

**T. C.**  
**ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**  
**EKONOMETRİ ANABİLİM DALI**  
**YÖNEYLEM BİLİM DALI**

**CPM ve PERT TEKNİKLERİYLE PROJE PLANLAMA**  
**ve BİR İŞLETMEDE UYGULANMASI**

**(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**İbrahim SARICA**

**BURSA 2006**



**T. C.**  
**ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**  
**EKONOMETRİ ANABİLİM DALI**  
**YÖNEYLEM BİLİM DALI**

**CPM ve PERT TEKNİKLERİYLE PROJE PLANLAMA**  
**ve BİR İŞLETMEDE UYGULANMASI**

**(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**Danışman**  
**Prof. Dr. Ahmet ÖZTÜRK**

**İbrahim SARICA**

**BURSA 2006**

**EKONOMETRİ ANABİLİM DALI  
YÖNEYLEM BİLİM DALI**

**CPM VE PERT TEKNİKLERİYLE PROJE PLANLAMA  
VE BİR İŞLETMEDE UYGULANMASI**

**İbrahim SARICA  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**ÖZET**

Bu çalışmada, büyük ölçekli projelerin, belirlenmiş bir zaman periyodu içerisinde, mevcut kaynakları kullanarak, optimum maliyetlerle tamamlanması ve proje için belirlenen hedeflerin gerçekleştirilebilmesi açısından Planlama, Programlama ve Kontrol safhalarının analizi ele alınmıştır.

Proje yönetiminin en önemli üç aşaması olan Planlama, Programlama ve Kontrol safhaları CPM ve PERT teknikleri ışığında incelenmiş ve ülkemizde uygulamasına ender rastlanan bir inşaat projesinin analizi, PERT tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** CPM, PERT, PROJE PLANLAMA, ŞEBEKE ANALİZLERİ

**Danışmanı :** Prof. Dr. Ahmet ÖZTÜRK

Sayfa sayısı:147

## **ABSTRACT**

In this study, planning, programming and control problems are taken into account to complete the great projects with acceptable costs, inadequate source and to get the targets efficiently in a definite time period.

Planning, programming and control phases of project management are analyzed by means of CPM and PERT techniques and a case study related with construction industry is presented.

**Key Words :** CPM, PERT, PROJECT MANAGEMENT, CRASHING PERT, NETWORK ANALYZE

**Advisor :** Prof. Dr. Ahmet ÖZTÜRK

Page : 147

## ÖNSÖZ

Günümüzde projelerin çok büyük ve karmaşık oluşu etkili planlama tekniklerinin oluşumuna zemin hazırlamıştır. En çok bilinen ve en gelişmiş olan proje planlama, programlama ve kontrol teknikleri CPM ve PERT tir. Bu teknikler, proje için belirlenen hedeflere sınırlı kaynakların optimum şekilde kullanımını sağlayarak ulaşmayı amaçlamaktadırlar. Söz konusu teknikler zaman ve maliyet faktörlerinin farklı kombinasyonları hakkında bilgi vererek proje yöneticisinin projenin uygulanması sürecinde ortaya çıkan problemlere müdahale edebilmesini, hedeflenen proje süresinin ve maliyetinin sınırladığı çerçevede projenin gerçekleştirilebilmesini sağlayacak değişiklikleri, alternatif uygulamaları yapabilmesine imkan sağlamaktadır.

Bu çalışmada CPM ve PERT tekniklerinin detaylı bir analizi yapılmaya çalışılmıştır. Ayrıca proje yönetimi, projelerin planlanması, programlanması ve kontrolü kavramları ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Bu çalışmanın yapılmasında emeği geçen değerli hocam Prof. Dr Ahmet ÖZTÜRK' e ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

2006, BURSA

İbrahim SARICA

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Özet .....	İ
Abstract .....	İi
Önsöz .....	İii
İçindekiler .....	İv
Tabloların Listesi.....	Vi
Şekillerin Listesi.....	Vii
1. Giriş .....	15
2. Proje Yönetimi Ve Kontrolü .....	18
2.1. Proje Kavramı .....	18
2.2. Proje Yönetimi.....	19
2.2.1. Proje Planlama .....	21
2.2.2. Proje Programlama.....	24
2.2.3. Proje Kontrolü.....	27
2.4. Proje Planlama Teknikleri.....	29
3. Kritik Yol Metodu (CPM).....	35
3.1. Şebekeyi Oluşturan Temel Kavramlar .....	35
3.1.1 Olaylar.....	35
3.1.2 Faaliyetler .....	35
3.1.2.1 Faaliyetlerin Tanımı .....	35
3.1.2.2 Faaliyetlerin Zaman Birimi Ve Tanımlanması .....	36
3.1.2.3 Kukla Faaliyetler .....	36
3.1.3 Faaliyetler Arasındaki Bağlılıklar.....	38
3.1.4 Faaliyetlerin Numaralandırılması.....	39

3.2 Şebeke Diyagramının Oluşturulması .....	41
3.2.1 Şebeke Diyagramının Oluşturulması Sürecinde Uyulması	
Gereken Temel Kurallar .....	41
3.3 Şebeke Diyagramında Faaliyetlerin ve Olayların Zaman	
Sınırlarının Belirlenmesi - Şebekenin Programlanması: .....	46
3.3.1 Düğüm Noktalarının En Erken Olay Zamanlarının Tespiti.....	48
3.3.2 Düğüm Noktalarının En Geç Olay Zamanlarının Tespit .....	49
3.3.3 Faaliyetlerin En Erken Başlama Süresi .....	51
3.3.4 En Erken Bitme Süresi .....	51
3.3.5 En Geç Bitme Süresi .....	51
3.3.6 En Geç Başlama Süresi .....	52
3.4 Kritik Yolun Belirlenmesi .....	52
3.5 . Şebekenin Boşluk Değerleri .....	55
3.5.1 Toplam Boşluk.....	55
3.5.2 Sebest Boşluk .....	56
3.5.3 Bağımsız Boşluk .....	57
3.5.4 Ara Boşluk .....	57
3.6 Şebeke Analizlerinde Zaman - Maliyet İlişkisi ve	
Hızlandırma İşlemi .....	58
3.6.1 CPM' De Zaman Maliyet Eğrileri .....	59
3.6.2 Projenin Toplam Süresinin Kısaltılması .....	62
3.6.2.1 Basit Hızlandırmalarla Proje Süresinin	
Maliyet Artışı Min. Olacak Şekilde Kısaltılması .....	63
4. Proje Değerlendirme Ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT)	
4.1 PERT'e Genel Bir Bakış .....	75
4.2 PERT'in Temelleri .....	75
4.2.1 PERT'te Zaman Tahminleri .....	75
4.2.2 Faaliyetlerin Ortalama Zaman Değerlerinin ( $t_e$ ) ve	
Varyanslarının Belirlenmesi.....	77



4.3. Kritik yolun belirlenmesi ve Hedeflenmiş Proje	
Tamamlanma Süresinin Analizi .....	79
4.4 PERT Tekniğine Yapılan Eleştiriler .....	80
4.4.1 Faaliyetlerin Ortalama Süre ve Varyans	
Hesaplamalarından Kaynaklanan Hatalar ....	80
4.4.2 Projenin Tamamlanma Süresinin Hesaplanama Sürecinde	
Meydana Gelen Hatalar .....	81
4.5 PERT Formülleri ve Beta Dağılımı .....	83
4.6 PERT' de Hızlandırma İşleminin Kullanılması : .....	88
5. Zeytinburnu Belediyesi Buz Pateni Projesi Analizi .....	93

## TABLolarIN LİSTESİ

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
Tablo 4.1 Örnek şebeke için Hızlandırma maliyetleri .....	88
Tablo 4.2 Alternatif hızlandırma işlemi maliyetleri.....	89
Tablo 5.1 Kaynak Tablosu.....	93
Tablo 5.2 Faaliyet Tanımlama ve Kaynak Atama Tablosu .....	94
Tablo 5.3 PERT Tekniği Uyarınca Yapılan Faaliyet Tamamlanma Süresi Tahminleri .....	95
Tablo 5.4 Faaliyetler Arası İlişki Tablosu .....	96
Tablo 5.5 projenin PERT Tekniği ile Analizi, I aşama – Verilerin Programa Aktarımı .....	98
Tablo 5.6 projenin PERT Tekniğiyle Analizi, II. Aşama – Verilerin İşlenmesi .....	99
Tablo 5.7 Projenin Kritik Yolunun, Beklenen Tamamlanma Süresinin & Varyansının Gösterimi.....	100
Tablo 5.8 Günlük Çalışma saatlerinin programa girilmesi.....	101
Tablo 5.9 Günlük, haftalık ve aylık çalışma sürelerinin saat ve işgünü cinsinden programa girilmesi.....	102
Tablo 5.10 Şebekenin Yeniden Programlanması ve Uygulama Takviminin Oluşturulması .....	103
Tablo 5.11 Projenin Hedeflenen Sürede Tamamlanma Olasılığının Analizi .....	104
Tablo 5.12 Hızlandırma İşleminin Uygulanabileceği Faaliyetler ve birim hızlandırma maliyetleri .....	105
Tablo 5.13 Hızlandırma İşleminin Uygulanacağı Faaliyetler ve Bu Faaliyetlerin Hızlandırılan Süre ile Toplam Hızlandırma Maliyetlerinin Gösterimi .....	106
Tablo 5.14 Hızlandırma İşleminin gerçekleştirilmesi ve Hızlandırılmış Programın Belirlenmesi; I. Aşama – Verilerin Programa Girilmesi .....	108

Tablo 5.15 Hızlandırma İşleminin gerçekleştirilmesi ve Hızlandırılmış Programın Belirlenmesi; II. Aşama – Verilerin İşlenmesi .....	110
Tablo 5.16 Hızlandırılmış programın Kritik yolu ve tamamlanma süresi.....	111
Tablo 5.17 Faaliyetlerin Hızlandırılmış Programda Belirtilen Tamamlanma Süreleri .....	112
Tablo5.18 Hızlandırılmış Programın Uygulama Takviminine Aktarılması.....	113
Tablo 5.19 Hızlandırma İşleminin Uygulanabileceği Faaliyetler ve Uygulama Sırası .....	119
Tablo 5.20 Senaryo 1. için Belirlenen Projenin Hedef Sürede Tamamlanma İhtimali .....	122
Tablo 5.21_ Senaryo 2. için Belirlenen Projenin Hedef Sürede Tamamlanma İhtimali .....	125
Tablo 5.22 Senaryo 3. için Belirlenen Projenin Hedef Sürede Tamamlanma İhtimali .....	126
Tablo 5.23 Senaryo 4 için Belirlenen Projenin Hedef Sürede Tamamlanma İhtimali .....	127
Tablo 5.24 Senaryo 5. için Belirlenen Projenin Hedef Sürede Tamamlanma İhtimali .....	128
Tablo 5.25 Senaryo 6. için Belirlenen Projenin Hedef Sürede Tamamlanma İhtimali .....	129
Tablo 5.26 Senaryo 7. için Belirlenen Projenin Hedef Sürede Tamamlanma İhtimali .....	130
Tablo 5.27 En uygun Hızlandırılmış Programın Belirlenmesi İçin Hesaplanan Verilerin Gösterimi.....	131
Tablo 5.28 En uygun Hızlandırılmış Programın Belirlenmesi İçin Hesaplanan Beklenen Verilerin Gösterimi .....	132
Tablo 5.29 Senaryo 6 için Öngörülen Hızlandırma İşlemi I. Aşama – Verilerin programa girilmesi .....	134
Tablo 5.30 Senaryo 6 için Öngörülen Hızlandırma İşlemi II. Aşama – Verilerin İşlenmesi .....	135

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil. 2.1. Proje Yönetim Safhaları.....	6
Şekil .2.2: Gannt Cetveli.....	16
Şekil .2.3 Gannttan Pert 'e Geçişin I. Aşaması.....	17
Şekil .2.4. Gannttan Pert'e Geçişin II. Aşaması .....	18
Şekil .2.5: Pert & Cpm Şebekesi.....	19
Şekil 3.1 İki Faaliyetin Grafik Olarak Gösterimi.....	25
Şekil 3.2 Üç Farklı Faaliyetin Gösterimi.....	26
Şekil 3.3 Kukla Faaliyetin Gösterimi .....	26
Şekil 3.4 Farklı Dört Faaliyet arasındaki İlişkinin Gösterimi .....	27
Şekil 3.5 Kukla Faaliyetin Farklı Bir Gösterimi.....	27
Şekil 3.6 İki Faaliyet Arasındaki Bağıntının Gösterimi.....	28
Şekil 3.7 Üç farklı faaliyet arasındaki bağıntının gösterimi .....	28
Şekil 3.8 Üç Faaliyet Arasındaki Bağıntının Gösterimi.....	28
Şekil 3.9 Şebeke Kurulumunda Temel Çizginin Gösterimi.....	31
Şekil 3.10 Ana faaliyetlerin oluşturduğu proje şebekesi.....	31
Şekil 3.11 Alt faaliyetlerin Oluşturduğu Kapalı Şebekenin Gösterimi.....	32
Şekil 3.12 İlmik Probleminin Gösterimi .....	33
Şekil 3.13 Diyagramdaki Mantıksal Probleminin (askı) Gösterimi.....	34
Şekil 3.14 Zaman Tahmini Yapılan Dört Farklı Faaliyetin Gösterimi.....	35
Şekil 3.16 Toplam Boşluğun Grafik Üzerinde Gösterimi .....	43
Şekil 3.17 Serbest Boşluğun Grafik Üzerinde Gösterimi.....	44
Şekil 3.18 Bağımsız Boşluğun Grafik Üzerinde Gösterimi .....	45
Şekil 3.19. Ara Boşluğun Grafik Üzerinde Gösterimi .....	46
Şekil 3.20 Bir projenin tamamlanma zamanı ve maliyeti arasındaki ilişki.....	49
Şekil 3.21 Doğrusal “zaman – maliyet” ilişkisi.....	50
Şekil 3.22 Birinci ve ikinci Dereceden Zaman - Maliyet Eğrileri .....	51

Şekil 3.23 Zamanda Yapılacak ilk Tasarrufların Çok Küçük Bir Maliyet Artışı ile Sağlanabileceği Bir Durumun Zaman - Maliyet Eğrisi.....	52
Şekil. 3.24 Zamanda Yapılacak ilk Tasarrufların çok büyük Bir Maliyet Artışı ile Sağlanabileceği Bir Durumun Zaman - Maliyet Eğrisi.....	52
Şekil 3.25 Örnek Projenin Şebeke Diyagramı .....	55
Şekil 3.26 Örneğin İlk Aşaması.....	56
Şekil 3.27 Örneğin İkinci Aşaması .....	57
Şekil 3.28 Örneğin Üçüncü Aşaması .....	58
Şekil 3.29 Örneğin Dördüncü Aşaması.....	59
Şekil 3.30 Örneğin Beşinci Aşaması.....	60
Şekil 3.31 Örneğin Altıncı Aşaması.....	61
Şekil 3.32 Ait Örneğin Son Durumu.....	62
Şekil 4.1 Beta dağılımının 3 değişik gösterim şekli.....	72
Şekil 4.2 Beta dağılımının farklı şekilleri.....	80
Şekil 4.3. Sola çarpık Beta eğrisi ( $\alpha = 1, \beta = 3$ ) .....	83
Şekil 4.4 Örnek PERT şebekesi .....	86
Şekil 4.5 Örnek Pert Şebekesi 2.....	87
Şekil 5.2 Ortalama Değerin Normal Dağılım Üzerinde Gösterim.....	118
Şekil 5.3 Projenin senaryo 1 için belirlenen, hedef sürede tamamlanamama (gecikme) ihtimalinin normal dağılım üzerinde gösterimi .....	122
Şekil 5.4 Projenin senaryo 2 için belirlenen, hedef sürede tamamlanamama (gecikme) ihtimalinin normal dağılım üzerinde gösterimi .....	125
Şekil 5.6 Projenin senaryo 3 için belirlenen, hedef sürede tamamlanamama (gecikme) ihtimalinin normal dağılım üzerinde gösterimi .....	126
Şekil 5.7 Projenin senaryo 4 için belirlenen, hedef sürede tamamlanamama (gecikme) ihtimalinin normal dağılım üzerinde gösterimi .....	127
Şekil 5.8 Projenin senaryo 5 için belirlenen, hedef sürede tamamlanamama (gecikme) ihtimalinin normal dağılım üzerinde gösterimi .....	128

Şekil 5.9 Projenin senaryo 6 için belirlenen, hedef sürede tamamlanamama (gecikme) ihtimalinin normal dağılım üzerinde gösterimi .....	129
Şekil 5.10 Projenin senaryo 6 için belirlenen, hedef sürede tamamlanamama (gecikme) ihtimalinin normal dağılım üzerinde gösterimi .....	130

## 1.GİRİŞ

Yöneylem araştırması olarak bilinen bilim dalı 2. dünya savaşı sırasında ortaya çıkmış ve takip eden yıllarda çok hızlı bir gelişme göstermiştir. Büyük ve kompleks projelerin yönetimini ve kontrolünü sağlayacak etkili yöntemlere olan ihtiyaç bu alanda iki temel tekniğin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bunlar; Kritik yol yöntemi (CPM) ve Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT) olarak adlandırılırlar. Her iki tekniğin temelinde şebeke diyagramları kullanılmaktadır.

Şebeke diyagramları projenin bütünü oluşturacak faaliyetlerin ve bu faaliyetlerin aralarındaki mantıksal bağlantıların grafik şeklinde ifade edilmesine dayanmaktadır. Temel hedef projenin tüm kaynaklarının (hammadde, iş gücü, teçhizat vb.) optimum düzeyde değerlendirilerek istenen sürelerde projenin tamamlanmasını sağlamaktır.

Her iki teknikte aynı dönemde (1956 - 1958) birbirinden bağımsız iki farklı araştırma grubu tarafından geliştirilmiştir. E. I. Dupont De Nemours şirketi bünyesinde çalışan araştırma grubu tarafında çok büyük bir kimya fabrikasının inşaat projesinin uygulaması sürecinde yapılan çalışmalar sonucu CPM ortaya çıkmıştır. PERT ise A.B.D donanmasının yürüttüğü Polaris Güdümlü Füze Projesinin uygulaması sürecinde geliştirilmiş ve projenin beklenenden 2 yıl daha erken bitirilebilmesine olanak tanımıştır.

CPM ve PERT teknikleri sayesinde, projenin tamamlanma süresini etkileyen kritik faaliyetler ve kritik yollar bulunarak, kritik olmayan hangi faaliyetlerden kaynak aktarımı yapılabileceği ve projenin tamamlanma süresi tespit edilebilir.

Her iki tekniğin temel amaçları;

- a) Eldeki kaynaklar çerçevesinde projenin en kısa zamanda bitirilmesi.
- b) Daha önceden belirlenmiş süre içerisinde en az kaynak kullanımı ile projenin bitirilmesi;
- c) Projenin toplam maliyetini minimum düzeyde tutmak için sürenin ve maliyetin kontrolü ve takibi olarak ifade edilebilir.

CPM ve PERT tekniklerinin arasındaki en temel fark, projeyi oluşturan faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin kullanımı sürecinde ortaya çıkmaktadır. CPM, faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin deterministik olduğu projelerde kullanılır. Bu teknikte kullanılan zaman değerleri kesinlik içerir. PERT ise faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin kesin olarak bilinemediği projelerde tercih edilir ve bu teknikte CPM’de kullanılan deterministik zaman değerlerinin aksine olasılıklı zaman sürelerinin kullanımı söz konusudur. Dolayısıyla CPM tekniği daha önce tecrübe edilmiş projelerde tercih edilirken, PERT tekniği uygulamasına çok nadir rastlanan veya ilk defa gerçekleştirilecek olan projelerde kullanılmaktadır.

CPM tekniğinin deterministik yapısı PERT’e göre daha kolay uygulanabilir olmasını sağlamıştır. Bu da CPM’in araştırma geliştirme projelerinde, ürün geliştirme, bilişim sistemlerinin tasarımı, bütçeleme vb. alanlarda ve özellikle inşaat sektöründe daha geniş bir uygulama alanı bulmasına ve tercih edilmesine olanak tanımıştır.

CPM ve PERT teknikleri karar verme ve uygulama süreçlerini kapsayan üç farklı aşamadan oluşur: Planlama, programlama , kontrol.

Planlama aşamasında , projeyi oluşturan faaliyetler tespit edilir ve ayrı ayrı ele alınır. Daha sonra faaliyetlerin tamamlanma süreleri tahmin edilir ve şebeke diyagramı (network) faaliyetleri temsil eden oklar ve olayları temsil eden düğüm noktaları kullanılarak kurulur. Çizilen şebeke diyagramı projeyi oluşturan faaliyetlerin birbirleri arasındaki ilişkileri ifade eden bir çizelgedir. Planlama aşamasında oluşturulan şebeke diyagramı farklı faaliyetleri ayrıntılarıyla inceleme olanağı sağlar ve proje uygulamaya koyulmadan önce alternatif değişiklikler yapma imkanı tanır. Aynı zamanda planlama safhası , programlama safhasına temel teşkil etmesi yönüyle ayrıca önem arz eder.

Programlama aşamasının temel hedefi, projeyi teşkil eden her bir faaliyet için başlama ve bitiş zamanını gösteren bir zaman diyagramı oluşturmaktır. Aynı zamanda bu diyagram belli bir faaliyet ile projenin diğer faaliyetleri arasındaki ilişkileri de gösterir. Proje programlamada en önemli husus, projenin istenen zamanda bitirilmesi için takibi gerekli olan kritik faaliyetlerin tespitinin ve yönetiminin yapılmasıdır. Bunun yanı sıra programlama aşamasında, kritik olmayan faaliyetler için geçerli olan boşluk sürelerinin hesaplanması ve kullanılması söz konusudur. Bu aşama aynı



zamanda hammadde, teçhizat ve iş gücü gibi proje için gerekli kaynakların belirlenmesine ve bu kaynakları kullanan faaliyetlerin tahmini sürelerinin ve maliyetlerinin hesaplanmasını kapsar.

Kontrol aşaması ise belirli aralıklarla projenin ilerleme raporlarının düzenlenmesi ve proje hedeflerin gerçekleşme oranlarının belirlenmesi hususlarını içerir. Kontrol aşaması ile proje güncelleştirilir, analiz edilir ve gerekirse projenin kalan aşamaları için alternatif seçenekler belirlenir. İş gücü ve hammadde ihtiyacı, projenin her aşaması için hesaplanması, sürekli takip edilmesi ve mevcut faaliyetlere dağılımının yapılmasını gerektiren noktalardır. Proje kontrolü bu takibin ve programlanmış ve gerçekleşmekte olan performansın gözden geçirilmesini sağlar.

Yukarıda genel aşamaları kısaca belirtilmiş olan CPM ve PERT teknikleri bu tez çalışması boyunca, giriş bölümü dahil 6 farklı bölümde incelenerek proje planlamasındaki yeri ve önemi belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde proje kavramı, proje planlanmasının tarihi gelişimi ve temel kavramları ile ilgili açıklayıcı tanımlamalar yapılarak kavramsal çerçevenin tespitine çalışılmıştır.

Üçüncü ve dördüncü bölümlerde CPM ve PERT teknikleri ayrı ayrı incelenmiş, kullandıkları ortak yöntemler olan şebeke diyagramları ve kritik yol analizi açıklanmıştır. Bir projedeki faaliyetlerinin bir birleriyle olan mantıksal ilişkilerinin belirlenmesi, faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin incelenmesi, şebeke diyagramlarının kurulması, tüm projenin tamamlanması için gerekli beklenen zamanın hesaplanması ve zaman ve maliyet arasındaki ilişkinin analizleri yapılmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde ise ülkemizde inşaat sektörü alanında uygulamasına ender rastlanan bir Buz Pateni İnşaatı projesi incelenmiş ve proje üzerinde PERT tekniğinin uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca en uygun hızlandırılmış programın belirlenmesi konusunda proje yöneticisinin karar verme aşamasında kullanabileceği “Beklenen Kazanç” olarak adlandırılan yeni bir kavram geliştirilmiş ve bu kavramın izahına, kullanımına ve ilgili hesaplamaların açıklamalarına yer verilmiştir.

## 2.1. PROJE KAVRAMI

Sözlük anlamı itibariyle proje, yapılacak bir yapının, çalışmanın taslağı olarak ifade edilmektedir.

Daha geniş bir manada ise proje, belirlenmiş bir hedefi gerçekleştirmek için belirli bir sırada uygulanması gereken, birbiri ile öncelik / sonralık ilişkisine sahip faaliyetlerin bütünü olarak tarif edilebilir. Söz konusu faaliyetler birbiriyle mantıksal bir sıra içinde ilişki halindedir, yani bazı faaliyetler bazı faaliyetler tamamlanmadan başlayamazlar.<sup>1</sup>

Bir proje'nin temel özellikleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:<sup>2</sup>

i-Her proje sonludur; Proje bir hedefin belirlenip açıkça tanımlanmasıyla başlar. Hedef, yeni bir ürün geliştirmek, bir işletmenin re-organizasyonunu yaparak modernize etmek gibi çeşitli şekillerde açıklanabilir. Hedefin gerçekleşmesiyle proje tamamlanmış olur.

ii-Proje özgündür; Bir projenin özgünlüğü, o projenin daha Önce yapılmamış olması yada daha önce yapılmış olsa bile aynı koşulların birebir oluşturulmasının olanaksız olması gerektiğidir.

iii-Proje tekrar edilebilirdir; Bir proje gerek uygulama aşamasında gerekse uygulamaya başlanmadan önce, projenin dahiline ve haricindeki etkenlerin gerektirdiği doğrultuda yeniden yapılanmaya, yeniden düzenlenmeye uygun esnek bir oluşumdur.

iv-Proje faaliyetler bütünüdür; Proje, önceden belirlenmiş çok sayıda faaliyetin yapılmasıyla gerçekleşir. Faaliyetler bir projenin yapıtaşlarıdır.

v-Proje karmaşıktır; faaliyetler arasında mantıksal ilişkiler mevcuttur. Bu ilişkiler, projenin başlangıcı ile bitiş arasındaki akış yapısını oluşturur.

---

<sup>1</sup> Copertari, L.F.; Time, Cost and Performance Tradeoffs in Project Management ;Yayınlanmış Doktora Tezi – McMaster Universty Ocak 2002, s:2

<sup>2</sup> Taha, H.A., "Operations Research" Department of Industrial Engineering, University of Arkansas, Macmillan publishing co. inc. New York 1976, s:354

## 2.2. PROJE YÖNETİMİ

Proje yönetimi ulaşılmak istenen amaçlara, eldeki kaynaklarla optimum şekilde ulaşmayı hedeflemektedir. Proje yönetimiyle projenin kontrolü ve projenin tespit edilen süre ve maliyet koşulları içinde tamamlanması sağlanmaktadır.

Proje yönetimi, büyük ölçekli yatırım projelerinin, uygun maliyetlerle, tespit edilen süre içinde tamamlanmasını ve projede belirlenen amaçların istenen düzeyde gerçekleşmesini sağlamaktadır. Proje yönetimi, başarılı bir şekilde uygulandığı takdirde, kaynakların boşa harcanması, zaman kaybı ve maliyet artışları önlenmiş olmaktadır. Proje yönetimi, ulaşılmak istenen belli bir sonucu elde etmek için kullanılan maddi ve beşeri kaynakların ortak faaliyetlerini planlama, programlama, yürütme ve denetleme çalışmalarıdır.

Projelerin başarılı bir şekilde yürütülmesi için uygun teknoloji kullanımı ve gerekli kaynakların tahsisinden başka, etkin ve başarılı bir proje yönetiminin de gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bu noktada projelerin yönetim açısından önem taşıyan özellikleri şöyle ifade edilebilir:<sup>3</sup>

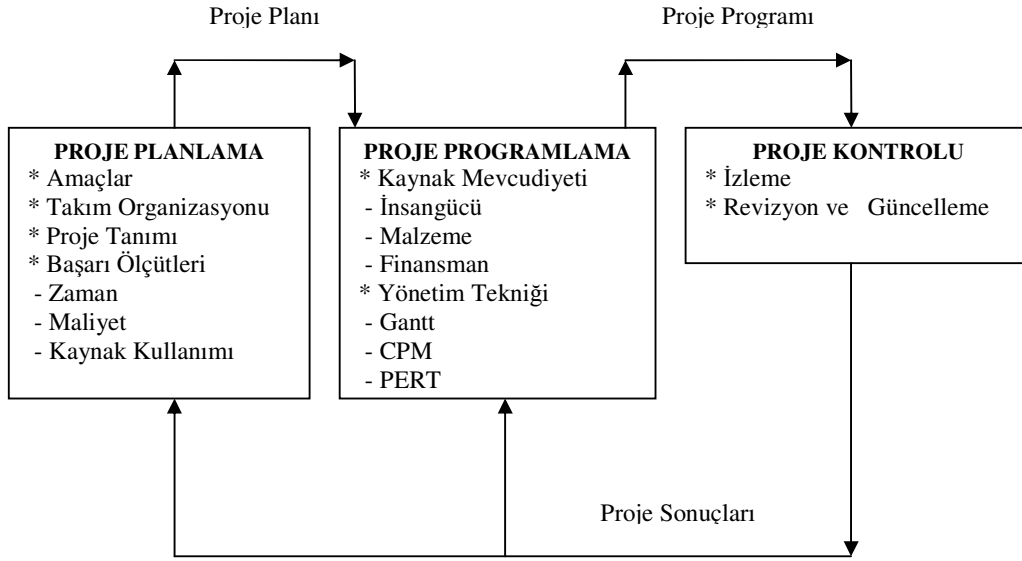
- Projeler belirli bir bütçe ve belirli bir zaman içerisinde istenen amaca ulaşmayı hedeflerler.
- Proje ilerledikçe, projenin plan ve programında birtakım değişiklikler gerekebilir. Her aşamada faaliyetlerin gereksinim duyduğu (hammadde, işgücü vb.) kaynakların harcama hızı değişebilir. Bu nedenle proje yönetimi esnek bir yapıya sahip olmalıdır.
- Proje hızlandırma çalışmalarının maliyeti, sonuca yaklaştıkça daha çok artmaktadır. İstenilen zaman tasarrufunu gerçekleştirmek için uygulanması gereken hızlandırma işleminin maliyeti, projenin ilerleyen aşamalarında daha pahalıya mal olduğundan, tüm aşamalarda bütünleşmiş bir kontrol sisteminin kurulması gerekmektedir. Projedeki aşamalar birbirine bağlı olduğundan dolayı, ilk aşamada

---

<sup>3</sup> Barutçugil Ismet S. ; Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri; Uludağ Üniversitesi Yayınları 1984; s:156-157

alınan kararların, daha sonraki aşamaların zaman ve maliyet faktörlerini etkilemesi söz konusu olduğundan, proje yöneticilerinin başlangıç kararlarında oldukça dikkatli davranmaları gerekmektedir.

- Projenin bitiş noktalarına doğru maliyet, zaman ve teknik koşullarla ilgili belirsizlikler giderek azalır, proje tamamlandığında ise bu belirsizlik tamamen ortadan kalkar. Söz konusu belirsizlikler, projenin birbirine bağlı aşamalarının tamamlanmasıyla giderek kaybolur. Ulaşılmak istenen hedefe olabildiğince erken ve doğru bir şekilde ulaşmayı sağlayan proje planlama ve kontrol sistemlerine ve yöntemlerine, projelerin bu özelliğinden dolayı gereksinim duyulmaktadır.



Şekil 2.1: Proje Yönetim Safhaları. <sup>4</sup>

Şekil 2.1.'de gösterildiği üzere ; Projenin planlama aşaması, proje hedeflerinin belirlenmesini, bu hedefleri gerçekleştirecek takımların oluşturulmasını ve hedeflerin

<sup>4</sup> Monks Joseph G., Schaum's Outline of Theory and Problems of Operation Management; 2nd Edition 1996; McGraw – Hill Inc.; s:352 .

takibini gerçekleştirmek için gerekli başarı ölçütlerinin belirlenmesini içerir. Projenin toplam maliyeti, tamamlanma süresi ve projenin ihtiva ettiği tüm faaliyetlerin gereksinim duyduğu kaynakların tesbiti yine projenin planlama aşamasında gerçekleştirilen hususlardır.

Proje programlama aşamasında, hangi yönetim tekniğinin kullanılması gerektiğine karar verilmekte ve mevcut kaynakların ilgili faaliyetlere tayini yapılmakta ve. Tercih edilen teknik uyarınca, projeyi oluşturan faaliyetlerinin zaman sınırlarının tesbiti ve proje hedefleri doğrultusunda programlanması, projenin programlama aşamasının içerdiği hususlardır.

Proje kontrolü aşamasında ise, proje hedefleri ışığında ve planlama aşamasında belirlenmiş olan başarı ölçütleri de göz önünde bulundurularak projenin mevcut durumuyla planlanan durumu karşılaştırılmakta ve hedeflerden sapmalar söz konusu ise gerekli düzeltme ve uyarlamalar işleme alınmaktadır.

Proje yönetim sisteminin temelini oluşturan planlama, programlama ve kontrol safhaları takip eden başlıklar altında daha detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

### **2.2.1 Proje Planlama**

Sözlük manası itibariyle planlama, bir işin bir eserin gerçekleştirilmesi için uyulması tasarlanan düzenin kurulması olarak ifade edilmektedir. Bu tanım ışığında proje yönetiminin temel aşamalarından olan proje planlama, bir projenin tamamlanabilmesi için yapılması gerekli bütün faaliyetlerin neler olduğunun belirlenmesi , bu faaliyetlerin birbirleriyle olan mantıksal ilişkilerinin ve yapılabilmeleri için ihtiyaç duyulan kaynakların göz önünde bulundurularak projenin gerçekleştirilmesi için gerekli düzenin kurulması olarak ifade edilebilir.

Planlama, proje süresi boyunca yalnızca birkere yapılan ve proje sonuna kadar hiç değişikliğe uğramadan uygulanan bir nitelikte değildir. Proje planı, proje süresince yapılan kontroller sonucunda elde edilen bilgiler ve değişen dış etkenler uyarınca, devamlı olarak değerlendirme, gözden geçirme ve yenilenme süreçleri

içerisinde bulunur. Böylece plan, zamanla uygulanamaz bir nitelik kazanmak yerine, sürekli güncellenerek proje tamamlanana kadar uygulanabilirliğini korur.

Proje sürecinde doğru kararların alınması ve faaliyetlerin bu kararlara uygun yürütülebilmesi için, projelerin mutlaka planlama aşamasından geçmeleri gerekir. Planlama yapılmadığı takdirde, projenin ilerleyişi kontrol edilemeyeceği ve gelecekteki fırsatları ve tehlikeleri görmek mümkün olmayacağından bu konuda gerekli önlemler de alınamayacak ve proje hedefleri gerçekleştirilemeyecektir.

Bir projeye planlamasına başlamadan önce tanımlanması gereken faktörler projenin alanı, projenin tamamlanacağı süre, projenin gerçekleştirilebilmesi için gerekli bütçe ve tamamlanma zamanı olarak ifade edilebilir.<sup>5</sup>

Proje planlamada nihai hedef üç farklı şekilde olabilir;

i-Eldeki kaynaklar çerçevesinde projenin en kısa zamanda bitirilmesi,

ii-Daha önceden belirlenmiş bir proje süresi dahilinde en az kaynak kullanımı ile projenin bitirilmesi,

iii-Proje toplam maliyetini en az yapacak bir proje süresinde projenin bitirilmesidir.

Projenin planlama aşaması, belirlenen amaçlara göre, projeyi teşkil eden faaliyetlerin birbirleriyle olan mantıksal ilişkileri, tamalanma süreleri, kaynak gereksinimleri ve maliyetleri gözönünde bulundurularak gerçekleştirilir. Dolayısıyla projenin planlama aşamasında gereksinim duyulan bilgi ve verilerin elde edilme sürecinde, çalışmaya ışık tutacak soruların sorulması önemlidir. Örneğin ; proje ne gibi faaliyetlerden oluşmaktadır ? , faaliyetlerin birbirleriyle olan ilişkileri nasıldır? , her faaliyetin ne tür makina gücüne gereksinimi vardır ? , her faaliyetin hangi miktarda işgücüne ihtiyacı vardır ? , faaliyetlerin ve projenin bütününün maliyet unsurları nelerdir? vb. soruların sorulması ve cevap bulması bir projenin etkin bir şekilde planlanabilmesi için gereklidir.

---

<sup>5</sup> Naylor, John, Operation Management, M&E Pitman Publishing, Great Britain 1996, s:343

Planlama surecinde izlenmesi gereken aşamalar şöyle ifade edilebilir<sup>6</sup>:

- Projenin tanımlanması: Öncelikle proje tanımlanarak, unsurlarına ayrılır. görev ve sorumluluklar belirlenerek, faaliyetlerin birbirleriyle ve bütün projeye olan ilişkisi ortaya konur.
- Faaliyetler ile faaliyetlerin yürütülmesi için gerekli kaynakların karşılaştırılması: Burada faaliyetin yapılması için gereken maddi ve beşeri kaynaklar sağlanarak, proje ekibi oluşturulur.
- Şebeke diyagramının hazırlanması: Bu diyagram olaylar arasındaki mantıksal sıraya göre oluşturulur. Şebeke diyagramı sayesinde, projenin bitirilebileceği en erken süre ve kritik faaliyetler belirlenir.
- Kaynakların görevlere dağıtılması: Her bir görevin gereksinim duyduğu kaynaklar belirlenerek, mevcut kaynaklar bu belirlemeye göre dağıtılır. Ayrıca bu aşamada ana görev ve unsurlarının maliyet tahminleri yapılmalıdır.

Özet olarak, projede planlama safhası şu şekilde ifade edilebilir:

Proje, ana faaliyet gruplarına ayrılır ve her grup içindeki temel faaliyetler tespit edilir; her bir faaliyetin tamamlanma süresi ve gerektirdiği kaynak miktarı belirlenir. Daha sonra faaliyetlerin bir birleriyle olan mantıksal ilişkileri göz önünde bulundurularak faaliyet sıraları belirlenir ve tüm proje, bu mantıksal ilişkiler ve faaliyet öncelik sıralaması ışığında bir bütün olarak ifade edilir. Böylece proje şebekesi kurularak, proje programlama aşamasına zemin hazırlanmış olur.

---

<sup>6</sup> Waters, Donald, Quantitative Methods For Business, Addison-Wesley Publishing Co.1994, s:638

### 2.2.2. Proje Programlama

Proje programlama ; projenin şebeke biçiminde ortaya konulup her faaliyetin en erken ve en geç başlama ve tamamlanma zamanlarının bu şebeke üzerinde gösterilmesini içerir. Bu şekilde projenin zamanında bitirilebilmesi için dikkatle takibi gereken ve zaman açısından kritik olan faaliyetlerin tanımlamaları yapılır. Ayrıca kritik olmayan faaliyetlerin sahip oldukları boş zamanların tespiti , sınırlı kaynakların, mümkün olduğu kadar projenin daha kritik olan işlemlerine dağıtılabilmesi imkanı sağlar.

Proje programlama, kaynak gereksiniminin ve tahmin edilen süre içinde projenin gidişatının (ilerlemesinin) programlanmasıdır. Programlama aşamasında her faaliyetin başlama ve bitiş zamanını gösteren bir zaman diyagramı hazırlanır. Proje programı, proje açısından tamamlanması kritik faaliyetleri göstererek, faaliyetlerin gecikme miktarı veya serbestlik süresi hakkında bir fikir vermelidir.<sup>7</sup>

Programlama aşamasında, projenin hedeflenen süre içerisinde bitirebilmenin mümkün olup olmadığı belirlenebilir ve proje programının ön gördüğü tamamlanma süresinin kısaltılması ihtiyacı doğduğu zaman, hangi faaliyetlere hızlandırma işlemi uygulanması gerektiği ve bu işlemi gerçekleştirmenin maliyeti tesbit edilebilir.

Proje programının sağladığı avantajlar şöyle ifade edilebilir<sup>8</sup>:

- Tüm projeyi ve birbirleriyle ilişkili faaliyetleri koordine eder.
- Tüm faaliyetlerin mantıklı bir biçimde planlanmasını sağlayarak faaliyetlerin organize edilmesini kolaylaştırır.
- Öncelik ilişkilerini ve özellikle kritik olan faaliyetlerin sırasını tanımlar.
- Gerçek değerlerle karşılaştırma yapabilmek için projenin tamamlanma süresinin (veya maliyetinin) tahminiyle ve bu konudaki standartlarla ilgili bilgileri sağlar.
- İnsan gücü, malzeme ve mali alanda yer değiştirebilecek kaynakları tanımlayarak, kaynakların daha iyi kullanılmasını sağlar.

