

PROJE PLANLAMA TEKNİKLERİ ve PERT TEKNİĞİNİN İNŞAAT SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Nurcan TEMİZ KUTLU*

ÖZET

Projelerin amaçlarına zamanında ve tespit edilen maliyet sınırları içerisinde ulaşabilmesi için başarılı bir biçimde yönetilmeleri gerekmektedir. Proje yönetimi, proje planlama teknikleri sayesinde gerçekleştirilmektedir.

Çalışmada proje planlama tekniklerinden PERT ve CPM incelenmiş ve PERT Tekniğinin inşaat sektöründe uygulanmasıyla ilgili örnek olay çalışması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Proje Yönetimi ve Kontrolü, Proje Planlama Teknikleri, Şebeke Analizi, PERT, CPM

ABSTRACT

Projects need to be managed successfully so that they can reach their objects on time and in determined cost limits. Project management is realized by project planning techniques.

In this study, PERT and CPM, project planning techniques, are examined and a case study on application of PERT Technique has been done in construction sector.

Key Words: Project Management and Control, Project Planning Techniques, Network Analysis, PERT, CPM.

PROJE PLANLAMA TEKNİKLERİ VE PERT TEKNİĞİNİN İNŞAAT SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Günümüzde artan rekabet, projelerin tespit edilenden daha kısa sürede ve kaynakların etkin kullanımıyla gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Proje yönetimi de, rekabet ortamında projeyi yürüten firmaların daha başarılı olmasını sağlamaktadır. Projede belirlenen amaçların istenen düzeyde gerçekleşmesini

* Arş. Gör. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü.

sağlayan proje yönetimi, projelerin planlanması, programlanması ve kontrolünden oluşmaktadır.

Proje yönetimi, ulaşılmak istenen belli bir sonucu elde etmek için kullanılan maddi ve beşeri kaynakların ortak faaliyetlerini planlama, örgütleme, 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 (Çimen, 1994:4). Proje yönetiminde temel amaç, tespit edilen amaçlara, sınırlı kaynaklarla, belli bir zaman içinde ve belli bir bütçeyle optimum şekilde ulaşmaktır.

Mal ve hizmetlerin üretiminde kullanılan girdiler, gerek çeşit, gerekse miktar olarak üstel bir şekilde artmakta ve bunu gerçekleştirmeyi amaçlayan projeler artık disiplinler arası bir niteliğe sahip "mega" projeler şekli almaktadır. Tüm bunlar, istenen mal ve hizmetlerin üretilebilmesi için, faaliyetlerin düzenli bir şekilde organizasyonunu, koordinasyonu ve yardımlaşmayı gerektirmektedir. Ayrıca işletmeler arasında giderek artan rekabet, söz konusu projelerin sadece performansları açısından değil, süre ve maliyet faktörleri açısından da değerlendirilmelerini zorunlu kılmaktadır. Bu durumda işletmelerin sadece mal ve hizmet üretmeleri yetersiz kalmakta, bu mal ve hizmetleri rakiplerden daha kısa sürede ve daha uygun maliyetlerle üretmeleri önemli bir faktör olmaktadır. Tüm bu faktörler, proje yönetiminin önemini arttıran etkenler arasındadır (Çimen, 1994:26-27).

1. PROJELERİN PLANLANMASI, PROGRAMLANMASI VE KONTROLÜ

Proje Planlama: Doğru kararların alınması ve buna uygun faaliyetlerin yürütülebilmesi için projelerin mutlaka planlama aşamasından geçmesi gerekmektedir. Planlama yapılmadığı takdirde gelecekteki fırsatları ve tehlikeleri görmek mümkün olmayacağından, bu konuda gerekli önlemler de alınamayacaktır. (Barutçugil, 1984:162). Neyin, niçin, nasıl ve ne zaman yapılacağını tanımlayan, projedeki işlerin yürütülmesini ve projedeki çalışanların yönetimini sağlayan planlama çalışmaları yapılmaksızın, projenin başarılı bir şekilde yürütülmesi ve sonuçlandırılması mümkün değildir. Proje planının geliştirilmesinde, görev ve sorumlulukların belirlenmesi, proje zaman cetvelinin hazırlanması ve proje bütçesinin çıkarılması en önemli çalışmalar arasındadır (Barutçugil, 1988:239-240).

Proje Programlama: Proje programlama, kaynak gereksiniminin ve tahmin edilen süre içinde projenin gidişatının programlanmasıdır. Proje programlamada ilk aşama, her bir faaliyet için gerekli süreyi belirlemektir (Grow, 1975:185). Ayrıca bu aşamada, her faaliyetin başlama ve bitiş zamanını

gösteren bir zaman diyagramı hazırlanır. Proje programı, proje açısından önem arz eden kritik faaliyetleri göstererek, faaliyetlerin serbestlik süresi ve gecikme miktarı hakkında bir fikir vermelidir (Monks, 1996:352; Halaç, 1995:184).

Proje Kontrolü: Proje kontrolü, projedeki faaliyetlerin durumun değerlendirmek, projenin durumunu planlanan durumla karşılaştırmak ve eğer gerekiyorsa düzeltici önlemler almak için yapılan faaliyetlerdir. Proje kontrolü sayesinde projenin yürütülmesi sırasında sorun yaratabilecek, kritik veya yarı kritik faaliyetler üzerinde yoğunlaşmak mümkündür (Monks, 1996:354)

2. PROJE PLANLAMA TEKNİKLERİ

Proje planlama ve programlama tekniklerinin geliştirilmesiyle ilgili çalışmalar 1950'li yılları sonlarına rastlamaktadır. Bu konuda geliştirilen temel yöntemler, Gantt cetvelleri, PERT ve CPM'dir. Bu çalışmada PERT ve CPM incelenmiştir.

PERT, İngilizce, Project Evaluation and Review Technique kelimelerinin baş harflerinden oluşmuş bir sözcük olup, Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği anlamına gelmektedir.

PERT'in tarihsel gelişimi incelendiğinde, Gantt cetvellerinin PERT'e temel teşkil ettiği görülmektedir. Ancak Gantt cetveli, yapılacak işin safhaları arasındaki ilişkiyi bir dereceye kadar gösterdiğinden, bir takım eksiklikleri olan bir yöntemdir (Levin ve Kirkpatrick, 1973:10). Bu nedenle PERT'e Gantt cetvelinin daha gelişmiş bir biçimi de denilebilir.

PERT, sabit faaliyet süreleriyle ilgilenmektense, her faaliyetin süresini bazı olasılık dağılımları kullanarak tespit etmektedir. Bu yöntemde, üç süre tahmini yapmayı sağlayacak istatistiksel yöntemler kullanılarak, projedeki belirsizliklerle başa çıkılmaya çalışılır. Bu süreler, en iyimser (a), en kötümser (b) ve en olası (m) sürelerdir. PERT'in amacı, her faaliyetin ortalamasını ve varyansını ve tüm projenin de olasılık dağılımını bulmaktır. Bu konuda elde edilen bilgiler, projenin fizibilitesini değerlendirmede kullanılan, yönetim planlama bilgisini sağlar (Rowe, 1975:129 ; Schleip, 1972:34).

