

İŞ PROGRAMI HAZIRLAMA TEKNİKLERİ

SEMİNER NOTLARI

1.GİRİŞ

Planlama, bir işin optimum süre ve maliyetle gerçekleştirilebilmesi için, işle ilgili tüm birimlerin, sıra, süre, yer, kapasite ve maliyet açısından, iç ve dış sınır koşulları çerçevesinde zamana bağlı olarak koordine edilmesi işlemidir.

Ana prensip, insan zekası yardımıyla günlük hayatta yapılan işlerin metodik olarak değerlendirilmesi ve düzenlenmesidir.

Belirli bir zaman süresi içinde tamamlamak zorunda olduğumuz işleri hangi sırayla ve nasıl yapacağımızı düşünür karar verir uyguluyoruz. Yapılacak işler, az sayıda, karmaşık olmayan, hergün karşılaşılan, standart işler ise kararlar kolaylıkla verilebilir.

Ancak işlerin sayısı ve aralarındaki ilişkiler artarak karmaşık bir hal alması durumunda bunları en uygun biçimde gerçekleştirmek zorlaşır.

İşte bu gibi hallerde, önce sözkonusu işlerin bir dökümünü yapmak ve bunları öngörülen hedefe ve mevcut koşullara uygun bir biçimde planlamak gerekir.

Gerçekleştirilmesi gereken iş günlük yaşamdaki işler dışında ekonomik açıdan önemli boyutları bulunan bir inşaat uygulaması (bina, yol, baraj, fabrika v.s.) bir makine imalatı, bir araştırma projesi gibi işler ise planlama ve dolayısıyla iş programı büyük bir önem kazanır.

Çünkü:

- a)** Bir proje (bina, yol, köprü, baraj, fabrika v.b) için gerekli olan ana işlemlerin saptanması ve bu işlemlerin sıra, süre, kapasite ve maliyet bakımından planlanması, bunların uygulama aşamasında yatırım programını ve sonucu ne kadar etkileyeceklerinin bilinmesi başarı açısından çok önemlidir.

- b) Projenin istenen süre içinde ve ekonomik olarak tamamlanabilmesi için dikkatlerin öncelikle hangi işlemlere (kritik işlemler) yöneltilmesinin bilinmesi ve bu işlemlerin daha kontrollü yapılması gerekir.
- c) Çeşitli işlemler arasında eşgüdümün yani koordinasyonun sağlanması gerekir.
- d) Projenin çeşitli aşamalarında görev ve sorumluluk alanlar, işlerini kısa ve uzun vadeli plan hedeflerine göre yürütmelidirler.

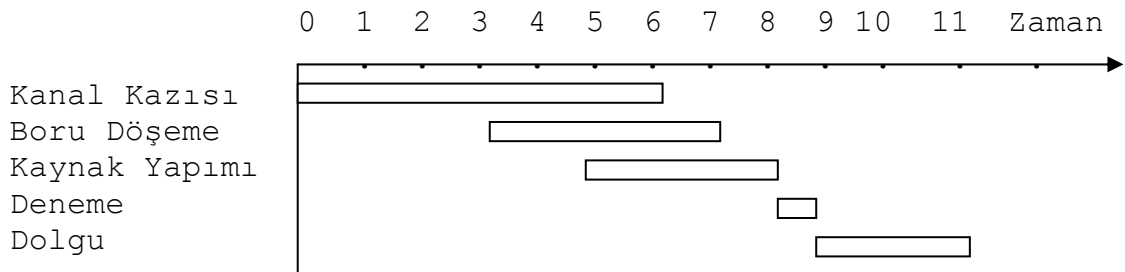
İşte bu zorunluluklar bazı iş programı metodlarının geliştirilmesini gerekli kılmıştır.

Bu seminer çerçevesinde, önemli iş programı teknikleri hakkında özet bilgi verilecek ve inşaat uygulamalarında yaygın biçimde kullanılan CPM (Critical Path Method = Kritik Yol Metodu) daha ayrıntılı olarak tanıtılacaktır.

2.ÇUBUK (GANTT) DİYAGRAMLARI:

Kullanılan ilk metoddur. 1900 yılında Amerikalı bir mühendis olan Henry GANTT tarafından geliştirilen bu metotta işlemler, zaman ölçeğine göre çizilen bir dizi yatay çubuk ile gösterilir. Her çubuk, projedeki bir işlemin başlangıç tarihini, süresini ve bitiş tarihini gösterir.

Geleneksel planlama metodu olarak bilinen çubuk (Gantt) diyagramları uzun yıllar yaygın bir biçimde kullanılmış olup bugün de bazı basit işlerde kullanılmaktadır.



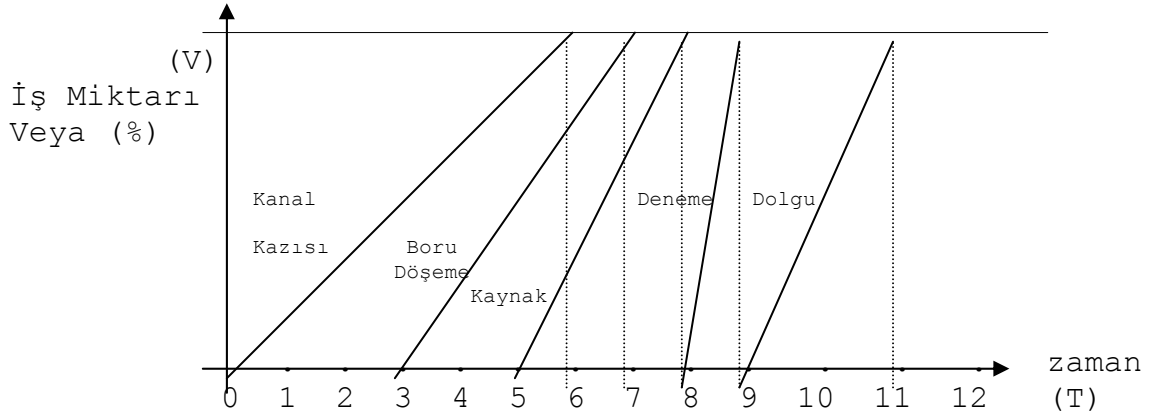
Çubuk (Gantt) Diyagramlarının önemli yetersizlikleri şöyle özetlenebilir:

- İşlemler arasındaki ilişkiler gösterilemediğinden, işlem sırasının yeniden düzenlenmesi gerektiğinde sakıncalar ortaya çıkmaktadır.
- İş Miktarını işlemlere bağlı olarak göstermezler
- Hangi işlemlerin süreleri toplamının projenin süresini verdiğini göstermezler. Başka bir deyişle kritik işlemler yani kesin olarak öngörülen süresinde bitmesi gereken işlemler belli değildir, böyle işlemlerin tamamlanmasındaki gecikme tüm proje süresini geciktireceğinden, çubuk diyagramlarındaki bu yetersizlik çok önemlidir.
- Tamamlanmaları için fazla zamanı (bolluğu) olan, yani kritik olmayan işlemleri göstermezler. Oysa bu bollukların bilinmesi kaynak dengelemesi açısından çok önemlidir.
- Yukarıdaki yetersizliklere bağlı olarak proje süresinin kısaltılması ile maliyet arasındaki bağıntının nasıl değişeceği sorularına cevap alınamamaktadır.
- Çubuk diyagramları olasılık arzeden işlerde kullanılamazlar.