<sup>7</sup> Monks, a.g.e, s : 352

<sup>8</sup> Monks, a.g.e, s : 353-354



Programlama, mevcut kapasite ve olanakların göz önünde bulundurularak, faaliyetlerin tamamlanma sürelerini hesaplayabilecek bir işlemler kümesini gerektirir ve bu aşamada önceden tecrübe edilmiş benzer projelerin kayıtlarından yararlanılabilir. Proje yöneticisi her faaliyetin en kısa zamanda tamamlanabilmesi hedefi ile hareket eder. Projenin büyüklüğüne göre, bazen yüzlerce hedefin birleştirilerek, mevcut ve kısıtlı olanaklarla faaliyetlerin tamamlanma sürecinin programlanması bilgili ve titiz bir çalışmayı gerektirir.

Projenin programlama aşaması tamamlandıktan sonra, projenin kritik yolu üzerinde önemle durulması gereken bir nitelik kazanır. Proje yöneticisinin projeyi olası en kısa sürede ve en düşük maliyetle tamamlayabilmesi için kritik yolun üzerindeki faaliyetlere hızlandırma işlemi uygulanması ve projenin tamamlanma süresinin hedef süreye uygun şekilde ayarlanması gerekir.

Proje programlaması sürecinde göz önünde bulundurulması gereken hususlar şöyle ifade edilebilir;<sup>9</sup>

- İşin genel sıralaması,
- Proje süresi içinde, gerekli insan gücü, makine, hammadde, malzeme ve olanakların (araştırma-geliştirme vb.) varlığı,
- Kıt ve özel yetenek ve kaynaklara olan gereksinim,
- Aynı kaynak için farklı veya çatışan talepler,
- İmal etme, montaj veya satın alma arasında seçim,
- Sermaye ve özkaynak sınırlılığı,
- İşgücüne prim, fazla çalışma ücreti ve serbest zamanın en aza indirilmesi,
- Hammadde, makine, malzeme ve aletlerden en fazla yararlanma,
- Aynı kaynağı kullanacak olan faaliyetlerde kullanma sırasının programlanması,

---

<sup>9</sup> GÜLERMAN, Adnan, PERT/Maliyet TEKNİĞİ (İşletmede Bir Yönetim Aracı Olarak Kullanılması), Ankara İ.T.İ.A. , 1970 Yayın No:37 , S:33

Programlama, her faaliyetin yalnızca ne zaman tamamlanması gerektiğinin göstermez, aynı zamanda 'boşluk zaman' ları da göz önüne alarak, bir faaliyetin 'en erken başlama', 'en geç başlama", 'en erken bitirme', 'en geç bitirme' tarihlerini de belirtir. Böylece var olan insan gücü ve kaynaklardan birlikte yararlanacak faaliyetler arasında sıralamalar yapmak suretiyle, sınırlı insan gücü ve kaynaklardan en çok faydalanma gerçekleştirilmiş olur.

Bir proje programı şu unsurlar hakkında bilgi vermelidir.<sup>10</sup>

- Proje aşamalarının ayrıntıları .
- Faaliyet sayısı.
- Faaliyet süreleriyle ilgili minimum ve maksimum tahminler.
- Hedef süreyle ilgili kısıtlamalar ve mantıksal ilişkiler.
- Kaynak ve maliyet kısıtlamaları.
- İyileştirme yöntemleri.

Programlama aşamasının en son amacı, her bir faaliyet için başlama ve bitiş zamanını gösteren bir zaman diyagramı hazırlamaktır; bu diyagram belirlenen faaliyetin, projenin diğer faaliyetleriyle olan ilişkisini de gösterir. Ayrıca program hedeflenen proje zamanında tamamlanırsa, özen gerektiren zaman açısından kritik faaliyetleri göstermelidir. Program kritik olmayan faaliyetler geciktirildikleri zaman veya sınırlı kaynaklar etkin bir şekilde kullanıldıkları zaman kullanılması avantajlı olan gecikme miktarı veya boşluk süresini göstermelidir.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Jensen, Christian A., *Effective Project Planing Techniques*, Civil Engineering 1994, s:66

<sup>11</sup> HALAÇ, Osman, *Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması)*, 2. Baskı, İ.Ü. Yayın No:3078, İstanbul 1983, S:184

### 2.2.3. Proje Kontrolü

Proje kontrol safhası, projenin uygulanması sürecinde proje planına uygun hareket edilmesine ve planda öngörülmeven durumlara uyum sağlanmasına imkan tanıyan işlemleri içerir. Yapılan gözlemler sonucu gerçekleştirilmesi planlanan hedefler ile gerçekleşenler arasında bir fark tespit edilirse bunun sebepleri araştırılarak uygun bir tedbir ve düzeltici faaliyetler gündeme getirilir. Amaç planlanan ve gerçekleşen arasındaki farkı ortadan kaldırmaktır. Bunu gerçekleştirirken, eğer planlanmış olan hedef gerçekçiliğini kaybetmiş ise, yeni bir hedef belirlenir. Proje hedefi hala gerçekçi olarak kabul edilebiliyor ise bu hedef muhafaza edilir ve hedefe götüren işlemlerde uygun değişiklikler, düzenlemeler yapılır.

Bir projede karşılaşılan sorunların sadece planlama yaparak önüne geçilmesi mümkün değildir. Yapılacak çalışmaların planlanması ve programlanmasından sonra, kontrolü de gerekmektedir

Proje kontrol aşaması, planlama ve programlama aşamalarından bağımsız olamamakla birlikte bu aşamaların proje süresince takibini içerir. Etkili bir takip olmadan uygulanan proje planı ve programı oldukça yetersizdir. Örnek olarak, herhangi bir kritik olmayan faaliyette bir gecikme söz konusu olduğunda bunu düzeltmek bu faaliyeti izleyen kritik olmayan faaliyetlerin yeniden programlanması ile sınırlıdır. Böyle bir durumda, yani kritik olmayan faaliyetlerin yeniden programlanması söz konusu olduğunda, bu faaliyetlere ait boşluk zaman değerleri kullanıldığından bu faaliyetler kritik faaliyet haline gelebilirler. Bu sebeple projede herhangi bir aksamanın söz konusu olmaması için bu faaliyetlerin çok yakından takip edilmesi gerekmektedir. Gecikme kritik faaliyetlerden birinde meydana gelirse, o takdirde yapılacak şey daha önceki başlıklarda ifade edildiği gibi, ek kaynak kullanmak, bazı kaynakları kritik olmayan faaliyetlerden kritik olanlara aktarmak, yeniden programlama yapmak vb. işlemleri içerir. Bütün bu işlemler proje takibi yapılmaksızın gerçekleştirilemesi ve projenin hedeflenen zamanda tamamlanabilmesi mümkün değildir. Dolayısıyla kontrol aşaması projenin gerçekleşme süresi boyunca proje planının ve programının güncelleştirilmesini sağladığı için hayati öneme sahiptir.

Mevcut durumun tespit edilmesi, bu durumun standartlarla karşılaştırılması ve farklılıkların olması durumunda düzeltici önlemlerin alınması, kontrol aşamasında yapılan çalışmalar arasındadır. Kontrol aşamasında performans, maliyet ve zaman faktörleri üzerinde yoğunlaşılır. Ayrıca bu süreç içerisinde, proje uygulayıcısı için önem taşıyan başka konularda da kontrol yapılabilir. Neyin kontrol edilmesine karar verirken proje planından yararlanır.<sup>12</sup>

Proje kontrolü sayesinde, önceden belirlenmiş plana uygun olarak tespit edilmiş amaçlara ulaşılmaktadır. Proje kontrolü sürecinde dikkat edilmesi gerekli hususlar şu şekilde özetlenebilir:

- Proje planının takibi: Faaliyetlerin planlanması, planlama aşamasının bir sonucudur. Her bir faaliyetin ne zaman başlaması ve ne zaman bitmesi gerektiği ve herhangi bir gecikmeye izin verilip verilmeyeceği projenin planı ve programı dahilinde takip edilmelidir.

- Gözden geçirme : Hiçbir faaliyet planı, proje boyunca ortaya çıkabilecek olağan dışı durumların tamamını ön göremez. Bu yüzden, projenin plana uygun olarak ilerleyip ilerlemediğini veya planın ne kadar ilerisinde veya gerisinde olduğunu belirlemek için sürekli gözden geçirme önemlidir..

- Düzenleyici Çalışmalar: İnceleme sürecinin plandan sapmayı göstermesinden sonra, faaliyeti planlanan şekilde yeniden düzeltmek gerekmektedir. Bu, ekstra işle, ilave kaynakla veya yöneticinin kullanabileceği diğer araçlarla mümkündür. Yapılacak faaliyetle, planın yeniden gözden geçirilmesi ve kontrolü sağlanmaktadır.

---

<sup>12</sup> Hill, Terry, Production/Operations Management, 2nd Edition, Prentice – Hall Inc.1991, s:236

## 2.4. Proje Planlama - Programlama Teknikleri

Proje planlama & programlama tekniklerine ilk sistematik yaklaşım I. dünya savaşındaki askeri uygulamalardan kaynaklanan Gantt diyagramıdır. Gantt diyagramları daha sonra geliştirilmiş ve uygulama alanları genişletilmiştir. Bu yaklaşıma aynı zamanda çubuk diyagramı yaklaşımı da denilmektedir. Ancak Gantt diyagramı faaliyetler arasındaki öncelik ilişkilerini ve projenin zamanında bitirilmesi için hangi faaliyetlerin çok önemli olduğunu göstermediğinden dolayı birtakım eksiklikleri olan bir yöntemdir.

Proje planlama, programlama ve kontrolünde gerçek gelişme ise 1950' li yıllarda yöneylem araştırması bilim dalının da etkisi ile, şebeke analizleri temelinde olmuştur. Şebeke yaklaşımında işlemlerin birbirleri ile olan öncelik ve sonralık ilişkilerini yansıtan bir şebeke diyagramı oluşturulur. Şebeke diyagramı üzerinde projenin süresini belirleyen faaliyetler serisi tespit edilir. Bu faaliyetler serisi en uzun faaliyetler serisidir ve kritik yol olarak isimlendirilir. Aynı zamanda bu metot, planlama tekniklerinin en gelişmiş hali olan CPM ve PERT tekniklerinin de temelini teşkil eder.

Kritik yol metodunu temel alan planlama teknikleri olan PERT ve CPM' in her ikisinde projeye, birbirleriyle ilişkili faaliyetlerden oluşan bir bütün olarak bakılmaktadır. Bu teknikler, düğüm ve oklardan oluşan şebeke diyagramı sayesinde, faaliyetler arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu yönüyle PERT ve CPM teknikleri Gantt diyagramlarının yetersiz kaldığı bu hususta gerekli çözümü sağlamıştır. Şebeke diyagramı ile çalışmak, proje yöneticilerine hangi faaliyetlerin gecikmesinin, tüm projenin gecikmesine neden olacağı konusunda bilgi vermektedir.<sup>13</sup>

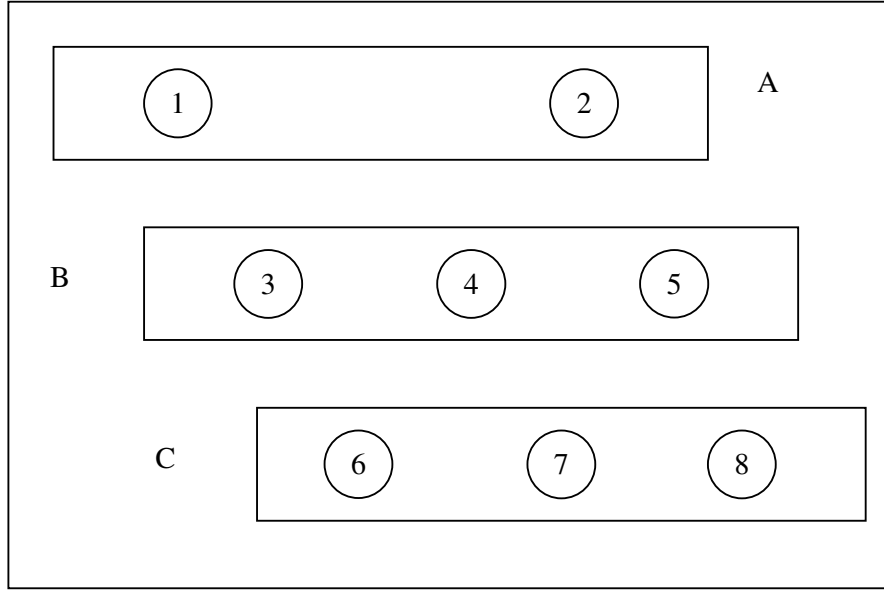
Gantt cetvelleri yapılacak faaliyeti gösteren görsel bir yapıya sahiptir. Bu yapının elemanları ise faaliyetin başlangıç ve bitiş aşamalarını verirlerken, aşamalar ve faaliyetin safhaları arasındaki ilişkileri ortaya koymuşlardır. Bu şekilde proje göz önüne alındığında, bir faaliyetin birçok safhadan, alt faaliyetlerden meydana geldiği açıkça ortaya çıkmaktadır. Ancak Henry Laurence Gantt'ın kendi adını verdiği cetvelleri her

---

<sup>13</sup> Krajewski & Ritzman, a.g.e; s:788.

faliyetin kendi safhaları arasındaki ilişkileri gösterdiği halde, faaliyetler arası ilişkilerin kurulamaması Gantt cetvellerini yetersiz bırakmıştır.

Örnek olarak Şekil. 2.2 de gösterilmiş olan üç farklı faaliyetten meydana gelen bir projeyi ele alalım; Bunlar A, B, C faaliyetleri olsunlar. A, B, C faaliyetlerinin her birinin tamamlanmasının projenin tamamlanması demek olduğu açıktır. Ayrıca A faaliyetinin tamamlanması demek, bu faaliyetin iki alt safhası olan 1 ve 2 faaliyetlerinin bitirilmesi ile mümkündür. Aynı şekilde B faaliyetinin tamamlanması; 3, 4, 5 faaliyetlerinin, C faaliyetinin tamamlanması da 6, 7, 8 faaliyetlerinin tamamlanması ile mümkün olduğu görülmektedir.



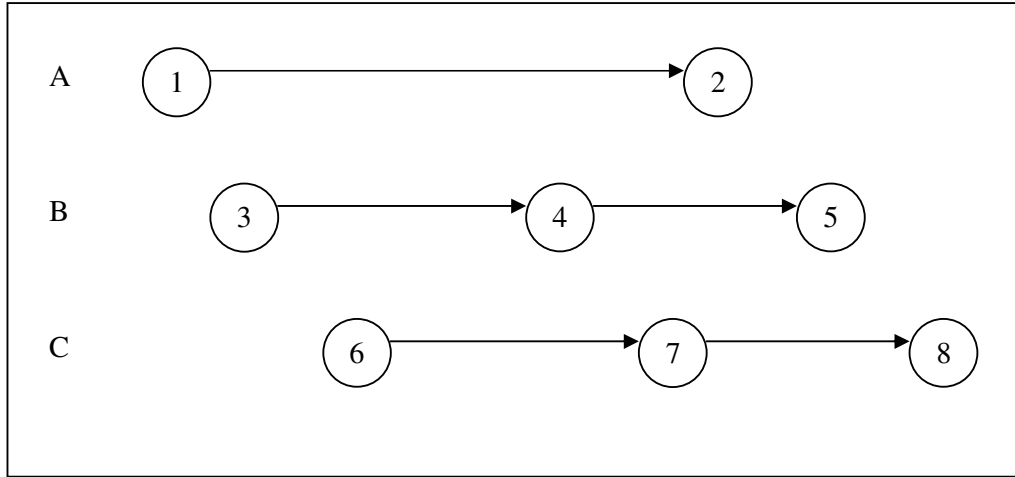
Şekil. 2.2. Gantt Cetveli<sup>14</sup>

<sup>14</sup> R.J.Thierauf; R.C.Klekamp; "Decision Making Through Operation Research"; 2nd Edition- Wisley Series; s.122

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi A faaliyetinde 1 numaralı faaliyeti tamamlamadan 2 numaralı faaliyete başlanamaz. Bu iki faaliyet arasında bir bağ, bir mantıki faaliyet sırası olduğu görülmektedir. Fakat bu mantıki ve fiili sıranın, A ile B ve B ile C faaliyetleri arasında olup olmadığı mevzuunda Gantt cetvelleri herhangi bir bilgi verememektedir. İşte bu önemli eksiklik Gantt cetvellerinin gelişimini hızlandırarak CPM ve PERT tekniklerinin gelişmesine olanak tanımıştır.

Gantt cetvellerinin, tarihi gelişimi sürecinde üç aşama halinde CPM ve PERT tekniklerinin de temelini teşkil eden şebeke yöntemine ulaşılmıştır.

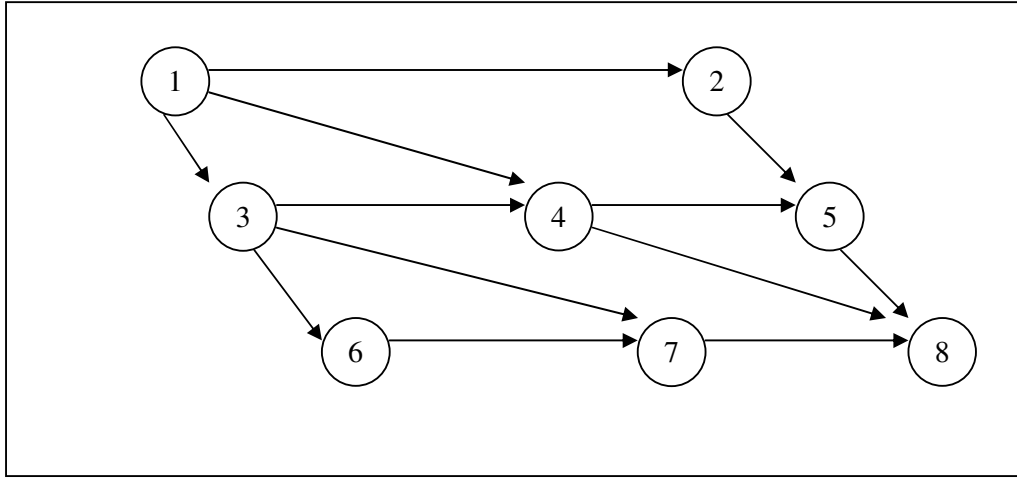
Şekil 2.3' de görüldüğü gibi geçişin ilk aşamasında Gantt cetvellerindeki A, B ve C faaliyetlerinin yerini aynı faaliyetlerin alt aşamaları alınmıştır. Böylece aşamalar arasındaki fiziki sıra ortaya konularak kendi aralarında öncelik sıraları belirlenmiştir. 1 nci faaliyet tamamlanmadan 2 nci faaliyete geçilemeyeceği görülmesine rağmen, 3 ncü faaliyete veya 6 ncı faaliyete 1 nci faaliyete ile aynı anda başlanabilirmi? 4 ncü veya 7 nci faaliyetlere gelmeden hangi olayların tamamlanması gereklidir? Geçişin ilk aşaması buna cevap verememektedir. Ancak bu cevabın II. aşama ile verilebileceğini görülebilir.



Şekil .2.3; Gantt'tan PERT 'e Geçişin I. Aşaması.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Thierauf &.Klekamp, a.g.e, page122

İkinci aşama ile faaliyetlerin birbirleri ile olan ilgileri oklarla gösterilmiştir. Böylece hangi faaliyeti hangi faaliyetin izlediğini, herhangi bir olayı hangi olay yada olayların takip etmesi gerektiğini ortaya koyulmaktadır. Şekil.2.4'de görüldüğü gibi 2.nci faaliyet 4.ncü faaliyetten bağımsızdır. Yalnız 3 numaralı faaliyet gerçekleşmeden 4 numaralı faaliyete başlanamayacağı kesindir. Şu halde denilebilir ki 3. ncü faaliyet ile 4.ncü faaliyet bir birlerine bağımlıdır.



Şekil .2.4: Gantt'tan PERT'e Geçişin II. Aşaması.<sup>16</sup>

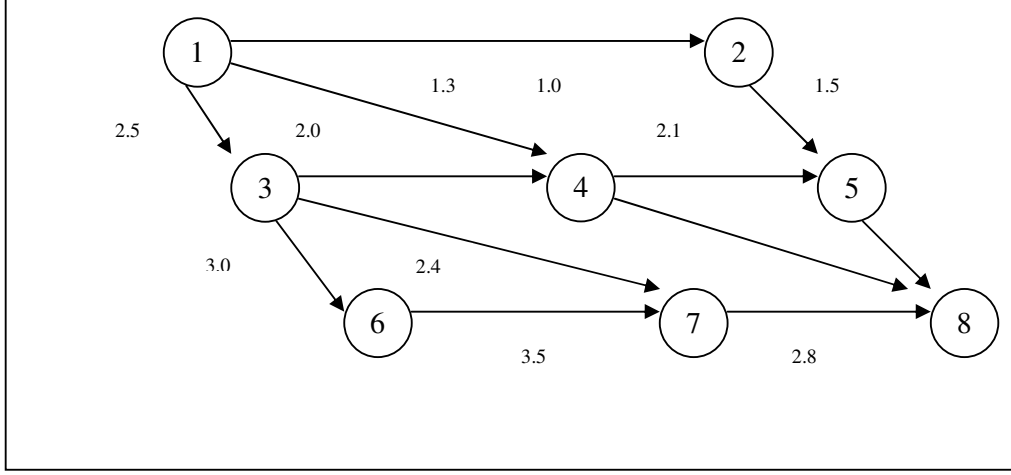
Ayrıca II. aşama Gantt cetvelinde artık projeyi meydana getiren A, B ve C faaliyetlerinden de söz edilememektedir. Bunun yerine A, B ve C faaliyetlerinin meydana getirdiği projenin tamamından söz edilebilir duruma gelmiş olup projenin tamamı kontrol edilebilir hale gelmiştir.

Birinci ve ikinci aşama Gantt cetvellerinde A, B ve C faaliyetlerinin gerçekleşme süresi olan zaman verilerinden söz edilebilirken, ikinci aşama cetvelleri sonunda A, B ve C faaliyetlerinin varlıklarının ortadan kalkması, bu faaliyetlerin gerçekleşme sürelerini de ortadan kaldırır. Bunun yerine artık faaliyetlerin tamamlanma sürelerinden bahsedilen ve III. aşama Gantt cetveli olan CPM ve PERT şebekesine

<sup>16</sup> Thierauf &.Klekamp, a.g.e, page122



ulaşılmış olunmaktadır . Bu aşamada projeyi oluşturan faaliyetlerin birbirleriyle olan mantıksal ilişkileri ve her faaliyetin tamamlanma süreleri açık bir şekilde diyagram üzerinde ifade edilebilmektedir.



Şekil .2.5: Bir PERT & CPM şebekesini oluşturan tüm faaliyetlerin tamamlanma sürelerini ifade eden (farazi) değerlerin diyagram üzerinde gösterimi.

CPM ve PERT tekniklerine de temel teşkil eden şebeke diyagramlarının sağladığı avantajlar şu şekilde özetlenebilir:

- Şebeke diyagramları proje yöneticisine, karar verme aşamasında etkili olan projeye alakalı gerekli bilgileri bir bütün olarak sunabilmektedir.
- Şebeke diyagramlarında, proje çeşitli faaliyetler olarak değil de bir bütün içinde çeşitli aşamalar olarak ele alındığından bazı faaliyetlerin ayrı gösterilme gereği ortadan kalkmıştır.(A,B,C faaliyetleri gibi)
- Şebeke diyagramlarında, projenin yönetilebilirliğini arttıracak tarzda, genel zaman ölçeği yerine şebekenin her faaliyeti için ayrı ayrı belirlenmiş olan zaman değerlerini kullanılır.
- Şebeke diyagramları, sadece basit faaliyetlerin değil, çok daha karışık projelerin yönetimini için de kullanılabilecek bir yapıya sahiptir.

- Şebeke diyagramları, projenin kritik yolunun tespitinde ve yönetiminde proje yöneticisine kolaylık sağlar.<sup>17</sup>

Şebeke diyagramları, projeyi teşkil eden faaliyetlerin birbirleriyle olan mantıksal bağlantılarını, her faaliyetin tamamlanma sürelerini açık bir şekilde ifade edebildiğinden, projede doğabilecek bir aksama durumunda veya aksamanın olup olmadığının kontrolünde, yöneticiye projenin tamamına bakmak yerine her faaliyet için daha etkin bir kontrol sağlayabilme olanağı tanır. Ve proje yönetiminin etkili bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için gerekli diğer tüm çalışmalara zemin sağlar.

---

<sup>17</sup> H.Kerzner, "Project Management", John Wiley & Sons Inc.; New Jersey -2004 ;p : 450

### **3. Bölüm, Kritik Yol Metodu**

#### **3.1 Şebekeyi Oluşturan Temel Kavramlar**

##### **3.1.1 Olaylar (düğüm noktaları)**

Olay , zaman içerisinde meydana gelen, bir veya birden fazla paralel faaliyetin başladığı yada sonuçlandığı durumu gösterir ve gerçekleşmesi için hiçbir kaynak ve zaman kullanımını gerektirmez.<sup>18</sup> Şebeke diyagramını teşkil eden olaylar birbirlerini mantıksal bir sıra içerisinde takip etmek zorundadırlar.

Şebeke diyagramının oluşturulması aşamasında olaylarla alakalı bir takım kabuller göz önünde bulundurulmaktadır:<sup>19</sup>

- İki olay direkt olarak en fazla bir faaliyet ile bağlanabilir.
- Her olay numarası en fazla bir defa kullanılmalıdır.
- Bir şebeke diyagramı sadece bir başlangıç ve bir sonuç olayına sahip olabilir.

Olaylar şebeke içerisinde çeşitli geometrik şekillerle ifade edilebilirler. Genel olarak kullanılan şekil daire olup bu çalışmada da tüm olaylar dairelerle ifade edilmiştir.

##### **3.1.2 Faaliyetler**

###### **3.1.2.1. Faaliyetlerin Tanımı**

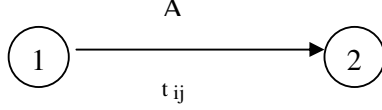
Faaliyet, bir projeyi teşkil eden, tamamlanması için zaman ve kaynak (iş gücü, hammadde, ekipman vb.) kullanımı gerektiren işler veya görevler bütünü olarak ifade edilir.<sup>20</sup> Şebekeyi oluşturan faaliyetler bir birleriyle mantıksal bir sıra içerisinde bağlıdırlar.

---

<sup>18</sup> Sezen, K., Tel Sepet Üretim Sürecinde PERT Uygulaması ;Uludağ Univ. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi;cilt 15,sayı 1-2, Yayınlanmış makale; Bursa 1994, sayfa:185

<sup>19</sup> Winston W. L. ; Operation Research –Applications and Algorithms; Brooks / Cole –Thomson Learning Inc. ; U.S - 2004 ,sayfa 433  
Gordon,G. ; Pressman, I. ;”Quantitive Decision Making for Business”, Prentice Hall Inc., New Jersey 1978 , page :483

Faaliyetler CPM ve PERT tekniklerinde hazırlanan programlarda bir okla gösterilirler. Okların uzunluğu faaliyet süresinden bağımsızdır. Oklar genellikle i,j gibi iki düğüm noktası arasında bulunurlar ve okların yönü faaliyet akış sırasını gösterirler. Okların üstüne faaliyetin adı, altına ise süresi yazılır.



Şekil 3.1 İki Faaliyetin Grafik Olarak Gösterimi.

### 3.1.2.2. Faaliyetlerin Zaman Birimi Ve Tanımlanması

Program içindeki faaliyetlerin zaman birimleri aynı olmalıdır. Uzun süreli projelerde zaman biriminin ay yada yıl olarak seçilmesi, kısa süreli ve uygulamada kullanılacak detay programlarda ise zaman biriminin gün ya da hafta olarak seçilmesi uygun olmaktadır. CPM ve PERT tekniklerinde önemli olan faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin aynı birimle gösterilmesidir.

Bir faaliyetin tamamlanma süresi o faaliyetin başladığı andan bitinceye kadar geçen zamandır,  $t$  ile gösterilen faaliyet süresi faaliyet miktarının birim zamanda yapılan iş miktarına bölünmesiyle elde edilir.

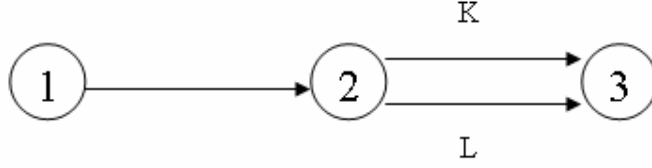
Birim zamanda yapılan iş miktarının belirlenmesinde, faaliyetlerin içerdiği iş gücünün (insan, makine) bilinmesi zorunludur. Ayrıca faaliyetlerin her biriminin ( $m$ ,  $m^3$ , ton vb.) net bir şekilde ifade edilmesi şarttır.

### 3.1.2.3 Kukla Faaliyetler <sup>21</sup> :

Her herhangi bir faaliyetin veya olayın şebekedeki diğer faaliyet veya olaylarla olan mantıksal bağlantılarının açıklanabilmesi için bazen kukla faaliyetlerin kullanımı gereklidir. Kukla faaliyetler, gerçekleşmesi için zaman ve kaynak kullanımı gerektirmeyen faaliyetlerdir. Kukla faaliyetlerin şebeke diyagramı oluşturulması sürecinde farklı şekillerde kullanımı söz konusudur. Örneğin, kendilerinden hemen önce

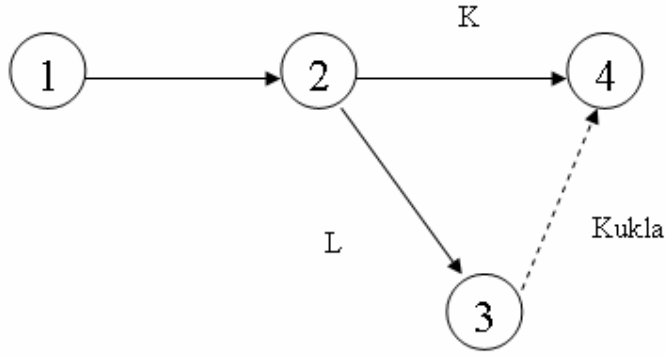
<sup>21</sup> Öztürk, Ahmet, Yöneylem Araştırması, Ekin Kitabevi Yay.; Bursa 2005 ; s:569-570

ve hemen sonra gelen olaylar aynı olan K ve L gibi iki faaliyet ele alınacak olursa , bu durumu ifade edecek mantıki çizim şu şekilde olmalıdır:



Şekil 3.2 Üç Farklı Faaliyetin Gösterimi

Fakat yukarıdaki gösterim daha önce belirtilen şebeke kurallarına uymaz. Çünkü her faaliyet iki olay dairesi ile özel olarak bağlanmalıdır. Yani aynı iki olay dairesi ayrı ayrı iki faaliyeti bağlayamaz. Bu sorunu çözmek için aşağıdaki şekil çizilebilir:

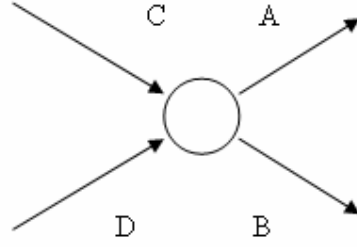


Şekil 3.3 Kukla Faaliyetin Gösterimi

Görüldüğü üzere Şekil 3.3 ' de 3 ile 4 arasındaki faaliyet kukla faaliyettir ve süresi sıfırdır.

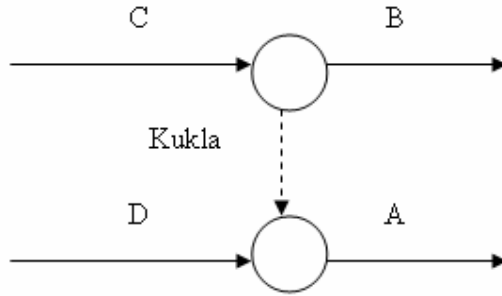
Kukla faaliyetler süresi kısa olan faaliyetten sonra gelir ve böylece en uzun tamamlanma sürelerine sahip faaliyetlerin teşkil ettiği kritik yol üzerinde kukla faaliyet bulunma olasılığı azaltılmış olur.

Kukla faaliyetin bir başka kullanım şekli de şöyle olabilir; Eğer A faaliyeti C ve D faaliyetlerinin bitimine bağlı fakat B faaliyeti yalnız C faaliyetinin tamamlanmasına bağlı ise çizim şu şekilde olur:



Şekil 3.4 Farklı Dört Faaliyet arasındaki İlişkinin Gösterimi

Şekil 3.4 doğru değildir. Çünkü bu şekle göre B faaliyeti hem C ve hem de D faaliyetinin bitmesine bağlı gibi gözükmektedir. Fakat esasında bu doğru değildir. Bu nedenle Şekil 3.5 'de görüldüğü üzere bir kukla faaliyet ile bu problem giderilebilir.



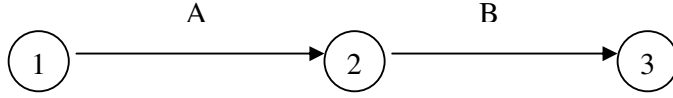
Şekil 3.5 Kukla Faaliyetin Farklı Bir Gösterimi

### 3.1.3 Faaliyetler Arasındaki Bağlıntılar,

Bir proje birbirleriyle mantıksal ilişkiler içerisinde olan çok sayıda faaliyetten oluşmaktadır. Bu faaliyetler arasında söz konusu mantıksal ilişkileri ifade eden bir takım bağıntılar bulunmaktadır. Bu bağıntılar A faaliyeti tamamlanmadan B faaliyetine başlanamaz, C faaliyeti ancak A ve B faaliyetinin tamamlanmasından sonra başlayabilir vb. gibi, faaliyetlerin öncelik sırasını, tamamlanabilmeleri için gerekli koşulları gösteren bağıntılardır. Bu bağıntıların şebeke diyagramının oluşturulmasında hatasız

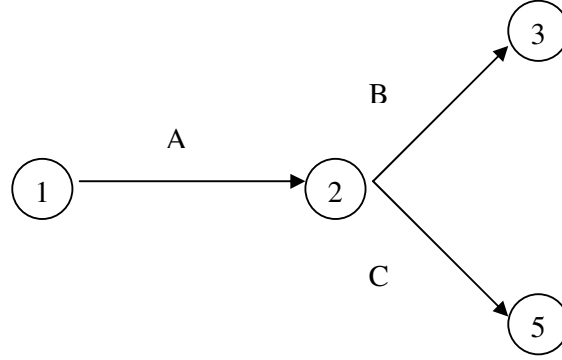
olarak gösterilmeleri gerekmektedir. Bağıntılara ait örnekler genel olarak aşağıdaki şekliyle ifade edilebilir:<sup>22</sup>

a) A faaliyeti tamamlandıktan sonra B faaliyeti başlar.



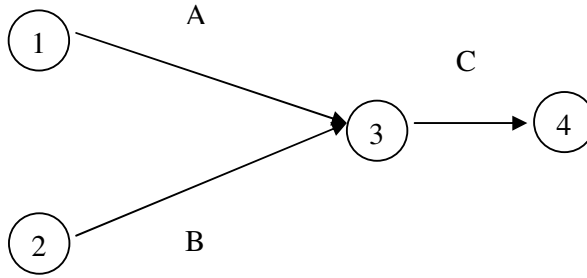
ŞEKİL 3.6 İki Faaliyet Arasındaki Bağıntının Gösterimi

b) B ve C faaliyetleri A faaliyeti tamamlandıktan sonra başlayabilir:



Şekil 3.7 Üç farklı faaliyet arasındaki bağıntının gösterimi

c) A ve B faaliyetleri tamamlandıktan sonra C faaliyeti başlayabilir:



Şekil 3.8 Üç Faaliyet Arasındaki Bağıntının Gösterimi

<sup>22</sup> Winston W. L. ;a.g.e , s: 432

Projeyi oluşturan faaliyetlerin birbirleriyle olan mantıksal ilişkilerini ifade eden bu bağıntılar, şebeke diyagramı modellerinin de temelini teşkil ederler.

### 3.1.4 Faaliyetlerin Numaralandırılması

Şebekenin programlama sürecinde faaliyetlerin numaralandırılması hayati bir önem arz eder. Proje ilerleyişinin sağlıklı bir şekilde takibinin yapılabilmesi, faaliyetlerin zaman sınırlarının tespiti ve akabinde yapılan aritmetik işlemlerin doğru bir biçimde gerçekleştirilebilmesi, faaliyetlerin etkin bir şekilde numaralandırılabilmesine bağlıdır.

Literatürde en çok kabul gören ve kullanılan numaralandırma yöntemi şöyledir:

Faaliyetlerin başlangıç ve bitişindeki düğüm noktaları bir i ve j harfine tekabül ettirilir, i harfi okun başlangıcına, j harfi ise bitişini gösterir.

Faaliyetleri numaralandırmada iki farklı metod vardır<sup>23</sup>:

1) j'nin daima i'den büyük olduğu sistem ;

i) Numaralama 0,1,2,3... şeklinde arada hiçbir tam sayı atlanılmadan yapılabilir.

ii) Numaralama 0,5,15,20.. gibi j'nin i'den yüksek olmasından başka hiçbir koşul gözetmeksizin yapılır. Bunun avantajı şebekeye sonradan bir faaliyet ilave etmek gerektiğinde aradaki kullanılmamış tam sayılardan faydalanarak bu işlemin rahatça yapılabilmesidir.

2) j'nin i'den büyük veya küçük olmamasının hiçbir şey fark ettirmediği numaralama metodu. Bu metod bilgisayarların gelişmesi sonucu meydana çıkmıştır.

Şebeke diyagramında her ok muhakkak surette isimlendirilir. Eğer faaliyetlerin isimleri okların üzerlerine yazılmıyorsa düğüm noktalarının numaralandırılmasından faydalanarak (her faaliyet bir çift numara ile gösterildiğinden) her numara çiftinin hangi faaliyete karşı geldiğini gösteren bir liste yapılmalıdır.

---

23 Erişken ve Diğerleri ; a.g.e, s:15



## 3.2 Şebeke Diyagramının Oluşturulması

### 3.2.1 Şebeke Diyagramının Oluşturulması Sürecinde Uyulması Gereken Temel Kurallar

CPM ve PERT tekniğine göre projelerin programlanmasında en önemli noktalardan biri şebekenin oluşturulması işlemidir. Bu işlem tamamen proje yöneticisine bağlıdır, bu sebeple şebekenin oluşturulmasında programı yapanın teorik bilgisi ve projeyi oluşturan faaliyetler hakkındaki bilgisi çok önemli rol oynar

Literatürde bir şebekenin nasıl oluşturulacağına dair çatışan görüşler vardır. Özellikle PERT 'de planın son faaliyetten başlayarak geriye doğru kurulması görüşü kuvvetlidir. Sebep olarak , daha önce hiç yapılmış yepyeni bir projede, örneğin bir bilimsel araştırma projesinde sonuç tespit edilmiş olmakla beraber, sonuca götüren faaliyetlerin daha yeni tespit edileceği gösterilir. Dolayısıyla bu görüşe göre projenin şebeke diyagramı sağdan sola yani sonuçtan sonucu meydana getirecek faaliyetlere doğru oluşturulmalıdır.

Ancak başlangıç faaliyetinden başlayan bir plan, daha çabuk ve düzgün bir şekilde ortaya çıkmaktadır ve genellikle planlamaya ilk faaliyetten başlamak olumlu sonuçlar vermektedir.<sup>24</sup>

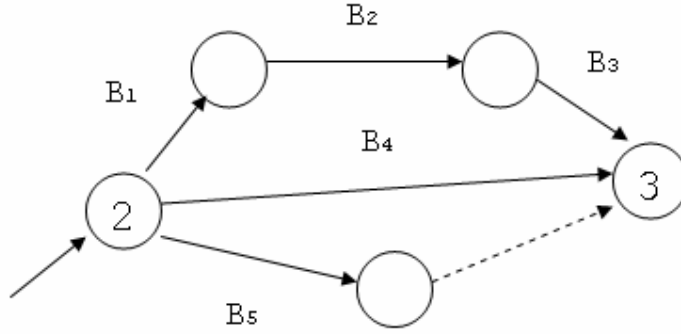
Genel itibariyle CPM tekniğinde, şebeke diyagramlarının çizimine soldan başlamak esas alınmıştır ve ilk olarak çizilmesi gereken faaliyetler, başka faaliyetlere bağımlı olmayan faaliyetlerdir. Daha sonra bu faaliyet veya faaliyetlere bağlı olan faaliyetler eklenerek çizim tamamlanmaya çalışılır. Şebeke soldan sağa doğru sistematik bir biçimde genişletilir ve projenin son faaliyetinin çizimi ile tamamlanır.

Başlangıç faaliyetleri birden fazla olduğu ve beraber yapılmaları gerektiği hâllerde iki çözüm tarzı vardır: Birincisinde, başlangıç faaliyetleri bir noktadan dağılırlar, ikincisinde ise, bir temel çizgi kullanılır. Temel çizgi, aslında bir nokta ile

---

24 Erişken ve Diğerleri ; a.g.e, s:5





3.11 Alt faaliyetlerin Oluşturduğu Kapalı Şebekenin Gösterimi

Bir şebeke diyagramı kurmak için dikkat edilmesi gereken kurallar şöyle özetlenebilir<sup>26</sup>:

I. Kural: Her faaliyet, şebeke içinde bir ve yalnızca bir ok ile gösterilir. Hiçbir faaliyet şebeke içinde iki kere gösterilmez. Bu, bir faaliyetin kısımlara parçalanması durumunda farklılık gösterir. Bu durumda her parça ayrı bir ok ile gösterilmelidir.

