
PROJE TAKVİM YÖNETİMİ - 1

Kritik Yol Metodu

(Critical Path Method - CPM)

Proje Yönetimi Yaşam Döngüsü (Project Management Life Cycle)

Proje Yönetimi

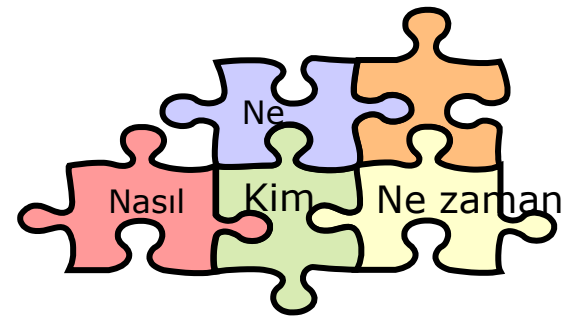
□ ZAMAN ve

□ KAYNAK

Para, Yöntem, Ekip, Ekipman, Malzeme

(5M : Money, Method, Men, Machinery, Material)

Zaman ve Kaynak kısıtlamaları dahilinde
proje hedeflerine ulaşma yöntemidir.



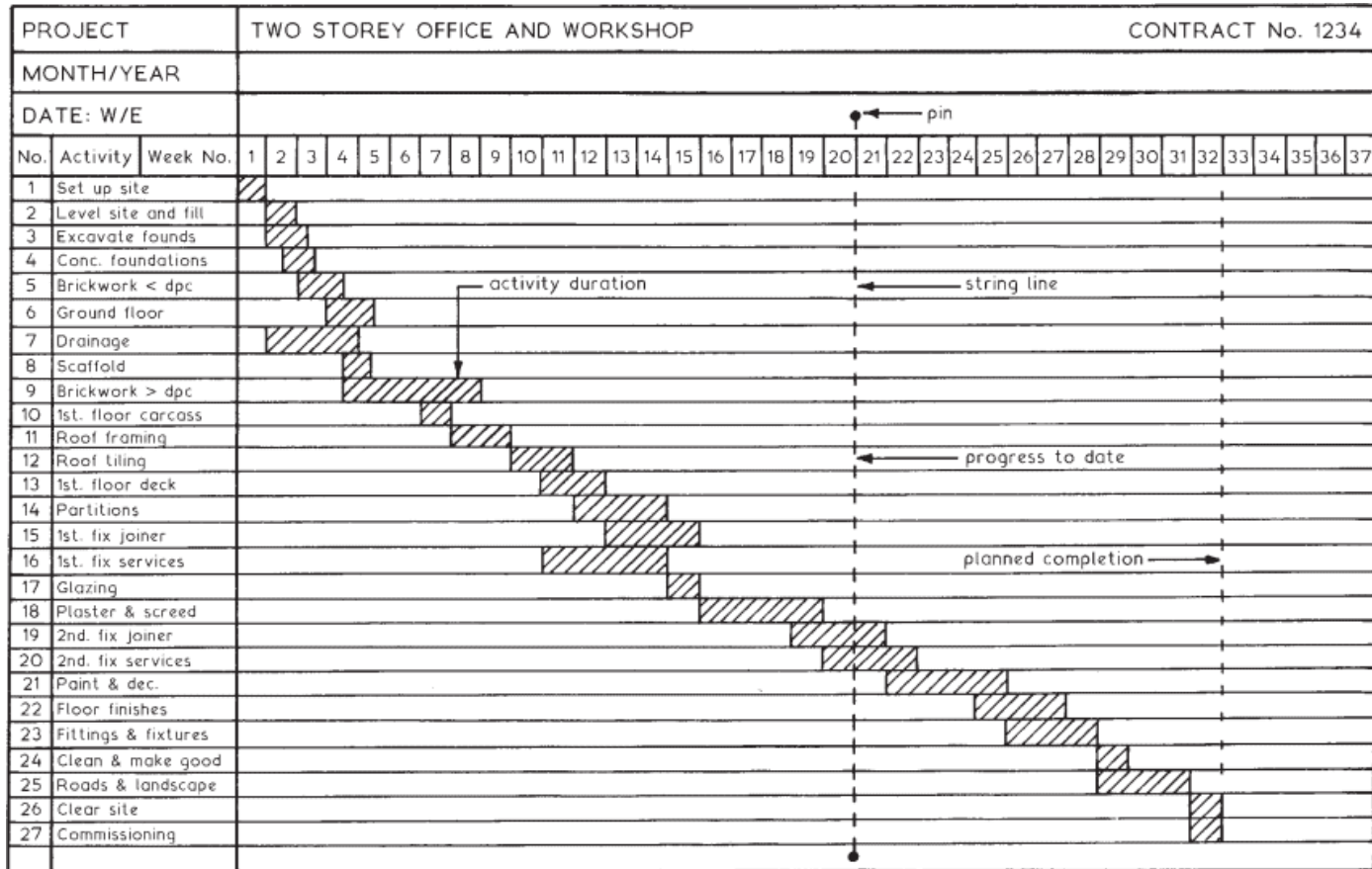
İnşaat projesinin planlanması 4 sorunun cevabını vermeyi hedefler:

1. **Ne yapılacak?** (iş = aktivite = faaliyet)
 2. **İşler nasıl yapılacak?** (metotlar)
 3. **Her işi kim(ler), kaç, hangi malzemelerle, hangi ekipmanlarla yapacak?** (kaynaklar)
 4. **İşler ne zaman yapılacak?** (sıralama ve zamanlama)
-

PROJE PLANLAMA TEKNİKLERİ

- Çubuk Gösterimi (Bar Charts / Gantt Charts)
 - İş Ağı (Ağ Diagramı) Analiz Sistemleri
(Network Analysis Systems);
 - **Kritik Yörünge Metodu** (Critical Path Method – CPM)
 - İşlerin Oklarla Gösterimi (Activity on Arrow)
 - İşlerin Kutularda Gösterimi (Activity on Node)
 - **Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği**
Program Evaluation and Review Technique (PERT)
-

Çubuk Gösterimi (Bar Charts / Gantt Charts)



Kritik Yol Metodu (Critical Path Method - CPM)

- ❑ İlk çalışmalar 1957 yılında İngiltere'de başlamıştır.
 - ❑ İlk defa "CPM" olarak 1958 yılında Dupont firması yatırımlarının planlanması ve kontrolünde kullanmıştır.
-

Kritik Yol Metodu (Critical Path Method - CPM)

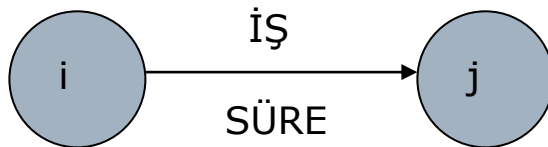
Kritik İşler ;

- ❑ Eldeki kaynaklar çerçevesinde süresi kısaltılamayan işlerdir.
 - ❑ Herhangi birindeki gecikme, tüm projeyi geciktirir.
 - ❑ Projenin başlangıcından sonuna kadar kesintisiz bir zincir oluştururlar.
-

CPM SÖZLÜĞÜ

İŞ (Aktivite, Faaliyet)

- Projenin tamamlanması için gereken bir görevin gerçekleşmesi
Örneğin: Temellerin tasarlanması; tasarımların gözden geçirilmesi, vs.
- Her bir iş için belli bir **zaman ve para (maliyet)** gerekir.
- Her işin **Başlangıç ve Bitiş (AÇMA ve KAPAMA)** zamanı vardır.



OK DİYAGRAMI
(ARROW DIAGRAM)

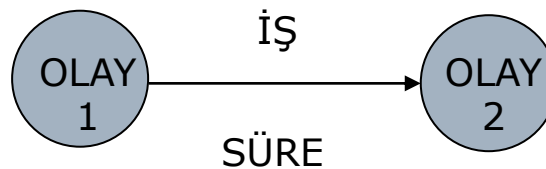


ÖNCELİK DİYAGRAMI
(PRECEDENCE DIAGRAM)

CPM SÖZLÜĞÜ

□ Olay (event):

Bir işin AÇMA (Başlangıç) ve KAPAMA (Bitiş)
anlarını gösterir



CPM SÖZLÜĞÜ

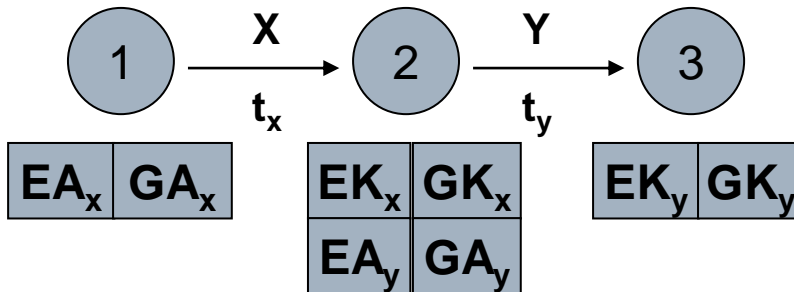
- ❑ **Süre - t (Duration - D) :**
Bir işin yapılması için gereken zaman.
 - ❑ **Erken Açma - EA (Early Start - ES) :**
Bir işin başlayabileceği en erken zaman.
 - ❑ **Erken Kapama – EK (Early Finish - EF) :**
Bir işin bitebileceği en erken zaman.
 - ❑ **Geç Açma - GA (Late Start - LS) :**
Bir işin başlayabileceği en geç zaman.
 - ❑ **Geç Kapama - GK (Late Finish - LF) :**
Bir işin bitebileceği en geç zaman.
-

CPM SÖZLÜĞÜ

TB = Toplam bolluk (Total Float – TF) :

Projenin Tamamlanma Süresini arttırmadan bir işin gecikebileceği süre.

$$\text{TB}_x = \text{GA}_y - (\text{EA}_x + t_x) \quad \text{veya} \quad \text{TB}_x = \text{GA}_y - \text{EK}_x$$



E : ERKEN , G : GEÇ , A : AÇMA , K : KAPAMA

CPM SÖZLÜĞÜ

Toplam Bolluk - TB (Total Float - TF):

- Eğer bir işte **Toplam Bolluk** varsa o işin süresi toplam bolluk kadar uzatılabilir veya o işe toplam bolluk süresi kadar geç başlanabilir.

Bu kaydırmalar projenin tamamlanma süresini değiştirmez.

- Kritik işlerde **TB = 0** dır.
-

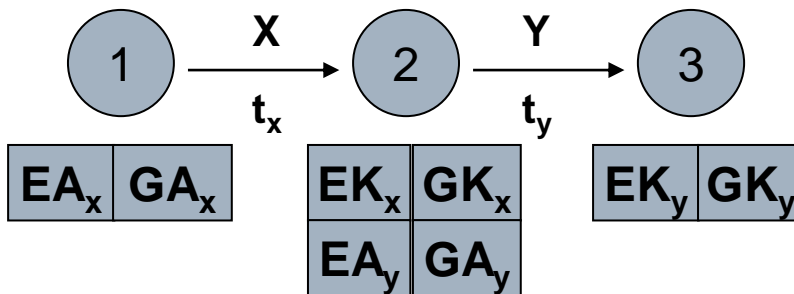
CPM SÖZLÜĞÜ

Serbest Bolluk - SB (Free Float - FF) :






Kendisinden sonraki işin en erken başlama süresini geciktirmeyecek şekilde bir işin toplam gecikebileceği süre

$$SB_x = EA_y - (EA_x + t_x) \text{ veya}$$

$$SB_x = EA_y - EK_x$$

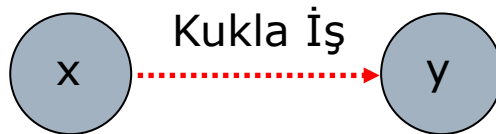


E : ERKEN , G : GEÇ , A : AÇMA , K : KAPAMA

	Ok Diyagramı (Activity on Arrow : A-o-A)	Öncelik Diyag. (Activity on Node : A-o-N)
İş (activity)		
Olay (event)		yok
Kukla (dummy)		yok
Akış çizgisi (flow line)	yok	

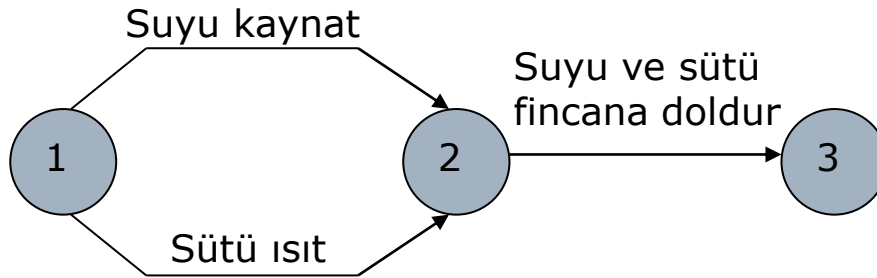
CPM SÖZLÜĞÜ

- ❑ **Kritik Yol (Critical Path):** İş Ağında Serbest ve Toplam Bollukları sıfır olan işlerden oluşan yol. Kritik yol projenin tamamlanması için gereken süreyi belirler.
- ❑ **Kukla İş (Dummy Activity):** Kukla işten sonraki bir iş, kukla işten önceki işler bitmeden başlayamaz. Kukla işin belli bir süresi veya kaynağı yoktur. Ok diyagramında **işlerin önceliklerini göstermek** için kullanılır.



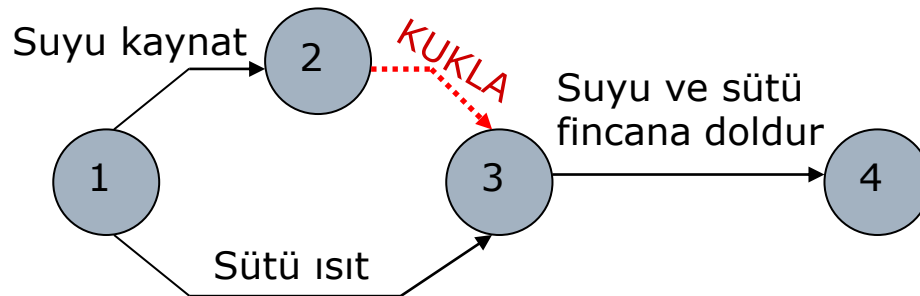
Tanımsal Kukla İş (Dummy Activity)

- ❑ İki veya daha fazla iş aynı başlangıç ve bitiş olaylarına sahip ise kullanılır.



YANLIŞ!!!!!!

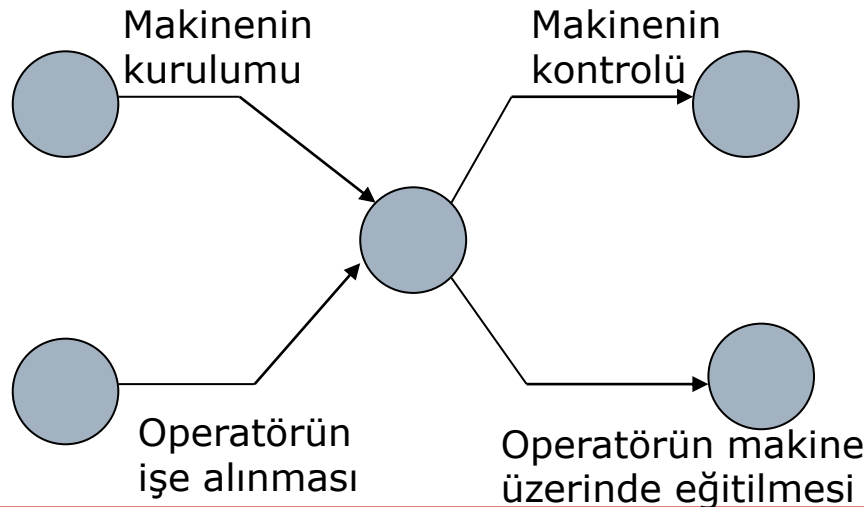
- ❑ İki Olay (event) arasında sadece bir iş bulunabilir.



DOĞRU✓✓✓

Mantıksal Kukla (Logic Dummy) iş

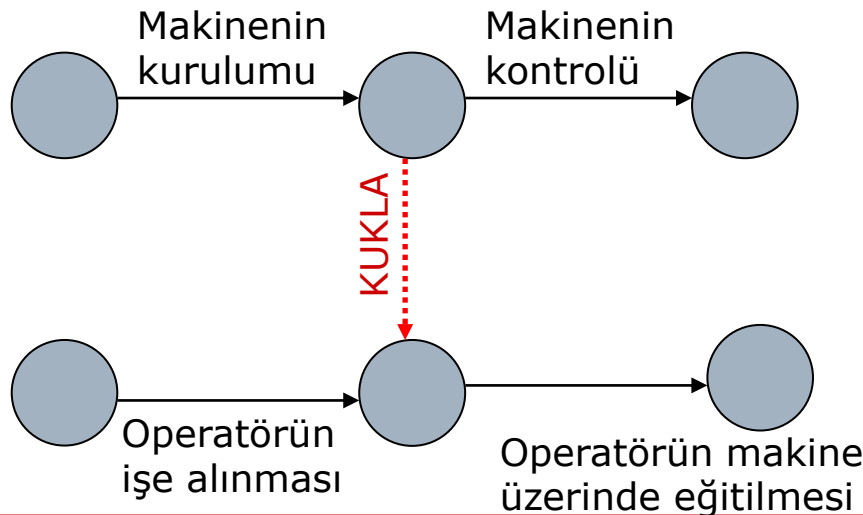
- ❑ Eğer birbirinden bağımsız iki iş zinciri arasında ortak bir olay (event) var ise istenmeyen bir mantık hatası doğabilir.
- ❑ **Örnek:** Yeni bir iş makinesi alınmıştır ve operatörün eğitilmesi gerekmektedir. Operatör çalışmaya başlar başlamaz ve iş makinesi kurulur kurulmaz, operatörün eğitimi de başlayacaktır. Eğitim iş makinesi kurulumunun hemen ardından başlayacak ve kontrolü için vakit harcanmayacaktır. Makinenin kontrolü ise iş makinesinin kurulumunun hemen ardından yapılacaktır.



YANLIŞ!!!!

Mantıksal Kukla (Logic Dummy) iş

- ❑ Eğer birbirinden bağımsız iki iş zinciri arasında ortak bir olay (event) var ise istenmeyen bir mantık hatası doğabilir.
- ❑ **Örnek:** Yeni bir iş makinesi alınmıştır ve operatörün eğitilmesi gerekmektedir. Operatör çalışmaya başlar başlamaz ve iş makinesi kurulur kurulmaz, operatörün eğitimi de başlayacaktır. Eğitim iş makinesi kurulumunun hemen ardından başlayacak ve kontrolü için vakit harcanmayacaktır. Makinenin kontrolü ise iş makinesinin kurulumunun hemen ardından yapılacaktır.

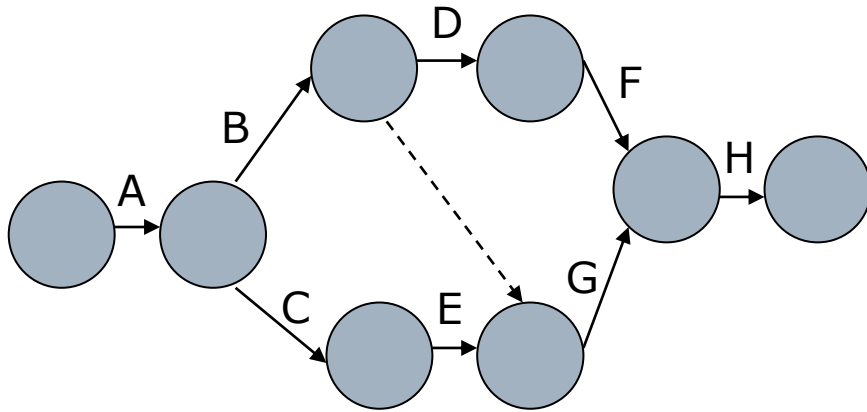


DOĞRU✓✓✓

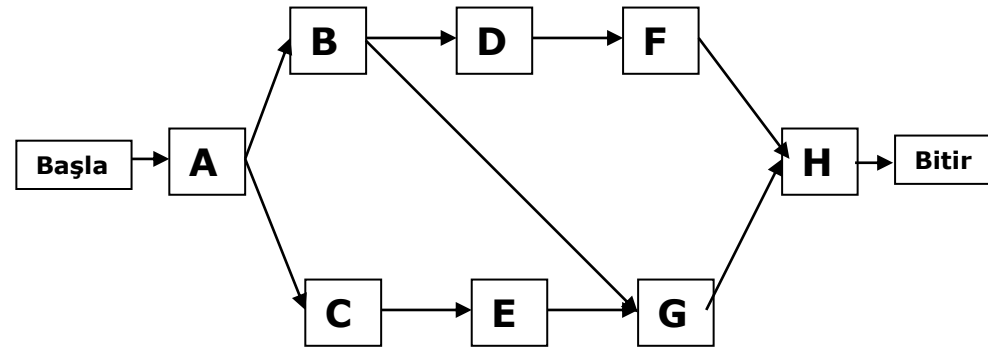
Makinenin kontrolü için operatörün işe alınması gerekmiyor.

Ağ (*network*) veya İş Ağı :

- ❑ İşler arasındaki ilişkileri gösteren diyagram



OK DİYAGRAMI



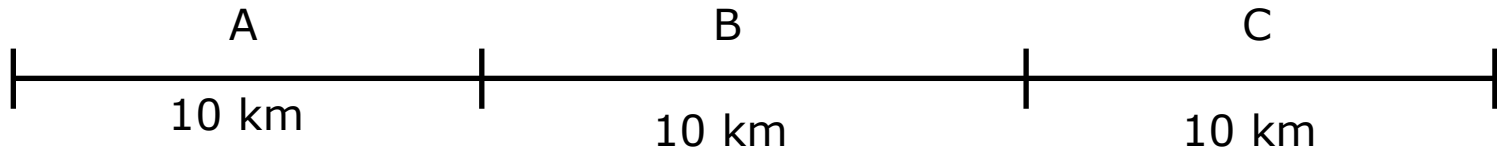
ÖNCELİK DİYAGRAMI

Ağ (*network*):

Mantıksal dizinin oluşturulması için 3 kritik soru sorulur:

1. Bir işin başlaması için hangi işin (işlerin) bitmesi gerekmektedir?
 2. Bir işin tamamlanması hangi işin (işlerin) başlaması için gereklidir?
 3. Bir iş ile paralel yürüyebilecek diğer işler nelerdir?
-

Örnek: Boru Döşeme Projesi

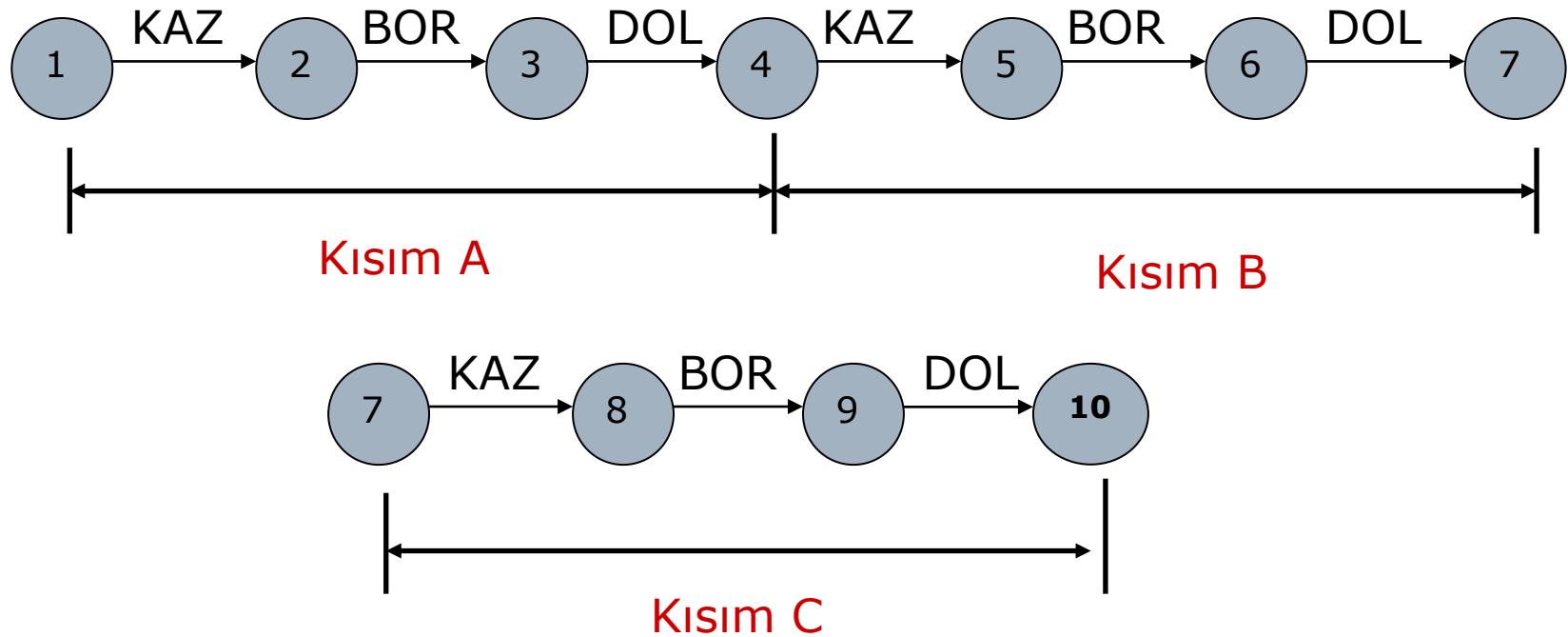


- ❑ 30 km.lik boru hattı döşenecektir.
- ❑ **VARSAYIM : Kazı yapmak, boru döşemek ve toprağı geri doldurmak için **birer** takım vardır.**
(Örneğın, kazı için bir kazı makinası ve bir sürücü)

Kısaltmalar:

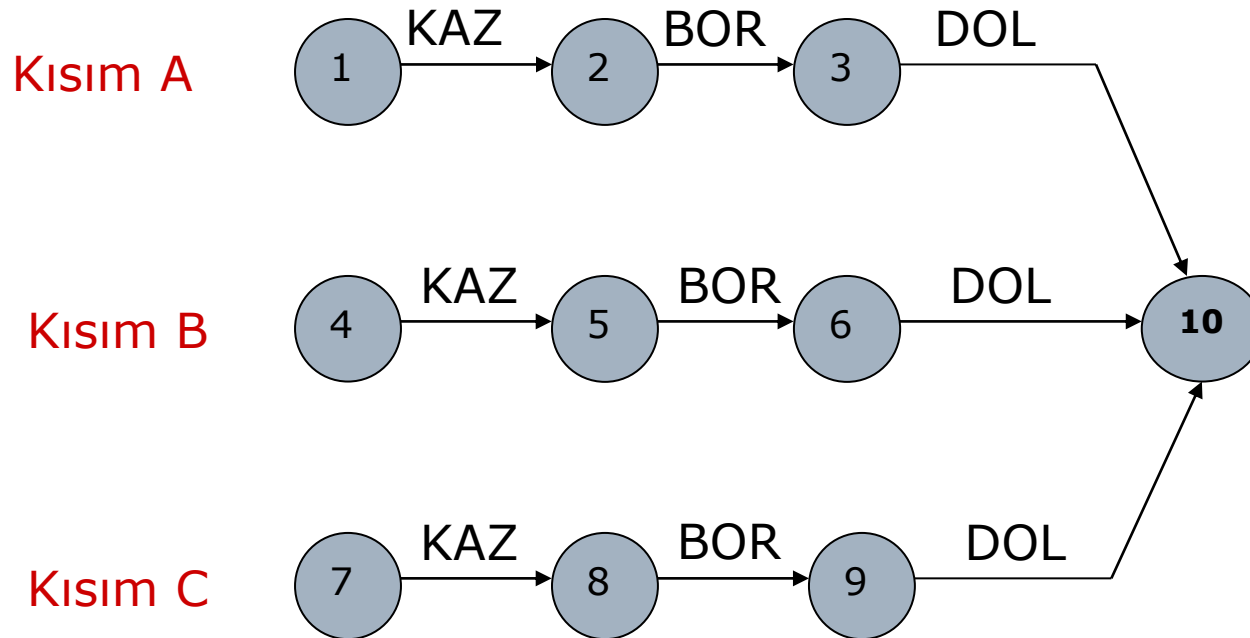
- ❑ KAZI YAPMAK: **KAZ**
 - ❑ BORU DÖŞEMEK: **BOR**
 - ❑ TOPRAĞI GERİ DOLDURMAK: **DOL**
-

Örnek: Seri Üretim



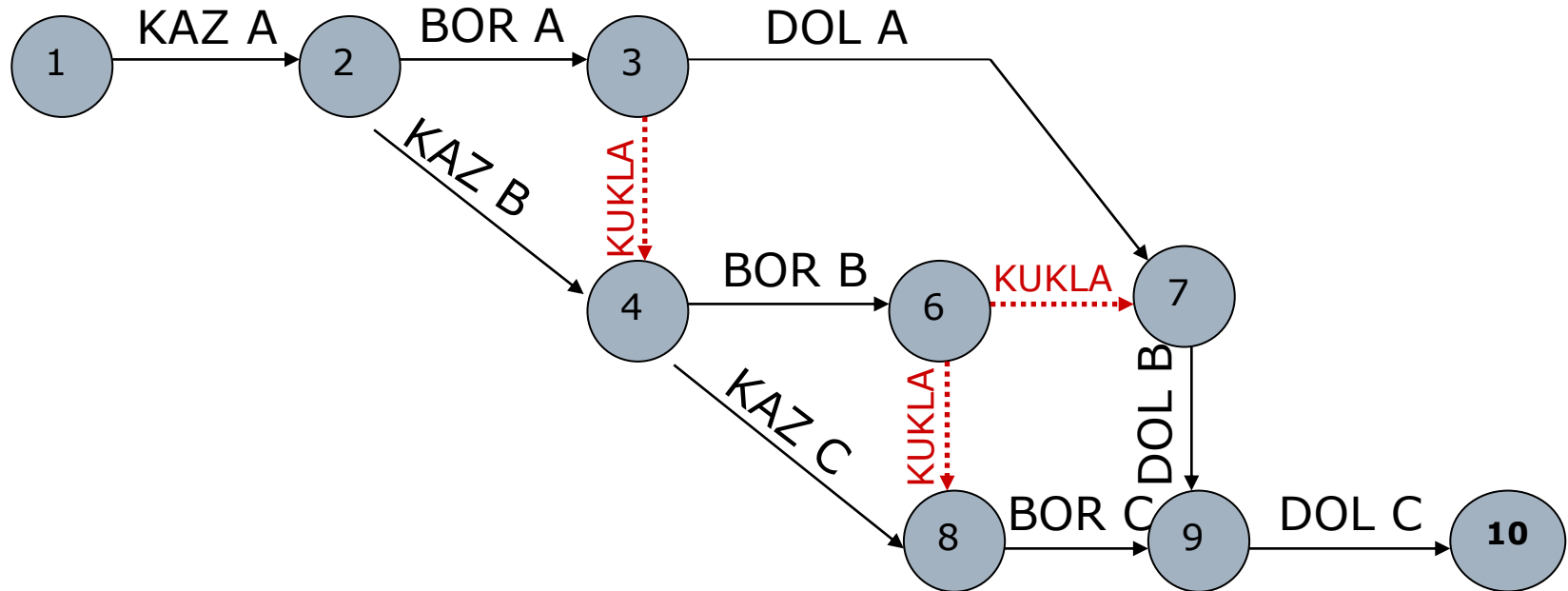
*** Eğer işler şekildeki gibi seri olarak sıralanırsa,
bir takım çalışırken diğer iki takımın beklemesi gerekir ***

Örnek: Paralel Üretim



*** Eğer işler şekildeki gibi paralel olarak sıralanırsa işler tamamlanamaz.
Çünkü, her iş için bölünemeyen tek bir takım var ***

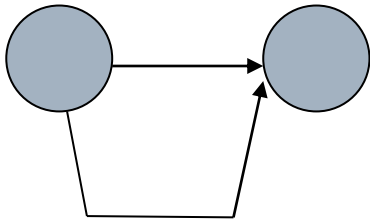
Örnek: Dönüşümlü Üretim



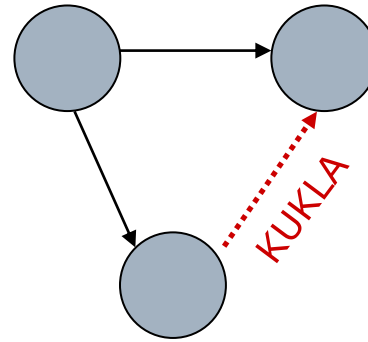
*** Kukla işler ile proje -olabilecek en kısa zamanda ve kaynakları en verimli biçimde kullanarak- tamamlanır ***

Ağ (Network) Oluşturma Kuralları

1. İki olay arasında sadece tek bir iş (ok) olur.



