

# Optik Omurga Ağlar ve Yönlendirme & Dalgaboyu Atama (Routing and Wavelength Assignment-RWA)

---

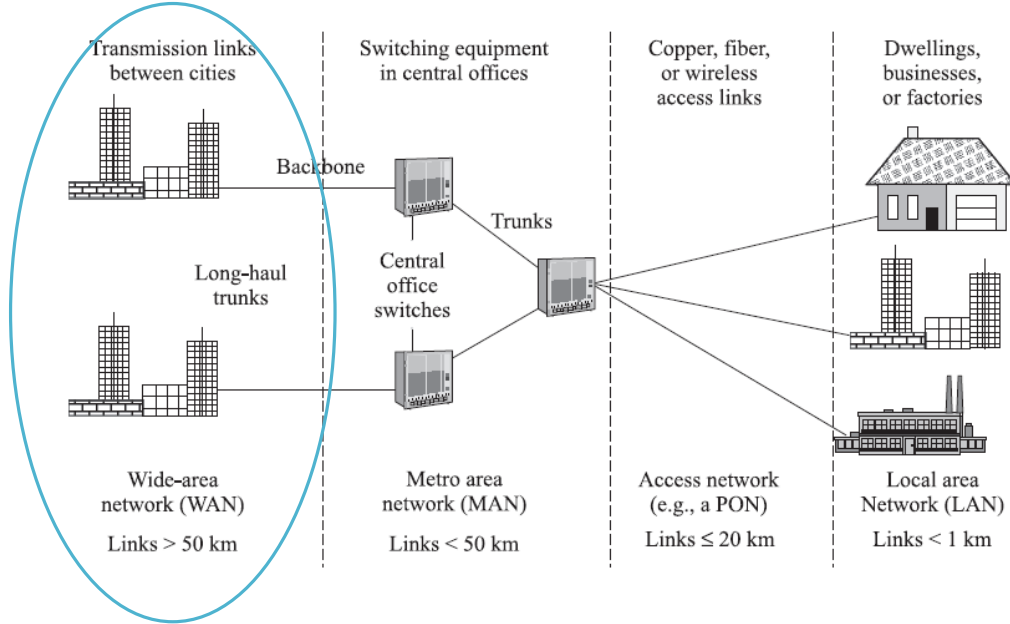
DR. ÖĞRETİM ÜYESİ ABDULLAH SEVİN

# Amaç

---

- ☐ Optik Omurga Ağlarını tanımak
- ☐ Yönlendirme kavramını tanımak
- ☐ Dalgaboyu atama kavramını tanımak

# 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

# Işıkyollarıve Dalgaboyu Yönlendirme

Trafik talepleri

WA-CO

CA1-IL

PA-UT

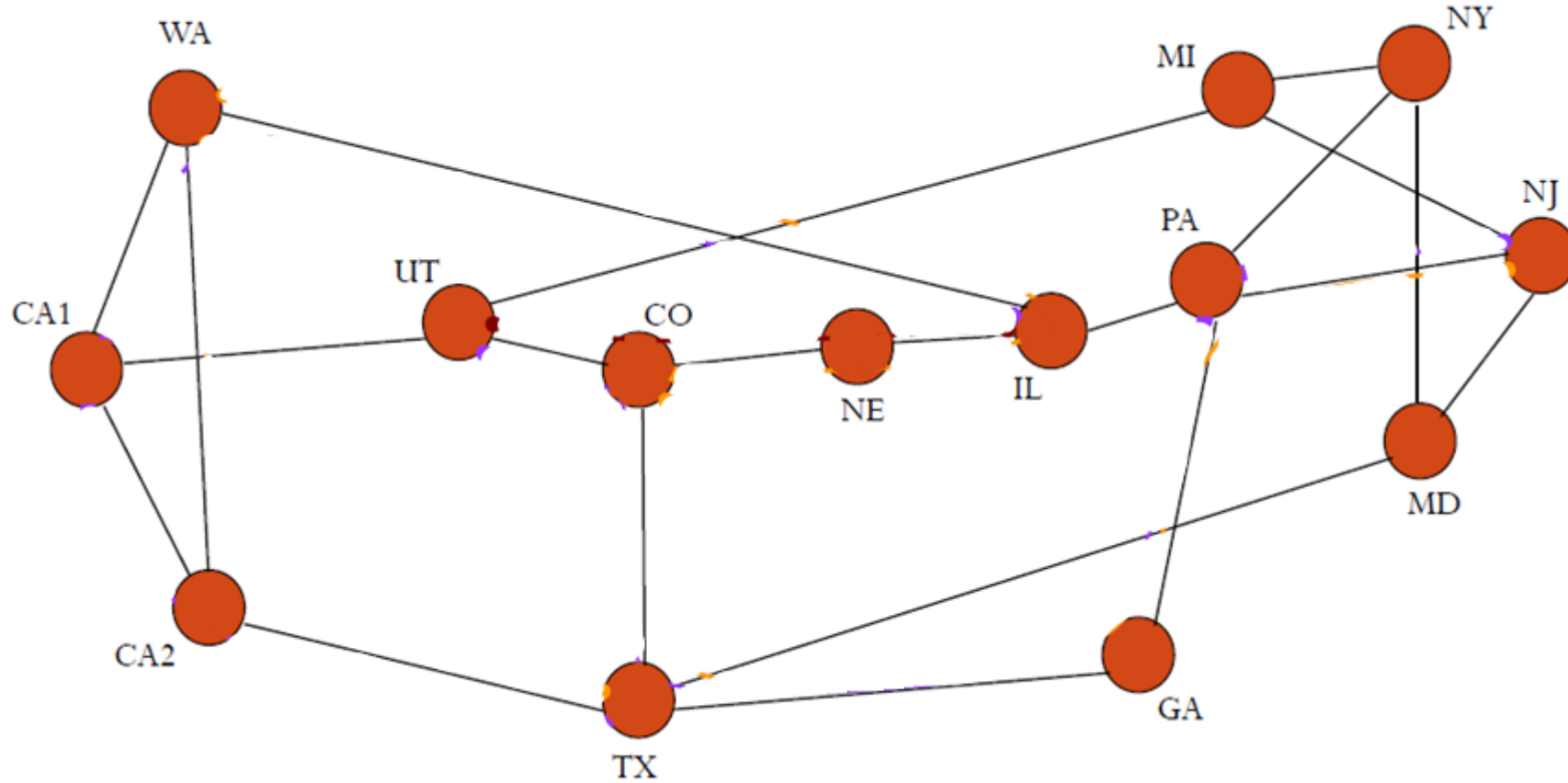
TX-WA

NJ-CO

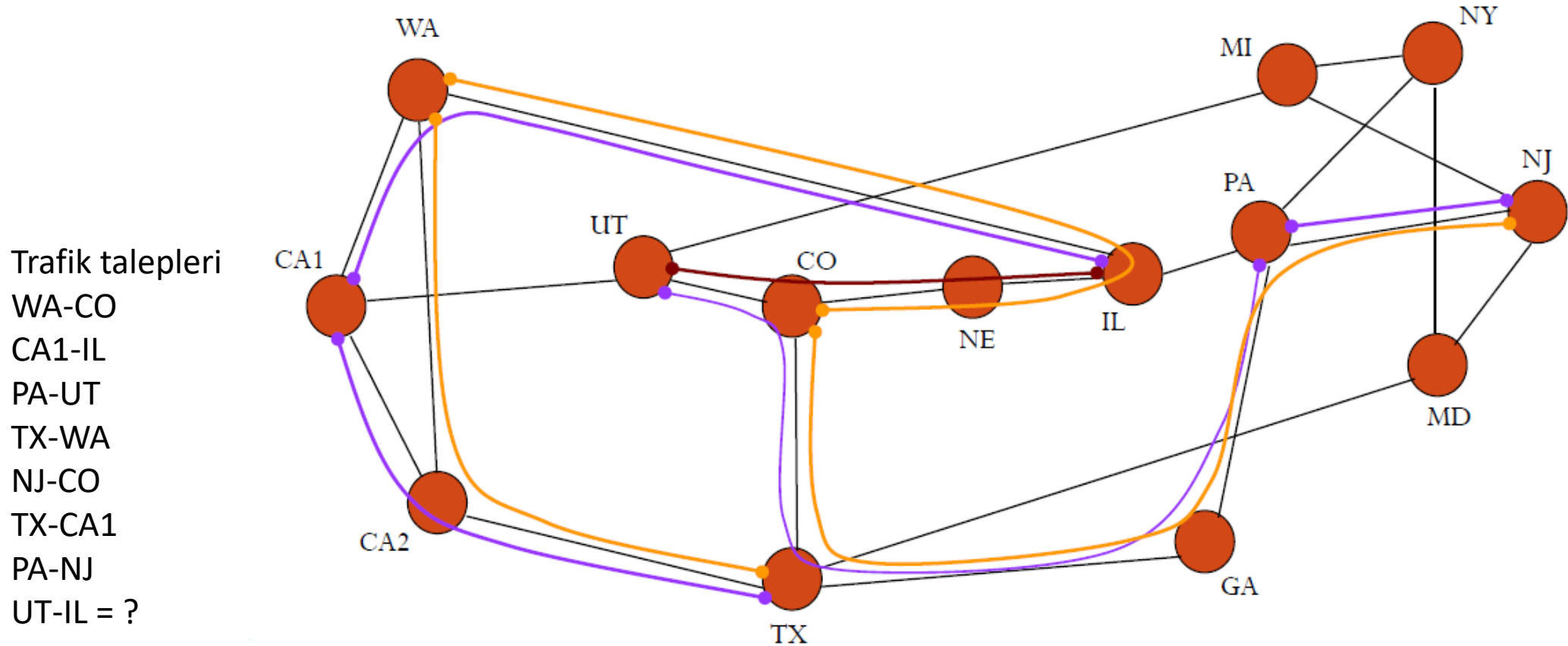
TX-CA1

PA-NJ

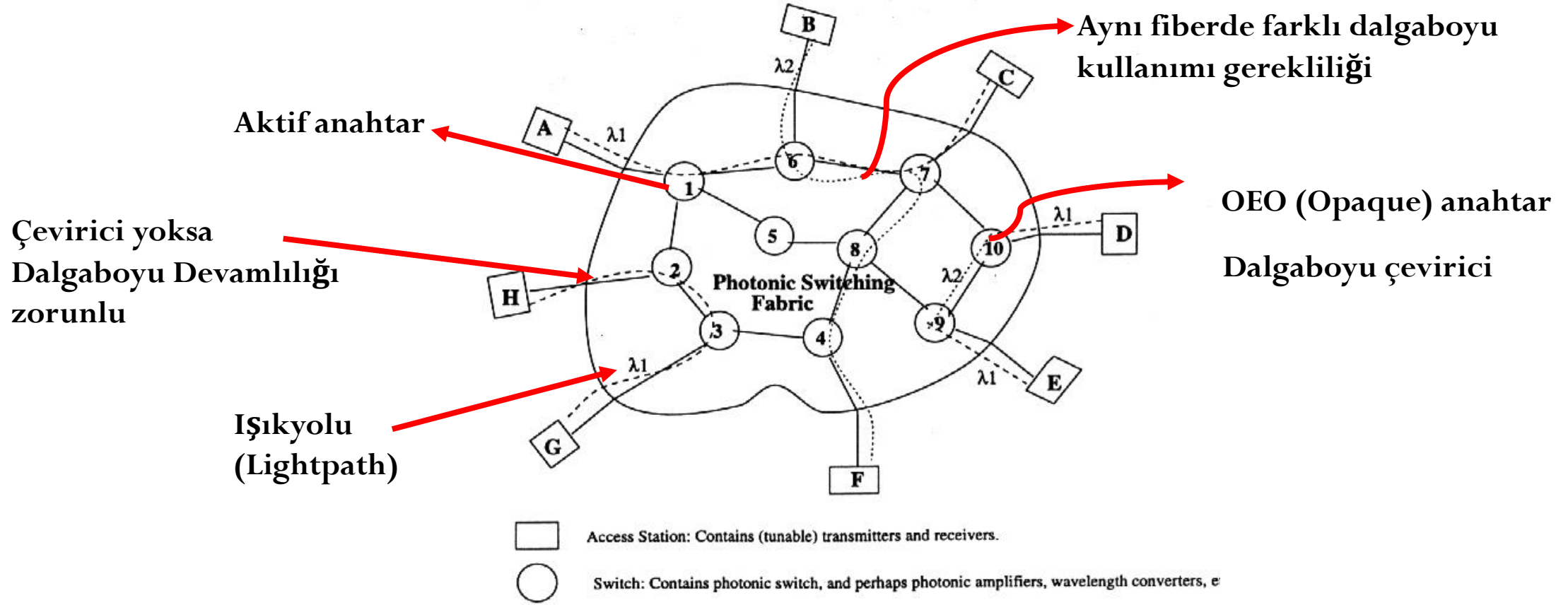
UT-IL = ?