II. Kural: Herhangi iki faaliyet aynı baş ve kuyruk olayları ile tanımlanamaz. Böyle bir durum iki yada daha fazla faaliyet aynı anda yapılabildiği zaman ortaya çıkar. Bu sorun önceki başlıklarda bahsedildiği üzere kukla faaliyetler kullanılarak giderilebilir.

III. Kural: Şebeke diyagramında öncelikli ilişkilerinin doğruluğundan emin olmak için, şebekeye eklenen her faaliyet için aşağıdaki sorular cevaplandırılmalıdır :

1. Bu faaliyetin başlayabilmesi için hangi faaliyetler tamamlanmış olmalıdır?
2. Bu faaliyeti hangi faaliyetler izlemelidir?
3. Bu faaliyetle aynı anda oluşan faaliyetler hangileridir?

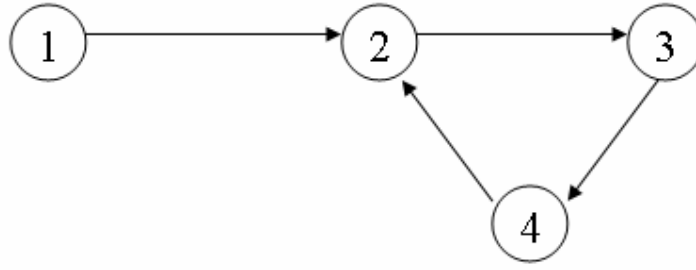
Şebeke diyagramının oluşturulması sürecinde göz önünde bulundurulması gereken bir diğer husus şebekenin dinamik bir yapıya sahip olması gereğidir.

<sup>26</sup> Taha; a.g.e, s:460 -461

Yani, projenin ilerleyen safhalarında nihai hedefler çerçevesinde proje programında değişiklik yapılması gereği ortaya çıktığında, şebeke diyagramının söz konusu değişikliğe müsaade eden esnek bir yapıda olması esastır. Dolayısıyla şebeke diyagramında kullanılan tüm işaretler ve kodlar üzerinde detaylandırma, değiştirme ve genişletme olanağı bulunmalıdır.

### 3.2.2. Şebeke Diyagramının Oluşturulması Sürecinde Kaçınılması Gereken Mantıksal Hatalar :

1. İlmik (Looping) denilen bağıntılar yanlıştır. Bu problem Şekil 3.12' de şöyle gösterilmiştir:



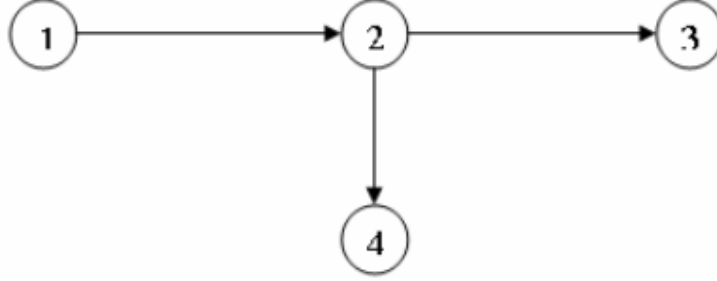
Şekil 3.12 İlmik Probleminin Gösterimi

Burada (2,3) işleminin başlaması (1,2) ve (4,2) işlemlerinin tamamlanmasına, onun başlaması da yine (2,3) işleminin tamamlanmasına bağlıdır. . Şu hâlde (2,3) işleminin başlayabilmesi için daha önce bitirilmiş olması gerekir. Bunun mantık dışı olduğu açıktır.<sup>27</sup>

2. Şekil 3.13 'deki askı (dangling) olarak isimlendirilen bağıntı da yanlıştır yada en azından eksiktir. Çünkü (2,4) faaliyet askıda kalmakta, projenin gayesine erişmekteki rolü belirtilmemektedir. Herhangi bir faaliyet bir başka faaliyetin yürütülmesi için gerekli değilse projede yer almamalıdır. Yada projenin bir bölümünü oluşturuyor ve kendisinden sonra başka hiçbir faaliyeti etkilemiyorsa ilgili okun ucu projenin son olayına bağlanmalıdır.<sup>28</sup>

<sup>27</sup> Lockyer, K.G., "an introduction to CPM" , pitman publishing, sayfa :13

<sup>28</sup> Lockyer, K.G.,a.g.e, sayfa 14



Şekil 3.14 Diyagramdaki Mantıksal Probleminin (askı) Gösterimi

### 3.3 Şebeke Diyagramında Faaliyetlerin ve Olayların Zaman Sınırlarının Belirlenmesi - Şebekenin Programlanması:

Şebeke diyagramı oluşturulduktan sonra faaliyetlerin zaman tahminlerinin yapılması gerekir. Zaman tahminlerinin yapılmasında şu noktalar göz önünde tutulmalıdır<sup>29</sup>:

1. Zaman tahminleri en iyi kaynaktan temin edilmelidir. Geçmiş yıllarda gerçekleştirilmiş aynı veya benzer projelere ait veriler, faaliyeti gerçekleştirecek olan personel, zaman tahminlerin en iyi şekilde elde edilebileceği belli başlı kaynaklardır. Zaman tahminlerinin tecrübeli personel tarafından yapılması önemlidir.

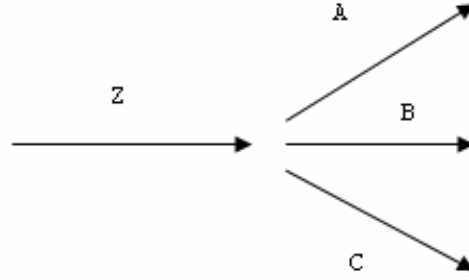
2. Her faaliyet hakkındaki zaman tahminleri, faaliyetler tek tek ve birbirinden ayrı bir şekilde ele alınarak yapılır. Bir faaliyet hakkında zaman tahmini yapılırken, diğer faaliyetlerin o faaliyet üzerindeki tesiri katıyen göz önüne alınmamalıdır. Yani projeyi oluşturan tüm faaliyetler birbirinden bağımsızdır.

3. Her faaliyetin zaman tahmini, normal ve uygulamada kullanılan miktarda işçi, makine ve malzeme kullanıldığı öngörülerek yapılır. Örneğin, bir firmanın elinde çukur kazma faaliyet için kullanılacak 12 işçisi olsa ve çukurun hacmi ancak üç kişinin

<sup>29</sup> Erişken ve Diğerleri ; a.g.e, s:18-19

çalışabileceği kadar ise, o takdirde normal işçi sayısının üç olduğu kabul edilecek ve zaman tahminleri buna göre yapılacaktır. Uygulamada kullanılan miktarın ne olduğu hususunda şüpheye düşüldüğü durumda, normal değere yakın bir zaman tahmini kabul edilir. Programlama gerçekleşikten sonra düzeltmeler yapılabilir.

Bir faaliyetin zaman tahmini yapılırken, diğerlerinin bu faaliyet üzerine olan tesirlerinin göz önüne alınmaması, yani faaliyetlerin birbirinden bağımsız olduğu kabulü yanlış gözükebilir ve bu konuda şu gibi ikazlar söz konusu olabilir : Şekil 3.15'deki grafiği esas alarak ;



Şekil 3.15 Zaman Tahmini Yapılan Dört Farklı Faaliyetin Gösterimi

(a). A,B,C, faaliyetleri aynı zamanda yapılmaktadır, üç faaliyet için de aynı işçi grubunun kullanıldığı düşünülürse, A faaliyeti ayrı olarak ele alındığı takdirde, bu grubun A'da çalıştığı varsayılp, zaman tahmini yapılmaktadır. Aynı şekilde B ve C için de zaman tahminleri yapıldığı takdirde, işçi grubu B ve C' de çalıştığı varsayılmaktadır. Şu hâlde bu işçi grubu, A' da çalışırken B'de ve C'de de çalışıyor olmalıdır. Bu nasıl olur?

Bunun nasıl olacağı programlamanın başında bilinemez. Ancak şebeke programlanması tamamlandıktan sonra yeter miktarda işçi, makine ve malzeme olup olmadığı konusunda bir karara varmak mümkün olabilir.

(b). A faaliyeti için kullanılabilir 8 kişi, B faaliyeti için kullanılabilir 6 kişi, C faaliyeti için kullanılabilir 10 kişi olduğu ve bu faaliyetlerin yapılacağı yerin sadece 10 kişi alabildiği düşünülürse, bu takdirde bu yere A faaliyeti için 8 kişi konulursa geriye sadece 2 kişilik yer kalır.  $8+6+10 = 24$  kişi 10 kişilik alana nasıl sıkıştırılır? Bu problemin çözülmesi için de programlamanın yapılması gereklidir. Programlama yapıldıktan sonra, bu üç faaliyetin de aynı zaman sınırları içinde yapılmasının gerekip gerekmediği ortaya çıkacaktır. Eğer gerekirse ilk zaman tahminleri, buna dayanılarak düzeltililecektir.

(c). A faaliyeti yapıldığı sürece, faaliyetin yapıldığı yerde başka hiç kimsenin bulunmaması bir emniyet kuralı olduğu takdirde yine (a) ve (b) deki durumlara benzer bir problem ortaya çıkacaktır. Bu takdirde de herhangi bir düzeltmeye gidilmeden önce ilk programlamanın yapılmış olması lazımdır.

4. Bütün zaman tahminlerinin aynı zaman ölçüleri ile yapılması gereklidir.

Projenin şebeke diyagramı oluşturduktan ve sözü edilen kurallar çerçevesinde her faaliyetin tamamlanma zamanları belirlendikten sonra, projenin programlama aşamasına geçilir. Programlama aşamasında şebekeyi oluşturan faaliyet ve olayların zaman sınırlarının belirlenmesi gereklidir. Zaman sınırlarının belirlenmesindeki yöntem daha sonraki başlıklarda izah edilecek olan bir dizi aritmetik işlemi ihtiva eder. Bu işlemler uyarınca her olaya gelen bütün yolların üzerindeki faaliyetlerin tamamlanma süreleri toplanır ve ilgili olayın gerçekleşmesi için belirlenen zaman değerleri tespit edilir. Bu zaman değerleri, “en erken olay zamanı (the earliest event time)” ve “en geç olay zamanı (the latest event time)” olarak ifade edilirler. Bu iki zaman değeri ışığında projeyi oluşturan faaliyetlerin zaman sınırları belirlenebilir. Bunlar, her faaliyet için ayrı ayrı tanımlanmış olan “en erken / geç başlama ve en erken / geç bitme” zamanlarıdır.

### 3.3.1 Dügüm Noktalarının En Erken Olay Zamanlarının Tespiti

En erken olay zamanı (TE), olayın başlangıç teşkil ettiği bütün faaliyetlerin mümkün olan en erken başlama zamanlarına tekabül eder ve projenin son faaliyetlerinin bitiş noktasını teşkil eden olayın (TE) si projenin bitirilmesinin için gereken zamanı verir.<sup>30</sup>

Bir olay, birden fazla faaliyetin bitiş noktasını teşkil ediyor ise, bu faaliyetlerin tümü tamamlanmadan ilgili olay gerçekleşmez. Dolayısıyla olayın TE değeri aynı zamanda bu olayda son bulan tüm faaliyetlerin sonuncusunun tamamlanabileceği en erken süreye tekabül eder.<sup>31</sup>

Bu çalışmada TE değerlerinin gösterimi, her okun başında (TE)<sub>i</sub> ve sonunda (TE)<sub>j</sub> olarak gerçekleştirilecektir.

En erken olay zamanının tespiti için gerekli işlem şebekenin başından sonuna doğru (forward pass) yani şebekenin solundan sağına doğru gerçekleştirilmelidir.<sup>32</sup>

Her olay için en erken olay zamanı, bitimi o olayda olan faaliyetin tamamlanma süresinin yine aynı faaliyetin başlangıcındaki en erken olay zamanına eklenmesi ile elde edilir. Eğer bir olay bir kaç faaliyetin bitim noktasını teşkil ediyorsa, faaliyetlerden sadece tamamlanma süresi en büyük olan işleme alınır.

En erken olay zamanı şu şekilde formüle edilebilir :

$$(TE)_j = (TE)_i + \text{Max. } (D_{ij})$$

Dikkat edilmesi gereken önemli bir husus şebekenin başlangıç noktasının TE değerinin "0" sıfır olduğudur.

---

<sup>30</sup> Winston, W. L. ; a.g.e, sayfa :434

<sup>31</sup> Gordon and Pressman ; a.g.e, sayfa: 488

<sup>32</sup> W. Haga; Crashing PERT Networks; University of N. Colorado ; yayınlanmış doktora tezi ,Colorado 1998,sayfa :2



### 3.3.2 Dügüm Noktalarının En Geç Olay Zamanlarının Tespiti :

En erken olay zamanı projenin programlanabilmesi için gerekli olan faaliyet zamanlarının belirlenmesinde tek başına yeterli değildir. Çünkü her faaliyetlerin en erken olay zamanında başlamak zorunluluğu yoktur.<sup>33</sup> Sonraki başlıklarda da ifade edileceği üzere, özellikle kritik yol üzerinde bulunmayan faaliyetlerin proje tamamlanma süresini aksatmadan belli bir süre geciktirilmeleri mümkündür. Bu eksikliği gidermek amacıyla “en geç olay zamanı” olarak adlandırılan ikinci bir zaman parametresi tarif edilmiştir.

En geç olay zamanı, olayda son bulan bütün faaliyetlerin projenin tamamlanma süresini geciktirmeden tamamlanabileceği, mümkün olan en geç bitiş tarihini gösterir.

Çalışma boyunca en geç olay zamanı (TL) ile gösterilecektir. Her okun başında (TL)<sub>i</sub> ve sonunda (TL)<sub>j</sub> en geç olay zamanı olacaktır.

En geç olay zamanının tespiti için gerekli işlem şebekenin sonundan başına doğru yani şebekenin sağından soluna doğru gerçekleştirilmektedir (Backward pass).<sup>34</sup> Her olay için en geç olay zamanı, başlangıcı o olayda olan faaliyetin tamamlanma süresinin yine aynı faaliyetin sonucundaki en geç olay zamanından çıkarılması ile elde edilir. Eğer bir olayda bir kaç faaliyetin başlangıcı var ise faaliyetlerden sadece tamamlanma süresi en küçük olan işleme alınır.

Bu işlem şu şekilde formüle edilebilir:

$$(TL)_i = (TL)_j - \text{Min} (D_{ij}) \text{ 'dir.}$$

Bu işlem yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli husus, şebekeyi oluşturan olayların sonuncusunun TE değerinin TL değerine eşit olduğudur.

---

<sup>33</sup> Network Planing with PERT ; sayfa :431

<sup>34</sup> W. Haga; a.g.e ; sayfa :3

En erken ve en geç olay zamanları tespit edildikten sonra, projenin hedeflenen tamamlanma süresiyle alakalı analizler yapılmaya başlanabilir.

Daha önce belirtildiği üzere, şebekenin son düğüm noktasına ait en erken olay zamanı, en geç olay zamanına eşittir ve çalışmada  $T_S$  olarak ifade edilecektir. Bu değer aynı zamanda projenin en erken tamamlanma zamanına tekabül eder ve projenin hedeflenen tamamlanma süresinden  $T_P$  bağımsız olarak bulunmaktadır.

$T_S$  ile projenin hedeflenen tamamlanma süresi  $T_P$  mukayesesi şu şekilde yapılabilir<sup>35</sup>;

1.  $T_S = T_P$  olduğu durum; projenin hedeflenen sürede tamamlanabilmesi için tüm faaliyetlerin mutlaka  $T_S$  zamanı içerisinde bitirilmesi gerekir. Buradan, son düğüm noktasında birleşen faaliyetlerin en geç ve en erken tamamlanma zamanlarının aynı olması zorunluluğu ortaya çıkar.

2.  $T_S > T_P$  halinde, son düğüm noktasının en erken / geç olay zamanı projenin hedef süresini aşıyor demektir. Bu durumda, maliyetin artacağı göz önüne alınarak, işçi ve makine kapasitesi uygun şekilde artırılır ve kritik faaliyet sürelerinin kısaltılmasına çalışılır. Süreleri kısaltılacak kritik faaliyetlerin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Bunlar, işçi ve makine kapasiteleri arttırılabilir, kısaltılabilir cinsten olmalıdır. Bu şekilde kısaltmalar yapılarak  $T_S = T_P$  şartı sağlanmaya çalışılır. İleriki bölümlerde anlatılacak olan bu işlem “hızlandırma” olarak adlandırılır.

3.  $T_S < T_P$  halinde, programın tümünde  $T_P - T_S$  kadar boşluk var demektir. Şebekenin son düğümünün en erken / geç olay zamanı olarak  $T_S = T_P$  alınır. Bu durumda proje  $T_P - T_S$  kadar geç başlayabilir. Söz konusu boşluk miktarı ise projenin faaliyetlerine dağıtılabilir.

---

35 Çetmeli,E., “Yatırımların Planlanmasında CPM ve PERT Metodları”, BAA Teknisyenleri Koll. Sti. İstanbul – 1982, a.g.e, s: 23

Görüldüğü üzere, olay zamanlarının tespiti sürecinde bahsedilen tanımlar ve aritmetik işlemler çerçevesinde,  $(TE)_i$  ve  $(TL)_i$  faaliyetlerin başlangıcında;  $(TE)_j$  ve  $(TL)_j$  faaliyetlerin bitiminde olmak üzere dört farklı zaman parametresi türetilmiştir; Ve bu zaman parametreleri projeyi oluşturan faaliyetlerin zaman sınırlarının belirlenmesi sürecine temel teşkil eder.

Projedeki faaliyetlerin yönetiminde, tüm projenin programlanan tamamlanma süresini etkilemeden, her bir faaliyetin ne kadar erken, ne kadar geç başlayacağını veya biteceğini bilmek gereklidir. Şebeke diyagramında yapılan bu hesaplamalar sayesinde projenin tamamlanma süresi kontrol altına alınabilmektedir.<sup>36</sup>

### **3.3.3 Faaliyetlerin En Erken Başlama Süresi (Early Starting Time:ES) :**

Bir faaliyetin en erken başlama süresi, faaliyetin başlayabileceği mümkün olan en erken zamanı ifade eder ve faaliyete başlangıç teşkil eden olayın en erken olay zamanına tekabül eder.

En erken başlama zamanın formülasyonu şu şekilde ifade edilebilir:

$$ES = (TE)_i$$

### **3.3.4 En Erken Bitme Süresi (Early Finishing Time :EF) :**

Bu süre en erken başlama süresine faaliyet süresinin eklenmesiyle bulunmaktadır ve bir faaliyetin proje programını aksatmadan bitebileceği en erken zamanı göstermektedir.

Bir faaliyetin en erken bitme süresi şu şekilde formüle edilebilir:

$$EF = ES + D_{ij} = (TE)_i + D_{ij}$$

### **3.3.5 En Geç Bitme Süresi (Late Finishing Time:LF) :**

Bir faaliyetin en geç bitme süresi, o faaliyetin bitim noktasını teşkil eden olayın en geç olay zamanına tekabül eder. En geç bitme süresi bir faaliyetin tüm projeyi geciktirmeden bitebileceği en geç süredir.

---

36 Monks, a.g.e, s:358

En geç bitme süresi şu şekilde formüle edilebilir:

$$LF = (TL)_j$$

### 3.3.6 En Geç Başlama Süresi (Late Starting Time LS) :

Bu süre bir faaliyetin, tüm projeyi geciktirmeden başlayabileceği en geç süredir. En geç başlama süresi, her faaliyetin en geç bitme süresinden bu faaliyetin tamamlanma süresinin çıkarılmasıyla bulunmaktadır.

En geç başlama süresi şu şekilde formüle edilebilir:

$$LS = LF - D_{ij} = (TL)_j - D_{ij}$$

### 3.4 Kritik Yolun Belirlenmesi:

Kritik yol; şebekenin başlangıç ve bitiş olaylarını birleştiren, tamamlanma zamanı açısından en büyük değerlere sahip ve toplam boşluk değeri sıfır olan faaliyetlerin teşkil ettiği faaliyetler dizisi olarak ifade edilebilir. Kritik yol, projenin tamamlanma süresini belirler ve kritik yolu teşkil eden faaliyetlerden her hangi birinin programlanan zamandan geç tamamlanması tüm projenin aksamasına, projenin programlanan tamamlanma süresinin uzamasına neden olur.<sup>37</sup>

Bir yolun kritik olabilmesi için gerçekleşmesi gereken şartlar şu şekilde ifade edilebilir.<sup>38</sup>

1.  $(TE)_i = (TL)_i$

2.  $(TE)_j = (TL)_j$

3.  $(TE)_j - (TE)_i = (TL)_j - (TE)_i = \text{Faaliyet süresi } (D_{ij})$

---

<sup>37</sup> Winston, W. L. ; a.g.e, sayfa :437

<sup>38</sup> Erişken ve Diğerleri ; a.g.e, s:28

Bir yolun kritik olabilmesi için bu üç şartın mutlaka kritik yoldaki her olay için aynı anda gerçekleşmiş olması lâzımdır ve bu şartları sağlayan olayları bağlayan faaliyetlerde kritik faaliyetler olarak tanımlanır.

### 3.5 . Şebekenin Boşluk Değerleri

Bir şebekede, kritik yol üzerinde olmayan faaliyetlerin tamamlanma zamanlarının, projeyi geciktirmeksizin belli oranlarda ertelenebilme imkanı vardır.Yani kritik olmayan faaliyetler belirli bir zaman aralığı içinde tamamlandığı takdirde proje süresini etkilemezler. Faaliyetlerin geciktirilebileceği bu zaman değerleri boşluk değeri olarak ifade edilmektedir. Bu boşluk değerlerinin her faaliyet için belirlenmesi, proje yöneticisine kaynakların kullanımı ve zaman yönetimi hususunda önemli avantajlar sağlar. Boşluk değerleri sayesinde projenin hedeflenen süresini etkilemeden, kritik olmayan faaliyetlerin başlama ve tamamlanma sürelerine müdahale edilebilir ve kritik faaliyetlerin gereksinim duyduğu kaynakların aktarımı daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilir.

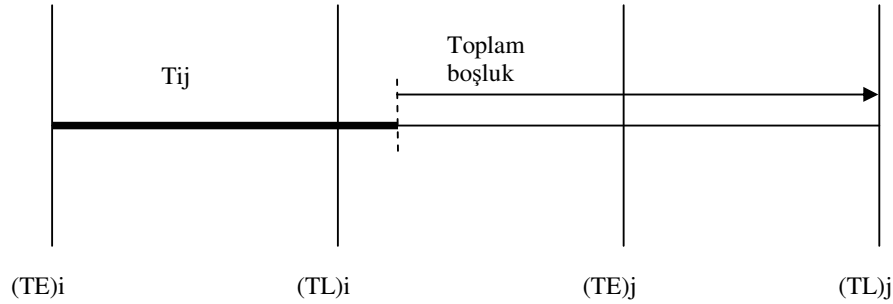
Tamamlanma süresi  $D_{ij}$  olan,  $i$ - $j$  düğüm noktaları arasındaki gerçekleşen bir A faaliyetinin göz önüne alacak olursak; bu A faaliyeti için geçerli  $(TE)_i$  , $(TE)_j$  ve  $(TL)_i$  ,  $(TL)_j$  değerleri arasında bir takım bağıntılar vardır. Bu bağıntılara göre dört çeşit boşluk tarif edebilir : Toplam boşluk, serbest boşluk, bağımsız boşluk ve ara boşluk.

### 3.5.1 Toplam Boşluk

A faaliyeti  $(TE)_i$  , zamanında başlayıp  $T_{ij}$  süresince devam ediyorsa, bu faaliyetin bittiği zaman ile A faaliyetinin projeyi geciktirmeden tamamlanabileceği en geç tamamlanma zamanı yani  $(TL)_j$  arasındaki süre farkına toplam boşluk denir.<sup>39</sup>

Bu sembollerle ve şekil olarak şöyle ifade edilebilir:

$$TB = (TL)_j - [(TE)_i + T_{ij}]$$



Şekil 3.16. Toplam Boşluğun Grafik Üzerinde Gösterimi

Toplam boşluk yukarıdaki şekilde ifade edildiği üzere; faaliyet tamamlandıktan sonra meydana geldiği gibi faaliyet geç başlatıldığı takdirde faaliyetin önünde veya faaliyete ara verildiği zaman faaliyetin ortasında da olabilir.

Bir faaliyette toplam boşluk söz konusu ise bu faaliyetin süresi toplam boşluğun süresi kadar uzatılabilir ya da bu süre kadar faaliyete geç başlanabilir. Bunun dışında toplam boşluk süresi kadar faaliyete ara vermek mümkündür. Bütün bu durumlarda programın nihai süresinde bir değişiklik olmaz.

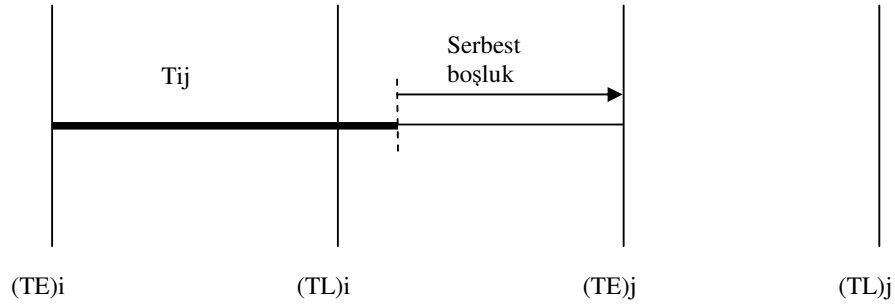
Kritik faaliyetlerde toplam boşluk söz konusu değildir. Bunun dışında toplam boşluğu nispeten küçük olan faaliyetlerin kritik olmaya çok elverişli olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca bir faaliyette toplam boşluğun tümü kullanılırsa bundan sonra gelen faaliyetler kritik faaliyet olurlar.

<sup>39</sup> Winston, W.L.; a.g.e, s:437

### 3.5.2 Serbest Boşluk

A faaliyeti müsaade edilen en erken zamanda  $(TE)_i$  başlayıp  $t_{ij}$  süresince devam ediyorsa, bu faaliyetin bittiği zaman ile j düğüm noktasının en erken gerçekleşme zamanı  $(TE)_j$  arasında süre farkına serbest boşluk denir<sup>40</sup> ve şu şekilde ifade edilir:

$$SB = (TE)_j - [(TE)_i + T_{ij}]$$



Şekil 3.17 Serbest Boşluğun Grafik Üzerinde Gösterimi

Serbest boşluk sadece bulunduğu faaliyeti ilgilendirir. Şebekenin diğer faaliyetlerine bağlı olmayan bir boşluk çeşididir. Dolayısıyla bu boşluğu başka bir faaliyete aktarmak söz konusu değildir. Yani A faaliyetini serbest boşluk süresi kadar uzatmak yalnız bu faaliyetin kendi içinde mümkündür.

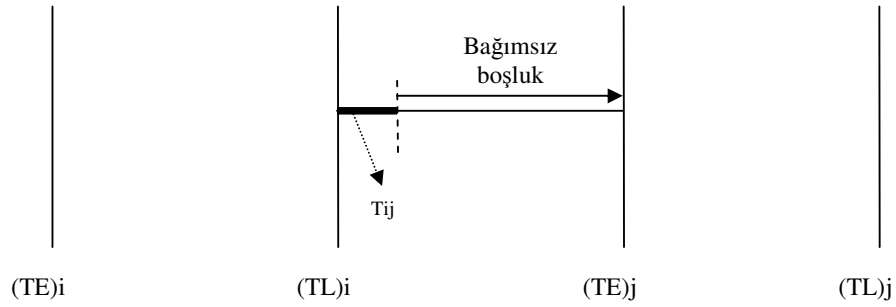
Serbest boşluk, eğer bir faaliyette j düğüm noktasındaki en erken başlama ve en geç tamamlanma zamanları birbirine eşitse toplam boşluğa eşittir.

40 Winston, W.L.; a.g.e, s:438

### 3.5.3 Bağımsız Boşluk

Bir A faaliyeti i düğüm noktasının en geç gerçekleşme zamanında başlıyor  $(TL)_i$  ve  $T_{ij}$  süresince devam ediyorsa bu faaliyetin bittiği zaman ile j düğüm noktasının en erken gerçekleşme zamanı arasında geçen süreye bağımsız boşluk denir<sup>41</sup>. Bağımsız boşluk şöyle ifade edilebilir:

$$BB = (TE)_j - [(TL)_i + T_{ij}]$$



Şekil 3.18 Bağımsız Boşluğun Grafik Üzerinde Gösterimi

Bağımsız boşluk da serbest boşluk gibi sadece bulunduğu faaliyeti ilgilendiren boşluktur. Bağımsız boşluğu olan faaliyetler şebekede en kısa sürede tamamlanan faaliyetlerdir.

### 3.5.4 Ara Boşluk

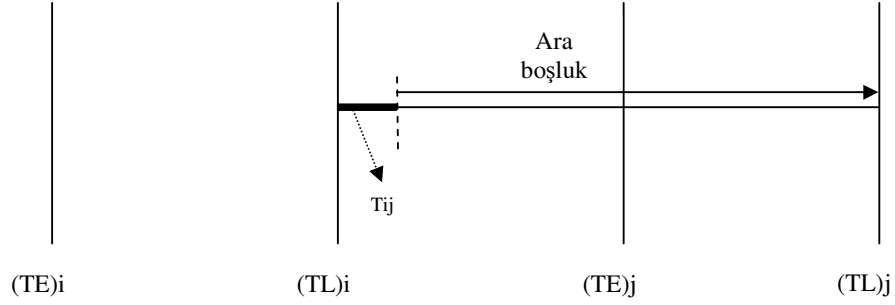
Bir A faaliyeti i düğüm noktasının en geç gerçekleşme zamanında başlayıp  $T_{ij}$  süresince devam ediyorsa ve j düğüm noktasının en geç gerçekleşme noktasından erken bitiyorsa, faaliyetin tamamlanma zamanı ile j düğüm noktasının en geç gerçekleşme zamanı arasındaki farka ara boşluk denir.<sup>42</sup> Ara boşluk şu şekilde ifade edilebilir:

$$AB = (TL)_j - [(TL)_i + T_{ij}]$$

41 Erişken ve Diğerleri ; a.g.e, s:44

42 Erişken ve Diğerleri ; a.g.e, s:44

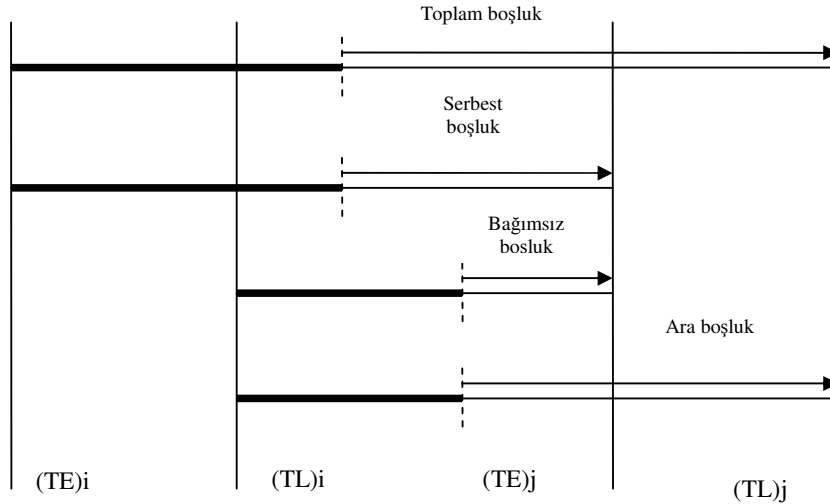




Şekil 3.19 Bağımsız Boşluğun Grafik Üzerinde Gösterimi

Dikkat edilmesi gereken nokta kritik faaliyetlerin ara boşluklarının sıfır olduğudur. Bu nedenden dolayı ara boşluk süresi uzun olan faaliyetlerin kritik olma olasılığı düşüktür.

Burada dört boşluk çeşidi incelendikten sonra birbirleri arasındaki ilişkileri şu şekilde ifade edilebilir:



Şekil 3.19 Boşlukların Birbiri arasındaki İlişkilerin Grafik Üzerinde Gösterimi<sup>43</sup>

43 Erişken ve Diğerleri ; a.g.e, s:42

### 3.6 Şebeke Analizlerinde Zaman - Maliyet İlişkisi ve Hızlandırma İşlemi

Projeyi oluşturan faaliyetlerin her birinin tamamlanma süresi, faaliyetin gereksinim duyduğu kaynakların cinsi ve miktarı ile yakından ilişkilidir. Bu şekilde tamamlanma süresi, kullanılan kaynakların bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Bunun yanı sıra kaynakların farklı kombinasyonları için birbirinde farklı maliyetlerin oluştuğu bilinmektedir. Dolayısıyla gerek projeyi oluşturan faaliyetlerin gerekse tüm projenin tamamlanma süresi ile maliyeti arasında fonksiyonel bir ilişki söz konusudur (Trade off).<sup>44</sup> Bir çok projede faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin tahmini sürecinde göz önünde bulundurulmuş en etkin kaynak şüphesiz işgücüdür. Aynı zamanda işgücü, faaliyetlerin gereksinim duyduğu diğer kaynaklara oranla daha kolay kontrol edilebilen bir kaynak olması nedeniyle ayrı bir öneme sahiptir.

Herhangi bir faaliyetin tamamlanabilmesi için gerekli süre, söz konusu faaliyete ekstra kaynak aktarımı yapılarak kısaltılabilir. Bu kaynak aktarımı başta işgücünün artırılması olmak üzere, hammaddenin, kullanılan makine sayısının, ekipmanın vb. kaynakların artırılması ile olabileceği gibi mevcut teknolojik imkanların yerine daha gelişmiş teknolojik imkanların kullanılması şeklinde de gerçekleştirilebilir. Faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin kısaltılması için yapılan işlemlerin bütünü hızlandırma veya sıkıştırma işlemi (crash) olarak tanımlanmaktadır.

Bir projenin tamamlanma süresini kısaltmak ancak projenin belirlenen kritik yolu üzerindeki faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin kısaltılmasıyla mümkün olabilir. Kritik yol üzerindeki hızlandırma işlemi, bu yolu bir noktada şebekedeki diğer bir yoldan daha kısa hale getirebilir. Yani hızlandırma işlemi, belli bir seviyeden sonra projenin kritik yolunun değişmesine neden olabilir. Dolayısıyla kritik yola en yakın tamamlanma zamanına sahip diğer şebeke yolları da hızlandırma işlemi esnasında yakından takip edilmelidir. Kritik yol üzerindeki zaman tasarrufları ancak böyle bir noktaya kadar projenin tamamlanma süresini etkiler, bu noktadan sonra proje süresini kısaltmak ancak yeni kritik yol üzerinde yapılacak hızlandırma işlemleri ile mümkündür.

---

<sup>44</sup> Azoron A., Perkgoz C., Sakawa M.; A genetic algorithm approach for the time- cost trade-off in PERT Networks; Journal of Applied Mathematics and Computation 2004 ; [www.elsevier.com/locate/amc](http://www.elsevier.com/locate/amc)

CPM tekniğinde, projenin zaman – maliyet analizi sürecinde kullanılmak üzere her faaliyet için iki farklı zaman ve maliyet tahmini tespit edilmesi gerekmektedir. Bunlar;

- Normal Zaman tahmini ve normal maliyet
- Hızlandırılmış zaman tahmini ve hızlandırılmış maliyettir.

Normal zaman tahmini faaliyetin normal şartlarda tamamlanabileceği zamanlara dayanarak yapılmış tahminlerdir. Normal maliyet ise faaliyetin tespit edilen normal zamanda bitirilmesi durumundaki maliyettir.

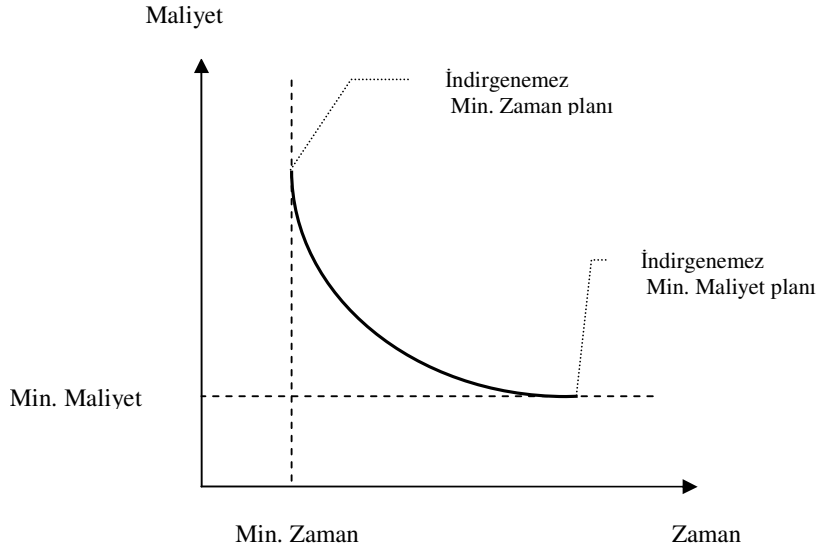
Hızlandırılmış zaman tahmini ise, faaliyetin normal süresinin hiçbir masraftan kaçınılmadan mümkün olan en düşük değere kadar kısaltılmasını öngören zaman tahminidir. Hızlandırma işlemi sonucu oluşan maliyet ise hızlandırılmış maliyet olarak ifade edilir.

Hızlandırma işlemi sürecinde zaman ve kaynak kullanımında yapılabilecek alternatif değişiklikler genel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

- Fazla mesai : 8 saatlik normal mesaiye ilave olarak gerektiği kadar fazla mesai söz konusu olabilir. Doğal olarak fazla mesai saatleri işçi yevmiyesinde saat başına % 50 ile %100 lük bir ücret artışına sebep olacaktır.
- Haftalık çalışma saatlerinin arttırılması: Normal olarak haftada 5 gün çalışılırken haftalık çalışma gün sayısının 6 veya 7 güne çıkartılması söz konusu olabilir.
- Bazı işler için gece vardiyası konulabilir; Fakat gece çalışma ücretleri yüksek olmasına karşılık bazı işler dışında gündüze göre gece çalışması verimi düşük olacaktır. Bu etkenler iş verimini düşürürken maliyeti de arttırıcı rol oynar.
- Projenin uygulama sürecinde zamanı kısaltmaya yönelik ileri teknoloji kullanımı söz konusu olabilir.Bu şekilde yüksek teknoloji kullanımının bedeli olan ekstra maliyetlere katlanılarak proje süresinde kısaltmalar mümkün olacaktır.

- Projede kullanılan ekipman, teçhizat ve makinelerin artırılması ile normal sürenin kısaltılması mümkündür.

Bu ve benzeri uygulamalar sonucu proje zamanının kısaltılması mümkündür. Projedeki bu hızlandırma şüphesiz yanında ek bir maliyet getirecektir. Bu noktada CPM tekniği uygulanırken; zaman ve maliyetin birbirleriyle olan ilişkisinin analizi hayati önem arz etmektedir.



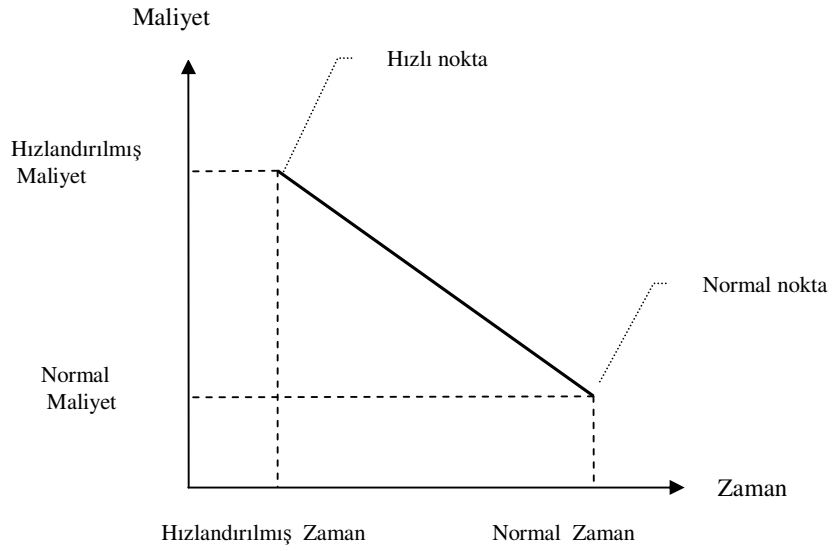
Şekil 3.20 Bir projenin tamamlanma zamanı ve maliyeti arasındaki ilişki.<sup>45</sup>

Zaman – maliyet eğrisindeki her nokta gerçekleşmesi muhtemel bir proje planına tekabül eder. Şekil 3.20 deki eğride gösterildiği üzere, zamanı kısaltmak için maliyeti arttırmak, maliyeti azaltmak için zamanı genişletmek zorunluluğu söz konusudur. Bununla birlikte, zaman – maliyet ilişkisinde indirgenemez bir minimum plan noktası da mevcuttur. Bu minimum planın içerdiği maliyet veya zaman değerleri bu noktadan öteye indirgenemez. Şekilde görüleceği üzere, minimum maliyet planının içerdiği maliyet değeri zamanda daha fazla genişletme yapılsa bile bu noktadan sonra

<sup>45</sup> Network planing with pert, sayfa:440

azaltılamaz. Aynı şekilde minimum zaman planının içerdığı zaman değeri, hızlandırma işlemlerine devam edilse bile bu noktadan sonra kısaltılamaz. Dolayısıyla faaliyetler üzerine yapılan hızlandırma işlemleri bu sınır değerler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmelidir.

