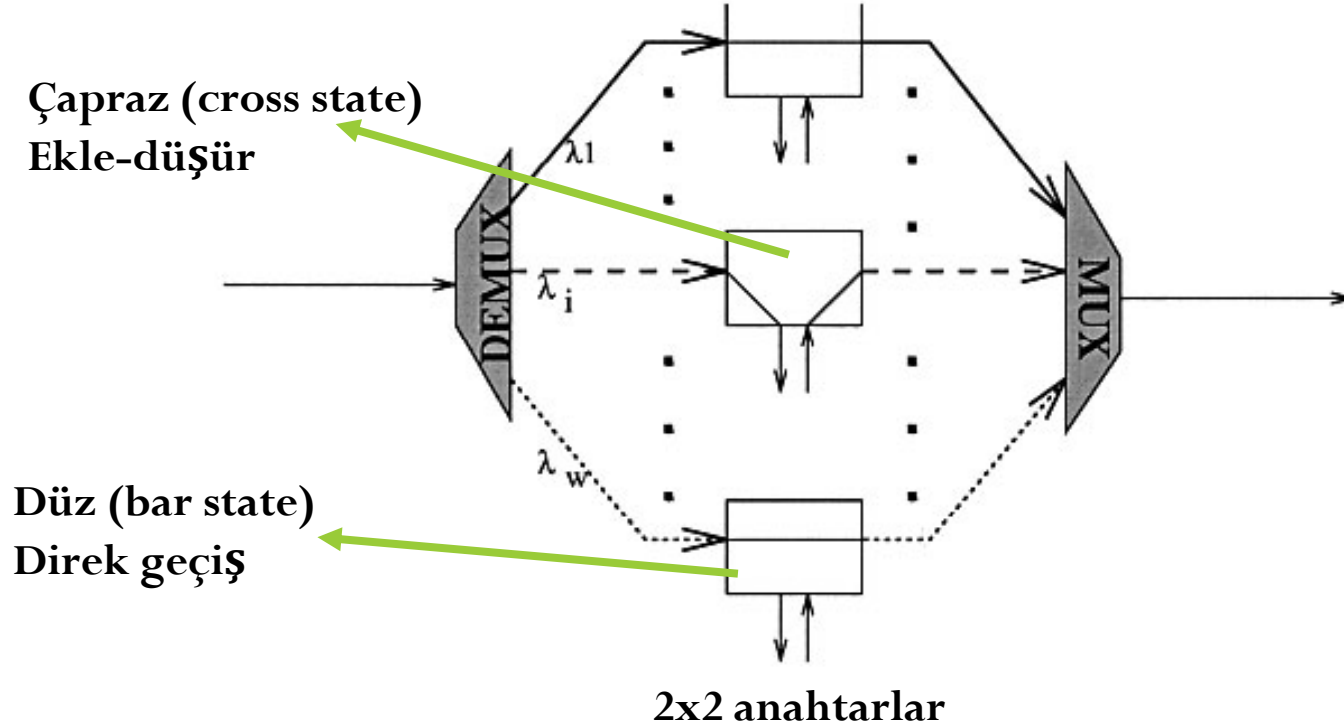
# Optical Add/Drop Multiplexing

- ❑ Optik bir ekle / düşür çoklayıcı (OADM), bir ağ düğümündeki bir fiberden bir veya daha fazla dalga boyunun eklenmesine veya çıkarılmasına izin verir.
- ❑ OADM'lerin çoğu, bir dizi ince film filtresi, bir AWG, bir dizi sıvı kristal filtreler veya bir dizi fiber bragg ızgarası gibi WDM öğeleri kullanılarak oluşturulur.
- ❑ OADM mimarisi, düşürülecek / eklenecek dalga boyu sayısı, esnekliği arttırmak için OADM modülerliği ve hangi dalga boyları gruplarının işlenmesi gerektiği gibi faktörlere bağlıdır.



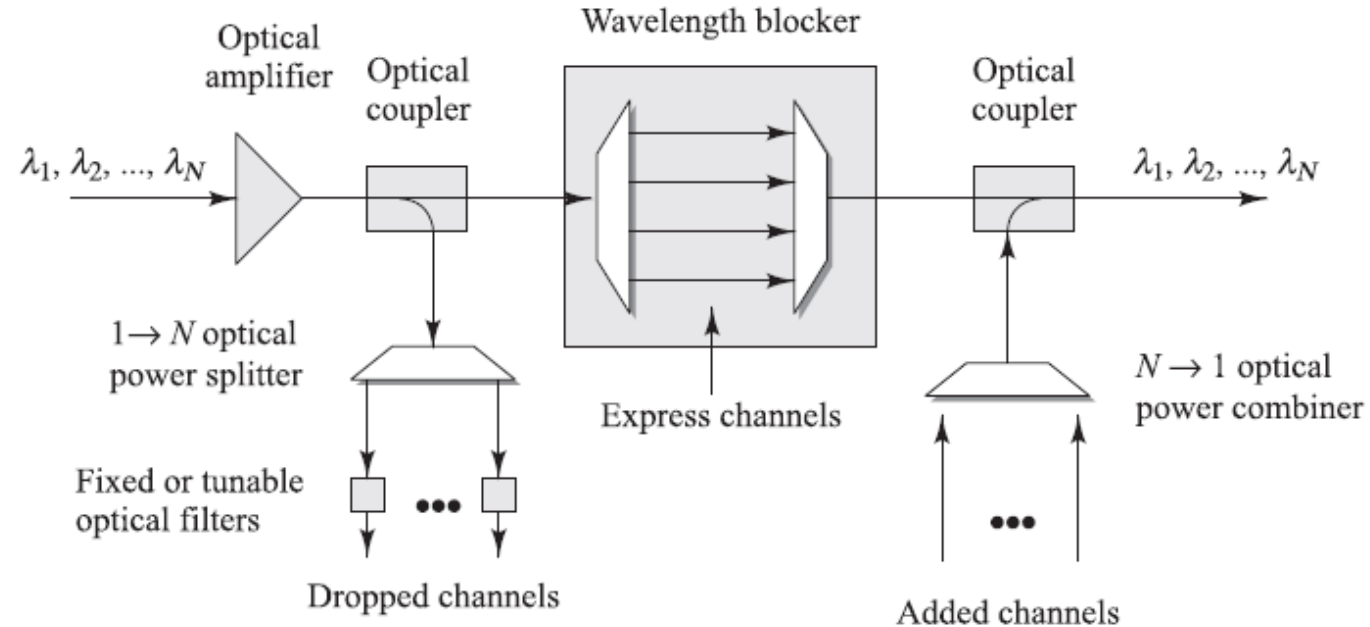
# WDM Ağ Evrimi: Dalgaboyu ekle-düşür çoklayıcı (wavelength add-drop multiplexer - WADM)

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



# Reconfigurable OADM (ROADM)

- ❑ ROADMs, uzaktaki bir ağ yönetim konsolundan birkaç dakika içinde bir şebeke operatörü tarafından yeniden yapılandırılabilir.
- ❑ ROADM mimarileri, dalga boyu engelleyicileri, küçük anahtar dizileri ve dalga boyu seçici anahtarlar içerir.





# Trafik Grunlama

---

❑ Trafik grunlama nedir? (Çeki-düzen verme)

Işık yollarının (optik devrelerin) etkili bir şekilde kurulması ve düşük hızlı talepleri yüksek-kapasiteli ışık yolları içine grunlama (paketleme/ayırma, anahtarlama, yönlendirme, vs.).