# Işıkyollarıve Dalgaboyu Yönlendirme



# Dalgaboyu-Yönlendirmeli (Geniş-Alan) Optik Ağlar



# Dalgaboyu-yönlendirmeli ağlar için RWA

---

- ❑ Yönlendirme ve dalgaboyu atama problemlerinin kombinasyonu (Çok karmaşık)
- ❑ Yönlendirme
  - ❑ Statik: ILP (Integer Linear Program) formülasyonu (Optimizasyon)
  - ❑ Dinamik: Gerçek zamanlı algoritmalar (En kısa yol bulma algoritmaları; Bellman Ford, Dijkstra, Floyd–Warshall )
- ❑ Dalgaboyu atama
  - ❑ Statik: Graf boyama metodu
  - ❑ Dinamik: Sezgisel algoritmalar (Heuristics)

# RWA için ILP çözümü

---

**Minimize :**  $F_{max}$

*such that*

$$F_{max} \geq \sum_{s,d,w} F_{ij}^{sdw} \quad \forall \quad ij$$

$$\sum_i F_{ij}^{sdw} - \sum_k F_{jk}^{sdw} = \begin{cases} -\lambda_{sdw} & \text{if } s = j \\ \lambda_{sdw} & \text{if } d = j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sum_w \lambda_{sdw} = \Lambda_{sd}$$

$$F_{ij}^{sdw} = 0, 1$$

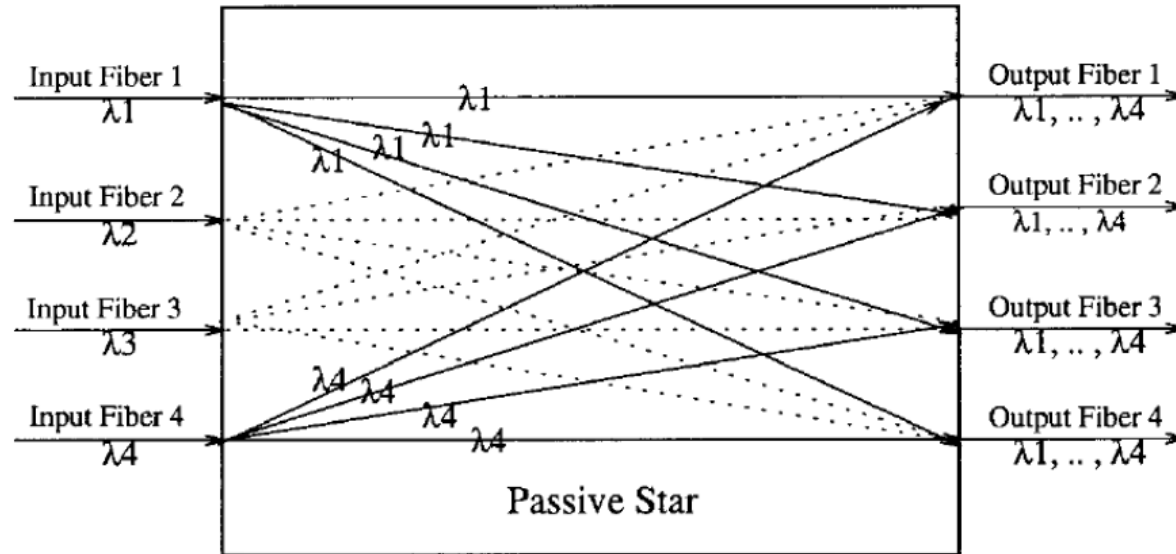
$$\sum_{s,d} F_{ij}^{sdw} \leq 1$$



# Statik Yönlendirme

## Dalgaboyu Anahtarlar (Cross-connects)

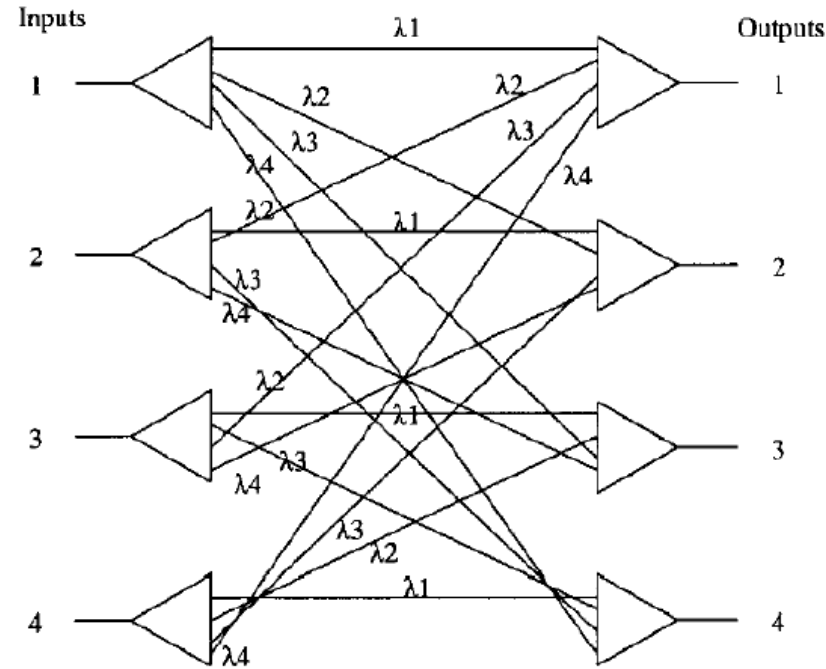
□ Pasif yıldız (passive-star): Broadcast (genel yayım)