Aynı şekilde bir faaliyetin tamamlanma zamanı ile maliyeti arasındaki ilişki ve hızlandırma işleminin bu ilişki üzerine etkisi şekil 3.21’de “doğrusal (yaklaşık) zaman - maliyet eğrisi” ile gösterilmiştir.<sup>46</sup>



Şekil. 3.21 : Bir faaliyetin tamamlanma zamanı ve maliyeti arasındaki ilişkiyi ifade eden “doğrusal zaman - maliyet eğrisi”<sup>47</sup>

Şekilde görüleceği üzere hızlı nokta, faaliyetin tamamlanma zamanının hiçbir maliyetten kaçınılmaksızın minimum değere indirildiği durumu ifade eder. Hızlı noktadan sonra harcanacak ek kaynaklar veya tahsis edilecek ek iş gücü, ekipman vb.’nin faaliyet süresinin kısalmasına etkisi olmayacağı gibi maliyetleri arttıracak muhakkaktır.

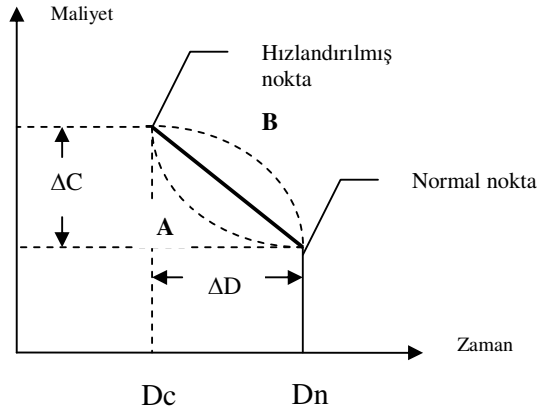
<sup>46</sup> Network planing with pert, sayfa:441

<sup>47</sup> Network planing with pert, sayfa:441

### 3.6.1 CPM' de Zaman Maliyet Eğrileri

Zaman – maliyet ilişkilerinin tüm faaliyetler için geçerli olan bir fonksiyonla ifade edilebilmesi mümkün değildir.

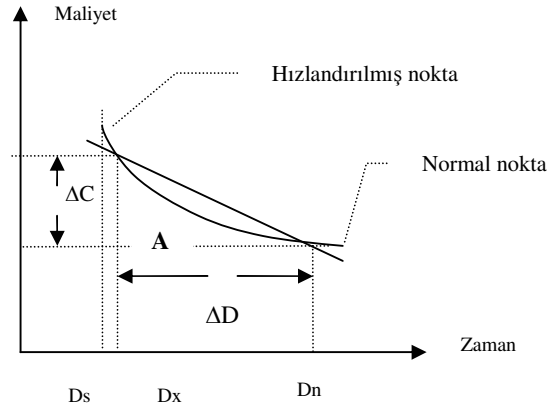
Uygulamada, zaman ve maliyetin kesim noktaları her zaman "  $y = mx + n$  " gibi bir doğru denklemi vermez. Çoğu kez ikinci dereceden ifade edilebilen zaman ve maliyet eğrilerinin mevcudiyeti söz konusudur ve bu eğrilerin özellikleri faaliyetten faaliyete değişim göstermektedir.



Şekil. 3.22 Birinci ve ikinci Dereceden Zaman - Maliyet Eğrileri <sup>48</sup>

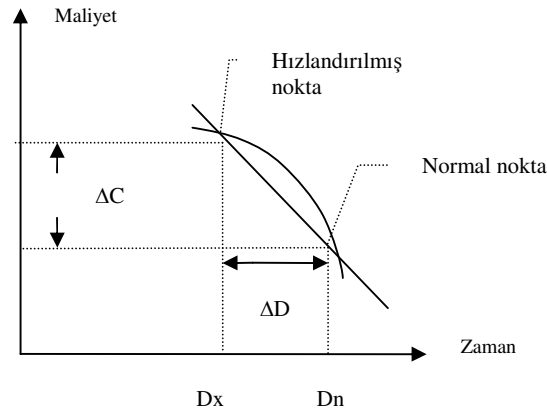
Şekil 3.22 incelenecek olursa: Zamanı  $\Delta D$  miktarı azaltmak için yapılan hızlandırma işlemi sonucu, maliyette  $\Delta C$  kadar artış gözlenmektedir. Bu artış miktarı yaklaşık zaman maliyet eğrisinde sabit bir değer ifade etmekteyken, A eğrisinde artan B eğrisinde ise azalan bir eğim sergileyerek gerçekleşmektedir. Yani, zamanda  $\Delta D$  miktarı bir kısalma sağlayabilmek için katlanılan maliyet artışı, A ve B eğrilerinde değişken bir rejim sergilerken, doğrusal zaman maliyet eğrisinde bu husus göz önünde bulundurulmamaktadır.

<sup>48</sup> Thierauf and Klekamp; a.g.e, sayfa:135



Şekil. 3.23 Zamanda Yapılacak ilk Tasarrufların çok Küçük Bir Maliyet Artışı ile Sağlanabileceği Bir Durumun Zaman - Maliyet Eğrisi

Şekil 3.22' deki alternatif eğriler ayrı ayrı incelenecek olursa, aralarındaki fark daha net anlaşılacaktır. Örneğin: Şekil 3.23 de görüldüğü üzere, hızlandırma işlemi sonucu zamanda elde edilen ilk tasarruflar A eğrisinde çok küçük bir maliyet artışına neden olmaktadır, doğrusal zaman maliyet eğrisinin aynı zaman tasarrufu için ifade ettiği maliyet artışı çok daha fazladır. Şekil 3.24' de ise bu farkın tam tersi bir ilişki ile ifadesi söz konusudur.



Şekil. 3.24 Zamanda Yapılacak ilk Tasarrufların çok büyük Bir Maliyet Artışı ile Sağlanabileceği Bir Durumun Zaman - Maliyet Eğrisi

Şekil. 3.24'de de görüldüğü gibi hızlandırma işlemi sonucu zamanda elde edilen ilk tasarruflar B eğrisinde çok büyük bir maliyet artışına neden olmaktadır, yaklaşık zaman maliyet eğrisinin aynı zaman tasarrufu için ifade ettiği maliyet artışı çok daha azdır.

Örneklerde de görüldüğü gibi gerçek zaman eğrileriyle yapılan çalışmalar eğrinin özelliğine bağlı olarak çok çeşitlilik gösterebilir, pratik değildir, zaman alabilir ve maliyetlerle olan ilişkisi garanti değildir. Bu yüzden zaman-maliyet ilişkisini doğrusal bir ilişki olarak kabul ederek bu ilişkiyi ifade eden doğrusal zaman - maliyet eğrileri kullanılabilir. Böylece zaman içerisinde her birim azalma maliyette eşit oranda artış sağlayacaktır.

Zamanda yapılan tasarruflar sonucu maliyette meydana gelecek birim artış çalışma boyunca  $I_c(s)$  sembolüyle ifade edilmiştir.

$I_c$  nin formülasyonu şu şekilde ifade edilir:<sup>49</sup>

$$I_c(s) = (C_c - N_c) / (N_t - C_t)$$

Burada ;

$C_c$ : Hızlandırma (sıkıştırma) maliyeti

$N_c$ : Normal maliyet.

$N_t$ : Normal süre.

$C_t$ : Hızlandırma süresi.

---

49 Öztürk, a.g.e., s.



### 3.6.2 PROJE TOPLAM SÜRESİNİN KISALTILMASI

Şebekenin toplam süresi kritik yol üzerindeki faaliyet sürelerinin toplamına eşit olduğu için, kritik faaliyetlerin sürelerinde hızlandırma işlemiyle kısaltmalar yaparak toplam süre projenin tamamlanması için arzulanan süreye eşit hale getirilebilir. Hızlandırma işlemi, hedeflenen proje süresine ulaşıncaya kadar, Ic değeri en küçük faaliyetler öncelikli olmak koşulu ile tüm kritik faaliyetlere uygulanır. Ancak bu işlem yapılırken dikkat edilecek bazı kurallar vardır<sup>50</sup>:

1- Süresi kısaltılacak kritik faaliyetlerin özelliklerinin iyi bilinmesi zorunludur. Bunlar iş ve makine kapasiteleri artırılarak süreleri kısaltılabilen cinsten olmalıdır.

2- Kritik yol üzerindeki bazı faaliyetlerin süreleri kısaltılırken bu faaliyetlere çeşitli şekilde bağlı, kritik olmayan faaliyetlerin bazıları da kritik olabilir, yani yeni kritik yollar meydana gelebilir. Yeni kritik yollara göre de toplam süre tekrar kontrol edilmeli gerekiyorsa yeni yol üzerindeki faaliyetlerin süreleri de kısaltılmalıdır. Burada yeni bir sorun ortaya çıkmaktadır. Kritik yol üzerindeki hangi faaliyetlerin süreleri ne miktar kısaltılmalıdır?.

Bu sorunun cevabı iki ayarı yönden ele alınmalıdır.

a) Sürelerin kısaltılmasında proje maliyetinin artışı göz önüne alınmayacaksa, tamamlanma hızı çok iyi kontrol edilebilen faaliyetler hızlandırma işlemine tabi tutulmalıdır. Bunlar, tek cins ekipmana bağlı işlerdir. Başka bir deyimle, süresi kısaltıldığı zaman bu faaliyetin yeni süre içinde tamamlanacağından emin olunmalıdır.

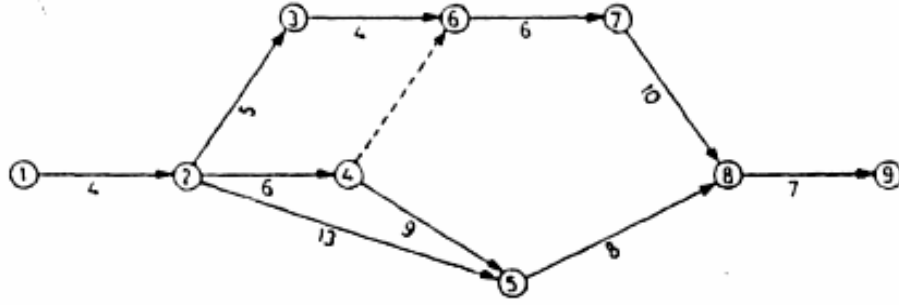
b) Sürelerin kısaltılmasında proje maliyetinin artışının da minimum olması isteniyorsa, ki bu durum kritik yol metodunun esas hedeflerinden biridir, aşağıda bir örnek üzerinde anlatılan şekliyle hangi faaliyetlerin sürelerinin ne kadar kısaltılacağı tayin edilmelidir.

---

<sup>50</sup> Çetmeli , a.g.e, s.79

### 3.6.2.1 Basit Hızlandırmalarla Proje Süresinin, Maliyet Artışı Minimum Olacak Şekilde Kısaltılması

Şekil 3.25'de görülen bir projeye ait faaliyetlerin, süreleri normal süredeki maliyetleri ve her maliyetin en fazla kaç hafta kısaltılabileceği ve maliyetlerin birim artışları verilmiştir.



3.25 Örnek Projenin Şebeke Diyagramı<sup>51</sup>

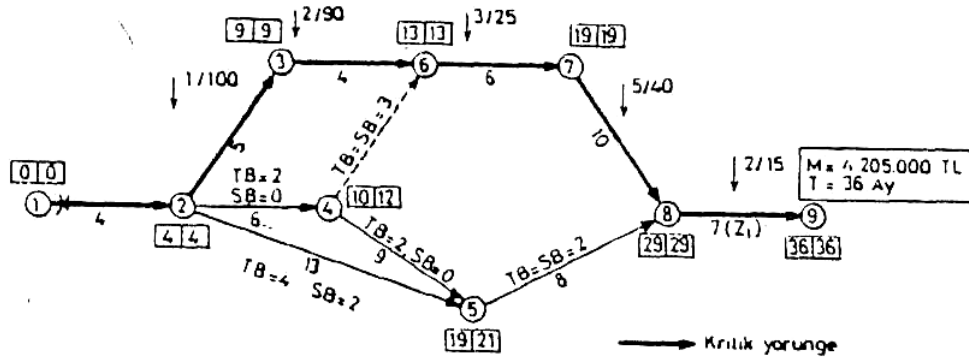
Faaliyet No	Normal Süresi(ay)	Maliyeti (* 1000)	En fazla kısalma süresi (ay)	Maliyetin birim artışı (TL/ ay) (*1000)
	$t_N$	MN	n	s
1-2	4	160	—	—
2-3	5	425	1	100
2-4	6	900	2	90
2-5	13	390	5	45
3-6	4	440	2	90
4-5	9	540	4	70
4-6	-	—	—	—
5-8	8	400	3	75
6-7	6	360	3	25
7-8	10	450	5	40
8-9	7	140	2	15
		4 205 000		

Tablo 3.1 Örnek proje için Hazırlanmış Faaliyetler ve Maliyetlerine İlişkin Çizelge<sup>52</sup>

51 Çetmeli , a.g.e, s.80

52 Çetmeli , a.g.e, s.80

Verilen normal süreler gere hesaplanan toplam süre 36 haftadır. 1-2-3-6-7-8-9 yolu üzerindeki faaliyetlerde kritiktir. Kritik olmayan faaliyetlerin toplam boşlukları hesaplanarak Şekil 3.30'daki şebeke üzerine yazılmıştır. Aynı şekil üzerinde kritik faaliyetlerin üzerine maksimum kısaltma süreleri ile maliyetlerin birim artışları yazılmıştır.



Şekil 3.26 Basit Hızlandırmalarla Maliyetlerin Azaltılmasına Ait Örneğin İlk Aşaması

Toplam sürede kısalma ancak kritik faaliyetlerin sürelerindeki kısaltmalarla mümkün olduğundan önce maliyet birim artışı en az olan kritik faaliyetlerin süresi kısaltılacaktır.

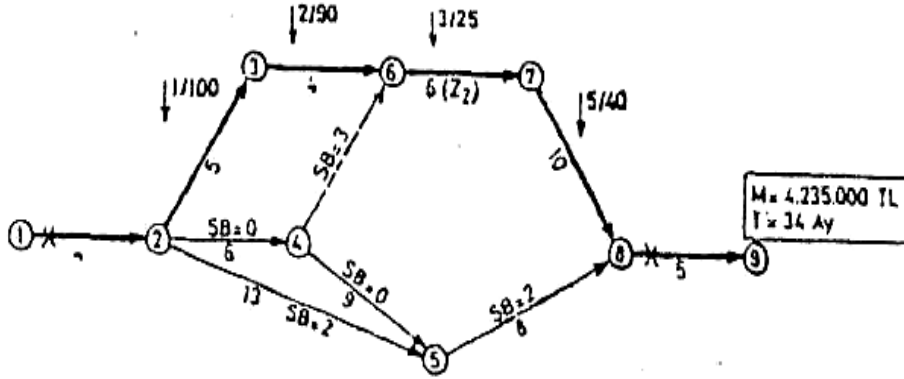
#### 1)1. HIZLANDIRMA

Şekil 3.26 'daki 1-2 faaliyetinin süresini azaltmak söz konusu değildir. Süresi kısaltıldığı zaman kritik olmayan diğer faaliyetlerin boşluk değerlerini değiştirmeyen ve maliyet birim artışı (Ic) en az olan faaliyet 8-9'dur. Bu faaliyetin süresi 2 ay kısaltıldığı zaman şebekenin yalnız 8-9 arasındaki süresi azalmaktadır. İlk hızlandırma bu faaliyette yapılacağından Şekil 3.30'da 8-9 faaliyetine 1. hızlandırmayı tarif etmek amacıyla Z1 konmuştur.

Proje süresi  $36-2 = 34$  ay

Proje maliyeti  $4.250.000+2.15000= 4.235.000$  TL

1.hızlandırmadan sonra, toplam süre 34 aya inmekte ve proje maliyetindeki artış minimum olmaktadır. Şekil 3.27'de yeni durum gösterilmiştir. 8-9 faaliyetinde artık yeni bir süre hızlandırması söz konusu olmadığı için faaliyetin üstündeki n/s değeri kaldırılmış ve okun üzerine yeni süresi ve (x) işareti konmuştur.



Şekil 3.27 Basit Hızlandırmalarla Maliyetlerin Azaltılmasına Ait Örneğin ikinci Aşaması

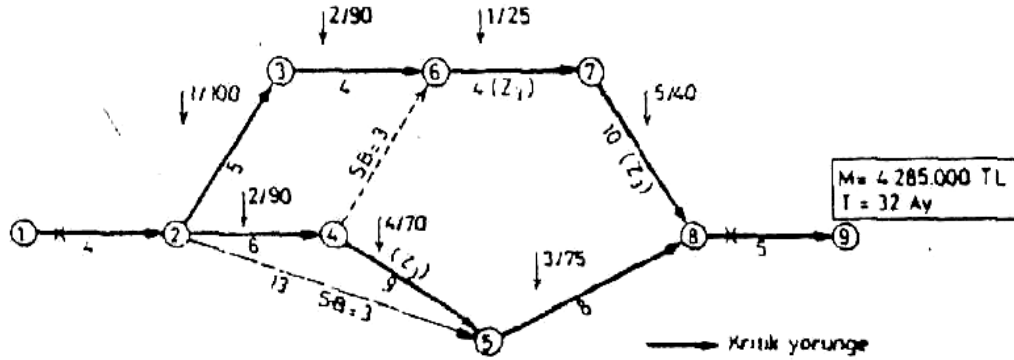
## 2) 2. HIZLANDIRMA

Kritik yol üzerinde s (Ic) değeri en küçük olan 6-7 faaliyetidir. Bu faaliyetin süresi en fazla 3 ay kısaltılabilir. Bu sebeple Şekil 3.31'de faaliyetin üzerine Z2 yazılmıştır. Diğer taraftan, şebekenin 6-7-8 yolunun 8 ucuna bağlı olan 5-8 faaliyetinin boşluğu 2 aydır. 5-8 faaliyetinin süresinde ve maliyetinde bir değişiklik yapmamak için 6-7 faaliyeti 2 ay kısaltılabilir. Bu durumda 5-8 faaliyetinin serbest boşluğu 0 olur, yani kritik faaliyet haline gelir. 5-8'e bağlı ve ondan evvel olan 4-5, 2-4 faaliyetlerinin de boşlukları zaten sıfır oldukları için bunlarda kritik hale gelirler. Yeni bir 2-4-5-8 kritik yolu meydana gelmiş olur.

2.hızlandırmadan sonra

Proje süresi  $34-2 = 32$  ay

Proje maliyeti  $4.235.000 + 2.25000 = 4.285.000$  TL



Şekil 3.28 Basit Hızlandırmalarla Maliyetlerin Azaltılmasına Ait Örneğin Üçüncü Aşaması

6-7 faaliyetinin daha 1 ay kısaltılması mümkün olduğu için üzerinde 1/25 değeri bulunmaktadır. Yeni süresi ise 4 aydır.

### 3) 3.HIZLANDIRMA

Kritik olmayan faaliyetlerin boşluklarının en çok sıfır yapmak şartıyla şebekede süre hızlandırması yapılacaktır. Şebekenin ancak 2-8 arasındaki süreler kısaltılabilir. Bütün düğüm noktalarında  $TE = TL$  olduğu için bu süre kısaltılmasından her düğüm noktası aynı miktarda etkilenir. 5.düğüm noktasında biten 2-5 faaliyetinin boşluğu 2 olduğu için kısalma süresi 2 ay olabilir. O halde 2-3-6-7-8 ve 2-4-8 yollarının her birinde 2'şer aylık süre kısaltılması yapılmalıdır.

2-3-6-7-8 yolunda en ekonomik süre kısaltılması 6-7'den 1 ay 7-8 den, 1 ay, 4-5'den 2 ay azaltmakla mümkündür. İlerde hangi adımda hangi faaliyetlerin sürelerinde değişiklik yapıldığını görebilmek için bu faaliyetlerin üzerlerine Şekil 3.28'de Z3 yazılmıştır

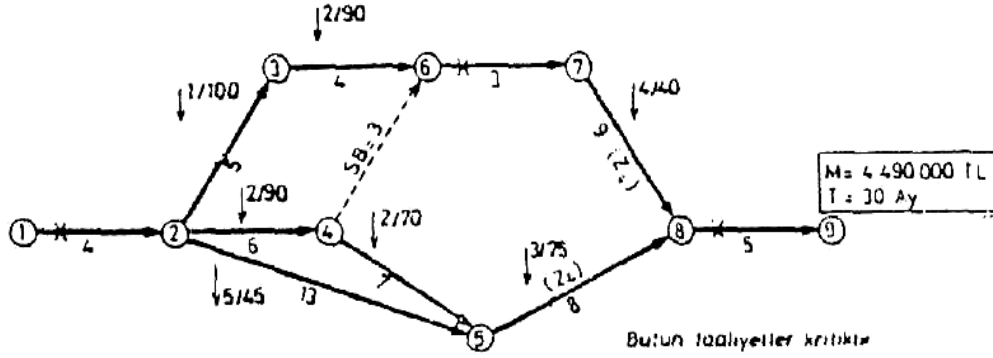
3. hızlandırmadan sonra projenin süresi  $32 - 2 = 30$  ay, projenin maliyeti 2.hızlandırma sonunda 4.285.000

$$6-7 \text{ den } 1 \times 25.000 = 25.000$$

$$7-8 \text{ den } 1 \times 40.000 = 40.000$$

$$4-5 \text{ den } 2 \times 70.000 = 140.000$$

$$4.490.000$$



Şekil 3.29 Basit Hızlandırmalarla Maliyetlerin Azaltılmasına Ait Örneğin Dördüncü Aşaması.

Yeni duruma göre bütün faaliyetler kritik olmuştur. 6-7 faaliyetinin süresi ise artık kısaltılamaz hale gelmiştir.

#### 4) 4. HIZLANDIRMA

Sürelerin kısaltılması tekrar 2-8 düğüm noktaları arasında yapılabilir. 2-3-6-7-8 yolunda (s) değeri en küçük olan faaliyet 7-8'dir. 2-4-5-8'de ise 5-8' in (s) değeri en küçüktür. Her ne kadar 2-5 in (s) değeri 5-8'in (s) değerinden daha küçükse de , bu faaliyetin süresinin kısaltılması halinde onunla 5. düğüm noktasına bağlı olan 4-5 faaliyetinin de süresinin kısaltılması zorunludur. Çünkü 5. düğüm noktasının erken tamamlanabilmesi için, 4-5 ve 2-4 faaliyetlerinin sürelerinde her birinde eşit miktarda azaltma yapılmalıdır.

5-8'de en fazla kısalabilme süresi 3 ay olduğundan bu ve 7-8, 3 ay kısaltılmıştır. 4.hızlandırmadan sonra,

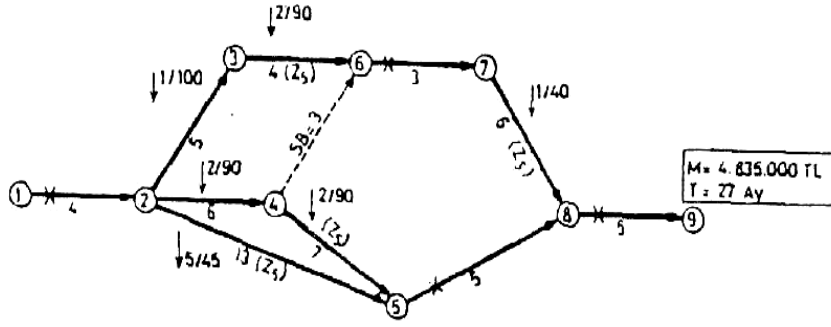
Proje süresi  $30 - 3 + 27$  ay

Proje maliyeti 3. hızlandırma sonunda 4.490.000

7-8 den  $3 \times 40.000 = 120.000$

5-8 den  $3 \times 75.000 = 225.000$

4.835.000 dir



Şekil 3.30 Basit Hızlandırmalarla Maliyetlerin Azaltılmasına Ait Örneğin Beşinci Aşaması

#### 5) 5.HIZLANDIRMA

Bu kademedeki süre kısaltılması 4-5 ve 2-4 den dolayı en fazla 2 ay olabilir. 2-3-6-7-8 yolunda, 7-8 ve 3-6 faaliyetleri 1'er ay, 4-5 ve 2-5 te 2'şer ay kısaltılırsa

Proje süresi  $27 - 2 = 25$  ay Proje maliyeti

4. hızlandırma sonunda 4.835.000

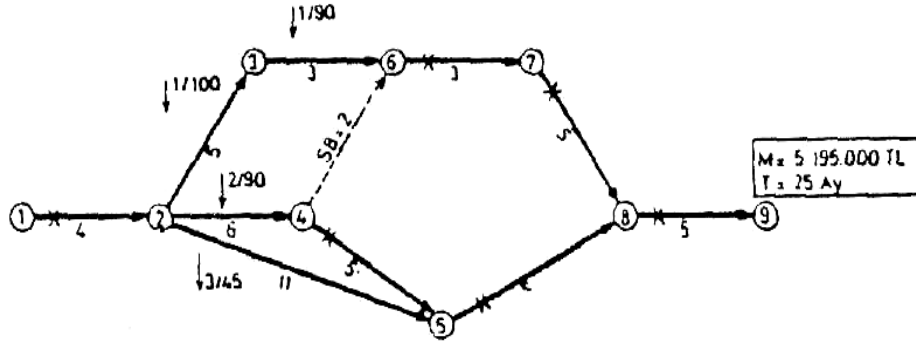
3-6 dan  $1 \times 90.000 = 90.000$

7-8 den  $1 \times 40.000 = 40.000$

4-5 den  $2 \times 70.000 = 140.000$

2-5 den  $2 \times 45.000 = 90.000$

5.195.000 olur.



Şekil 3.31 Basit Hızlandırmalarla Maliyetlerin Azaltılmasına Ait Örneğin Altıncı Aşaması

#### 6) 6.HIZLANDIRMA

Şekil 3.31 'deki şebekede 2-3-6-7-8 yolunda 2 aylık, 2-4-5,8 de 2 aylık 2-5-8 de ise 3 aylık kısalma süresi kalmıştır. Bu üç ayrı yoldaki süre kısaltmaları eşit olması zorunluluğu sebebiyle, şebeke ancak 2 aya daha kısaltılabilir.

Proje süresi  $25 - 2 = 23$  ay Proje maliyeti

5. hızlandırma sonunda 5.195.000

2-3 ten  $1 \times 100.000 = 100.000$

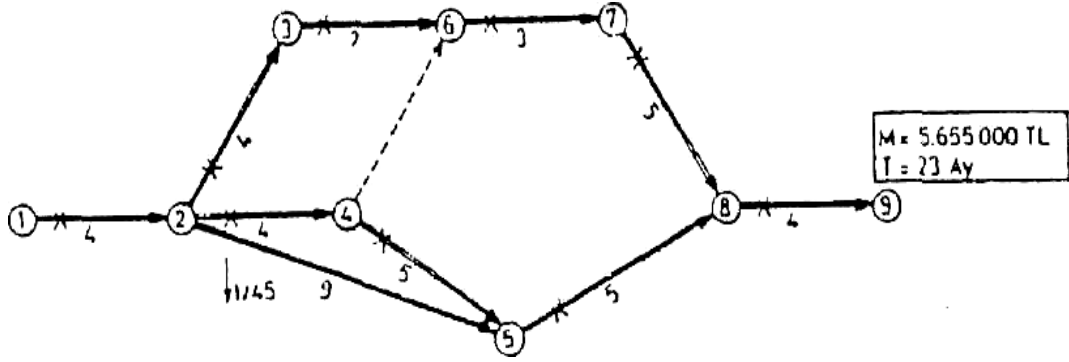
3-6 dan  $1 \times 90.000 = 90.000$

2-4 den  $1 \times 90.000 = 90.000$

2-5 den  $2 \times 45.000 = 90.000$

5.655.000 dir





Şekil 3.32 Basit Hızlandırmalarla Maliyetlerin Azaltılmasına Ait Örneğin Son Durumu

Şebekedeki faaliyetlerin pek çoğu minimum tamamlanma süresine getirilmiştir. Yalnız 2-5 faaliyetinde 1 aylık kısalma süresi kalmıştır. Bu sürenin de kısaltılması projenin toplam süresinde bir değişiklik yapmaz. Yalnız maliyeti 45.000 TL daha arttırır. Bu bakımdan 6. hızlandırmaya programın "son hızlandırması" denir. 23 ay da bu projenin en çabuk yapılabilme süresidir.

## 4. BÖLÜM

### PROJE DEĞERLENDİRME VE GÖZDEN GEÇİRME TEKNİĞİ (PERT)

#### 4.1 PERT' e Genel Bir Bakış

1950'li yıllarda CPM' in Ramington Rond firmasından J.E. Kelly ve Dupont firmasından M.B Walker tarafından geliştirilmesinden çok kısa bir süre sonra, CPM ile alakalı çalışmalardan tamamen bağımsız ve habersiz olarak, Amerikan Deniz Kuvvetleriyle, Booz ve Ailen & Hamilton adlı danışmanlık şirketlerinin Polaris Denizaltı Füze Projesi (Polaris Missile Project) dahilinde gerçekleştirdikleri çalışmalar sonucu PERT ortaya çıkmıştır.<sup>53</sup>

Polaris Projesi ile alakalı yapılan ilk fizibilite çalışmalarında en önemli sorunun teknik alanlarda ortaya çıkacağı düşünülürken, daha sonraları asıl önemli sorunun teknik konularda değil, projenin planlanması, eşgüdümü ve bütün kaynakların denetlenmesi alanlarında ortaya çıkacağı anlaşılmıştır. Polaris Projesi kapsamında 250 farklı müteahhit ve 9000 taşeron firma birlikte çalışmışlardır. Bunlardan herhangi birinin belirlenen görevi süreında gerçekleştirememesi, gerekli hammadde ve ekipmanı belirlenen sürelerde sevk edememeleri vb. gibi, projenin ilerlemesini engelleyebilecek problemlerin önüne geçebilmek ve hedeflere hangi tarihlerde varılacağını önceden tahmin edebilmek amacıyla geliştirilen PERT sayesinde, Polaris Projesi ilk planlandığı tarihten yaklaşık olarak 2 yıl önce tamamlanabilmiştir.<sup>54</sup>

PERT tekniğinin askeri alanlarda kullanılmasında gösterdiği başarı, işletme yönetiminin sorunlarını da çözebileceği fikrini uyandırmış ve bu alanlarda da uygulanmıştır. PERT 1959'dan sonra özellikle endüstri alanında yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan araştırmalara göre, bu tarihlerde Amerika'daki şirketlerin üçte biri bu tekniği kullanmıştır. Bu şirketlerin %66'sı savunma projelerinde,

---

<sup>53</sup> W. Haga; Crashing PERT Networks; University of N. Colorado ; yayınlanmış doktora tezi Colorado 1998

<sup>54</sup> Çetmeli, a.g.e., s.5

%19'u ticari ve sınıai projelerde, %15'i de her ikisinde birden PERT'i uygulamıştır. Daha sonraları PERT gelişmekte olan ülkeler tarafından da kullanılmıştır.<sup>55</sup>

Bölüm 3'de belirtildiği gibi, CPM tekniğinde şebekeyi oluşturan bütün faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin kesin olarak bilindiği kabul edilmektedir. Özellikle ilk defa uygulanan projelerde şebekeyi oluşturan faaliyetlerin tamamlanma süreleri tam olarak bilinemez yani projedeki faaliyet süreleri deterministik bir yapıda değildir. Bu gibi durumlarda CPM yerine PERT tekniğinin kullanılması gerekir.

#### 4.2 Faaliyetlerin Tamamlanma Süreleri

PERT tekniğinde, faaliyetlerin tamamlanma süreleri CPM de olduğu gibi deterministik yapıya sahip kesin veriler olarak değil, olasılıksal bir yapıya sahip ve Beta dağılımı sergileyen rassal değişkenler olarak kabul edilirler.

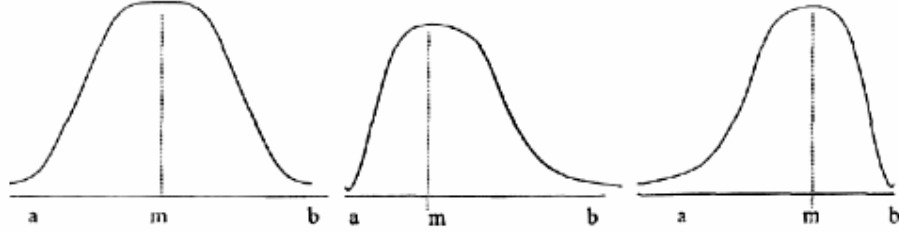
Programlama aşamasında, proje yöneticisinin faaliyetlerin tamamlanma sürelerini belirlemesi gerekir. Bu belirleme işlemi, en iyimser süre (a), en kötümser süre (b) ve gerçekleşmesi en muhtemel süre (m) tahminleri olarak ifade edilirler. Burada 'a' ve 'b' değerleri faaliyetin tamamlanma süresinin dağılımının alt ve üst sınırları 'm' ise Beta dağılımının mod değerini temsil ettiği düşünülür. Ayrıca 'm' değeri 'a – b' aralığında herhangi bir yerde olabilir, 'm' in pozisyonu ile ilgili karar tamamen faaliyetin uygulanmasında sorumlu teknik yetkiliye aittir. (mühendis, tekniker vb.)<sup>56</sup>

---

<sup>55</sup> Akmut, a.g.e, s.23

<sup>56</sup> D.G Malcolm;J.H.Roseboom; C.E Clark ; W.Fazar ; “Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation”; Operation Research , Vol.7, No. 5. (Sep-Oct.; 1956),pp.646 - 669

PERT' te her bir faaliyetle ilgili olarak yapılan süre tahminlerinin, iyimser (a) ve kötümser (b) tahmin aralığında olmasına dikkat edilmelidir. Tahmin değerlerinin dağılım aralığı (b-a)'dır. En muhtemel sürenin (m), dağılımın orta değeri olan (a+b)/2 değerine eşit olması gerekmez. Şekil 4.1 'de Beta dağılımının 3 değişik şekli gösterilmektedir. Çizim de de görüldüğü gibi, Beta dağılımı, simetrik, sola çarpık veya sağa çarpık olabilmektedir.<sup>57</sup>



Şekil 4.1 Beta dağılımının 3 değişik gösterim şekli.

#### **En İyimser Süre (a)**

Projede planlanan her şey yolunda gittiği durumda, bir faaliyeti tamamlayabilmek için düşünülen en kısa süredir. Bir faaliyeti, en iyimser süredan daha kısa sürede tamamlama ihtimalinin %1'den büyük olmadığı varsayımına dayanmaktadır. En iyimser süre, bu çalışmada 'a' harfi ile ifade edilecektir.<sup>58</sup>

#### **En Kötümser Süre (b)**

Bir faaliyeti tamamlayabilmek için düşünülen en uzun süredir. Kötümser tahmin, faaliyette bütün muhtemel gecikmelerin ve aksaklıkların bulunduğu bir ortamı varsayar. Kısacası bu süre, proje için gerekli bütün şartların kötü gitmesi halinde projenin bitirilebileceği süredir ve uygulamada gerçekleşme ihtimali yüzde bir olarak kabul edilmiştir. En iyimser süre, bu çalışmada 'b' harfi ile ifade edilecektir.<sup>59</sup>

<sup>57</sup> Halaç, a.g.e, s.202

<sup>58</sup> H.Kerzner; "Project Management – a System Approach to Planing, Scheduling and Controlling", John Wiley & Sons Inc., New Jersey – 2003, p: 468

<sup>59</sup> H.Kerzner; a.g.e, p: 468

### **En Olası Süre (m)**

En muhtemel süre, projeye alakalı planlanan her şeyin normal şartlar altında gerçekleştiği durumda ve ilgili faaliyetin uygulama süreci ile alakalı geçmiş deneyimler ışığında tahmin edilen, faaliyetin tamamlanabileceği en olası (muhtemel) süredir. En iyimser süre, bu çalışmada 'm' harfi ile ifade edilecektir.

Proje yöneticisi ilgili süre tahminlerini gerçekleştirirken, her faaliyete tahsis edilebilecek gerçek işgücünü, kaynağı ve ekipmanı dikkate almalı ve uygulama sürecinde hızlandırma işlemi gibi çok özel durumlar söz konusu olmadıkça işgücünde, kaynak ve ekipman tahsisinde önemli bir değişiklik düşünmemelidir. Ayrıca proje yöneticisi, proje süresince teknolojik olanaklarda ve üretim tekniğinde önemli değişiklik olup olmayacağını bilmelidir. Söz konusu tahminler subjektif yargıya dayalı olduğundan dolayı, tahmin sürecinde çok hassas ve gerçekçi olmalıdır.

Projenin programlama aşamasında, her faaliyetin beklenen tamamlanma süresi için gerçekleştirilen 3 farklı süre tahmini kullanılır Bu aşamadan sonra her bir faaliyetin beklenen tamamlanma süreleri (  $t_e$  ) kullanılarak analizler gerçekleştirilir.

### **4.3 Faaliyetlerin Beklenen Tamamlanma Sürelerinin ( $t_e$ ) ve Varyanslarının Belirlenmesi**

PERT tekniğinde, projenin programlama sürecinde kullanılmak üzere belirlenen beklenen tamamlanma süresi (  $t_e$  ), proje yöneticisi tarafından subjektif olarak gerçekleştirilen iyimser, kötümser ve en olası tamamlanma sürelerinin ağırlıklı ortalaması alınarak elde edilir.

Projede, a,b, ve m değerlerinin ağırlıklı ortalamaları alınırken dağılımın orta noktası olan  $[(a + b) / 2]$  değeri 1 derece ağırlık katsayısı ile çarpılırken , dağılımın mod değeri olarak varsayılan en olası süre 'm' değerinin 2 derece ağırlık kat sayısı ile çarpılması gerektiği kabul edilmiştir.<sup>60</sup>

---

<sup>60</sup> N.R. Farnum, L.W. Stanton , "Some Results Concerning The Estimation of Beta Distribution Parameters in PERT", the journal of operation research society vol:38 – no:3 , 1987, sayfa : 287

Bir başka deyişle, dağılımın sınır değerleri olan a ve b 1 derece ağırlıklandırılırken, dağılımın mod değerine karşılık gelen m değeri 4 derece ağırlıklandırılmalıdır.

Buna göre a,b, ve m tahmini değerlerinin dağılımın ortalama değeri ( $t_e$ )' ye dönüşümünü :

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (4.1) \quad \text{olarak ifade}$$

edilir.<sup>61</sup>

Eşitlik (4.1) 'in teorik olarak yeterliliğinin ispatı yapılamamakla birlikte, bir çok deneysel çalışma sonrası elde edilen sonuçlar ışığında m değerinin,  $a + 0,13 \cdot (b-a)$  ile  $a + 0,87 \cdot (b-a)$  aralığına tekabül eden tahminleri için formülün, dağılımın ortalama değeri ve mode (m) değeri arasındaki ilişkiyi yeterli düzeyde ifade edebildiği ve makul sonuçlar verebildiği belirlenmiştir.<sup>62</sup>

Bilindiği üzere normal dağılım eğrisinde  $6\sigma$  'nın dağılım aralığının %99,83 üne tekabül ettiği kabul edilmektedir. Standart dağılımdan esinlenerek, formüldeki (a,b) aralığının dağılımın 6 standart sapması ( $\sigma$ ) ile kapatılacağı varsayılmıştır. Buna göre PERT tekniğinde faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin dağılımının standart sapması  $6\sigma = b-a$  olduğu kabul edilerek, standart sapma ( $\sigma$ ) hesaplamaları formül 4.2 'de gösterildiği gibi yapılmaktadır.<sup>63</sup>

$$\sigma_t = \frac{b - a}{6} \quad (4.2)$$

<sup>61</sup> Malcom ve diğerleri; a.g.e, s 650

<sup>62</sup> N.R. Farnum, L.W. Stanton, a.g.e, sayfa : 289

<sup>63</sup> Malcom ve diğerleri; a.g.e, s 651

(a,b) aralığının öngörüldüğü şekilde dağılımın 6 standart sapması ile kapatılamayacağı durumlarda, yani gerçek standart sapmanın (b-a) / 6 dan daha küçük değerlere tekabül ettiği durumlarda,  $t_e$  (ortalama süre) nin tahmini için alternatif formüller geliştirilmiştir.<sup>64</sup>

#### 4.4 Kritik yolun belirlenmesi ve Proje Tamamlanma Süresinin Analizi

PERT tekniğinde kritik yolun belirlenebilmesi için ilk önce projenin başlangıcından bitimine kadar giden yollarda yer alan faaliyetlerin tamamlanma süreleri hesaplanır. Bu yollar içinde en yüksek değere sahip olan yol kritik yol olarak isimlendirilir. Kritik yolda yer alan faaliyetlerin tamamlanma süreleri toplamı ( $\mu$ ) projenin beklenen tamamlanma süresi ve kritik yoldaki faaliyetlerin varyansları toplamının projenin varyansını ( $\sigma^2$ ) temsil ettiği kabul edilir.<sup>65</sup> Yani,

$$\text{Projenin beklenen tamamlanma süresi , } \mu = \sum t_e \quad (4.3)$$

$$\text{Projenin varyansı , } \sigma^2 = \sum \sigma_e^2 \quad (4.4) \text{ olacaktır.}$$

PERT tekniğinin en önemli avantajı, istatistik teorisinin kullanılabilmesine olanak tanınmasıdır.