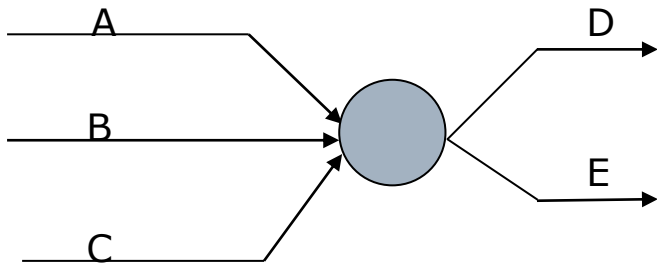
YANLIŞ!!!!!!



DOĞRU✓✓✓

Ağ (Network) Oluşturma Kuralları

2. İşler arasındaki bütün ilişkiler gösterilmelidir. Birbiriyle ilişkili iki iş arasındaki ilişkinin gösterilmemesi durumunda iş ağı (proje) doğru olarak analiz edilemez.

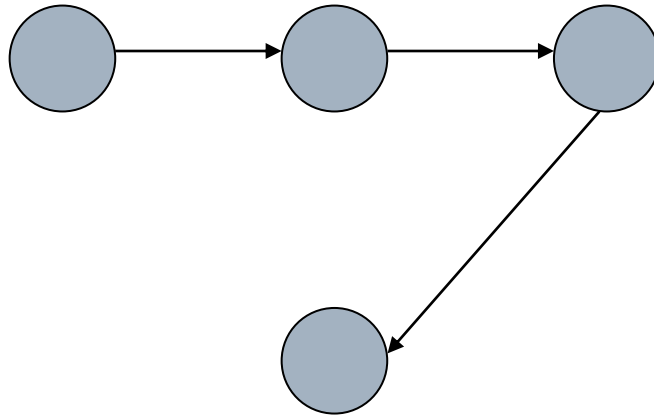


CPM MANTIĞI

*** A, B ve C işleri tamamlanmadan D ve E işleri başlayamaz ***

Ağ (Network) Oluşturma Kuralları

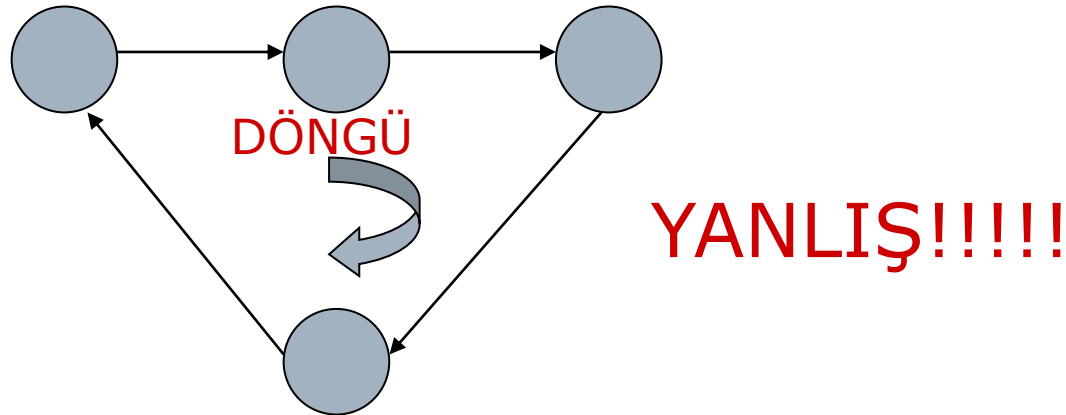
3. Bir ağda zaman akışı daima soldan sağa doğrudur.



YANLIŞ!!!!

Ağ (Network) Oluşturma Kuralları

4. Kısır döngü (loop) olmamalıdır.

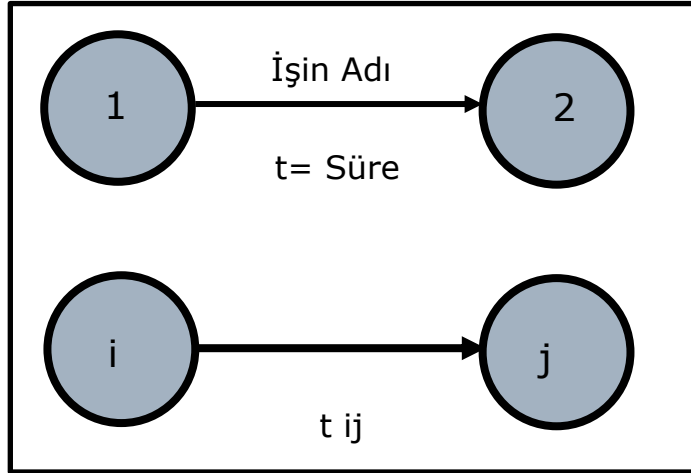


Ağ (Network) Oluşturma Kuralları

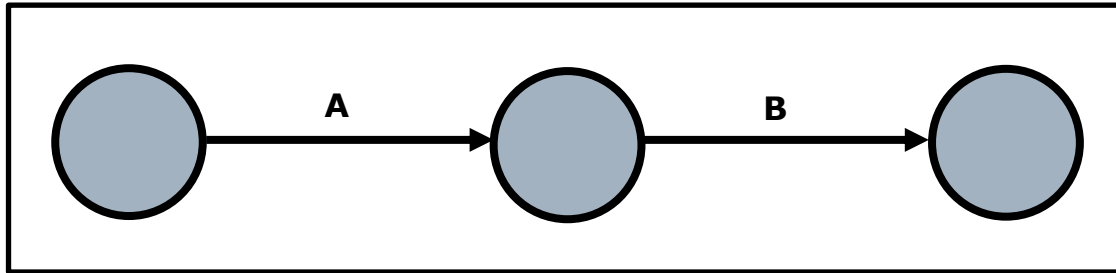
5. Oklar süreye bağlı olarak ölçekli çizilmez.
 6. Her olay ayrı ayrı numaralandırılır.
 7. Her iş için bir AÇMA (başlangıç) olayı
bir de KAPAMA (bitiş) olayı bulunmalıdır.
 8. Gereksiz kukla işlerden kaçınılmalıdır.
 9. Bir işin AÇMA (başlangıç) olayının numarası
KAPAMA (bitiş) olayının numarasından
daima küçük olmalıdır.
-

Ok diyagramı Gösterimi

a)

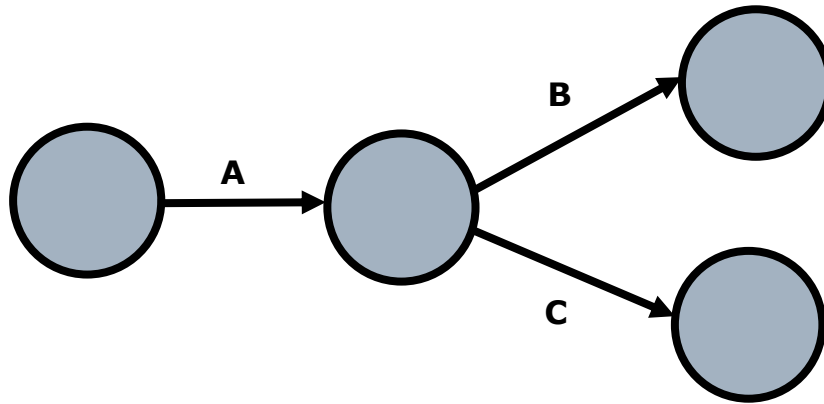


b)

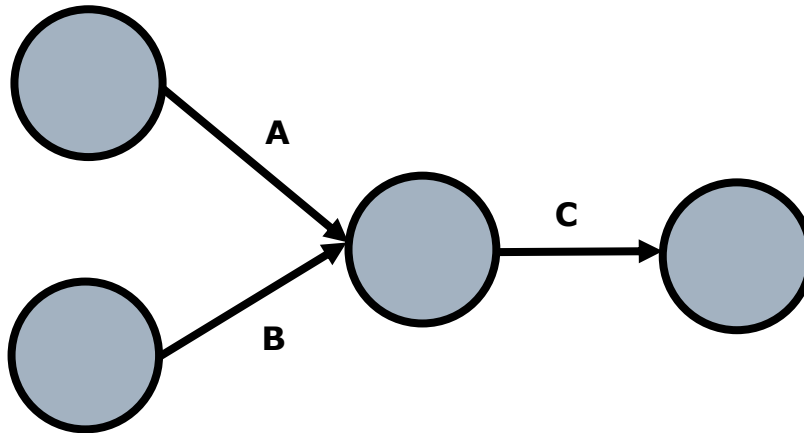


Ok diyagramı Gösterimi

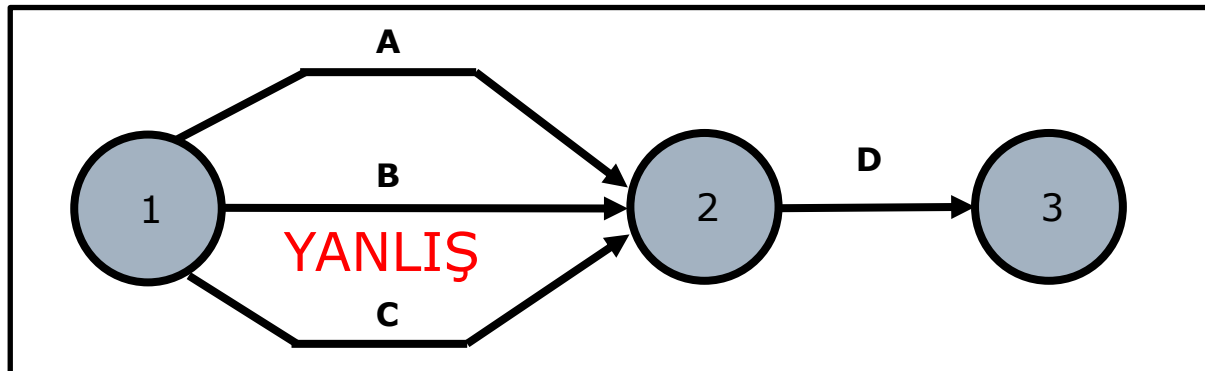
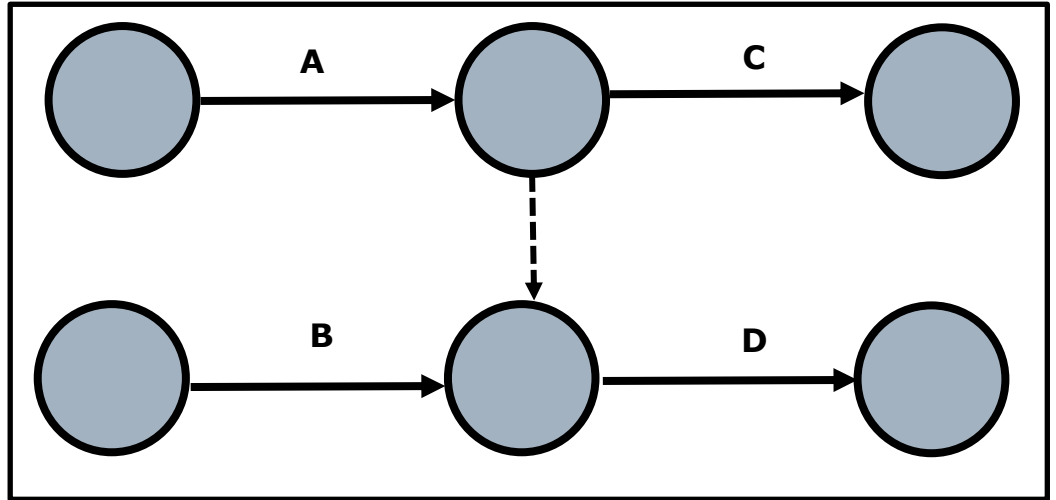
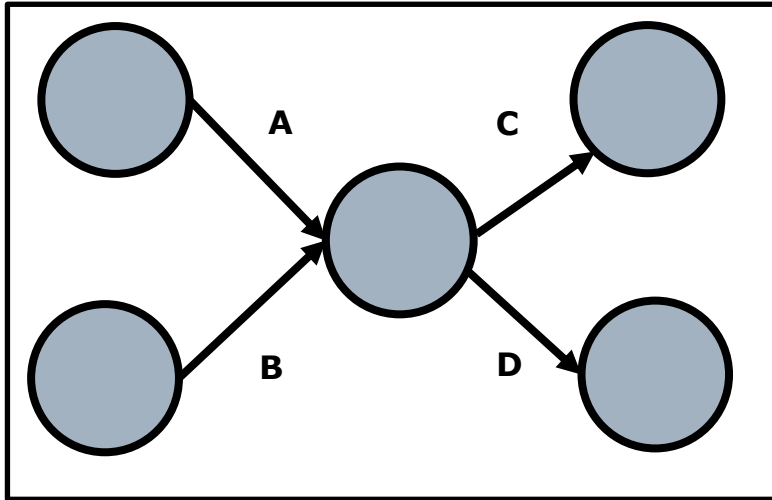
c)



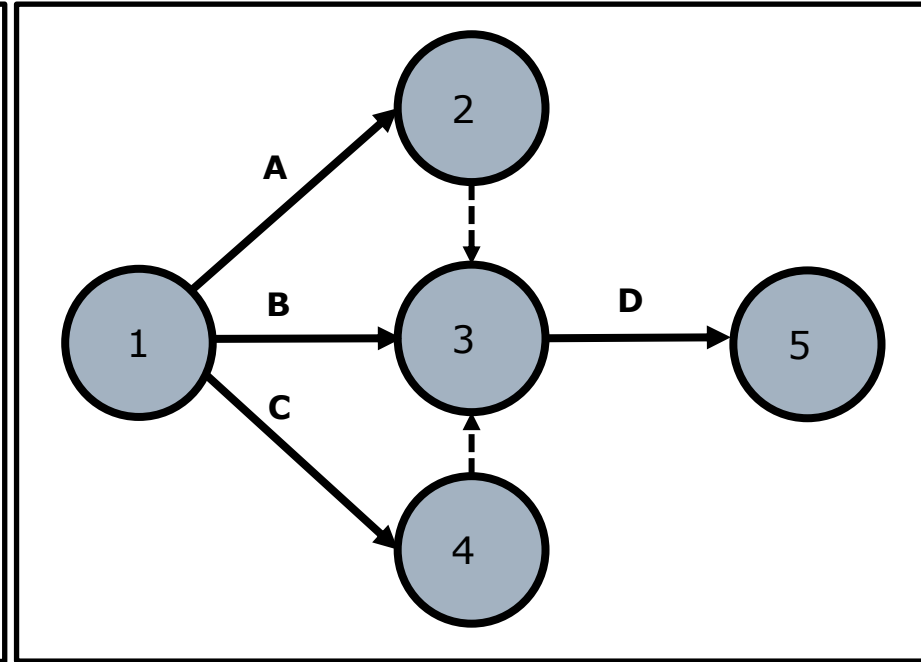
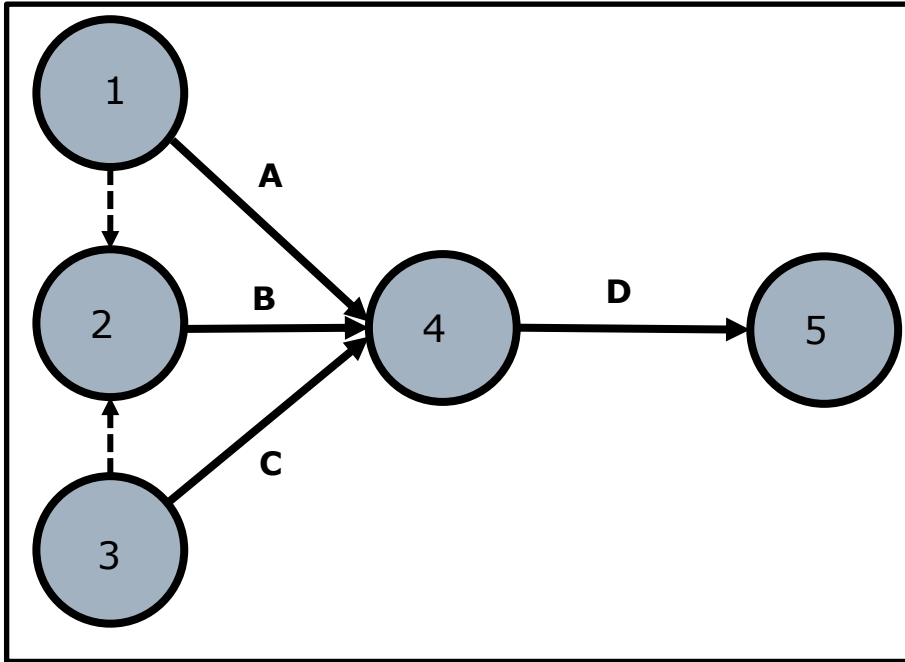
d)



Örnek İşler

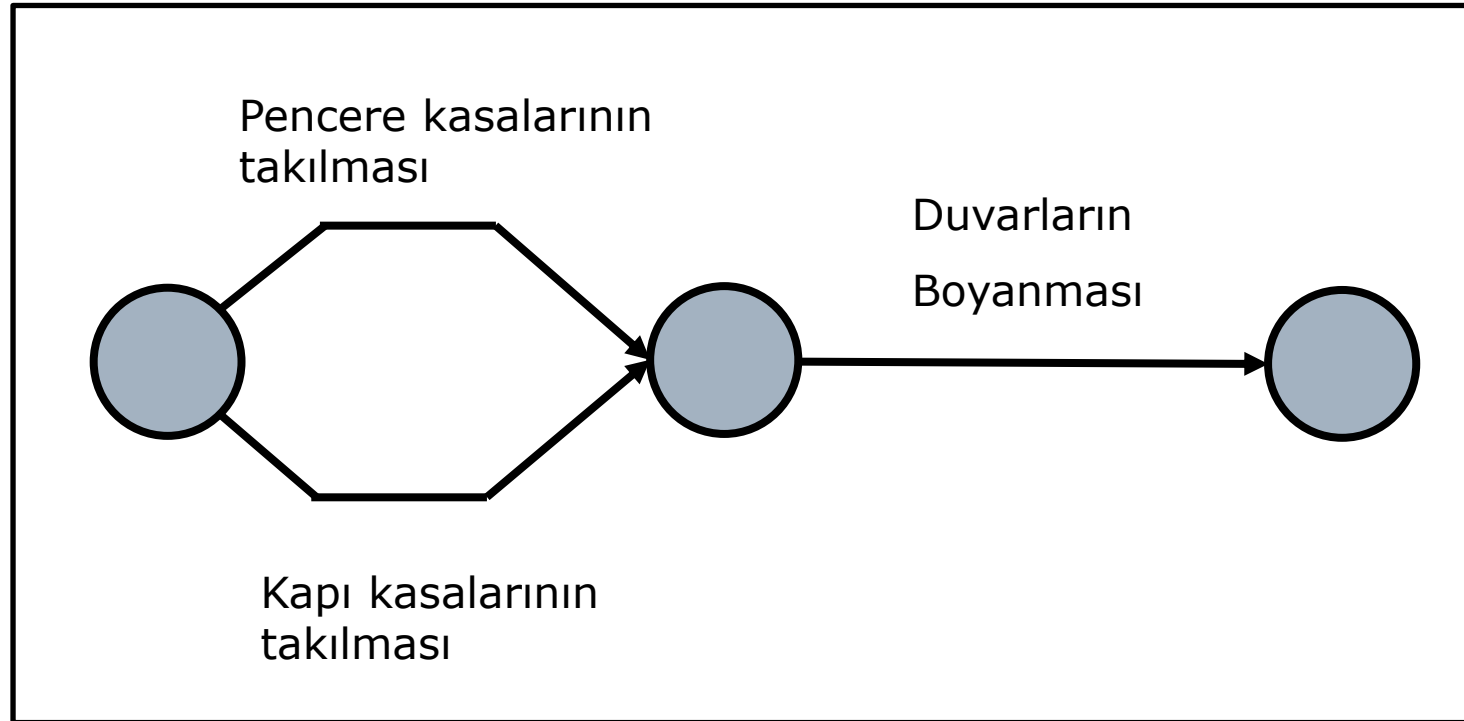


Örnek İşler

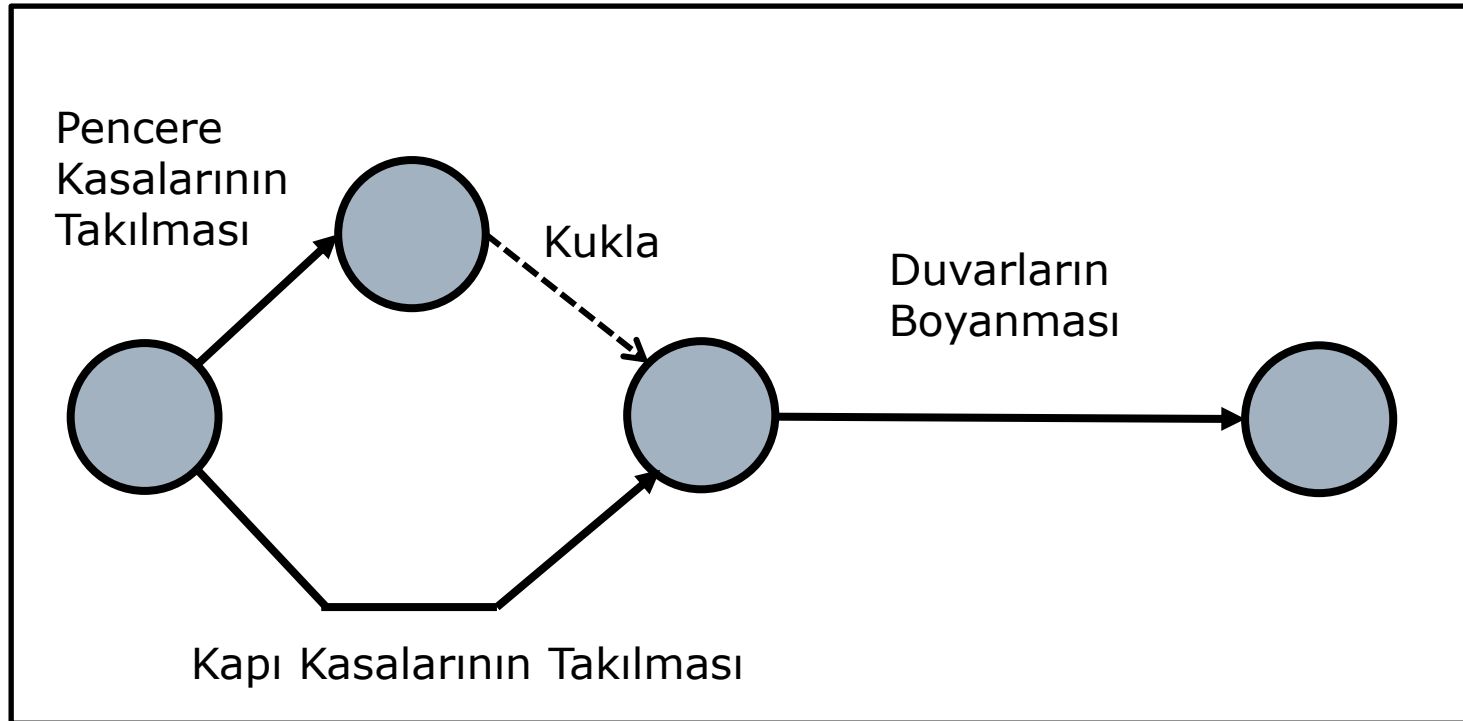


DOĞRU

Örnek İşler

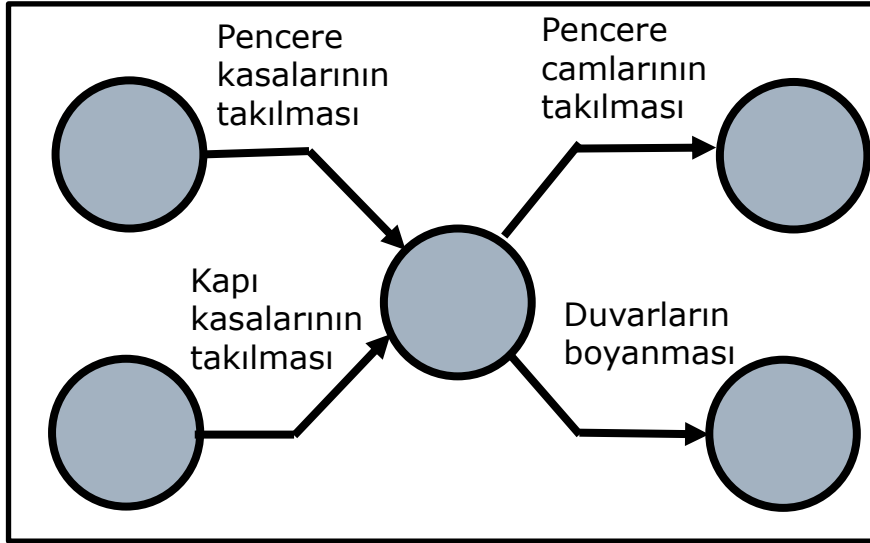


Örnek İşler



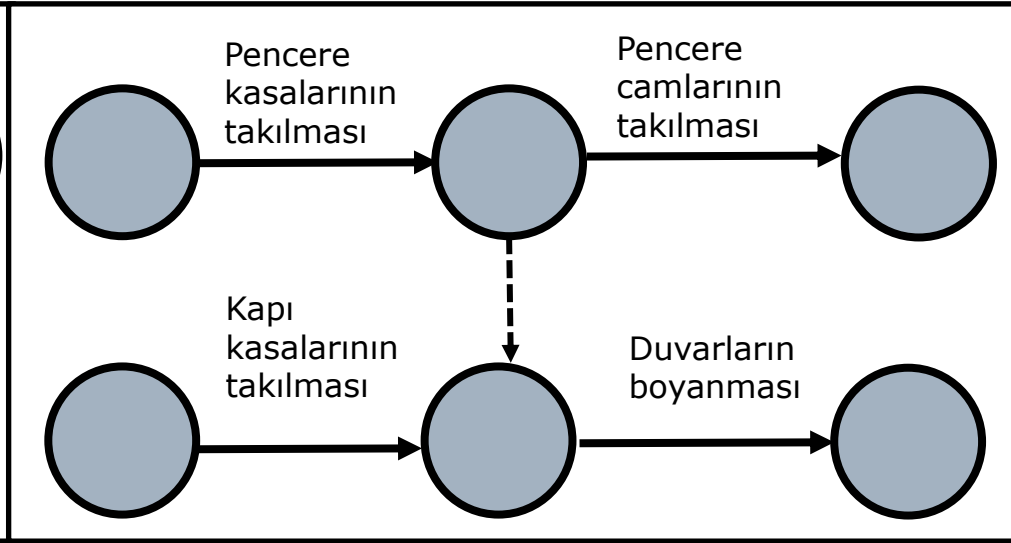
Örnek İşler

a)



YANLIŞ

b)



DOĞRU

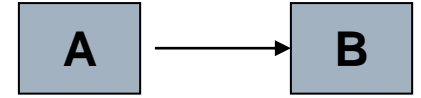
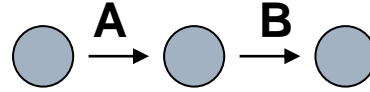
Açıklama: "a" şekli, CPM kurallarına göre doğru olmasına karşın, işlerin sıralaması ve ilişkileri bakımından yanlıştır (Gerçekte, pencere camlarının takılması, kapı kasalarının takılmasından bağımsız olmalıdır).