❑ Düşük hızlı trafik akışlarını yüksek kapasiteli dalgaboyları ile birleştirmek

❑ Bantgenişliği kullanımını iyileştirmek

❑ Ağ işlem hacmini (Throughput) optimize etmek

❑ Ağın maliyetini en aza indirmek;

(Verici, Alıcı, Fiber bağlantı, OXC, ADM, Yükseltici, Dalgaboyu dönüştürücü b. azaltmak)

# Trafik Grunlama

---

- ❑ Bir dalgaboyundaki veri hızı OC-192 (Tek bir dalgaboyunun kapasitesi)
- ❑ Heterojen servis talepleri:
  - ❑ Farklı bantgenişliği ölçüleri: OC-1, OC-3, OC-12, OC-48, etc.
  - ❑ OXC, DXC tarafından multiplexing, demultiplexing, ve switching işlemleri TDM, WDM vb. teknikler ile gerçekleştirilir.

# Grooming Politikaları

---

- MinTH (Minimize the Traffic Hop- En az Trafik Bağlantısı)
- MinLP (Minimize the Number of Light Paths - Işık Yolu sayısını Azalt))
- MinWL (Minimize the Wavelength Links- Dalgakılavuzu Bağlantılarını En Aza İndir)
- LCF (Least Cost First-En az Maliyet )
- MUF (Maximum Utilization First- Önce Maksimum Kullanım)
- MAF (Maximum Amount First- Önce Maksimum Miktar)

# Trafik Grunlama

---

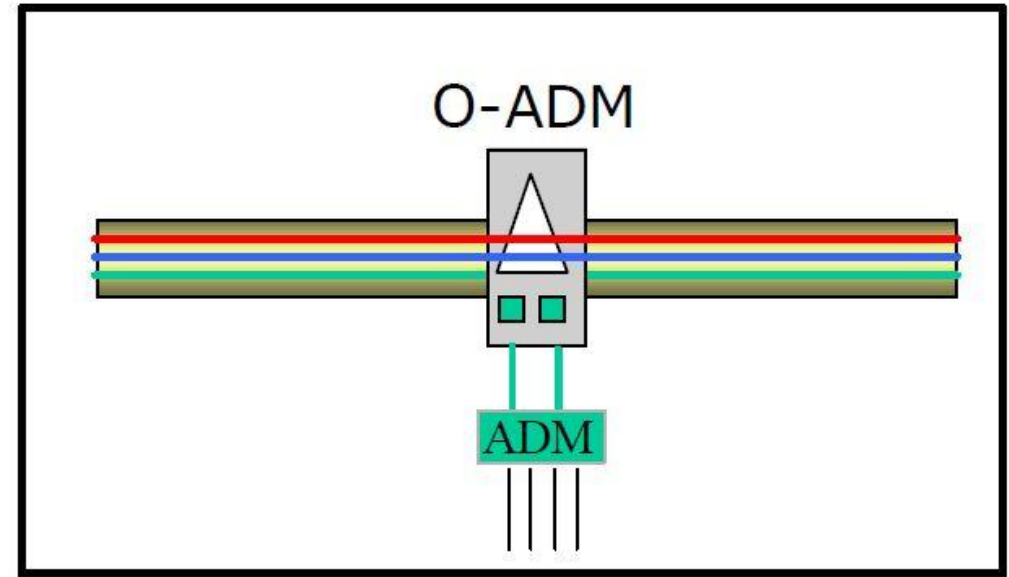
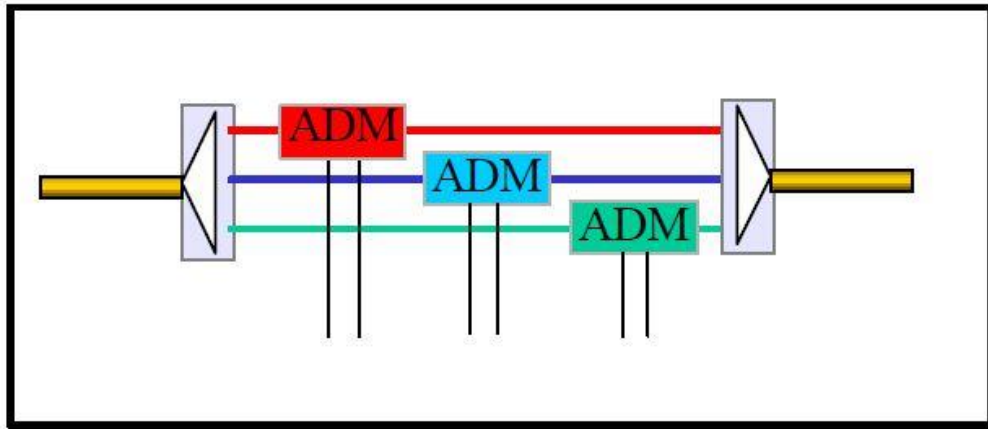
## ❑ Statik trafik grunlama

- ❑ Sabit trafik talepleri ve ağ kaynakları verildiğinde ağ işlem hacmini (throughput) maksimize etme (Optimizasyon problemi. Birçok matematiksel modeller var)
- ❑ Statik trafik grunlama problemi için Tamsayı Doğrusal Programlama (ILP) formülasyonu ve Sezgisel Yaklaşım gibi yöntemler kullanılmaktadır.