4 X 4 pasif star (4 dalgaboyu)

# Pasif yönlendirici

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

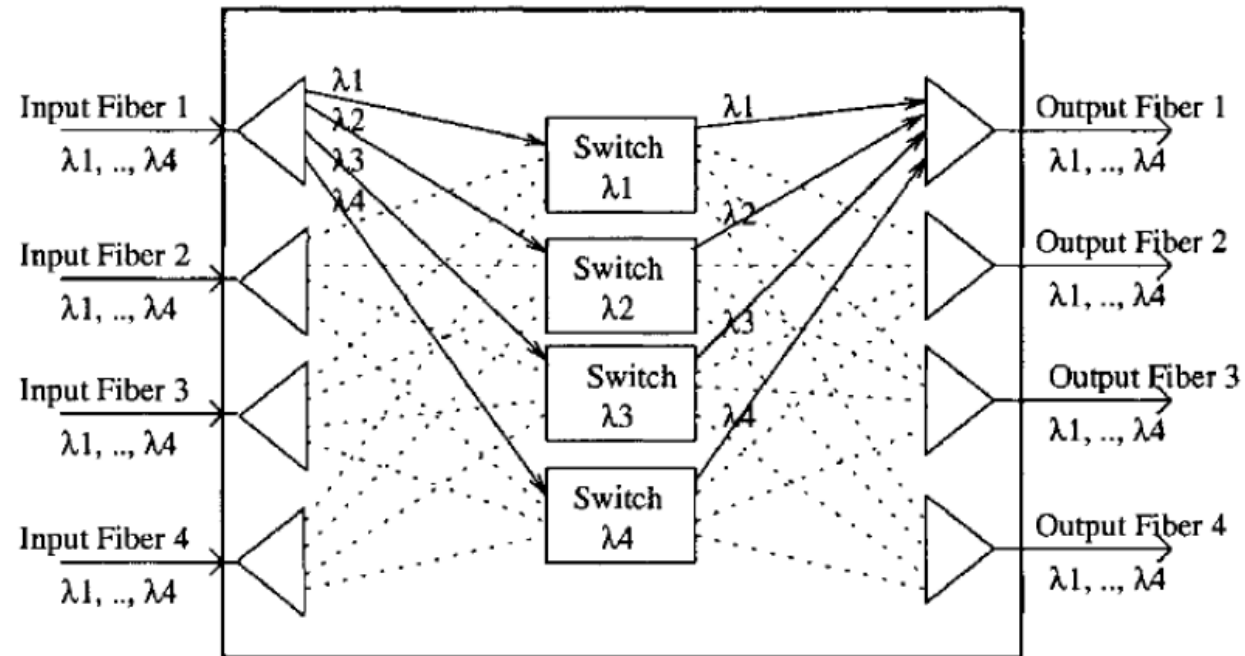


4 X 4 pasif router (4 dalgaboyu)

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

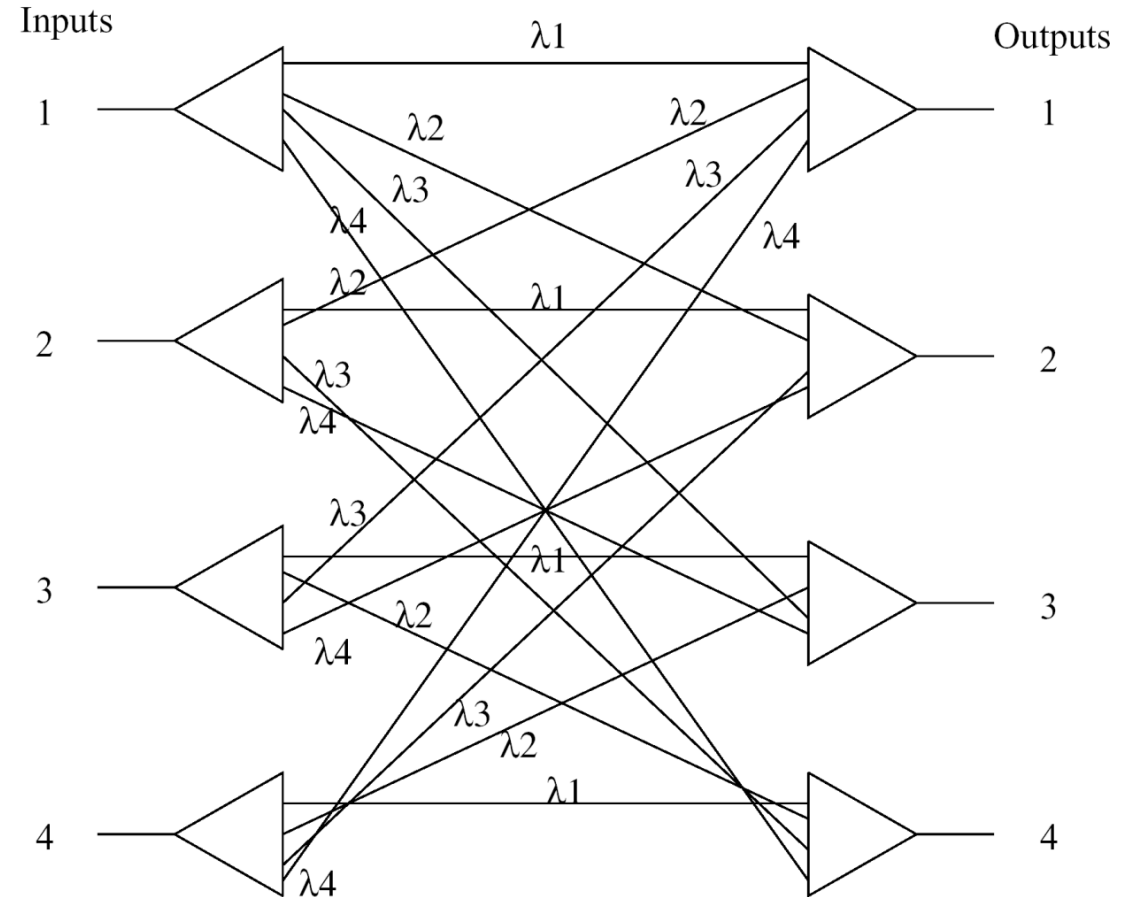


4 X 4 aktif anahtar/switch (4 dalgaboyu)

# Bir 4x4 Pasif Dalgaboyu Yönlendirici

## Trafik Matrisi

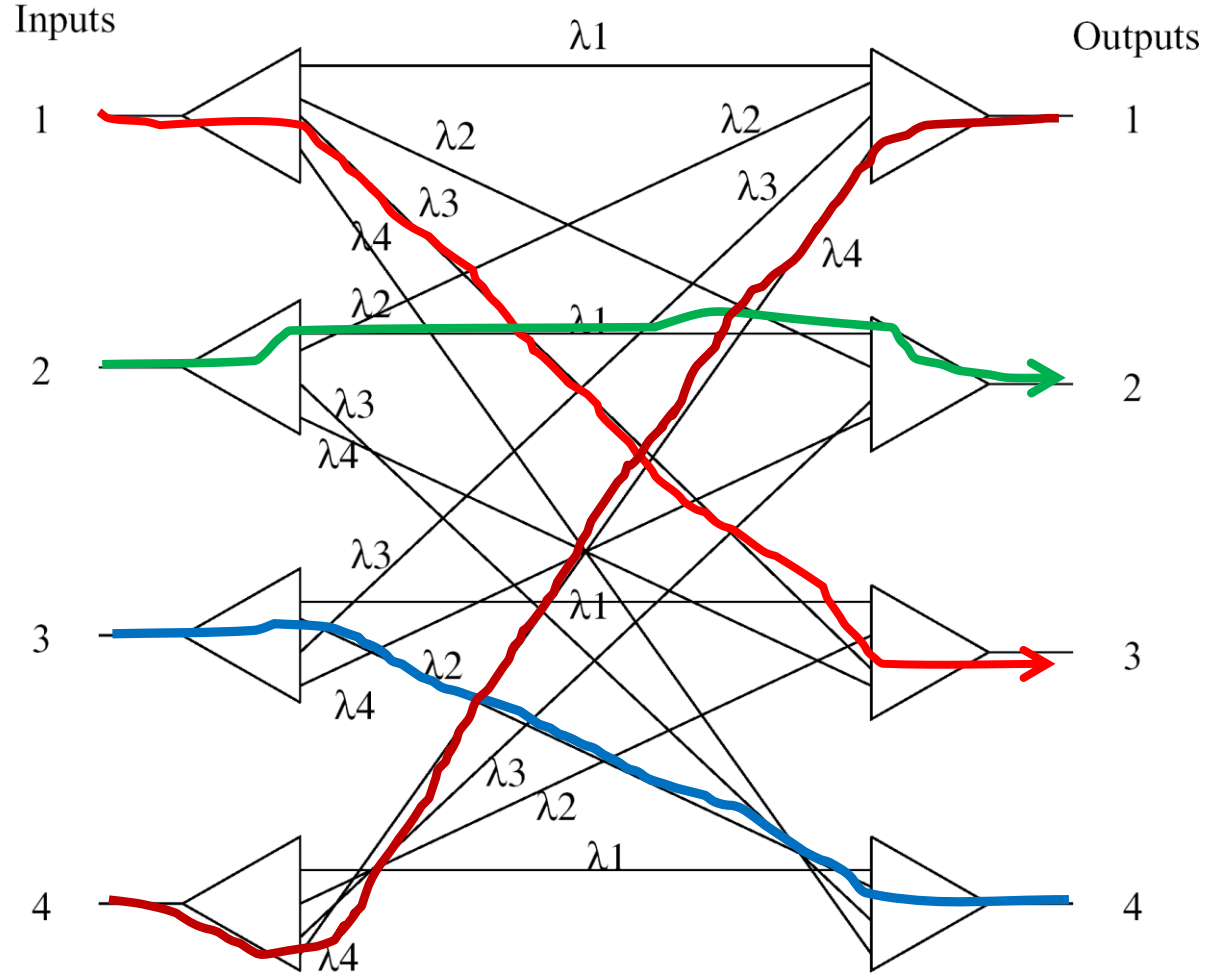
Giriş	Çıkış	Lambda
1	3	
2	2	
3	4	
4	1	



# Bir 4x4 Pasif Dalgaboyu Yönlendirici

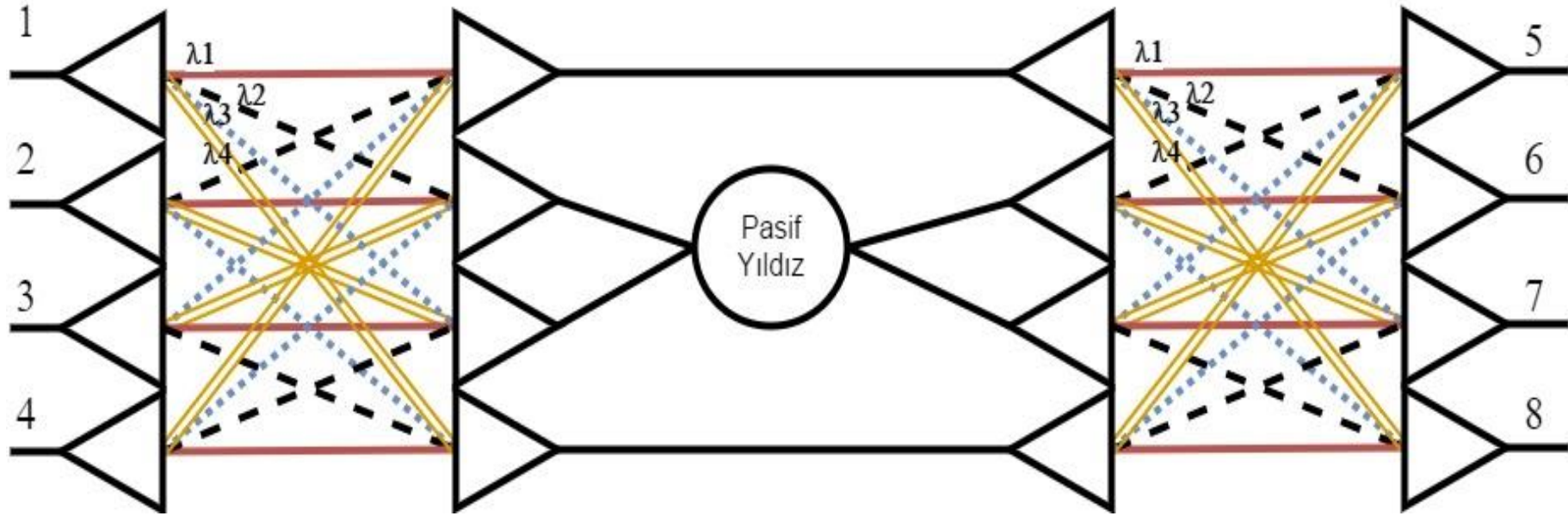
Trafik Matrisi

Giriş	Çıkış	Lambda
1	3	3
2	2	1
3	4	2
4	1	4



# Örnek

- ❑ İki pasif yönlendirici aralarına pasif yıldız konularak şekilde görüldüğü gibi birbirilerine bağlanmıştır. Buna göre aşağıdaki soruları cevaplandırınız.



# Örnek

---

a. Her bir düğüm çiftinin hangi dalgaboylarında haberleşebildiklerini aşağıdaki tabloya yazınız. Eğer hiçbir dalgaboyunda haberleşme gerçekleştirilemiyorlarsa X işareti koyunuz. Her bir düğüm çiftinin haberleşmesinin birbirlerinden bağımsız olduğunu varsayın.

	5	6	7	8
1				
2				
3				
4				

# Örnek

a. Her bir düğüm çiftinin hangi dalgaboylarında haberleşebildiklerini aşağıdaki tabloya yazınız. Eğer hiçbir dalgaboyunda haberleşme gerçekleştirilemiyorlarsa X işareti koyunuz. Her bir düğüm çiftinin haberleşmesinin birbirlerinden bağımsız olduğunu varsayın.

	5	6	7	8
1	$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$	X	X	$\lambda_2, \lambda_3$
2	X			
3				
4				



# Örnek

B. Aşağıdaki tabloda her bir satırdaki trafik taleplerinin aynı anda gerçekleşip gerçekleşemeyeceğini belirtiniz. Eğer gerçekleşebiliyorlar ise her biri için hangi dalgaboyu kullanması gerektiğini söyleyiniz.

Trafik talepleri	Aynı anda gerçekleşebilir mi?	Gerçekleşirse dalgaboyları
(1,5)		(1,5) için
(1,8)		(1,8) için
(4,5)		(4,5) için
(3,6)		(3,6) için
(1,8)		(1,8) için
(3,6)		(3,6) için
(1,6)		(1,6) için
(2,6)		(2,6) için
(3,7)		(3,7) için
(4,8)		(4,8) için

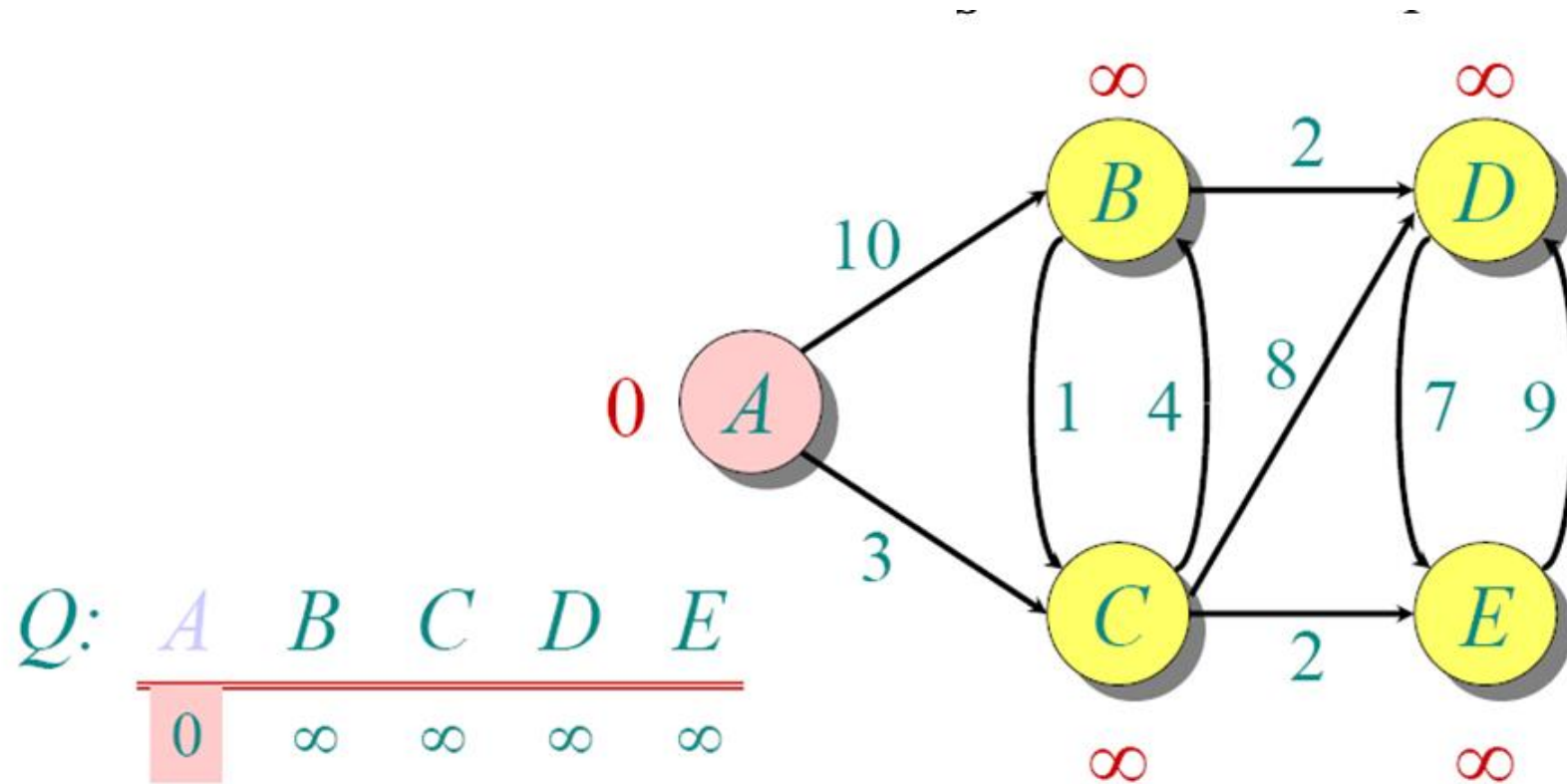
# Örnek

B. Aşağıdaki tabloda her bir satırdaki trafik taleplerinin aynı anda gerçekleşip gerçekleşemeyeceğini belirtiniz. Eğer gerçekleşebiliyorlar ise her biri için hangi dalgaboyu kullanması gerektiğini söyleyiniz.