Sonuç olarak Çubuk (Gantt) Diyagramları ancak, basit ve olasılığı bulunmayan projelerde kullanılabilecek niteliktedir.

3.DEVRE DİYAGRAMLARI

Tren istasyonlarındaki hareket cetvellerine benzerler. Yatay eksen iş süresini göstermektedir. Düşey eksen ise müşterek bir birimle ifade edilebilecek (uzunluk, hacim, alan) iş miktarını gösterir. Yol, demiryol, boru hatları v.b.projelerinde (iş miktarı birimi aynı= uzunluk olduğundan) başarıyla uygulanabilir. Ancak iş miktarı birimlerinin farklı olması durumunda devre diyagramlarının hazırlanması zordur ve karışıklıklar meydana gelmektedir. Buna karşın bina inşaatı gibi farklı iş miktarı birimlerinin sözkonusu olduğu yatırımlarda (V) iş miktarı yerine her işlemdeki iş miktarı, kendi toplamının (%) si olarak alınmak suretiyle devre diyagramları kullanılabilir.



Devre diyagramlarında, işlemler arasındaki ilişki türlerinin ortaya konulabilmesi, iki boyutlu olması nedeniyle işlem çizgisinin eğimi ($V/T = \text{miktar/zaman}$) hesaplanarak işlemin gerçekleşme hızının bulunabilmesi hız değişiminin zaman ve yerlerinin izlenebilmesi bu diyagramların avantajlı yönleridir.

Devre diyagramlarının yetersizlikleri şunlardır:

- İşlemlerin ilişki tipinde, sıra veya sürelerinde herhangi bir değişiklik olduğunda, diyagramın en azından bir kısmının yeniden çizilmesi gerekmektedir.
- Kritik ve kritik olmayan işlemler saptanamamaktadır.

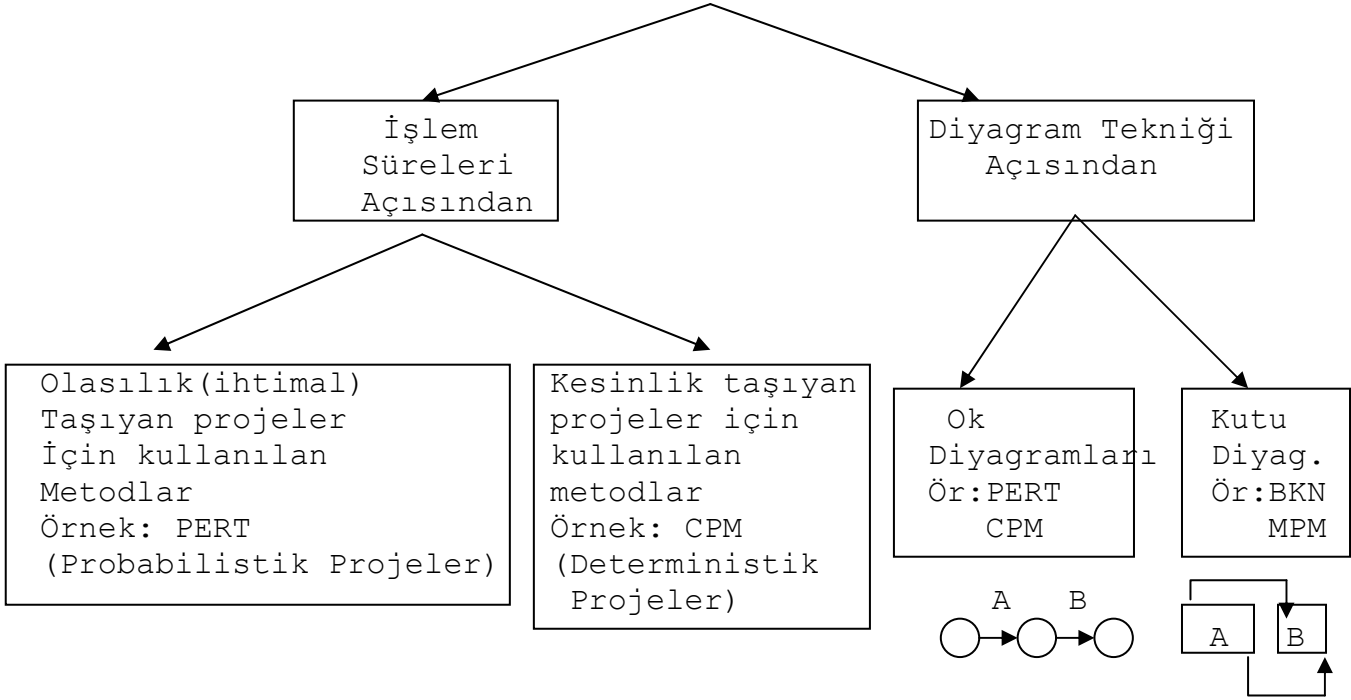
Özellikle kaynak dengelemesine ve optimum proje süresinin belirlenmesine olanak vermeyen bu yetersizlikler devre diyagramlarının değerini azaltmaktadır.

4.AĞ (ŞEBEKE) DİYAGAMLARI:

Matematiksel anlamda ağ(şebeke) diyagramı "düğüm noktaları ve oklardan oluşan çizelge (grafik)" diye tanımlanmaktadır.

Ağ diyagramlarına dayalı iş programı teknikleri iki türlü gruplandırılabilir:

AĞ (ŞEBEKE) DİYAGRAMLARI



Modern planlama teknikleri olarak da anılan CPM ve PERT metodları 1957-58 yıllarında İngiltere ve ABD'de geliştirilmiştir.

ABD'de ilk kez 1958'de Du Pont de Nemours Company adlı kimyasal yatırımlar yapan firma, büyük bir yatırımın planlanmasında CPM metodunu kullanmış ve büyük tasarruf sağlamayı başarmıştır. 1959 da Dr.Mauchly CPM metodunu basitleştirerek endüstri yatırımlarına tatbik edilir hale getirmiştir.

CPM ayrıntılı biçimde inceleneceğinden PERT metodu ile ilgili özet bilgilerin sunulmasında yarar görülmüştür.

5. PERT METODU:

PERT : Program Evaluation and Review Technique
(Program Değerlendirme ve Denetim Tekniği)

PERT olasılık arzeden projeler için kullanılan bir metoddur. Başlangıcı, CPM gibi Du Pont firmasının çalışmalarına dayanmaktadır. İlk önemli uygulama, Polaris füzeleri projesinde (ABD deniz kuvvetleri) olmuştur. 3000 den fazla firmanın (müteahhit v.s.olarak) çalıştığı bu proje PERT metodunun başarıyla uygulanması sonucu tahmin edilen süreden 2 yıl önce tamamlanmıştır.