Faaliyetler arasındaki öncelik ilişkileri belirlenerek, her faaliyet için 3'lü süre tahmini yapıldıktan sonra, şebeke diyagramı çizilir ve her faaliyetin en erken ve en geç başlama ve bitiş süreleri ve gecikme süreleri bulunur.

Bu teknikte her bir faaliyetin ortalama beklenen süresi Formül 1'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (İpeköz, 1994:44)

$$\mu = (a+4m+b)/6 \quad (1)$$

$$\text{Varyansı bulmak için : } \sigma^2 = [(b-a)/6]^2 \quad (2)$$

$$\text{Standart sapmayı bulmak için ise: } \sigma = (b-a)/6 \quad (3)$$

Varyansı ve standart sapmayı hesaplamak için Formül 2 ve Formül 3 (Krajewski&Thompson, 1981:274) kullanılmaktadır. PERT'te faaliyetlerin beklenen süresinin hesaplanmasında Beta dağılımı kullanılmaktadır. Ayrıca PERT sayesinde,

$$Z = (T - T_c) / \sigma_c \quad (4)$$

formülü ve standart normal dağılım tablosu kullanılarak, projenin farklı tarihlerde tamamlanma olasılıklarını hesaplamak mümkündür. Burada Z, projenin belli bir sürede tamamlanma olasılığını, T, projenin programlanan süresini, T_c, projenin beklenen bitirilme süresini, σ_c ise standart sapmayı göstermektedir (Yamak, 1994:266).

PERT'te önemli olan projenin ne kadar sürede bitirilebileceğini tespit etmek iken, PERT'in farklı bir biçimi olan PERT/Maliyet de ise önemli olan, projenin maliyetiyle ilgili bilgileri ortaya koymaktır. Bu teknikte, her faaliyet için, maliyetin minimum olması durumunda süre tahminleri ve sürenin minimum olması durumunda maliyet tahminleri yapılır.

PERT, belirsizliğin fazla olduğu araştırma-geliştirme projelerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş, fakat daha sonra farklı sektörlerde de yaygın olarak kullanılmıştır. Dunne ve Klementowski (1982:77), yapılan araştırmalara göre, araştırma-geliştirme projeleri yöneticilerinin, PERT'i en iyi proje planlama tekniği olarak nitelendirdiklerinin belirtmektedir.

Yönetim açısından PERT, planlamanın nasıl yapılması gerektiğini belirtir. Yönetime, koşullar değiştiğinde planlamanın güncel kalmasını sağlayacak gerekli araçlar sunar. Plandan sapmanın yaratacağı etkileri yönetimin önceden görmesini sağlayarak, olası problemler ortaya çıkmadan önce düzeltici önlemlerin alınmasına imkan tanır (Thierauf, 1978:173; Stevenson, 1996:784).

PERT'in sayılan yararlarının yanısıra, bu tekniğe birçok eleştiri de yöneltilmiştir. Bu eleştirilere temel teşkil eden konulardan ilki, PERT'te olasılık dağılımının beta eğrisi biçiminde olduğu varsayımının teorik bir esasa veya araştırma sonucuna dayanmamasıdır.

Diğer bir eleştiri de, projenin başlangıcı ile sonu arasında bulunan faaliyetlerin süre ve varyanslarının art arda toplanarak bulunmasının, bu faaliyetlerin bağımsız olduğu ile ilgilidir. Oysa inşaat işlerinde, bir faaliyetin propabilistik olma durumu, diğer faaliyetleri etkileyebilir (Öcal, 1991:97; Sauls, 1978:30). Cottrell'in (1999:17), PERT'le ilgili olarak belirttiği diğer bir önemli sorun, her faaliyetin, en iyimser, en kötümser ve en olası süre tahminlerini doğru bir biçimde yapmanın oldukça zor olduğu ile ilgilidir, bu tahminler sübjektif yargıya dayanmaktadır.

Birtakım eksikliklerine rağmen, PERT, yine de yaygın olarak kullanılmaktadır. Proje yöneticilerine, kritik olmayan faaliyetlerden, projenin zamanında tamamlanmasını etkileyen kritik faaliyetlere, kaynakların nasıl aktarılacağı konusunda yardımcı olmakta ve projedeki belirsizliklerle baş edebilmek için çoklu süre tahmini yapmayı sağlamaktadır.

CPM ise, İngilizce, Critical Path Method kelimelerinin baş harflerinden oluşmuş bir sözcük olup, Kritik Yol Yöntemi anlamına gelmektedir. CPM, faaliyet sürelerinin kesin olarak bilindiğinin varsayıldığı, deterministik bir yöntemdir. PERT ve CPM arasındaki temel fark, süre tahminlerinde ortaya çıkmaktadır. PERT'te 3 süre tahmini yapılırken, CPM'de tek süre tahmini yapılmaktadır. Bunun dışında, şebekenin çizilmesi, faaliyetlerin en erken ve en geç başlama ve bitiş sürelerinin bulunmasıyla ilgili olarak yapılan işlemler PERT'teki gibidir.

Faaliyet sürelerinin kesin olarak tahmin edilebileceğinin varsayılması, CPM'nin zayıf yönünü oluşturmaktadır. Ancak CPM, daha önceden yapılmış, tekrarlanan projelerde uygulandığından, bu tür projelerde süre tahminindeki yanılma payının çok düşük olacağı kabul edilmektedir (Öcal, 1991:98).

3. PROJE PLANLAMA TEKNİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Proje planlama teknikleri, üretim, dağıtım, proje planlama, kuruluş yeri, kaynak yönetimi ve finansal planlama problemlerinde (Hillier ve Lieberman, 1995:353), inşaat sektöründe ve araştırma-geliştirme projelerinde (Hoare, 1973:9) kullanılmaktadır.

Wiest ve Levy (1969:127), proje planlama teknikleriyle ilgili birçok varsayım bulunduğunu belirtmektedir. Bu varsayımların ilki, projenin, tahmin edilebilen bağımsız faaliyet gruplarına bölünmesidir. Burada bağımsızlık, faaliyetlerin zaman bakımından değil, fonksiyonel anlamda birbirinden bağımsız olmasını ifade etmektedir. Yani, başlama ve bitiş noktası tanımlanan

ve kendisinden hemen önce gelen faaliyetlerin tamamlandığı faaliyetler birbirinden bağımsız olarak başlayıp bitebilirler.

Bu varsayım 2 yönden uygulamacılar tarafından eleştirilmektedir. İlk olarak, bu varsayımda projeyi oluşturan faaliyetlerin önceden bilinebileceği söylenmektedir. Bu varsayım, teknolojik açıdan iyi donatılmış projelerde geçerli olmasına rağmen, araştırma-geliştirme projeleri için geçerli olmayabilir. Çünkü tüm problemler önceden tahmin edilemeyebilir ve problemlerin çözümü için gerekli olan faaliyetler de, proje şebekesinde gösterilemeyebilir.