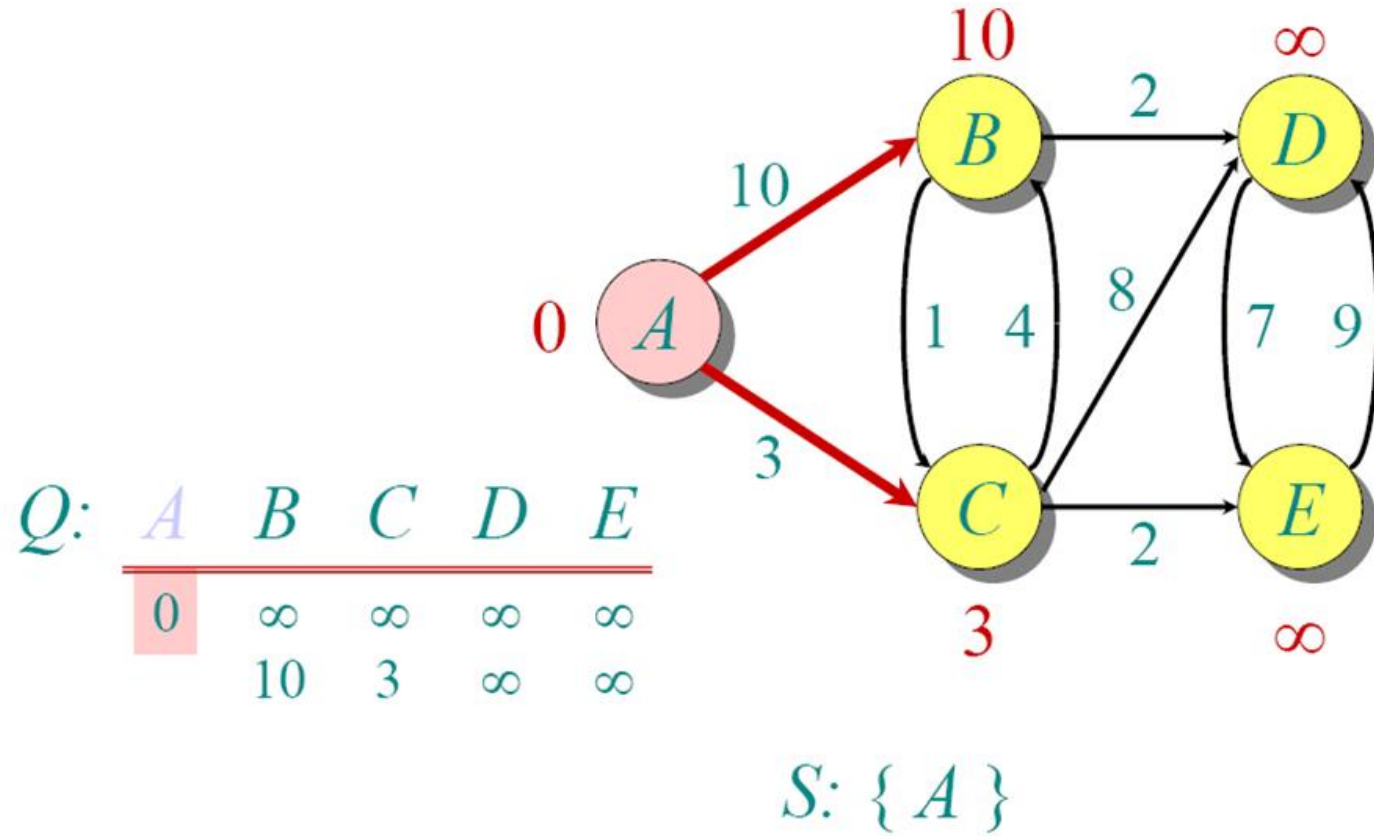
Trafik talepleri	Aynı anda gerçekleşebilir mi?	Gerçekleşirse dalgaboyları
(1,5)	Evet	(1,5) için $\lambda_1$
(1,8)		(1,8) için $\lambda_2$
(4,5)		(4,5) için
(3,6)		(3,6) için
(1,8)		(1,8) için
(3,6)		(3,6) için
(1,6)		(1,6) için
(2,6)		(2,6) için
(3,7)		(3,7) için
(4,8)		(4,8) için

# Dinamik Yönlendirme örnek: Dijkstra (En Kısa yol Algoritması)

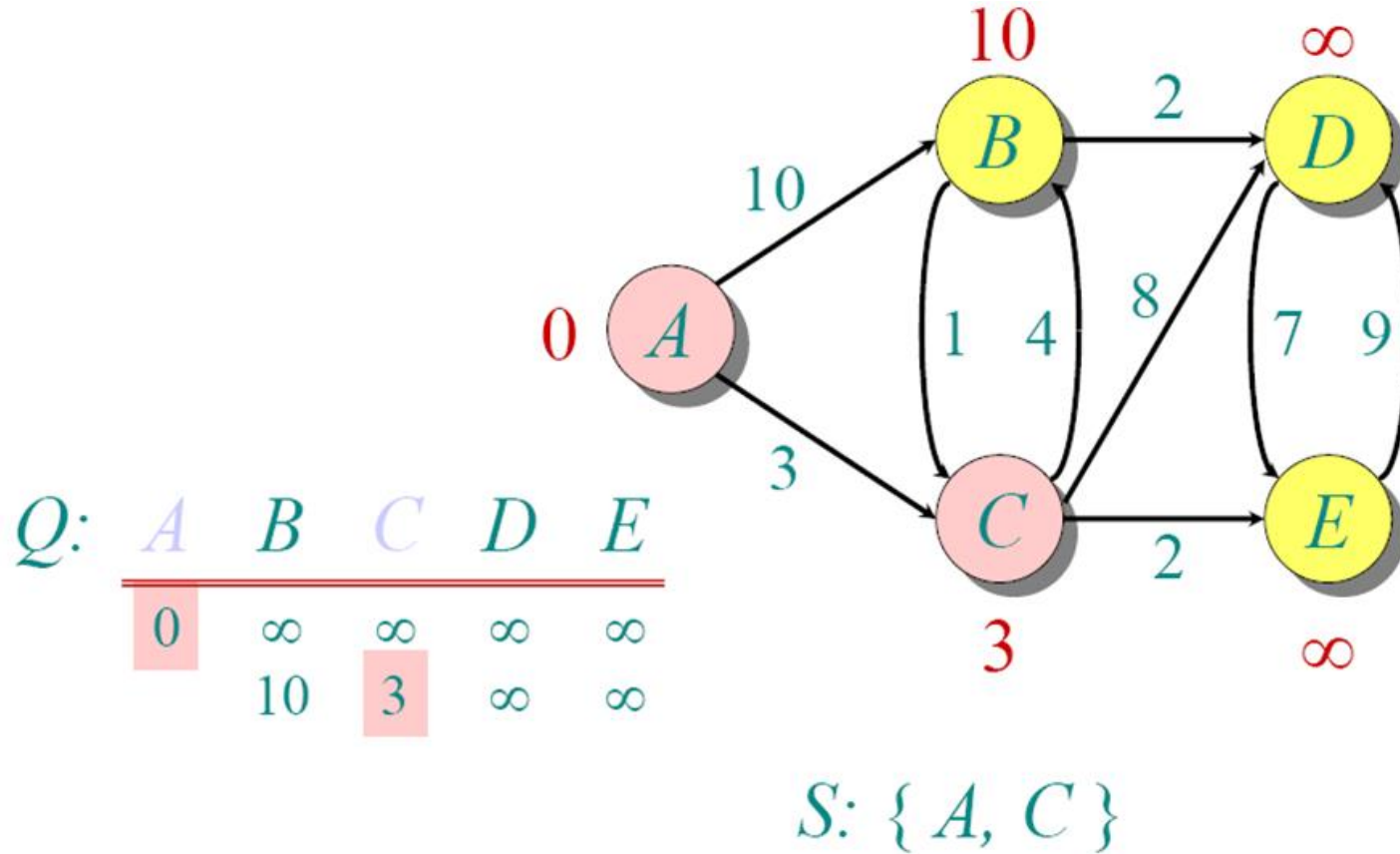
---



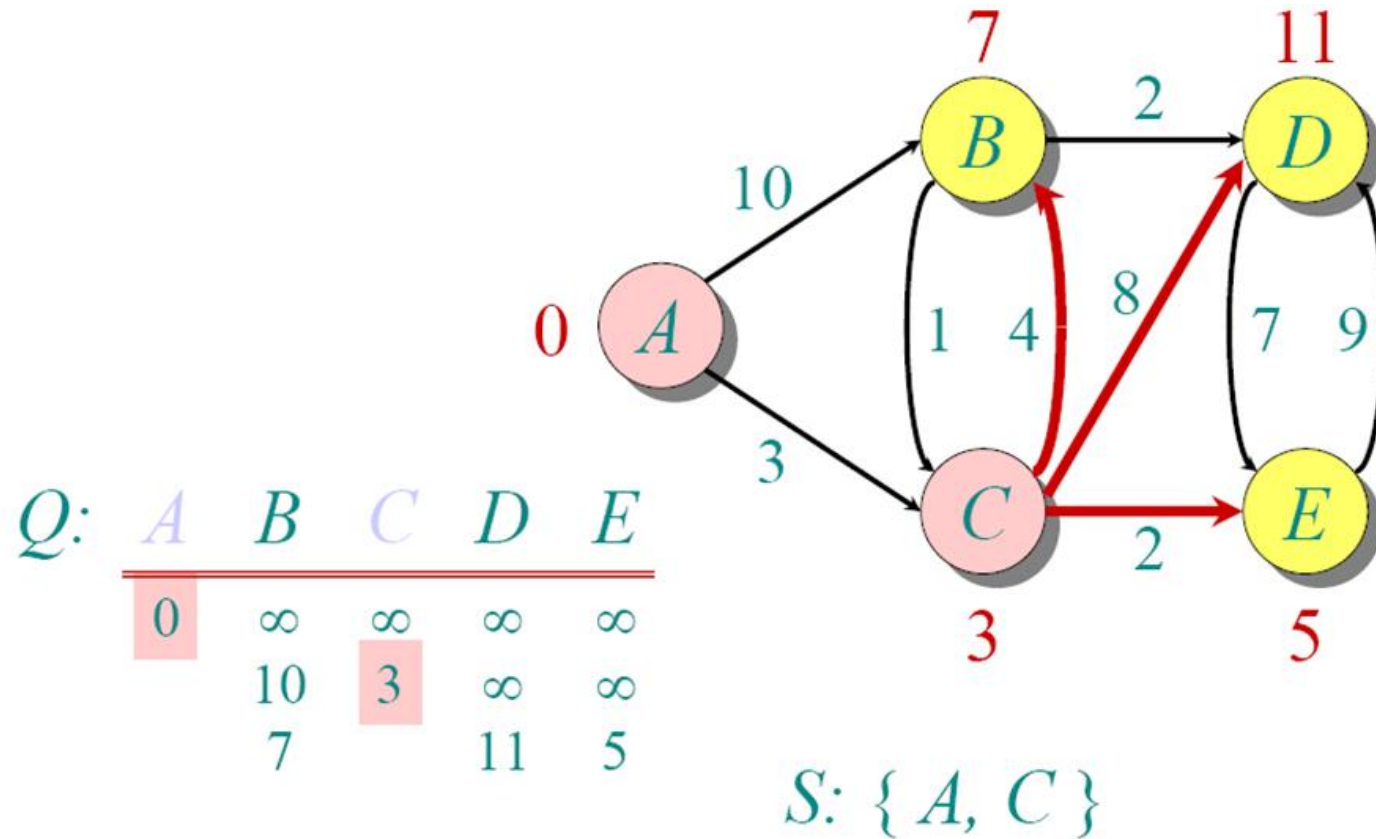
# Dinamik Yönlendirme örnek: Dijkstra (En Kısa yol Algoritması)