PERT'i CPM den ayıran en önemli özellik, bu metodun süre ve maliyet bakımından kesinlik arzetmeyen projeler için hazırlanmış olmasıdır. Örneğin, araştırma-geliştirme projeleri, ilk kez gerçekleştirilen ve özellik taşıyan yatırımlar v.s.

CPM'de her işlem için belli bir süre tahmin edilir. İşin niteliğine geçmiş deneyimlere, eldeki olanaklara dayanılarak beliren bu süre kesinmiş gibi kabul edilir ve genellikle de yapılan hata sonucu etkilemeyecek düzeyde kalır.

PERT'te ise her işlem için:

$$\begin{array}{ll}
 t_a = \text{en iyimser süre} & t_e = \text{beklenen (ortalama) süre:} \\
 t_b = \text{en kötümser süre} & \\
 t_m = \text{en olası süre} & t_e = \frac{t_a + 4t_m + t_b}{6}
 \end{array}$$

bulunarak şebeke hesabında bu (t_e) değeri esas alınır.

6.CPM METODU:

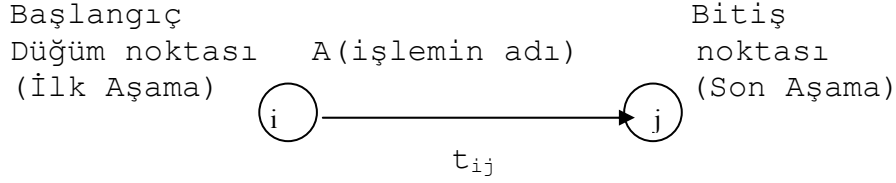
CPM : (Critical Path Method)
Kritik Yol (Yörünge) Metodu

6.1.İşlemlerin Tanımı

Bir projeyi oluşturan elemanlara işlem (faaliyet, aktivite) denir. Örneğin bir bina inşaatı sözkonusu ise:

- a- Proje yapılması, ruhsat alınması, malzeme siparişi gibi sadece insan emeğine dayanan işlemler (faaliyetler) bulunduğu gibi, kazı yapılması, kalıp kurulması, beton dökümü v.b.gibi hem insan emeği, hem malzeme ve hem de gerektiğinde makine gücüne ihtiyaç gösteren işlemler sözkonusudur. Hangi işlerin veya iş gruplarının bir işlem ünitesi olarak alınacağını iş programının niteliğine göre programcı tespit eder.
- b- Büyük yatırımlarda genellikle bir ANA(MASTER) program hazırlanır. Bir büyük binanın yapımı tek bir işlem olarak gösterilebilir. Daha sonra ayrıntılı (ARA) programlara geçildiğinde, ana programdaki bir işlem kendi içinde daha ayrıntılı kısımlara bölünerek, ana programa uygun KİSMİ programlar yapılır.
- d- KİSMİ programlar birleştirilerek UYGULAMA İŞ PROGRAMI oluşturulur.

CPM metodunda (genel olarak ok diyagramlarında) her işlem bir ok ile gösterilir. Her işlem bir düğüm noktası ile başlar ve diğer bir düğüm noktasında biter.

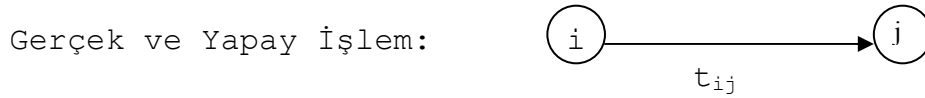


A = İşlemin adı (örneğin: beton dökümü)
i = işlemin başlangıç düğüm noktası
 t_{ij} = işlemin süresi (gün, hafta, ay)
j = işlemin bitiş düğüm noktası

6.2.CPM'deki İşlem Türleri:

- 1) Zaman ve kaynak harcayan GERÇEK işlemler (kazı işleri, kalıp yapımı beton dökümü v.b)
- 2) Yalnız zaman harcayan YAPAY (Suni) işlemler. (boyanın kurumması, betonun sertleşmesi v.b.)
- 3) Ne zaman, ne de kaynak harcayan KUKLA (Gerçek dışı, hayali=dummy) işlemler.

İşlemler arasındaki ilişkiyi belirtmek amacıyla CPM şebekesine yardımcı olarak giren işlemlerdir. Kesikli çizgi ile gösterilirler.



6.3.İşlemlerin Zaman Birimi ve Tamamlanma Süresi

- 1- İş programındaki bütün işlemler aynı zaman biriminin kullanılması zorunludur.
- 2- Zaman birimi için belirli bir standart sözkonusu olmayıp projenin (yatırımın) niteliğine iş programının detay derecesine göre farklı zaman birimleri kullanılabilir.

a) Bir uzay mekiği projesinde bazen saniye ve hatta saniyenin kesirleri bile zaman birimi olarak kullanıldığı gibi, uzun yıllar sürebilecek bir

yatırım için zaman birimi olarak ay hatta yıl da alınabilir.

- b) İnşaat uygulamaları için genellikle kullanılan zaman birimleri gün, hafta ve ay dır.
- c) Önemli olan husus amaca ve planlama detayına uygun zamanın seçilmesi ve projedeki tüm işlemler için bu birimin kullanılmasıdır.

3- Bir işlemin TAMAMLANMA SÜRESİ, o işlemin başladığı andan bitinceye kadar geçen zaman demektir. Bu arada işlemin kesintiye uğramadan devam ettiği kabulü yapılır.

4- 1 düğüm noktasında başlayıp j düğüm noktasında biten bir işlemin tamamlanma süresi (t_{ij}) şöyle hesaplanır:

i-j işinin toplam miktarı: V

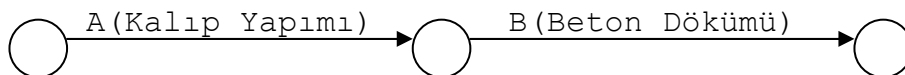
Birim zamanda yapılan iş miktarı: v ise

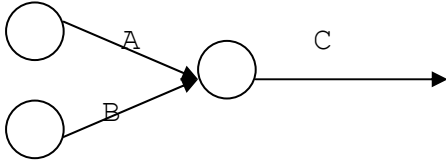
İşlemin tamamlanma süresi $t = \frac{V}{v}$ olur.