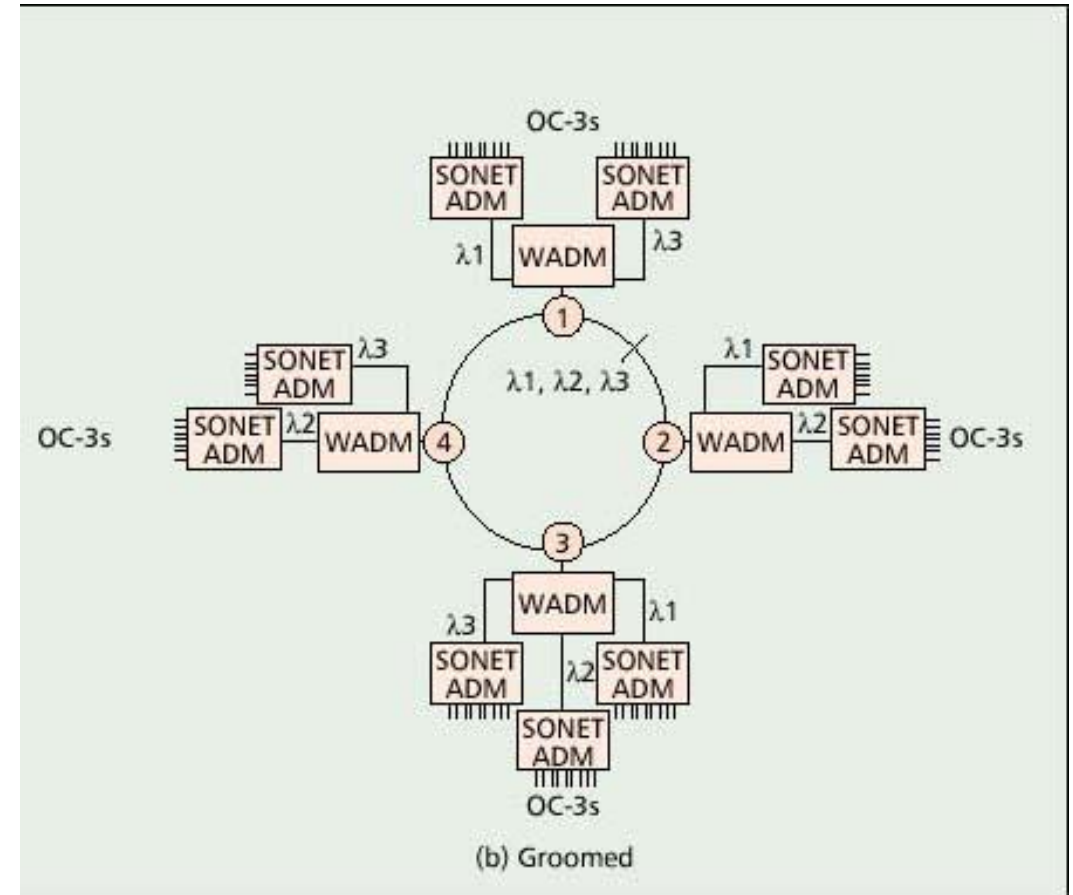
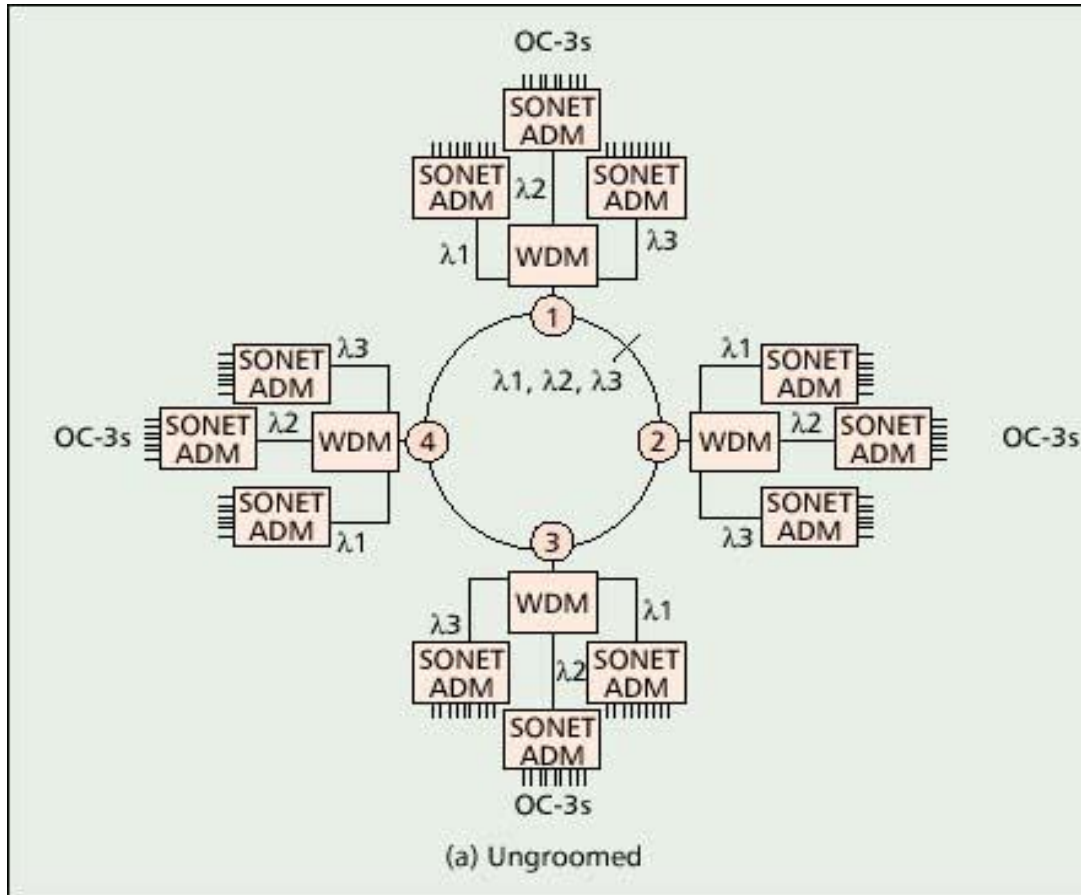
## ❑ Dinamik trafik grunlama

- ❑ Talepler gelip gittikçe verimli bir şekilde grunlama
- ❑ Çoğu durumda, trafik zaman içinde değişir. Bu tür değişiklikler, uzun bir süre trafik taleplerinde meydana gelen yavaş değişikliklerden kaynaklanıyor olabilir.
- ❑ Daha yakın zamanlarda bu tür değişiklikler, İnternet trafiğinin hızlı dinamiklerine atfedilebilir.