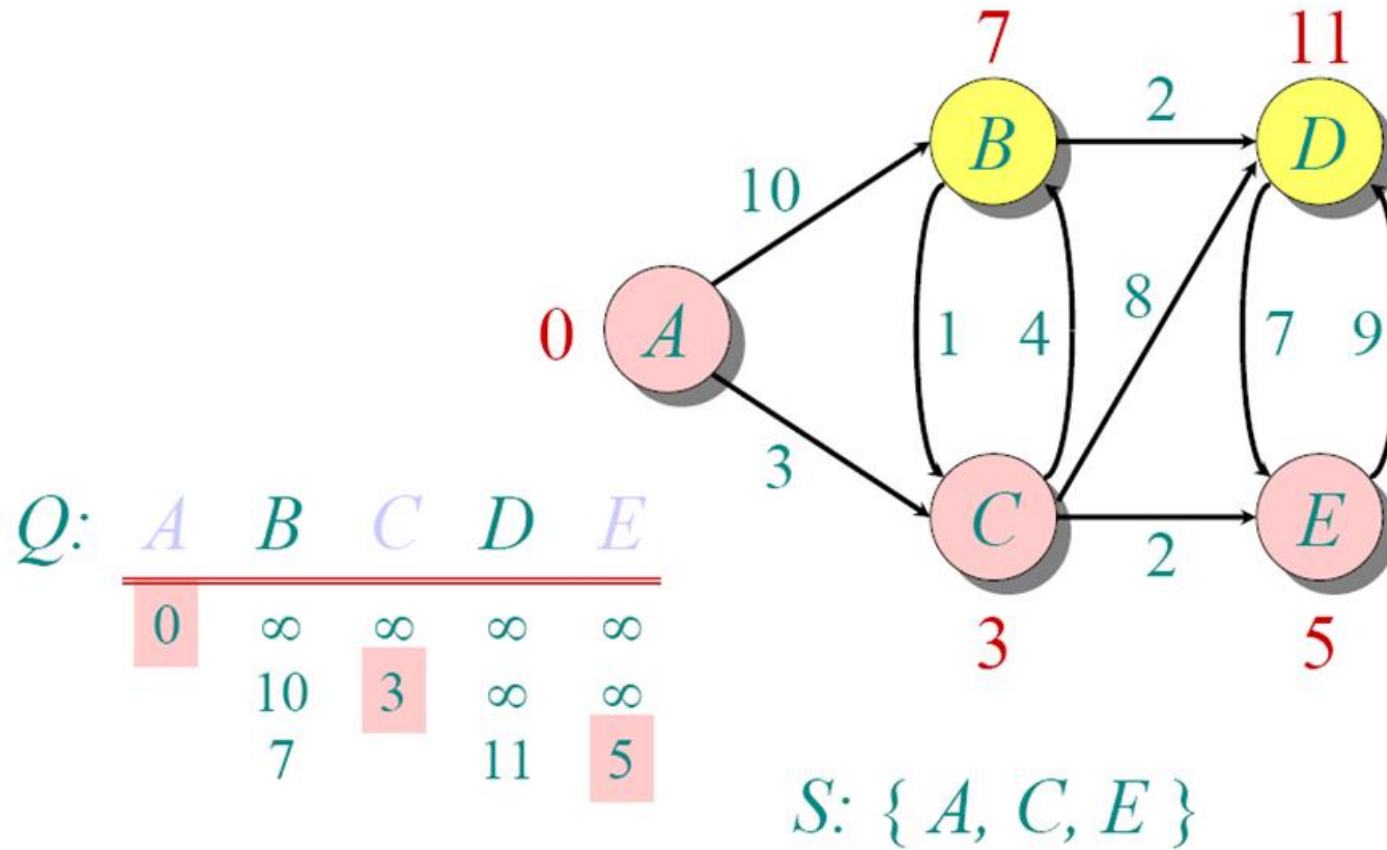
# Dinamik Yönlendirme örnek: Dijkstra (En Kısa yol Algoritması)



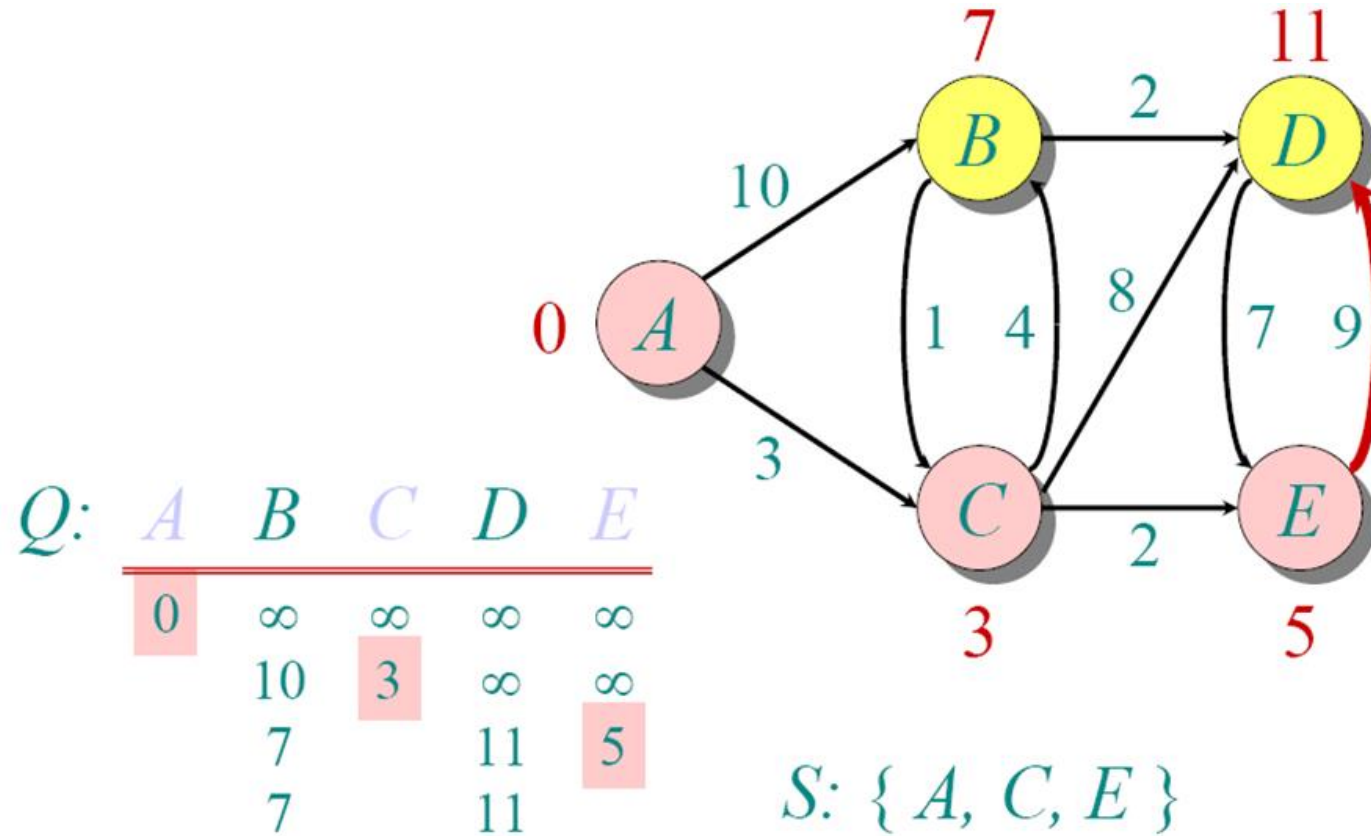
# Dinamik Yönlendirme örnek: Dijkstra (En Kısa yol Algoritması)