TANIMLAR

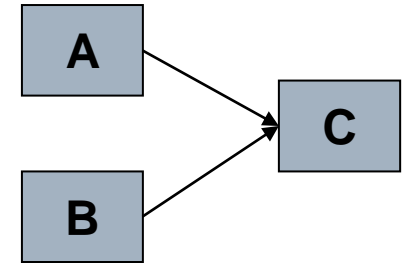
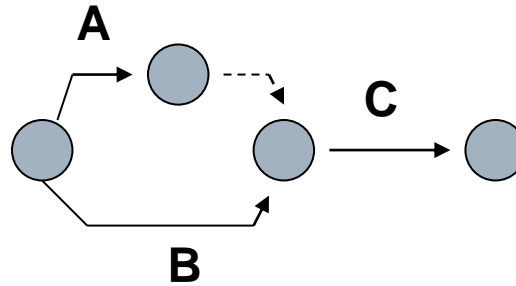
iş >>> OK (Act. on Arrow)

iş >>> KUTU (Act. On Node)

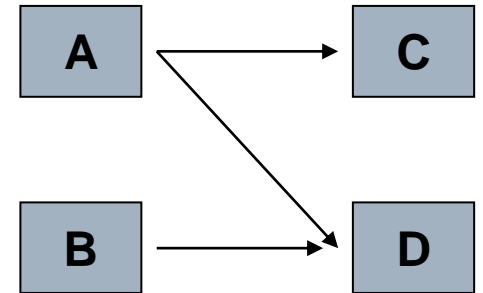
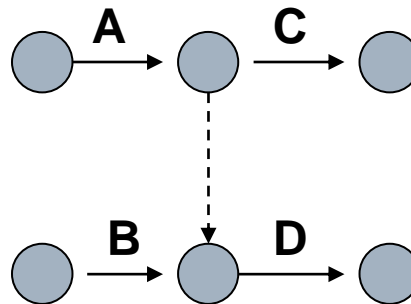
B , A'ya bağlıdır



C , A&B'ye bağlıdır.
A&B aynı anda başlar.

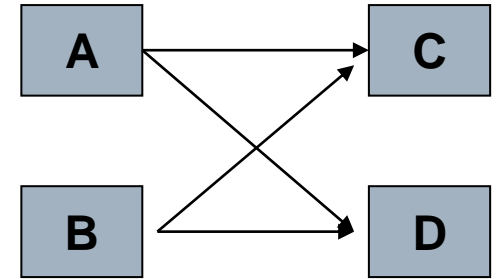
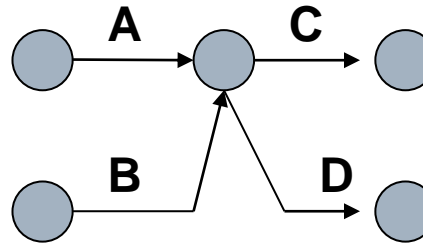


C , A'ya bağlıdır,
D , A&B'ye bağlıdır.



C , A&B'ye bağlıdır.

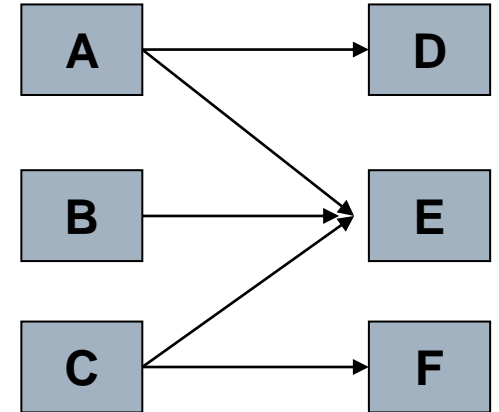
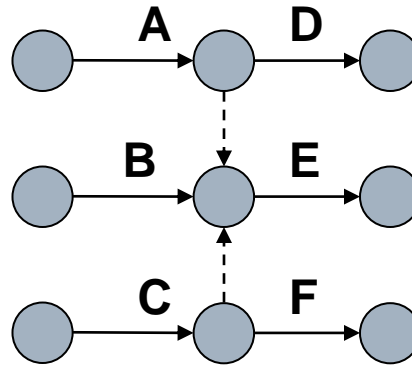
D , A&B'ye bağlıdır.



D , A'ya bağlıdır.

E , A ve B&C'ye bağlıdır.

F , C'ye bağlıdır.

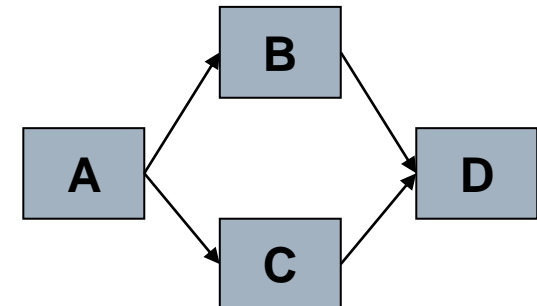
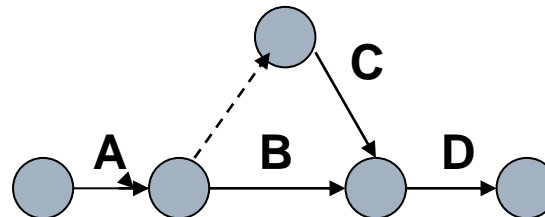


B, A'ya bağlıdır.

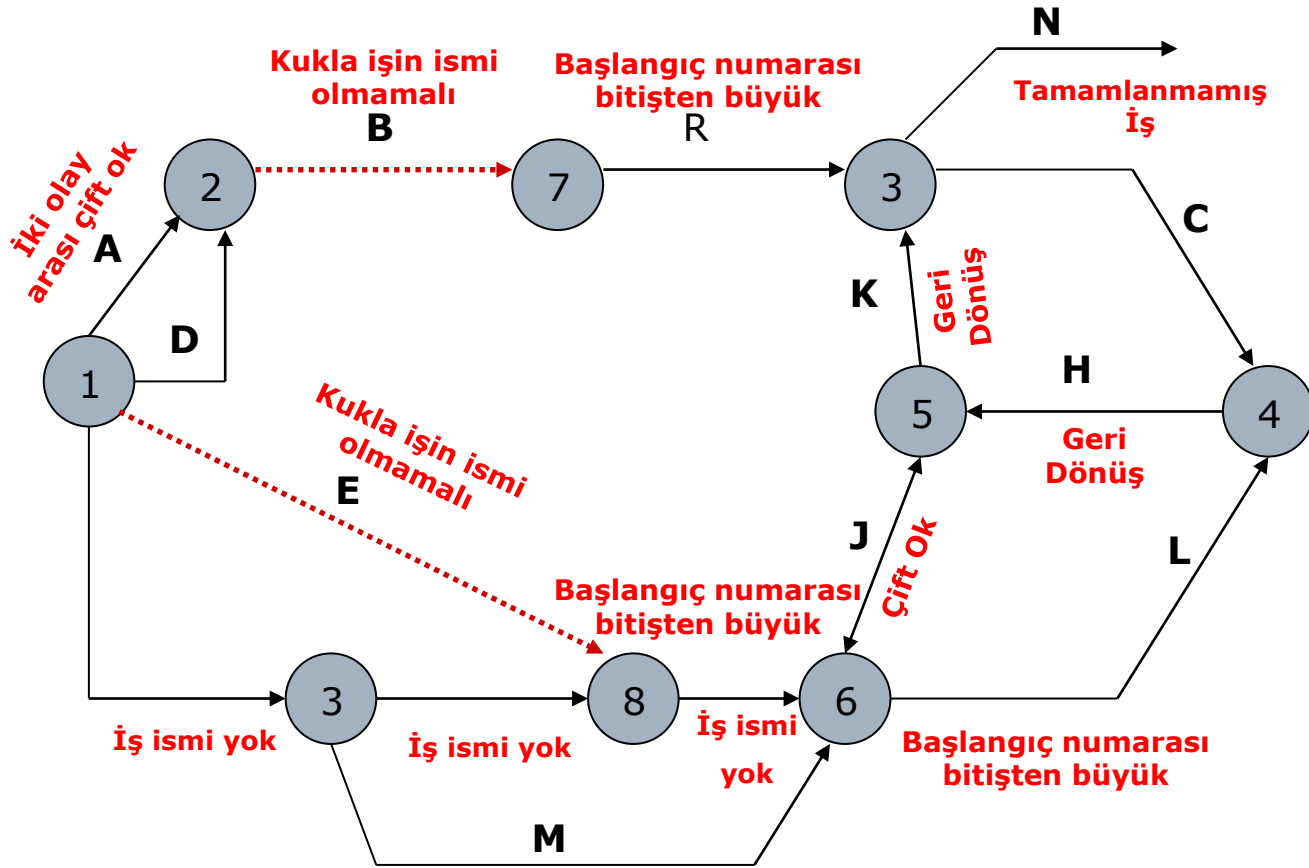
C, A'ya bağlıdır.

B ve C aynı anda başlar.

D, B&C 'ye bağlıdır.



Örnek 1: Ağ (Network)'daki hataları bulunuz.



- 7 - 3, 8 - 6 ve 6 - 4 olaylarının başlangıç numaraları bitiş numaralarından büyük.
- 1'den 3'e iş ismi yok (3-8, 8-6 da aynı).
- B ve E işleri kukla iş olduğu için ismi yazılmamalı.
- 5 olayından 3 olayına geri dönüş var (4-5 de aynı).
- J işinde çift ok var.
- İki tane 3 olayı var.
- N işi tamamlanmamış.
- 2 - 7 arasında iş ağında kopukluk var. Bu kopukluk kukla işle giderilemez.
- Kukladan önce biten bir iş olmalı.

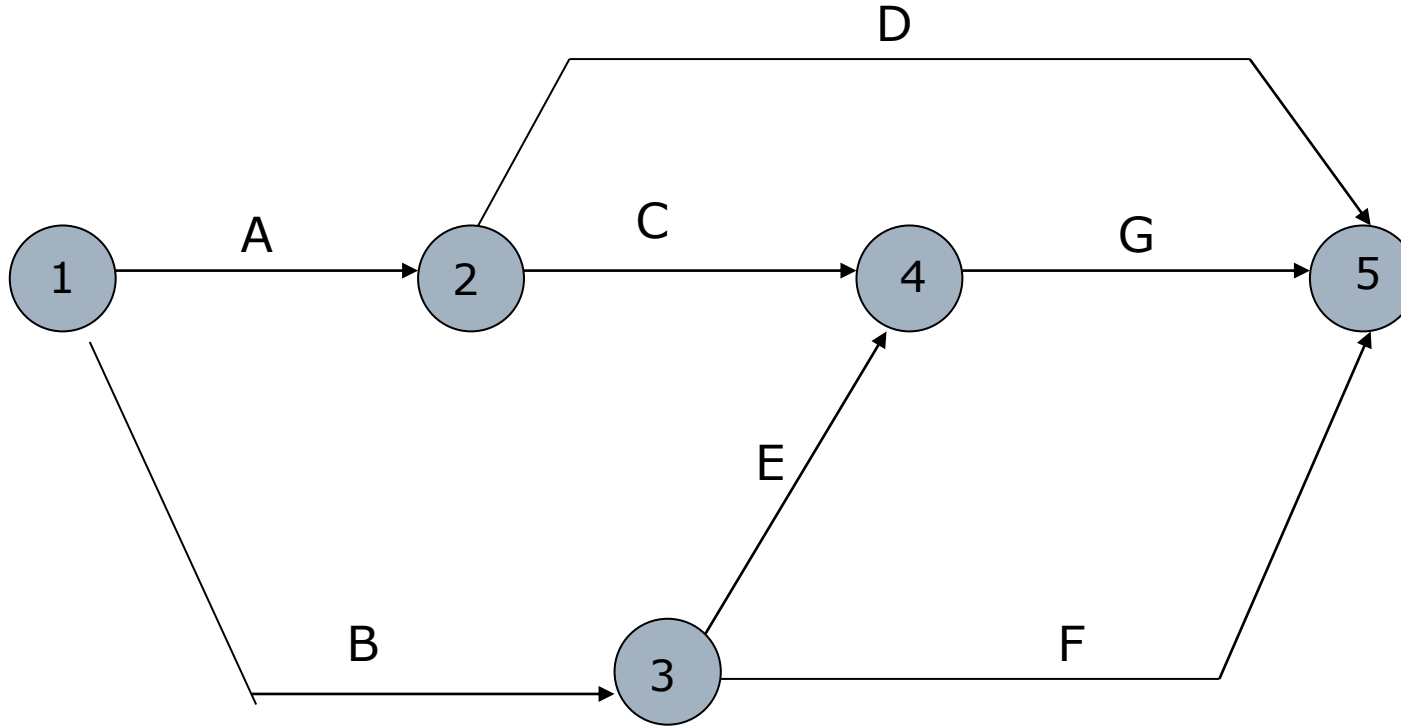
Örnek 2: Ağ (Network)

Aşağıdaki Verilere göre İş Ağını çiziniz;

- İş Ağının BAŞLANGIÇ olayı
A ve B işlerinin de AÇMA olayıdır.
 - A bittiğinde C ve D başlamaktadır.
 - B bittiğinde hem E hem de F başlamaktadır.
 - C ve E bitince G başlayabilir.
 - D, F ve G işleri bittiğinde proje tamamlanır.
Yani, D,F ve G işlerinin KAPAMA olayı
İş Ağının da BİTİŞ olayıdır
-

Örnek 2: Ağ (Network)

- ❑ İş Ağının BAŞLANGIÇ olayı
A ve B işlerinin de AÇMA olayıdır.
- ❑ A bittiğinde C ve D başlamaktadır.
- ❑ B bittiğinde hem E hem de F başlamaktadır.
- ❑ C ve E bitince G başlayabilir.
- ❑ D, F ve G işleri bittiğinde proje tamamlanır.
Yani, D,F ve G işlerinin KAPAMA olayı
İş Ağının da BİTİŞ olayıdır

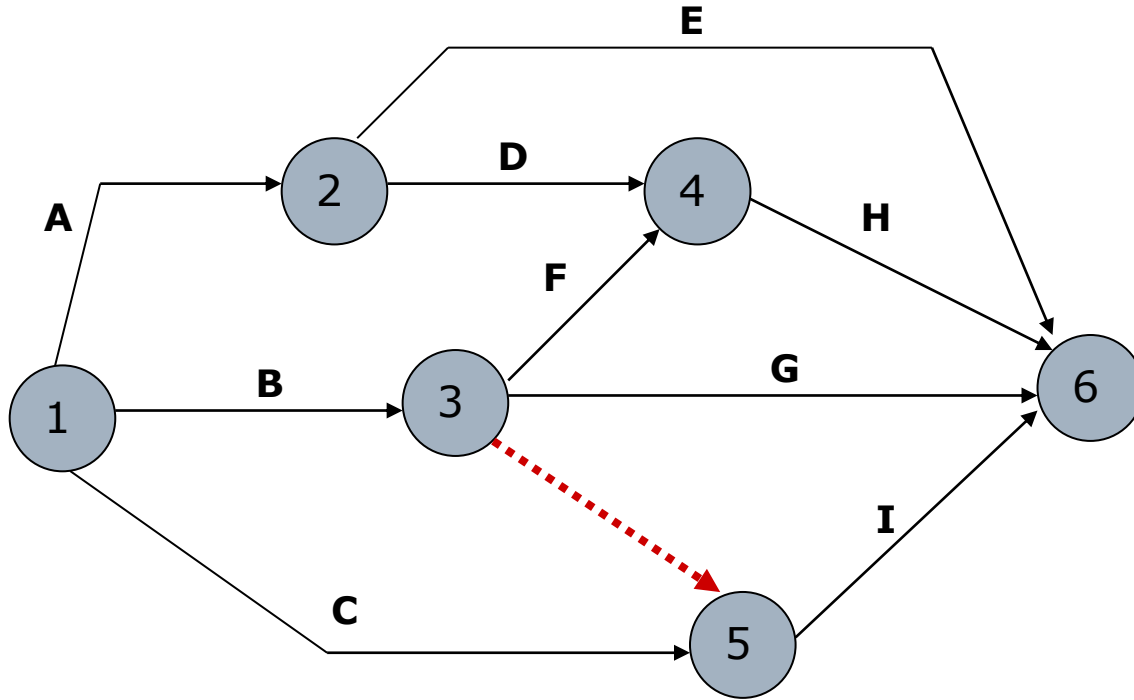


Örnek 3: Ağ (Network)

- Verilen bilgilere göre ağ (network) çizin ve olayları (event) numaralandırınız.

İŞ	AÇMA OLAYI (START EVENT)	KAPAMA OLAYI (FINISH EVENT)
A	1	2
B	1	3
C	1	5
D	2	4
E	2	6
F	3	4
KUKLA	3	5
G	3	6
H	4	6
I	5	6

Örnek 3: Ağ (Network)



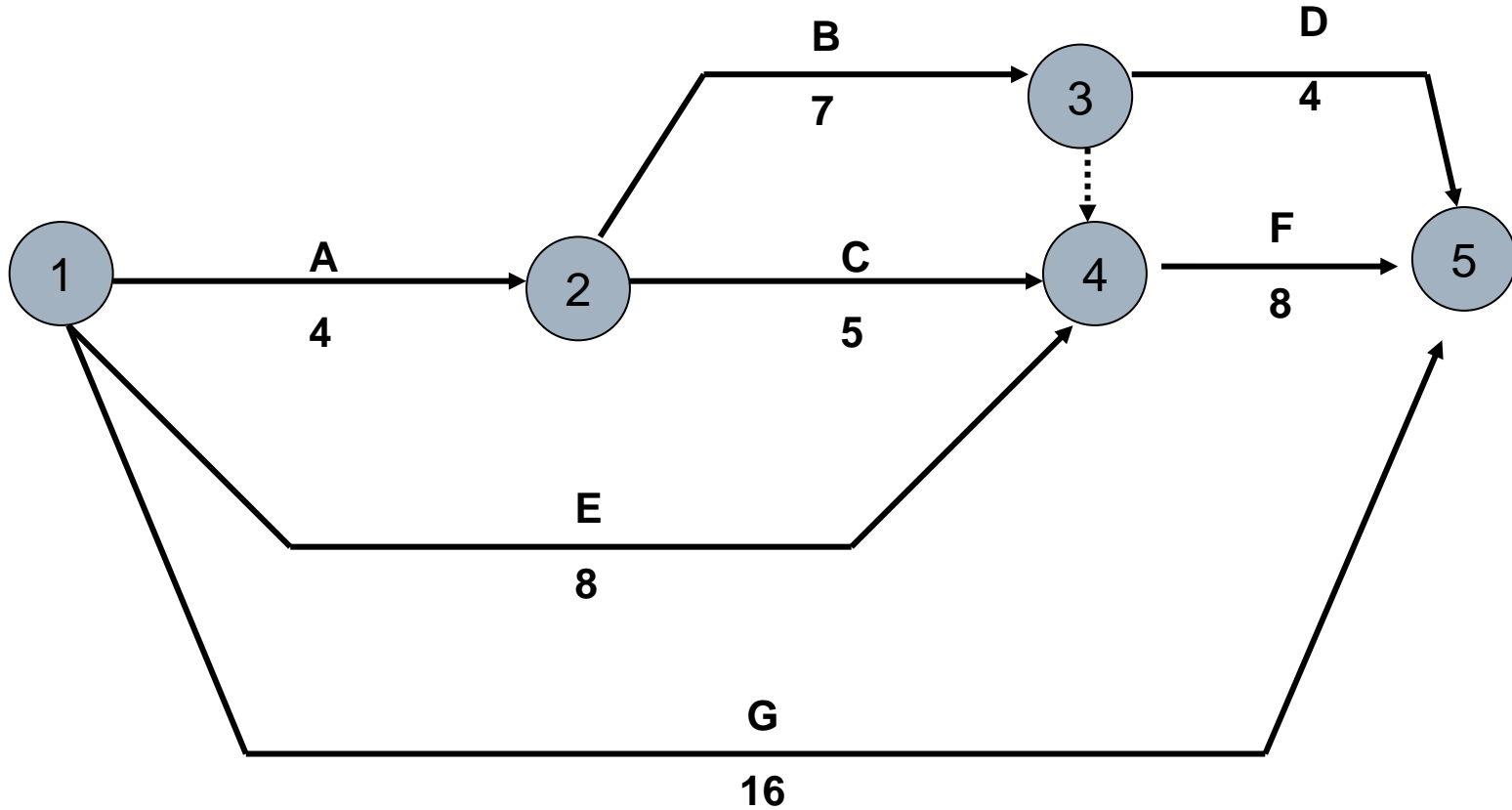
İş	AÇMA OLAYI (START EVENT)	KAPAMA OLAYI (FINISH EVENT)
A	1	2
B	1	3
C	1	5
D	2	4
E	2	6
F	3	4
KUKLA	3	5
G	3	6
H	4	6
I	5	6

Örnek 4:

İŞ	Süre (gün)	Bağımlılık
A	4	-
B	7	A
C	5	A
D	4	B
E	8	-
F	8	B, C, E
G	16	-

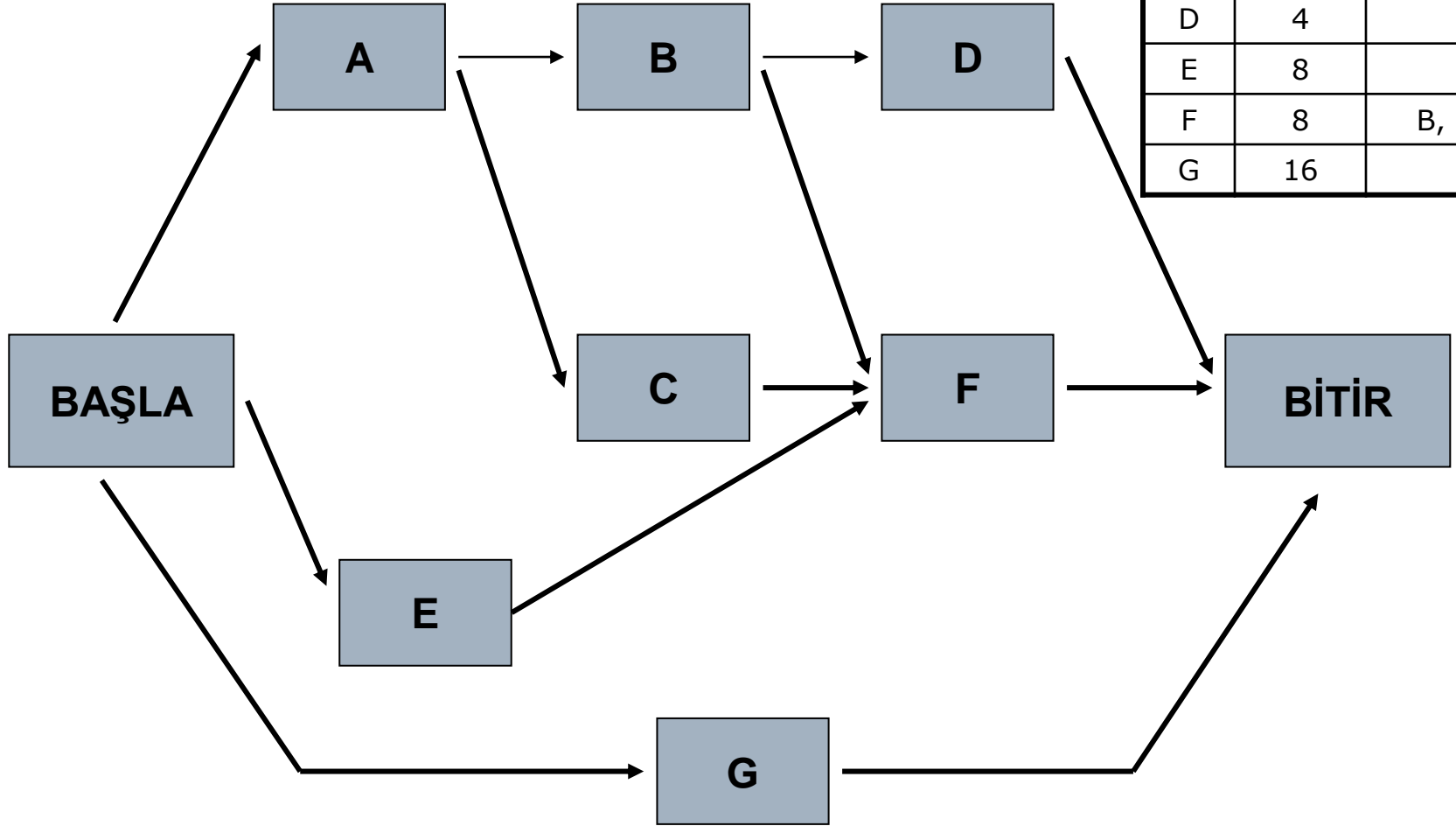
D, F ve G işleri bittiğinde proje tamamlanmaktadır.

İŞ	Süre (gün)	Bağımlılık
A	4	-
B	7	A
C	5	A
D	4	B
E	8	-
F	8	B, C, E
G	16	-



İŞ >>> OK (Activity on Arrow / A-o-A) Gösterimi

İŞ	Süre (gün)	Bağımlılık
A	4	-
B	7	A
C	5	A
D	4	B
E	8	-
F	8	B, C, E
G	16	-



İŞ >>> KUTU (Activity on Node / A-o-N) Gösterimi

PROJE TAKVİM YÖNETİMİ - 2

Kritik Yol Metodu

(Critical Path Method - CPM)

CPM HESAPLAMALARI

**İş Ağında İLERİ (Başlangıçtan >>> Bitişe)
ve GERİ (Başlangıca <<< Bitiştten)
giderek yapılan hesaplamalar sonucunda**

- Kritik olan / Kritik olmayan işler
- Kritik Yol
- Toplam ve Serbest Bolluklar bulunur.

Not-1 :

İleri hesaplama yapılmadan

Geri hesaplama yapılamaz (**Bitiş Zamanı ?**)

CPM HESAPLAMALARI

- ❑ **Kritik Yol;** Projenin toplam süresini belirleyen faaliyetler dizisidir.