Dağılım şekli ne olursa olsun  $n$  tane ( $n \geq 30$ ) rassal değişkenin toplamının normal dağılıma sahip bir rassal değişken olduğunu merkezi limit teoremine göre söyleyebiliriz.<sup>66</sup> Bu teorem uyarınca kritik yol üzerindeki faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin toplamının yani projenin tamamlanma süresinin normal dağılım sergilediğini söyleyebiliriz ve standart normal dağılım eğrisini kullanarak, hedef sürenin gerçekleşme ihtimalinin hesaplayabiliriz.<sup>67</sup>

<sup>64</sup> Farnum and Stanton , a.g.e , s: 288

<sup>65</sup> Öztürk, a.g.e, s:582

<sup>66</sup> Saraçoğlu B., Çevik F. , “Matematiksel istatistik – Olasılık ve Önemli Dağılımlar”, Gazi Büro Kitabevi Ankara 1995, s:463

<sup>67</sup> M.Trahan, ” the completion time of PERT Networks”, The Journal of Operation research, Vol.25,no:1, 1977 ,sayfa 15

Projenin tamamlanması için belirlenmiş bir hedef sürenin (Ts) gerçekleşme ihtimalini hesaplamak için kritik yolun varyans değeri kullanılarak, dağılımın standart sapması belirlenir. Aşağıdaki formül uyarınca standart sapmanın, standart 'z' puanının kullanımına olanak tanıyacak şekilde dönüşümü gerçekleştirilir.<sup>68</sup>

$$Z = (T_s - T_e) / \sigma_{\text{en uzun yol}} \quad (4.5)$$

Burada  $T_s$  projenin tamamlanması için belirlenmiş hedef süreyi,  $T_e$  ise projenin ortalama tamamlanma süresini temsil eder. Belirlenen  $Z$  değeri, normal dağılım eğrisi üzerinde hedef süre ( $T_s$ )'ye varma ihtimalini belirleyen ihtimal değerine karşılık gelir.

Öte yandan, kritik yolun tamamlanma süresinin normal dağılım sergilediği ve ortalama süre değerinin normal dağılımın ortalamasına tekabül ettiği hatırlanacak olursa ( $z = 0$ ) projenin ortalama tamamlanma süresi içerisinde tamamlanma ihtimalinin de % 50 olduğu görülebilir. Bir başka ifadeyle, projenin kritik yolunun, ortalama tamamlanma süresi içerisinde tamamlanamama (gecikme) ihtimali % 50 dir.<sup>69</sup>

#### **4.5 PERT Tekniğine Yapılan Eleştiriler**

PERT'in gelişiminden kısa bir süre sonra, kullandığı varsayımlar ve bu varsayımların neden olabileceği hatalarla alakalı bir çok kritik yapılmıştır. Bunlardan en önemlileri sırasıyla şu şekilde ifade edilebilir.

##### **4.5.1 Faaliyetlerin Tamamlanma Süreleri ve Varyans Hesaplamalarından Kaynaklanan Hatalar**

Proje yöneticisi tarafından gerçekleştirilen süre tahminleri (a,b ve m) subjektif yargıya dayalı tahminler olup hataya açıktırlar. Özellikle uç sınır değerler olan a ve b nin tahmin sürecinde, herhangi bir tecrübeye sahip olmaksızın sağlıklı tahminlerde bulunabilmek çok zordur.<sup>70</sup>

---

<sup>68</sup> J.R.Meredith; S.J.Mantel ;" Project Management – a Managerial Approach"; John Wiley & Sons Inc.; U.S – 1995, p: 349

<sup>69</sup> Meredith ve Mantel;a.g.e, s. 351

<sup>70</sup> Y. Zhang ; "Pert Time Estimates : Logical Alternative with Improved Accuracy", Yayınlanmış Doktora Tezi , Oklahoma State University ; 1995 Oklahoma, Sayfa :20



Literatürde bu probleme alternatif çözüm olarak sunulan görüşler arasında, a ve b sınır değerlerinin derecesini 00.1 ve 0.99 dan 00.5 ve 0.95 veya daha düşük seviyelere çekmek ön plana çıkanlar arasındadır. Bir diğer görüş ise 3 farklı süre tahminin (a,b,m) yetersiz olduğu ve dolayısıyla tahmin sayısının 5 ile 7 şeklinde artırılması gerektiği görüşüdür. Bu görüş tahmin sayısının artırılarak tahminin yeterliliğinin geliştirilebileceğini savunur.<sup>71</sup>

Beta dağılımı sergilediği kabul edilen beklenen süre değerinin ve varyansının belirlenmesinde kullanılan formüller, 3 farklı parametreyi (a,b,m) göz önünde bulundurur. Ancak gerçekte Beta dağılımı iki aralık ve iki şekil parametresi olmak üzere dört farklı parametreye sahiptir. Dolayısıyla formüller ortalama değerinde sadece a,b,m değerlerinin bir fonksiyonu olduğunu kabul ederek Beta dağılımında geçerli olan dördüncü bir parametreyi ihmal etmişlerdir ve dolayısıyla hataya açıktırlar.<sup>72</sup>

Literatürde,yukarıda bahsedilen hatalara ilişkin yapılan araştırmalar sonucu a,b,m 'in hata sınırı  $\pm \%20$  , ortalama sürenin hesaplanması işleminde hata sınırı  $\pm \%30$  ve standart sapmanın hata sınırı ise  $\pm \%15$  olarak belirlenmiştir.<sup>73</sup>

#### **4.5.2 Projenin Tamamlanma Süresinin Hesaplanma Sürecinde Meydana Gelen Hatalar**

Kritik yolun belirlenmesi aşamasında PERT, faaliyetlerin olasılık dağılımlarını yok sayarak olasılıksal modeli deterministik modele indirger. Bundan dolayı sadece bir tek kritik yolun varlığı öngörülür. Ancak uygulamada, bir şebekede birden fazla kritik yolun oluşması mümkündür ve faaliyetlerin olasılık dağılımları göz önünde bulundurulduğu süre, kritik olmayan bir yolu oluşturan faaliyetlerin olasılık değerlerinin farklı kombinasyonları içerisinde, söz konusu yolun kritik hale gelme ihtimali vardır.<sup>74</sup>

Örneğin ; paralel gerçekleşen ve farklı olasılık dağılımlarına sahip olan iki ayrı faaliyeti düşünelim. İlk faaliyetin aynı olasılık değerine sahip 5-8 gün arasında gerçekleşmesi

<sup>71</sup> Y.Zhang ,a.g.e. ,s: 26

<sup>72</sup> Copertari, L.F.; "Time, Cost and Performance Tradeoffs in Project Management" ;  
Yayınlanmış Doktora Tezi – McMaster Universty Ocak 2002, s:9.

<sup>73</sup> W. Haga, a.g.e , sayfa:16

<sup>74</sup> W. Haga, a.g.e , sayfa:7

muhtemel tamamlanma sürelerine sahip olduğunu ( $t_1 = (5,8)$ ), ikinci faaliyetin ise tamamlanma süresinin gerçekleşme olasılıkları denk olacak şekilde 6 yada 7 gün olduğunu düşünelim. PERT tekniği uyarınca söz konusu faaliyetlerin ortalama süreleri kullanılmalıdır ve dolayısıyla birinci faaliyetin ortalama (beklenen) süresi  $(5+8) / 2 = 6,5$  gün ve ikinci faaliyetin ortalama süresi  $(6+7) / 2 = 6,5$  gün olarak dikkate alınacak ve faaliyetlerin bitiş noktasını teşkil eden olayın gerçekleşme süresi  $\text{Max}(\mu_1, \mu_2) = \text{Max}(6,5, 6,5) = 6,5$  gün olarak belirlenecektir. Ancak faaliyetlerin tamamlanma süreleri tesadüfü değişken olarak dikkate alındığı süre, ilgili düğüm noktasının gerçekleşme süresi  $\text{Max}(t_1, t_2)$  için 4 farklı süre kombinasyonu mümkündür. Bunlar :  $\text{Max}(5,6) = 6$ ;  $\text{Max}(5,7) = 7$ ;  $\text{Max}(8,6) = 8$  ve  $\text{Max}(8,7) = 8$  dir. Ve gerçek ortalama süre bu değerlerin ortalaması olarak değerlendirilmelidir,  $\mu_{\text{teorik}} = (6+7+8+8) / 4 = 7,25$  gün. Ve görüldüğü üzere PERT tekniğiyle yapılmış olan tahminin değeri, faaliyetlerin gerçek olasılık dağılımları dikkate alınmadığı için, gerçekte olması gereken değerden düşük çıkmıştır.<sup>75</sup>

Literatürde, proje tamamlanma süresinin merkezi limit teoremi uyarınca normal dağılım sergilediği kabulünün, proje yöneticisinin iyimser tahminlerde bulunmasına neden olduğunu ifade eden bir çok çalışma mevcuttur. Yani, normal dağılım altında yapılan tahminler, olması gerekenden daha kısa tamamlanma sürelerini sonuç verir.<sup>76</sup>

Bu problemin nedeni olarak, proje tamamlanma süresine ilişkin alt ve üst sınırların tahmin sürecinin olmaması gösterilebilir. Projeyi oluşturan faaliyetler, beta dağılımı sergileyen ve dağılımları alt ve üst değerlerle (a,b) sınırlandırılmış olan rassal değişkenler olarak tanımlandıktan sonra faaliyetlerin ortalama süre değerlerinin toplanması ile elde edilen proje tamamlanma süresin, sınırlandıramamış bir dağılıma sahip olduğunu öngörmenin yanlış olduğu ve dolayısıyla alt ve üst sınır değerleri olmayan normal dağılımın kullanımının hataya neden olduğu kabul edilmektedir.<sup>77</sup>

<sup>75</sup> Copertari, L.F.; a.g.e, s:18-19.

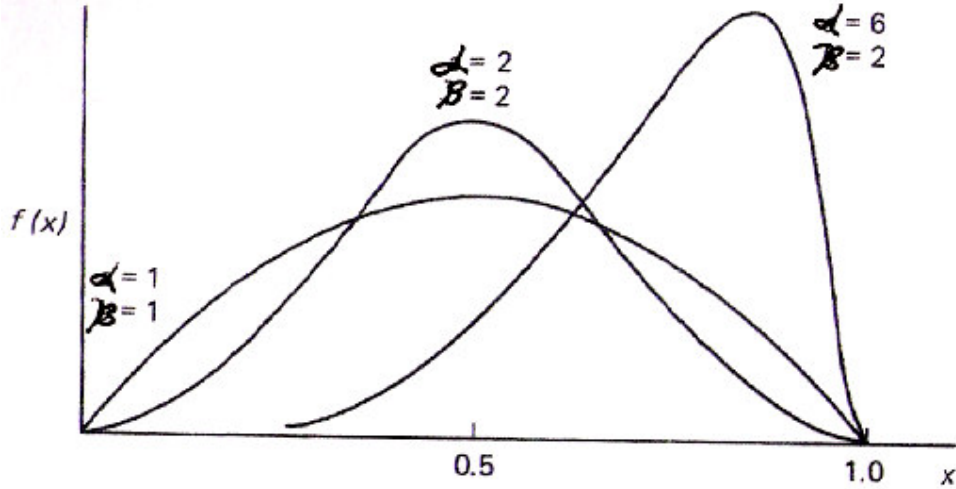
<sup>76</sup> W. Haga, a.g.e , sayfa:15

<sup>77</sup> Copertari, L.F.; a.g.e, s : 8

Pert 'in kabulleri ve kullandığı tahmin yöntemleriyle ilişkili yukarıda değinilen eleştiriler yöneylem alanında kullanılan kaynak kitaplarda ve yazılım programlarında göz önüne alınmamaktadır. Dolayısıyla PERT' e ilişkin yapılan kritikler akademik düzeyde kalmakta ve çok özel çalışmalar hariç, uygulamada klasik yöntem kolaylığı ve anlaşılabilirliği sebebiyle aynen kullanılmaktadır .

#### 4.6 Beta Dağılımı

Beta dağılımı, özellikle sınırlı dağılım aralıklarının söz konusu olduğu proje uygulamalarında, zengin bir dağılım ailesi sunabildiği için sıklıkla kullanılan bir dağılım çeşididir. Bunun yanı sıra bir çok çalışmada kullanılan gerçek veriler için beta dağılımının yeteri düzeyde değişkenlerin olasılık dağılımını ifade edebildiği kaydedilmiştir.<sup>78</sup> Önceki kısımlarda, projeyi oluşturan faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin beta dağılımına uyan bir dağılış gösterdiğinden bahsetmiştik.



Şekil 4.2 Beta dağılımının farklı şekilleri ,

<sup>78</sup> F.L.Bannett, "Simplif,ed CPM/PERT Simulation Model", Journal of Construction Engineering and Management, November / December 2001 , Sayfa :513

Beta dağılımı 2 şekil ( $\alpha, \beta$ ) 2 aralık (a,b) olmak üzere 4 farklı parametreyi içerir.

Genel beta olasılık yoğunluk fonksiyonu 0 ve 1 aralık değerleri için şu şekilde ifade edilir:

$$f(x) = \frac{(\alpha + \beta + 1)!}{\alpha! \beta!} x^\alpha (1 - x)^\beta \quad 0 < x < 1 \quad (4.6)$$

Beta Dağılımının ortalama değer ve varyans tahminleri için kullanılan teorik formülleri ve dağılımın mod değerini ifade eden eşitlik ise şu şekildedir:

$$E(x) = \mu = \frac{\alpha + 1}{\alpha + \beta + 2} \quad (4.7)$$

$$\sigma^2 = \frac{(\alpha + 1)(\beta + 1)}{(\alpha + \beta + 2)^2(\alpha + \beta + 3)} \quad (4.8)$$

$$m = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad (4.9)$$

Bahsedildiği üzere, PERT formüllerinde kullanılan  $m$  ‘en olası süre’ değeri faaliyetin olasılık dağılımının mod değerine karşılık geldiği varsayılmaktadır. Dağılımın ortalaması ve varyansı sırasıyla eşitlik (4.1) ve (4.2) ‘de verilmiştir.

#### **4.7 PERT' de Hızlandırma İşleminin Kullanılması :**

Bölüm 3'de anlatıldığı üzere hızlandırılma işlemi, projenin kritik yolunu teşkil eden faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin, yüksek maliyetlerde ek kaynak, ekipman ve iş gücü tahsisi ile kısaltılması amacıyla gerçekleştirilir.

Hızlandırma işleminin uygulanabileceği her faaliyetin tanımlanmış bir süre maliyet fonksiyonu mevcuttur. Faaliyetlerin hızlandırma sürecinde, projenin kritik yolu üzerindeki, birim süre için minimum hızlandırma maliyetine sahip faaliyetler belirlenir. Belirlenen faaliyetlerin ortalama süreleri ( $t_e$ ) belirlenen miktarlarda hızlandırılır ve proje şebekesi tekrar analiz edilir. Bu işlem bütün projenin tamamlanma süresi ( $\mu$ ) hedeflenen süre değerine kadar hızlandırılıncaya dek yada hızlandırılan faaliyetlerin müsaade edilen en kısa sürelerine ulaşmıncaya kadar sürdürülür.

Buraya kadar bahsedilen şekliyle PERT' de uygulanan hızlandırma işlemi, mantık olarak CPM' deki gibidir. Tek fark, faaliyetlerin tamamlanma süreleri kesin değerler ifade etmediğinden, işlemlerde her faaliyet için belirlenen  $t_e$  ortalama sürenin kullanılmasıdır.

Ancak PERT şebekesinin olasılıksal yapısından kaynaklanan bir takım özel durumlar, dikkat edilmesi gereken hususlar, uygulamada açığa çıkan bir takım farklılıklar vardır. PERT' de hızlandırma işlemi sürecinde tüm bu farklılıklar göz önünde bulundurulmalıdır.

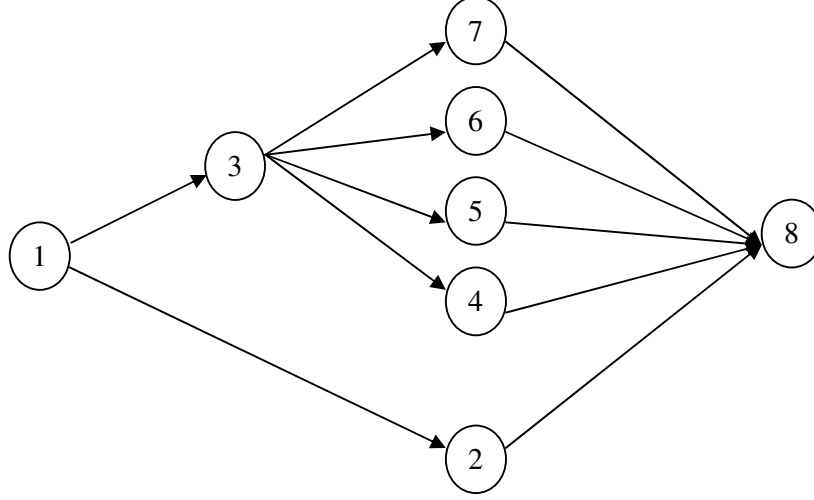
##### **4.7.1 PERT' de Hızlandırma Sürecinin Analizi**

Bahsedildiği üzere, PERT tekniğinde proje şebekesinin sadece bir tek kritik yolunun olduğu varsayılmaktadır. Ancak uygulamada birden fazla kritik yolun aynı anda ortaya çıkması söz konusu olabilmektedir. Bu problem kritik yol üzerinde olduğu kabul edilen faaliyetler için öngörülen hızlandırma işlemini gereksiz kılabilir. Örneğin<sup>79</sup>:

---

<sup>79</sup> W.Haga ; a.g.e ; s : 9

Şekil deki şebeke diyagramının kritik yolunun  $X_{12}$  ;  $X_{28}$  olduğu ve proje tamamlanma süresinin 52 hafta olduğunu varsayalım.



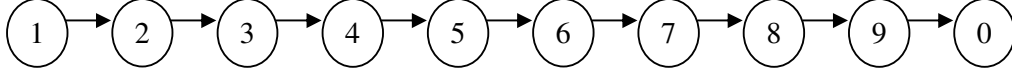
Şekil 4.4 Örnek PERT şebekesi

Aynı şekilde diğer muhtemel 4 yolun tamamlanma sürelerinin 50 şer hafta olduğunu kabul edelim.

PERT tekniği geleneksel olarak  $X_{12}$  ;  $X_{28}$  faaliyetlerini hızlandırma işlemi için seçecek ve faaliyetlerin birim hızlandırma maliyetleri göz önünde bulundurularak 2 haftalık bir hızlandırma işlemi gerçekleştirilecektir.

Ancak dikkat edilmesi gereken bir nokta ; eğer  $X_{13}$  faaliyeti belirlenen sürede tamamlanmasa (ki belirlenen değerler ortalama değerlerdir ve kesinlik içermezler) bu faaliyetin başlangıç teşkil ettiği 4 faaliyetin gecikmesi söz konusudur. Bu durumda projeyi programlanan şekilde devam ettirebilmek için 4 faaliyetin hızlandırma işlemine tabi tutulması gerekecektir. PERT tekniğinde bu problem, programlama aşamasında öngörülememektedir. Dolayısıyla uygulamada başta planlanandan çok farklı bir durumla karşı karşıya kalınacak, planlanan bütçe ve her faaliyet için tahsis edilen kaynak, iş gücü ve ekipman ile alakalı ciddi sıkıntılar meydana gelebilecektir.

Projenin beklenenden erken tamamlanması durumunda, projenin ilk safhalarında yapılan hızlandırma işlemi kaynak kaybına ve maliyet artışına neden olabileceğini ifade eden bir başka durum da şöyle açıklanabilir. Örneğin<sup>80</sup> :



Şekil 5.4 Örnek Pert Şebekesi

Şekil 5.4 deki proje şebekesini oluşturan faaliyetlerin ortalama tamamlanma süreleri 5'er haftadır. Dolayısıyla projenin beklenen süre değeri 45 hafta olacaktır. Hedef sürenin 44 hafta olduğu düşünülerek 1 haftalık hızlandırma işlemi gerçekleştirilmelidir. Tablo 4.1 dikkate alınarak hızlandırma işleminin uygulanacağı faaliyet olarak birim hızlandırma maliyeti en düşük olan X<sub>1,2</sub> faaliyeti ilk olarak seçilecektir.

FAALİYET	HIZLANDIRMA MALİYETİ
(1,2)	5000
(2,3)	9000
(3,4)	8000
(4,5)	7500
(5,6)	9500
(6,7)	8000
(7,8)	7000
(8,9)	6000
(9,10)	5500

Tablo 4.1 Örnek şebeke için Hızlandırma maliyetleri

<sup>80</sup> W. Haga, a.g.e, s: 11

Bunun yanı sıra  $X_{9,10}$  faaliyetinin hızlandırma maliyeti  $X_{1,2}$  den çok az bir farkla fazladır. Uygulama sürecinde bir veya daha fazla faaliyetin beklenen süreından daha erken tamamlanma olasılığı göz önünde bulundurularak, hızlandırma işleminin  $X_{9,10}$  faaliyetine kadar bekletilmesi ve hala gerekliliği devam ediyorsa bu faaliyette gerçekleştirilesi daha akılcı olacaktır. Bu şekilde, eğer öngörüldüğü gibi beklenenden erken tamamlanan faaliyet veya faaliyetler olur ve hızlandırma işlemine gerek kalmaz ise, dikkate değer miktarda bir maliyet tasarrufu sağlanmış olur.

Probleme farklı bir yaklaşımda şu şekilde olabilir:

Aynı şebeke için hedef sürem 45 hafta ve hızlandırma maliyetlerinin tablo 4.2 deki gibi olduğu düşünülürse ;

FAALİYET	HIZLANDIRMA MALİYETİ
(1,2)	2000
(2,3)	3000
(3,4)	4000
(4,5)	5000
(5,6)	6000
(6,7)	7000
(7,8)	8000
(8,9)	9000
(9,10)	10000

Tablo 4.2 Alternatif hızlandırma işlemi maliyetleri



Görüldüğü üzere hedeflenen süre olan 45 hafta beklenen sürea eşittir ve dolayısıyla herhangi bir hızlandırma işlemine gerek yoktur. Ancak projenin ilerleyen aşamalarında bir veya birkaç faaliyetin beklenen tamamlanma sürelerinden daha geç bir sürede tamamlanma ihtimali her süre söz konusudur. Böyle bir problemin gerçekleşmesi durumunda, projenin kalan kısmının programlanan şekilde sürdürülebilmesi için hızlandırma işleminin uygulaması gerekmektedir. Klasik yöntemden farklı olarak, planlama aşamasında, böyle bir problemin meydana gelme ihtimaline binaen, hızlandırma maliyeti en düşük olan  $X_{1,2}$  faaliyeti hızlandırma işlemine tabi tutulabilir. Böylece projenin ilerleyen safhalarında yapılacak bir hızlandırma işleminin maliyetinden çok daha düşük bir maliyetle problem aşılmış olacaktır.

## 5. BÖLÜM

### İstanbul Zeytinburnu Belediyesi Buz Pateni İnşaatı Projesinde PERT Tekniğinin Uygulanması

#### 5.1 Problemin Tanımı:

Çalışmanın bu bölümünde, ülkemizde sadece İzmit ve Ankara belediyelerine ait olmak üzere iki örneği olan, dolayısıyla proje bazında ülkemizde uygulaması çok nadir bulunan 'Olimpik Buz Pateni Pisti' projesinin tamamlanma süresi tahmin problemi ele alınmıştır.

Proje 33 farklı faaliyetten oluşmaktadır. 33 faaliyetin sadece 2'sinin tamamlanma süresi kesin olarak tahmin edilebilmekte kalan 31 faaliyetin tamamlanma süreleri belirsizlik içermektedir. Bu nedenden dolayı projenin tamamlanma süresinin kesin olarak belirlenebilmesi mümkün değildir. Bunun yanı sıra, projenin ihale şartlarında belirtilmiş olan hedef süre içerisinde tamamlanarak Zeytinburnu Belediyesi'ne teslim edilmesi aksi takdirde belirlenen teslim tarihinden itibaren gerçekleşen herhangi bir gecikme için, anlaşmaya varılan ihale bedeli üzerinden ceza indirimini yapılması söz konusudur.

Yukarıda belirtilen şartlar altında, projenin beklenen tamamlanma süresinin tahmini ve son teslim tarihine kadar projenin tamamlanması problemi çözülmeye çalışılmıştır. Proje teslim tarihinde meydana gelebilecek muhtemel bir gecikmenin önüne geçebilmek için geliştirilen alternatif şebeke programları ve söz konusu programların analizleri gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

Problemin çözümünde, proje şebekesini oluşturan faaliyetlerin tamamlanma sürelerinde fark edilebilir bir belirsizliğin söz konusu olduğu durumlarda, PERT tekniği uyarınca, faaliyetlerin ortalama zamanının ve varyansının belirlenmesi için öngörülen formüller ile tüm projenin beklenen tamamlanma süresi ve varyansının belirlenmesi için öngörülen formüller kullanılmıştır.

İlgili formüller 4. bölümde belirtildiği üzere  $t_e$  (faaliyetin ortalama tamamlanma süresi) ve varyansı ( $\sigma_{t_e}$ ) ile  $\mu$  (projenin beklenen tamamlanma süresi) ve varyansının ( $\sigma^2$ ) belirlenmesi için kullanılan 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 formülleridir. Kullanılan formüller hatırlanacak olursa:

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6} \quad ; \quad \sigma_{t_e} = \frac{b - a}{6}$$
$$\mu = \sum t_e \quad ; \quad \sigma^2 = \sum \sigma_e^2$$

Formüllerin uygulamaları WINQSB ve M.S.Project paket programları kullanılarak yapılmış, projenin zaman açısından planlaması ve programlanması aşamaları gerçekleştirilmiş ve projenin uygulama takvimi oluşturulmuştur.

## 5.2 Projenin Tanımı:

Ana bina 12 dönüm alan üzerine oturtulmuştur ve inşaat alanı yaklaşık 3000 m<sup>2</sup> dir. Ön kısımda buz pateni olacak yer, ortada fuaye alanı ve arka kısımda ise çeşitli spor dallarına hitap edebilecek 850 m<sup>2</sup>'lik bir spor alanından oluşmaktadır. Yaklaşık 1500 kişilik kapasiteye sahiptir. Proje 33 farklı faaliyetten oluşmuştur. Proje ve faaliyetlerle ilgili detaylı bilgi takip eden başlıklar altında verilmiştir.

## 5.3 Proje İçin Yapılan Kabuller

- Tablo 5.2' de belirtilmiş olduğu üzere, faaliyetlerin büyük kısmının tamamlanma süreleri ile ilgili kesin veriler yoktur. Kullanılan zaman değerleri, PERT tekniği uyarınca ilgili faaliyetin uygulama sürecinde sorumlu olan mühendisler tarafından, proje yöneticisinin koordinesi altında, sübjektif olarak tahmin edilmiştir.

- Çalışma süresi cumartesi günleri de dahil olmak üzere haftada 6 gündür. Günlük çalışma saati 08:00 –12:00 ile 13:00-19:00 saatleri arasında olmak üzere günlük 10 saattir. Bir ayda toplam 26 iş günü olduğu, dolayısıyla ayda  $10 \times 26 = 260$  çalışma saati olduğu kabul edilmiştir.

- Her bir faaliyetin toplam maliyeti, Bayındırlık Bakanlığının öngördüğü adam saat değerleri ile kaynak birim fiyatlarının ve bu iş kalemlerine ait 21 inşaat şirketinden alınan adam saat değerleri ile kaynak birim fiyatlarının ortalaması alınarak elde edilen değerler ışığında hesaplanmıştır. Faaliyetlerin maliyet hesaplarının detaylı açıklaması ve analizi çalışmanın kapsamı dışında olduğundan, ilgili maliyet değerlerinin Tablo 5.2'nin 5. sütununda her faaliyet için ayrı ayrı belirtilmesiyle yetinilmiştir. Projenin analizi boyunca bu değerler veri olarak kullanılmış ve hesaplamalara dahil edilmiştir.

#### **5.4 Proje İhalesinde Belirlenmiş Olan Şartlar ve Projenin Detayları**

Belediyenin beyan ettiği en geç teslim tarihi **01-12-2006** dır. Ayrıca belediye, yapılan anlaşmada, belirlenen teslim tarihinde meydana gelebilecek herhangi bir gecikme için belirlenen ihale bedelinden 30000 \$ indirim şartı koştur.

Projenin uygulama başlangıç tarihi **15.05.2006** olarak belirlenmiştir.

İstanbul Zeytinburnu belediyesinin ihale etmiş olduğu projenin detayları takip eden tablolarda ve ilgili açıklamalarda belirtilmiştir.

**Tablo 5.1 Kaynak Tablosu**

<b>KAYNAK</b>	<b>AÇIKLAMA</b>	<b>BİRİM</b>
Beton	200 dozlu demirsiz beton	M <sup>3</sup>
Beton1	Demirli(b160) betonu	M <sup>3</sup>
Beton2	Bs18(b225)betonu	M <sup>3</sup>
Boru	Dusey yagmur borusu montajı	Mt
Boya	Demir imalattan iki kat yağlı boya yap.	M <sup>2</sup>
Boya1	Badanasız sıva yuz.iki kat yagli boya su	M <sup>2</sup>
Buz	Beton buz döşenmesi	Mt
Dere	Catı deresi yap.mon	Mt
Dogramama	Isı yal.alu.dog.yap.	Kg
Dolgu	Temel içi stablize dolg. yap	M <sup>3</sup>
Duvar	Düşey del. Fab.tug.ile duv.yap	M <sup>2</sup>
Fuga1	Bina içinde duv.mad.dil fug yap.	Mt
İksa	Kazılara sık ara.ah.kap.ıksa yap.	M <sup>2</sup>
Kazı	El ile yum.sert.top.zem.gen der.kazı yap	M <sup>3</sup>
Kazı1	El ile yum.sert.kus.zem.gen der.kazı yap	M <sup>3</sup>
Kum	Temel tabakasına el ile kum çakıl serilmesi	M <sup>3</sup>
Mermer	Mermer denizlik yapılması	Mt
Ortu	Trapezodial alu.lev.ile çatı örtüsü yap	M <sup>2</sup>
Profil1	Münferit profil dem.haz. (>34 kg/m)	Ton
Sıva	Duz sıva	M <sup>2</sup>
Sokum	Trepezodial alu.çatı kap. sokum	M <sup>2</sup>
Sokum1	Uzay kafes sis.çel.kons.sokumu	M <sup>2</sup>
Tespit	Demir karkas ins. Yap. Yerine tes.	Ton
Uzay	Uzay kafes sistem çelik kons.yap.	M <sup>2</sup>
Yalıtım	Su yalıtımı	M <sup>2</sup>
Yalıtım1	Isı yalıtımı	M <sup>2</sup>
Yıkım1	Demirli demirsiz beton inş. yıkılması	M <sup>3</sup>

Kaynak tablosunda (Tablo 5.1) projedeki faaliyetleri gerçekleştirebilmek amacıyla kullanılan kaynaklar yer almaktadır. Bir faaliyet için gerekli kaynaklar bu tablodan seçilerek ilgili faaliyete atanır.

Tablo üç sütundan oluşmaktadır. Birinci sütun olan 'Kaynak' ta kaynak kodları; ikinci sütun 'Açıklama' da ise ilgili kaynağa ait açıklamalar yer alır. Her bir kaynağın birimi 'Birim' sütununda belirtilmiştir.

**Tablo 5.2 Faaliyet Tanımlama ve Kaynak Atama Tablosu**

<b>Faaliyet</b>	<b>Açıklama</b>	<b>Kaynak</b>	<b>Miktar</b>	<b>Toplam maliyet (\$)</b>
1	Temel Kazısı	Kazı	1686.00	9600
2	Temel Kazısı	Kazı1	1029.98	7500
3	Temel Altı Tabakası	Kum	18.00	1400
4	Temel Altı Tabakası	Kum	36.00	2800
5	Temel İksası	iksa	216.00	6500
6	Grobeton	Beton	95.00	2750
7	Grobeton	Beton	115.00	3400
8	Temel Betonu	Beton2	210.00	8803
9	Temel Betonu	Beton2	140.00	5869
10	Drenaj	Buz	53.00	1610
11	Drenaj	Buz	53.00	1610
12	Temel Yalıtımı	Yalıtım	217.00	2880
13	Temel Yalıtımı	Yalıtım	162.75	2160
14	Perde Betonu	Beton2	210.00	8800
15	Tabliye Betonu	Beton1	225.00	8100
16	Yıkım	Yıkım1	338.00	7500
17	Çatı Kaplaması Sokumu	Sokum	2968.00	5000
18	Uzay Çatı Sokumu	Sokum1	2964.00	14500
19	Temel İçi Stablize Dolgu	Dolgu	350.00	3500
20	Çelik Kolonlar	Profil1	540.00	247000
21	Çelik Bağlantı Elemanları	Tespit	24.00	19700
22	Dilatasyon Fugaları	Fuga1	948.00	9900
23	Duvar Yapımı	Duvar	1820.00	8100
24	Duvar Yalıtımı	Yalıtım1	720.00	5700
25	Demir Boyası	Boya	420.00	4200
26	Sıva	Sıva	1830.00	7800
27	Yağlı Boya	Boya1	917.00	9000
28	Mermer Isı (Denizlik)	Mermer	304.00	4200
29	Alüminyum Doğrama	Doğrama	2720.00	20500
30	Uzay Kafes Çatı Yapımı	Uzay	3390.00	196000
31	Çatı Deresi	Dere	219.00	2900
32	Çatı Kaplaması Yapımı	Ortu	3800.00	80600
33	Düşey Yağmur Borusu	Boru	104.00	2450

Faaliyet tanımlama ve kaynak atama tablosunda her bir faaliyete Kaynak Tablosu'nda verilmiş olan kaynaklardan hangilerinin ne miktarlarda atandığı gösterilir. İlk sütunda faaliyetlerin kodları, ikinci sütunda ise açıklamaları yer almaktadır.

Üçüncü sütun olan ‘kaynak’ sütununda, belirtilmiş olan faaliyetlere hangi kaynağın atanmış olduğu gösterilir. Dördüncü sütun olan “miktar” sütununda ise söz konusu kaynak atamasının ne miktarda yapıldığı kaynağın birimi cinsinden belirtilmiştir. Son sütun olan toplam maliyet sütunda ise faaliyetin toplam maliyeti gösterilmiştir.

**Tablo 5.3 PERT Tekniği Uyarınca Yapılan Faaliyet Tamamlanma Süresi Tahminleri**

Kod	Faaliyet tanımı	En iyimser tamamlanma süresi (a)gün	En olası tamamlanma süresi (m) gün	En kötümser tamamlanma süresi (b) gün
1	Temel kazısı	6	<b>12</b>	19
2	Temel kazısı2	4	<b>8</b>	12
3	Temel altı tabakası	1	<b>1</b>	1
4	Temel altı tabakası2	2	<b>2</b>	2
5	Temel iksası	3	<b>5</b>	8
6	Grobeton	1	<b>2</b>	3
7	Grobeton2	2	<b>3</b>	4
8	Temel betonu	5	<b>13</b>	19
9	Temel betonu2	4	<b>9</b>	15
10	Drenaj	1	<b>2</b>	3
11	Drenaj	1	<b>2</b>	3
12	Temel yalıtım	3	<b>4</b>	5
13	Temel yalıtım2	2	<b>3</b>	4
14	Perde betonu	6	<b>14</b>	22
15	Tabliye betonu	7	<b>18</b>	28
16	Yıkım	7	<b>15</b>	23
17	Çatı kaplaması sokumu	2	<b>4</b>	6
18	Uzay çatı sokumu	8	<b>14</b>	20
19	Temel içi stabilize dolgu	3	<b>5</b>	7
20	Çelik kolonlar	14	<b>24</b>	35
21	Çelik bağlantı elemanları	8	<b>14</b>	20
22	Dilatasyon fugaları	2	<b>4</b>	6
23	Duvar yapımı	9	<b>16</b>	24
24	Duvar yalıtımı	5	<b>7</b>	10
25	Demir boyası	5	<b>6</b>	8
26	Sıva	6	<b>14</b>	21
27	Yağlı boya	8	<b>16</b>	24
28	Mermer işi (denizlik)	4	<b>8</b>	11
29	Alüminyum doğrama	16	<b>23</b>	31
30	Uzay kafes çatı yapımı	9	<b>16</b>	27
31	Çatı deresi	3	<b>4</b>	6
32	Çatı kaplaması yapımı	4	<b>12</b>	19
33	Düşey yağmur borusu	2	<b>4</b>	6

Tablo 5.3 de her faaliyetin tamamlanma süreleri için PERT tekniği uyarınca gerçekleştirilen zaman tahminleri belirtilmiştir. 4. Bölümde anlatıldığı üzere, her bir faaliyet için ilgili faaliyetin uygulayıcısı yetkili (sorumlu) kişi tarafından subjektif olarak gerçekleştirilen üç farklı zaman tahmini söz konusudur. Tablo 5.3’ de üçüncü, dördüncü ve beşinci sütunlarda ilgili zaman tahminleri gösterilmiştir.

**Tablo 5.4 Faaliyetler Arası İlişki Tablosu**

<b>Faaliyet</b>	<b>Ardıl</b>	<b>İlişki Tipi</b>
1	3	Bitiş - Başlangıç
2	4	BB
2	5	BB
3	6	BB
5	7	BB
6	8	BB
7	9	BB
8	10	BB
9	11	BB
10	19	BB
10	20	BB
10	22	BB
11	14	BB
14	15	BB
15	13	BB
16	1	BB
16	2	BB
17	18	BB
18	16	BB
20	21	BB
21	12	BB
21	30	BB
23	24	BB
24	26	BB
24	28	BB
26	27	BB
28	29	BB
30	31	BB
31	32	BB
32	23	BB
32	25	BB
32	33	BB



Tablo 5.4 de faaliyetlerin arasındaki mantıksal ilişkiler gösterilmiştir. Faaliyetlerin mantıksal sıraya uygun olarak birbirini takip etmeleri, bu tabloda gösterilen ilişkilerin faaliyetler arasında sağlanması ile mümkündür. Tabloda yer alan sütunların içerikleri şu şekildedir:

İlk iki sütun birbirleri ile ilişki halinde olan faaliyetleri göstermektedir. “Faaliyet” sütununda yer alan faaliyetten sonra “ardıl” sütununda yer alan faaliyet gelmektedir. Yani “faaliyet” sütunundaki faaliyeti “ardıl” sütundaki faaliyet izler. Bu iki faaliyet arasındaki ilişki tipi ise son sütunda belirtilmiştir. “İlişki Tipi” sütunda belirtilmiş olan “Bitiş – Başlangıç (Finish to Start)” ifadesi, “Ardıl” sütunundaki faaliyetin başlayabilmesi için “faaliyet” sütunundaki faaliyetin tamamlanmış (bitmiş) olması gerektiğini gösterir.