# Dinamik Yönlendirme örnek: Dijkstra (En Kısa yol Algoritması)

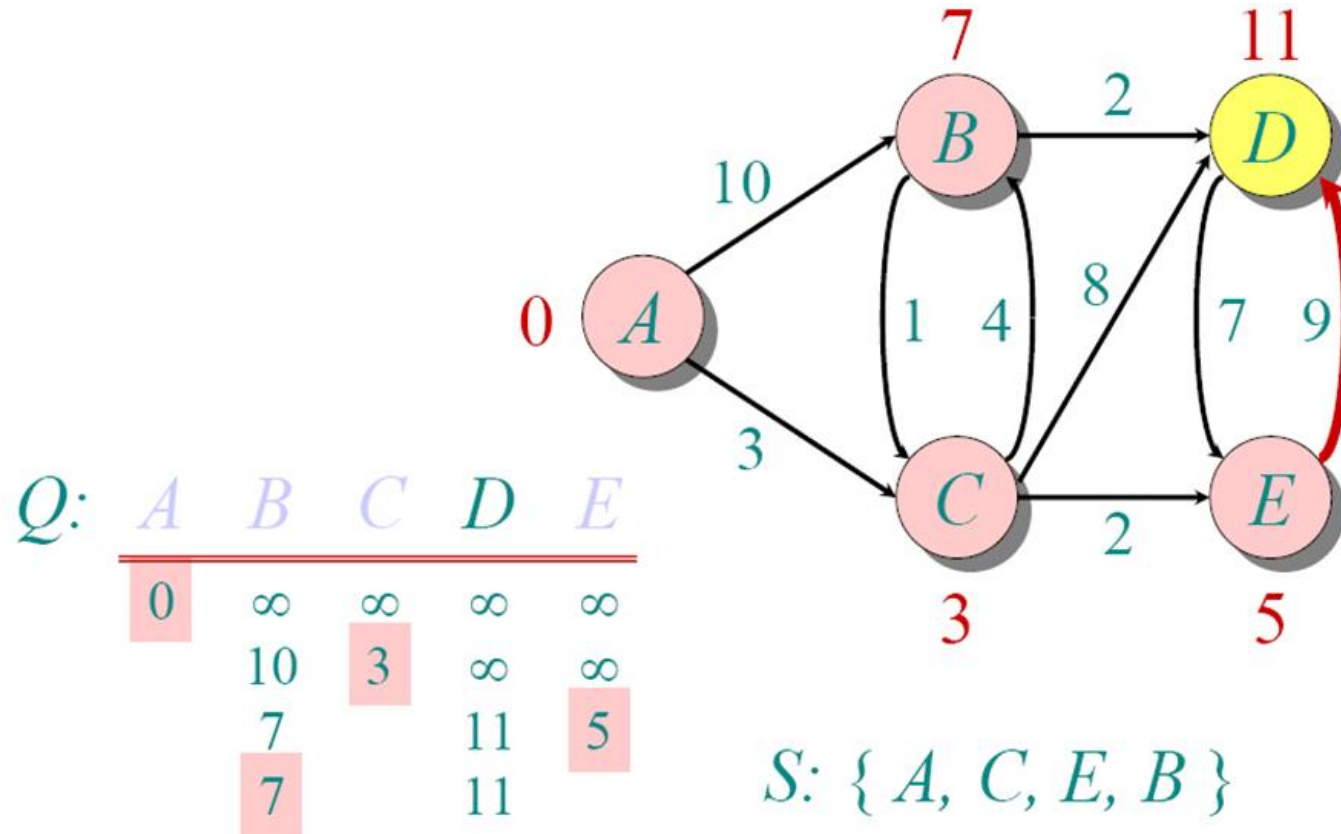


# Dinamik Yönlendirme örnek: Dijkstra (En Kısa yol Algoritması)

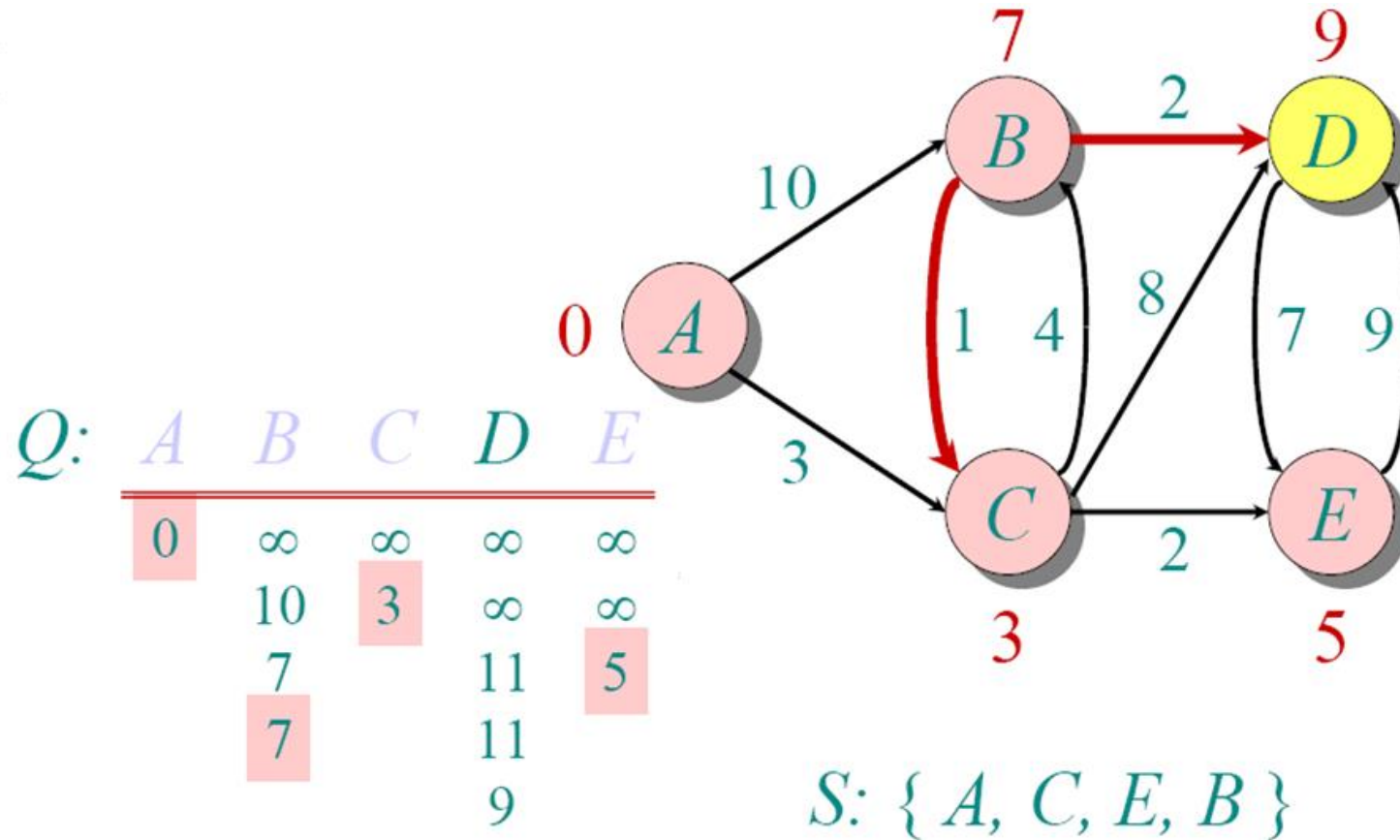




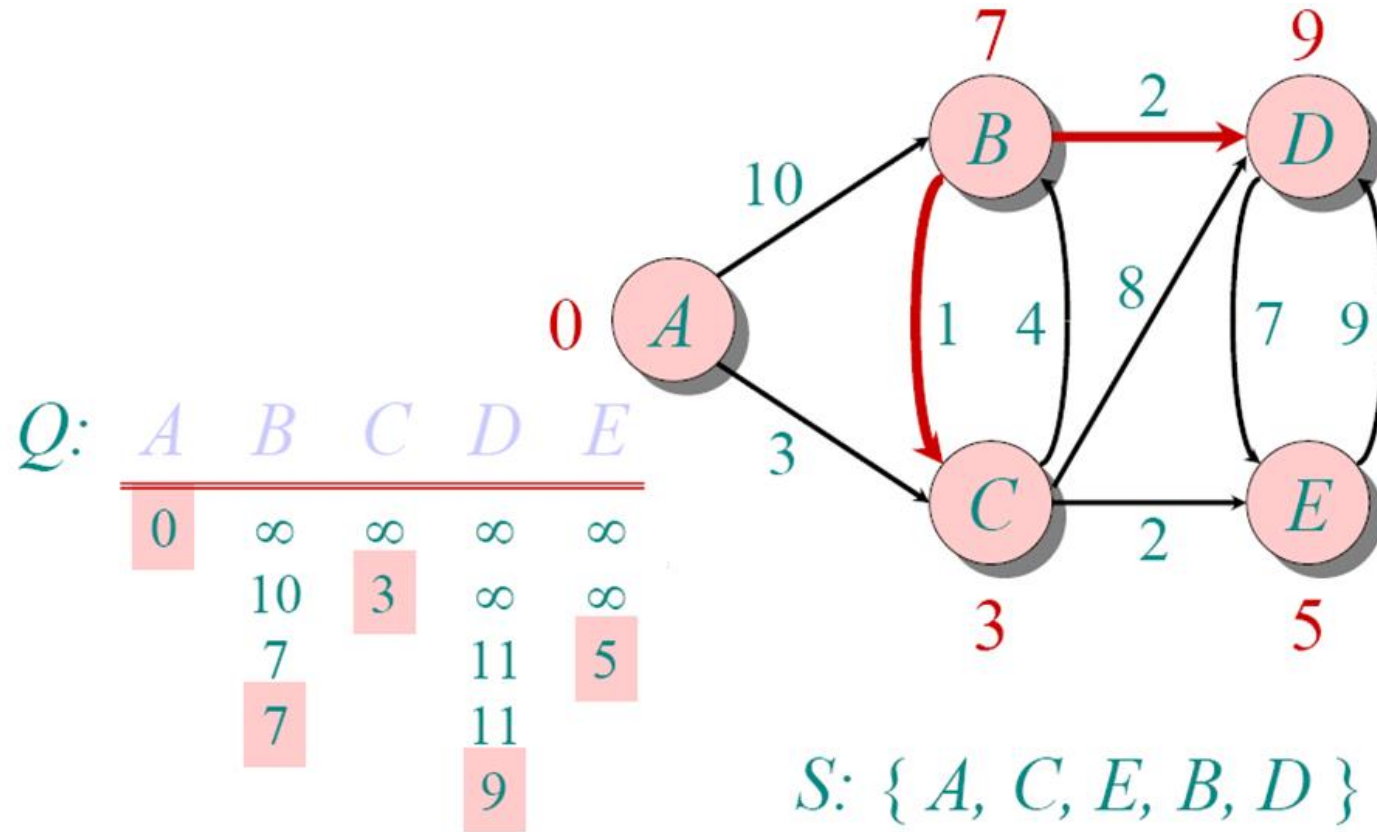
# Dinamik Yönlendirme örnek: Dijkstra (En Kısa yol Algoritması)



# Dinamik Yönlendirme örnek: Dijkstra (En Kısa yol Algoritması)



# Dinamik Yönlendirme örnek: Dijkstra (En Kısa yol Algoritması)<



# Graf Boyama (Graph Coloring)

---

- ☐ Bir kaynak-hedef çifti için bir yol belirlendikten sonra dalgaboyu ataması nasıl yapılabilir?
- ☐ Aynı fiberden (fiziksel bağlantıdan) geçen iki ışıkyolu farklı dalgaboylarına atanmalı.
- ☐ Mümkün olduğunca az dalgaboyu kullanımı

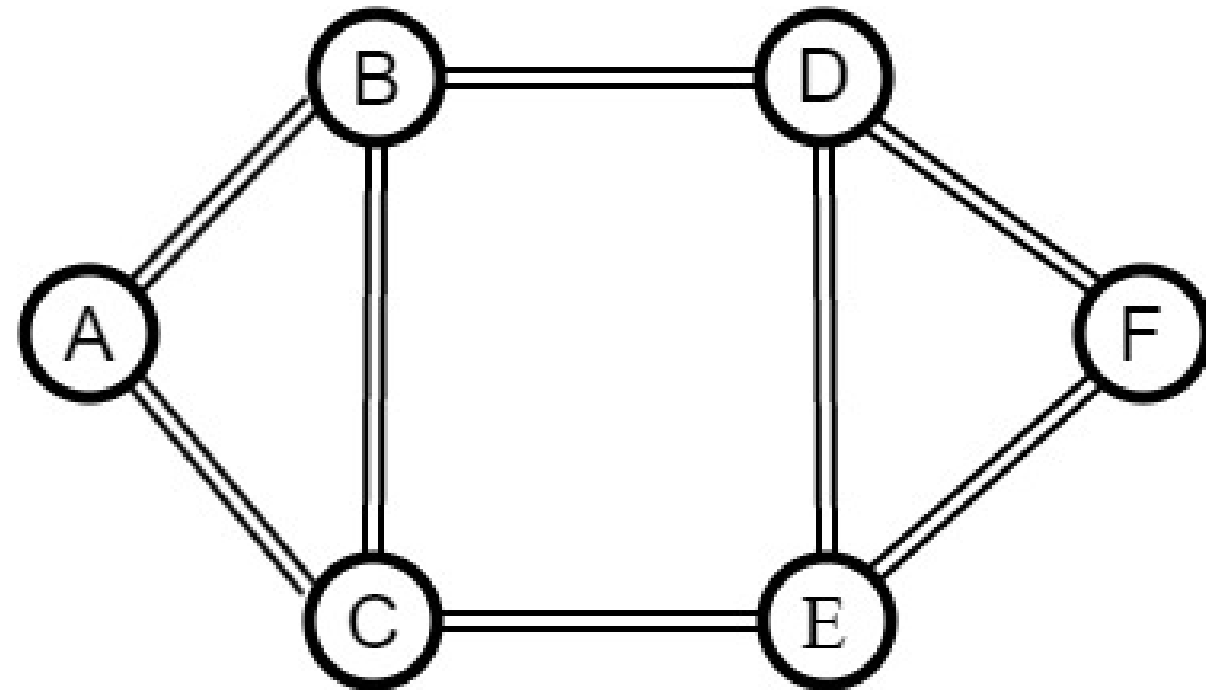
# Graf Boyama

---

- A. Verilen Işık yollarını numaralandırma
- B. Yardımcı graf
  - 1. \*Herbir ışık yolu için bir düğüm
  - 2. \*Aynı fiberden geçen ışık yollarına ait düğümleri birbirine bağla
  - 3. \*Derecesi en yüksek düğümden başla
  - 4. \*Komşu düğümler aynı renk olmayacak şekilde boya

# Graf Boyama

Fiziksel Topoloji ve Işıkyolu yönlendirmesi

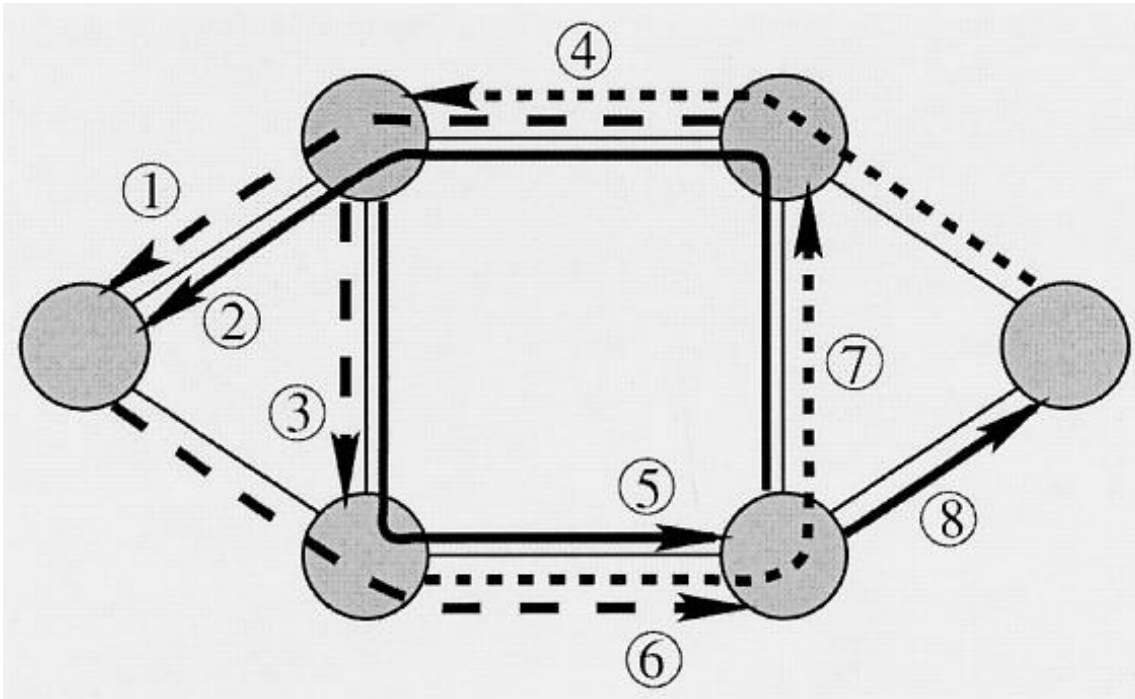


Trafik Talepleri

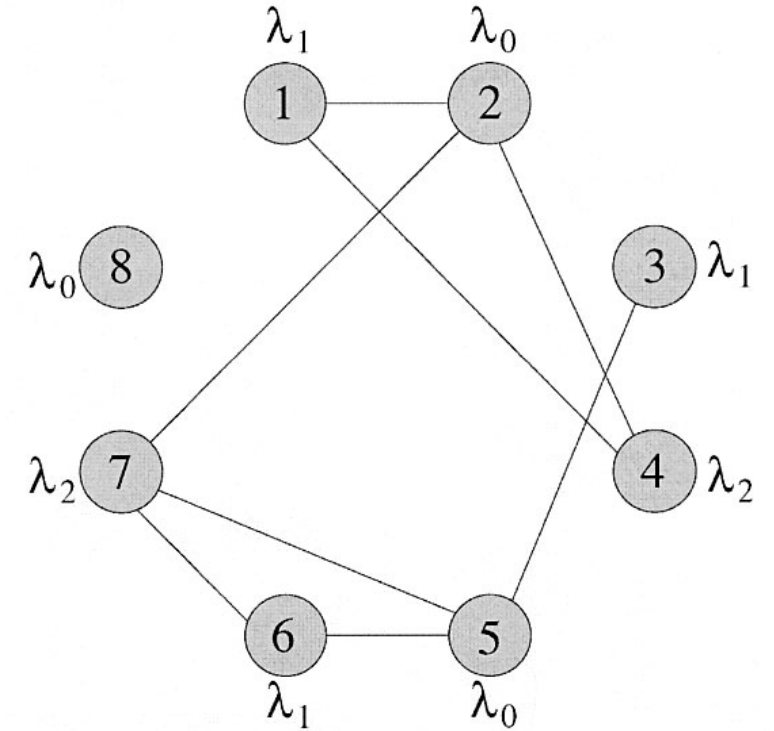
- 1-) D-B-A
- 2-) E-D-B-A
- 3-) B-C
- 4-) F-D-B
- 5-) B-C-E
- 6-) A-C-E
- 7-) C-E-D
- 8-) E-F