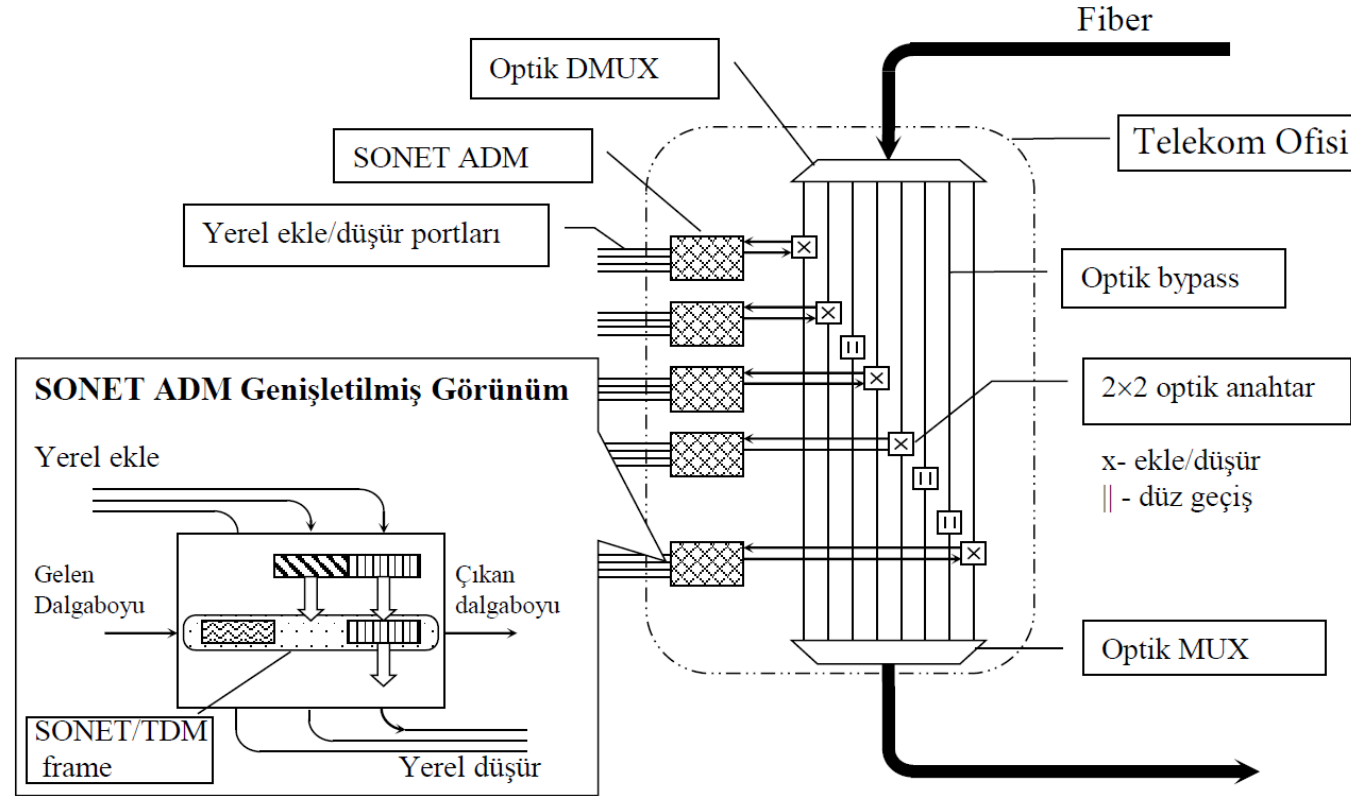
# SONET Ring üzerinde Grooming Örneği



# Gelişmiş Grooming Örneği



# Genel WDM/SONET Halka Ağı (Basitleştirilmiş Düğüm Mimarisi)



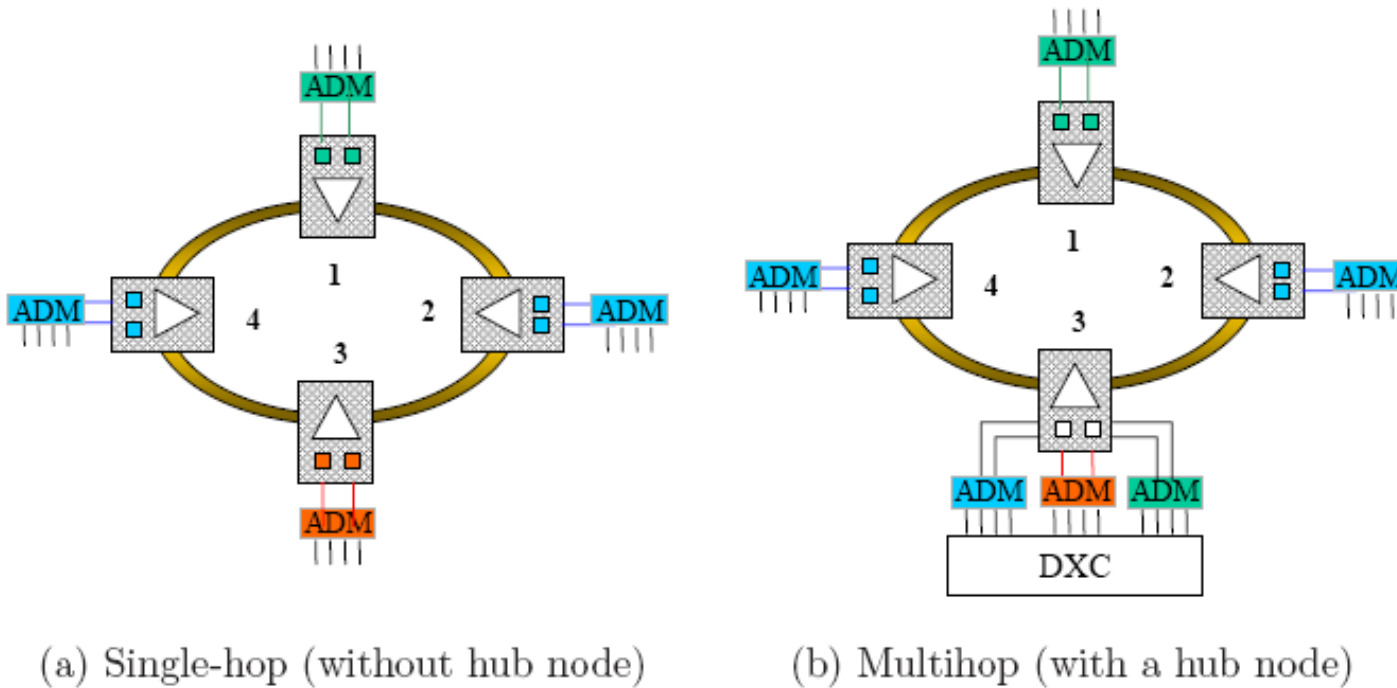
# Karakteristikler

---

- ❑ Tek-bağlantılı yada çok-bağlantılı ağlar
  - ❑ Tek-bağlantı: Bütün bağlantılar direk bağlantıdır. Dalgaboyu devamlılığı vardır.
  - ❑ Çok-bağlantı: Trafik dalgaboyları arasında anahtarlanabilir.
- ❑ Tek-yönlü yada iki-yönlü talepler (Halkadaki ilerleme)
- ❑ Uniform trafik (Her iki düğüm arasında trafik talebi var) yada uniform olmayan trafik



# Tek-bağlantı vs. Çok-bağlantı



**DXC:** Digital Cross-Connects  
Hem dalgaboyu hem alt-  
dalgaboyu seviyesinde  
anahtarlama yapabilir.

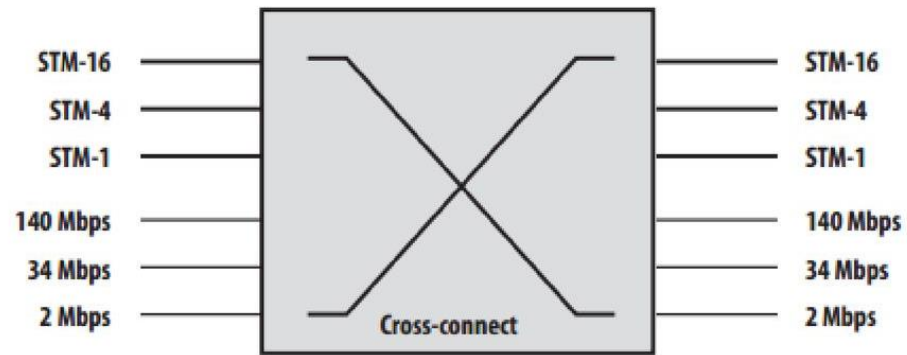
Figure 6.4 SONET/WDM ring with/without a hub node.

# DXC

---

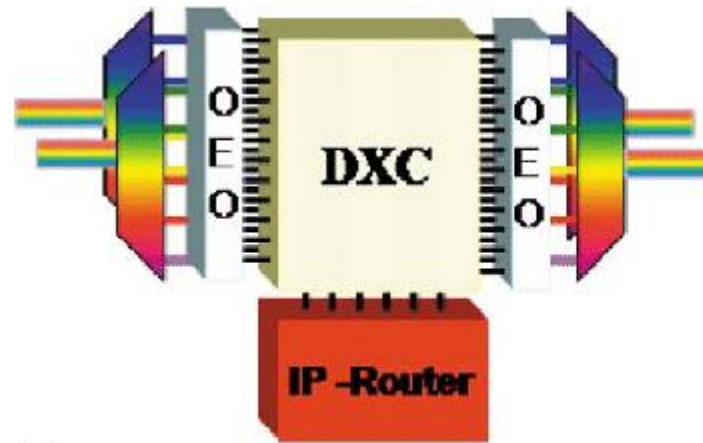
- ❑ Dijital çapraz bağlantı sistemi (DCS veya DXC), telekomünikasyon ağlarında kullanılan, düşük seviyeli TDM bit akışlarının yeniden düzenlenmesini ve daha yüksek seviyeler arasında birbirine bağlanmasını sağlayan devre anahtarlama bir ağ cihazıdır. SONET / SDH bit akışlarında çalışan DXC üniteleri mevcuttur.
- ❑ DCS cihazları, telekomünikasyon trafiğini grunlamak, bir ağ arızası durumunda trafiği bir devreden diğerine geçirmek, vb. diğer uygulamaları kullanmak için kullanılabilir.
- ❑ Devre anahtarlama bir ağda bir DCS'ye sahip olmak daha yüksek maliyetle elde edilebilecek önemli esneklik sağlar.