Şebeke, proje ilerledikçe geliştirilmeli veya değiştirilmelidir. Söz konusu araştırma projesi için bir faaliyet listesinin hazırlanması, projenin yürütülmesi sırasında problemler ve değişiklikler ortaya çıkması durumunda, yöneticinin esnekliğini azaltmaktadır.

Bu bağlamda projeler, planlama aşamasında kesinlik arz edecek biçimde düzenlenemezler, dolayısıyla PERT ve CPM teknikleri istenildiği gibi yararlı ve uygun olmayabilir. Ayrıca uygulamada, tüm faaliyetler açık bir biçimde tanımlanamayabilir, bazen bir faaliyetin bitip diğerinin başlaması keyfi bir seçimdir (Wiest ve Levy, 1969:128).

Proje planlama teknikleriyle ilgili diğer varsayım, faaliyet sürelerinin bağımsızlığı varsayımdır. Bu tekniklerde kritik yolun tanımlanması ve kritik sürenin bulunması kritik faaliyetlerin sürelerinin toplanmasıyla bulunur.

Uygulamada ise faaliyet süreleri her zaman birbirinden bağımsız değildir. Bazı durumlarda, bir faaliyetten hemen önce gelen faaliyetteki gecikmenin sonucu olarak söz konusu faaliyetin hızlandırılması zorunlu olabilir. Veya kaynakların sınırlı olması, aynı kaynağı paylaşan faaliyetleri birbirine bağımlı kılabilir. Bir faaliyetin programlanması, kaynak eksikliğinden dolayı diğer bağımsız faaliyeti geciktirebilir(Wiest ve Levy, 1969:128).

Ayrıca bu tekniklerde proje yöneticisinin sadece kritik faaliyetler üzerinde yoğunlaşması, yarı kritik veya kritik olması muhtemel faaliyetleri ihmal etmesine neden olabilir. Bu faaliyetlerin dikkate alınmaması da, projenin tamamlanma süresinde aksaklıklar ortaya çıkmasına neden olabilir (Krajewski ve Ritzman, 1996:815).

Ancak tüm bu eleştirilere rağmen proje planlama teknikleri, yöneticinin planlanan veya beklenmedik değişimlerin gelecekteki etkileri tasarlamasına ve gerekli önlemleri almasına yardımcı olmaktadır.

Bu teknikler kavramsal olarak açıktır ve proje planlama teknikleri hakkında hiç bilgisi olmayan personele bile kolaylıkla açıklanabilir. Şebeke diyagramı projeyi oluşturan faaliyetler arasındaki karmaşık ilişkiyi kolay bir biçimde ve doğrudan gösterir. Ayrıca bu tekniklerde hazırlanan raporlar, dikkatleri projenin programlandığı şekilde tamamlanmasında önemli bir yeri olan faaliyetler üzerinde toplar (Wiest ve Levy, 1969:135-136 ; Krajewski ve Ritzman, 1996:814).

4. PERT TEKNİĞİNİN İNŞAAT SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

4.1. Çalışmanın Amacı

Çalışmanın teorik kısmında da belirtildiği gibi PERT ve CPM özellikle inşaat sektöründe kullanılan tekniklerdir. İnşaat projelerinde her bir faaliyet için deterministik süre tahmini yapmanın, gerçekçi sonuçlar alınamamasına neden olabileceği düşünülerek, çalışmada PERT Tekniğinin kullanılması daha uygun görülmüştür. Çalışmanın amacı, bir hastane inşaatı projesinde karşılaşılabilecek olası problemlerin tanımlanarak, alternatif çözüm yollarının araştırılmasıdır. Olası problemler:

- Kritik olmayan faaliyetlerden kritik faaliyetlere yapılabilecek kaynak dağılımının incelenmesi.
- Projedeki faaliyetlerin hızlandırılmasının maliyetler üzerindeki etkisinin incelenmesi (süre-maliyet ilişkisi).
- Projenin gecikmesine neden olabilecek alternatif kritik yolların araştırılması.

4.2. Çalışma Hakkında Genel Bilgi

Çalışmada 1 blok 3 kattan oluşan, 260 yataklı, 31200 m²'lik bir hastane inşaatında PERT'in kullanılmasıyla, söz konusu projedeki faaliyetlerin en erken ve en geç başlama ve bitiş süreleri, gecikme süreleri, projenin kritik yolu ve standart sapması ve PERT'e göre tamamlanma süresi bulunmuştur. Hastanenin inşaat mühendislerinden alınan bilgilere göre, söz konusu projenin tamamlanma süresi 30 aydır. Bu inşaat projesinde, faaliyetlerin C₁, C₂, C₃, D₁, D₂, D₃ vs. şeklinde ifade edilmesi, 1., 2. ve 3. katlara ilişkin faaliyetleri göstermek için yapılmıştır. Uygulamada 1 ay 26 işgünü olarak kabul edilmiştir. Süreler ay olarak hesaplanmıştır.

4.3. Projeye İlgili Yapılan Hesaplamalar ve Projenin Şebeke Diyagramı

Projede 1., 2. ve 3. kata ilişkin olarak yapılan tüm faaliyetler ayrı işçi grupları tarafından yürütülmektedir. Projede yapılması gereken faaliyetler ve bu

faaliyetler arasındaki öncelik ilişkileri, inşaat mühendislerinden alınan bilgilere göre şöyledir:

Faaliyetler

- A- Zemin Faaliyetleri
- B- Temel Faaliyetleri
- C- Kaba İnşaat Kat Faaliyetleri
- D- Doğrama Ön Hizmetleri
- E- Dış Sıva Faaliyetleri
- F- İç Sıva Faaliyetleri
- G- Seramik
- H- Boya
- I- Çatı
- J- Tefriş (Dolap Kanatları)
- K- Su Tesisatı İnşaatı
- L- Elektrik Tesisatı İnşaatı
- M- Mutfak, çamaşırhane soğutma grupları
- N- Bitiş

Faaliyetler

Öncelik İlişkileri

A	-
B	A
C ₁	B
C ₂	C ₁
C ₃	C ₂
D ₁	C ₁
D ₂	C ₂
D ₃	C ₃
E	C ₃
F ₁	C ₁
F ₂	C ₂
F ₃	C ₃
G ₁	F ₁ , E
G ₂	F ₂ , E
G ₃	F ₃ , E
H ₁	G ₁ , E
H ₂	G ₂ , E
H ₃	G ₃ , E
I	E
J ₁	G ₁ , H ₁
J ₂	G ₂ , H ₂
J ₃	G ₃ , H ₃
K	C ₁
L	C ₁

M B, L, K, D₁, D₂, D₃, J₁, J₂, J₃, I
N M

Çizelge 1’de her bir faaliyet için yapılan 3’lü süre tahminleri, bu faaliyetlerin beklenen süreleri, varyansları ve standart sapmaları görülmektedir.