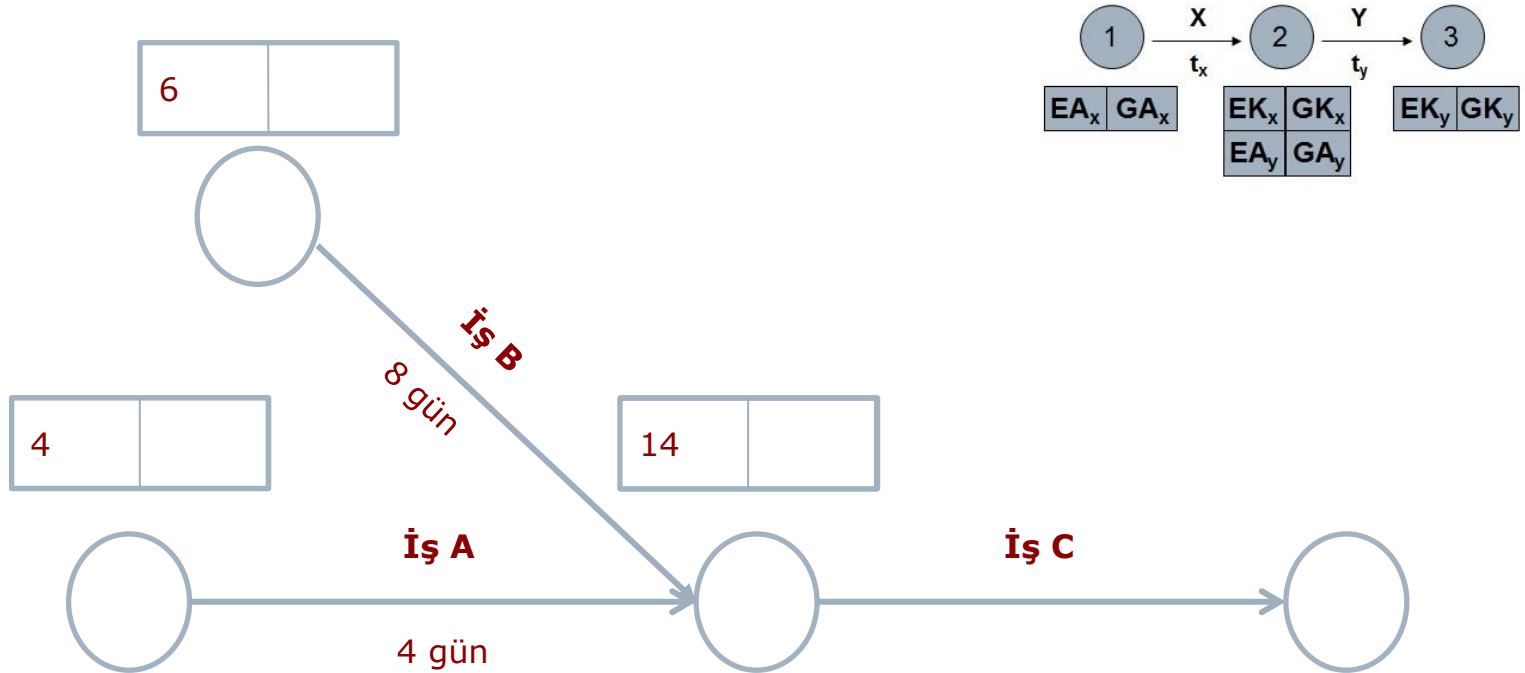
Kritik yol üzerindeki herhangi bir işte oluşacak gecikme projenin tamamlanmasını geciktirir.

Büyük ve uzun vadeli projelerin *kapasite dengelenmesi, kapasite kontrolü, maliyet ve süre optimizasyonu* için kullanılır.

İleri Hesaplama (Forward Pass):

- İş ağında **Başlangıçtan >>> Bitişe** ileri doğru giderken yapılır.
 - İşleri birleştiren Bağlantı Noktalarında yapılan değerlendirmelerle, her işin;
 - **Erken Açma (EA)** / Early Start (ES)
 - **Erken Kapama (EK)** / Early Finish (EF)zamanları hesaplanır.
 - Önceki işlerin en sonraki **EK** zamanı, takip eden tüm işlerin **EA** zamanlarını belirler.
- *** Yani, **ileri doğru hesaplama** o bağlantı noktasına giderken **en sonraki zamanı veren yol üzerinden yapılır** ***
-

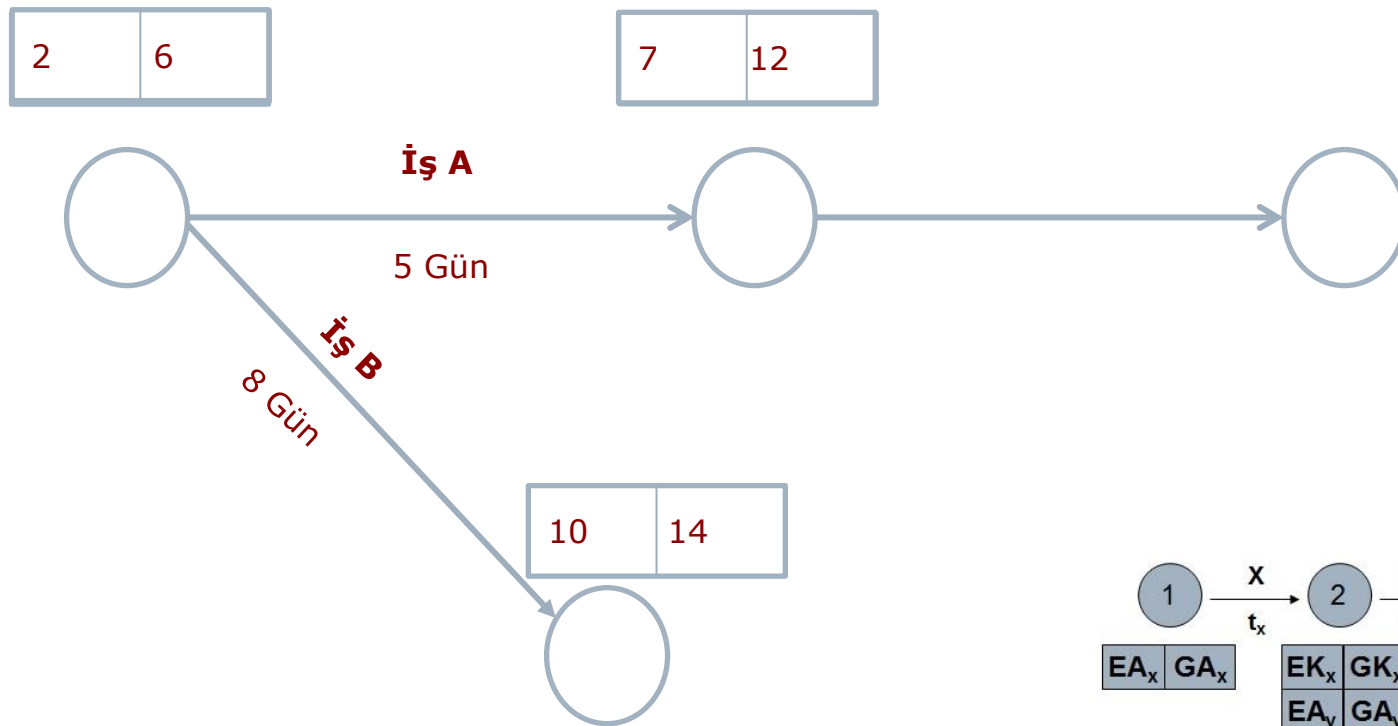
İleri Hesaplama (Forward Pass):



Geri Hesaplama (Backward Pass):

- İş ağında **Bitiştten >>> Başlangıca** doğru dönerken yapılır.
 - İşleri birleştiren Bağlantı Noktalarında yapılan değerlendirmelerle, her işin;
 - **Geç Açma (GA)** / Late Start (LS)
 - **Geç Kapama (GK)** / Late Finish (LF)zamanları hesaplanır.
 - Takip eden işlerin en önceki **GA** zamanı, önceki tüm işlerin **GK** zamanlarını belirler.
- *** Yani, **Geri Hesaplama** o bağlantı noktasına dönerken **en önceki zamanı veren yol üzerinden yapılır** ***
-

Geri Hesaplama (Backward Pass):



CPM SÖZLÜĞÜ

□ **TB = Toplam Bolluk (TF-Total Float):**

Projenin tamamlanma süresini geciktirmeden bir işin gecikebileceği toplam süre

- Eğer bir işte TB varsa bu işin süresi Toplam Bolluk kadar uzatılabilir veya işe toplam bolluk süresi kadar geç başlanabilir.

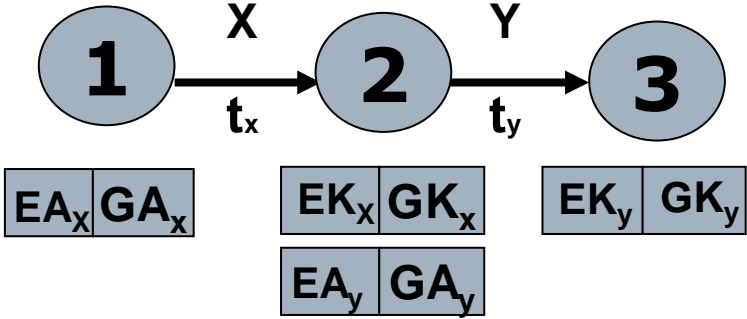
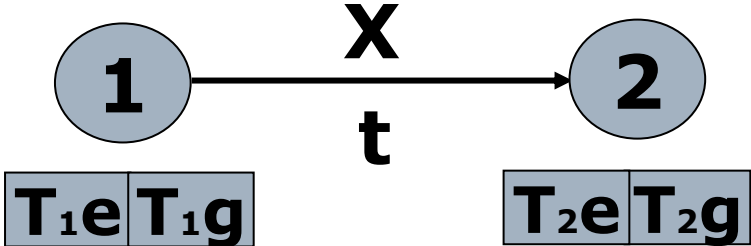
İş programının süresinde herhangi bir değişiklik olmaz.

- Kritik işlerde, $TB = 0$ dır.

□ **SB = Serbest Bolluk (FF-Free Float) :**

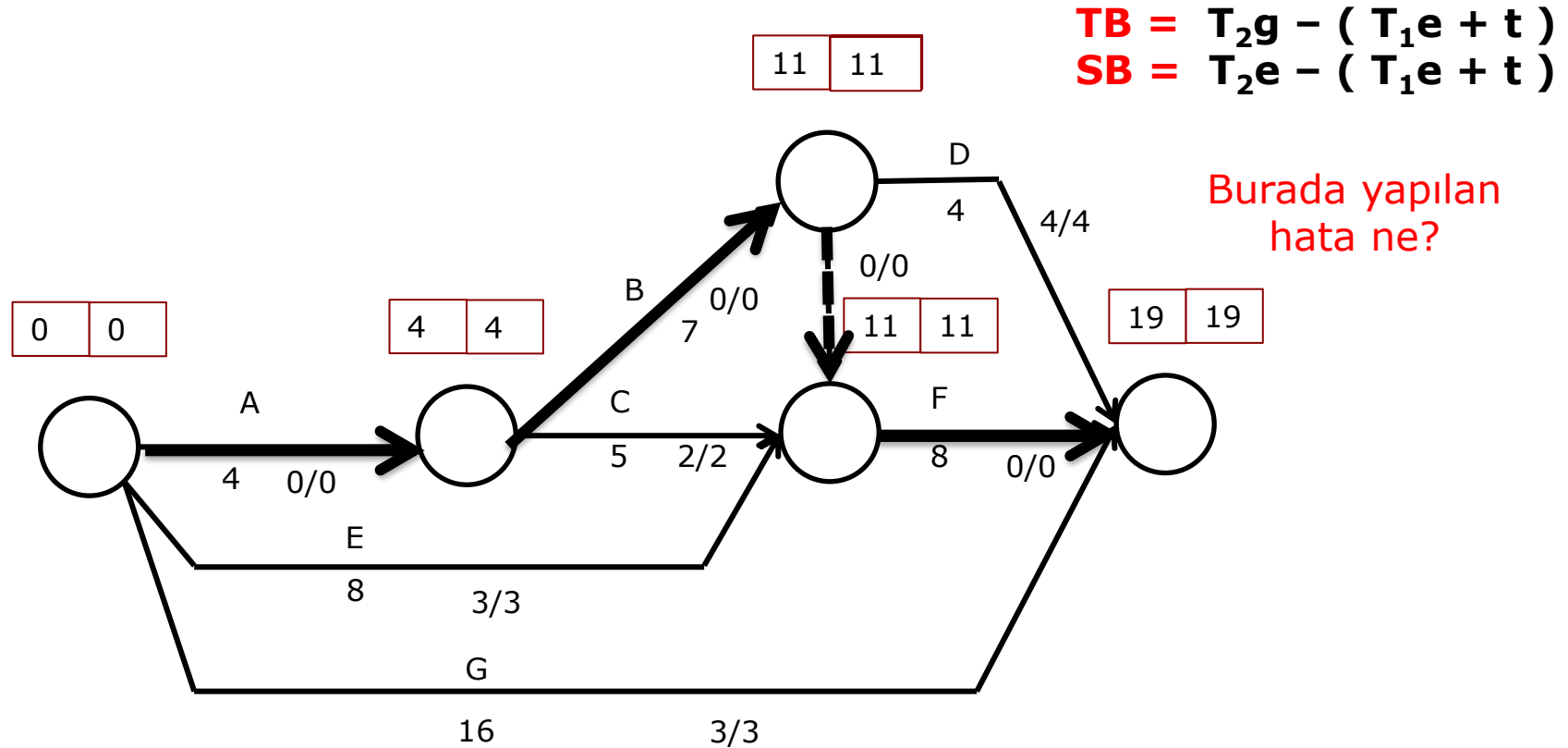
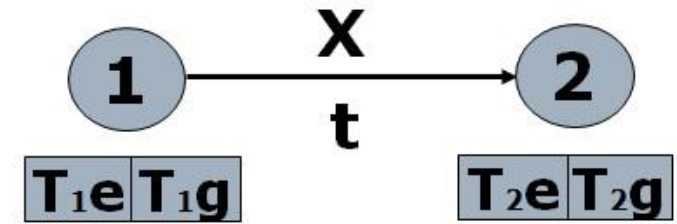
Kendisinden sonraki işin en erken başlama süresini geciktirmeyecek şekilde bir işin toplam gecikebileceği süre

İŞ >>> OK Gösteriminde CPM HESAPLARI

	 <p>e: Erken Zaman g: Geç Zaman</p>
X veya (1-2) işi için; TOPLAM BOLLUK	
$TB = GA_y - (EA_x + t_x)$ $TB = GA_y - EK_x$	$TB = T_2g - (T_1e + t)$
X veya (1-2) işi için; SERBEST BOLLUK	
$SB = EA_y - (EA_x + t_x)$ $SB_x = EA_y - EK_x$	$SB = T_2e - (T_1e + t)$

NOT : Bolluğu olan işlere ayrılmış olan kaynaklar (yönetici, ekip, ekipman, malzeme, para) bolluk süresince Kritik İşlere kaydırılarak onların gecikme riskleri azaltılır.

Örnek 5:



Kritik Yol; $TB = 0 = SB$ olan yol takip edilerek bulunur. Birden fazla kritik yol olabilir.

Kritik Yol; bu örnek için A-B-F işlerinden oluşmaktadır

İŞ >>> KUTU (Activities on NODE / A-o-N)

Gösteriminde CPM HESAPLARI

LEJAND ;

ES	TF	EF
ACTIVITY		
LS	TIME	LF

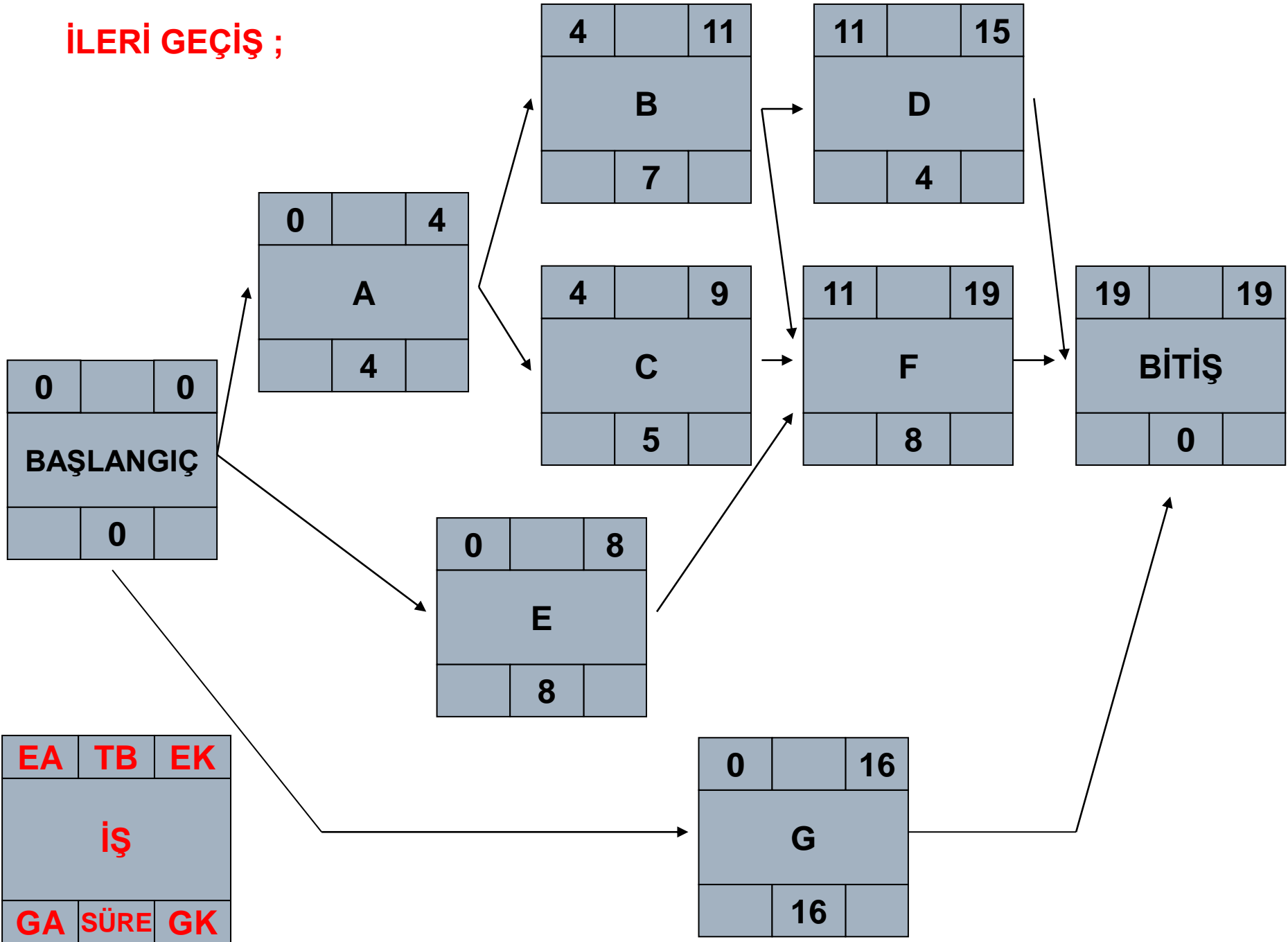
EA	TB	EK
İŞ		
GA	SÜRE	GK

İŞ >>> KUTU Gösteriminde **TB** ve **SB** hesapları

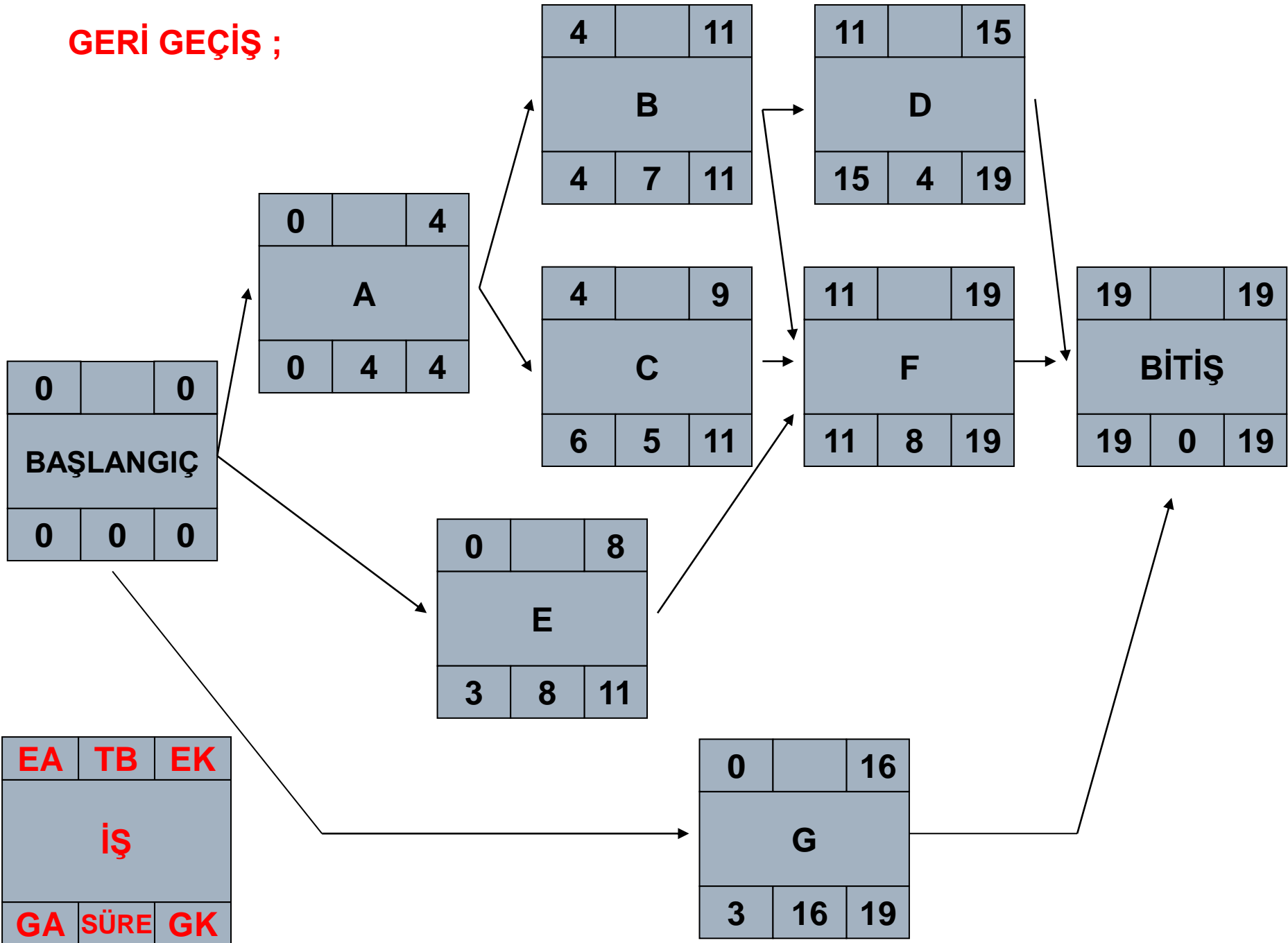
$$\mathbf{GK - EK = TB = GA - EA}$$

$$\mathbf{SB_x = EA_y - EK_x}$$

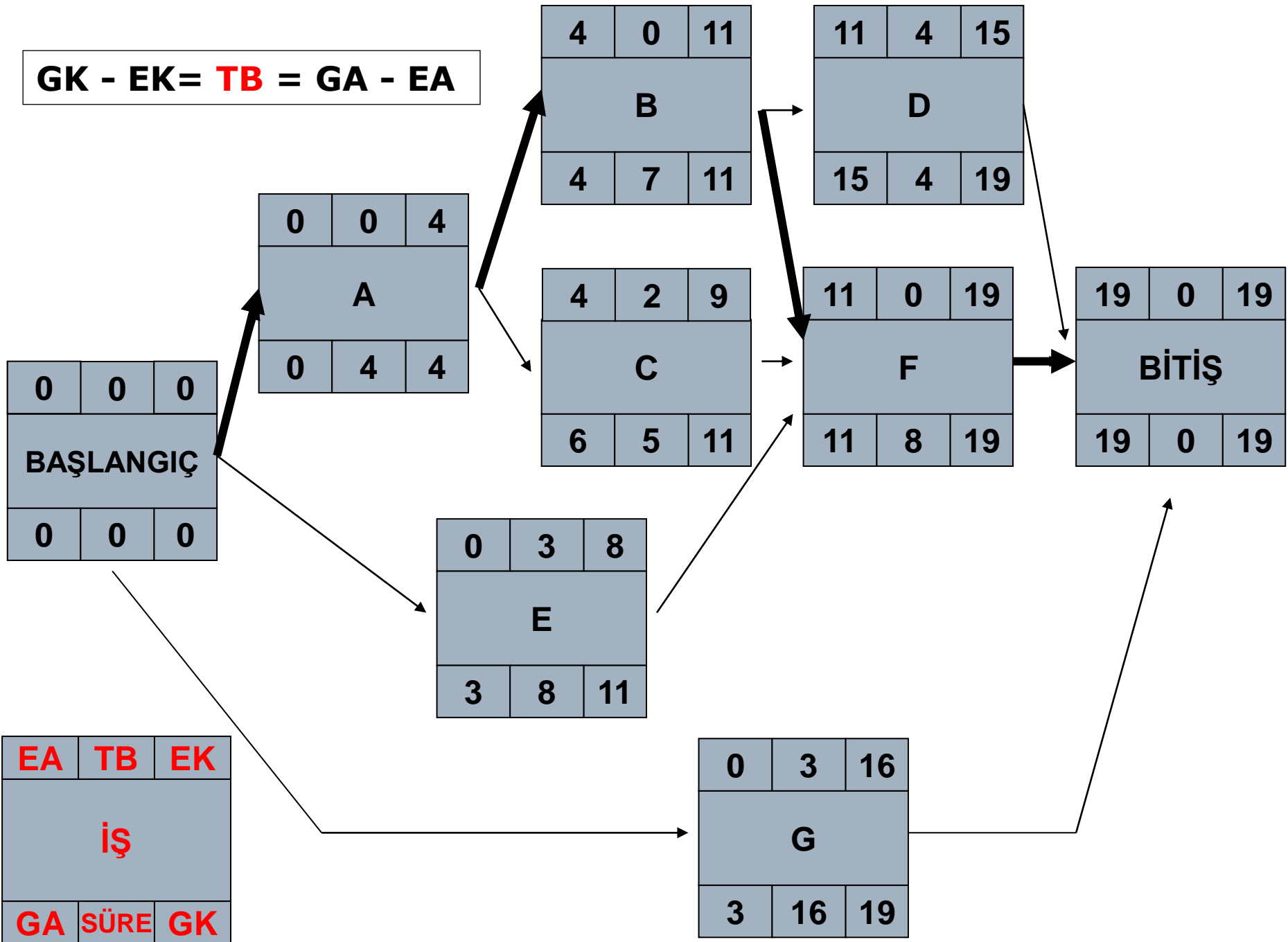
İLERİ GEÇİŞ ;



GERİ GEÇİŞ ;



$$GK - EK = TB = GA - EA$$



Örnek 6:

- Bir yüklenicinin, yüklendiği bir inşaat projesinin işleri arasındaki ilişkiler ve her işin süreleri verilmiştir.

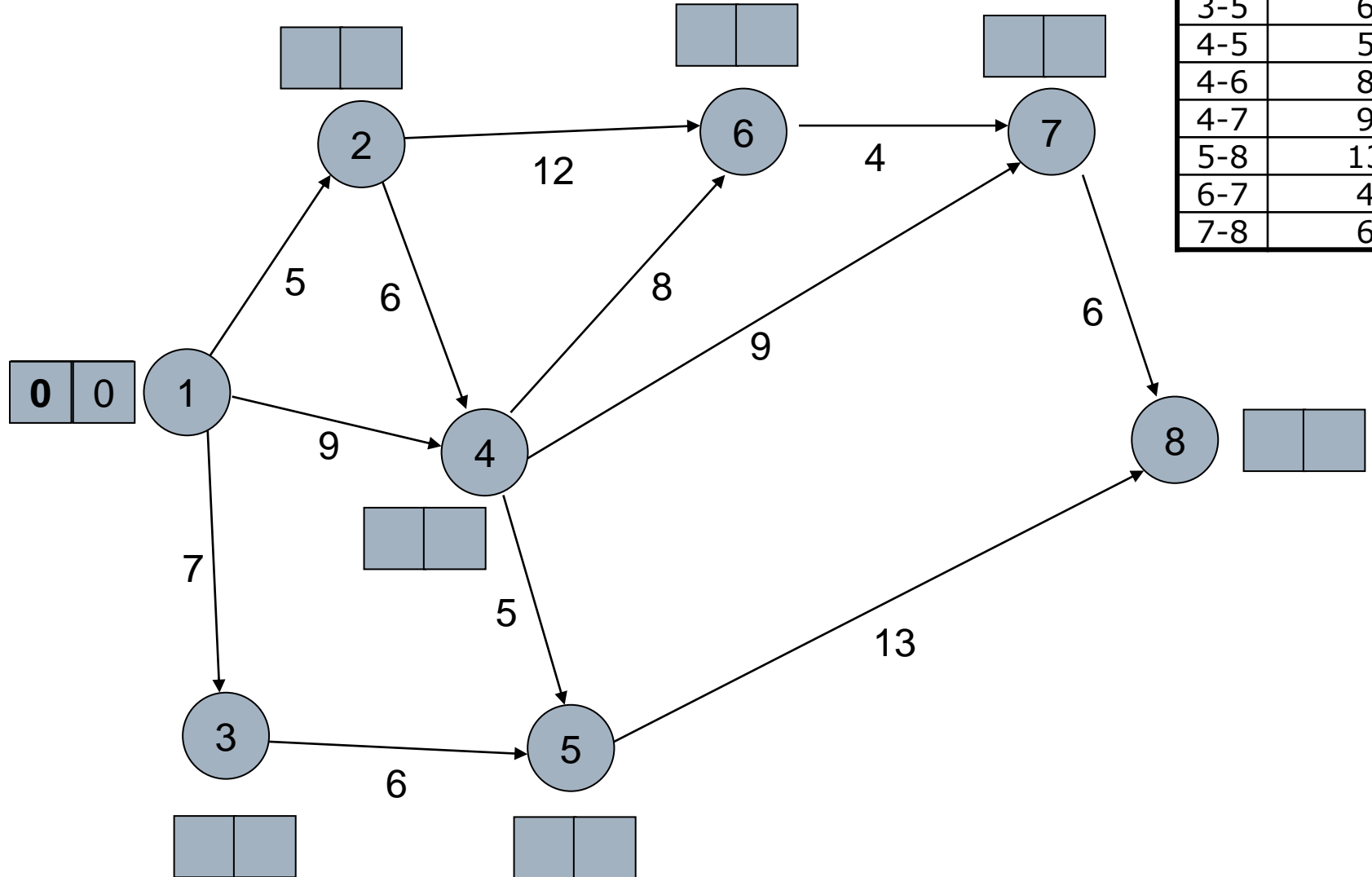
İŞ >>> OK Gösterimi ile bu projeye ait İş Ağını çizin, gerekli hesaplamaları yaparak kritik yolu bulun.