# DXC

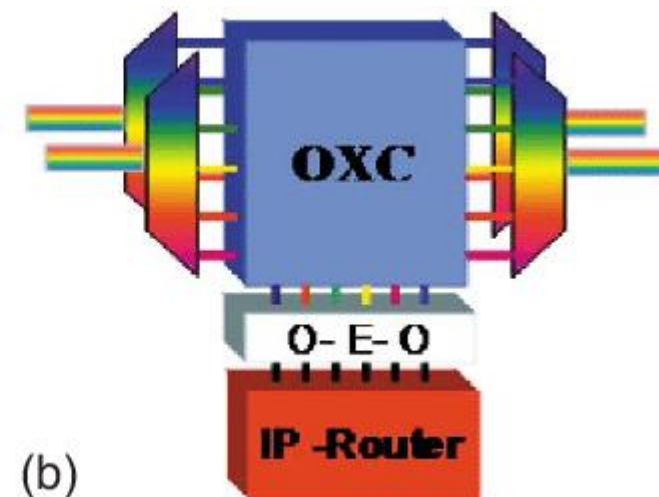


Digital Cross-Connect (DXC)

■ OEO (Optical-Electronic-Optical) Dönüşüm



(a)



(b)

# Single Hop Grooming (Tek Bağlantı)

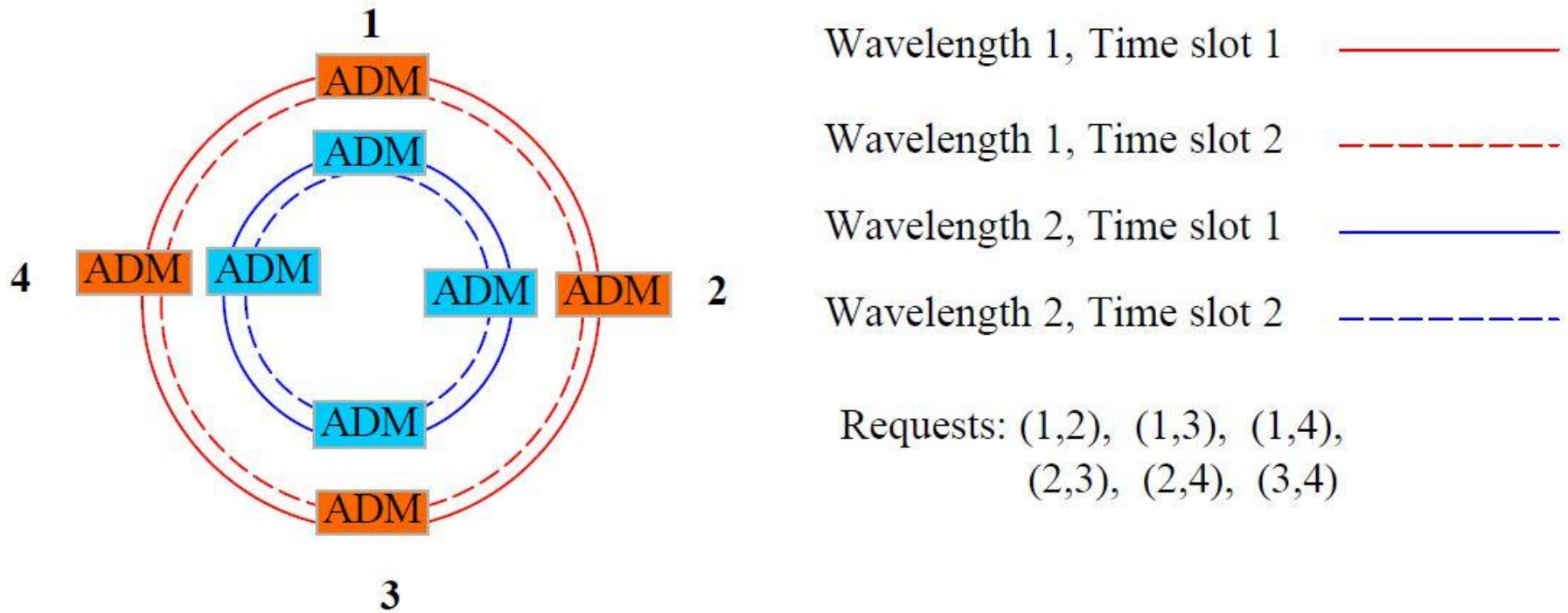


Figure 2. A SONET/WDM network with 4 nodes and 2 wavelengths.

# Gerçekleşen Durumlar

- ❑ 6 adet tek yönlü bağlantı isteği olan bir SONET / WDM halka ağını göstermektedir.
- ❑ Her bir düğüm ayrıca bir O-ADM (şekillerde gösterilmemiştir) ile donatılmıştır.
- ❑ SONET halkasının aynı zamanda tek yönlü olduğunu (saat yönünde) belirtmek gerekir.

Talepler:

- (1-2)
- (1-3)
- (1-4)
- (2-3)
- (2-4)
- (3-4)

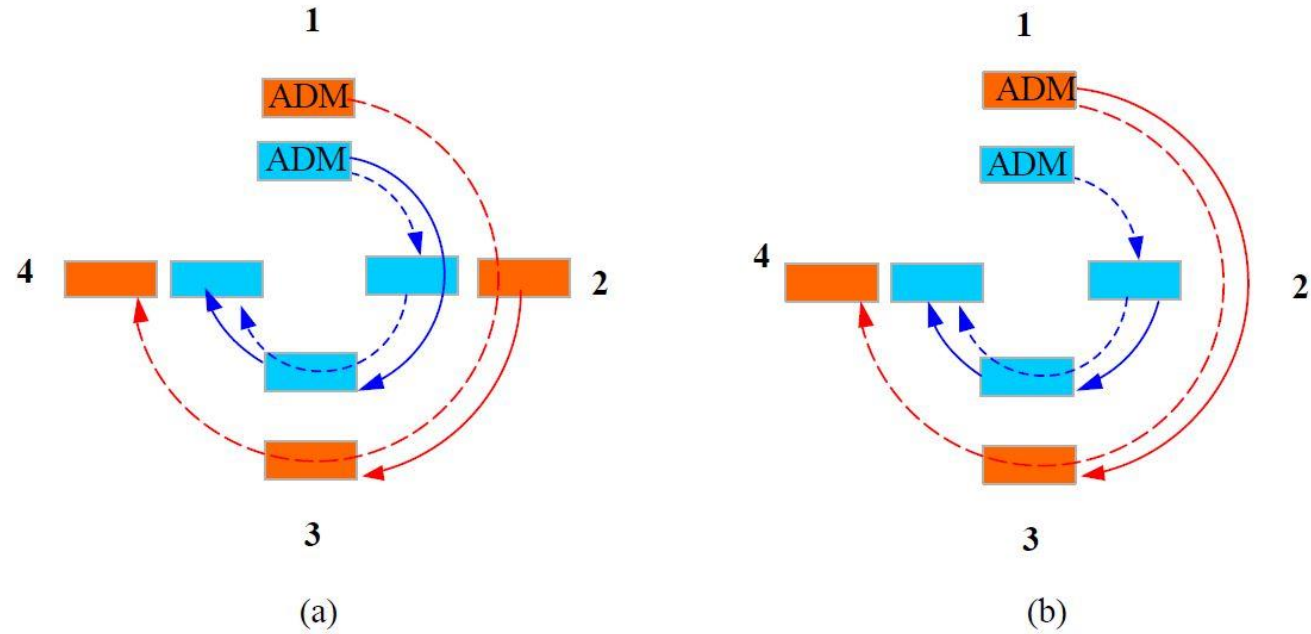
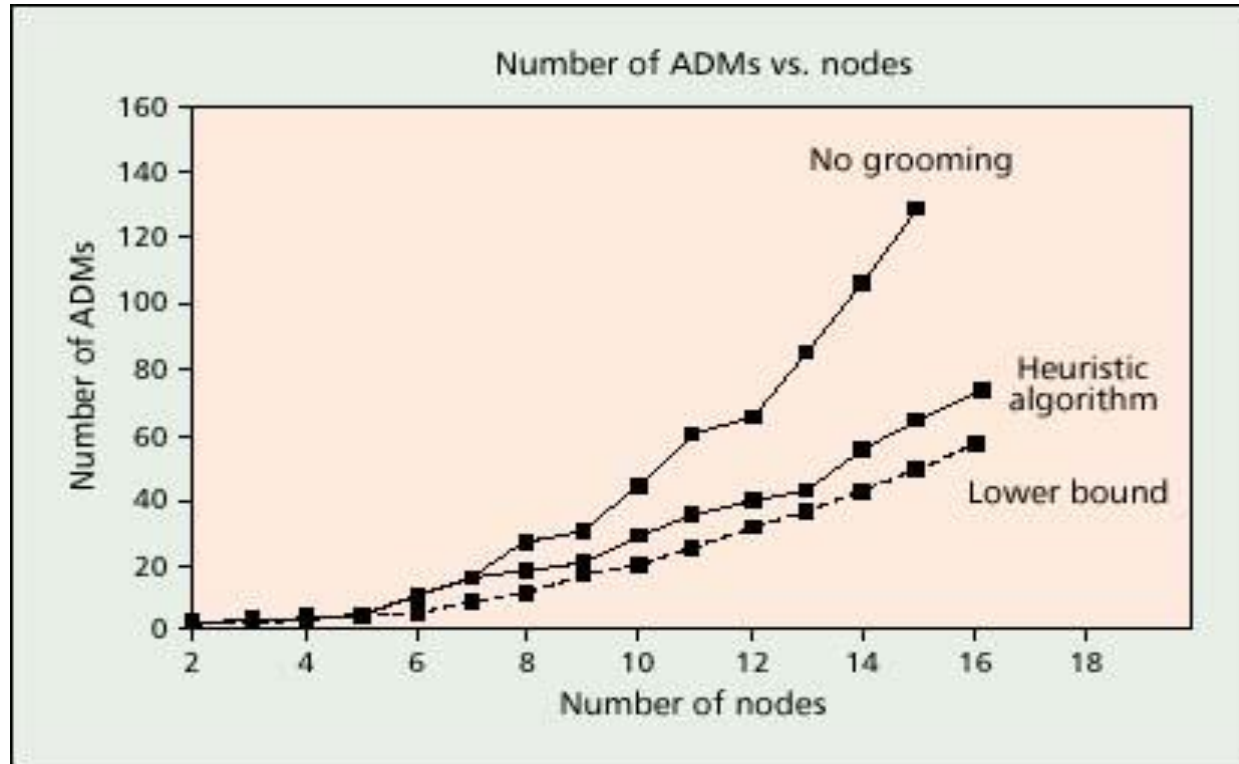