ÇİZELGE 1. Faaliyetlerin 3’lü Süre Tahminleri, Beklenen Süreleri, Varyans ve Standart Sapmaları (Süre: AY)

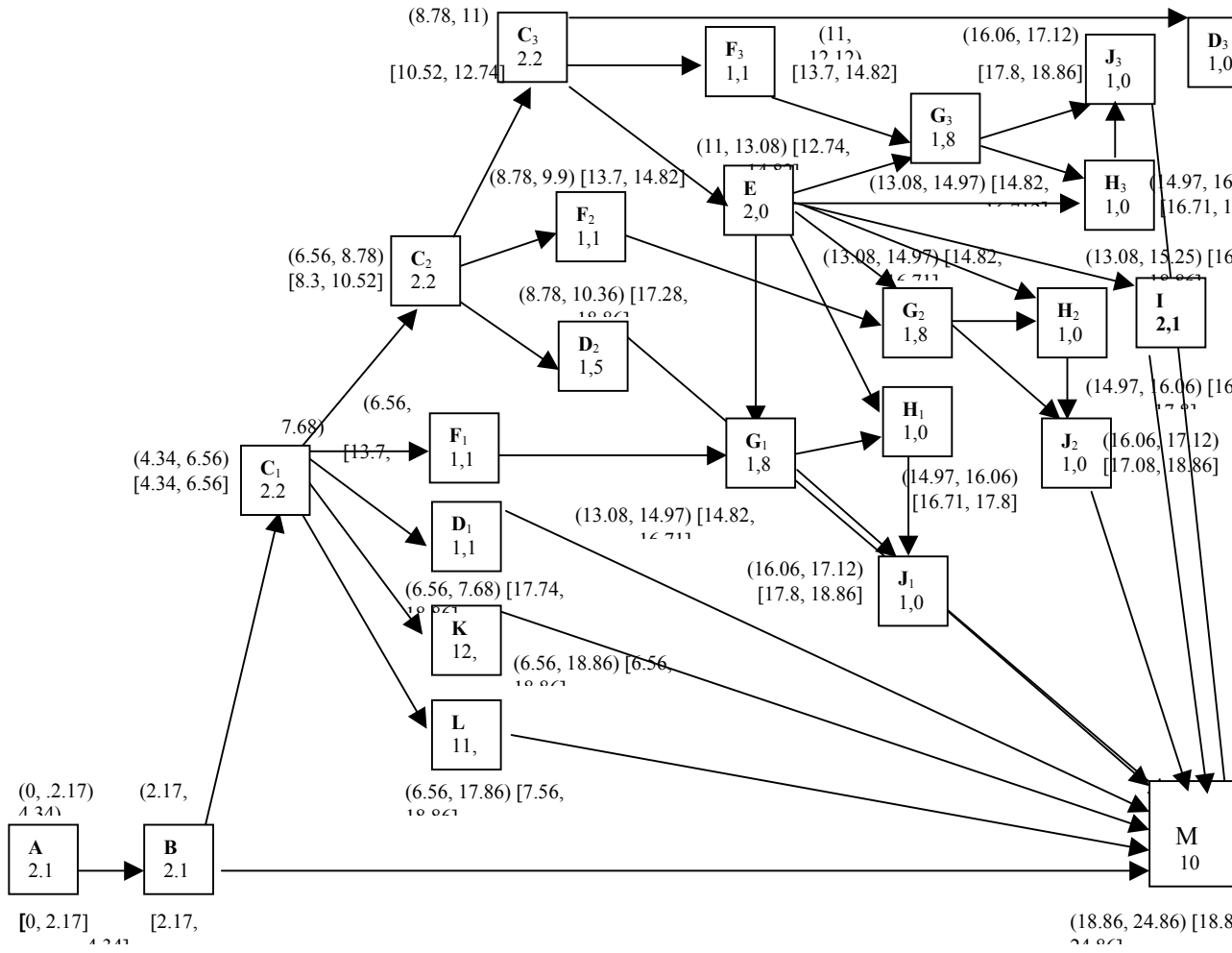
Faaliyetler	En İyimser Süre (a)	En Olası Süre (m)	En Kötümser Süre (b)	Beklenen Süreler (μ)	Varyanslar (σ^2)	Standart Sapmalar (σ)
A	1	2	4	2.17	0.25	0.5
B	1	2	4	2.17	0.25	0.5
C ₁	1	2	4.3	2.22	0.3025	0.55
C ₂	1	2	4.3	2.22	0.3025	0.55
C ₃	1	2	4.3	2.22	0.3025	0.55
D ₁	0.7	1	2	1.12	0.047	0.22
D ₂	1	1.5	2.5	1.58	0.0625	0.25
D ₃	0.7	1	1.5	1.03	0.018	0.13
E	1.5	2	3	2.08	0.0625	0.25
F ₁	0.7	1	2	1.12	0.047	0.22
F ₂	0.7	1	2	1.12	0.047	0.22
F ₃	0.7	1	2	1.12	0.047	0.22
G ₁	1	1.5	4.33	1.89	0.30803	0.555
G ₂	1	1.5	4.33	1.89	0.30803	0.555
G ₃	1	1.5	4.33	1.89	0.30803	0.555
H ₁	0.8	1.1	1.33	1.09	0.0078	0.088
H ₂	0.8	1.1	1.33	1.09	0.0078	0.088
H ₃	0.8	1.1	1.33	1.09	0.0078	0.088
I	1	2	4	2.17	0.25	0.5
J ₁	0.7	1	1.67	1.06	0.026	0.162
J ₂	0.7	1	1.67	1.06	0.026	0.162
J ₃	0.7	1	1.67	1.06	0.026	0.162
K	8	12	18	12.3	2.78	1.67
L	7	11	17	11.3	2.78	1.67
M	4	6	8	6	0.444	0.67
N	0	0	0	0	0	0

Çizim 1’de projedeki faaliyetlerin en erken ve en geç başlama ve bitiş süreleriyle, kutu diyagramına göre çizilen, projenin şe

beke diyagramı görölmektedir. Çalışmada en erken başlama süresi, en erken bitme süresi, en geç başlama süresi ve en geç bitme süresi yerine sırasıyla, ES,

EF, LS ve LF kısaltmaları kullanılacaktır.

ÇİZİM 1. ŞEBEKE DİYAGRAMI
(ES,EF)
[LS, LF]



4.4. Şebekedeki Yollar ve Kritik Yolun Bulunması

- 1)- A-B-C₁-C₂-C₃-D₃-M = 18.03 ay.
- 2)- A-B-C₁-C₂-C₃-F₃-G₃-H₃-J₃-M = 22.16 ay.
- 3)- A-B-C₁-C₂-C₃-F₃-G₃-J₃-M = 21.07 ay .
- 4)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-G₃-H₃-J₃-M = 23.12 ay.
- 5)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-G₃-J₃-M = 22.03 ay.
- 6)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-H₃-J₃-M = 21.23 ay.
- 7)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-I-M = 21.25 ay.
- 8)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-H₂-J₂-M = 21.23 ay.
- 9)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-G₂-H₂-J₂-M = 23.12 ay.
- 10)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-G₂-J₂-M = 22.03 ay.
- 11)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-H₁-J₁-M = 21.23 ay.
- 12)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-G₁-H₁-J₁-M = 23.12 ay.
- 13)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-G₁-J₁-M = 22.03 ay.
- 14)- A-B-C₁-C₂-D₂-M = 16.36 ay.
- 15)- A-B-C₁-C₂-F₂-G₂-H₂-J₂-M = 19.94 ay.
- 16)- A-B-C₁-C₂-F₂-G₂-J₂-M = 18.85 ay.
- 17)- A-B-C₁-D₁-M = 13.68 ay.
- 18)- A-B-C₁-F₁-G₁-J₁-M = 16.63 ay.
- 19)- A-B-C₁-F₁-G₁-H₁-J₁-M = 17.72 ay.
- 20)- A-B-C₁-K-M = 24.86 ay .
- 21)- A-B-C₁-L-M = 23.86 ay.
- 22)- A-B-M = 10.34 ay.