- Toplam iş miktarı (V) nin bulunması kolaydır. 1000 m³ hafriyat, 100 m² sıva, 50m. boru döşeme v.s.gibi
- Birim zamanda yapılabilecek işin (v) hesabı ise daha ayrıntılı olup, bunun sağlıklı bir biçimde saptanması, planlamanın başarısı açısından çok önemlidir.
 - . İşlemin bünyesine giren insan ve makine gücünün bilinmesi gerekir.
 - . Çeşitli iş kalemlerinin, her biriminin ne kadar zamanda yapılabileceğini gösteren analizler mevcut olup bunlardan yararlanılır.
 - . Önemli bir faktör ise, işi yapan firmanın eleman, makine, araç, gereç açısından olanaklarının ne olduğu ve sözkonusu işi gerçekleştirmek için hangi kaynakları kullanabileceğidir.
 - . Dikkate alınması gereken bir diğer faktör İŞLEM'in DİREKT MALİYETİ dir. İşlemin tamamlanma süresi olarak hesaplanan (t_{ij}) süresi normal süredir. Bu süre içinde, direkt olarak işlemin bünyesine giren insan gücü, malzeme, yardımcı malzeme, makina-saat miktarları bu işlemin normal (direkt) maliyetini oluşturur.

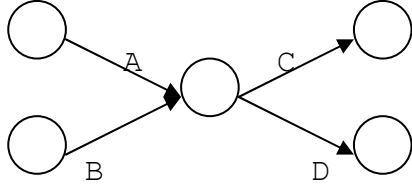
6.4.İşlemler Arasındaki İlişkiler

CPM metodunda temel ilişki, bir işlem bittikten sonra onu izleyen işlemin veya işlemlerin başlayabileceği ilişkisidir. Bir başka deyişle SON-BAŞ ilişkisi vardır.

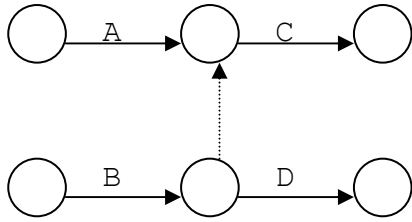




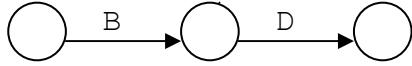
A ve B tamamlandıktan sonra C başlayabilir veya C nin başlayabilmesi için A ve B tamamlanmış olmalı.



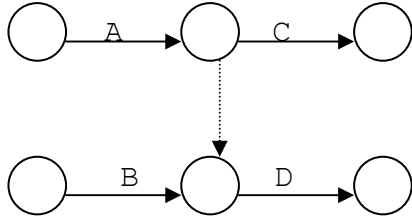
A ve B (her ikisi birden) tamamlandıktan sonra C ve D işlemleri başlayabilir.



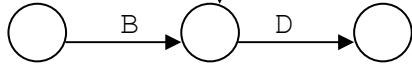
A ve B tamamlandıktan sonra C başlayabilir.



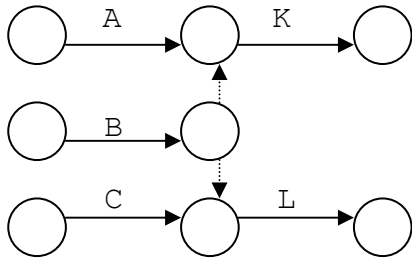
B tamamlandıktan sonra D başlayabilir.



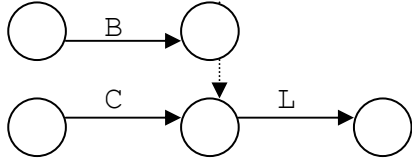
A tamamlandıktan sonra C başlayabilir.



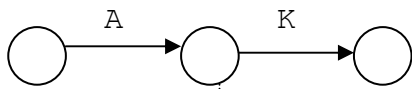
A ve B tamamlandıktan sonra D başlayabilir.



A ve B tamamlandıktan sonra K başlayabilir.



B ve C tamamlandıktan sonra L başlayabilir.



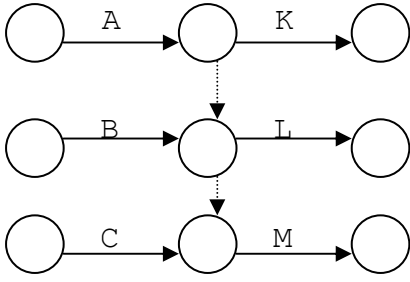
A tamamlandıktan sonra K başlayabilir.



A ve B tamamlandıktan sonra L başlayabilir.



B ve C tamamlandıktan sonra M başlayabilir.



A tamamlandıktan sonra K başlayabilir.

A ve B tamamlandıktan sonra L başlayabilir.

A, B ve C tamamlandıktan sonra M başlayabilir.

6.5. Ağ Diyagramının Kurulması

CPM ağ diyagramının kurulabilmesi için, işlemler arasındaki ilişkiler gözönüne alınarak bunların mantık kurallarına uygun biçimde sıralanması gerekmektedir. Bu konuda en önemli unsur insan zekasıdır. Ayrıca yapılacak işin çok iyi bilinmesi gerekir.

- 1) Önce yapılacak işlerin neler olduğu saptanır.
- 2) Bu işlerden hangilerinin CPM şebekesinde bir işlem olarak tanımlanacağı belirlenir. Gerekiyorsa bir ANA diyagram oluşturulur. Bu ana şebekedeki işlemler, alt işlemlere ayrılarak ARA (KİSMİ) diyagram ve bunlar da birbirine bağlanarak UYGALAM İŞ PROGRAMI hazırlanır.
- 3) İşlemler arasındaki ilişkileri incelemek ve hatasız bir sıralama yapabilmek için her aşamada, her işlem için şu sorular sorulur:

a) Bu işlemin başlayabilmesi için hangi işlemlerin tamamlanmış olması gerekir?

b) Bu işleme paralel olarak hangi işlemler başlayabilir?

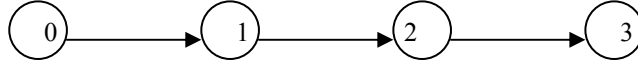
c) Bu işlem bittikten sonra hangi işlemler başlayabilir?

4) Düğüm Noktalarının Numaralanması

- a) Her düğüm noktasına farklı bir numara verilir. Aynı numarayı taşıyan birden fazla düğüm noktası olamaz.
- b) Numaralar başlangıç düğüm noktasına kadar genellikle artarak devam eder ve yine genel olarak başlangıç düğüm noktasına en küçük numara verilir. Ancak numaralama için öngörülen kesin bir kural yoktur.
- c) Şebekeye sonradan bazı işlemlerin eklenebileceği ihtimali düşünülerek düğüm noktalarına, sayı atlayarak da numara vermek mümkündür.

5) Numaralama yapıldıktan sonra CPM diyagramındaki her işlem, başladığı ve bittiği düğüm noktalarının numaraları ile tanımlanır tablo halinde gösterilir.

Örnek: 0-1 temel kazısı
 1-2 kalıp yapılması
 2-3 beton dökümü

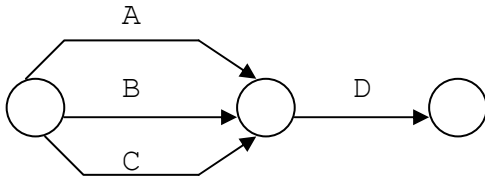


6.6.CPM Ağ Diyagramı Kurulurken Dikkate Alınması Gereken Önemli Kurallar:

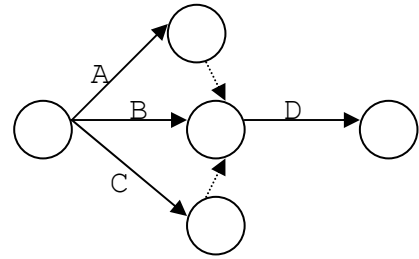
KURAL 1:

İki düğüm noktası arasında birden fazla işlem varsa, bunlar kırık çizgi veya eğri ile gösterilemezler. İşlemlerin başlangıç veya bitiş düğüm noktalarına kurla işlemler ve yeni düğüm noktaları eklenir.