Figure 3. Two possible configurations to support the traffic requests in Fig. 2.

# Single Hop Grooming sonrası ADM sayısı

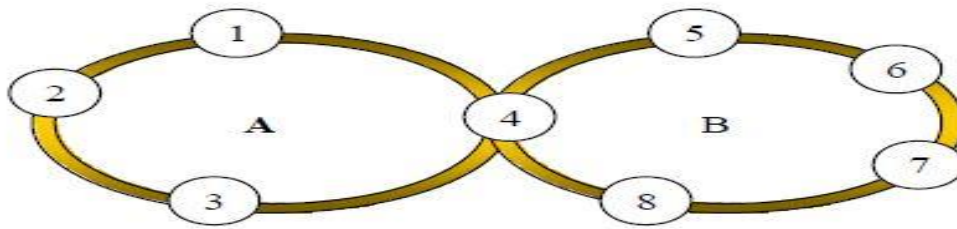


# Problemler

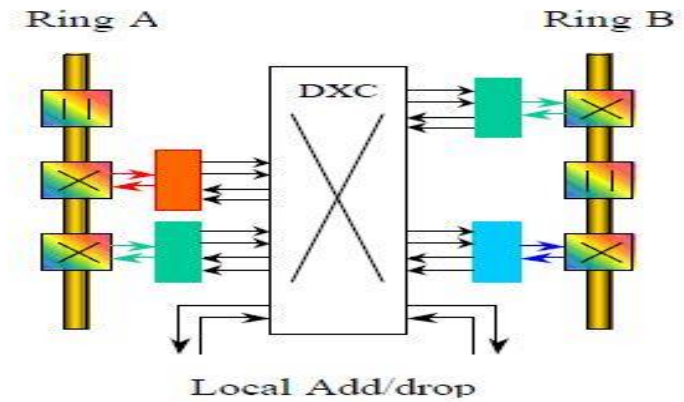
---

1. Ağ Planlaması
2. Topoloji Tasarımı (Statik Grunlama için)
3. Dinamik Devre Sağlama (Dinamik Grunlama için)
4. Optimizasyon (Statik Grunlama için)
5. Ağ Maliyetini En Aza İndirme
6. Verimi Artırma

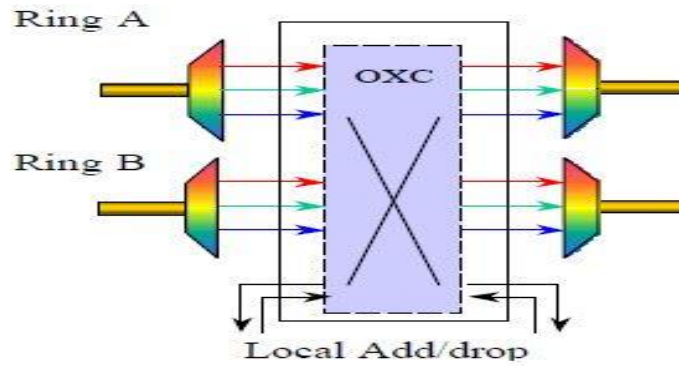
# Bağlı halkalar üzerinde grunlama



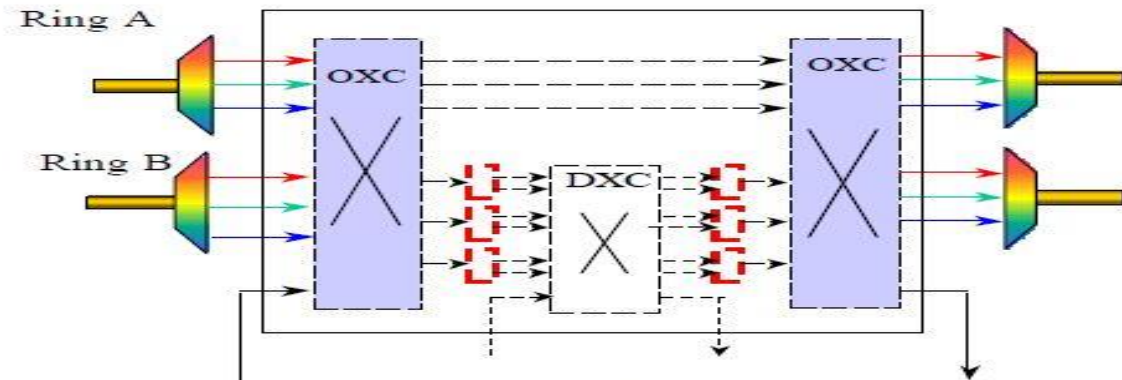
(a)



(b)



(c)



(d)



# Formülasyon

---

$N$ : Number of nodes in the network.

$W$ : Number of wavelengths.

$C$ : Grooming ratio.

$T$ : Non-uniform traffic matrix, in which  $t_{ij}$  represents the traffic from node  $i$  to  $j$ . The traffic matrix is given.

${}^dV_{ij}^{cw}$ : Virtual connection from node  $i$  to node  $j$  on circle  $c$  of wavelength  $w$ .  $d$  represents the direction of a connection and it can be either clockwise or counter clockwise.

$ADM_i^w$ : Number of ADMs at node  $i$  on wavelength  $w$ .

$e$ : A link on the physical ring.