Projeye PERT'in uygulanmasıyla, projenin tamamlanma süresi 24.86 ay olarak bulunmuştur. Projenin kritik yolu, 24.86 aylık bir süreye sahip olan A-B-C₁-K-M yoludur. Kritik faaliyetler ise, A, B, C₁, K ve M faaliyetleridir. Bu faaliyetlerde meydana gelecek herhangi bir gecikme tüm projenin aksamasına neden olabilir.

Projenin ikinci kritik yolu ise (yarı kritik yolu), A-B-C₁-L-M yoludur. Projenin standart sapması, kritik faaliyetlerin standart sapmalarının toplanmasıyla elde edilen 3.89 aydır.

Projenin kritik yolunun, gecikme sürelerinden yola çıkarak bulunması ise Çizelge 2'de gösterilmektedir.

ÇİZELGE 2. Faaliyetlerin En Erken ve En Geç Başlama ve Bitiş Süreleri ve Gecikme Süreleri (Süreler: Ay)

Faaliyetler	ES	EF	LF	LS	Gecikme süreleri
-------------	----	----	----	----	------------------

A	0	2.17	2.17	0	0
B	2.17	4.34	4.34	2.17	0
C ₁	4.34	6.56	6.56	4.34	0
C ₂	6.56	8.78	10.52	8.3	1.74
C ₃	8.78	11	12.74	10.52	1.74
D ₁	6.56	7.68	18.86	17.74	11.18
D ₂	8.78	10.36	18.86	17.28	8.5
D ₃	11	12.03	18.86	17.83	6.83
E	11	13.08	14.82	12.74	1.74
F ₁	6.56	7.68	14.82	13.7	7.14
F ₂	8.78	9.9	14.82	13.7	4.92
F ₃	11	12.12	14.82	13.7	2.7
G ₁	13.08	14.97	16.71	14.82	1.74
G ₂	13.08	14.97	16.71	14.82	1.74
G ₃	13.08	14.97	16.71	14.82	1.74
H ₁	14.97	16.06	17.8	16.71	1.74
H ₂	14.97	16.06	17.8	16.71	1.74
H ₃	14.97	16.06	17.8	16.71	1.74
I	13.08	15.25	18.86	16.69	3.61
J ₁	16.06	17.12	18.86	17.8	1.74
J ₂	16.06	17.12	18.86	17.8	1.74
J ₃	16.06	17.12	18.86	17.8	1.74
K	6.56	18.86	18.86	6.56	0
L	6.56	17.86	18.86	7.56	1
M	18.86	24.86	24.86	18.86	0

Çizelge 2’de görüldüğü gibi gecikme süresi 0 olan faaliyetler A, B, C₁, K ve M faaliyetleridir. Dolayısıyla kritik faaliyetler de bu faaliyetlerdir.

Çizelge 2’de gecikme süreleri sütunundaki sayılar, projenin bitirilmesi için gerekli olan 24.86 ayı geçirmeden her bir faaliyetin ne kadar geç başlayabileceğini göstermektedir. Örneğin, C₂ ve C₃ faaliyetlerinin başlamasının 1.74 ay gecikmesi projenin bitirilme süresini etkilemeyecektir. Aynı şekilde D₂ faaliyetinin başlaması 8.5 aya kadar, F₁ faaliyetinin başlaması ise 7.14 aya kadar gecikebilir. Diğer faaliyetler için de benzer yorumlar geliştirilebilir.

Gecikme süreleri aynı zamanda projenin aksamaması için bir faaliyetin en geç bitirilebileceği süreyi göstermektedir. Bu değer 0 olması, faaliyetin istenildiği gibi gerçekleştirilebileceğini, pozitif olması, projenin önünde gidildiğini (planlananın ilerisinde olduğunu), negatif olması da faaliyetin planlanan gidişatın gerisinde olduğunu ve gerekli önlemlerin alınmasının gerekli olduğunu göstermektedir.

Projede en çok gecikme süresine sahip olan faaliyet 11.18 ayla D₁ faaliyetidir. D₁ faaliyetini, 8.5 aylık gecikme süresine sahip olan D₂ faaliyeti ve 7.14 aylık gecikme süresine sahip olan F₁ faaliyeti izlemektedir. Bu faaliyetler diğer faaliyetlere göre daha çok gecikme süresine sahip olduğundan, bu faaliyetlerden diğer faaliyetlere, özellikle kritik olanlara, zaman ve işgücü şeklinde kaynak aktarımı yapılması mümkündür. Ancak “A (Zemin Faaliyetleri)” kritik faaliyetine hiç işgücü aktarımı yapılamamaktadır. Çünkü A faaliyetinin tümü makinelerle yapıldığından, bu faaliyetin işgücü gibi kaynaklarla desteklenmesi mümkün değildir. Fakat 11.18 aylık bir gecikme süresine sahip olan D₁ (1. Katın Doğrama Faaliyetleri) faaliyetinden, B (Temel Faaliyetleri) faaliyetine, K (Su Tesisatı İnşaatı) faaliyetine, C₁ (1.Katın Kaba İnşaat Kat Faaliyetleri) faaliyetine ve M (Mutfak, Çamaşırhane Soğutma Grupları) faaliyetine kaynak aktarımı yapılması mümkündür. Mesela D₁ (1. Katın Doğrama Ön Hizmetleri Faaliyeti) faaliyetinde çalışacak olan bir grup işçinin, D₁ faaliyetini herhangi bir aksatmaya uğramaksızın, B, C₁, K ve M faaliyetlerinde çalıştırılması mümkündür. Böylelikle bu ek işçi grubu sayesinde söz konusu kritik faaliyetlerin zamanında veya daha kısa sürede tamamlanması sağlanabilir. Aynı şekilde D₁ faaliyetinden kritik faaliyetlere zaman aktarımı da yapılabilir. Mesela, D₁ faaliyetini aksatmayacak bir biçimde A kritik faaliyetine belli bir süre aktarımı (2 ay, 3 ay vs...) yapılabilir. Aynı zaman aktarımı yine D₁ faaliyetinin herhangi bir biçimde aksamasına sebebiyet vermeyecek şekilde B, C₁, K ve M kritik faaliyetlerine de yapılabilir.