İşler	Süreler (ay)
1-2	5
1-3	7
1-4	9
2-4	6
2-6	12
3-5	6
4-5	5
4-6	8
4-7	9
5-8	13
6-7	4
7-8	6

$$\text{TB} = T_2g - (T_1e + t)$$

$$\text{SB} = T_2e - (T_1e + t)$$

İşler	Süreler (ay)
1-2	5
1-3	7
1-4	9
2-4	6
2-6	12
3-5	6
4-5	5
4-6	8
4-7	9
5-8	13
6-7	4
7-8	6

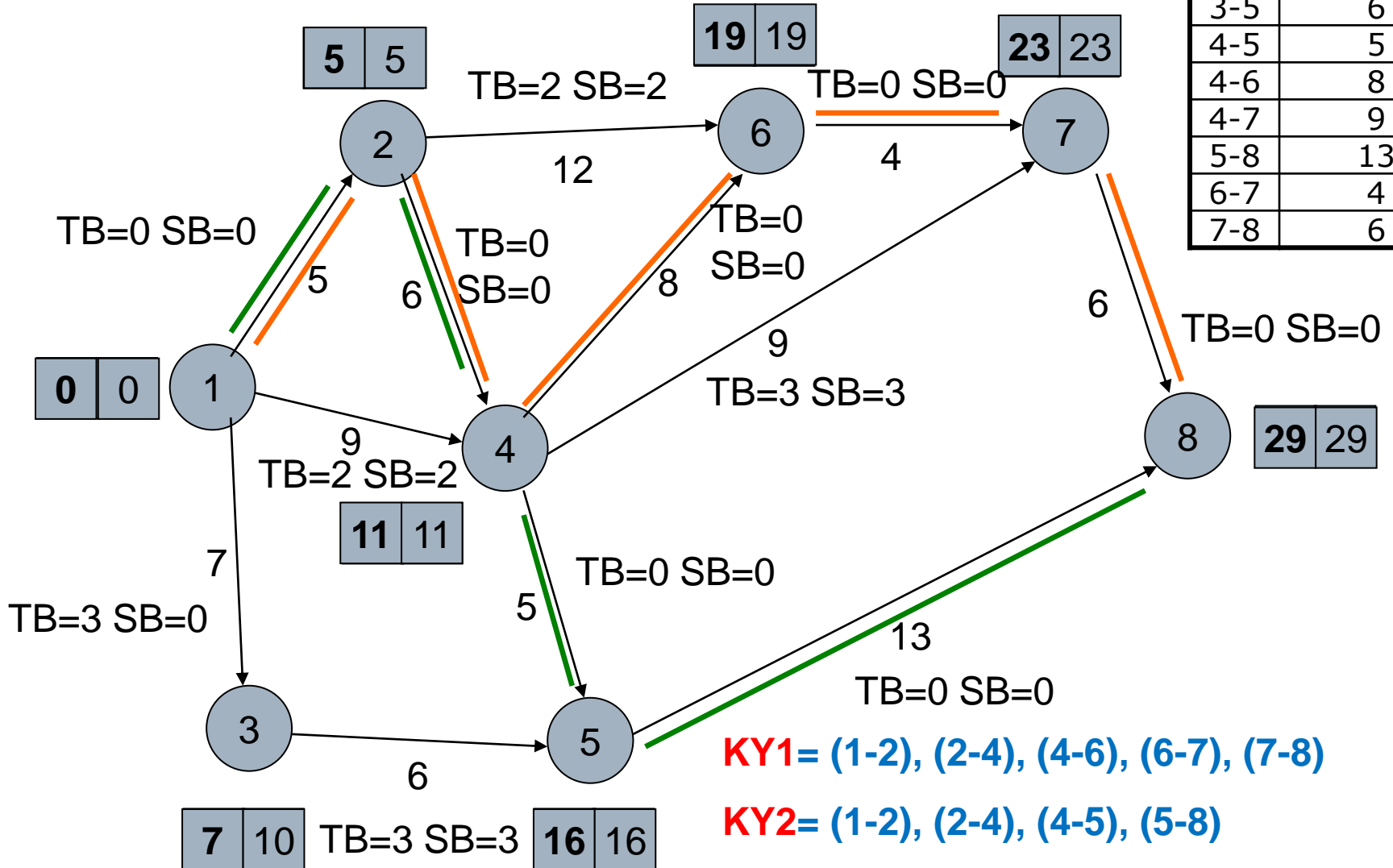


$$TB = T_2g - (T_1e + t)$$

$$SB = T_2e - (T_1e + t)$$

Kritik Yol; $TB = 0 = SB$ olan yol. Birden fazla kritik yol olabilir.

İşler	Süreler (ay)
1-2	5
1-3	7
1-4	9
2-4	6
2-6	12
3-5	6
4-5	5
4-6	8
4-7	9
5-8	13
6-7	4
7-8	6



PROJE TAKVİM YÖNETİMİ - 3

Kritik Yol Metodu
(Critical Path Method - CPM)

CPM HESAPLAMALARI

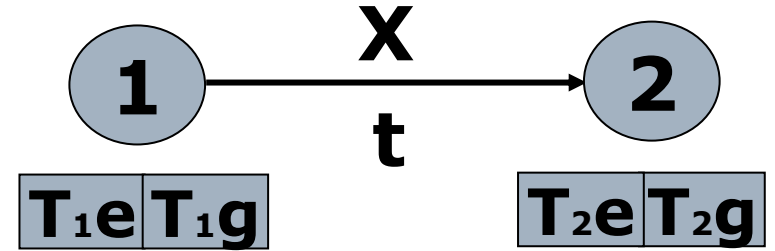
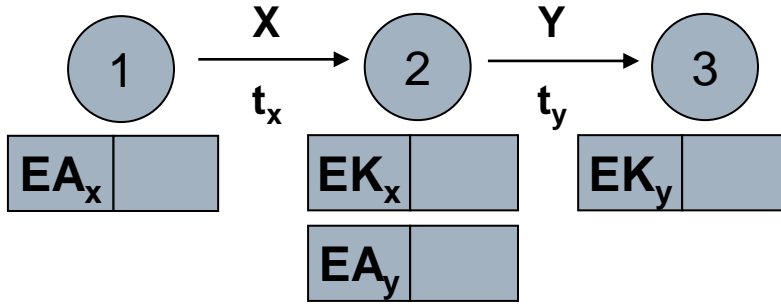
Her **İşe özel** zaman tanımları;

- **EA = Erken Açma (ES-early start)**: Bir işin başlayabileceği en erken zaman.
 - **GA = Geç Açma (LS-late start)**: Bir işin başlayabileceği en geç zaman.
 - **EK = Erken Kapama (EF-early finish)**: Bir işinin bitebileceği en erken zaman.
 - **GK = Geç Kapama (LF-late finish)**: Bir işin bitebileceği en geç zaman.
-

TÜRKÇE KISALTMALAR

E : ERKEN , G : GEÇ , A : AÇMA , K : KAPAMA

İleriye doğru hesaplama ;



Başlangıçtan ileriye doğru yapılan hesaplamalarda;

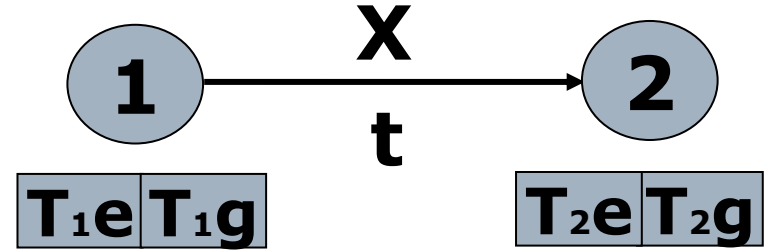
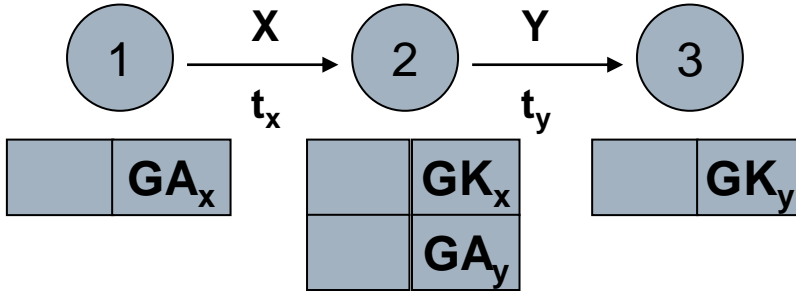
Bir olaya giderken en sonraki zamanı veren iş zinciri değerlendirilir.

Böylece, bir olayda en geç sonlanan iş zincirinin sonlanma anı, o olayın erken zamanını (**Te**) oluşturur.

TÜRKÇE KISALTMALAR

E : ERKEN , G : GEÇ , A : AÇMA , K : KAPAMA

Geriye doğru hesaplama ;

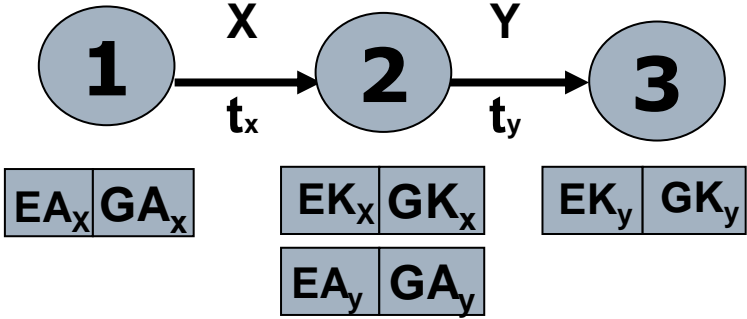
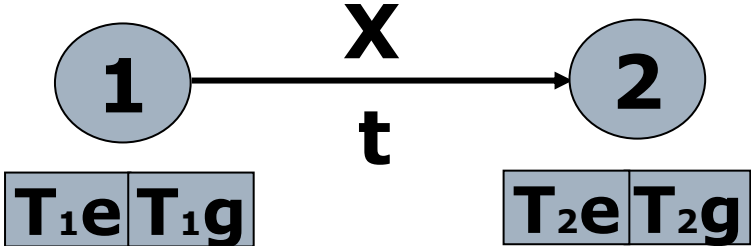


Bitiştikten geriye doğru yapılan hesaplamalarda;

Bir bağlantı noktasına dönerken en önceki zamanı veren iş zinciri değerlendirilir.

Böylece, bir olayı takip eden iş zincirlerinden en geç sonlanan iş zincirinin başlama anı, o olayın geç zamanını (**Tg**) oluşturur.

İŞ >>> OK Gösteriminde CPM HESAPLARI

	 <p>e: Erken Zaman g: Geç Zaman</p>
X veya (1-2) işi için; TOPLAM BOLLUK	
$TB = GA_y - (EA_x + t_x)$ $TB = GA_y - EK_x$	$TB = T_2g - (T_1e + t)$
X veya (1-2) işi için; SERBEST BOLLUK	
$SB = EA_y - (EA_x + t_x)$ $SB_x = EA_y - EK_x$	$SB = T_2e - (T_1e + t)$

NOT : Bolluğu olan işlere ayrılmış olan kaynaklar (yönetici, ekip, ekipman, malzeme, para) bolluk süresince Kritik İşlere kaydırılarak onların gecikme riskleri azaltılır.

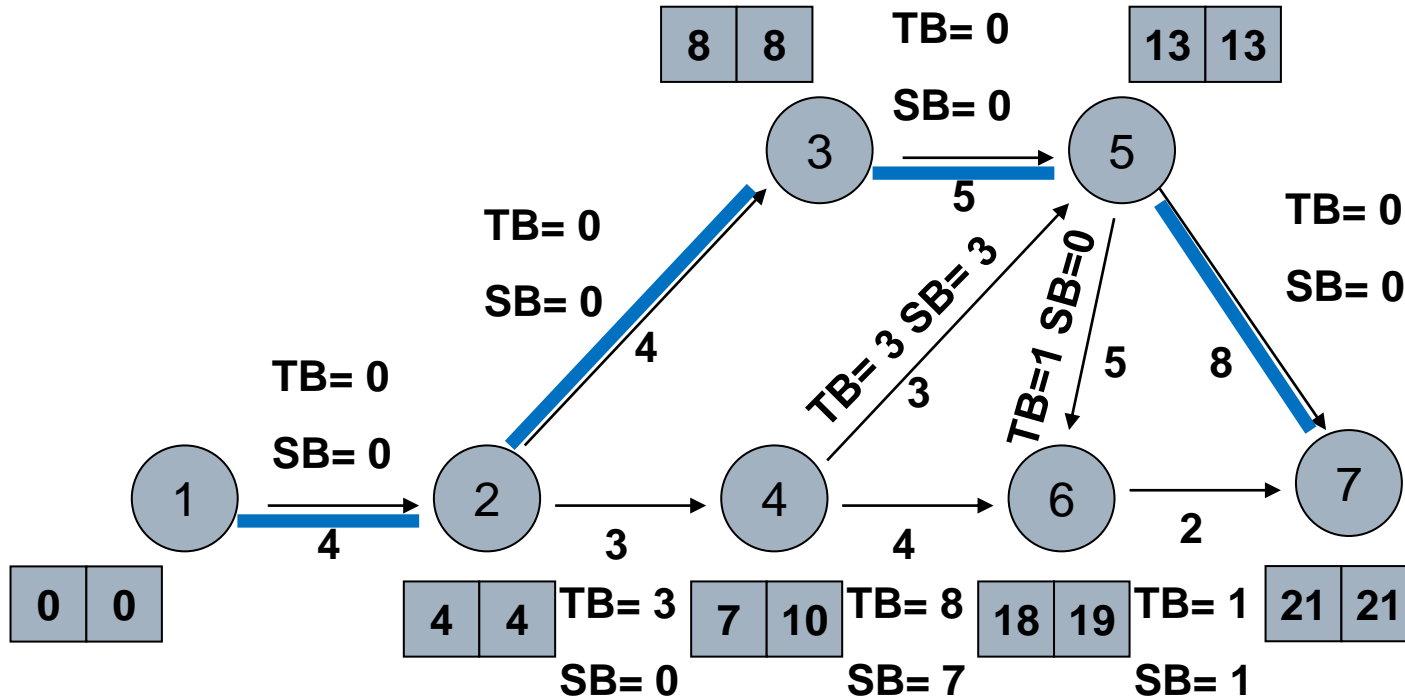
Kritik İş: Projenin zamanında bitmesi için gecikmemesi gereken işlerdir.

Kritik bir iş gecikirse, proje bitiş tarihi de gecikir.

Tanım gereği, **Kritik İşlerde Bolluk yoktur**
($TB = SB = 0$)

Kritik işlerin –projenin başından sonuna kadar- oluşturdukları kesintisiz yola «**Kritik Yol**» denir.

OK DİAGRAMI (A-o-A) ÜZERİNDE CPM HESAPLARI

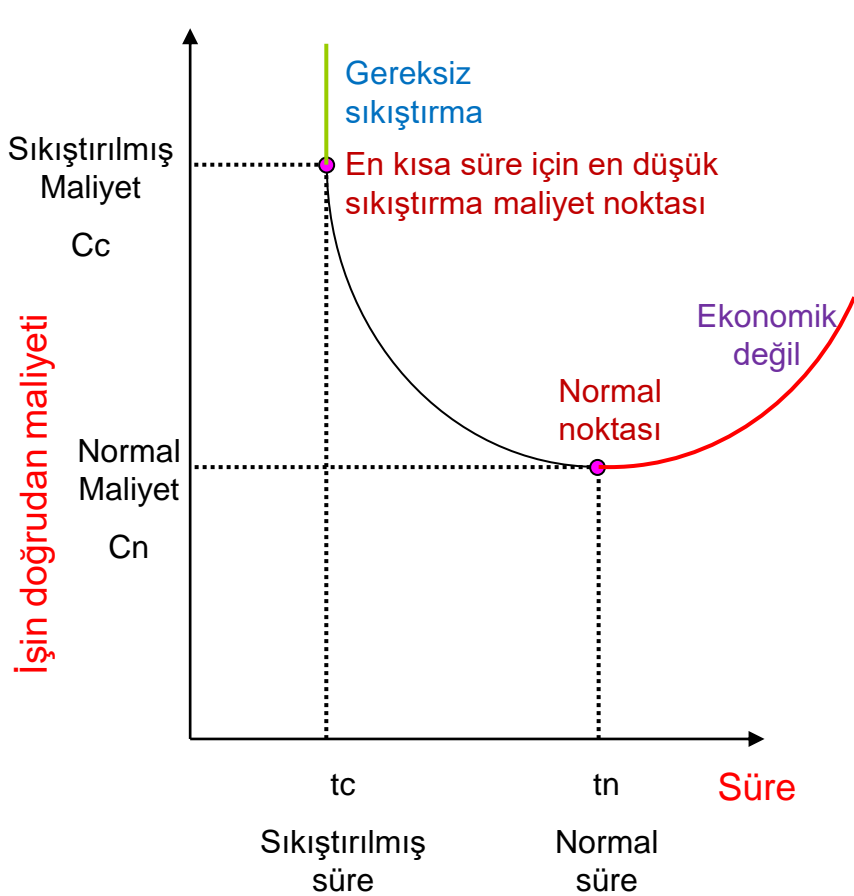


Kritik Yol: 1-2, 2-3, 3-5, 5-7

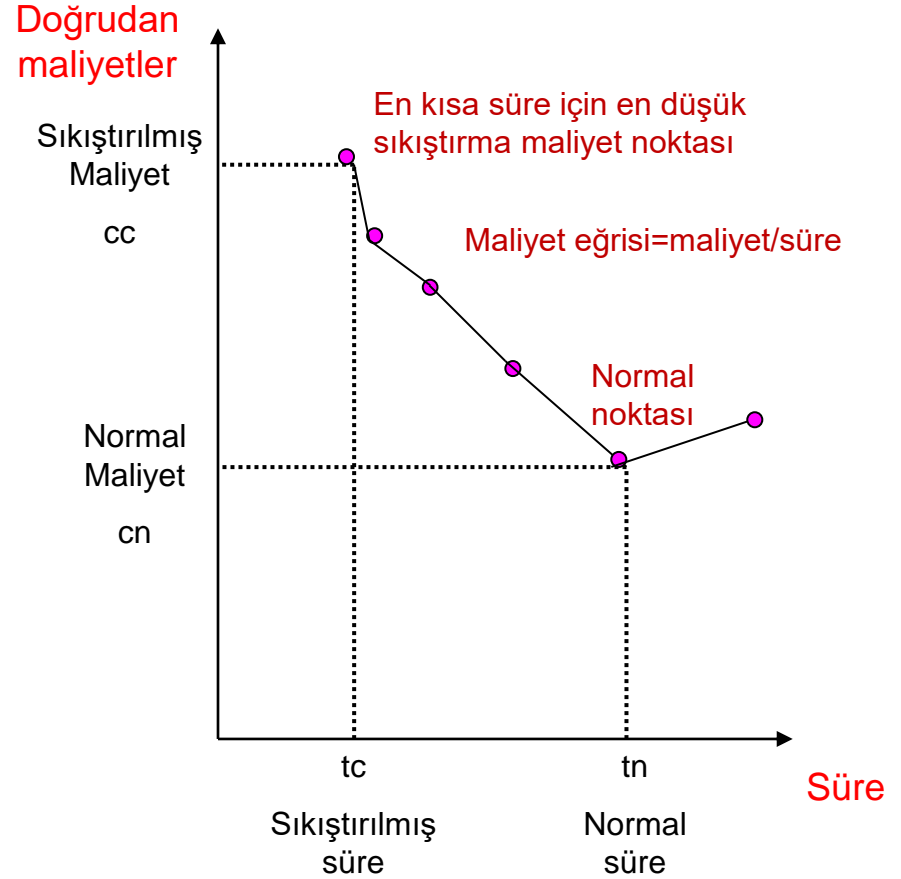
Not : Geri dönüşler, okların ters yönünde yapılır. (Bk. 6. olay)

AĞ KISALTMA (SIKIŞTIRMA) NETWORK COMPRESSION

YARARLILIK EĞRİSİ : Süreye bağlı maliyet artışını gösterir.



TEORİK EĞRİ



PRATİK EĞRİ

Örnek 1

Bir boru hattı için hafriyat yapılacaktır.
Aşağıdaki verilere göre yararlılık eğrisini çiziniz.



- Normal çalışma süreleri
 - 8 saat/gün - 5 gün/hafta
- Normal ücret
 - 4 birim/gün
- Normal çalışma koşulları
 - 300 adam x gün kadar yapılacak iş var.
 - 10 adamdan oluşan bir ekibimiz var.
- Eğer 2 vardiya olursa;
 - 1.vardiya için ücret: 4 birim / gün
 - 2.vardiya için ücret: 5 birim / gün
- Eğer 3 vardiya olursa;
 - 1.vardiya için 4 birim / gün
 - 2.vardiya için 5 birim / gün
 - 3.vardiya için 6 birim / gün
- Bir diğer alternatif 3 vardiyada 30 adam kullanmak, ancak, yetersizlikten dolayı bu alternatif, verilen ücretler ile 360 adam-gün sürüyor.

VERİLER:

- ❖ Normal çalışma süreleri
 - 8 saat/gün - 5 gün/hafta
- ❖ Normal ücret
 - 4 birim/gün
- ❖ Normal çalışma koşulları
 - 300 adam x gün iş miktarı
 - 10 adamdan oluşan bir ekip
- ❖ Eğer 2 vardiya olursa:
 - 1.vardiya için ücret: 4 birim / gün
 - 2.vardiya için ücret: 5 birim / gün
- ❖ Eğer 3 vardiya olursa:
 - 1.vardiya için 4 birim / gün
 - 2.vardiya için 5 birim / gün
 - 3.vardiya için 6 birim / gün
- ❖ Bir diğer alternatif ; her vardiyada 30 adam kullanmak üzere 3 vardiya.
Ancak bu alternatif, verilen ücretler ile 360 adam x gün sürüyor.

ÇÖZÜM:

- Normal süre = $t_n = 300/10 = 30$ gün
- Normal maliyet = $c_n = 10 \cdot 30 \cdot 4 = 1200$ birim

➤ Eğer 2 vardiya uygulanırsa;

- 2 vardiya süresi = $300/20 = 15$ gün
- 2 vardiya maliyeti = $10 \cdot 15 \cdot 4 = 600$ birim
= $10 \cdot 15 \cdot 5 = 750$ birim
Toplam = 1350 birim

➤ Eğer 3 vardiya uygulanırsa;

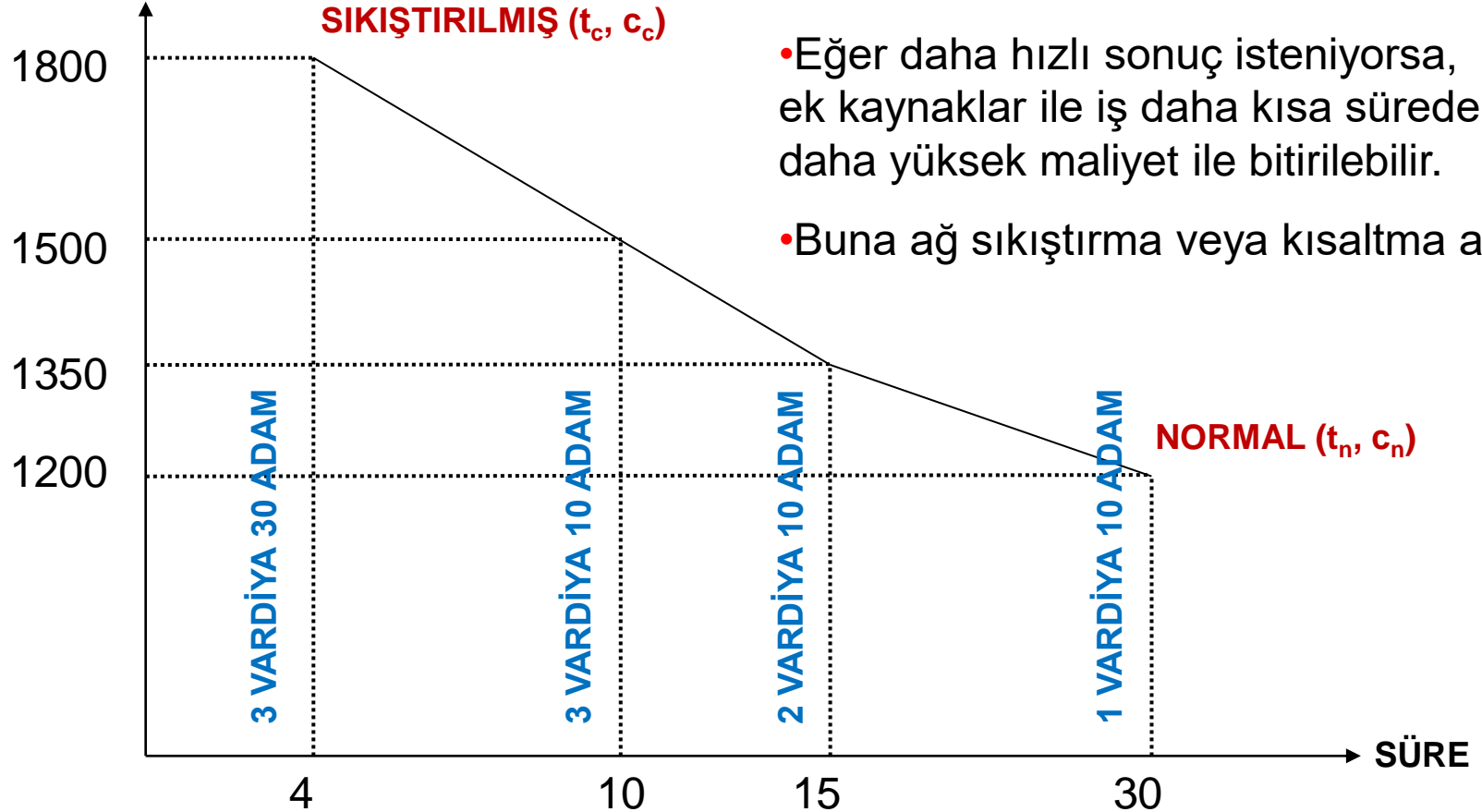
- 3 vardiya süresi = $300/30 = 10$ gün
- 3 vardiya maliyeti = $10 \cdot 10 \cdot 4 = 400$ birim
= $10 \cdot 10 \cdot 5 = 500$ birim
= $10 \cdot 10 \cdot 6 = 600$ birim
Toplam = 1500 birim

➤ Diğer alternatif;

- Sıkıştırma süresi = $360 / (3 \cdot 30) = 4$ gün
- Sıkıştırma maliyeti = $30 \cdot 4 \cdot 4 = 480$ birim
= $30 \cdot 4 \cdot 5 = 600$ birim
= $30 \cdot 4 \cdot 6 = 720$ birim
Toplam = 1800 birim

YARARLILIK EĞRİSİ : Süreye bağlı maliyet artışını gösterir.