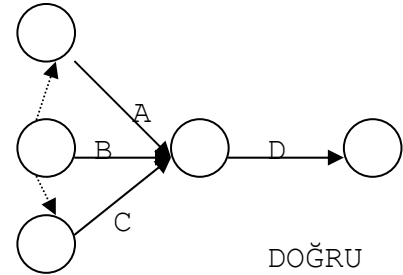
Zira, kritik yörünge hesabında ve bilgisayar programlarında her işlem, başlangıç ve bitiş düğüm noktalarının numaraları ile tanımlanmaktadır. Her şebekede aynı sayı çifti ile sadece bir işlemin gösterilmesi gerekmektedir.



YANLIŞ



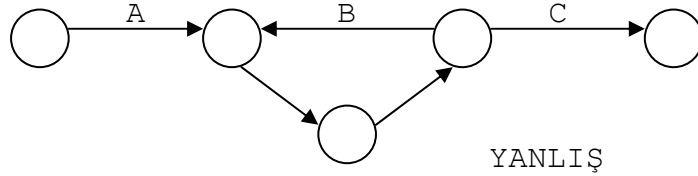
DOĞRU



DOĞRU

KURAL 2:

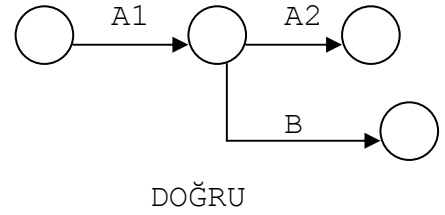
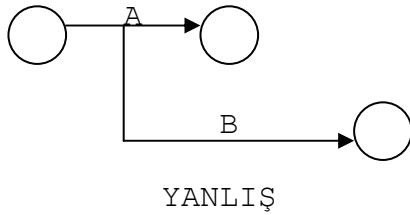
Bir işlem, kendinden önce biten işlemlerin başlangıç noktasına bağlanamaz.



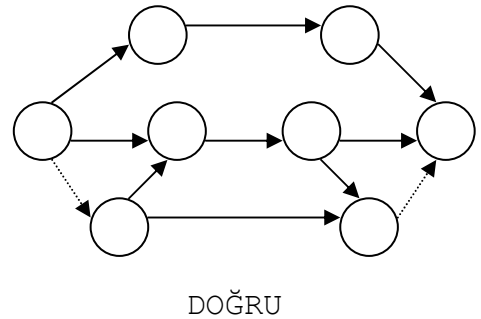
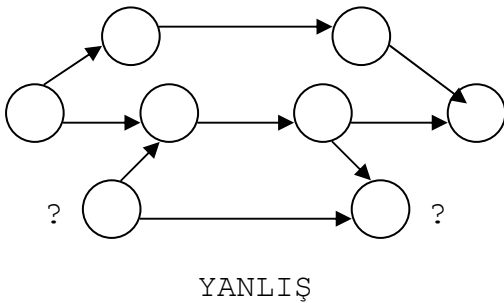
Görüldüğü gibi, B işlemi D ve E'den sonra başladığı halde D başlamadan önce bitmektedir. Bir mantık hatası sözkonusudur.

KURAL 3:

Bir B işlemi, kendinden evvelki A işleminin yalnız bir kısmına bağlı ise, A işlemi parçalara ayrılarak B işleminin ne zaman başlayacağı açıkça belirtilmelidir.

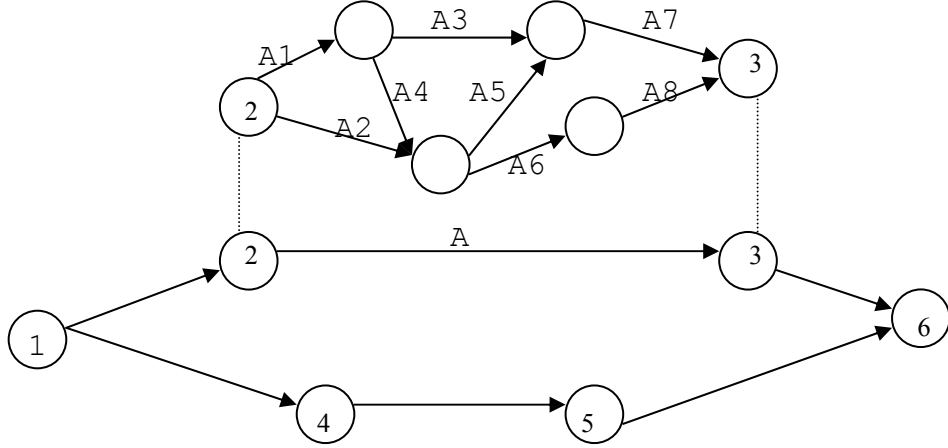
**KURAL 4:**

Bütün düğüm noktaları, ağ diyagramının başlangıç ve bitiş düğüm noktalarına bağlanmalıdır.

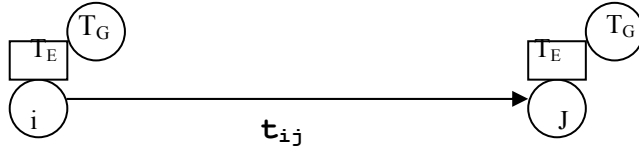
**KURAL 5:**

ANA programda bir okla gösterilben herhangi bir A işlemini oluşturan DETAY işlemler kapalı bir diyagram

meydana getirmelidir. Bu detay diyagramın başlangıç işlemleri ana diyagramdaki A işleminin başlangıç düğüm noktasından başlamalı, bitiş işlemleri A işleminin bitiş düğüm noktasında bitmelidir.