# Tek-Bağlantılı formülasyon

---

**Objective function:** Minimize  $\sum_i \sum_w ADM_i^w$

**Subject to:**

$$\sum_w \sum_c \sum_d {}^dV_{ij}^{cw} = t_{ij} \quad \forall i, j \quad \text{(Traffic-load constraint)}$$
$$\sum_{\substack{d \\ e^{cw} \in {}^dV_{ij}^{cw}}} {}^dV_{ij}^{cw} \leq 1 \quad \forall d, e, c, w \quad \text{(Channel-capacity constraints)}$$
$$\sum_c \sum_j {}^dV_{ij}^{cw} \leq C \cdot ADM_i^w \quad \forall d, i, w \quad \text{(Transmitter constraints)}$$
$$\sum_c \sum_i {}^dV_{ij}^{cw} \leq C \cdot ADM_j^w \quad \forall d, j, w \quad \text{(Receiver constraints)}$$

**Bounds:**  ${}^dV_{ij}^{cw}$  and  $ADM_i^w$  are both binary numbers.

# Çok-Bağlantılı formülasyon

**Objective function:**

$$\text{Minimize } \sum_i \sum_w ADM_i^w$$

**Subject to:**

$$\sum_w \sum_c \left( \sum_{j(j>i)} V_{ij}^{cw} + O_i^{cw} \right) = \sum_j t_{ij} \quad \dots \forall i$$

$$\sum_w \sum_c \left( \sum_{i(j>i)} V_{ij}^{cw} + I_j^{cw} \right) = \sum_i t_{ij} \quad \dots \forall j \quad (\text{Traffic-load constraint})$$

$$\sum_{e^{cw} \in V_{ij}^{cw}} V_{ij}^{cw} + \sum_{i < e^{cw}} O_i^{cw} + \sum_{j > e^{cw}} I_j^{cw} \leq 1 \quad \dots \forall e, c, w \quad (\text{Channel-capacity constraint})$$

$$\sum_c \sum_j V_{ij}^{cw} + \sum_c O_i^{cw} \leq C \cdot ADM_i^w \quad \dots \forall i, w \quad (\text{Transmitter constraint})$$

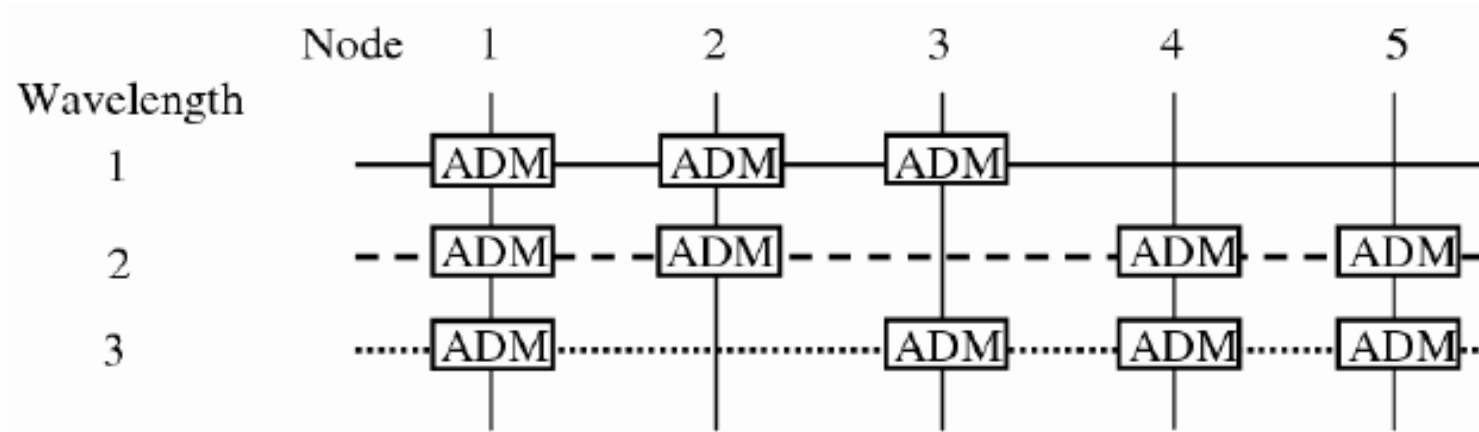
$$\sum_c \sum_i V_{ij}^{cw} + \sum_c I_j^{cw} \leq C \cdot ADM_i^w \quad \dots \forall j, w \quad (\text{Receiver constraint})$$

**Bounds:**

All  $V_{ij}^{cw}$ ,  $O_i^{cw}$ ,  $I_j^{cw}$  and  $ADM_i^w$  are binary numbers.

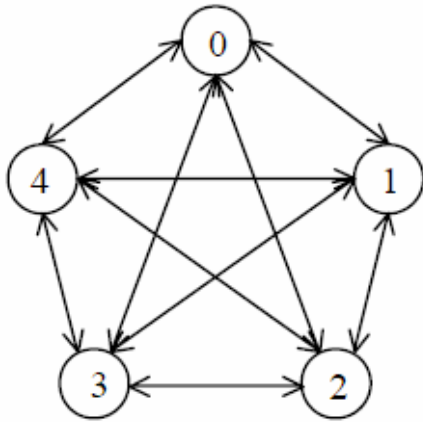
# Örnek

- ❑ 3 dalga boylu 5 düğümlü SONET / WDM halka ağı.
- ❑ trafik matrisi: 1-2, 1-3, 2-3, 2-4, 3-4, 4-5.
- ❑ 1. dalga boyuna 1-3, 2-3 atanarak desteklenebilir. 2. dalga boyuna 1-2, 2-4, 4-5, 4-5 atanarak desteklenebilir 3. dalga boyunda 1-3, 3-4, 4-5 atanarak desteklenebilir
- ❑ belirli bir trafik matrisi için, fazladan bazı ADM'ler olabilir.

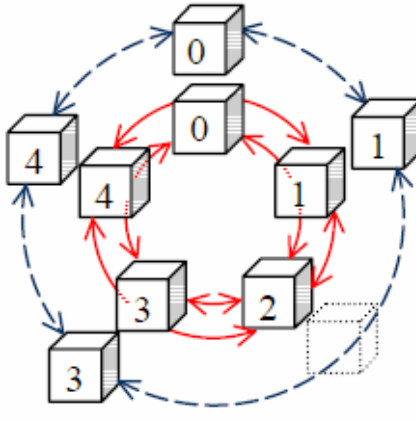


# Tek-Bağlantılı Örnek

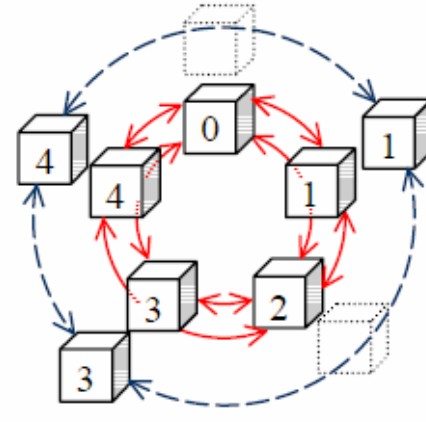
- Uniform trafik istekleri ile 5 düğümlü bir ağ. İki yönlü bir halka.
- Toplam çift yönlü istek sayısı 10'dur ve her istek 1 birim alt kanal kapasitesindedir.
- (B) ve (c), bağlantıları iki dalga boyunda düzenlemenin iki yolunu göstermektedir.