DOĞRUDAN MALİYET



- İlk aşamada işe ayrılmış kaynaklar ile iş, normal maliyet ve sürede bitirilebildi.
- Eğer daha hızlı sonuç isteniyorsa, ek kaynaklar ile iş daha kısa sürede ancak daha yüksek maliyet ile bitirilebilir.
- Buna ağ sıkıştırma veya kısaltma adı verilir.

AĞ KISALTMA (SIKIŞTIRMA) – MALİYET ANALİZLERİNDE DİKKAT EDİLECEK NOKTALAR

- 1) TÜM KISALTMALAR **KRİTİK YOL** ÜZERİNDE YAPILIR.
 - 2) KISALTMALAR **BİRİM MALİYET** BAZINDA İRDELENİR.
 - 3) **BİRİM MALİYETİ DÜŞÜK** İŞLERE ÖNCELİK VERİLİR.
 - 4) **PROJEYE ÖZEL KISITLAR** DA DEĞERLENDİRİLİR
 - 5) **BİRDEN FAZLA KRİTİK YOL VAR İSE ;**
 - a) Kritik yolların ortak işleri üzerinde veya,
 - b) Her kritik yol üzerinden bir iş üzerinde
aynı aşamada kısaltma yapılır.
-

ÖRNEK - 2

- Alt yapı işleri yapan bir taşeron, aldığı bir işi en kısa sürede bitirmek istiyor.

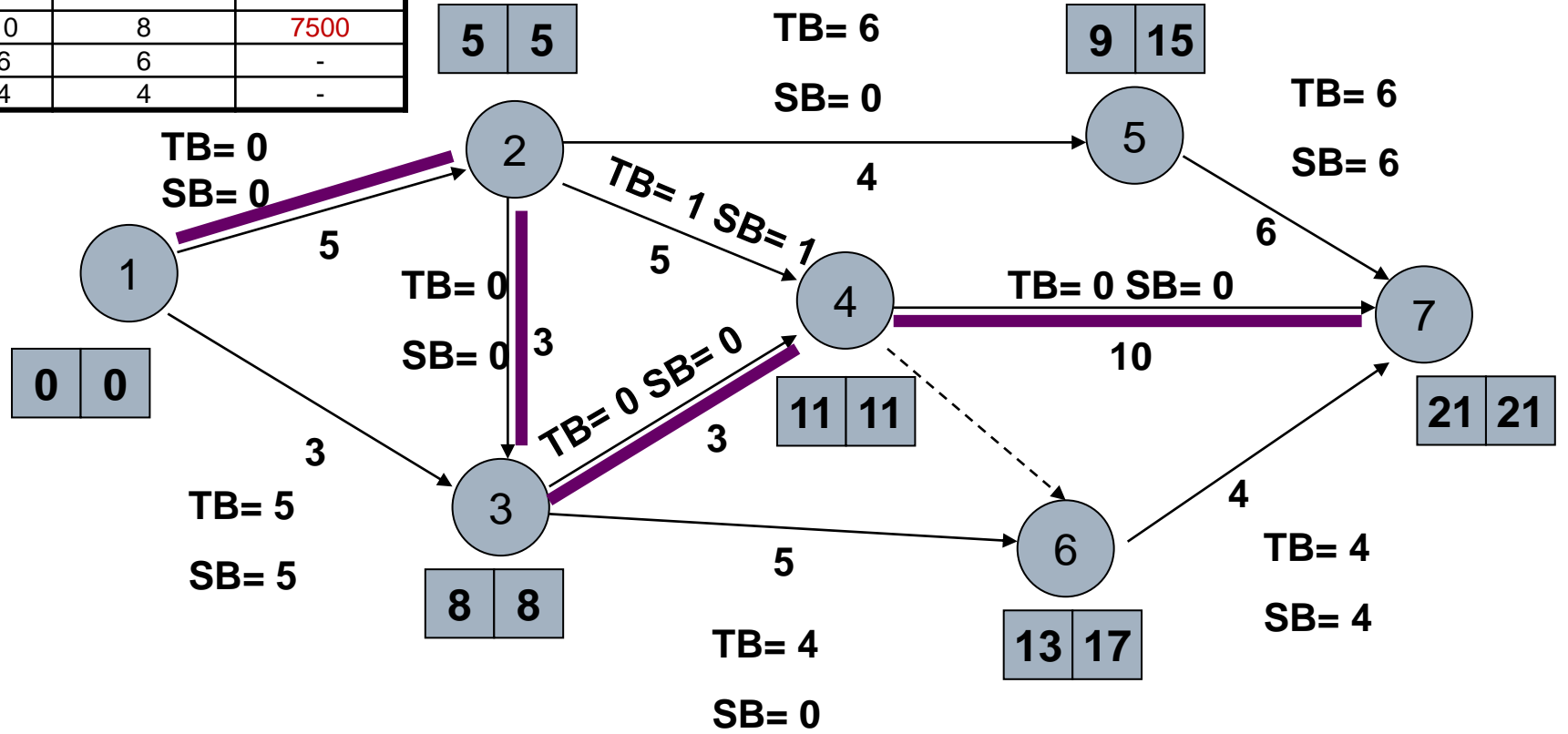
Bunun için ne kadar bir maliyet artışına katlanması gerekeceğini bilmek istiyor.

Tablodaki verilerden yararlanarak hesaplayınız.

İş	Normal Süresi (Ay)	Hızlandırılmış süre * (Ay)	Hızlandırma BİRİM Maliyeti TL / Ay
1-2	5	4	2000
1-3	3	3	-
2-3	3	2	2500
2-4	5	4	2000
2-5	4	4	-
3-4	3	2	3500
3-6	5	5	-
4-6	-	-	-
4-7	10	8	7500
5-7	6	6	-
6-7	4	4	-

* Bir işin -eldeki kaynaklar çerçevesinde- bitirilebileceği en kısa süre.
Bu işler daha fazla hızlandırılmaz ! . . .

İş	Normal Süresi (ay)	Hızlandırılmış süre (Ay)	Hızlandırma BİRİM Maliyeti TL / Ay
1-2	5	4	2000
1-3	3	3	-
2-3	3	2	2500
2-4	5	4	2000
2-5	4	4	-
3-4	3	2	3500
3-6	5	5	-
4-6	-	-	-
4-7	10	8	7500
5-7	6	6	-
6-7	4	4	-

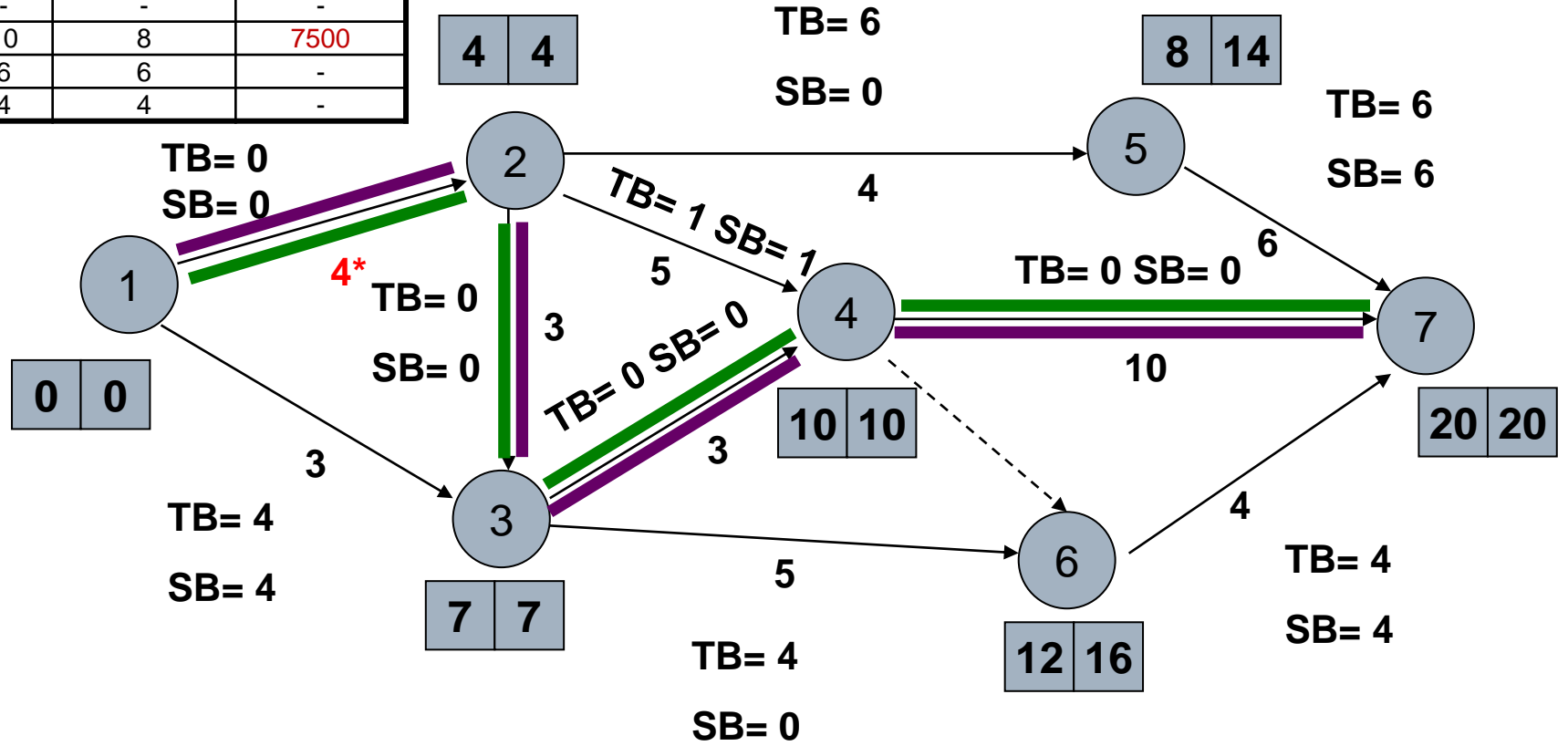


Kritik Yol: 1-2, 2-3, 3-4, 4-7

İş	Normal Süresi (ay)	Hızlandırılmış süre (Ay)	Hızlandırma Birim Maliyeti TL / Ay
1-2	5	4	2000
1-3	3	3	-
2-3	3	2	2500
2-4	5	4	2000
2-5	4	4	-
3-4	3	2	3500
3-6	5	5	-
4-6	-	-	-
4-7	10	8	7500
5-7	6	6	-
6-7	4	4	-

I. HIZLANDIRMA:

Maliyeti: 2000 TL

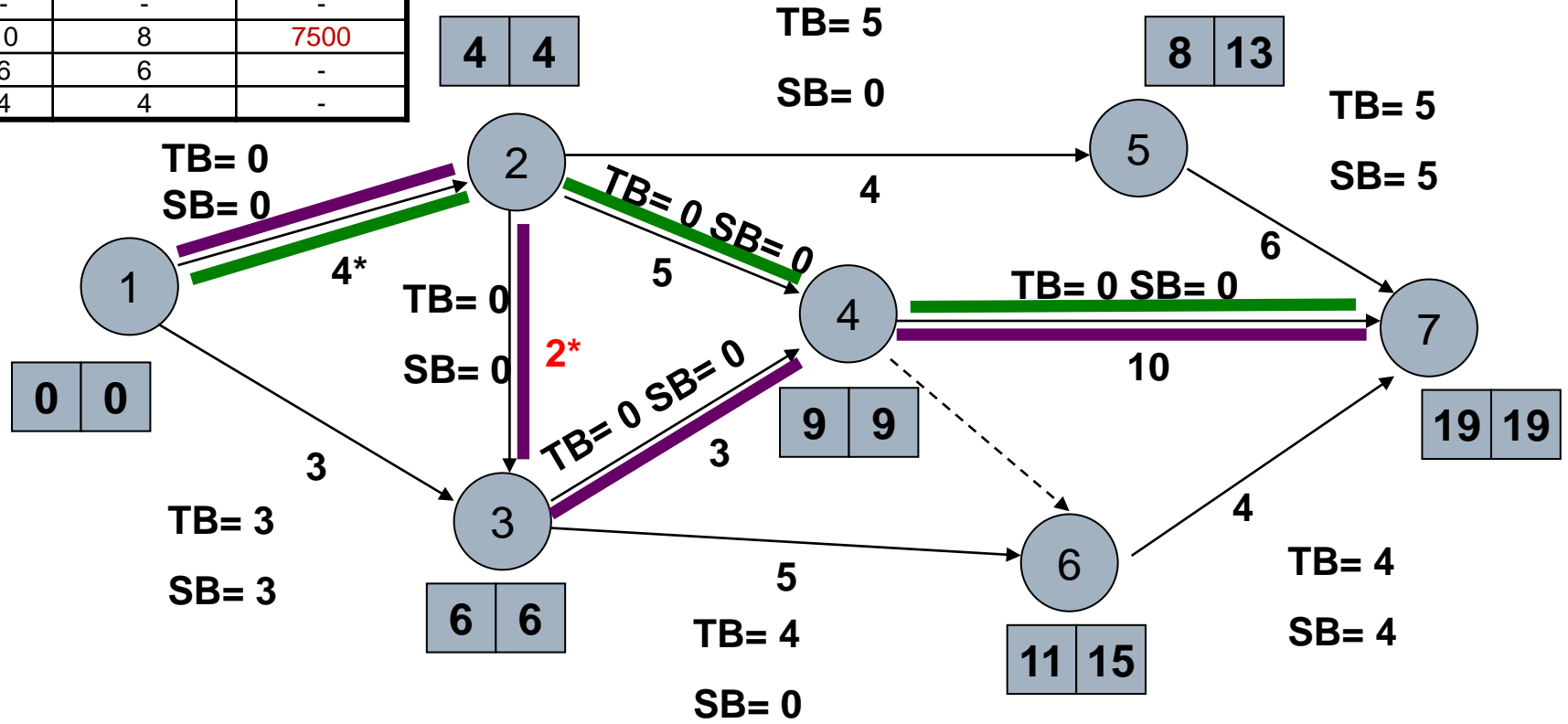


Kritik Yol: 1-2, 2-3, 3-4, 4-7

İş	Normal Süresi (ay)	Hızlandırılmış süre (Ay)	Hızlandırma Birim Maliyeti TL / Ay
1-2	5	4	2000
1-3	3	3	-
2-3	3	2	2500
2-4	5	4	2000
2-5	4	4	-
3-4	3	2	3500
3-6	5	5	-
4-6	-	-	-
4-7	10	8	7500
5-7	6	6	-
6-7	4	4	-

II. HIZLANDIRMA:

Maliyeti: 2500 TL



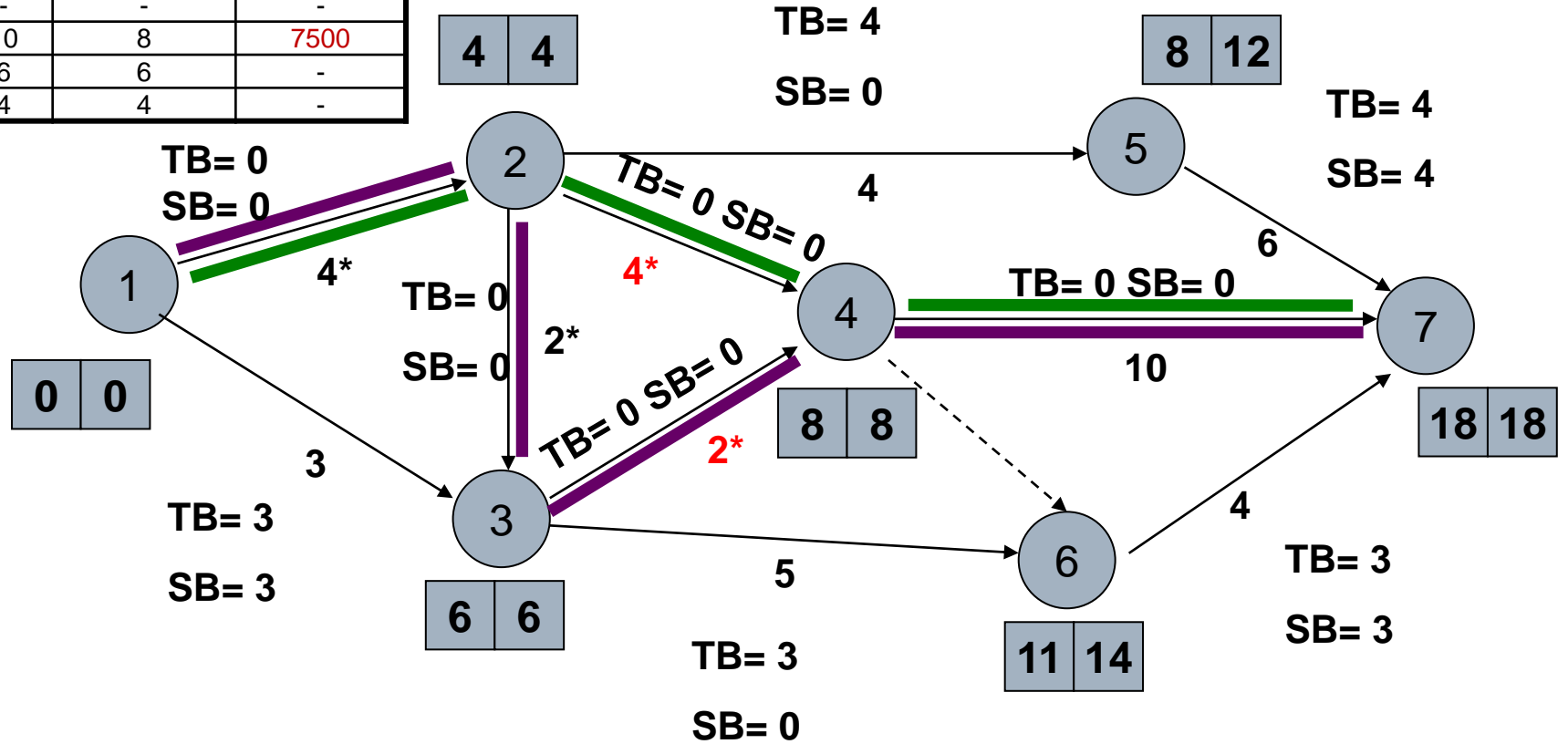
Kritik Yol-1: 1-2, 2-3, 3-4, 4-7

Kritik Yol-2: 1-2, 2-4, 4-7

İş	Normal Süresi (ay)	Hızlandırılmış süre (Ay)	Hızlandırma Birim Maliyeti TL / Ay
1-2	5	4	2000
1-3	3	3	-
2-3	3	2	2500
2-4	5	4	2000
2-5	4	4	-
3-4	3	2	3500
3-6	5	5	-
4-6	-	-	-
4-7	10	8	7500
5-7	6	6	-
6-7	4	4	-

III. HIZLANDIRMA:

Maliyeti: 2000 TL + 3500 TL = 5500 TL



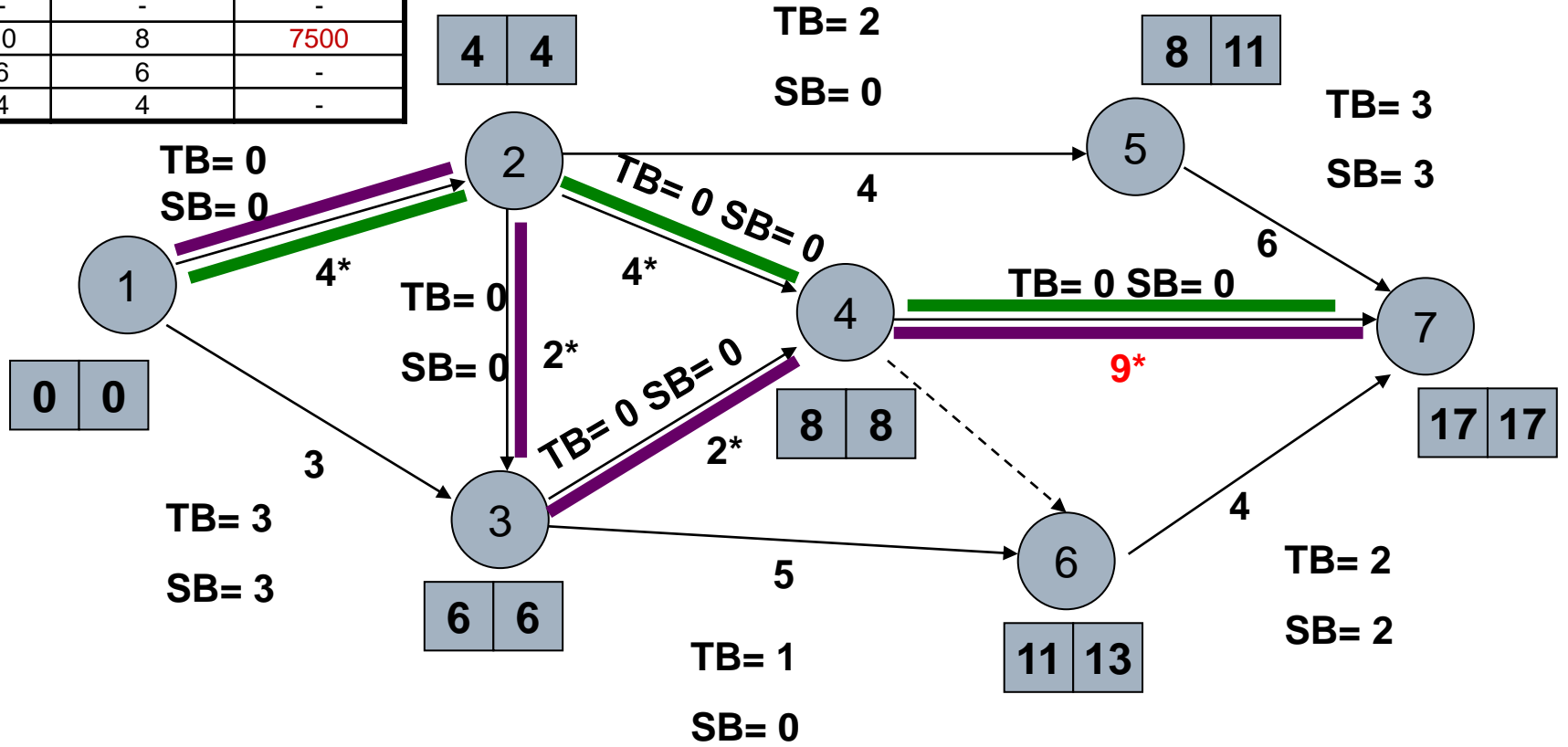
Kritik Yol-1: 1-2, 2-3, 3-4, 4-7

Kritik Yol-2: 1-2, 2-4, 4-7

İş	Normal Süresi (ay)	Hızlandırılmış süre (Ay)	Hızlandırma Birim Maliyeti TL / Ay
1-2	5	4	2000
1-3	3	3	-
2-3	3	2	2500
2-4	5	4	2000
2-5	4	4	-
3-4	3	2	3500
3-6	5	5	-
4-6	-	-	-
4-7	10	8	7500
5-7	6	6	-
6-7	4	4	-

IV. HIZLANDIRMA:

Maliyeti: 7500 TL



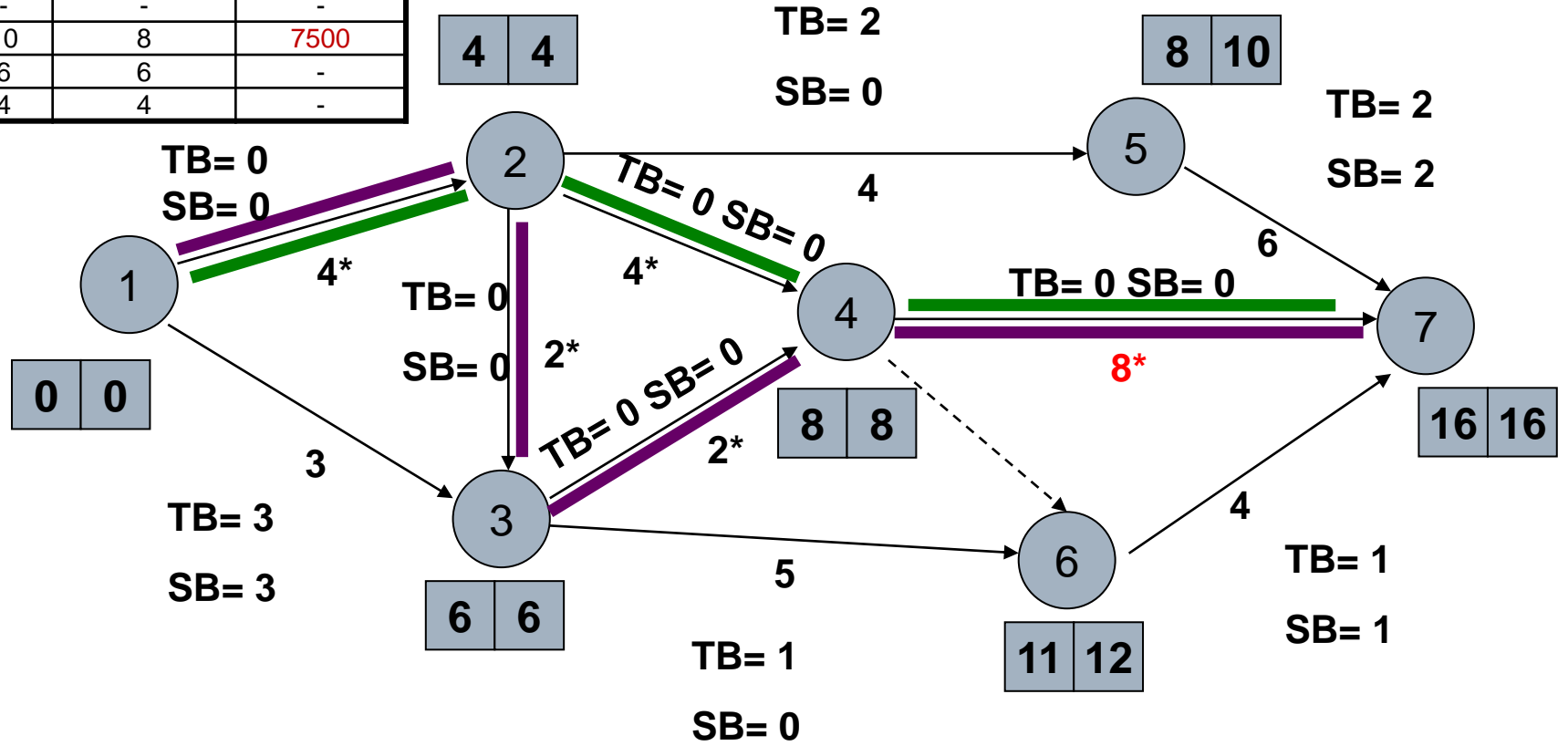
Kritik Yol-1: 1-2, 2-3, 3-4, 4-7

Kritik Yol-2: 1-2, 2-4, 4-7

İş	Normal Süresi (ay)	Hızlandırılmış süre (Ay)	Hızlandırma Birim Maliyeti TL / Ay
1-2	5	4	2000
1-3	3	3	-
2-3	3	2	2500
2-4	5	4	2000
2-5	4	4	-
3-4	3	2	3500
3-6	5	5	-
4-6	-	-	-
4-7	10	8	7500
5-7	6	6	-
6-7	4	4	-

V. HIZLANDIRMA:

Maliyeti: 7500 TL



Kritik Yol-1: 1-2, 2-3, 3-4, 4-7

Kritik Yol-2: 1-2, 2-4, 4-7

- ❑ I. Hızlandırma: 2 000 TL
- ❑ II. Hızlandırma: 2 500 TL
- ❑ III. Hızlandırma: 5 500 TL
- ❑ IV. Hızlandırma: 7 500 TL
- ❑ V. Hızlandırma: 7 500 TL