NOTASYON Listesi:



i : i Numaralı Düğ.Nok., i - j İşleminin Başlangıç Düğ.Nok.

j : j Numaralı Düğ.Nok., i - j İşleminin Bitiş Düğ.Nok.

i - j : İşlemin Numarası (0-1 işlemi, 7-10 işlemi v.b)

t_{ij} : i - j işleminin süresi

$(T_E)_i$: i Düğüm Noktasının En Erken Tamamlanma Zamanı

$(T_G)_i$: i Düğüm Noktasının En Geç Tamamlanma Zamanı

$(T_E)_j$: j Düğüm Noktasının En Erken Tamamlanma Zamanı

$(T_G)_j$: j Düğüm Noktasının En Geç Tamamlanma Zamanı

$(t_{EB})_{ij}$: i - j İşleminin En Erken Başlama Zamanı

$(t_{ES})_{ij}$: i - j İşleminin En Erken Bitme Zamanı

$(t_{GB})_{ij}$: i - j İşleminin En Geç Başlama Zamanı

$(t_{GS})_{ij}$: i - j İşleminin En Geç Bitme Zamanı

$(TB)_{i-j}$: i - j işleminin TOPLAM Bolluğu

$(SB)_{i-j}$: i - j işleminin SERBEST Bolluğu

$(BB)_{i-j}$: i - j işleminin BAĞIMSIZ Bolluğu

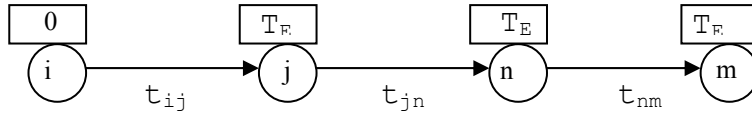
$(AB)_{i-j}$: i - j işleminin ARA Bolluğu

6.7. CPM Ağ Diyagramı Hesapları

BİRİNCİ ADIM

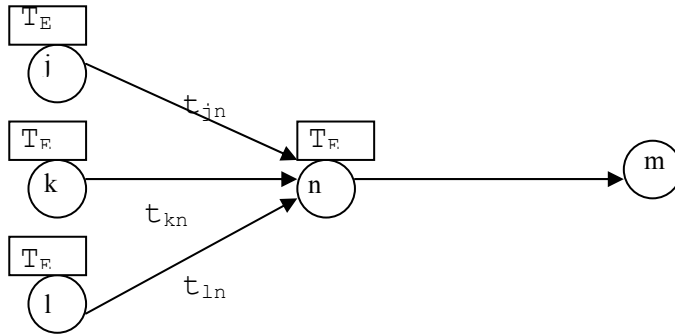
İLERİ GEÇİŞ yapılarak düğüm noktalarının EN ERKEN TAMAMLANMA ZAMANLARI (T_E) 'ler bulunur.

- a) Başlangıç düğüm noktasının, yani CPM şebekesinin ilk düğüm noktasının (T_E) 'si sıfırdır. İlk düğüm noktasının üst veya alt kısmına çizilen dikdörtgen içine yazılır 0 .
- b) Bir (n) düğüm noktasının $(T_E)_n$ en erken tamamlanma zamanını bulmak için kendinden hemen önceki (j) düğüm noktasının $(T_E)_j$ değerine $j-n$ işleminin (t_{jn}) süresi eklenir.



$$(T_E)_n = (T_E)_j + t_{jn}$$

- c) Şayet, bir (A) düğüm noktasına birden fazla ok (işlem) geliyorsa yani (n) den hemen önce birden fazla düğüm noktası varsa, (n) düğüm noktasına gelen her işlem için $(T_E)_n$ değerleri ayrı ayrı hesap edilir. Bulunan değerlerden en büyüğü alınır.



$$\left. \begin{array}{l} (T_E)_n = (T_E)_i + t_{in} \\ (T_E)_n = (T_E)_k + t_{kn} \\ (T_E)_n = (T_E)_l + t_{ln} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Max.} \\ \text{olan} \\ \text{alınır} \end{array}$$

Örnek Hesaplama

(0) no.lu düğüm noktası	$(T_E)_0 = 0$		
(2) no.lu düğüm noktası	$(T_E)_2 = 0+4$	= 4	
(4) no.lu düğüm noktası	$(T_E)_4 = 0+2$	= 2	
(6) no.lu düğüm noktası	$(T_E)_6 = 4+6$	= 10	
(8) no.lu düğüm noktası	$(T_E)_8 = 4+3$	= 7	10 max
	$(T_E)_8 = 10+0$	= 10	alındı

(10)no.lu düğüm noktası	$(T_E)_{10} = 2+5$	$= 7$	
(12)no.lu düğüm noktası	$(T_E)_{12} = 10+12$	$= 22$	
	$(T_E)_{12} = 7+6$	$= 13$	22

Proje en geç 22 gün sonra bitecektir.

İKİNCİ ADIM

Geri geçiş yapılarak düğüm noktalarının EN GEÇ TAMAMLANMA ZAMANLARI (T_G) ler hesaplanır.

a) Şebekenin son düğüm noktası için

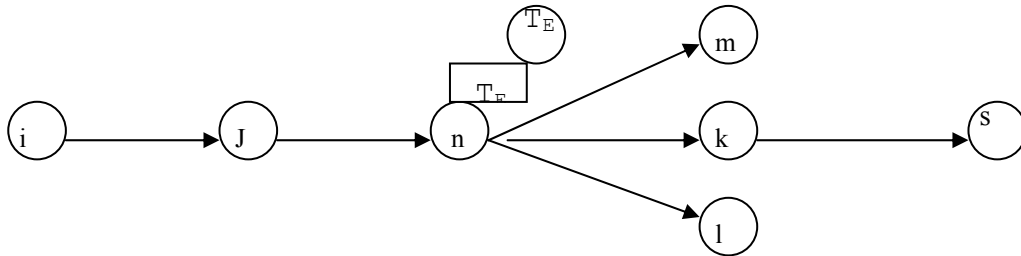
$(T_E)_{\text{son}} = (T_G)_{\text{son}} = \text{Proje Süresi}$ kabulü yapılır.

○ içine yazılır.

b) Son düğüm noktasından bir önceki düğüm noktasının en geç tamamlanma zamanını bulmak için bu noktadan başlayan işlem (çıkan ok) dikkate alınır. Son düğüm noktasının (T_G) değerinden son işlemin süresi çıkarılarak, bir önceki düğüm noktasının (T_G) değeri bulunur.

$$(T_G)_n = (T_G)_m - t_{nm}$$

c) Şayet herhangi bir (n) düğüm noktasından birden fazla ok çıkıyorsa, yani bu noktada başlayan işlem sayısı birden fazla ise, bu işlemlerin herbirinin bitiş düğüm noktasının geç tamamlanma zamanından, (T_G)sinden o işleme ait süre çıkarılır ve bulunan değerlerin **EN KÜÇÜĞÜ** alınır.



$$\left. \begin{aligned}
 (T_G)_n &= (T_G)_{m-t_{nm}} \\
 (T_G)_n &= (T_G)_{k-t_{nk}} \\
 (T_G)_n &= (T_G)_{l-t_{nl}}
 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{min.} \\ \text{olanı} \\ \text{alınır.} \end{array}$$

Örnek Hesaplama:

Örnek olarak çizilen şebekede, son düğüm noktası 12'nin T_E 'si 22 olarak bulunmuştu:

12 no.lu düğüm noktası	$(T_G)_{12} = (T_E)_{12} = 22$	son düğüm noktası olduğu için
10 no.lu düğüm noktası	$(T_G)_{10} = 22 - 6 = 16$	
8 no.lu düğüm noktası	$(T_G)_8 = 22 - 12 = 10$	
6 no.lu düğüm noktası	$(T_G)_6 = 10 - 0 = 10$	
4 no.lu düğüm noktası	$(T_G)_4 = 16 - 5 = 11$	
2 no.lu düğüm noktası	$(T_G)_2 = 10 - 6 = 4$	4 (min.)
	$(T_G)_2 = 10 - 3 = 7$	
0 no.lu düğüm noktası	$(T_G)_0 = 11 - 2 = 9$	0 (min.)
	$(T_G)_0 = 4 - 4 = 0$	

KONTROL

Bir CPM şebekesinde:

- . İlk düğüm noktasında $(T_E)_{ilk} = (T_G)_{ilk} = 0$
- . Son düğüm noktasında $(T_E)_{son} = (T_G)_{son}$ olmalıdır.