(a)



(b)



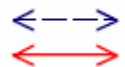
(c)



Node



ADM



Sub-channels on two different wavelengths

# Bir Trafik Grunlama Örneği

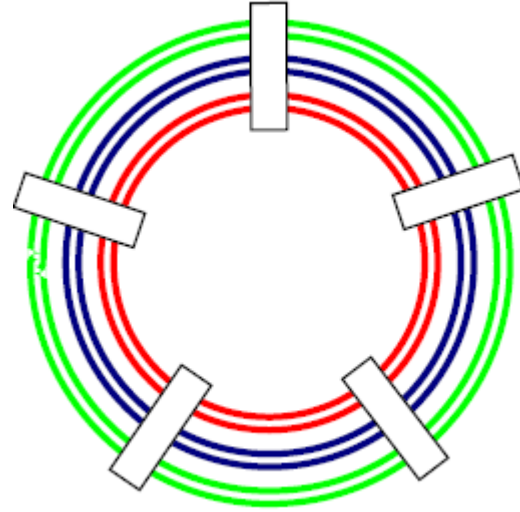
## Tek-bağlantı, Çift-yönlü, Uniform

Fiziksel Topoloji

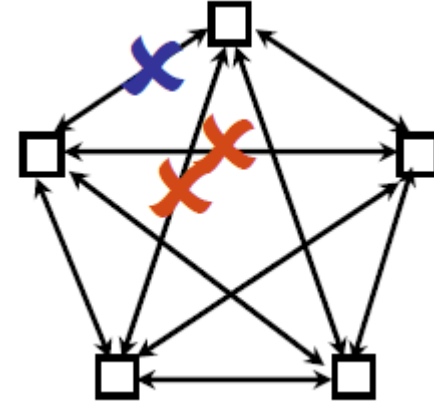
$N = 5$

$W = ?$

$C = 2$



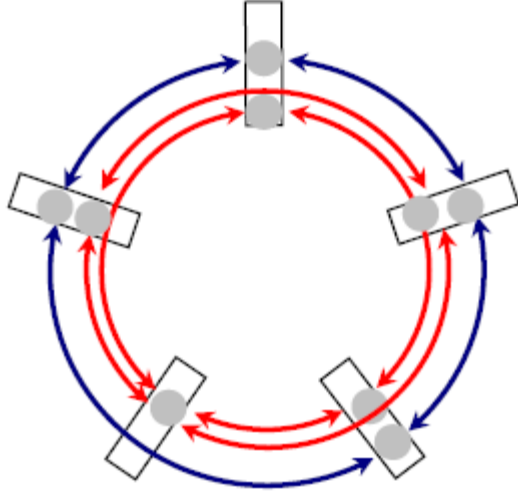
\*C: Alt dalgaboyu,  
grunlanmış sinyaldeki



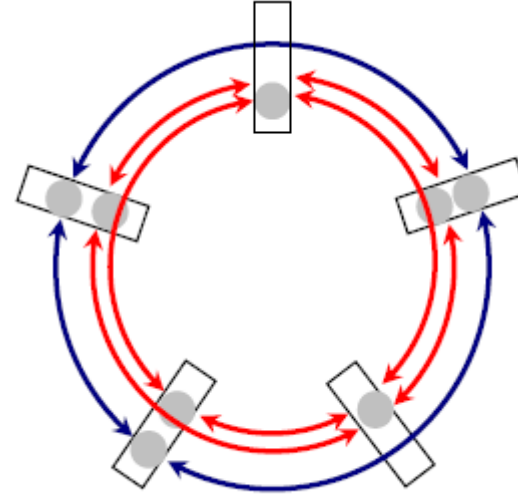
Trafik talepleri  
(uniform)

# Bir Trafik Grunlama Örneği

## Tek-bağlantı, Çift-yönlü, Uniform



Muhtemel çözümlerden biri  
(9 ADM)



Bir diğer muhtemel çözüm (8 ADM)

Çözüm1:

(1-4)

(2-5)

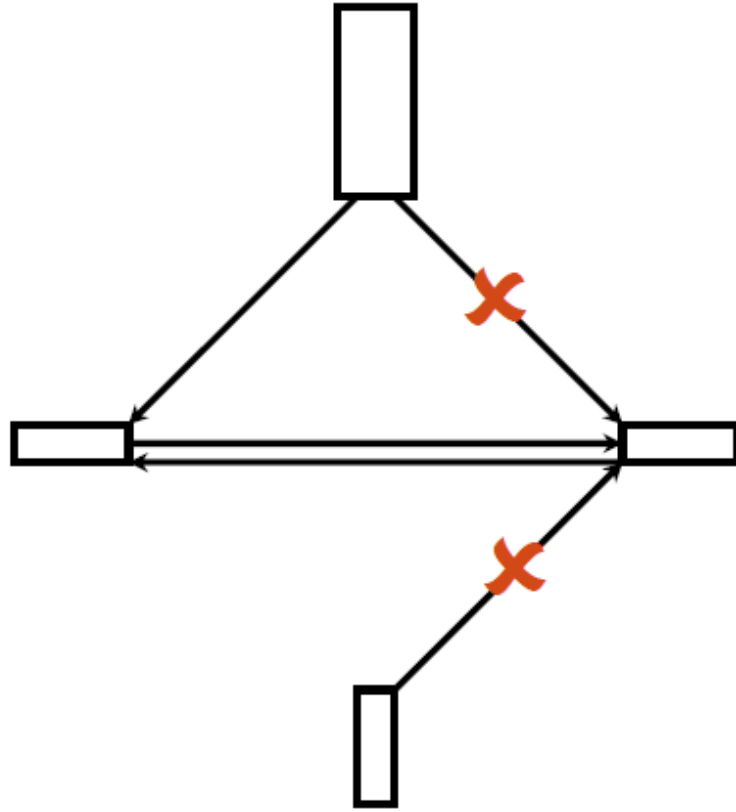
(1-5)

(1-2)

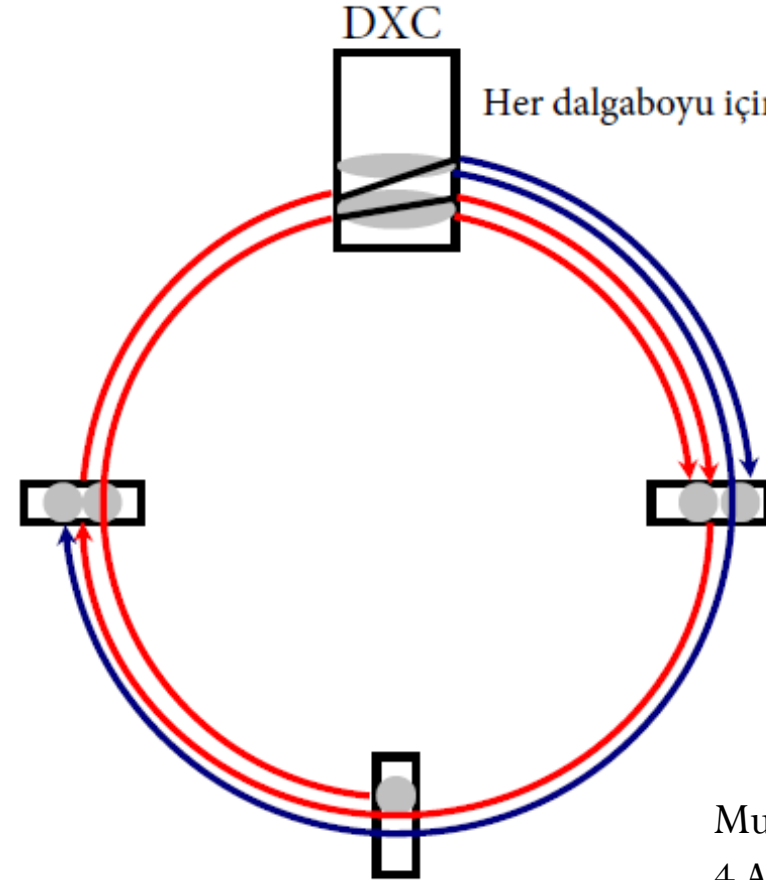
(2-4)

..

# Bir hub düğümde çapraz bağlayıcıli örnek (Çok-bağlantılı, Tek-yönlü, Non-uniform trafik)



Trafik talebi



Çözüm1:  
(1-2)  
(3-2)  
..

Muhtemel bir çözüm  
4 ADM ile çözüm ?