D₂ (2. Katın Doğrama Ön Hizmetleri Faaliyeti) ve F₁ (1. Katın İç Sıva Faaliyetleri) faaliyetleri de sırasıyla 8.5 ay ve 7.14 ay gecikme sürelerine sahip olduklarından bu faaliyetlerden B, C₁, K ve M kritik faaliyetlerine ek işçi grubu tahsis edilebilir. D₂ ve F₁ faaliyetlerinden kritik faaliyetlere zaman aktarımı konusunda yapılabilecek yorumlar, D₁ faaliyeti için yapılan yorumların aynısıdır.

4.5. Projedeki Her Yolun Gerçekleşme Olasılığının Hesaplanması

Projede bulunan yolların % kaç olasılıkla tespit edilen sürede veya daha kısa sürelerde tamamlanabileceğini bulmak için öncelikle her yolun standart sapması hesaplanmıştır. Her yolun % kaç olasılıkla tespit edilen sürelerde veya daha kısa sürelerde tamamlanabileceği ise ;

$$Z = \frac{T - T_c}{\sigma_c}$$

Projede bulunan 22 yolun standart sapmaları şöyledir:

- 1)- A-B-C₁-C₂-C₃-D₃-M = 3.45 ay.
- 2)- A-B-C₁-C₂-C₃-F₃-G₃-H₃-J₃-M = 4.345 ay.
- 3)- A-B-C₁C₂-C₃-F₃-G₃-J₃-M = 4.257 ay .

- 4)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-G₃-H₃-J₃-M = 4.375 ay.
- 5)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-G₃-J₃-M = 4.287 ay.
- 6)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-H₃-J₃-M = 3.82 ay.
- 7)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-I-M = 4.07 ay.
- 8)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-H₂-J₂-M = 3.82 ay.
- 9)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-G₂-H₂-J₂-M = 4.375 ay.
- 10)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-G₂-J₂-M = 4.287 ay.
- 11)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-H₁-J₁-M = 3.82 ay.
- 12)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-G₁-H₁-J₁-M = 4.375 ay.
- 13)- A-B-C₁-C₂-C₃-E-G₁-J₁-M = 4.287 ay.
- 14)- A-B-C₁-C₂-D₂-M = 3.02 ay.
- 15)- A-B-C₁-C₂-F₂-G₂-H₂-J₂-M = 3.795 ay.
- 16)- A-B-C₁-C₂-F₂-G₂-J₂-M = 3.707 ay.
- 17)- A-B-C₁-D₁-M = 2.44 ay.
- 18)- A-B-C₁-F₁-G₁-J₁-M = 3.157 ay.
- 19)- A-B-C₁-F₁-G₁-H₁-J₁-M = 3.245 ay.
- 20)- A-B-C₁-K-M = 3.89 ay.
- 21)- A-B-C₁-L-M = 3.89 ay.
- 22)- A-B-M = 1.67 ay.

Çalışmada bundan sonra her yolu tek tek yazmak yerine, 1.yol, 2.yol vs... şeklinde bir anlatım tarzı izlenecektir.

Projedeki 22 yolun standart sapması hesaplandığında, projenin kritik yolu değişmemektedir. Yani projenin kritik yolu A-B-C₁-K-M yoludur. A-B-C₁-L-M yolu 3.89 aylık standart sapmayla halen projenin ikinci kritik yolu (yarı kritik yolu) durumundadır. Projenin gevşek yolu ise 10.34 ayda bitirilebilen ve standart sapması 1.67 ay olan A-B-M yoludur. Bu yol, projenin en kısa yoludur.

Kritik yolda meydana gelebilecek herhangi bir gecikme tüm projenin aksamasına neden olabilir. Yani, Zemin Faaliyetleri (A), Temel Faaliyetleri (B), 1.Katın Kaba İnşaat Kat Faaliyetleri (C₁), Su Tesisatı İnşaatı (K), ve Mutfak, Çamaşırhane Soğutma Grupları (M) faaliyetlerinde herhangi bir gecikme yapılmamasına dikkat edilmelidir. Bu yoldaki gecikmeler, zemin faaliyetlerinin yapılması sırasında makinalarda meydana gelebilecek arızalardan (çünkü zemin faaliyetlerinin hepsi makinalarla yapılmaktadır), temel faaliyetlerinin ve 1. katın kaba inşaat kat faaliyetlerinin yapılması sırasında, işçilerin işe gelmemeleri nedeniyle ortaya çıkabilecek gecikmelerden ve su tesisatı inşaatı sırasında malzemeyle ilgili ortaya çıkabilecek problemlerden kaynaklanabilir (malzemenin kaliteli olmaması, yeniden malzeme siparişi verilmesi ve bu nedenle uğranılacak zaman kaybindan kaynaklanabilecek gecikmeler vs...).

Proje yöneticisinin sadece kritik yol ve kritik faaliyetler üzerinde yoğunlaşp, yarı kritik yolu ihmal etmesi projenin gecikmesine neden olabileceğinden, yarı kritik yola (projenin ikinci kritik yoluna) da önem vermesi gerekir. Projenin yarı kritik yolu olan A-B-C₁-L-M yolunu oluşturan faaliyetlerde meydana gelebilecek gecikmeler, zemin faaliyetlerinin (A) yapılması sırasında makinalarda meydana gelebilecek arızalardan, temel faaliyetlerinin (B) ve 1.katın kaba inşaat kat faaliyetlerinin (C₁) yapılması sırasında işçilerin işe gelmemeleri nedeniyle ortaya çıkabilecek gecikmelerden kaynaklanabilir. Ayrıca elektrik tesisatının kurulması faaliyetleri (L) sırasında işçilerin işe gelmemeleri veya malzemeden kaynaklanabilecek sorunlar nedeniyle de gecikmeler olabilir. Bu nedenle gecikmeye neden olabilecek bu faktörler üzerinde önemle durulması gerekmektedir. Projede bulunan 21 yolun standart sapmaları ve tespit edilen sürelerde veya daha kısa sürelerde gerçekleşme olasılıkları Çizelge 3.'te gösterilmektedir.