ÜÇÜNCÜ ADIM: KRİTİK YOL'un (Yörünge, Hat) BULUNMASI

CPM Şebekesindeki bazı işlemlerin, öngörülen süreleri içinde tamamlanması zorunludur. Bu işlemlerdeki gecikme miktarı, doğrudan doğruya tüm projenin gecikmesine neden olur ve projenin bitiş tarihi gecikme miktarı kadar ileriye kayar. Bu özelliğe sahip işlemlere KRİTİK İŞLEMLER (FAALİYETLER) adı verilir.

a) Kritik Düğüm Noktalarının Bulunması

Kriter: $(T_E)_n = (T_G)_n$ olan düğüm noktaları kritiktir.

b) Kritik İşlemlerin Bulunması

1. Kriter: Kritik işlem, kritik düğüm noktaları arasında bulunur:

$$(T_E)_i = (T_G)_i = (T)_i$$

$$(T_E)_j = (T_G)_j = (T)_j$$

2. Kriter: Kritik işlemin başlangıç düğüm noktasının zamanlarına, işlem süresi eklendiğinde, bitiş noktasının zamanları bulunmalıdır.

$$(T)_i + t_{ij} = (T)_j$$

c) Kritik Yol'un (Yörünge'nin) Bulunması.

Kritik işlemlerin meydana getirdiği yörüngeye "kritik yol" veya "kritik yörünge" denir.

- . Kritik yol kural olarak ağ diyagramının başından sonuna kadar devam eder. Kollara ayrılıp birleşebilir.
- . Dikkatleri özellikle kritik yol üzerinde toplamak gerekir. Zira bu kritik işlemlerin tamamlanma zamanlarında meydana gelebilecek gecikme, tüm projenin tamamlanma süresini geciktirir.
- . Diyagram üzerinde, kritik işlemler çift çizgi veya renkli kalemle çizilerek gösterilir.

Örnek Hesaplama:

Örnek olarak alınan CPM şebekesinde:

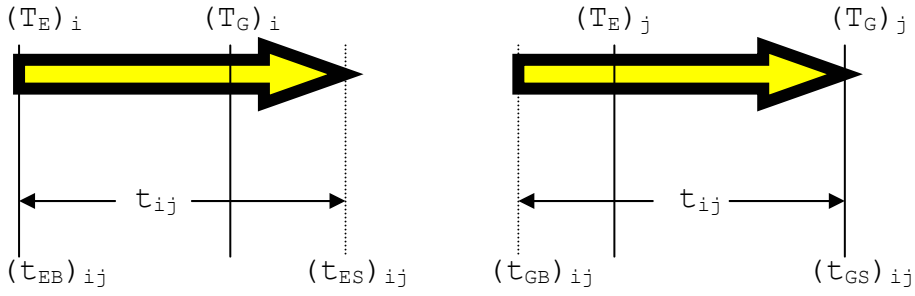
- Kritik düğüm noktaları, $(T_E)_i = (T_G)_i$ olanlar: 0,2,6,8,12 no.lu düğüm noktalarıdır.
- Kritik işlem olmanın 1.kriterini (koşulunu) sağlayan İşlemler:
0-2, 2-6, 2-8, 6-8 ve 10-12 dir.
- 2.Kriterin (koşulun) araştırılması

0-2 işlemi	$(T)_i + t_{ij} = (T)_j$	$0+4 = 4$	K
2-6 işlemi	$(T)_i + t_{ij} = (T)_j$	$4+6 = 10$	K
2-8 işlemi	$(T)_i + t_{ij} = (T)_j$	$4+3 \neq 10$	-
6-8 işlemi	$(T)_i + t_{ij} = (T)_j$	$10+0 = 10$	K
8-n işlemi	$(T)_i + t_{ij} = (T)_j$	$10+12 = 22$	K
- Kritik Yol (Yörünge):
0-2, 2-6, 6-8, 8-12' dir.

DÖRDÜNCÜ ADIM

İŞLEMLERİN EN ERKEN VE EN GEÇ BAŞLAMA VE BİTME ZAMANLARININ BULUNMASI

i ve j düğüm noktaları arasında bulunan bir i-j işlemi gözönüne alınırsa, düğüm noktalarının en erken (T_E) ve en geç (T_G) tamamlanma zamanları ile i-j işleminin başlama ve bitme zamanları arasında bazı ilişkilerin bulunduğu görülür:


 t_{ij}


$i-j$ işleminin en erken başlama zamanı: $(t_{EB})_{ij} = (T_E)_i$

$i-j$ işleminin en erken bitme zamanı:

$$(t_{ES})_{ij} = (t_{EB})_{ij} + t_{ij} = (T_E)_i + t_{ij}$$

$i-j$ işleminin en geç bitme zamanı $(t_{GS})_{ij} = (T_G)_j$

$i-j$ işleminin en geç başlama zamanı:

$$(t_{GB})_{ij} = (t_{GS})_{ij} - t_{ij} = (T_G)_j - t_{ij}$$

Örnek Şebekede:

4-10 işlemi için:

$$t_{EB} = (T_E)_4 = 2$$

$$t_{ES} = t_{EB} + t_{ij} = 2 + 5 = 7$$

$$t_{GS} = (T_G)_{10} = 16$$

$$t_{GB} = t_{GS} - t_{ij} = 16 - 5 = 11$$

BEŞİNCİ ADIM

İŞLEMLERİN BOLLUKLARININ HESAPLANMASI

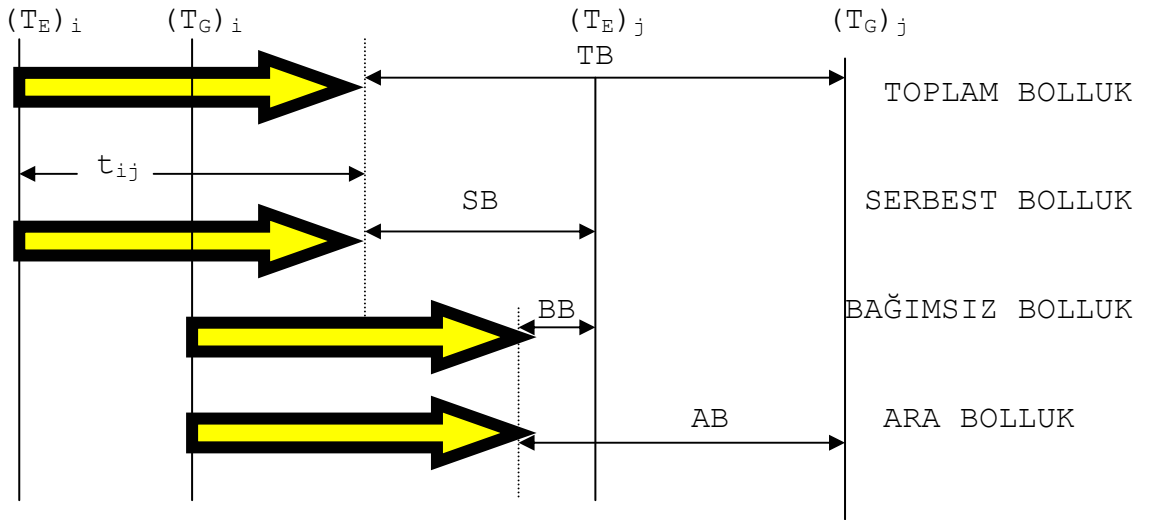
Bir yatırımı (projeyi) oluşturan işlemlerden bazılarının kritik, bazılarının kritik olmayan işlem olduğunu biliyoruz.

Kritik olmayan işlemler, belirli zaman aralıkları içinde tamamlandıkları takdirde projenin toplam süresini etkilemezler. Yani kendi sürelerinin dışında belirli bir boş zamana da sahiptirler. Bu nedenle kritik olmayan işlemlere, bolluğa olan işlemler de denir.

Bolluklar iki amaçla kullanılabilir.

- 1) İşlemleri, en erken ve en geç zamanlar arasında kaydırmak
- 2) İşlemlerin sürelerini uzatmak

Bollukların türleri ve ifade ettikleri anlamlar aşağıda açıklanmıştır.



- TOPLAM BOLLUK:

$$(TB)_{ij} = (TG)_j - (TE)_i - t_{ij}$$

$$= (t_{GS})_{ij} - (t_{ES})_{ij} = (t_{GB})_{ij} - (t_{EB})_{ij}$$

Bir i-j işleminin toplam bolluğu bu işlemin en geç bitebileceği zaman ile en erken bitebileceği zaman arasındaki farktır. Veya en geç başlayabileceği zaman ile en erken başlayabileceği zaman arasındaki farktır.

. Kritik işlemlerin toplam bollukları sıfırdır.

. Toplam bolluğu küçük olan işlemler kritik olmaya çok uygundur. İş programındaki küçük aksamalar bu işlemleri kritik yapabilir. Dolayısıyla bu tür işlemlerin kontrolüne özen gösterilmelidir.

. Toplam bolluk, bolluk türleri içinde süre bakımından en uzunudur.

Örnek Hesaplama:

$$\begin{array}{l}
 (TB)_{0-2} = 4-0-4 = 0 \text{ K} \\
 (TB)_{2-6} = 10-4-6 = 0 \text{ K} \\
 (TB)_{6-8} = 10-10-0 = 0 \text{ K} \\
 (TB)_{8-12} = 22-10-12 = 0 \text{ K} \\
 \hline
 (TB)_{2-8} = 10-4-3 = 3 \\
 (TB)_{0-4} = 11-0-2 = 9 \\
 (TB)_{4-10} = 16-2-5 = 9 \\
 (TB)_{10-12} = 22-7-6 = 9
 \end{array}$$

- SERBEST BOLLUK

$$(SB)_{ij} = (T_E)_j - (T_E)_i - t_{ij}$$

Bir i-j işleminin serbest bolluğu, (1-j işlemi en erken konumunda iken) kullanıldığında, kendisinden sonra gelen işlemin en erken zamanlarını etkilemeyen bolluk türüdür.

Bir başka ifadeyle, serbest bolluk, i-j işlemi en erken yerinde iken, kendisinden hemen sonra gelen işlemin erken durumunu bozmayacak şekilde, i-j işleminin geciktirilebileceği (ileriye kaydırılabileceği) maksimum süredir.

TB= 0 ise SB= 0 dır

TB = 0 ise SB hesaplanır.

SB=0 veya

SB=0 olabilir.

Örnek Hesaplama

TB = 0 olan 0-2, 2-6, 6-8, 8-12 işlemlerinde SB = 0 dır.

$$\begin{array}{l}
 (SB)_{2-8} = 10-4-3 = 3 \\
 (SB)_{0-4} = 2-0-2 = 0 \\
 (SB)_{4-10} = 7-2-5 = 0 \\
 (SB)_{10-12} = 22-7-6 = 9
 \end{array}$$

- BAĞIMSIZ BOLLUK (BB)

$$(BB)_{ij} = (T_E)_j - (T_G)_i - t_{ij}$$

Bir i-j işleminin bağımsız bolluğu, bu işlemden önceki işlem en geç ve sonra gelen işlem en erken durumunda iken,

$i-j$ işleminin için kullanılabilen bolluk süresidir.

Dolayısıyla, bağımsız bolluk sadece $i-j$ işlemine özel olup, bu işlerden önceki ve sonraki işlemlerin en geç ve en erken konumlarından bağımsızdır. Bunları etkilemez.

. $TB = 0 \rightarrow SB = 0$ ise $BB = 0$ dır.

. Bağımsız bolluk (-) çıkabilir. Bu durum bağımsız bolluğun bulunmadığı (yani sıfır olduğu) anlamına gelir.

. Bir $i-j$ işleminin bollukları arasında en küçük değere sahip olan bağımsız bolluktur.

Örnek Hesaplama:

TB ve SB sıfır olan işlemlerin bağımsız bolluğu da sıfır olduğundan bunları hesaplamaya gerek yoktur.

$$(BB)_{2-8} = 10-4-3 = 3$$

$$(BB)_{10-12} = 22-16-6 = 0$$

- ARA BOLLUK (AB)

$$(AB)_{i-j} = (T_G)_j - (T_G)_i - t_{ij}$$

Bir $i-j$ işleminin ara bolluğu, $i-j$ den önce gelen işlem en geç konumunda (yerinde) iken $i-j$ işlemi için kullanılabilen bolluk süresidir. Veya, $i-j$ işlemi en geç konumunda iken geriye doğru kullanıldığında, önceki işlemin en geç konumunu (yerini) etkilemeyen bolluk süresidir.

. $TB = 0$ ise $AB = 0$ dır.

. AB (-) olamaz, zira $(T_G)_j \geq (T_G)_i + t_{ij}$ bağıntısı her işlem için geçerlidir.

Örnek Hesaplama:

$TB = 0 \rightarrow AB = 0$ olduğundan, diğer işlemlerin ara bollukları hesaplanmıştır.

$$(AB)_{0-4} = 11-0-2 = 9$$

$$(AB)_{2-8} = 10-4-3 = 3$$

$$(AB)_{4-10} = 16-11-5 = 0$$

$$(AB)_{10-12} = 22-16-6 = 0$$