Toplam Hızlandırma Maliyet: 25 000 TL

ÖRNEK - 3

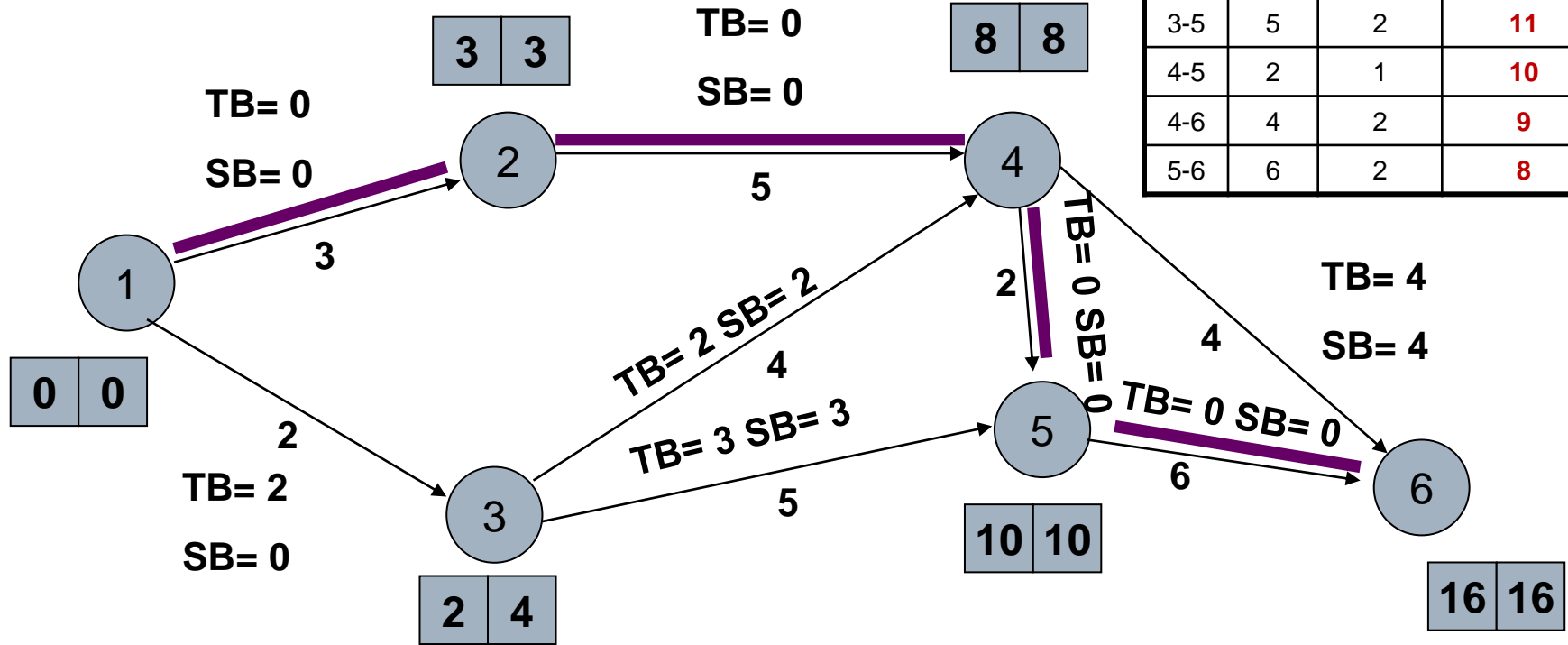
- ❑ Bir inşaat şirketi, süresi bir yıl ve ihale bedeli **220 milyon \$** olan bir işe teklif verecektir.
 - ❑ Tabloda veriler verilmiştir.
 - ❑ Siz de inşaat firması gibi gerekli hesaplamaları yaparak, **ihaleye katılıp katılmama kararını veriniz.**
-

İş	Normal Süresi (Ay)	Normal Maliyeti (Milyon \$)	Hızlandırılmış süre (Ay)	Hızlandırma Yapıldıktan Sonra İşin TOPLAM Maliyeti (Milyon \$)
1-2	3	9	2	15
1-3	2	5	1	10
2-4	5	43	3	58
3-4	4	20	2	40
3-5	5	24	2	57
4-5	2	20	1	30
4-6	4	30	2	48
5-6	6	24	2	56

*Projenin normal süresinde tamamlanması için gerekli olan
Toplam Maliyet (Cn)= 175 milyon \$*

İş	Normal Süre (Ay)	Hızlandırılmış süre (Ay)	Kazanılan süre (Ay)	Hızlandırma Yapıldıktan Sonra İşin TOPLAM Maliyeti (Milyon \$)	Normal Maliyet (Milyon \$)	İşin Hızlandırma TOPLAM Maliyeti (Milyon \$)	İşin Hızlandırma BİRİM Maliyeti (Milyon \$ / Ay)
1-2	3	2	1	15	9	6	6
1-3	2	1	1	10	5	5	5
2-4	5	3	2	58	43	15	7.5
3-4	4	2	2	40	20	20	10
3-5	5	2	3	57	24	33	11
4-5	2	1	1	30	20	10	10
4-6	4	2	2	48	30	18	9
5-6	6	2	4	56	24	32	8

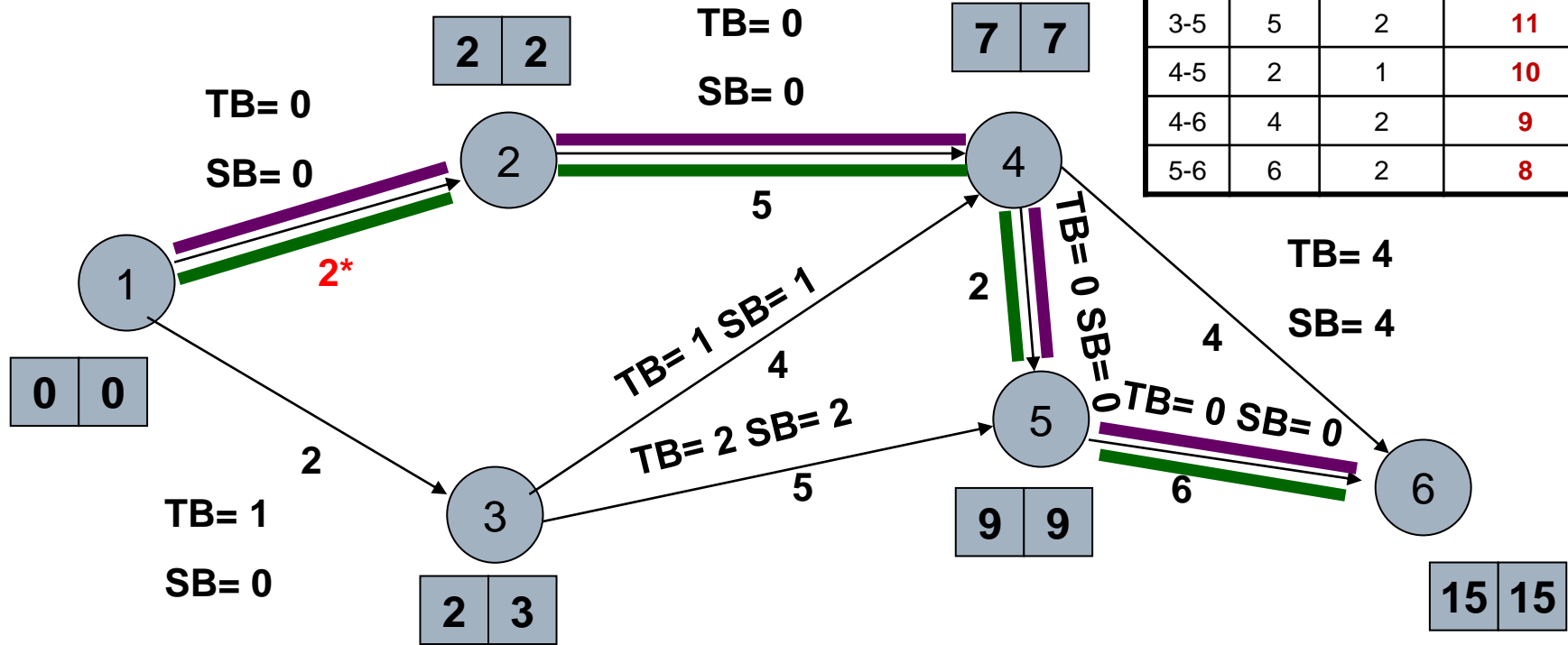
İş	Süre (Ay)	HızL. süre (Ay)	Hızlandırma BİRİM Maliyeti
1-2	3	2	6
1-3	2	1	5
2-4	5	3	7.5
3-4	4	2	10
3-5	5	2	11
4-5	2	1	10
4-6	4	2	9
5-6	6	2	8



Kritik Yol: 1-2, 2-4, 4-5, 5-6

I. HIZLANDIRMA:

İş	Süre (Ay)	HızL. süre (Ay)	Hızlandırma BİRİM Maliyeti
1-2	3	2	6
1-3	2	1	5
2-4	5	3	7.5
3-4	4	2	10
3-5	5	2	11
4-5	2	1	10
4-6	4	2	9
5-6	6	2	8

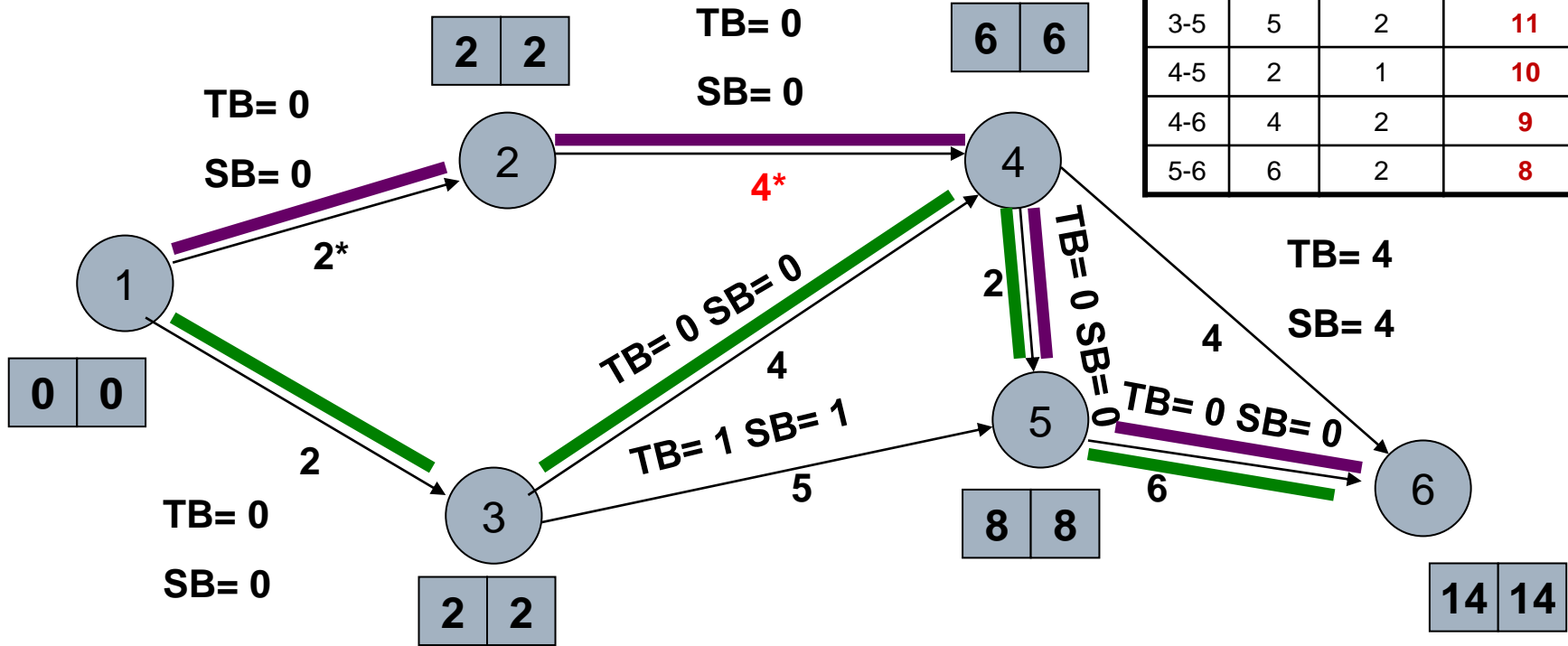


1. Hızlandırma maliyeti: 6 milyon \$

Kritik Yol: 1-2, 2-4, 4-5, 5-6

II. HIZLANDIRMA:

İş	Süre (Ay)	HızL. süre (Ay)	Hızlandırma BİRİM Maliyeti
1-2	3	2	6
1-3	2	1	5
2-4	5	3	7.5
3-4	4	2	10
3-5	5	2	11
4-5	2	1	10
4-6	4	2	9
5-6	6	2	8



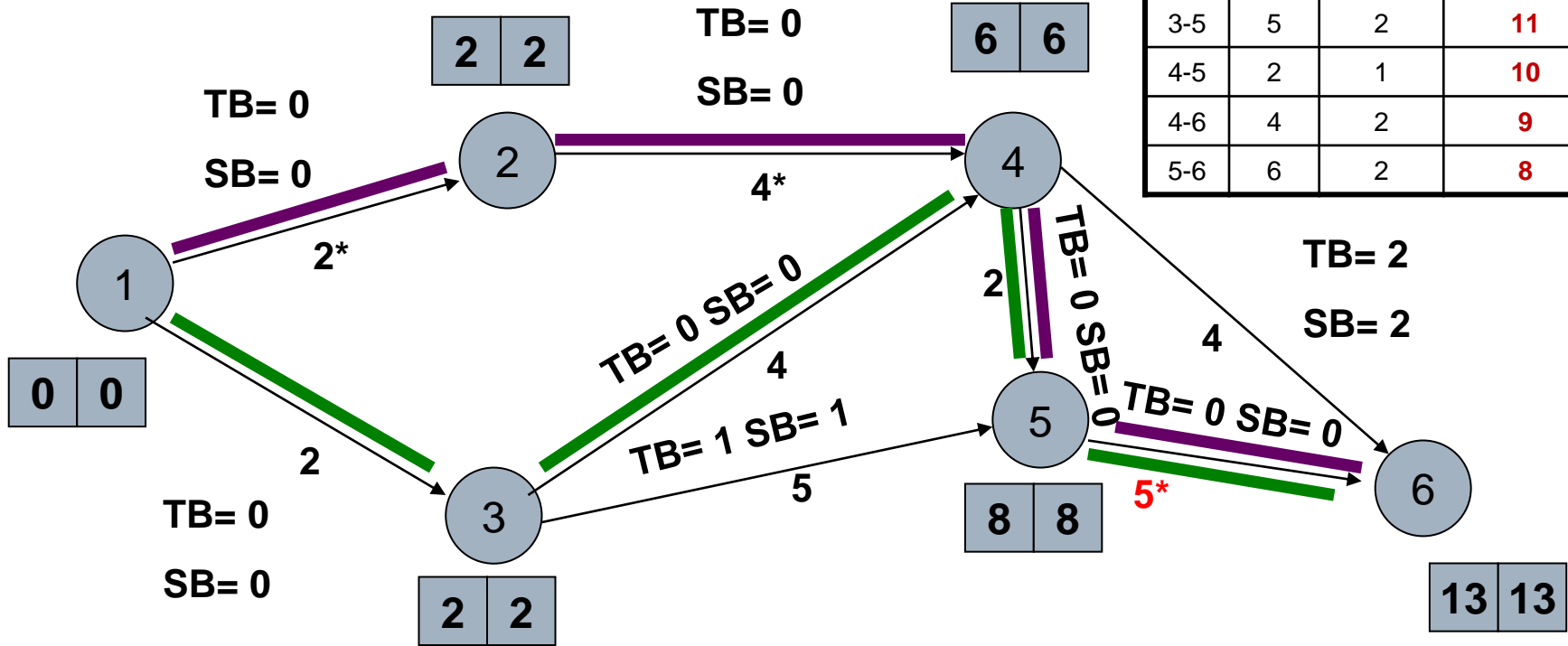
2. Hızlandırma Maliyeti: 7.5 milyon \$

Kritik Yol-1: 1-2, 2-4, 4-5, 5-6

Kritik Yol-2: 1-3, 3-4, 4-5, 5-6

III. HIZLANDIRMA:

İş	Süre (Ay)	HızL. süre (Ay)	Hızlandırma BİRİM Maliyeti
1-2	3	2	6
1-3	2	1	5
2-4	5	3	7.5
3-4	4	2	10
3-5	5	2	11
4-5	2	1	10
4-6	4	2	9
5-6	6	2	8



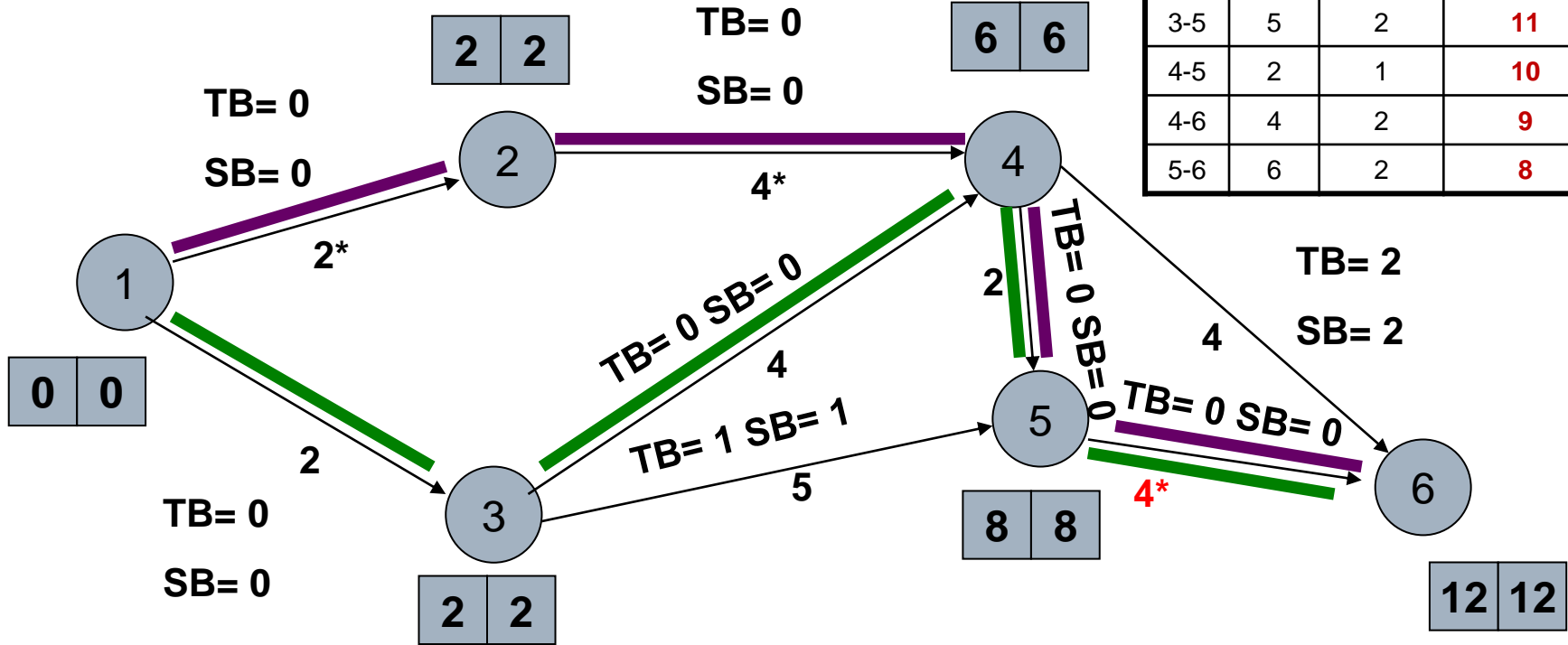
3. Hızlandırma Maliyeti: 8 milyon \$

Kritik Yol-1: 1-2, 2-4, 4-5, 5-6

Kritik Yol-2: 1-3, 3-4, 4-5, 5-6

IV. HIZLANDIRMA:

İş	Süre (Ay)	HızL. süre (Ay)	Hızlandırma BİRİM Maliyeti
1-2	3	2	6
1-3	2	1	5
2-4	5	3	7.5
3-4	4	2	10
3-5	5	2	11
4-5	2	1	10
4-6	4	2	9
5-6	6	2	8



4. Hızlandırma Maliyeti: 8 milyon \$

Kritik Yol-1: 1-2, 2-4, 4-5, 5-6

Kritik Yol-2: 1-3, 3-4, 4-5, 5-6

□ Projenin Normal Maliyeti: 175 milyon \$

□ I. Hızlandırma : 6 milyon \$

□ II. Hızlandırma : 7.5 milyon \$

□ III. Hızlandırma : 8 milyon \$

□ IV. Hızlandırma : 8 milyon \$

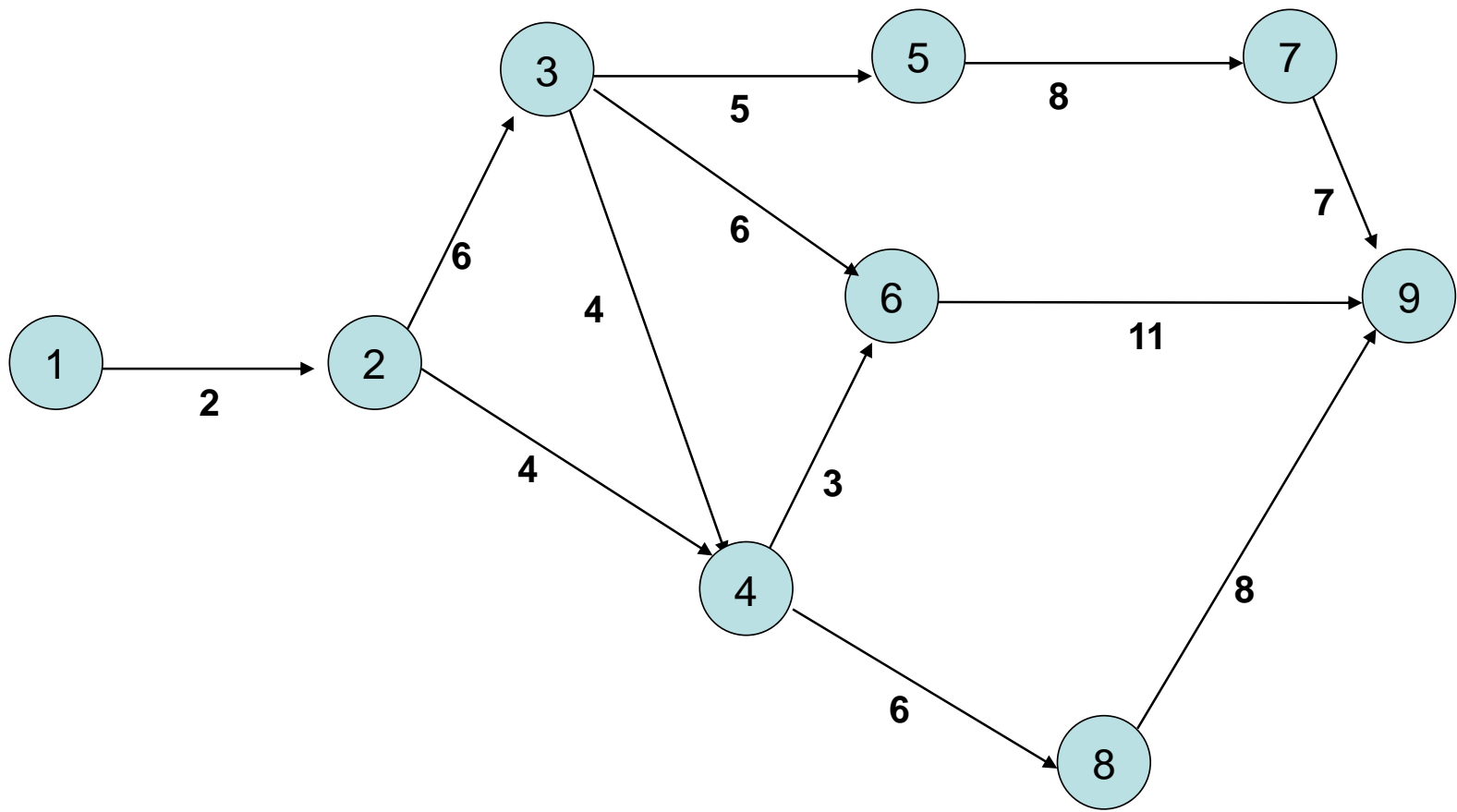
Hızlanmış Projenin Maliyeti ;

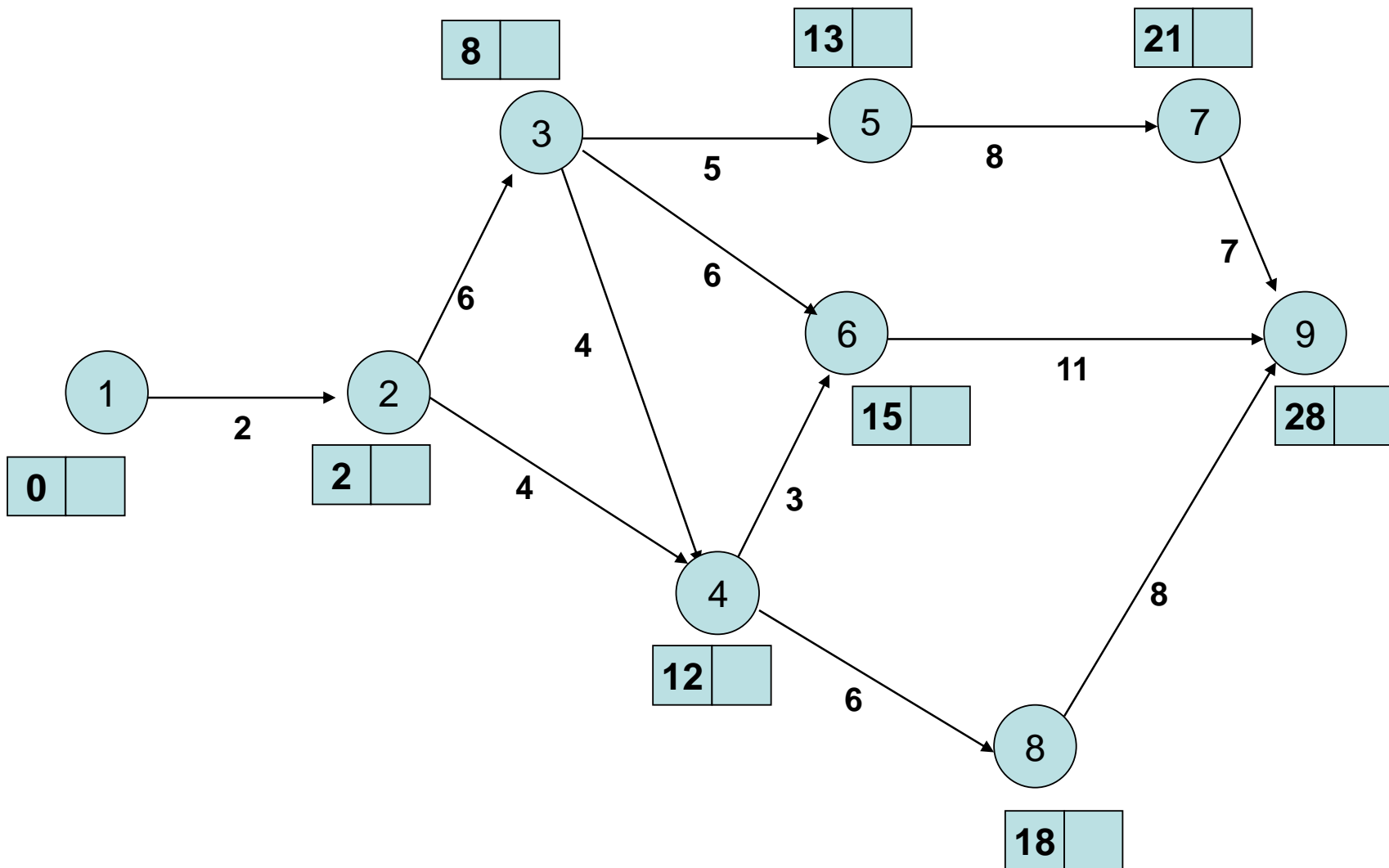
204.5 milyon \$ / 12 Ay >>> Teklif ???