ÇİZELGE 3. Yolların Standart Sapmaları ve Gerçekleşme Olasılıkları

Yollar	Standart Sapmalar (Ay)	Gerçekleşme Olasılıkları (%)
1.Yol	3.45	0.0239
2.Yol	3.45	0.2676
3.Yol	4.257	0.1867
4.Yol	4.375	0.3446
5.Yol	4.287	0.2546
6.Yol	3.82	0.1711
7.Yol	4.07	0.1867
8.Yol	3.82	0.1711
9.Yol	4.375	0.3446
10.Yol	4.287	0.2546
11.Yol	3.82	0.1711
12.Yol	4.375	0.3446
13.Yol	4.287	0.2546
14.Yol	3.02	0.0025
15.Yol	3.795	0.0968
16.Yol	3.707	0.0526
17.Yol	2.44	0.00003
18.Yol	3.157	0.0045
19.Yol	3.245	0.0139
21.Yol	3.89	0.3974
22.Yol	1.67	~ 0.00001

Çizelge 3.'te görüldüğü gibi, 2.yolun 4.345 aylık standart sapmayla 22.16 ayda veya daha kısa sürede tamamlanma olasılığı 0.2676 (%26.76), 3.yolun 4.257 aylık standart sapmayla 21.07 ayda veya daha kısa sürede tamamlanma

olasılığı 0.1867 (%18.67), 4., 9. ve 12.yolların 4.375 aylık standart sapmayla 23.12 ayda veya daha kısa sürede tamamlanma olasılıkları 0.3446 (%34.46), 5., 10. ve 13.yolların 4.287 aylık standart sapmayla 22.03 ayda veya daha kısa sürede tamamlanma olasılıkları 0.2546 (%25.46), 6., 8. ve 11.yolların 3.82 aylık standart sapmayla 21.23 ayda veya daha kısa sürede tamamlanma olasılıkları 0.1711 (%17.11), 7.yolun 4.07 aylık standart sapmayla 21.25 ayda veya daha kısa sürede tamamlanma olasılığı 0.1867 (%18.67), 14.yolun 3.02 aylık standart sapmayla 16.36 ayda veya daha kısa sürede tamamlanma olasılığı 0.0025 (% 0.25), 15.yolun 3.795 aylık standart sapmayla 19.94 ayda veya daha kısa sürede tamamlanma olasılığı 0.0968 (%9.68), 16.yolun 3.707 aylık standart sapmayla 18.85 ayda veya daha kısa sürede tamamlanma olasılığı 0.0526 (%5.26), 17.yolun 2.44 aylık standart sapmayla 13.68 ayda veya daha kısa sürede tamamlanma olasılığı 0.00003 (%0.003), 18.yolun 3.157 aylık standart sapmayla 16.63 ayda veya daha kısa sürede tamamlanma olasılığı, 0.0045 (%0.45), 19.yolun 3.245 aylık standart sapmayla 17.72 ayda veya daha kısa sürede tamamlanma olasılığı 0.0139 (%1.39), 21.yolun 3.89 aylık standart sapmayla 23.86 ayda veya daha kısa sürede tamamlanma olasılığı 0.3974 (%39.74)'tür. 22.yolun 1.67 aylık standart sapmayla 10.34 ayda veya daha kısa sürede tamamlanma olasılığı ise, yaklaşık olarak 0.00001gibi çok düşük bir rakamdır.

4.6. Faaliyetlerin Gerçekleşme Olasılıklarının Hesaplanması

Çalışmada projede bulunan 25 faaliyetin %100 olasılıkla ne kadar sürede bitirilebileceğini gösteren hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucu elde edilen değerler Çizelge 4'te gösterilmektedir.

ÇİZELGE 4. Faaliyetlerin %100 Olasılıkla Tamamlanabilecekleri Süreler

Faaliyetler	Standart Sapmalar (Ay)	Faaliyetlerin %100 Olasılıkla Tamamlanabilecekleri Süre (Ay)
A	0.5	4.165
B	0.5	4.165
C ₁	0.55	4.4145
C ₂	0.55	4.4145
C ₃	0.55	4.4145
D ₁	0.22	1.9978
D ₂	0.25	2.5775
D ₃	0.13	1.5487
E	0.25	3.0775
F ₁	0.22	1.9978
F ₂	0.22	1.9978
F ₃	0.22	1.9978
G ₁	0.555	4.10445
G ₂	0.555	4.10445
G ₃	0.555	4.10445
H ₁	0.088	1.44112
H ₂	0.088	1.44112
H ₃	0.088	1.44112
I	0.5	4.165
J ₁	0.162	1.70638
J ₂	0.162	1.70638
J ₃	0.162	1.70638
K	1.67	18.9633
L	1.67	17.9633
M	0.67	8.6733

Çizelge 4'te görüldüğü gibi A, B ve I faaliyetleri %100 olasılıkla 4.165 ayda, C₁, C₂, C₃, faaliyetleri %100 olasılıkla 4.4145 ayda, D₁ faaliyeti %100 olasılıkla 1.9978 ayda, D₂ faaliyeti %100 olasılıkla 2.5775 ayda, D₃ faaliyeti %100 olasılıkla 1.5487 ayda, E faaliyeti %100 olasılıkla 3.0775 ayda, F₁, F₂, F₃ faaliyetleri %100 olasılıkla 1.9978 ayda, G₁, G₂, G₃ faaliyetleri %100 olasılıkla 4.10445 ayda, H₁, H₂, H₃ faaliyetleri %100 olasılıkla 1.44112 ayda, J₁, J₂, J₃ faaliyetleri %100 olasılıkla 1.70638 ayda, K faaliyeti %100 olasılıkla 18.9633 ayda, L faaliyeti %100 olasılıkla 17.9633 ayda, M faaliyeti ise %100 olasılıkla 8.6733 ayda tamamlanabilmektedir.

4.7. Projedeki Faaliyetlerin Hızlandırılmasının Maliyetler Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi (PERT/Maliyet Yönteminin Uygulanması)

PERT/Maliyet Yönteminin uygulanabilmesi için öncelikle projedeki her bir faaliyetin normal süresinin bilinmesi ve bu sürelerle göre projenin kritik yolunun tespit edilmesi gerekir. Projede normal süre olarak, faaliyetlerin en kötümser süreleri kullanılmaktadır.

Projedeki yollar, bu yolların süreleri ve kritik yollar aşağıda gösterilmektedir:

- 1)- $A-B-C_1-C_2-C_3-D_3-M = 30.4$ ay.
- 2)- $A-B-C_1-C_2-C_3-F_3-G_3-H_3-J_3-M = 38.23$ ay.
- 3)- $A-B-C_1-C_2-C_3-F_3-G_3-J_3-M = 36.9$ ay
- 4)- $A-B-C_1-C_2-C_3-E-G_3-H_3-J_3-M = 39.23$ ay.
- 5)- $A-B-C_1-C_2-C_3-E-G_3-J_3-M = 37.9$ ay.
- 6)- $A-B-C_1-C_2-C_3-E-H_3-J_3-M = 34.9$ ay
- 7)- $A-B-C_1-C_2-C_3-E-I-M = 35.9$ ay.
- 8)- $A-B-C_1-C_2-C_3-E-H_2-J_2-M = 34.9$ ay.
- 9)- $A-B-C_1-C_2-C_3-E-G_2-H_2-J_2-M = 39.23$ ay.
- 10)- $A-B-C_1-C_2-C_3-E-G_2-J_2-M = 37.9$ ay.
- 11)- $A-B-C_1-C_2-C_3-E-H_1-J_1-M = 34.9$ ay.
- 12)- $A-B-C_1-C_2-C_3-E-G_1-H_1-J_1-M = 39.23$ ay.
- 13)- $A-B-C_1-C_2-C_3-E-G_1-J_1-M = 37.9$ ay
- 14)- $A-B-C_1-C_2-D_2-M = 27.1$ ay.
- 15)- $A-B-C_1-C_2-F_2-G_2-H_2-J_2-M = 33.93$ ay.
- 16)- $A-B-C_1-C_2-F_2-G_2-J_2-M = 32.6$ ay.
- 17)- $A-B-C_1-D_1-M = 22.3$ ay.
- 18)- $A-B-C_1-F_1-G_1-J_1-M = 28.3$ ay.
- 19)- $A-B-C_1-F_1-G_1-H_1-J_1-M = 29.63$ ay.
- 20)- $A-B-C_1-K-M = 38.3$ ay.
- 21)- $A-B-C_1-L-M = 37.3$ ay.
- 22)- $A-B-M = 16$ ay.