#### 5.4 Proje Şebekesinin Planlanması ve Programlanması

Tablo 5.5 projenin PERT Tekniği ile Analizi, I aşama -Verilerin Programa Aktarımı

Activity Number	Activity Name	Immediate Predecessor (list number/name, separated by ',')	Optimistic time (a)	Most likely time (m)	Pessimistic time (b)
1	Temel Kazısı	Yıkım	6	12	19
2	Temel Kazısı	Yıkım	4	8	12
3	Tml. Alt. Tbk	Temel Kazısı	1	1	1
4	Tml. Alt. Tbk	Temel Kazısı	2	2	2
5	Temel iksası	Temel Kazısı	3	5	8
6	Grobeton	Tml. Alt. Tbk	1	2	3
7	Grobeton	Temel iksası	2	3	4
8	Temel Beton	Grobeton	5	13	19
9	Temel Beton	Grobeton	4	9	15
10	Drenaj	Temel Beton	1	2	3
11	Drenaj	Temel Beton	1	2	3
12	Tml. Yalıtım	Celik Bgl.El	3	4	5
13	Tml. Yalıtım	Tabliye Btn.	2	3	4
14	Perde Btn.	Drenaj	6	14	22
15	Tabliye Btn.	Perde Btn.	7	18	28
16	Yıkım	Uzay Ct.Skm	7	15	23
17	Catı Kpl.Skm		2	4	6
18	Uzay Ct.Skm	Catı Kpl.Skm	8	14	20
19	Tml. ic.Dlg	Drenaj	3	5	7
20	Celik Klnlr.	Drenaj	14	24	35
21	Celik Bgl.El	Celik Klnlr.	8	14	20
22	Dilatasyon F	Drenaj	2	4	6
23	Duvar Yapım	Catı Kplms	9	16	24
24	Duvar Ylt.	Duvar Yapım	5	7	10
25	Demir Boyası	Catı Kplms	5	6	8
26	Sıva	Duvar Ylt.	6	14	21
27	Yağlı Boya	Sıva	8	16	24
28	Mermer (Dn)	Duvar Ylt.	4	8	11
29	Almy. Doğr.	Mermer (Dn)	16	23	31
30	Uzay K.Ct. Y	Celik Bgl.El	9	16	27
31	Catı Deresi	Uzay K.Ct. Y	3	4	6
32	Catı Kplms	Catı Deresi	4	12	19
33	Dsy. Ygmr Br	Catı Kplms	2	4	6

I. aşamada, faaliyetlerin tamamlanma süreleri için yapılan 3' lü zaman tahminleri ve faaliyetler arası mantıksal ilişkiler WINQSB programına girilmiş ve analiz başlatılmıştır.

Tablo 5.5'de birinci sütun (activity name) ilgili faaliyeti, ikinci sütun ise (immediate Predecessor ) ilgili faaliyetten önce gerçekleşmesi gereken faaliyeti göstermektedir. Üçüncü, dördüncü ve beşinci sütunlara ise ilgili faaliyetin PERT tekniği uyarınca yapılmış olan 3'lü zaman tahminleri girilmiştir.

**Tablo 5.6 projenin PERT Tekniğiyle Analizi, II. Aşama – Verilerin İşlenmesi**

03-17-2006 10:37:10	Activity Name	On Critical Path	Activity Mean Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)	Activity Time Distribution	Standard Deviation
1	Temel Kazısı	Yes	12.1667	33	45.1667	33	45.1667	0	3-Time estimate	2.1667
2	Temel Kazısı	no	8	33	41	180	188	147	3-Time estimate	1.3333
3	Tml. Alt. Tbk	Yes	1	45.1667	46.1667	45.1667	46.1667	0	3-Time estimate	0
4	Tml. Alt. Tbk	no	2	45.1667	47.1667	186	188	140.8333	3-Time estimate	0
5	Temel iksası	no	5.1667	45.1667	50.3333	179.8333	185	134.6667	3-Time estimate	0.8333
6	Grobeton	Yes	2	46.1667	48.1667	46.1667	48.1667	0	3-Time estimate	0.3333
7	Grobeton	no	3	50.3333	53.3333	185	188	134.6667	3-Time estimate	0.3333
8	Temel Beton	Yes	12.6667	48.1667	60.8333	48.1667	60.8333	0	3-Time estimate	2.3333
9	Temel Beton	no	9.1667	48.1667	57.3333	178.8333	188	130.6667	3-Time estimate	1.8333
10	Drenaj	Yes	2	60.8333	62.8333	60.8333	62.8333	0	3-Time estimate	0.3333
11	Drenaj	no	2	60.8333	62.8333	186	188	125.1667	3-Time estimate	0.3333
12	Tml. Yalıtım	no	4	101	105	184	188	83	3-Time estimate	0.3333
13	Tml. Yalıtım	no	3	94.6667	97.6667	185	188	90.3333	3-Time estimate	0.3333
14	Perde Btn.	no	14	62.8333	76.8333	153.1667	167.1667	90.3333	3-Time estimate	2.6667
15	Tabliye Btn.	no	17.8333	76.8333	94.6667	167.1667	185	90.3333	3-Time estimate	3.5
16	Yıkım	Yes	15	18	33	18	33	0	3-Time estimate	2.6667
17	Çatı Kpl.Skm	Yes	4	0	4	0	4	0	3-Time estimate	0.6667
18	Uzay Ct.Skm	Yes	14	4	18	4	18	0	3-Time estimate	2
19	Tml. ic.Dİg	no	5	62.8333	67.8333	183	188	120.1667	3-Time estimate	0.6667
20	Celik Klnr.	Yes	24.1667	62.8333	87	62.8333	87	0	3-Time estimate	3.5
21	Celik Bgl.El	Yes	14	87	101	87	101	0	3-Time estimate	2
22	Dilatasyon F	no	4	62.8333	66.8333	184	188	121.1667	3-Time estimate	0.6667
23	Duvar Yapım	Yes	16.1667	133.6667	149.8333	133.6667	149.8333	0	3-Time estimate	2.5
24	Duvar Yİt.	Yes	7.1667	149.8333	157	149.8333	157	0	3-Time estimate	0.8333
25	Demir Boyası	no	6.1667	133.6667	139.8333	181.8333	188	48.1667	3-Time estimate	0.5
26	Sıva	no	13.8333	157	170.8333	158.1667	172	1.1667	3-Time estimate	2.5
27	Yağlı Boya	no	16	170.8333	186.8333	172	188	1.1667	3-Time estimate	2.6667
28	Mermer (Dn)	Yes	7.8333	157	164.8333	157	164.8333	0	3-Time estimate	1.1667
29	Almy. Doğr	Yes	23.1667	164.8333	188	164.8333	188	0	3-Time estimate	2.5
30	Uzay K.Ct. Y	Yes	16.6667	101	117.6667	101	117.6667	0	3-Time estimate	3
31	Çatı Deresi	Yes	4.1667	117.6667	121.8333	117.6667	121.8333	0	3-Time estimate	0.5
32	Çatı Kplms	Yes	11.8333	121.8333	133.6667	121.8333	133.6667	0	3-Time estimate	2.5
33	Dsy. Ygmr Br	no	4	133.6667	137.6667	184	188	50.3333	3-Time estimate	0.6667
	Project	Completion	Time	=	188	güns				
	Number of	Critical	Path(s)	=	1					

Tablo 5.6 da görüldüğü üzere, tüm faaliyetlerin ortalama tamamlanma süreleri (Activity Mean Time), en erken başlama (Earliest Start), en geç başlama (Latest Start), en erken bitirme (Earliest Finish) ve en geç bitirme (Latest Finish) zamanları, boşluk değerleri (Slack), standart sapmaları (Standart Deviation) ve projenin beklenen tamamlanma süresi (Project Completion Time) ilgili sütunlarda gösterilmiştir. Aynı zamanda hangi faaliyetlerin kritik yol üzerinde bulunduğu da belirlenmiştir.

Tablonun üçüncü sütunu (On Critical Path) ile kesişen satırların bazılarında belirtilmiş olan “yes” ibaresi, ilgili faaliyetin kritik yol üzerinde bulunduğunu ifade eder ve 9. sütunda da (Slack ; LS - ES) görülebileceği üzere, kritik faaliyetlerin boşluk değeri sıfırdır. Aynı sütunda kritik olmayan faaliyetlerin toplam boşluk değerleri de ilgili satırlarda gösterilmiştir. Buna göre kritik yolu oluşturan faaliyetler ve uygulama sıraları, projenin beklenen tamamlanma süresi ve standart sapması tablo Tablo 5.7’ de belirtilmiştir.

**Tablo 5.7 Projenin Kritik Yolunun, Beklenen Tamamlanma Süresinin & Varyansının Gösterimi**

03-17-2006	Critical Path 1
1	Çatı Kpl.Skm
2	Uzay Ct.Skm
3	Yıkım
4	Temel Kazısı
5	Tml. Alt. Tbk
6	Grobeton
7	Temel Beton
8	Drenaj
9	Celik Klınr.
10	Celik Bgl.El
11	Uzay K.Ct. Y
12	Çatı Deresi
13	Çatı Kplms
14	Duvar Yapım
15	Duvar Ylt.
16	Mermer (Dn)
17	Almy. Dogr
<b>Completion Time</b>	<b>188</b>
<b>Std. Dev.</b>	<b>8.26</b>

Analizin II. aşamasında, ilgili modellerin verilen değerler ışığında WINQSB programı vasıtasıyla çözümü sonucu, proje şebekesi programlanmış, projenin beklenen tamamlanma süresi 188 gün ve varyansı 8,26 gün olarak belirlenmiştir. II. Aşamanın son adımı olarak Tablo 5.6 ile 5.7 de belirtilen veriler ışığında şebeke diyagramı çizilmiştir.(EK 1)

Bu aşamadan sonra, “M.S.Project” paket programı kullanılarak, şebeke programı ışığında projenin uygulama safhası bir uygulama takvimi çerçevesinde yeniden programlanmalıdır.

Programa (M.S.Project) girilen veriler işlenmeden önce, uygulama safhasında geçerli olacak çalışma saatleri, haftalık ve aylık iş günü sayıları programa tanıtılır. (Tablo 5.8 – Tablo 5.9)

**Tablo 5.8 Günlük Çalışma saatlerinin programa girilmesi.**

**Change Working Time**

For: Standard (Project Calendar)

Set working time for selected date(s)

Legend:

- Working
- Nonworking
- Edited working hours

On this calendar:

- I Edits to a day of the week
- 31 Edits to an individual day

Select Date(s):

December 2006						
M	T	W	Th	F	S	S
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

Set selected date(s) to:

Use default

Nonworking time

Nondefault working time

From: 8:00 AM To: 12:00 PM

1:00 PM 7:00 PM

Buttons: Help, New..., Options..., OK, Cancel

Proje kabulleri başlığı altında belirtilmiş olduğu üzere, bir iş günü için belirlenen çalışma süresi 08:00 ila 19:00 saatleri arasında olmak üzere 10 saattir. Yine bahsedildiği gibi, haftalık çalışma süresi 6 iş günüdür ve Pazar günleri tatil olmak üzere aylık 26 iş günü olduğu kabul edilmiştir.

**Tablo 5.9 Günlük, haftalık ve aylık çalışma sürelerinin saat ve işgünü cinsinden programa girilmesi.**

**Define time units**

When scheduling, Project changes all time units to hours. However, you can define the number of hours that make up a day and a week and the number of days that make up a month for your project. For example, if you specify that 8 hours make a day, the Project calculates a two-day task as 16 hours.

It is recommended that you set the settings below to match the working times you entered in the previous step:

Hours per day:

Hours per week:

Days per month:

**Step 4 of 5**

➔ Save and go to Step 5

➔ Go back to Step 3

Task Name	Expected Duration	Optimistic Dur.	Most Likely Dur.	Pessimistic Dur.	Critical	Early Finish	Early Start	Late
1 Temel Kazısı	12.17 days?	10 days	12 days	15 days	Yes	Wed 7/19/06	Sat 7/1/06	Wed 7/19/06
2 Temel Kazısı	8 days?	6 days	8 days	10 days	No	Thu 7/13/06	Sat 7/1/06	Sat 11/1/06
3 Tml. Alt. Tbk	1 day?	1 day	1 day	1 day	Yes	Thu 7/20/06	Wed 7/19/06	Thu 7/20/06
4 Tml. Alt. Tbk	2 days?	2 days	2 days	2 days	No	Sat 7/15/06	Thu 7/13/06	Mon 2/1/06
5 Temel İksası	5.17 days?	4 days	5 days	7 days	No	Thu 7/20/06	Thu 7/13/06	Sat 1/1/06
6 Grobeton	2 days?	2 days	2 days	2 days	Yes	Mon 7/24/06	Thu 7/20/06	Mon 7/24/06
7 Grobeton	3 days?	3 days	3 days	3 days	No	Tue 7/25/06	Thu 7/20/06	Thu 1/1/06
8 Temel Beton	12.67 days?	9 days	13 days	15 days	Yes	Fri 8/11/06	Mon 7/24/06	Fri 8/11/06
9 Temel Beton	9.17 days?	7 days	9 days	12 days	No	Mon 8/7/06	Tue 7/25/06	Wed 1/1/06
10 Drenaj	2 days?	1 day	2 days	3 days	Yes	Mon 8/14/06	Fri 8/11/06	Mon 8/14/06
11 Drenaj	2 days?	1 day	2 days	3 days	No	Thu 8/10/06	Mon 8/7/06	Sat 12/1/06
12 Tml. Yalıtım	4 days?	4 days	4 days	4 days	No	Sat 10/14/06	Mon 10/9/06	Mon 2/1/06
13 Tml. Yalıtım	3 days?	3 days	3 days	3 days	No	Fri 9/29/06	Tue 9/26/06	Mon 2/1/06
14 Perde Etn.	14 days?	10 days	14 days	18 days	No	Wed 8/30/06	Thu 8/10/06	Fri 1/1/06
15 Tabliye Btn.	17.83 days?	14 days	18 days	21 days	No	Tue 9/26/06	Wed 8/30/06	Thu 1/1/06
16 Yıkım	15 days?	10 days	15 days	20 days	Yes	Sat 7/1/06	Fri 6/9/06	Sat 7/1/06
17 Çatı Kpl.Skm	4 days?	4 days	4 days	4 days	Yes	Fri 5/19/06	Mon 5/15/06	Fri 5/19/06
18 Uzay Ct.Skm	14 days?	12 days	14 days	16 days	Yes	Fri 6/9/06	Sat 5/20/06	Fri 6/9/06
19 Tml. İc.Dİg	5 days?	5 days	5 days	5 days	No	Mon 8/21/06	Mon 8/14/06	Mon 2/1/06
20 Çelik Klınr.	24.17 days?	21 days	24 days	28 days	Yes	Mon 9/18/06	Mon 8/14/06	Mon 9/18/06
21 Çelik Bgl.El	14 days?	12 days	14 days	16 days	Yes	Mon 10/9/06	Mon 9/18/06	Mon 1/1/06
22 Dilatasyon F	4 days?	3 days	4 days	5 days	No	Sat 8/19/06	Mon 8/14/06	Mon 2/1/06
23 Duvar Yapım	16.17 days?	13 days	16 days	20 days	Yes	Tue 12/19/06	Sat 11/25/06	Tue 1/1/06
24 Duvar Yıt.	7.17 days?	6 days	7 days	9 days	Yes	Fri 12/29/06	Tue 12/19/06	Fri 12/29/06
25 Demir Boyası	6.17 days?	5 days	6 days	8 days	No	Mon 12/4/06	Sat 11/25/06	Mon 2/1/06
26 Siva	13.83 days?	10 days	14 days	17 days	No	Thu 1/18/07	Fri 12/29/06	Fri 1/1/07
27 Yanlı Pnva	16 days?	13 days	16 days	19 days	No	Sat 2/10/07	Thu 1/18/07	Mon 2/1/07

Çalışma süreleri programa tanıtdıldıktan sonra, programa girilen veriler uyarınca projenin programlanması işlemi gerçekleştirilir ve uygulama takvimi program tarafından oluşturulur. Bu işlem esnasında uygulama başlangıç tarihi, daha önce de belirtildiği gibi **15.05.2006** olarak kabul edilmiştir.

**Tablo 5.10 Şebekenin Yeniden Programlanması ve Uygulama Takviminin Oluşturulması**

Microsoft Project - buzpateni - zeytinbumu.mpp

File Edit View Insert Format Tools Project Collaborate Window Help

Almy. Dogr

Task Name	Expected Duration	Optimistic Dur.	Most Likely Dur.	Pessimistic Dur.	Critical	Early Finish	Early Start	Late Finish	Late Start
6 Grobeton	2 days?	1 day	2 days	3 days	Yes	Mon 7/10/06	Fri 7/7/06	Mon 7/10/06	Fri 7/7/06
7 Grobeton	3 days?	2 days	3 days	4 days	No	Tue 7/11/06	Fri 7/7/06	Thu 10/26/06	Tue 10/24/06
8 Femel Beton	12.67 days?	5 days	13 days	19 days	Yes	Mon 7/24/06	Mon 7/10/06	Mon 7/24/06	Mon 7/10/06
9 Femel Beton	9.17 days?	4 days	9 days	15 days	No	Fri 7/21/06	Tue 7/11/06	Tue 11/7/06	Fri 10/27/06
10 Drenaj	2 days?	1 day	2 days	3 days	Yes	Wed 7/26/06	Mon 7/24/06	Wed 7/26/06	Mon 7/24/06
11 Drenaj	2 days?	1 day	2 days	3 days	No	Mon 7/24/06	Fri 7/21/06	Thu 11/9/06	Tue 11/7/06
12 Tml. Yalitim	4 days?	3 days	4 days	5 days	No	Wed 9/13/06	Sat 9/9/06	Tue 12/19/06	Fri 12/15/06
13 Tml. Yalitim	3 days?	2 days	3 days	4 days	No	Sat 9/2/06	Wed 8/30/06	Tue 12/19/06	Sat 12/16/06
14 Perde Btn.	14 days?	6 days	14 days	22 days	No	Wed 8/9/06	Mon 7/24/06	Sat 11/25/06	Thu 11/9/06
15 Tabliye Btn.	17.83 days?	7 days	18 days	28 days	No	Wed 8/30/06	Wed 8/9/06	Fri 12/15/06	Sat 11/25/06
16 Yikim	15 days?	7 days	15 days	23 days	Yes	Wed 6/21/06	Mon 6/5/06	Wed 6/21/06	Mon 6/5/06
17 Catı Kpl.Skm	4 days?	2 days	4 days	6 days	Yes	Thu 5/18/06	Mon 5/15/06	Thu 5/18/06	Mon 5/15/06
18 Jzay Ct.Skir	14 days?	8 days	14 days	20 days	Yes	Sat 6/3/06	Fri 5/19/06	Sat 6/3/06	Fri 5/19/06
19 Tml. ic.Dlg	5 days?	3 days	5 days	7 days	No	Tue 8/1/06	Wed 7/26/06	Tue 12/19/06	Thu 12/14/06
20 Celik Klinr.	24.17 days?	14 days	24 days	35 days	Yes	Wed 8/23/06	Wed 7/26/06	Wed 8/23/06	Wed 7/26/06
21 Celik Bgl.El	14 days?	8 days	14 days	20 days	Yes	Fri 9/8/06	Thu 8/24/06	Fri 9/8/06	Thu 8/24/06
22 Dilatasyon F	4 days?	2 days	4 days	6 days	No	Mon 7/31/06	Wed 7/26/06	Tue 12/19/06	Fri 12/15/06
23 Juvar Yapir	16.17 days?	9 days	16 days	24 days	Yes	Sat 11/4/06	Tue 10/17/06	Tue 11/4/06	Fri 10/17/06
24 Duvar Yit.	7.17 days?	5 days	7 days	10 days	Yes	Mon 11/13/06	Sat 11/4/06	Mon 11/13/06	Sat 11/4/06
25 Iemir Boyas	6.17 days?	5 days	6 days	8 days	No	Tue 10/24/06	Tue 10/17/06	Tue 12/19/06	Tue 12/12/06
26 Siva	13.83 days?	6 days	14 days	21 days	No	Wed 11/29/06	Tue 11/14/06	Thu 11/30/06	Wed 11/15/06
27 Yaqli Boya	16 days?	8 days	16 days	24 days	No	Mon 12/18/06	Wed 11/29/06	Tue 12/19/06	Fri 12/1/06
28 Iermer (Dn)	7.83 days?	4 days	8 days	11 days	Yes	Wed 11/22/06	Tue 11/14/06	Wed 11/22/06	Tue 11/14/06
29 Almy. Dogr	23.17 days?	16 days	23 days	31 days	Yes	Tue 12/19/06	Wed 11/22/06	Tue 12/19/06	Wed 11/22/06
30 Jzay K.Ct. Y	16.67 days?	9 days	16 days	27 days	Yes	Thu 9/28/06	Sat 9/9/06	Thu 9/28/06	Sat 9/9/06
31 Catı Deresi	4.17 days?	3 days	4 days	6 days	Yes	Tue 10/3/06	Thu 9/28/06	Tue 10/3/06	Thu 9/28/06
32 Catı Kplms	11.83 days?	4 days	12 days	19 days	Yes	Tue 10/17/06	Tue 10/3/06	Tue 10/17/06	Tue 10/3/06
33 İsv. Yqmı B	4 days?	2 days	4 days	6 days	No	Sat 10/21/06	Tue 10/17/06	Tue 12/19/06	Fri 12/15/06

Proje şebekesi uygulama takvimi çerçevesinde yeniden programlanmıştır ve şebekenin son faaliyeti olan 29. faaliyet (Alüminyum Doğrama) 'in tamamlanma zamanı dolayısıyla projenin bitim tarihi **19-12-2006** olarak belirlenmiştir.

Proje ihalesinde belediye tarafından şart koşulan teslim tarihinin **01.12.2006** olduğu hatırlanırsa, programlanan süre ve hedef süre arasında 17 işgünü fark olduğu görülecektir. (19.12.2006 ve 30.11.2006 tarihleri arasında haftanın çalışılmayan günleri (pazar) çıkarıldığında 17 işgünü bulunmaktadır.)

Dolayısıyla hedeflenen süre  $188 - 17 = 171$  işgününe tekabül eder. 4. bölümde anlatıldığı üzere, projenin beklenen tamamlanma süresinin merkezi limit teoremi uyarınca normal dağıldığı varsayımı altında, hedeflenen sürenin gerçekleşme ihtimali belirlenebilmektedir.

**Tablo 5.11 Projenin Hedeflenen Sürede Tamamlanma Olasılığının Analizi**

The following probability calculation assumes that activities are independent and so are paths. It also assumes that the project has a large enough number of activities to assume the normal distribution, which is used to estimate the probability of finishing a critical path in the desired time. Therefore, when the activities are not independent or the number of activities is not large, the analysis may be biased.

Completion time based on mean/expected time: 188 gün

Number of critical paths: 1

Desired completion time in gün: 171

Critical Path:	Standard Dev.:	Probability:
Catı Kpl.Skm --> Uzay Ct.Skm --> Y	3.7268	0.0000

Buttons: Compute Probability, Cancel, Print, Help

#### 5.4.1 Projenin Hızlandırılması

Tablo 5.11 de görüldüğü üzere, projenin hedef sürede tamamlanma ihtimali %0'dır. Dolayısıyla normal program altında projenin istenen sürede tamamlanamayacağı ve 17 işgününe tekabül eden bir hızlandırma işlemine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Bu nedenle projenin tamamlanma süresi  $188 - 17 = 171$  iş günü olacak şekilde hızlandırma işlemi gerçekleştirilmeli ve hızlandırılmış program oluşturulmalıdır.



**Tablo 5.12 Hızlandırma İşleminin Uygulanabileceği Faaliyetler ve birim hızlandırma maliyetleri.**

Faaliyet	Açıklama	Te	Hızlandırılabilir	birim hızlandırma maliyeti \$
			Süre	
1	Temel Kazısı	12.17	3	1400
2	Temel Kazısı	8	2	1100
3	Temel Altı Tabakası	1	x	x
4	Temel Altı Tabakası	2	x	x
5	Temel İksası	5.17	x	x
6	Grobeton	2	x	x
7	Grobeton	3	x	x
8	Temel Betonu	12.67	3	1450
9	Temel Betonu	9.17	2	1450
10	Drenaj	2	x	x
11	Drenaj	2	x	x
12	Temel Yalıtımı	4	1	750
13	Temel Yalıtımı	3	1	750
14	Perde Betonu	14	3	1400
15	Tabliye Betonu	17.83	4	1250
16	Yıkım	15	4	1300
17	Çatı Kaplaması Sokumu	4	x	x
18	Uzay Çatı Sokumu	14	3	1500
19	Temel İçi Stablize Dolgu	5	2	750
20	Çelik Kolonlar	24.17	6	2000
21	Çelik Bağlantı Elemanları	14	4	1600
22	Dilatasyon Fugaları	4	1	1300
23	Duvar Yapımı	16.17	4	1200
24	Duvar Yalıtımı	7.17	2	700
25	Demir Boyası	6.17	2	700
26	Sıva	13.83	3	750
27	Yağlı Boya	16	3	750
28	Mermer Isı (Denizlik)	7.83	4	900
29	Alüminyum Doğrama	23.17	6	1750
30	Uzay Kafes Çatı Yapımı	16.67	3	2100
31	Çatı Deresi	4.17	x	x
32	Çatı Kaplaması Yapımı	11.83	3	900
33	Düşey Yağmur Borusu	4	x	x

Tablo 5.12 de hızlandırma işlemini uygulanabileceği faaliyetler ve bu faaliyetlerin hızlandırılabilmesi için maksimum süreleri ile birim hızlandırma maliyetleri gün cinsinden gösterilmiştir.

3. bölümde “zaman-maliyet eğrileri” başlığı altında anlatıldığı üzere, hızlandırma işleminde zaman- maliyet ilişkisinin doğrusal bir yapı sergilediği kabul edilmekte ve bu kabul uyarınca birim hızlandırma maliyetleri hesaplamalarda kullanılmaktadır. Hızlandırma işlemi uygulanacak olan faaliyetler belirlenmesi tablo 5.12 ışığında gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 5.13 Hızlandırma İşleminin Uygulanacağı Faaliyetler ve Bu Faaliyetlerin Hızlandırılan Süre ile Toplam Hızlandırma Maliyetlerinin Gösterimi.**

Hızlandırılma Sırası	Faaliyet Kodu	Birim Hızlandırma Maliyeti	Hızlandırma Süresi	Toplam Hızlandırma Maliyeti
1	24	700 \$	2	1400 \$
2	32	900 \$	3	2700 \$
3	23	1200 \$	5	6000 \$
4	16	1300 \$	4	5200 \$
5	1	1400 \$	3	4200 \$

Hızlandırma işlemi uygulanacak olan faaliyetler minimum maliyet koşulu çerçevesinde seçilmiş ve tablo 5.13 da gösterilmiştir. Tabloda görülebileceği üzere hızlandırma işlemi, birim hızlandırma maliyeti en küçük olan faaliyetten daha büyük olan faaliyete doğru, toplamda oluşacak maliyeti minimize edecek şekilde gerçekleştirilecektir.

Öte yandan tablo 5.13 deki verilere göre, hızlandırma işleminin uygulandığı 3. faaliyetin (faaliyet kodu: 23) birim hızlandırma maliyeti, yine kritik yol üzerinde bulunan 28 kodlu faaliyetin birim hızlandırma maliyetinden daha fazladır (900 \$ < 1200

\$ ) ve teorik olarak hızlandırma işlemi için 28 kodlu faaliyetin 23 kodlu faaliyetten önce tercih edilmesi gerekmektedir.

Ancak, 28 kodlu faaliyetin üzerinde hızlandırma işlemi uygulanması halinde, şebekenin kritik yolu değişecek ve istenilen hızlandırılmış programa ulaşabilmek için 26 ve 27 kodlu faaliyetlere de hızlandırma işlemi uygulanması ihtiyacı meydana gelecektir. Çünkü tablo 5.6 'da ve EK I deki proje şebekesinde görülebileceği üzere, normal programın kritik yolunun, son iki faaliyeti olan 28 ve 29 kodlu faaliyetlere paralel gerçekleşen 26 ve 27 kodlu faaliyetlerin, boşluk zaman değerleri 1,67' şer gündür. Yani bu iki faaliyet kritik olmaya çok müsait faaliyetlerdir ve 28 kodlu faaliyette uygulanacak bir hızlandırma işlemi sonucu kritik hale geçmeleri kuvvetle muhtemeldir.

Aslında , 26 ve 27 kodlu faaliyetlerin boşluk değerlerinin toplam 3,34 gün olması (1,67 + 1,67) ve 28 kodlu faaliyete 3,34 değerinden daha düşük bir değer için hızlandırma işlemi uygulanması, kritik yolu teorik olarak değiştirmeyecektir.

Ancak ; 4. bölümde "PERT 'de Hızlandırma İşlemi Analizi" başlığı altında anlatıldığı ve örnek uygulamaları verildiği üzere; Zaman tahminlerinde belirsizliğin olduğu durumlarda şebekede hızlandırma işlemi uygulanırken, klasik yöntemleri birebir uygulamak yerine projenin uygulama sürecinde oluşabilecek 'beklenmeyen' durumları öngörüp alternatif tedbirler almak gerekmektedir. Bu nedenden ötürü 28 kodlu faaliyetin yerine 23 kodlu faaliyetin hızlandırma işlemine tabi tutulması uygun bulunmuştur. Bu şekilde şebekenin son iki faaliyetinin uygulanması sürecine kadar meydana gelebilecek beklenmeyen bir durum sonucu veya beklenen değer olasılıksal yapısı gereği gerçekleşmesi muhtemel gecikmelerin neden olabileceği olumsuz durum ortadan kaldırılmış olacaktır.

Tablo 5.13 da gösterilen hızlandırma işlemin uygulanacağı faaliyetler, hızlandırılma süreleri ve hızlandırma maliyetleri WINQSB programında tanımlandıktan sonra hızlandırma işlemine geçilir.

Tablo 5.14 Hızlandırma İşleminin WinQSB programı vasıtasıyla gerçekleştirilmesi ve Hızlandırılmış Programın Belirlenmesi; I. Aşama; Verilerin Programa Girilmesi

Activity Number	Activity Name	Immediate Predecessor (list number/name, separated by ',')	Normal Time	Crash Time	Normal Cost	Crash Cost
1	Temel Kazısı	Yıkım	12.17	9.17	9600	13800
2	Temel Kazısı	Yıkım	8	8	7500	7500
3	Tml. Alt. Tbk	Temel Kazısı	1	1	1400	1400
4	Tml. Alt. Tbk	Temel Kazısı	2	2	2800	2800
5	Temel iksası	Temel Kazısı	5.17	5.17	6500	6500
6	Grobeton	Tml. Alt. Tbk	2	2	2750	2750
7	Grobeton	Temel iksası	3	3	3400	3400
8	Temel Beton	Grobeton	12.67	12.67	8803	8803
9	Temel Beton	Grobeton	9.17	9.17	5869	5869
10	Drenaj	Temel Beton	2	2	1610	1610
11	Drenaj	Temel Beton	2	2	1610	1610
12	Tml. Yalıtım	Celik Bgl.El	4	4	2880	2880
13	Tml. Yalıtım	Tabliye Btn.	3	3	2160	2160
14	Perde Btn.	Drenaj	14	14	8800	8800
15	Tabliye Btn.	Perde Btn.	17.83	17.83	8100	8100
16	Yıkım	Uzay Ct.Skm	15	11	7500	12700
17	Catı Kpl.Skm		4	4	5000	5000
18	Uzay Ct.Skm	Catı Kpl.Skm	14	14	14500	14500
19	Tml. ic.Dlg	Drenaj	5	5	3500	3500
20	Celik Klinr.	Drenaj	24.17	24.17	247000	247000
21	Celik Bgl.El	Celik Klinr.	14	14	19700	19700
22	Dilatasyon F	Drenaj	4	4	9900	9900
23	Duvar Yapım	Catı Kplms	16.17	11.17	9100	14100
24	Duvar Ylt.	Duvar Yapım	7.17	5.17	5700	7100
25	Demir Boyası	Catı Kplms	6.17	6.17	4200	4200
26	Sıva	Duvar Ylt.	13.83	13.83	7800	7800
27	Yağlı Boya	Sıva	16	16	9000	9000
28	Mermer (Dn)	Duvar Ylt.	7.83	7.83	4200	4200
29	Almy. Dogr	Mermer (Dn)	23.17	23.17	20500	20500
30	Uzay K.Ct. Y	Celik Bgl.El	16.67	16.67	196000	196000
31	Catı Deresi	Uzay K.Ct. Y	4.17	4.17	2900	2900
32	Catı Kplms	Catı Deresi	11.83	8.83	80600	83300
33	Dsy. Ygmr Br	Catı Kplms	4	4	2450	2450

Tablo 5.14 da görüldüğü üzere veriler programa girilmiştir. İlk iki sütun faaliyetlerin adlarını ve birbirleri arasındaki mantıklı ilişkiyi sıralamasını ifade eder.

3. sütün da (normal time) faaliyetlerin, şebekenin normal programında elde edilen  $T_e$  ortalama zaman değerleri yer almaktadır.

Burada dikkat edilecek husus, 4. bölümde de anlatıldığı üzere , PERT' de hızlandırma işleminin uygulama safhasında şebekenin olasılıksal yapısının deterministlik bir yapıya indirgendiğidir. Yani  $T_e$  zaman değerleri hızlandırma işleminin uygulama sürecinde deterministlik bir veri olarak kabul edilir ve hızlandırma işleminin algoritmasında bu şekliyle kullanılır.

Tablonun 4. sütununda (crash time), tablo 5.14'da gösterilen hızlandırma işleminin uygulanacağı faaliyetler ve bu faaliyetlerin hızlandırılma süreleri ışığında belirlenmiş olan hızlandırılmış süreler gösterilmiştir. Örneğin, 3 günlük bir hızlandırma işlemine tabi tutulacak olan 1 kodlu faaliyetin normal süresi 12.17 gün iken hızlandırılmış süresi (crash time) 9.17 gün olarak programa girilmiştir.

Tablonun 5. sütununa (Normal Cost), Tablo 5.2'nin 5. sütunu da her bir faaliyet için verilmiş olan normal maliyetler girilmiştir.

Tablonun 6. sütununda (Crash Cost), ilgili faaliyetlerin hızlandırma işlemine tabi tutulduktan sonra oluşan hızlandırılmış maliyetleri yer almaktadır. Bu değerler tablo 5.13 de verilen bilgiler ışığında, faaliyetlerin birim hızlandırma maliyetleri ve hızlandırılma sürelerinin çarpımı sonucu her bir faaliyet için elde edilen toplam hızlandırma maliyetinin, faaliyetin normal maliyetine eklenmesi sonucu elde edilmiştir.

Veriler Tablo 5.14 de gösterildiği şekilde programa girildikten sonra hızlandırma işlemi ilgili faaliyetler için gerçekleştirilir ve proje şebekesinin hızlandırılmış programı elde edilir.

**Tablo 5.15 Hızlandırma İşleminin WinQSB programı vasıtasıyla gerçekleştirilmesi ve Hızlandırılmış Programın Belirlenmesi; II. Aşama – Verilerin İşlenmesi**

03-05-2006 18:19:46	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)	▲
1	Temel Kazısı	Yes	9.17	29	38.17	29	38.17	0	
2	Temel Kazısı	no	8	29	37	163.0200	171.0200	134.0200	
3	Tml. Alt. Tbk	Yes	1	38.17	39.17	38.17	39.17	0	
4	Tml. Alt. Tbk	no	2	38.17	40.17	169.0200	171.0200	130.85	
5	Temel iksası	no	5.17	38.17	43.34	162.85	168.0200	124.68	
6	Grobeton	Yes	2	39.17	41.17	39.17	41.17	0	
7	Grobeton	no	3	43.34	46.34	168.0200	171.0200	124.68	
8	Temel Beton	Yes	12.67	41.17	53.84	41.17	53.84	0	
9	Temel Beton	no	9.17	41.17	50.34	161.85	171.0200	120.68	
10	Drenaj	Yes	2	53.84	55.84	53.84	55.84	0	
11	Drenaj	no	2	53.84	55.84	169.0200	171.0200	115.18	
12	Tml. Yalıtım	no	4	94.01	98.01	167.0200	171.0200	73.01	
13	Tml. Yalıtım	no	3	87.67	90.67	168.0200	171.0200	80.35	
14	Perde Btn.	no	14	55.84	69.84	136.1900	150.1900	80.35	
15	Tabliye Btn.	no	17.83	69.84	87.67	150.1900	168.0200	80.35	
16	Yıkım	Yes	11	18	29	18	29	0	
17	Catı Kpl.Skm	Yes	4	0	4	0	4	0	
18	Uzay Ct.Skm	Yes	14	4	18	4	18	0	
19	Tml. ic.Dlg	no	5	55.84	60.84	166.0200	171.0200	110.18	
20	Celik Klnlr.	Yes	24.17	55.84	80.01	55.84	80.01	0	
21	Celik Bgl.El	Yes	14	80.01	94.01	80.01	94.01	0	
22	Dilatasyon F	no	4	55.84	59.84	167.0200	171.0200	111.18	
23	Duvar Yapım	Yes	11.17	123.68	134.85	123.68	134.85	0	
24	Duvar Ylt.	Yes	5.17	134.85	140.0200	134.85	140.0200	0	
25	Demir Boyası	no	6.17	123.68	129.85	164.85	171.0200	41.17	
26	Sıva	no	13.83	140.0200	153.85	141.1900	155.0200	1.17	
27	Yaglı Boya	no	16	153.85	169.85	155.0200	171.0200	1.17	
28	Mermer (Dn)	Yes	7.83	140.0200	147.85	140.0200	147.85	0	
29	Almy. Dogr	Yes	23.17	147.85	171.0200	147.85	171.0200	0	
30	Uzay K.Ct. Y	Yes	16.67	94.01	110.68	94.01	110.68	0	
31	Catı Deresi	Yes	4.17	110.68	114.85	110.68	114.85	0	
32	Catı Kplms	Yes	8.83	114.85	123.68	114.85	123.68	0	
33	Dsy. Ygmr Br	no	4	123.68	127.68	167.0200	171.0200	43.34	
	Project	Completion	Time	=	171.02	days			
	Total	Cost of	Project	=	\$741,832	(Cost on	CP =	\$655,363)	

Tablo 5.15 de görülebileceği üzere, hızlandırma işlemi uygulanmış ve şebekenin hızlandırılmış programı elde edilmiştir. Hızlandırılmış program için, her bir faaliyetin en erken / geç başlama ve bitme süreleri, boşluk değerleri belirtilmiş ve projenin yeni tamamlanma süresi ve toplam maliyeti belirtilmiştir.

Bu veriler ışığında hızlandırılmış program için projenin şebeke diyagramı tekrar çizilmiş ve ilgili veriler diyagram üzerinde belirtilmiştir. (EKII.)

**Tablo 5.16 Hızlandırılmış programın Kritik yolu ve tamamlanma süresi.**

03-05-2006	Critical Path 1
1	Çatı Kpl.5km
2	Uzay Ct.5km
3	Yıkım
4	Temel Kazısı
5	Tml. Alt. Tbk
6	Grobeton
7	Temel Beton
8	Drenaj
9	Celik Klnlr.
10	Celik Bgl.El
11	Uzay K.Ct. Y
12	Çatı Deresi
13	Çatı Kplms
14	Duvar Yapım
15	Duvar Ylt.
16	Mermer (Dn)
17	Almy. Doğr
Completion Time	171.02

Tablo 5.16' de hızlandırma işlemi sonucu elde edilen hızlandırılmış programın kritik faaliyetleri ve kritik yolun tamamlanma süresi görülmektedir.