# Graf Boyama

Fiziksel Topoloji ve  
Işıkyolu yönlendirmesi

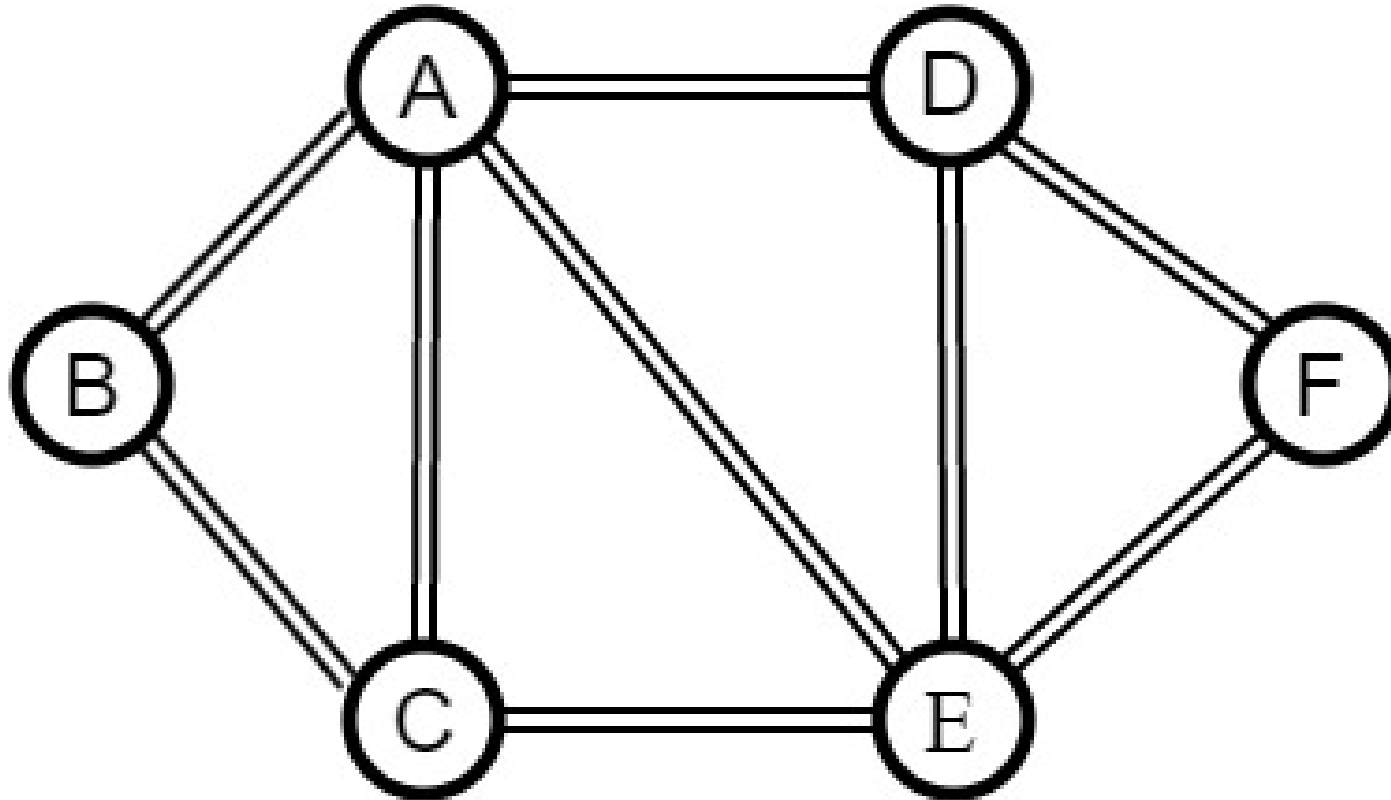


İlgili yardımcı graf ve  
dalga boyu ataması



# Graf Boyama- Ek Örnek

Fiziksel Topoloji ve Işıkyolu yönlendirmesi

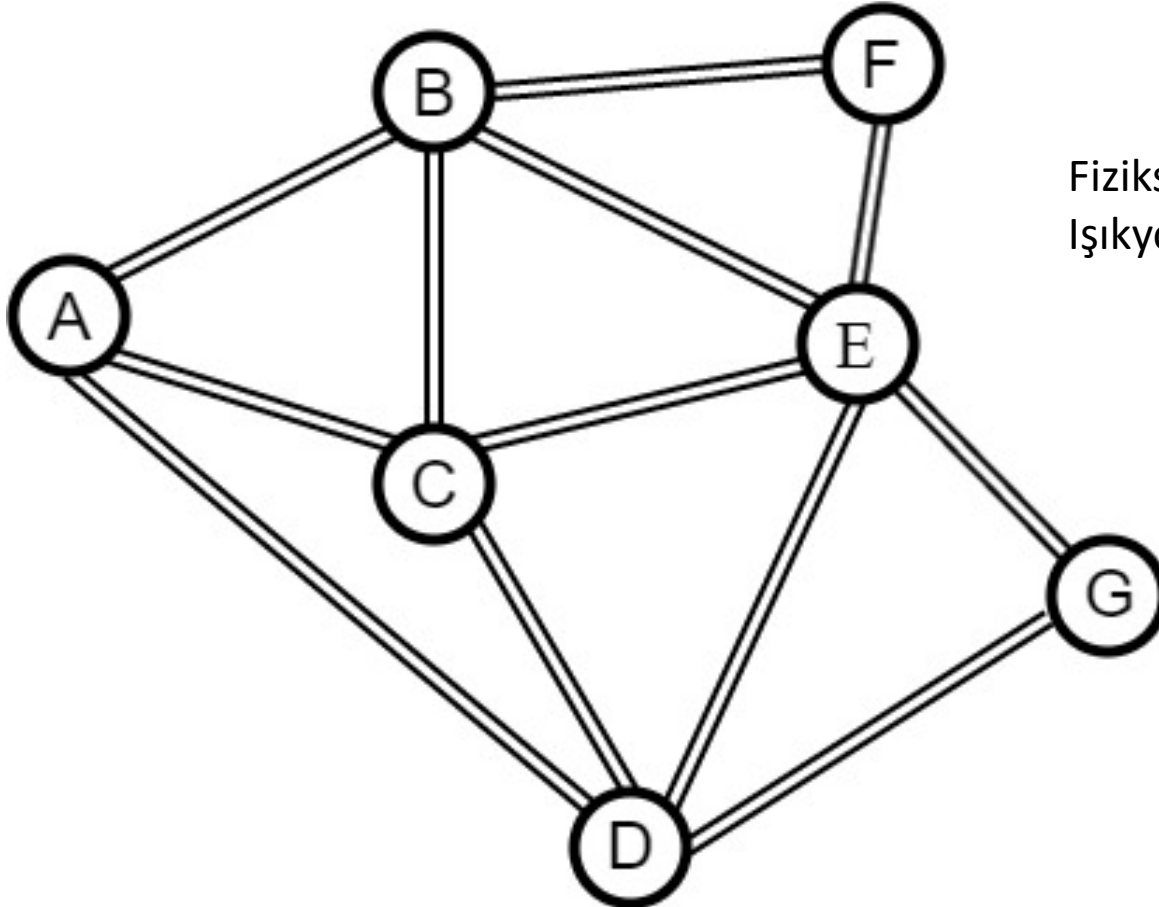


Trafik Talepleri

- 1-) B-A-D-F
- 2-) A-E-F
- 3-) F-E-C
- 4-) C-A-D
- 5-) B-C
- 6-) C-B-A
- 7-) D-F
- 8-) F-E-C-A
- 9-) A-D-E



# Graf Boyama- Kapasite sınırlı



Fiziksel Topoloji ve  
Işıkyolu yönlendirmesi

Trafik Talepleri (Herbir Fiber 2  
dalga boyu kapasiteye sahip)

1-) A-D

2-) B-C

3-) A-E

4-) D-F

5-) B-E

6-) G-F

7-) G-C

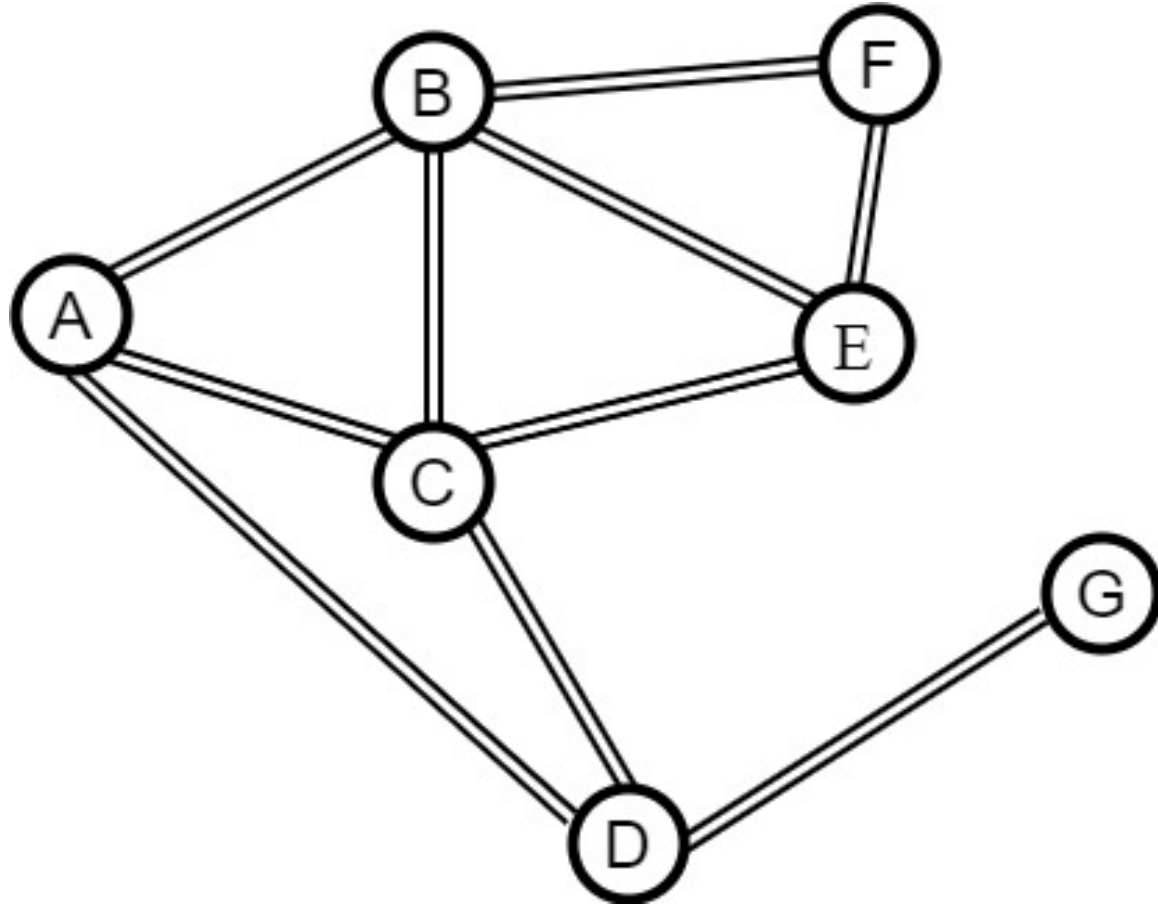
8-) B-G

9-) A-G

10-) C-F

11-) B-D

# Graf Boyama- Kapasite sınırlı



Fiziksel Topoloji ve  
Işıkyolu yönlendirmesi

Trafik Talepleri (Herbir Fiber 2  
dalga boyu kapasiteye sahip)

- 1-) A-D
- 2-) B-C
- 3-) A-E
- 4-) D-F
- 5-) B-E
- 6-) G-F
- 7-) G-C
- 8-) B-G
- 9-) A-G
- 10-) C-F
- 11-) B-D

Senaryo-2: G-E , D-E Fiberi koptu

- 12-) G-E(GDABE)
- 13-) F-D(FBACD)

# Dinamik dalgaboyu ataması

---

- ❑ Rastgele (Random)
- ❑ İlk-uyan (First-Fit)
- ❑ En-az-Kullanılan (Least-Used)
- ❑ En-çok-kullanılan (Most-Used)
- ❑ Min-Çarpım (Min-Product)
- ❑ En-az-Yüklü (Least-Loaded)
- ❑ Maks-Toplam (Max-Sum)
- ❑ Göreceli kapasite kaybı (Relative-capacity loss)
- ❑ Dağıtılmış Göreceli kapasite kaybı (Distributed Relative Capacity Loss)
- ❑ Dalgaboyu rezervasyon (Wavelength reservation)
- ❑ Eşiği koruma (Protecting threshold)