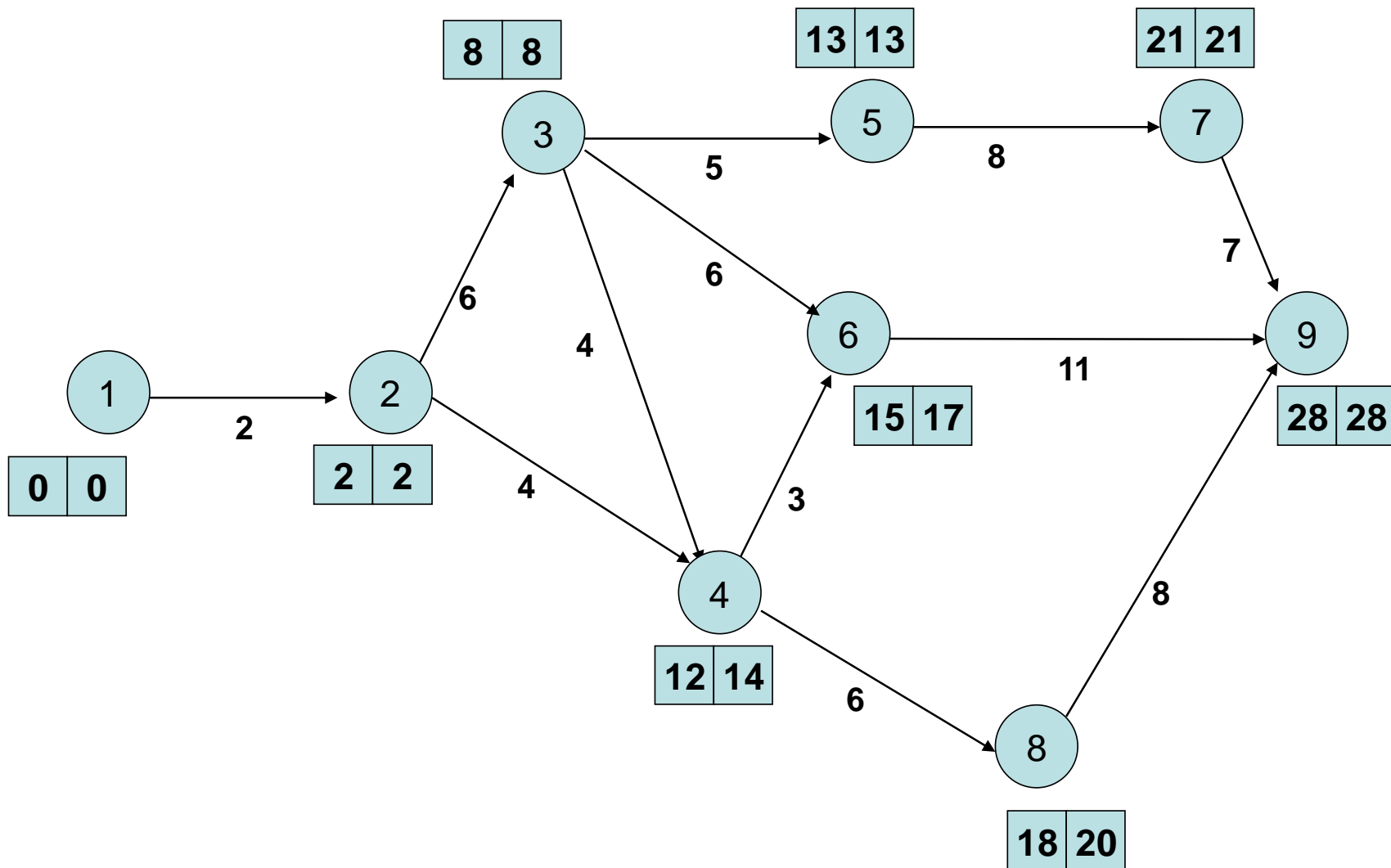
Örnek 4:

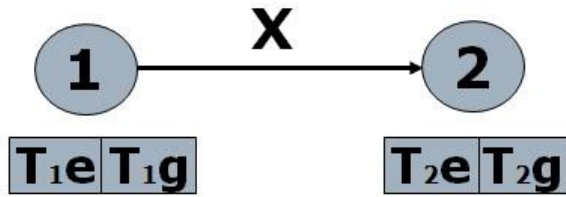
- Bir inşaat şirketinden yapımını üstlendiği işin **5 hafta önce bitirilmesi istenmektedir.** Planlama bölümünün çıkardığı veriler tablodadır. İşin normal bitirilme süresini, normal maliyetini, kısaltılmış bitirme süresini, maliyet artışını ve toplam maliyeti bulunuz.
-

İş	Normal süre (Hafta)	Normal Maliyet (\$)	Hızlandırılmış süre (Hafta)	Hızlandırma BİRİM maliyeti (\$/Hafta)
1-2	2	8000	1	5000
2-3	6	5000	5	2000
2-4	4	9000	2	1500
3-4	4	15000	1	2500
3-5	5	12000	4	3000
3-6	6	18000	4	2000
4-6	3	14000	1	7000
4-8	6	9000	3	4000
5-7	8	18000	7	4000
6-9	11	20000	9	3500
7-9	7	8000	6	8000
8-9	8	12000	6	6000



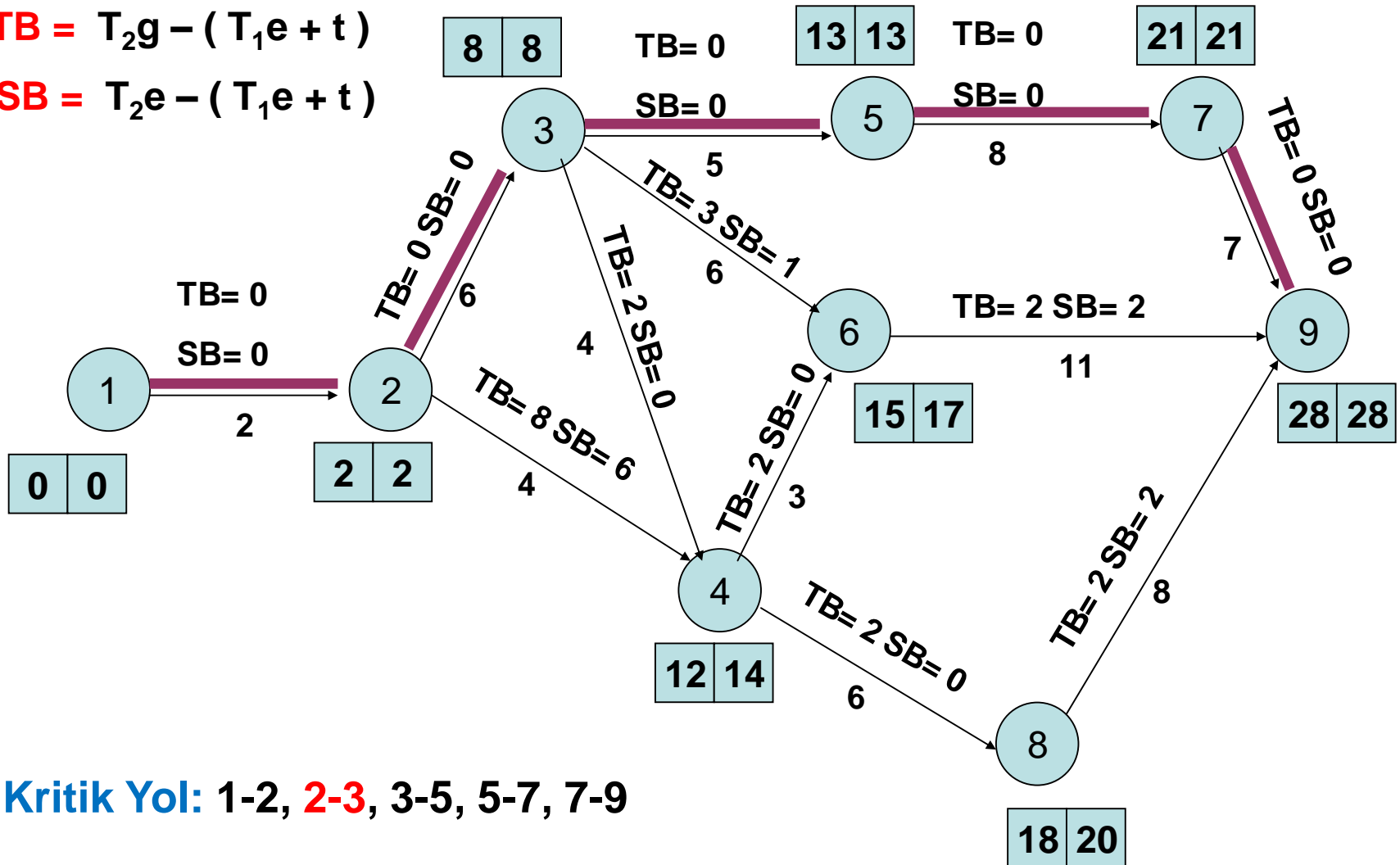






$$TB = T_2g - (T_1e + t)$$

$$SB = T_2e - (T_1e + t)$$

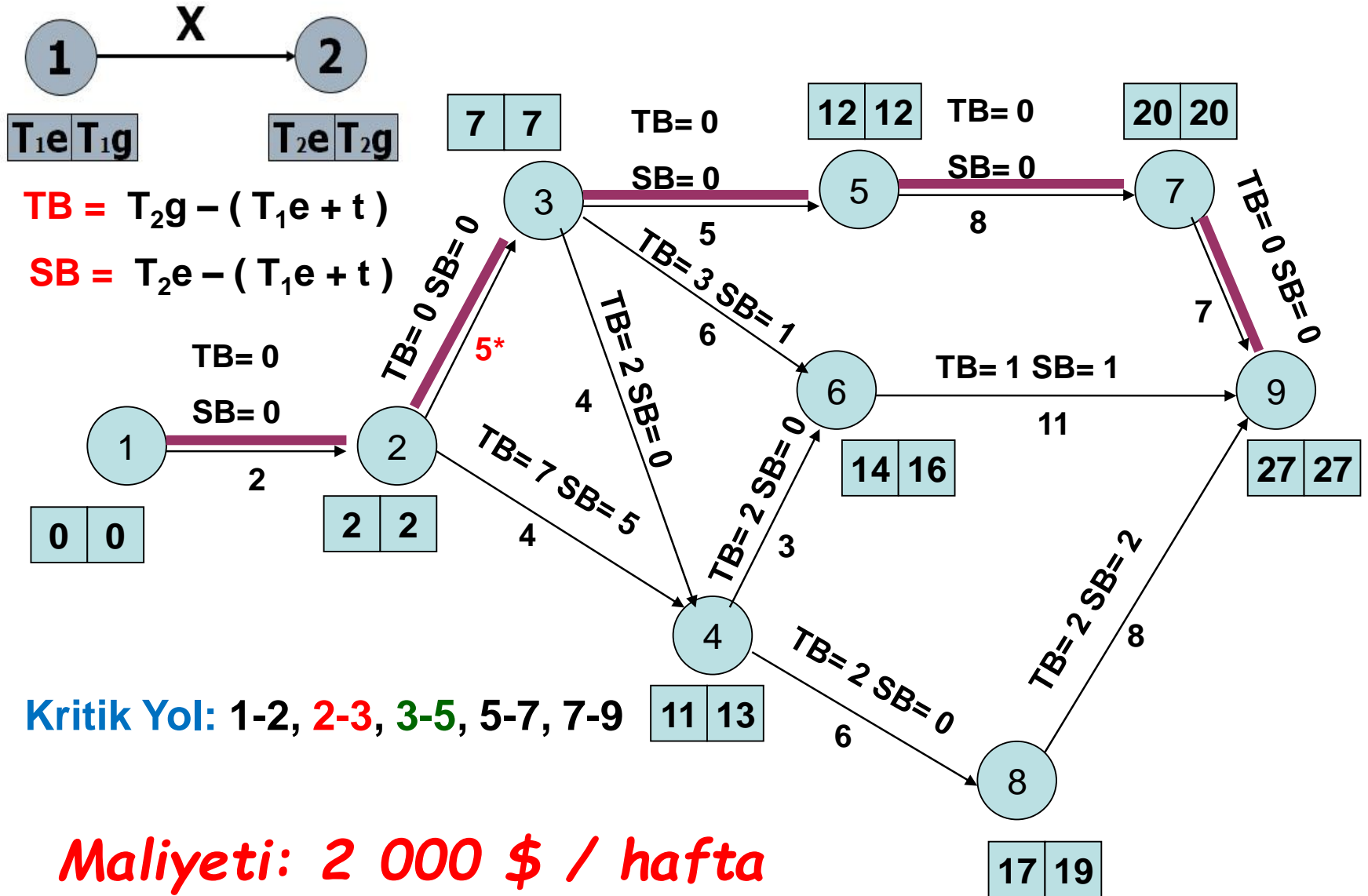


Kritik Yol: 1-2, 2-3, 3-5, 5-7, 7-9

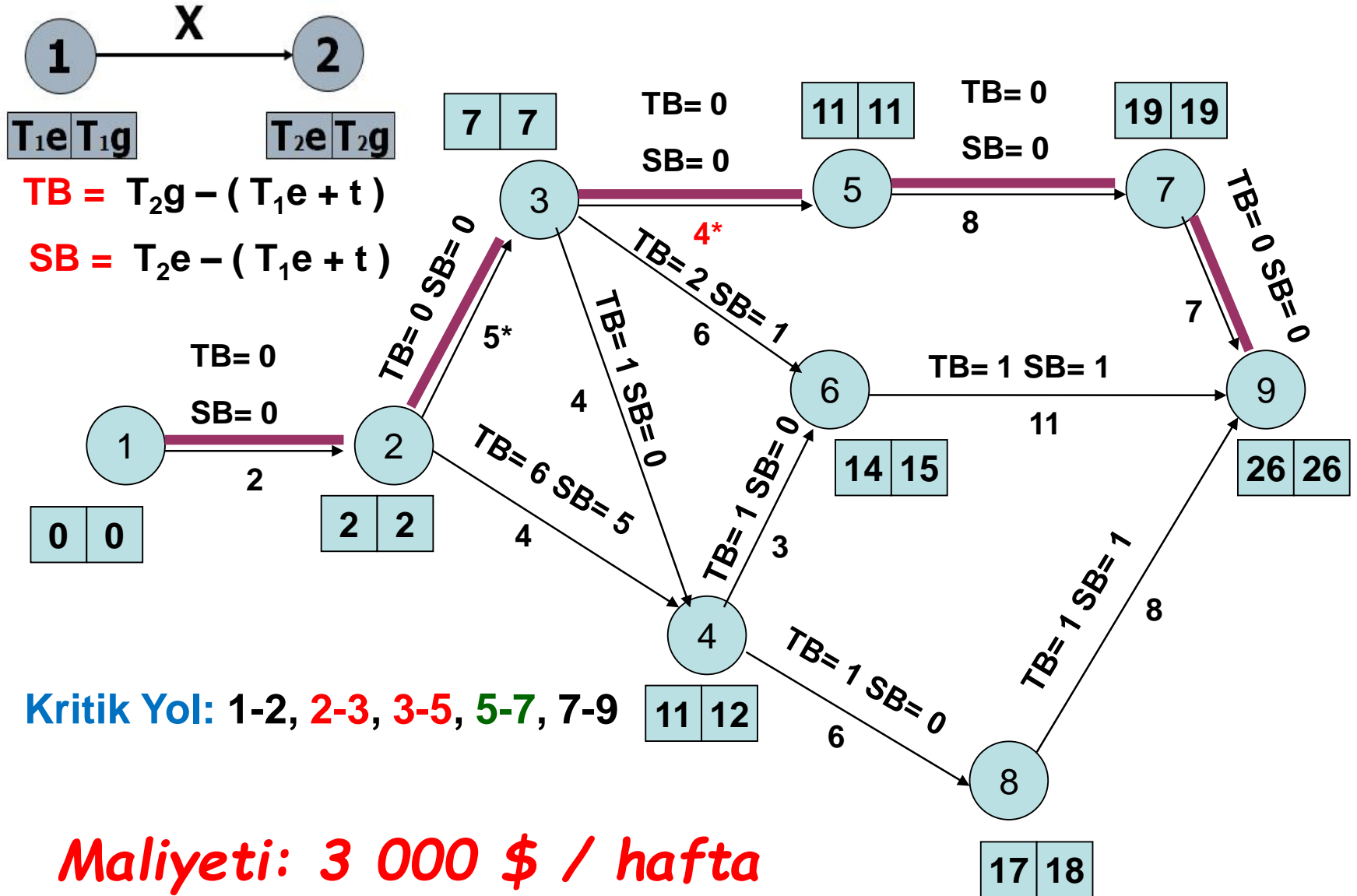
İş	Normal süre (Hafta)	Normal Maliyet (\$)	Hızlandırılmış süre (Hafta)	Hızlandırma BİRİM maliyeti (\$/Hafta)
1-2*	2	8000	1	5000*
2-3*	6	5000	5	2000*
2-4	4	9000	2	1500
3-4	4	15000	1	2500
3-5*	5	12000	4	3000*
3-6	6	18000	4	2000
4-6	3	14000	1	7000
4-8	6	9000	3	4000
5-7*	8	18000	7	4000*
6-9	11	20000	9	3500
7-9*	7	8000	6	8000*
8-9	8	12000	6	6000

* Kritik işler

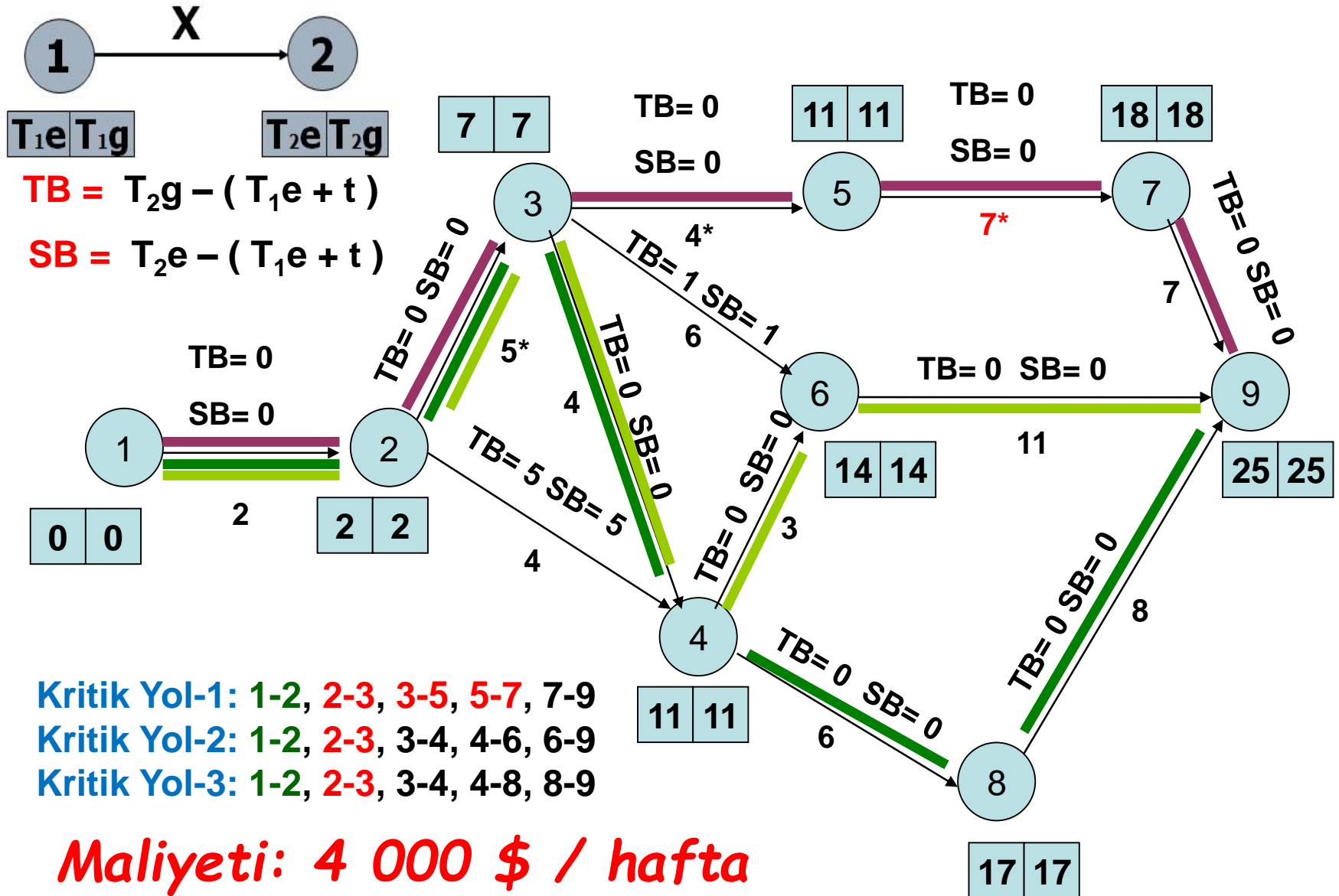
I. HIZLANDIRMA:



II. HIZLANDIRMA:



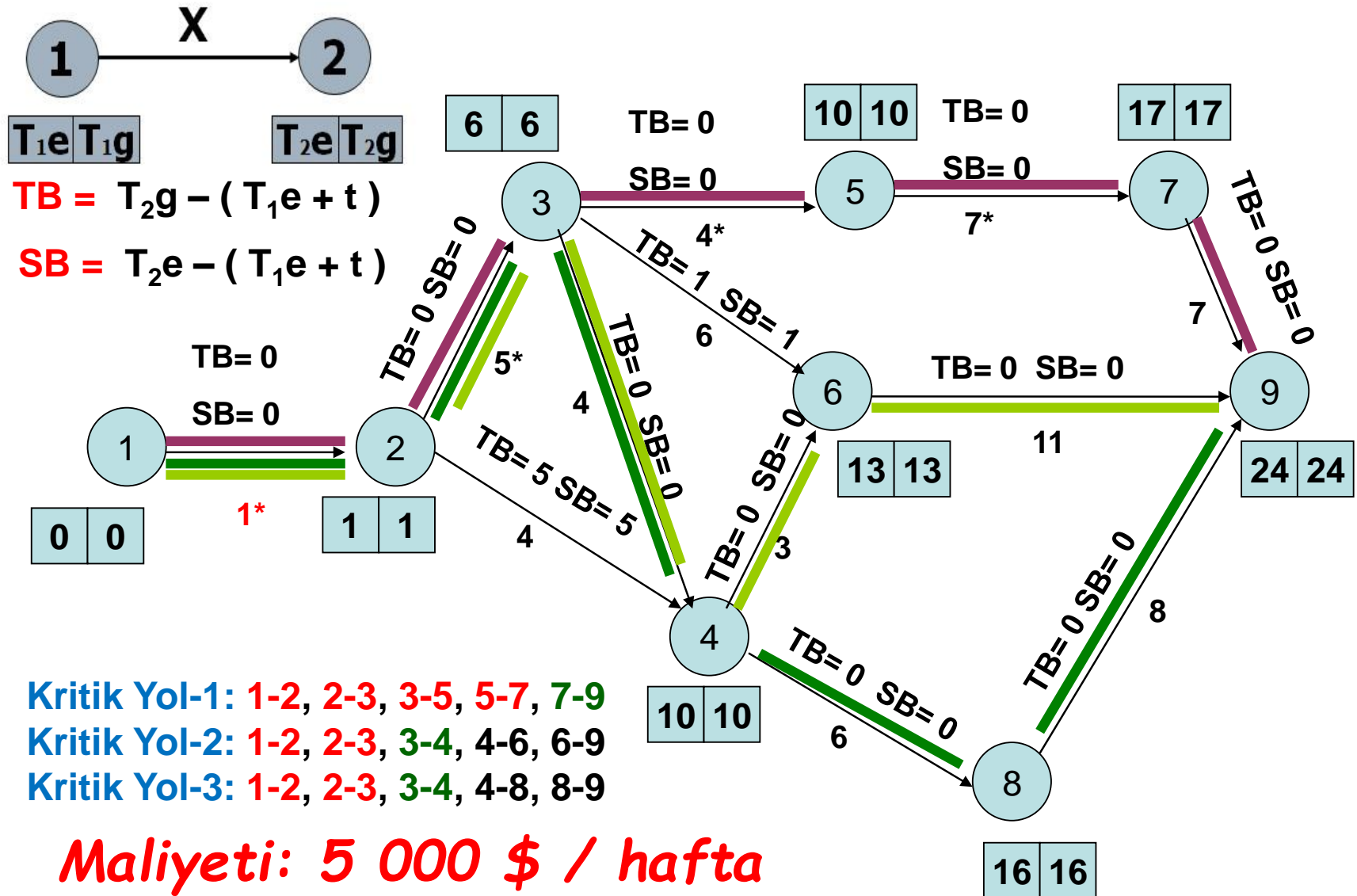
III. HIZLANDIRMA:



İş	Normal süre (Hafta)	Normal Maliyet (\$)	Hızlandırılmış süre (Hafta)	Hızlandırma BİRİM maliyeti (\$/Hafta)
1-2*	2	8000	1	5000*
2-3	6	5000	5	2000
2-4	4	9000	2	1500
3-4*	4	15000	1	2500*
3-5	5	12000	4	3000
3-6	6	18000	4	2000
4-6*	3	14000	1	7000*
4-8*	6	9000	3	4000*
5-7	8	18000	7	4000
6-9*	11	20000	9	3500*
7-9*	7	8000	6	8000*
8-9*	8	12000	6	6000*

* Hızlandırmada kullanılabilecek kritik işler

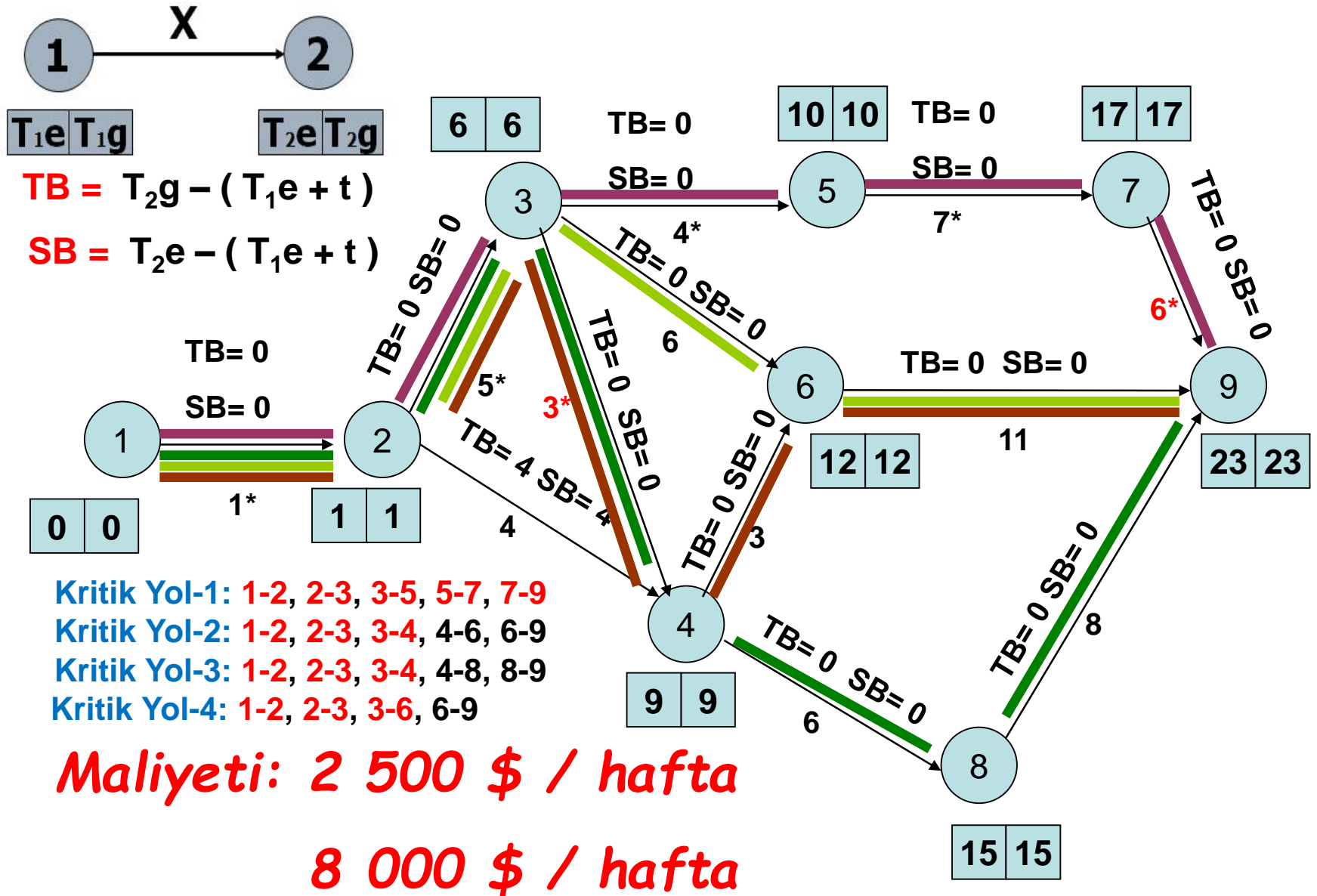
IV. HIZLANDIRMA:



İş	Normal süre (Hafta)	Normal Maliyet (\$)	Hızlandırılmış süre (Hafta)	Hızlandırma BİRİM maliyeti (\$/Hafta)
1-2	2	8000	1	5000
2-3	6	5000	5	2000
2-4	4	9000	2	1500
3-4*	4	15000	1	2500*
3-5	5	12000	4	3000
3-6	6	18000	4	2000
4-6*	3	14000	1	7000*
4-8*	6	9000	3	4000*
5-7	8	18000	7	4000
6-9*	11	20000	9	3500*
7-9*	7	8000	6	8000*
8-9*	8	12000	6	6000*

* Hızlandırmada kullanılabilecek kritik işler

V. HIZLANDIRMA:



-
- **Maliyet Artışları :** 1. Hız ; 2 000\$ (2-3 / 1H)
2. Hız ; 3 000\$ (3-5 / 1H)
3. Hız ; 4 000\$ (5-7 / 1H)
4. Hız ; 5 000\$ (1-2 / 1H)
5. Hız ; 2 500\$ (3-4 / 1H)
5. Hız ; 8 000\$ (7-9 / 1H)

- **Toplam Maliyet Artışı = 24 500\$ / 5 Hafta**

- **Normal Maliyet = 148 000\$ (28 Haftada)**

- **Toplam Maliyet = 172 500\$ (23 Haftada)**

Çözülen örneğin süreye bağlı maliyet artışını gösteren 'Yararlılık Eğrisini' çiziniz.

Yararlılık Eğrisi