**Tablo 5.17 Faaliyetlerin Hızlandırılmış Programda Belirtilen Tamamlanma Süreleri.**

<b>Faaliyet</b>	<b>Açıklama</b>	<b>Hızlandırılmış Program-Faaliyet Tamamlanma süreleri (gün)</b>
1	Temel Kazısı	9.17
2	Temel Kazısı	8
3	Temel Altı Tabakası	1
4	Temel Altı Tabakası	2
5	Temel İksası	5.17
6	Grobeton	2
7	Grobeton	3
8	Temel Betonu	12.67
9	Temel Betonu	9.17
10	Drenaj	2
11	Drenaj	2
12	Temel Yalıtımı	4
13	Temel Yalıtımı	3
14	Perde Betonu	14
15	Tabliye Betonu	17.83
16	Yıkım	11
17	Çatı Kaplaması Sokumu	4
18	Uzay Çatı Sokumu	14
19	Temel İçi Stabilize Dolgu	5
20	Çelik Kolonlar	24.17
21	Çelik Bağlantı Elemanları	14
22	Dilatasyon Fugaları	4
23	Duvar Yapımı	11.17
24	Duvar Yalıtımı	5.17
25	Demir Boyası	6.17
26	Sıva	13.83
27	Yağlı Boya	16
28	Mermer Isı (Denizlik)	7.83
29	Alüminyum Doğrama	23.17
30	Uzay Kafes Çatı Yapımı	16.67
31	Çatı Deresi	4.17
32	Çatı Kaplaması Yapımı	8.83
33	Düşey Yağmur Borusu	4



Analizin son aşaması olarak, Tablo 5.17 de gösterilmiş olan, faaliyetlerin hızlandırılmış süreleri MS.Project programına girilerek, hızlandırılmış programın uygulama takvim inine dönüştürülmesi işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo5.18 Hızlandırılmış Programın Uygulama Takvimine Aktarılması (uygulanması)

Task Name	Expected Duration	Critical	Early Finish	Early Start	Late Finish	Late Start	Total Slack
1 Temel Kazısı	9.17 days	Yes	Wed 6/28/06	Sat 6/17/06	Wed 6/28/06	Sat 6/17/06	0 days
2 Temel Kazısı	8 days	No	Mon 6/26/06	Sat 6/17/06	Wed 9/27/06	Mon 9/18/06	79.85 days
3 Tml. Alt. Tblk	1 day	Yes	Thu 6/29/06	Wed 6/28/06	Thu 6/29/06	Wed 6/28/06	0 days
4 Tml. Alt. Tblk	2 days	No	Wed 6/28/06	Tue 6/27/06	Thu 11/30/06	Tue 11/28/06	132.02 days
5 Temel İksası	5.17 days	No	Mon 7/3/06	Tue 6/27/06	Wed 10/4/06	Wed 9/27/06	79.85 days
6 Grobeton	2 days	Yes	Sat 7/1/06	Thu 6/29/06	Sat 7/1/06	Thu 6/29/06	0 days
7 Grobeton	3 days	No	Thu 7/6/06	Mon 7/3/06	Sat 10/7/06	Wed 10/4/06	79.85 days
8 Temel Beton	12.67 days	Yes	Sat 7/15/06	Sat 7/1/06	Sat 7/15/06	Sat 7/1/06	0 days
9 Temel Beton	9.17 days	No	Mon 7/17/06	Thu 7/6/06	Wed 10/18/06	Sat 10/7/06	79.85 days
10 Drenaj	2 days	Yes	Tue 7/18/06	Sat 7/15/06	Tue 7/18/06	Sat 7/15/06	0 days
11 Drenaj	2 days	No	Wed 7/19/06	Mon 7/17/06	Fri 10/20/06	Wed 10/18/06	79.85 days
12 Tml. Yalıtım	4 days	No	Wed 9/6/06	Fri 9/1/06	Thu 11/30/06	Sat 11/25/06	73.01 days
13 Tml. Yalıtım	3 days	No	Tue 8/29/06	Fri 8/25/06	Thu 11/30/06	Mon 11/27/06	79.85 days
14 Perde Btn.	14 days	No	Fri 8/4/06	Wed 7/19/06	Mon 11/6/06	Fri 10/20/06	79.85 days
15 Tabliye Btn.	17.83 days	No	Fri 8/25/06	Fri 8/4/06	Mon 11/27/06	Mon 11/6/06	79.85 days
16 Yıkım	11 days	Yes	Fri 6/16/06	Mon 6/5/06	Fri 6/16/06	Mon 6/5/06	0 days
17 Çatı Kpl.Skm	4 days	Yes	Thu 5/18/06	Mon 5/15/06	Thu 5/18/06	Mon 5/15/06	0 days
18 Uzay Çt.Skm	14 days	Yes	Sat 6/3/06	Fri 5/19/06	Sat 6/3/06	Fri 5/19/06	0 days
19 Tml. iç.Dlg	5 days	No	Mon 7/24/06	Tue 7/18/06	Thu 11/30/06	Fri 11/24/06	110.18 days
20 Çelik Klinir.	24.17 days	Yes	Wed 8/16/06	Tue 7/18/06	Wed 8/16/06	Tue 7/18/06	0 days
21 Çelik Bgl.El	14 days	Yes	Fri 9/1/06	Wed 8/16/06	Fri 9/1/06	Wed 8/16/06	0 days
22 Dilatasyon F	4 days	No	Sat 7/22/06	Tue 7/18/06	Thu 11/30/06	Sat 11/25/06	111.18 days
23 Duvar Yapım	11.17 days	Yes	Wed 10/18/06	Thu 10/5/06	Wed 10/18/06	Thu 10/5/06	0 days
24 Duvar Ylt.	5.17 days	Yes	Wed 10/25/06	Wed 10/18/06	Wed 10/25/06	Wed 10/18/06	0 days
25 Demir Boyası	6.17 days	No	Thu 10/12/06	Thu 10/5/06	Thu 11/30/06	Wed 11/22/06	41.17 days
26 Sıva	13.83 days	No	Thu 11/9/06	Wed 10/25/06	Sat 11/11/06	Thu 10/26/06	1.17 days
27 Yağlı Boya	16 days	No	Tue 11/28/06	Thu 11/9/06	Thu 11/30/06	Sat 11/11/06	1.17 days
28 Mermer (Dn)	7.83 days	Yes	Thu 11/2/06	Wed 10/25/06	Thu 11/2/06	Wed 10/25/06	0 days
29 Almy. Dogr	23.17 days	Yes	Thu 11/30/06	Thu 11/2/06	Thu 11/30/06	Thu 11/2/06	0 days

Tablo 5.18 de görülebileceği üzere. MS Project programı vasıtasıyla hızlandırılmış programın uygulama takvimi oluşturulmuştur

Şebeke diyagramında (Ek 2) ve tablo 5.18 de görüldüğü üzere, kritik yolun son faaliyeti olan 29 kodlu faaliyetin tamamlanma zamanı, projenin tamamlanma zamanına tekabül etmektedir (30-11-2006) ve ihalede belirlenen teslim tarihine uygundur (01-12-2006).

### **5.5 Alternatif Şebeke Programları ve Zaman – Maliyet Analizleri**

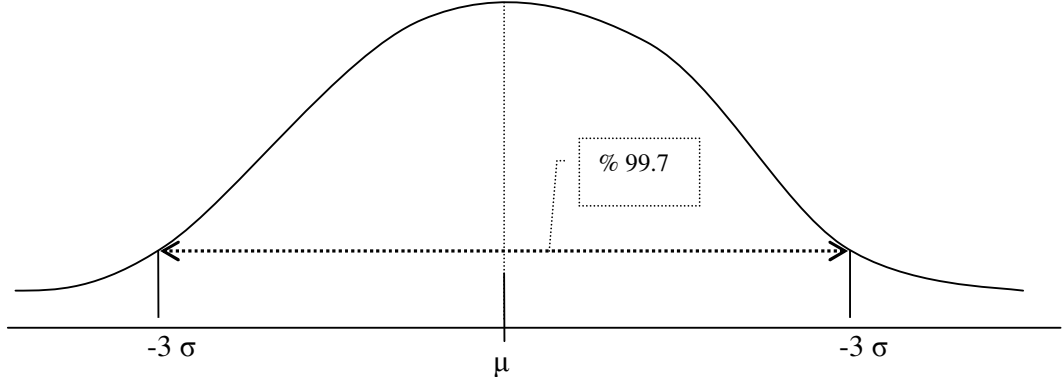
Önceki başlıklar altında incelendiği üzere, projenin hedeflenen sürede tamamlanması ve ihalede belirlenen tarihe yetiştirilmesi için teorik olarak gerekli olan aşamalar gerçekleştirilmiş, proje şebekesi PERT tekniği kullanılarak söz konusu hedef süreye uygun bir şekilde programlanmıştır.

Analizin bu aşamasından sonra, proje şebekesinin olasılıksal yapısı gereği meydana gelebilecek muhtemel gecikmeler ile bu gecikmelerin neden olacağı ekstra maliyetlerin irdelenmesi hususu ele alınacaktır. Söz konusu gecikmelere karşı alınabilecek alternatif tedbirler ve bu tedbirlerin neden olacağı maliyetler belirlenmeye çalışılacaktır.

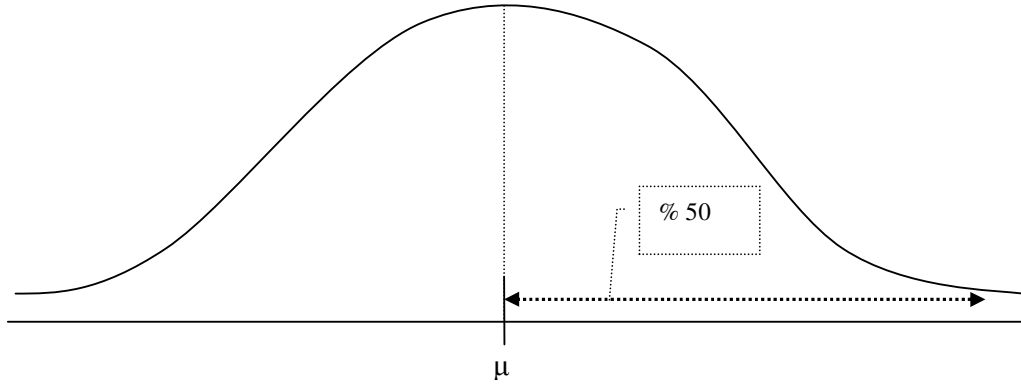
Çalışmanın Dördüncü bölümünde anlatıldığı üzere, PERT tekniğinde projenin tamamlanma süresi normal dağılım sergileyen tesadüfi bir değişken olarak ele alınır ve “beklenen süre” ifadesi ile tanımlanır. Şebekenin programlanması sonucu belirlenen kritik yolun tamamlanma süresi, dağılımın ortalamasına tekabül eder.

Şekil 5.1’de görülebileceği üzere normal dağılım  $\mu \pm 3 \sigma$  aralığında birimlerin yaklaşık % 99,7 ‘sini kapsar. Ortalama değer ( $\mu$ ) dağılımın orta noktasını teşkil eder ve normal dağılım eğrisini ortadan ikiye böler. Dolayısıyla projenin beklenen süreden ( $\mu$ ) geç tamamlama ihtimali (gecikme ihtimali) % 50’dir (Şekil 5.2).

Şekil 5.1 Normal Dağılımın Gösterimi



Şekil 5.2 Ortalama Değerin Normal Dağılım Üzerinde Gösterim



Proje ihalesinde, teslim tarihinde meydana gelebilecek herhangi bir gecikme için ihale bedeli üzerinden 30000 \$ değerinde ceza indirim şartı olduğu göz önünde bulundurulursa, projenin gecikmesini engelleyebilmek için yapılacak alternatif hızlandırma işlemlerinin ve dolayısıyla yeni hızlandırılmış programların tespiti hayati önem arz eder. Bu aşamada, muhtemel gecikme senaryolarının neden olacağı ceza maliyetleri ile bu gecikmeleri engellemek için geliştirilebilecek alternatif tedbirlerin

(hızlandırma işlemleri) neden olacağı ekstra maliyetlerin mukayesesi yapılarak, yeni hızlandırılmış programların oluşturulması gerekmektedir.

### 5.5.1 En Uygun Hızlandırılmış Programın Belirlenmesi

Tablo 5.19 Hızlandırma İşleminin Uygulanabileceği Faaliyetler ve Uygulama Sırası

Hızlandırılma Sırası	Faaliyet Kodu	Birim Hızlandırma Maliyeti	Hızlandırılabilir Süre	Projenin yeni Hızlandırılmış Süresi
1	8	1450 \$	3	170,169,168
2	18	1500 \$	3	167,166,165
3	21	1600 \$	4	164,163,162,161
4	20	2000 \$	6	160,159,158,157,156,155
5	30	2100 \$	3	154,153,152

Tablo 5.14 de yeni hızlandırma işlemleri için, kritik yol üzerinde bulunan uygulama yapılabilecek faaliyetlerle bu faaliyetlerin hızlandırılabilir süreleri belirtilmiştir. Tablonun 5. sütununda ilgili faaliyetin hızlandırılması sonucu projenin açığa çıkacak yeni ortalama tamamlanma süreleri belirtilmiştir.

Bu aşamada, olası gecikme senaryolarının gerçekleşme ihtimalleri ve sebep olacağı ceza maliyetleri tespit edilmelidir. Örneğin projenin programlanan günden 2 gün gecikmesi halinde ihale gereği 30000 \$' a tekabül eden ceza maliyeti söz konusu olacaktır. Söz konusu gecikmenin gerçekleşeceği ön görülüp, tablo 5.19 de belirtildiği üzere şebekenin 8 kodlu faaliyetinin 2900 \$ (1450x2) hızlandırma maliyetini göze alarak 2 gün hızlandırılması ve gecikmeden dolayı oluşacak 30000 \$'lık ceza maliyetinin engellenebileceği düşünülebilir. Ancak programlama aşamasında, projenin

ortalama tamamlanma süresinde meydana gelebilecek gecikmelerin miktarlarının kesin bir şekilde tahmin edilebilmesi mümkün değildir.

Dolayısıyla gerçekleşmesi kesin olmayan bir gecikme ve neden olacağı maliyeti engelleyebilmek için belirli bir hızlandırma maliyetine katlanarak yeni hızlandırılmış programların oluşturulması mantıklı değildir. Bu noktada yeni bir kıstas geliştirilerek muhtemel gecikme senaryoları ve neden olacağı ceza maliyetlerine karşılık, alternatif hızlandırma senaryoları ve neden olacağı maliyetlerin mukayesesini yapabilecek ve toplamda minimum maliyeti öngören (olası maliyette maksimum tasarrufu (kazanç - ödül) sağlayan) en uygun hızlandırılmış programın belirlenmesine olanak tanıyacak bir yöntemin varlığına ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışmanın bu aşamasında, söz konusu problemin çözümü için, beklenen değer kavramının tanımı ve uygulamaları çerçevesinde bir yöntem geliştirilmiş ve bu yöntem projenin en uygun hızlandırılmış programının belirlenmesinde kullanılmıştır.

Yöntemin anlatımına geçmeden önce, beklenen değer kavramının temel mantığının ve geliştirdiğimiz yöntemdeki kullanılış biçiminin daha iyi anlaşılmasını sağlayacak bir örneğe yer verilmiştir:

İki madeni para birlikte atılarak bir oyun oynanmaktadır. Eğer her iki para da yazı gelirse oyuncu 100 ytl kazanacak eğer bir yazı gelirse 50 ytl kazanacaktır. Eğer her iki parada tura gelirse oyuncu 60 ytl kaybedecektir. Oyuncunun beklenen kazancı göz önünde bulundurularak, oyuncu bu oyunu oynamalıdır ?<sup>81</sup> Sorusunun cevabı incelenecektir:

İki madeni paranın aynı anda atılması ile oluşacak sonuçlar kümesi  $S = (YY, TY, TT, YT)$  olacaktır. Dolayısıyla iki paranın aynı anda tura yada yazı gelme ihtimali  $\frac{1}{4}$  dür. Aynı şekilde tek yazı gelme ihtimali  $(TY, YT)$  olmak üzere  $\frac{1}{2}$  ihtimalle gerçekleşecektir. Dolayısıyla oyuncunun bu şartlar altında beklenen kazancı şu şekilde hesaplanabilir:

$$E(x) : \frac{1}{4} \cdot 100 + \frac{1}{2} \cdot 50 - \frac{1}{4} \cdot 60 = 35 \text{ ytl}$$

oyuncunun beklenen kazancı 35 ytl dir. Yani pozitif bir değerdir ve oyuncunun bu oyunu oynamasının mantıklı olduğu söylenebilir. Ancak oyuncunun bu parayı

---

<sup>81</sup> B. Saraçoğlu , F Çevik ; matematiksel istatistik ve önemli dağılımlar, Ankara Büro Kitabevi 1995, sayfa: 223

kazanabilmesinin hiçbir şekilde kesinlik içermediği ve tesadüfe dayalı olduğu unutulmamalıdır. Aynı şekilde oynanabilecek benzer oyunlar arasından oyuncunun tek seçme hakkı olduğu durumlar için, beklenen kazancı en büyük olan oyunun, oyuncu tarafından tercih edilmesi söz konusudur.

Bu basit örnek yardımıyla bir tesadüfi değişkenin beklenen değerinin ne olduğu ve nasıl hesaplandığı hakkında temel bir fikir edinilebilir ve geliştirdiğimiz yöntemin izahı daha kolay bir şekilde anlaşılabilir.

### **Yöntem:**

Projenin hedeflenen tamamlanma süresi 171 gündür. Takip eden işlemlerde projenin tamamlanma süresinde meydana gelebilecek gecikmeler ve bu gecikmeleri engellemek için yapılabilecek hızlandırmalar 8 farklı senaryo (durum) için ele alınmıştır:

Senaryo 1: Proje tamamlanma süresinde proje programında belirlenen süreden (171 gün) 1 gün gecikmenin meydana geleceğinin öngörüldüğü ve tedbir olarak şebekede uygulanacak 1 günlük hızlandırma işleminin vasıtasıyla, beklenen süresi 170 gün olan yeni hızlandırılmış programın oluşturulduğu senaryo (durum) .

Senaryo 2: Proje tamamlanma süresinde proje programında belirlenen süreden (171 gün) 2 gün gecikmenin meydana geleceğinin öngörüldüğü ve tedbir olarak şebekede uygulanacak 2 günlük hızlandırma işleminin vasıtasıyla, beklenen süresi 169 gün olan yeni hızlandırılmış programın oluşturulduğu durum.

Senaryo 3: Proje tamamlanma süresinde proje programında belirlenen süreden (171 gün) 3 gün gecikmenin meydana geleceğinin öngörüldüğü ve tedbir olarak şebekede uygulanacak 3 günlük hızlandırma işleminin vasıtasıyla, beklenen süresi 168 gün olan yeni hızlandırılmış programın oluşturulduğu durum.

Senaryo 4: Proje tamamlanma süresinde proje programında belirlenen süreden (171 gün) 4 gün gecikmenin meydana geleceğinin öngörüldüğü ve tedbir olarak

şebekede uygulanacak 4 günlük hızlandırma işleminin vasıtasıyla, beklenen süresi 167 gün olan yeni hızlandırılmış programın oluşturulduğu durum.

Senaryo 5: Proje tamamlanma süresinde proje programında belirlenen süreden (171 gün) 5 gün gecikmenin meydana geleceğinin öngörüldüğü ve tedbir olarak şebekede uygulanacak 5 günlük hızlandırma işleminin vasıtasıyla, beklenen süresi 166 gün olan yeni hızlandırılmış programın oluşturulduğu durum.

Senaryo 6: Proje tamamlanma süresinde proje programında belirlenen süreden (171 gün) 6 gün gecikmenin meydana geleceğinin öngörüldüğü ve tedbir olarak şebekede uygulanacak 6 günlük hızlandırma işleminin vasıtasıyla, beklenen süresi 165 gün olan yeni hızlandırılmış programın oluşturulduğu durum.

Senaryo 7: Proje tamamlanma süresinde proje programında belirlenen süreden (171 gün) 7 gün gecikmenin meydana geleceğinin öngörüldüğü ve tedbir olarak şebekede uygulanacak 7 günlük hızlandırma işleminin vasıtasıyla, beklenen süresi 164 gün olan yeni hızlandırılmış programın oluşturulduğu durum.

Senaryo 8: Proje tamamlanma süresinde proje programında belirlenen süreden (171 gün) 8 gün gecikmenin meydana geleceğinin öngörüldüğü ve tedbir olarak şebekede uygulanacak 8 günlük hızlandırma işleminin vasıtasıyla, beklenen süresi 163 gün olan yeni hızlandırılmış programın oluşturulduğu durum.

Bu aşamadan sonra her hangi bir senaryonun analizinde kullanılacak kavramların tanımı ve ilgili hesaplamaların açıklamaları incelenecektir.

Örneğin, 1. senaryo ele alınacak olursa: projenin 1 gün gecikmesi karşılığında ihalede belirlenen ceza indirim uyarınca 30000\$ ceza maliyeti (ceza) oluşacaktır. Öte yandan bu gecikmenin öngörülüp engellenmesi için 1 günlük hızlandırma işlemi uygulandığını var sayılabilir. Bu durumda tablo 5.19 de belirlenen faaliyetlerden 8 kodlu

faaliyet 1450\$ dolar hızlandırma maliyeti göze alınarak 1 gün hızlandırılır ve eğer öngörüldüğü şekilde projede 1 günlük gecikme vuku bulursa, 1450\$ lık hızlandırma maliyetine katlanılarak 30000\$ lık ceza maliyeti engellenmiş olacaktır.

Dolayısıyla toplamda 28550 \$ a tekabül eden maliyetten tasarruf söz konusudur. Bir başka ifadeyle, yapılan isabetli hızlandırma işlemine mukabil 28550\$ e tekabül eden ödül (kazanç) elde edilmiş olacaktır.

Bunun yanı sıra, eğer öngörülen gecikme 1 günü aşar ise yapılan hızlandırma işlemi boşa gidecek (isabetsiz olacak) ve ceza maliyeti  $30000 + 1450 = 31450$  \$ ' a çıkmış olacaktır.

Görüldüğü üzere, sözü edilen şartlar altında yapılacak bir hızlandırma işlemi yapısı itibariyle risk altında oynanan bir oyuna benzetilebilir. Oyunda kazanma durumu projenin öngörülen sürede tamamlanması olarak ifade edilebilecekken, kaybetme durumu ise projenin alınan tedbirlere rağmen gecikmesi olarak belirtilebilir. Dolayısıyla oyunu kazanma ihtimali projenin hedef sürede tamamlanma ihtimaline, oyunu kaybetme ihtimali ise projenin gecikmesi ihtimaline tekabül edecektir. Bunun yanı sıra, oyunu kazanmanın ödülü gecikmenin neden olacağı maliyete engel olmak, kaybetmenin bedeli ise gecikmeden kaynaklanacak ceza maliyeti ve isabetsiz hızlandırma işleminin hızlandırma maliyetinin toplamı olarak ifade edilebilir.

Aynı zamanda, her bir gecikme senaryosu için ayrı ayrı ön görülen hızlandırma işlemlerinin, kazanma & kaybetme ihtimalleri, ceza & ödül değerleri ve dolayısıyla beklenen kazanç değerleri birbirinden farklı olan bağımsız oyunlar olarak tanımlanması mümkündür.

Sonuç itibariyle proje yöneticisi nihai proje programını oluştururken, proje tamamlanma süresinde meydana gelebilecek gecikmelere engel olmak için tercih edeceği hızlandırma işleminin seçiminde, beklenen kazanç kriterini kullanabilir.

Daha önce verilen basit örnekte “oyuncu bu oyunu oynamalı mıdır ?” sorusuna benzer şekilde “ bu hızlandırma işlemi uygulanmalı mıdır ?” sorusu proje yöneticisi tarafından sorulup, her bir hızlandırma işleminin beklenen kazanç değerlerine binaen nihai hızlandırılmış programı oluşturabilir. Şöyle ki:



Tablo 5.28 – 5.29 da bahsi geçen 8 farklı senaryo için ön görülen gecikmeler ve alınacak karşı tedbirlerin (hızlandırma) analizi yapılmıştır.

İlgili sütunlardaki kavramların ve hesaplamaların açıklaması şu şekildedir:

**Hızlandırılmış süre :** Her bir senaryo için öngörülen hızlandırılmış programın ortalama tamamlanma süresini ifade eder.

**Tamamlanma İhtimali (Ti) :** Projenin ilgili senaryo için geçerli olan hızlandırılmış programında, hedef süre olan 171 gün için projenin tamamlanma ihtimalini ifade eder. Örneğin 1.senaryo için ön görülen hızlandırılmış programın beklenen tamamlanma süresi olan 170 gün ( $\mu_{\text{senaryo 1}}$ ), değerinin ortalamasını teşkil ettiği normal dağılım eğrisinde 171 gün için belirlenen projenin tamamlanma ihtimalidir. Tablo 5.20’ de 1. senaryo için WINQSB programı ile yapılan ilgili hesaplama görülmektedir. Buna göre projenin 1. senaryo için 171 günde tamamlanma ihtimali % 55 dir.

**Tablo 5.20 Senaryo 1. için Belirlenen Projenin Hedef Sürede (171 gün) Tamamlanma İhtimali**

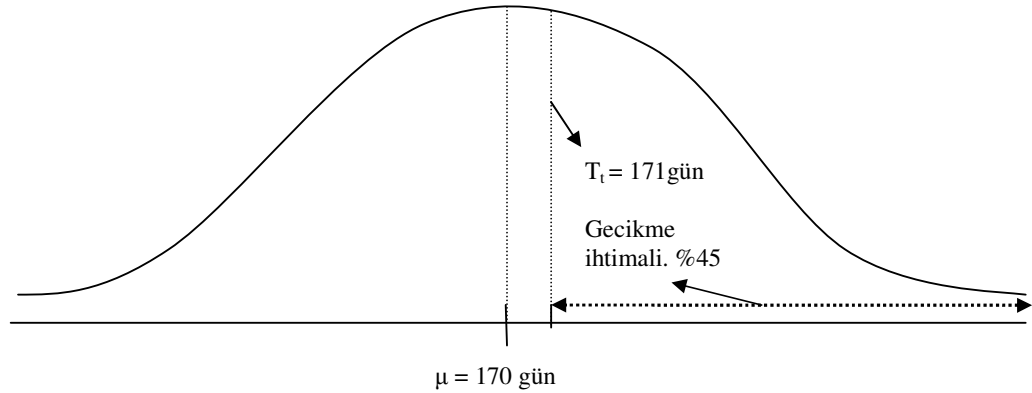
The following probability calculation assumes that activities are independent and so are paths. It also assumes that the project has a large enough number of activities to assume the normal distribution, which is used to estimate the probability of finishing a critical path in the desired time. Therefore, when the activities are not independent or the number of activities is not large, the analysis may be biased.

Completion time based on mean/expected time:	170 gün	
Number of critical paths:	1	
Desired completion time in gün:	171	
Critical Path:	Standard Dev.:	Probability:
Catı Kpl.Skm --> Uzay Ct.Skm --> Y	8.2597	0.5482

Compute Probability Cancel Print Help

**Gecikme İhtimali (Gi) :** Projenin ilgili senaryo için geçerli olan hızlandırılmış programında, hedef süre olan 171 gün için projenin tamamlanamama / gecikme ihtimalini ifade eder ve  $1 - T_t$  dir. Dolayısıyla 1. senaryo için projenin gecikme ihtimali  $1 - 0,55 = 0,45$  , yani % 45 dir. (şekil 5.3)

**Şekil 5.3 Projenin senaryo 1 için belirlenen, hedef sürede tamamlanamama (gecikme) ihtimalinin normal dağılım üzerinde gösterimi.**



**Hızlandırılan Faaliyet :** İlgili senaryo için öngörülen hızlandırma işleminin uygulandığı faaliyetleri belirtir. Hızlandırma işlemini uygulanacağı faaliyetler ve uygulama sıralaması hatırlanacağı üzere tablo 5.13 de belirtilmiştir. Buna göre 1. senaryo için öngörülen hızlandırma işlemi 8 kodlu faaliyete uygulanacaktır.

**Hızlandırma Maliyeti :** İlgili senaryo için uygulanması öngörülen hızlandırma işleminin maliyetini ifade eder.

**Ceza Maliyeti :** İlgili senaryoda öngörülen gecikmenin engellenebilmesi için yapılan hızlandırma işleminin gecikmeyi engelleyemediği / isabetsiz olduğu durumda oluşan maliyeti ifade eder ve gecikmeden kaynaklanan 30000\$ ile yapılan hızlandırma işleminin maliyetinin toplamına eşittir.

Birinci senaryo için ceza maliyeti gecikme için 30000 \$ ve boşa giden hızlandırma işlemi için 1450\$ olmak üzere toplam 31450\$ dır.

**Ödül :** İlgili senaryoda öngörülen gecikmenin engellenebilmesi için yapılan hızlandırma işleminin gecikmeyi engelleyebildiği / başarılı olduğu durumda, gecikmeden dolayı oluşacak maliyetten elde edilen tasarrufu ifade eder ve gecikme sonucu oluşacak olan maliyetten gerçekleştirilen hızlandırma işleminin maliyetinin çıkarılması sonucu elde edilir. Birinci senaryo için ödül gecikmeden dolayı 30000 \$ dan başarılı olan hızlandırma işleminin maliyeti 1450\$ ın çıkarılması sonucu elde edilen 28550 \$ (30000 - 1450) dır.

**Erken Tamamlanma Maliyeti (ETM):** İlgili senaryoda öngörülen gecikmenin hiç gerçekleşmediği ve dolayısıyla yapılan hızlandırma işleminin boşa gittiği (isabetsiz olduğu) durumda oluşan maliyeti ifade eder.

Hatırlanacak olursa, ihalede belirlenen ilk teslim tarihine uygun şekilde, PERT tekniği ile programlanan şebekenin tamamlanma süresi 171 gündür ve projenin bu zaman zarfı içerisinde tamamlanma ihtimali %50 dir. Dolayısıyla ilgili senaryolarda öngörülen gecikmelerin aksine, projenin 171 günlük hızlandırılmış programında hiç bir gecikmenin olmamama ihtimali %50 dir ve doğal olarak her senaryo için öngörülen hızlandırma işleminin boşa gitme (isabetsiz olma) ihtimalide % 50 ye tekabül edecektir. İşte ETM böyle bir durum da meydana gelecek maliyeti ifade eder ve  $HM * 0,5$  olarak ifade edilebilir.

**Beklenen Kazanç Değeri:** İlgili senaryo için belirlenen, projenin hedef sürede (171gün) tamamlanma ve gecikme ihtimalleri uyarınca ceza maliyeti, erken tamamlanma maliyeti ve ödül değerleri kullanılarak hesaplanan beklenen kazanç değerini ifade eder. Yapı itibariyle daha önce bahsi geçen örnekte oyuncunun beklenen kazanç değerine benzetilebilir. Daha fazla açıklamak gerekirse: hızlandırma işleminin nihai hedefinin muhtemel bir gecikmenin neden olacağı maliyeti engellemek olduğu hatırlanarak ve hızlandırma işleminin başarılı olması durumunun veya projenin gecikmesi sonucunun ihtimallerle ifade edildiği göz önünde bulundurularak, ilgili hızlandırma işleminin (veya hızlandırılmış programın) gerçekleştirilmesi sonucu açığa

çıkacak beklenen kazancın veya başka bir ifade ile beklenen maliyetten elde edilen tasarrufun ifade edilmesidir.

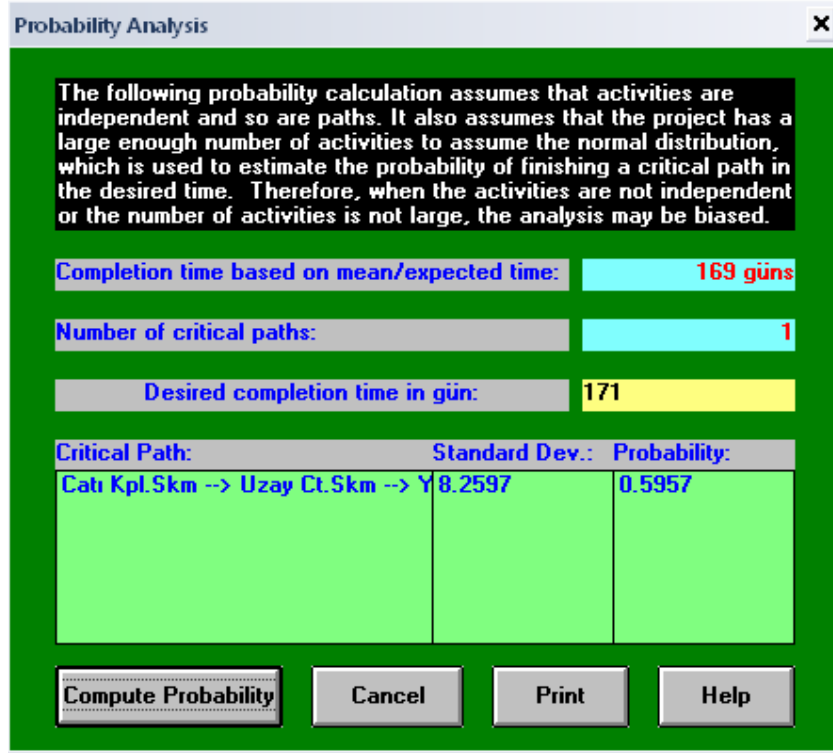
1. senaryo için beklenen kazanç şu şekilde hesaplanır:

$$[(\text{ödül}) \times (T_i)] - [(\text{Ceza Maliyeti}) \times (G_i)] - \text{ETM}$$

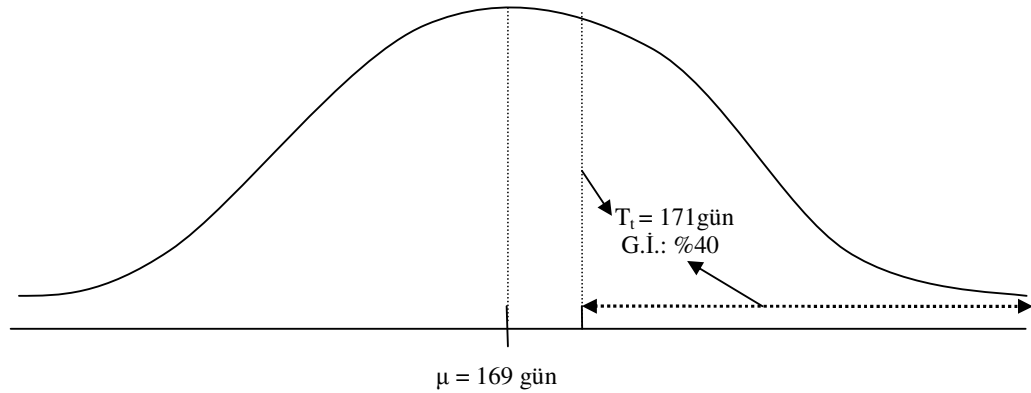
$$(0,55 \times 28550) - (0,45 \times 31450) - (0,50 \times 1450) = 825 \text{ dir.}$$

Diğer 7 senaryo için ilgili hesaplamalar anlatıldığı şekliyle gerçekleştirilmiş ve tablo 5.27 – 5.28 de yerlerine yazılmıştır. Her senaryo için hedef sürede (171 gün) projenin tamamlanma / gecikme ihtimalleri WINQSB program vasıtasıyla belirlenmiş ve takip eden tablolarda sırasıyla gösterilmiştir.

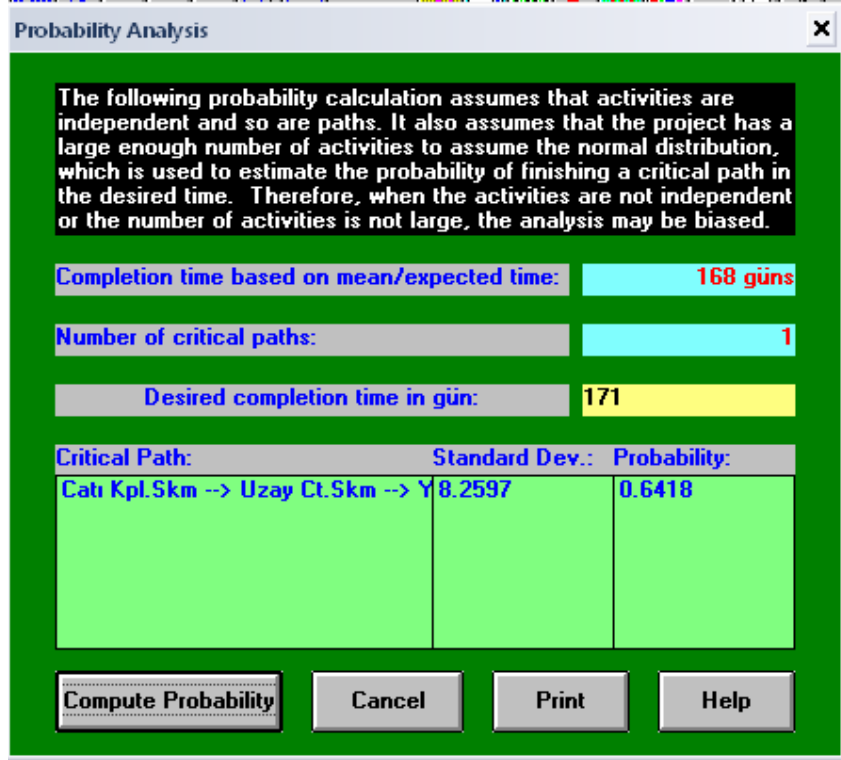
Tablo 5.21\_ Senaryo 2. için Belirlenen Projenin Hedef Sürede (171 gün) Tamamlanma İhtimali



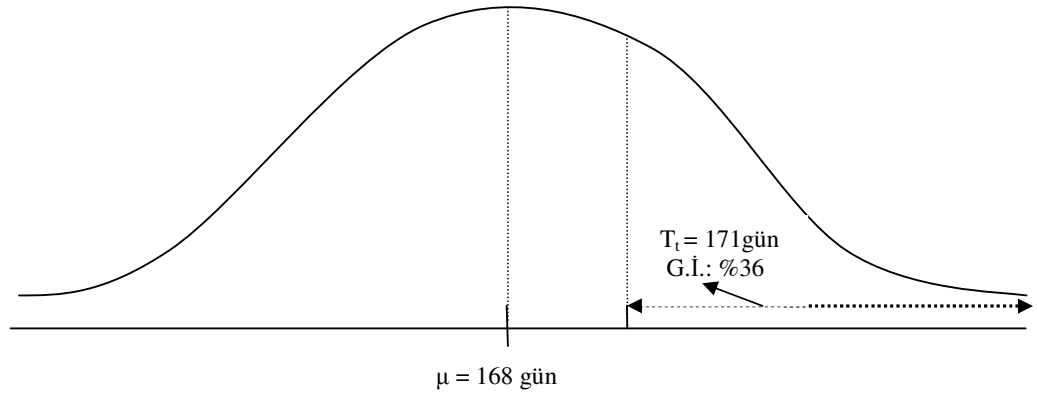
Şekil 5.4 Projenin senaryo 2 için belirlenen, hedef sürede tamamlanamama (gecikme) ihtimalinin normal dağılım üzerinde gösterimi.



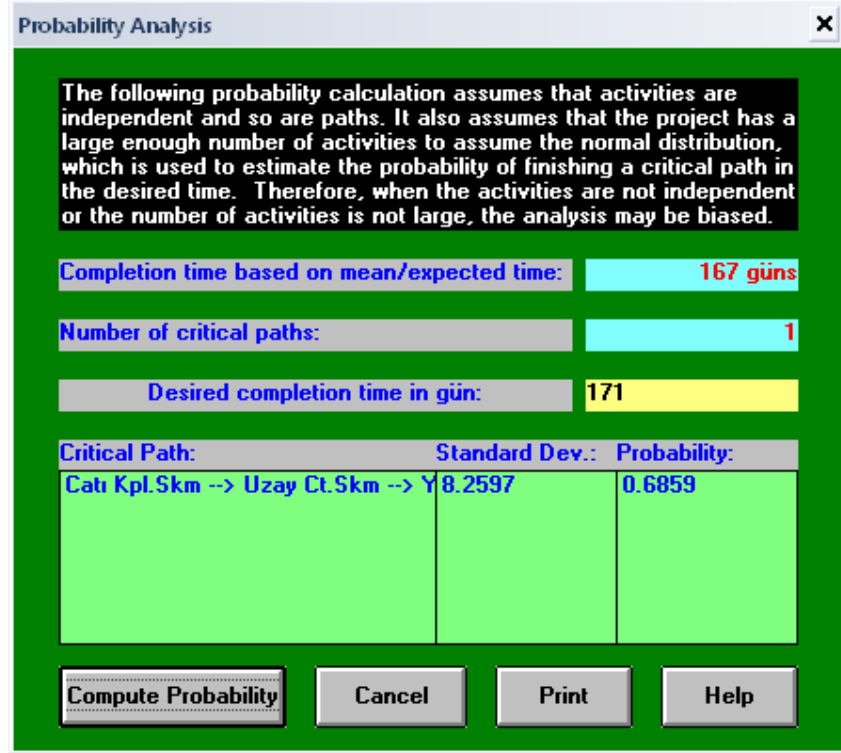
Tablo 5.22 Senaryo 3. için Belirlenen Projenin Hedef Sürede (171 gün) Tamamlanma İhtimali



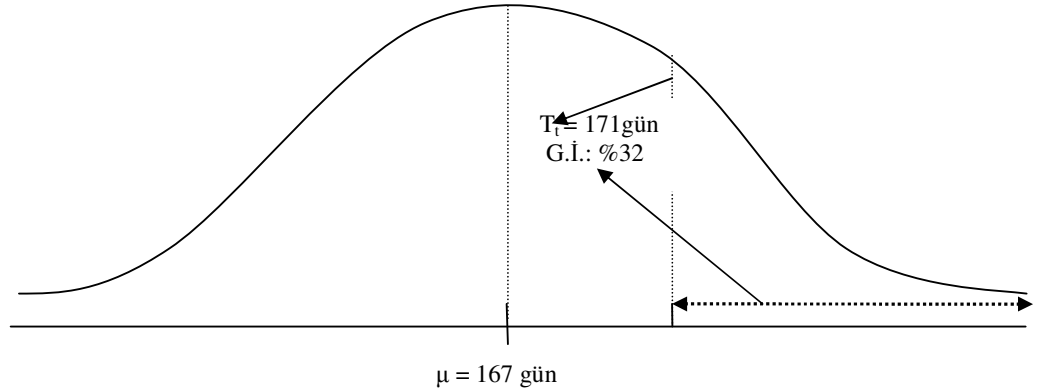
Şekil 5.6 Projenin senaryo 3 için belirlenen, hedef sürede tamamlanamama (gecikme) ihtimalinin normal dağılım üzerinde gösterimi.