# Örnek

❑ Rastgele:

$\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  (Kullanılabilir olanlardan)

❑ İlk-uyan: İndisi en küçük olan

$\lambda_0$

❑ En-çok-Kullanılan:

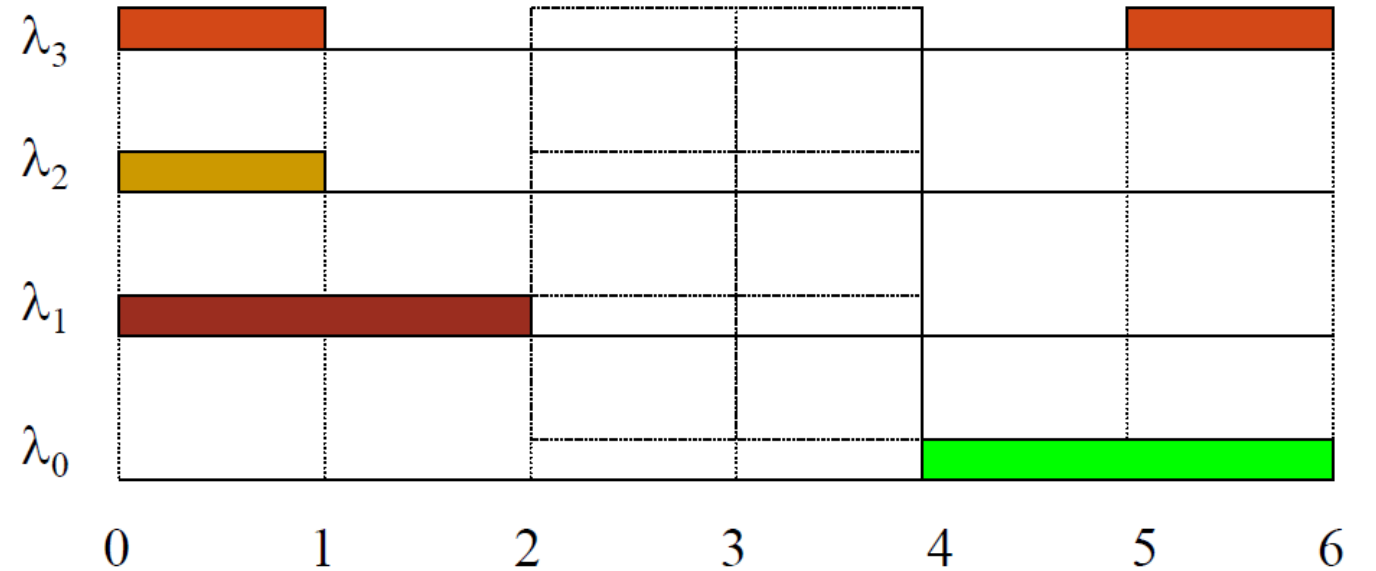
$\lambda_0, \lambda_1, \lambda_3$  (Rasgele biri)

❑ En-az-kullanılan:

$\lambda_2$  (En az fiberde kullanılan)

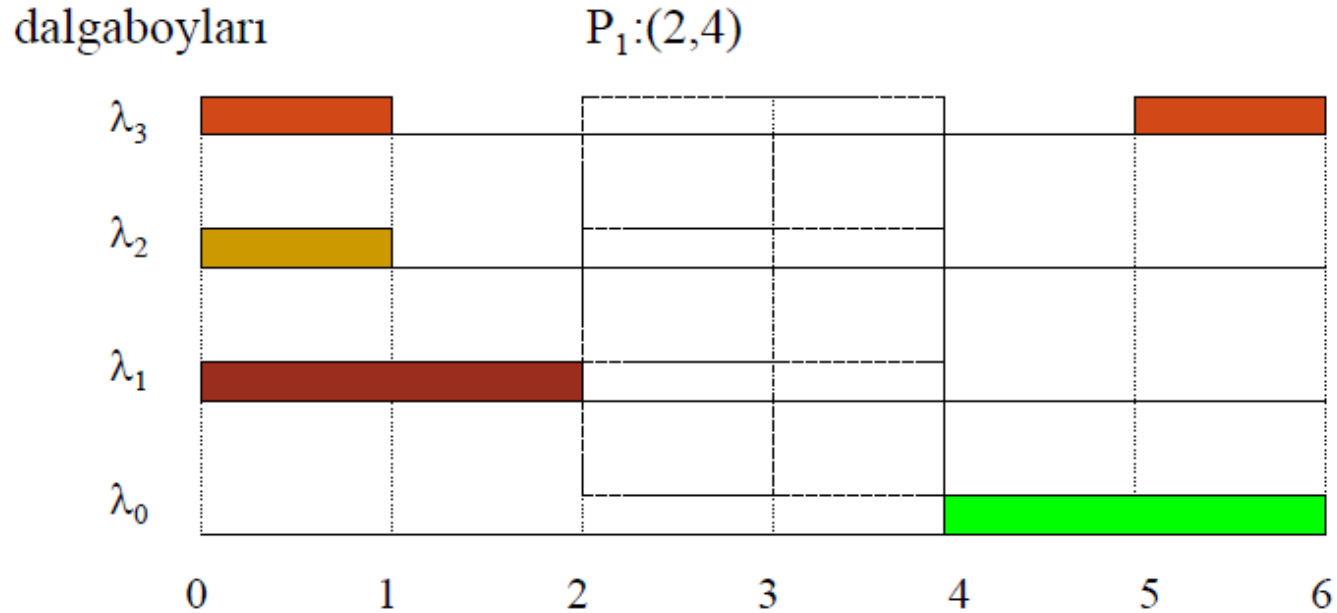
Dalgaboyları

$P_1:(2,4)$



❑ Yeni bir talep geldiği zaman (1-6 arası) , eğer 2-4 arasındaki trafiğe  $\lambda_2$ ' yi atamış olsa idik kullanacağımız dalgaboyu kalmazdı

# Maks-Toplam hesaplanması



- Seçilen dalgaboyları:  $\lambda_0$ ,  $\lambda_1$ , veya  $\lambda_3$
- Zaaf: (2-4) için  $\lambda_0$  seçilirse (0-3) talebi için başka dalgaboyu kalmaz.

\*Kullanılabilir dalgaboyları **engellenirse** 1 yazılır.

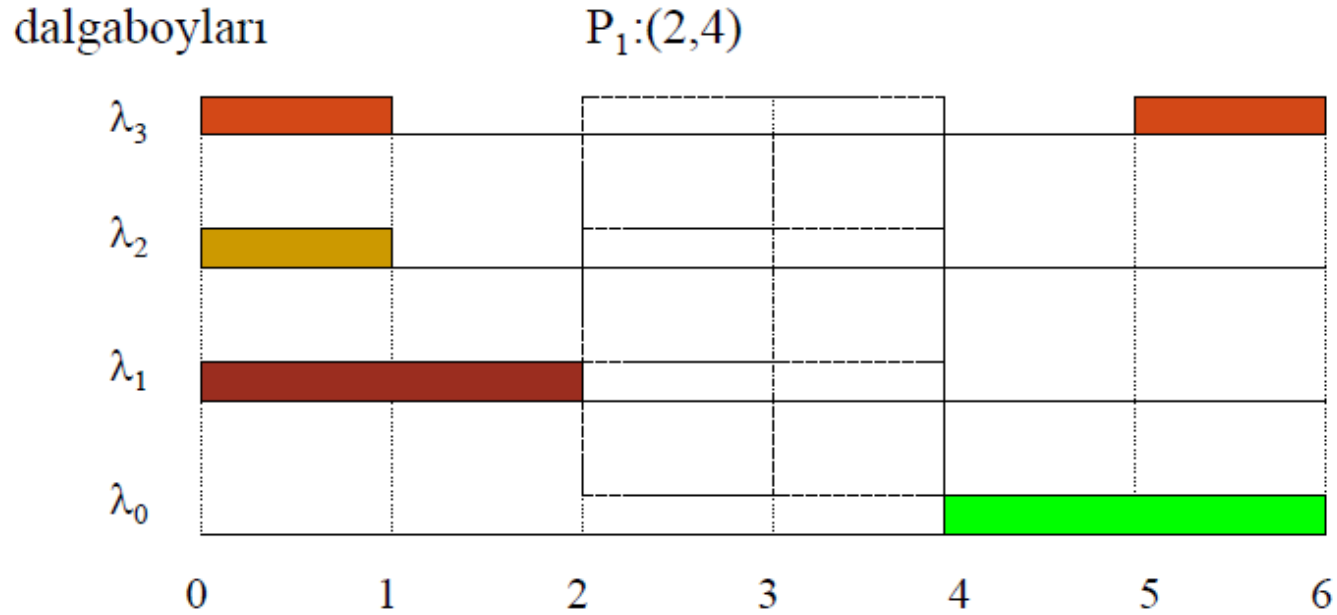
\*WPC: dalgaboyu yol kapasitesi  
(Wavelength-path capacity)

\* $P_1:(2,4)$  arasında **kullanılabilir** dalgaboyları yazılır

\* $P_2$ - $P_3$ - $P_4$  Gelecekteki muhtemel talepler

Kullanılabilir Dalgaboyları	$P_2:(1,5)$	$P_3:(3,6)$	$P_4:(0,3)$	Toplam WPC kaybı
$\lambda_3$	1	0	0	1
$\lambda_2$	1	1	0	2
$\lambda_1$	0	1	0	1
$\lambda_0$	0	0	1	1

# Göreceli kapasite kaybı (RCL-Relative capacity loss)

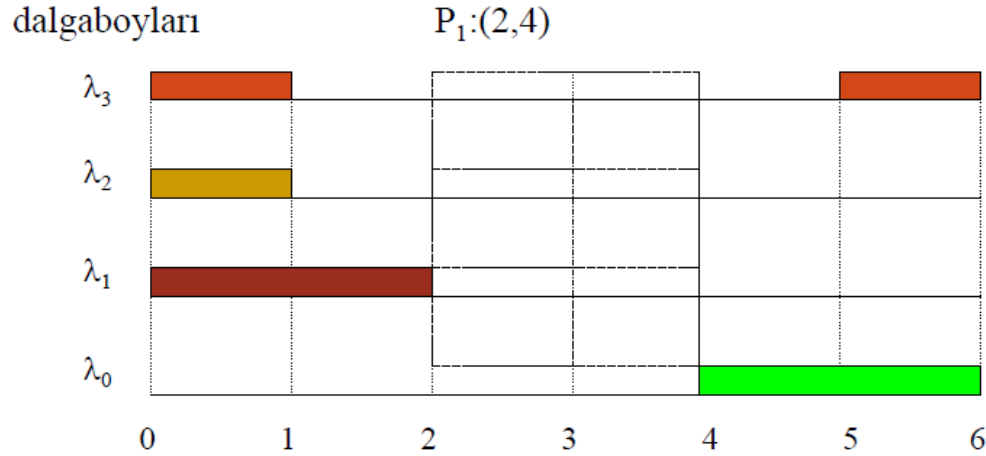


\*Kullanılabilir dalgaboyları engellenirse yüzdesi yazılır.

- Seçilen dalgaboyları:  **$\lambda_1$** , veya  **$\lambda_3$**

Dalgaboyu	P2:(1,5)	P3:(3,6)	P4:(0,3)	Toplam RCL kaybı
<b><math>\lambda_3</math></b>	<b><math>\frac{1}{2}=0.5</math></b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.5</b>
<b><math>\lambda_2</math></b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b><math>\lambda_1</math></b>	<b>0</b>	<b>0.5</b>	<b>0</b>	<b>0.5</b>
<b><math>\lambda_0</math></b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

# Dağıtılmış Göreceli kapasite kaybı (DRCL-Distributed Relative Capacity Loss)



\* DRCL, gelen bağlantı isteğinin kaynak düğümünden ağdaki diğer tüm düğümlere giden tüm yolları dikkate alır,  
(gelen bağlantı isteğinin hedef düğümü hariç)

\*Kullanılabilir dalgaboyları engellenirse yüzdesi yazılır.

Dalgaboyu	(2,0)	(2,1)	(2,3)	(2,5)	(2,6)	Toplam DRCL kaybı
$\lambda_3$	0	1/3	1/4	1/3	0	11/12
$\lambda_2$	0	1/3	1/4	1/3	1/2	17/12
$\lambda_1$	0	0	1/4	1/3	1/2	13/12
$\lambda_0$	1	1/3	1/4	0	0	19/12

- Seçilen dalgaboyu:  $\lambda_3$