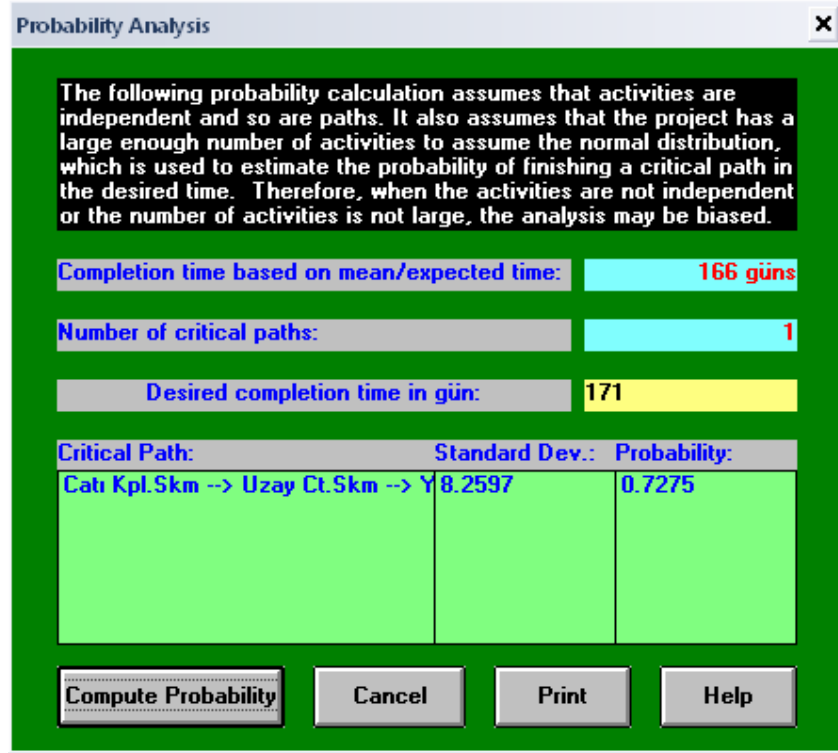
Tablo 5.23 Senaryo 4 için Belirlenen Projenin Hedef Sürede (171 gün)  
Tamamlanma / Gecikme İhtimali



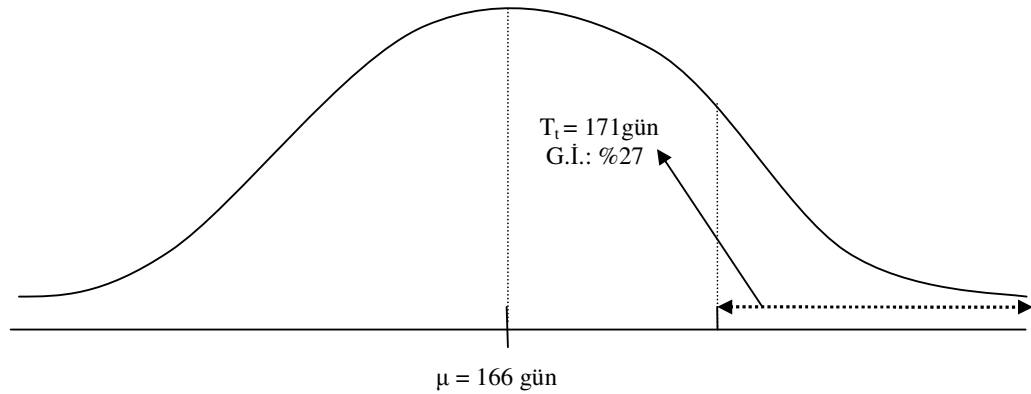
Şekil 5.7 Projenin senaryo 4 için belirlenen, hedef sürede tamamlanamama (gecikme) ihtimalinin normal dağılım üzerinde gösterimi.



Tablo 5.24 Senaryo 5. için Belirlenen Projenin Hedef Sürede (171 gün) Tamamlanma / Gecikme İhtimali

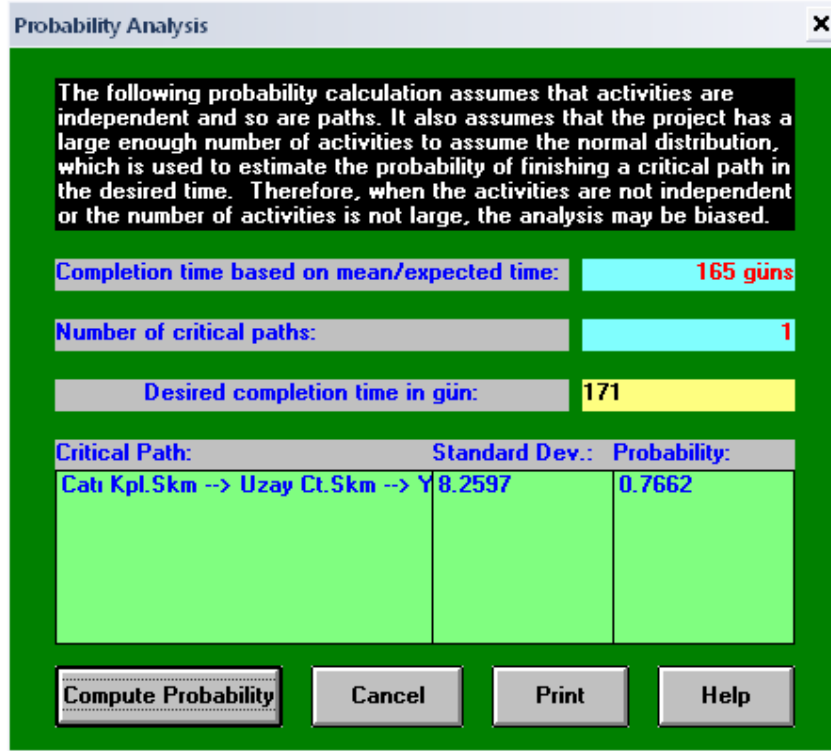


Şekil 5.8 Projenin senaryo 5 için belirlenen, hedef sürede tamamlanamama (gecikme) ihtimalinin normal dağılım üzerinde gösterimi.

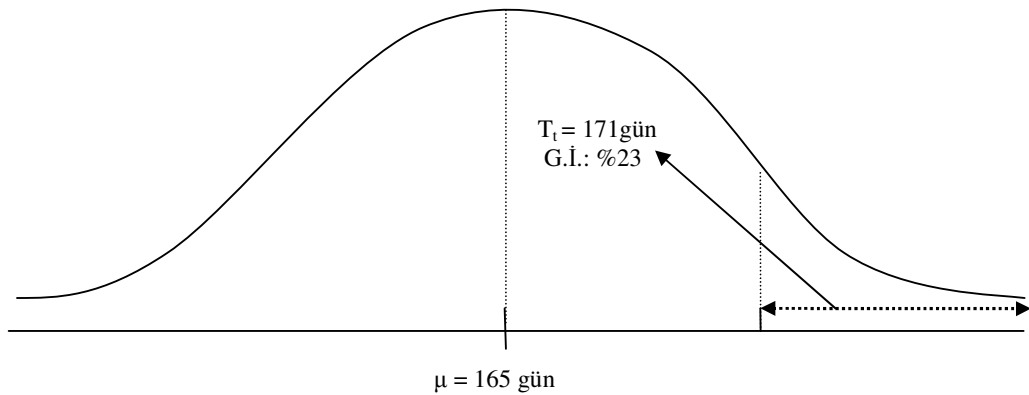




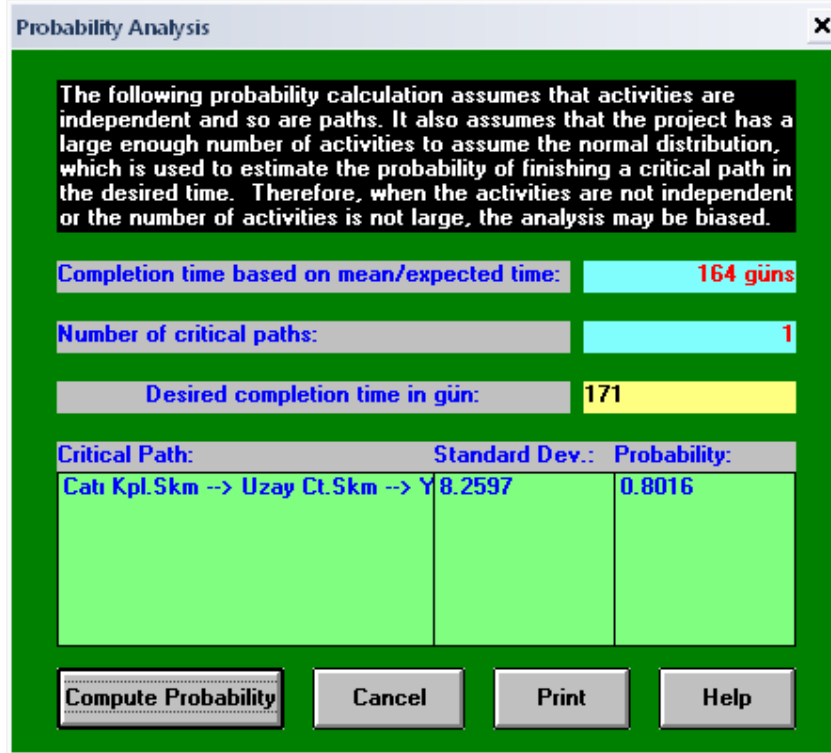
Tablo 5.25 Senaryo 6. için Belirlenen Projenin Hedef Sürede (171 gün) Tamamlanma / Gecikme İhtimali



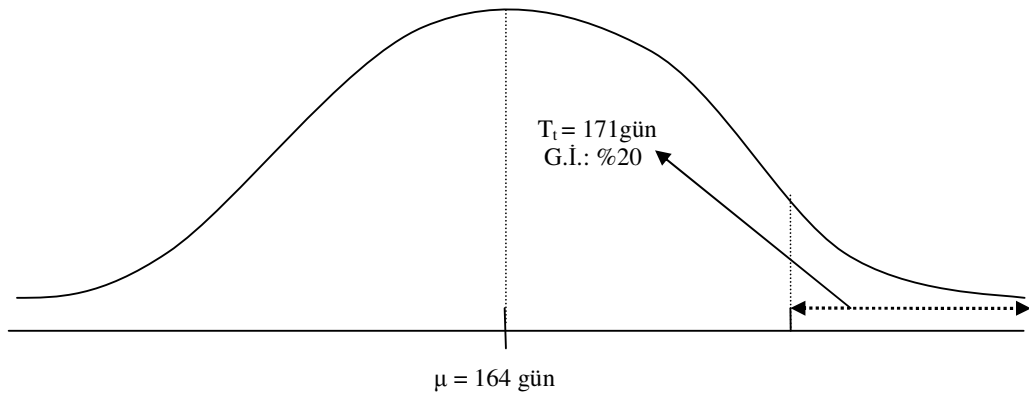
Şekil 5.9 Projenin senaryo 6 için belirlenen, hedef sürede tamamlanamama (gecikme) ihtimalinin normal dağılım üzerinde gösterimi.



Tablo 5.26 Senaryo 7. için Belirlenen Projenin Hedef Sürede (171 gün) Tamamlanma / Gecikme İhtimali



Şekil 5.10 Projenin senaryo 6 için belirlenen, hedef sürede tamamlanamama (gecikme) ihtimalinin normal dağılım üzerinde gösterimi.



**Tablo 5.27 En uygun Hızlandırılmış Programın Belirlenmesi İçin Hesaplanan Verilerin Gösterimi**

(Senaryo)	Gecikme ihtimali	Tamlanma		Hızlandırılm maliyeti	Ceza	Ödül
Hızlandırılmış.		İhtimali	Hızlandırılan		Maliyeti	
Süre	(Gİ)	(Tİ)	Faaliyet	(HM)	(CM)*	(Ö)**
170 (S1)	0,45	0,55	8	1450	31450	28550
169 (S2)	0,40	0,60	8,8	2900	32900	27100
168 (S3)	0,36	0,64	8,8,8	4350	34350	25650
167 (S4)	0,32	0,68	8,8,8,18	5850	35850	24150
166 (S5)	0,27	0,73	8,8,8,18,18	7350	37350	22650
165 (S6)	0,23	0,77	8,8,8,18,18,18	8850	38850	21150
164 (S7)	0,20	0,80	8,8,8,18,18,18,21	10450	40450	19550
163 (S8)	0,17	0,83	8,8,8,18,18,18,21,21	12050	42050	17950

\* HM + 30000 \$

\*\* 30000 \$ - HM

**Tablo 5.28 En uygun Hızlandırılmış Programın Belirlenmesi İçin Hesaplanan Beklenen Verilerin Gösterimi**

(Senaryo)	Gecikme ihtimali	Tamlanma İhtimali	Hızlandırılan Faaliyet	Beklenen Erken Tamamlanma Maliyeti (BEM)*	Beklenen Ceza Maliyeti (BCM)**	Bklen. Ödül (BÖ)***	Beklenen Kazanç Değeri (K)
Hızldmş. Süre	(Gi)	(Ti)					
170 (S1)	0,45	0,55	8	725	14153	15703	825
169 (S2)	0,40	0,60	8,8	1450	13160	16260	1650
168 (S3)	0,36	0,64	8,8,8	2175	12366	16416	1875
167 (S4)	0,32	0,68	8,8,8,18	2925	11472	16422	2025
166 (S5)	0,27	0,73	8,8,8,18,18	3675	10085	16535	2775
<b>165 (S6)</b>	<b>0,23</b>	<b>0,77</b>	<b>8,8,8,18,18,18</b>	<b>4425</b>	<b>8936</b>	<b>16286</b>	<b>2925</b>
164 (S7)	0,20	0,80	8,8,8,18,18,18,21	5225	8090	15640	2325
163 (S8)	0,17	0,83	8,8,8,18,18,18,21,21	6025	7149	14899	1725

\* HM X 0,5

( 0,5 : projenin hiçbir hızlandırma işlemi yapılmaksızın hedef sürede (171 gün) tamamlanma ihtimali %50)

\*\* CM X Gi

\*\*\* (Ö) X Ti

\*\*\*\* BÖ – BCM – BEM

Tablo 5.27 – 5.28 ‘ de sözü edilen 8 farklı senaryo için yapılan hesaplamaların sonuçları verilmiştir. Bu aşamadan sonra, genel işleyiş mantığı anlatılan ve hesaplamaları açıklandığı şekliyle gerçekleştirilen “Beklenen Kazanç Değeri” kavramı / parametresi kullanılarak, en uygun hızlandırılmış programın belirlenebilir.

Bu noktada, seçim yapılırken hızlandırma işleminin belirsizlik altında oynanan bir oyun olarak düşünülebileceğini, kazanma ve kaybetme ihtimallerine binaen belirlenen, beklenen kazanç değeri en yüksek olan seçeneğin tercih edilmesinin olasılıksal olarak en mantıklı tercih olduğunu tekrar ifade etmek gerekmektedir. Buna göre belirtilen şartlar altında tercih edilmesi en mantıklı olan hızlandırılmış program, senaryo 6 için geliştirilmiş olan ve ortalama tamamlanma süresi 165 güne tekabül eden programdır.

Tablo 5.27’ de görülebileceği üzere senaryo 6 için öngörülen hızlandırma miktarı (8,8,8,18,18,18) kodlu faaliyetlere belirtilen miktarda uygulanmak üzere 6 gündür.

Buna göre projenin nihai hızlandırılmış programı ilgili faaliyetlere hızlandırılma işlemin uygulanması sureti ile WINQSB programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.29 Senaryo 6 için Öngörülen Hızlandırma İşlemi I. Aşama – Verilerin programa girilmesi.

Activity Number	Activity Name	Immediate Predecessor (list number/name, separated by ',')	Normal Time	Crash Time	Normal Cost	Crash Cost
1	Temel Kazısı	Yıkım	9.17	9.17	\$13,800	\$13,800
2	Temel Kazısı	Yıkım	8	8	\$7,500	\$7,500
3	Tml. Alt. Tbk	Temel Kazısı	1	1	\$1,400	\$1,400
4	Tml. Alt. Tbk	Temel Kazısı	2	2	\$2,800	\$2,800
5	Temel iksası	Temel Kazısı	5.17	5.17	\$6,500	\$6,500
6	Grobeton	Tml. Alt. Tbk	2	2	\$2,750	\$2,750
7	Grobeton	Temel iksası	3	3	\$3,400	\$3,400
8	Temel Beton	Grobeton	12.67	9.67	\$8,803	\$13,153
9	Temel Beton	Grobeton	9.17	9.17	\$5,869	\$5,869
10	Drenaj	Temel Beton	2	2	\$1,610	\$1,610
11	Drenaj	Temel Beton	2	2	\$1,610	\$1,610
12	Tml. Yalıtım	Celik Bgl.El	4	4	\$2,880	\$2,880
13	Tml. Yalıtım	Tabliye Btn.	3	3	\$2,160	\$2,160
14	Perde Btn.	Drenaj	14	14	\$8,800	\$8,800
15	Tabliye Btn.	Perde Btn.	17.83	17.83	\$8,100	\$8,100
16	Yıkım	Uzay Ct.Skm	11	11	\$12,700	\$12,700
17	Catı Kpl.Skm		4	4	\$5,000	\$5,000
18	Uzay Ct.Skm	Catı Kpl.Skm	14	11	\$14,500	\$19,000
19	Tml. ic.Dlg	Drenaj	5	5	\$3,500	\$3,500
20	Celik Klnlr.	Drenaj	24.17	24.17	\$247,000	\$247,000
21	Celik Bgl.El	Celik Klnlr.	14	14	\$19,700	\$19,700
22	Dilatasyon F	Drenaj	4	4	\$9,900	\$9,900
23	Duvar Yapım	Catı Kplms	11.17	11.17	\$14,100	\$14,100
24	Duvar Ylt.	Duvar Yapım	5.17	5.17	\$7,100	\$7,100
25	Demir Boyası	Catı Kplms	6.17	6.17	\$4,200	\$4,200
26	Sıva	Duvar Ylt.	13.83	13.83	\$7,800	\$7,800
27	Yağlı Boya	Sıva	16	16	\$9,000	\$9,000
28	Mermer (Dn)	Duvar Ylt.	7.83	7.83	\$4,200	\$4,200
29	Almy. Dogr	Mermer (Dn)	23.17	23.17	\$20,500	\$20,500
30	Uzay K.Ct. Y	Celik Bgl.El	16.67	16.67	\$196,000	\$196,000
31	Catı Deresi	Uzay K.Ct. Y	4.17	4.17	\$2,900	\$2,900
32	Catı Kplms	Catı Deresi	8.83	8.83	\$83,300	\$83,300
33	Dsy. Ygmr Br	Catı Kplms	4	4	\$2,450	\$2,450

Daha önce anlatıldığı üzere, Tablo 5.29 de görüldüğü şekliyle veriler programa girilmiş ve işlem başlatılmıştır.

Tablo 5.30 Senaryo 6 için Öngörülen Hızlandırma İşlemi II. Aşama – Verilerin İşlenmesi

03-21-2006 01:21:33	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)	▲
1	Temel Kazısı	Yes	9.17	26	35.17	26	35.17	0	
2	Temel Kazısı	no	8	26	34	157.0200	165.0200	131.0200	
3	Tml. Alt. Tbk	Yes	1	35.17	36.17	35.17	36.17	0	
4	Tml. Alt. Tbk	no	2	35.17	37.17	163.0200	165.0200	127.85	
5	Temel iksası	no	5.17	35.17	40.34	156.85	162.0200	121.68	
6	Grobeton	Yes	2	36.17	38.17	36.17	38.17	0	
7	Grobeton	no	3	40.34	43.34	162.0200	165.0200	121.68	
8	Temel Beton	Yes	9.67	38.17	47.84	38.17	47.84	0	
9	Temel Beton	no	9.17	38.17	47.34	155.85	165.0200	117.68	
10	Drenaj	Yes	2	47.84	49.84	47.84	49.84	0	
11	Drenaj	no	2	47.84	49.84	163.0200	165.0200	115.18	
12	Tml. Yalıtım	no	4	88.01	92.01	161.0200	165.0200	73.01	
13	Tml. Yalıtım	no	3	81.67	84.67	162.0200	165.0200	80.35	
14	Perde Btn.	no	14	49.84	63.84	130.1900	144.1900	80.35	
15	Tabliye Btn.	no	17.83	63.84	81.67	144.1900	162.0200	80.35	
16	Yıkım	Yes	11	15	26	15	26	0	
17	Catı Kpl.Skm	Yes	4	0	4	0	4	0	
18	Uzay Ct.Skm	Yes	11	4	15	4	15	0	
19	Tml. ic.Dlg	no	5	49.84	54.84	160.0200	165.0200	110.18	
20	Celik Klnr.	Yes	24.17	49.84	74.01	49.84	74.01	0	
21	Celik Bgl.El	Yes	14	74.01	88.01	74.01	88.01	0	
22	Dilatasyon F	no	4	49.84	53.84	161.0200	165.0200	111.18	
23	Duvar Yapım	Yes	11.17	117.68	128.85	117.68	128.85	0	
24	Duvar Ylt.	Yes	5.17	128.85	134.0200	128.85	134.0200	0	
25	Demir Boyası	no	6.17	117.68	123.85	158.85	165.0200	41.17	
26	Sıva	no	13.83	134.0200	147.85	135.1900	149.0200	1.17	
27	Yağlı Boya	no	16	147.85	163.85	149.0200	165.0200	1.17	
28	Mermer (Dn)	Yes	7.83	134.0200	141.85	134.0200	141.85	0	
29	Almy. Dogr	Yes	23.17	141.85	165.0200	141.85	165.0200	0	
30	Uzay K.Ct. Y	Yes	16.67	88.01	104.68	88.01	104.68	0	
31	Catı Deresi	Yes	4.17	104.68	108.85	104.68	108.85	0	
32	Catı Kplms	Yes	8.83	108.85	117.68	108.85	117.68	0	
33	Dsy. Ygmr Br	no	4	117.68	121.68	161.0200	165.0200	43.34	
	Project	Completion	Time	=	165.02	days			
	Total	Cost of	Project	=	\$750,682	(Cost on	CP =	\$664,213)	

Tablo 5.30 da görülebileceği üzere şebekenin yeni programı oluşturulmuş ve her faaliyetin en erken / geç tamamlanma süreleri, en erken / geç bitme süreleri, boşluk değerleri ve ortalama zaman değerleri belirlenmiş ve Tablo 5.31 de görülebileceği üzere kritik yolu tespit edilmiştir.

**Tablo 5.31 Nihai Hızlandırılmış Programın Kritik Yolu Ve Beklenen Tamamlanma Süresi**

03-21-2006	Critical Path 1
1	Catı Kpl.Skm
2	Uzay Ct.Skm
3	Yıkım
4	Temel Kazısı
5	Tml. Alt. Tbk
6	Grobeton
7	Temel Beton
8	Drenaj
9	Celik Klnlr.
10	Celik Bgl.EI
11	Uzay K.Ct. Y
12	Catı Deresi
13	Catı Kplms
14	Duvar Yapım
15	Duvar Ylt.
16	Mermer (Dn)
17	Almy. Dogr
<b>Completion Time</b>	<b>165.02</b>



**Tablo 5.32 Faaliyetlerin Hızlandırılmış Programda Belirtilen Ortalama Tamamlanma Süreleri.**

<b>Faaliyet</b>	<b>Açıklama</b>	<b>Hızlandırılmış Program-Faaliyet Tamamlanma süreleri (gün)</b>
1	Temel Kazısı	9.17
2	Temel Kazısı	8
3	Temel Altı Tabakası	1
4	Temel Altı Tabakası	2
5	Temel İksası	5.17
6	Grobeton	2
7	Grobeton	3
8	Temel Betonu	9.67
9	Temel Betonu	9.17
10	Drenaj	2
11	Drenaj	2
12	Temel Yalıtımı	4
13	Temel Yalıtımı	3
14	Perde Betonu	14
15	Tabliye Betonu	17.83
16	Yıkım	11
17	Çatı Kaplaması Sokumu	4
18	Uzay Çatı Sokumu	11
19	Temel İçi Stabilize Dolgu	5
20	Çelik Kolonlar	24.17
21	Çelik Bağlantı Elemanları	14
22	Dilatasyon Fugaları	4
23	Duvar Yapımı	11.17
24	Duvar Yalıtımı	5.17
25	Demir Boyası	6.17
26	Sıva	13.83
27	Yağlı Boya	16
28	Mermer Isı (Denizlik)	7.83
29	Alüminyum Doğrama	23.17
30	Uzay Kafes Çatı Yapımı	16.67
31	Çatı Deresi	4.17
32	Çatı Kaplaması Yapımı	8.83
33	Düşey Yağmur Borusu	4

Çalışmanın son aşamasında, faaliyetlerin nihai hızlandırılmış programda belirlen beklenen tamamlanma zamanları kullanılarak, M.S. Project programı vasıtasıyla projenin uygulama takvimi oluşturulmuştur.

Tablo 5.33 Nihai Hızlandırılmış Programın Uygulama Takviminin Oluşturulması

Task ID	Task Name	Expected Duration	Critical	Early Finish	Early Start	Late Finish	Late Start	Total Slack
4	Tml. Alt. Tbk	2 days	No	Sat 6/24/06	Fri 6/23/06	Thu 11/23/06	Tue 11/21/06	129.02 days
5	Temel İksası	5.17 days	No	Thu 6/29/06	Fri 6/23/06	Wed 9/27/06	Wed 9/20/06	76.85 days
6	Grobeton	2 days	Yes	Wed 6/28/06	Mon 6/26/06	Wed 6/28/06	Mon 6/26/06	0 days
7	Grobeton	3 days	No	Mon 7/3/06	Thu 6/29/06	Sat 9/30/06	Wed 9/27/06	76.85 days
8	Temel Beton	9.67 days	Yes	Sat 7/8/06	Wed 6/28/06	Sat 7/8/06	Wed 6/28/06	0 days
9	Temel Beton	9.17 days	No	Thu 7/13/06	Mon 7/3/06	Wed 10/11/06	Sat 9/30/06	76.85 days
10	Drenaj	2 days	Yes	Tue 7/11/06	Sat 7/8/06	Tue 7/11/06	Sat 7/8/06	0 days
11	Drenaj	2 days	No	Sat 7/15/06	Thu 7/13/06	Fri 10/13/06	Wed 10/11/06	76.85 days
12	Tml. Yalıtım	4 days	No	Wed 8/30/06	Fri 8/25/06	Thu 11/23/06	Sat 11/18/06	73.01 days
13	Tml. Yalıtım	3 days	No	Fri 8/25/06	Tue 8/22/06	Thu 11/23/06	Mon 11/20/06	76.85 days
14	Perde Btn.	14 days	No	Tue 8/1/06	Sat 7/15/06	Mon 10/30/06	Fri 10/13/06	76.85 days
15	Tabliye Btn.	17.83 days	No	Tue 8/22/06	Tue 8/1/06	Mon 11/20/06	Mon 10/30/06	76.85 days
16	Yıkım	11 days	Yes	Tue 6/13/06	Thu 6/1/06	Tue 6/1/06	Thu 6/1/06	0 days
17	Çatı Kpl.Skm	4 days	Yes	Thu 5/18/06	Mon 5/15/06	Thu 5/18/06	Mon 5/15/06	0 days
18	Uzay Çt.Skm	11 days	Yes	Wed 5/31/06	Fri 5/19/06	Wed 5/31/06	Fri 5/19/06	0 days
19	Tml. ic.Dlg	5 days	No	Mon 7/17/06	Tue 7/11/06	Thu 11/23/06	Fri 11/17/06	110.18 days
20	Çelik Klinr.	24.17 days	Yes	Wed 8/9/06	Tue 7/11/06	Wed 8/9/06	Tue 7/11/06	0 days
21	Çelik Bgl.El	14 days	Yes	Fri 8/25/06	Wed 8/9/06	Fri 8/25/06	Wed 8/9/06	0 days
22	Dilatasyon F	4 days	No	Sat 7/15/06	Tue 7/11/06	Thu 11/23/06	Sat 11/18/06	111.18 days
23	Duvar Yapım	11.17 days	Yes	Wed 10/11/06	Thu 9/28/06	Wed 10/11/06	Thu 9/28/06	0 days
24	Duvar Yıt.	5.17 days	Yes	Wed 10/18/06	Wed 10/11/06	Wed 10/18/06	Wed 10/11/06	0 days
25	Demir Boyası	6.17 days	No	Thu 10/5/06	Thu 9/28/06	Thu 11/23/06	Wed 11/15/06	41.17 days
26	Sıva	13.83 days	No	Thu 11/2/06	Wed 10/18/06	Sat 11/4/06	Thu 10/19/06	1.17 days
27	Yağlı Boya	16 days	No	Tue 11/21/06	Thu 11/2/06	Thu 11/23/06	Sat 11/4/06	1.17 days
28	Mermer (Dn)	7.83 days	Yes	Thu 10/26/06	Wed 10/18/06	Thu 10/26/06	Wed 10/18/06	0 days
29	Almy, Dogr	23.17 days	Yes	Thu 11/23/06	Thu 10/26/06	Thu 11/23/06	Thu 10/26/06	0 days
30	Uzay K.Çt. Y	16.67 days	Yes	Wed 9/13/06	Fri 8/25/06	Wed 9/13/06	Fri 8/25/06	0 days
31	Çatı Deresi	4.17 days	Yes	Mon 9/18/06	Wed 9/13/06	Mon 9/18/06	Wed 9/13/06	0 days
32	Çatı Kplms	8.83 days	Yes	Thu 9/28/06	Mon 9/18/06	Thu 9/28/06	Mon 9/18/06	0 days

Görüldüğü üzere, nihai hızlandırılmış program uyarınca projenin beklenen tamamlanma süresi **23.11.06** olarak belirlenmiştir. [Şebeke diyagramı (Ek III)]

Tablo 5.30 de görülebileceği üzere projenin toplam maliyeti 750.000 \$ olarak belirlenmiştir.

## 6.SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

CPM ve PERT çağdaş planlama ve programlama tekniklerinden olup inşaat, bilişim, üretim, savunma ve diğer birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulamada karşılaşılan birçok sorunun çözümüne uygulanabilen ve büyük projelerin programlamasında kullanılabilen bu teknikler, uygulamadaki kolaylığının yanı sıra, analitik olma özellikleri nedeniyle , karar vericilere büyük kolaylıklar sağlamaktadırlar.<sup>82</sup>

Çalışma boyunca beş bölüm içerisinde proje planlama ve programlamanın kavramsal ve teorik çerçevesi mevcut literatürdeki çalışmaların ışığında ortaya konulmaya çalışılmış ve gerçek bir projenin planlanması ve programlanması süreci bu çerçevede, CPM ve PERT teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Projenin planlanması ve programlanması sürecinde, yer yer CPM ve PERT tekniklerinin incelendiği ilgili bölümlerde izahı yapılan geleneksel yöntemlerin dışına çıkılarak, proje programının mevcut şartlar altında ve belirlenmiş hedefe uygun bir şekilde gerçekleştirilmesine çalışılmıştır.

Beşinci bölümde ilgili başlıklar altında incelendiği üzere, projenin hedeflenen sürede tamamlanması ve ihalede belirlenen tarihe yetiştirilmesi için teorik olarak gerekli olan aşamalar gerçekleştirilmiş, proje şebekesi PERT tekniği kullanılarak söz konusu hedef süreye uygun bir şekilde programlanmıştır.

Bu aşamadan sonra, proje şebekesinin olasılıksal yapısı gereği meydana gelebilecek muhtemel gecikmeler ile bu gecikmelerin neden olacağı ekstra maliyetlerin belirlenmesi ve söz konusu gecikmelere karşı alınabilecek alternatif tedbirler (hızlandırma işlemi) ile bu tedbirlerin neden olacağı maliyetlerin hesaplanması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Sözü edilen hesaplamalar gerçekleştirilmiş ve ilgili tablolarda sunulmuştur.

---

<sup>82</sup> Sezen; K. ; a.g.e., s:193

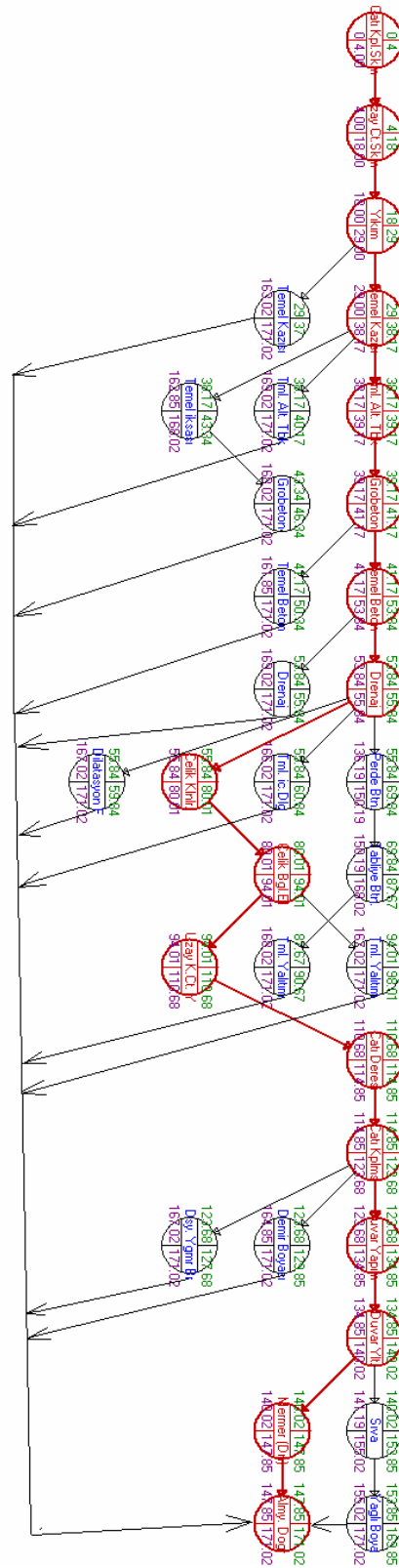
Bu noktada, gerçekleştirilen hesaplamalar ışığında, proje şebekesinde meydana gelebilecek muhtemel gecikme senaryoları ve neden olacağı ceza maliyetlerine karşılık, alternatif hızlandırma senaryoları ve neden olacağı maliyetlerin mukayesesini yapabilecek ve toplamda minimum maliyeti öngören (olası maliyette maksimum tasarrufu (kazanç - ödöl) sağlayan) en uygun hızlandırılmış programın belirlenmesine olanak tanıyacak bir kıstas yöntemi geliştirilmiştir. “Beklenen Kazanç” olarak adlandırdığımız bu yöntem, proje yöneticisine risk altında karar verme sürecinde muhtemel tercihlerden hangilerinin olasılıksal olarak daha makul olduğu ile ilgili fikir vermektedir. Bu sayede , nihai proje programı oluştururken, proje tamamlanma süresinde meydana gelebilecek gecikmelere engel olmak için tercih edilecek hızlandırma işleminin seçiminde, beklenen kazanç yöntemi kullanılabilir. Çalışmanın son aşamasında projenin en uygun hızlandırılmış programı beklenen kazanç yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## KAYNAKÇA

1. Azoron A., Perkgoz C., Sakawa M.; A genetic algorithm approach for the time-cost trade-off in PERT Networks; Journal of Applied Mathematics and Computation 2004.
2. Barutçugil Ismet S. ; Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri; Uludağ Üniversitesi Yayınları 1984.
3. Copertari, L.F.; “Time, Cost and Performance Tradeoffs in Project Management” ;Yayınlanmış Doktora Tezi – McMaster University Ocak 2002.
4. Çetmeli,E., “Yatırımların Planlanmasında CPM ve PERT Metodları”, BAA Teknisyenleri Koll. Sti. İstanbul – 1982.
5. D.G Malcolm; J.H.Roseboom; C.E Clark ; W.Fazar ; “Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation”; Operation Research , Vol.7, No. 5. (Sep-Oct.; 1956).
6. F.L.Bannett, “Simplified CPM / PERT Simulation Model”, Journal of Construction Engineering and Management, November / December 2001.
7. Gordon, G. ; Pressman; I. ,Quantitive Decision Making for Business.
8. GÜLERMAN, Adnan, PERT/Maliyet TEKNİĞİ (İşletmede Bir Yönetim Aracı Olarak Kullanılması), Ankara İ.T.İ.A. , 1970 Yayın No:37 .
9. H.Kerzner; ”Project Management – a System Approach to Planing, Scheduling and Controlling”, John Wiley & Sons Inc., New Jersey – 2003.
10. HALAÇ, Osman; “Kantitatif Karar Verme Teknikleri”, 2.Baskı, İ.Ü.Yayın No:3078, İstanbul 1983.
11. Hill, Terry, Production/Operations Management, 2nd Edition, Prentice – Hall Inc.1991.
12. J.R.Meredith ; S.J.Mantel ; ”Project Management – a Managerial Approach”; John Wiley & Sons Inc.; U.S – 1995.
13. Jensen, Christian A., Effective Project Planing Techniques, Civil Engineering 1994.
14. Lockyer, K.G., An introduction to CPM , pitman publishing.

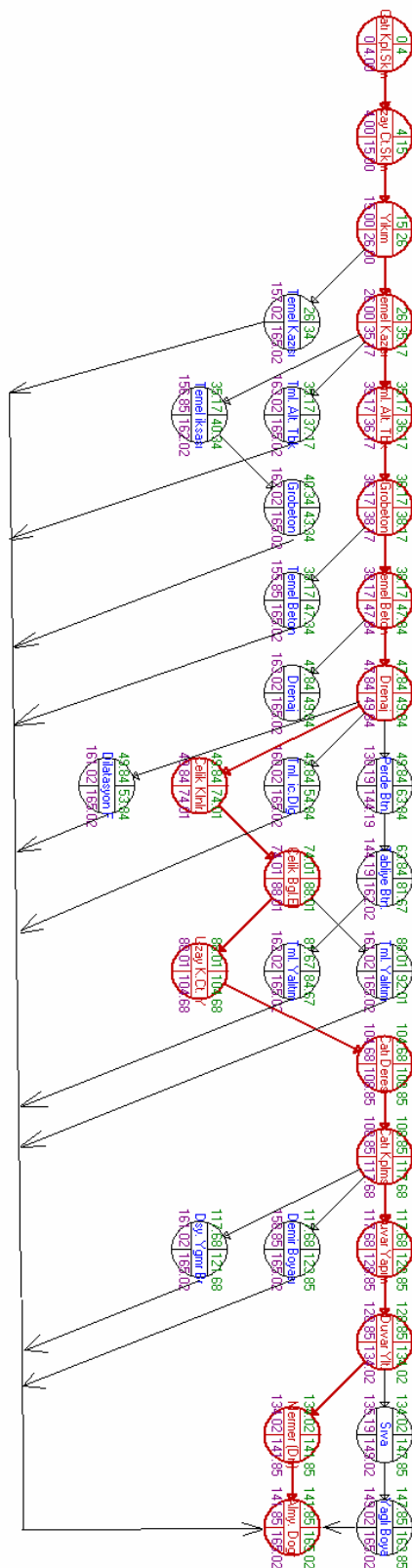
15. M.Trahan," the completion time of PERT Networks", The Journal of Operation research, Vol.25,no:1, 1977.
16. Monks Joseph G., Schaum's Outline of Theory and Problems of Operation Management; 2nd Edition McGraw – Hill Inc.- 1996.
17. N.R. Farnum, L.W. Stanton , "Some Results Concerning The Estimation of Beta Distribution Parameters in PERT", the Journal of Operation Research Society vol:38 – no:3 , 1987.
18. Naylor, J.; "Operation Management", M&E Pitman Publishing, Great Britain 1996.
19. Öztürk, Ahmet, Yöneylem Araştırması, Ekin Kitabevi Yay.; Bursa 2005.
20. R.J.Thierauf; R.C.Klekamp; "Decision Making Through Operation Research" 2nd Edition- Wisley Series.
21. S.B. Richmond ,"Operation Research for Management Decision" , Newyork 1968
22. Saraçoğlu B., Çevik F., "Matematiksel istatistik – Olasılık ve Önemli Dağılımlar", Gazi Büro Kitabevi Ankara 1995.
23. Sezen, K., Tel Sepet Üretim Sürecinde PERT Uygulaması ;Uludağ Unv. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi; cilt 15,sayı 1-2, Yayınlanmış makale; Bursa 1994.
24. Taha, H.A., "Operations Research" Department of Industrial Engineering, University of Arkansas, Macmillan publishing co. inc. New York 1976.
25. W. Haga; Crashing PERT Networks; University of N. Colorado ; yayınlanmış doktora tezi ,Colorado 1998.
26. Waters, Donald,"Quantitative Methods For Business", Addison-Wesley Publishing Co.1994.
27. Winston W. L. ; "Operation Research –Applications and Algorithms"; Brooks / Cole –Thomson Learning Inc. ; U.S - 2004 .
28. Y. Zhang ; "Pert Time Estimates : Logical Alternative with Improved Accuracy", Yayınlanmış Doktora Tezi , Oklahoma State University ; 1995 Oklahoma.





EK-2





EK -3