Projenin kritik yolları, 39.23 ay'a sahip olan 4., 9. ve 12.yollardır. Projenin kritik yolunun ve kritik faaliyetlerinin en erken ve en geç başlama ve bitiş sürelerinin hesaplanması suretiyle gecikme sürelerinden yola çıkarak bulunması ise Çizelge 5'te gösterilmektedir.

ÇİZELGE 5. Faaliyetlerin En Erken ve En Geç Başlama ve Bitiş Süreleri ve Gecikme Süreleri

Faaliyetler	Süreler (Ay)	ES (Ay)	EF (Ay)	LF (Ay)	LS (Ay)	Gecikme Süreleri (Ay)
A	4	0	4	4	0	0
B	4	4	8	8	4	0
C ₁	4.3	8	12.3	12.3	8	0
C ₂	4.3	12.3	16.6	16.6	12.3	0
C ₃	4.3	16.6	20.9	20.9	16.6	0
D ₁	2	12.3	14.3	31.23	29.23	16.93
D ₂	2.5	16.6	19.1	31.23	28.73	12.13
D ₃	1.5	20.9	22.4	31.23	29.73	8.83
E	3	20.9	23.9	23.9	20.9	0
F ₁	2	12.3	14.3	23.9	21.9	9.6
F ₂	2	16.6	18.6	23.9	21.9	5.3
F ₃	2	20.9	22.9	23.9	21.9	1
G ₁	4.33	23.9	28.23	28.23	23.9	0
G ₂	4.33	23.9	28.23	28.23	23.9	0
G ₃	4.33	23.9	28.23	28.23	23.9	0
H ₁	1.33	28.23	29.56	29.56	28.23	0
H ₂	1.33	28.23	29.56	29.56	28.23	0
H ₃	1.33	28.23	29.56	29.56	28.23	0
I	4	23.9	27.9	31.23	27.23	3.33
J ₁	1.67	29.56	31.23	31.23	29.56	0
J ₂	1.67	29.56	31.23	31.23	29.56	0
J ₃	1.67	29.56	31.23	31.23	29.56	0
K	18	12.3	30.3	31.23	13.23	0.93
L	17	12.3	29.3	31.23	14.23	1.93
M	8	31.23	39.23	39.23	31.23	0

Çizelge 5'te görüldüğü gibi kritik faaliyetler, gecikme süreleri 0 olan, A, B, C₁, C₂, C₃, E, G₁, G₂, G₃, H₁, H₂, H₃, J₁, J₂, J₃ ve M faaliyetleridir. Projenin kritik yolları da 4.yol (A-B-C₁-C₂-C₃-E-G₃-H₃-J₃-M), 9.yol (A-B-C₁-C₂-C₃-E-G₂-H₂-J₂-M) ve 12.yoldur (A-B-C₁-C₂-C₃-E-G₁-H₁-J₁-M).

Son olarak yapılacak işlem ise, projedeki faaliyetlerin normal maliyetlerini, hızlandırma maliyetlerini, hızlandırma sürelerini, hızlandırılabilen sürelerini ve eğimi tespit etmektir. Hızlandırma süresi olarak, her faaliyetin ortalama beklenen süreleri kullanılmaktadır. Normal süre olarak da her faaliyetin en kötümser süresi kullanılmaktadır. Eğim ise:

$S = C_h - C_n$ (5) formülü kullanılarak hesaplanmaktadır (Halaç, 1995:210).

$D_n - D_h$

C_h : Hızlandırma maliyeti

C_n : Normal maliyet

D_n : Normal süre

D_h : Hızlandırılmış süre

S : Eğim

İnşaat mühendislerinden alınan bilgilere göre A faaliyetinin tüm maliyetini makine maliyetleri oluşturmaktadır. B faaliyetinin %35'ini malzeme maliyetleri, %65'ini işçilik maliyetleri, C faaliyetinin %69'unu malzeme, %32'sini işçilik maliyetleri, D faaliyetinin %60'ını malzeme, %40'ını işçilik maliyetleri, E faaliyetinin %20'sini malzeme, %80'ini işçilik maliyetleri, F faaliyetinin %25'ini malzeme, %75'ini işçilik maliyetleri, G faaliyetinin %62'sini malzeme, %38'ini işçilik maliyetleri, H faaliyetinin %48'ini malzeme, %52'sini işçilik maliyetleri, I faaliyetinin %82'sini malzeme, %18'ini işçilik maliyetleri, J faaliyetinin %68'ini malzeme, %32'sini işçilik maliyetleri, K faaliyetinin %90'ını malzeme, %10'unu işçilik maliyetleri, L faaliyetinin %80'ini malzeme, %20'sini işçilik maliyetleri, M faaliyetinin %84'ünü malzeme, %16'sını işçilik maliyetleri oluşturmaktadır. Hızlandırma maliyetlerinin hesaplanmasında bu faktörler dikkate alınmaktadır.

Çizelge 6'da projedeki faaliyetlerin normal süre ve maliyetleriyle hızlandırma süreleri gösterilmektedir. Çizelge 7'de ise, projedeki faaliyetlerin hızlandırma maliyetleri, hızlandırılabilen süreleri ve eğimler gösterilmektedir.

**ÇİZELGE 6.Projedeki Faaliyetlerin Normal Süre ve Maliyetleriyle,
Hızlandırma Süreleri (Süre:Ay, Maliyet :TL)**

Faaliyetle r	Normal Süre	Normal Maliyet	Hızlandırma Süresi
A	4	16.310.991.000	2.17
B	4	34.886.395.000	2.17
C ₁	4.3	242.248.410.000	2.22
C ₂	4.3	242.248.410.000	2.22
C ₃	4.3	242.248.410.000	2.22
D ₁	2	8.570.777.000	1.12
D ₂	2.5	8.570.775.000	1.58
D ₃	1.5	8.570.780.000	1.03
E	3	39.928.756.000	2.08
F ₁	2	13.309.586.000	1.12
F ₂	2	13.309.586.000	1.12
F ₃	2	13.309.586.000	1.12
G ₁	4.33	28.809.334.000	1.89
G ₂	4.33	28.809.334.000	1.89
G ₃	4.33	28.809.334.000	1.89
H ₁	1.33	13.309.588.000	1.09
H ₂	1.33	13.309.588.000	1.09
H ₃	1.33	13.309.588.000	1.09
I	4	62.283.872.000	2.17
J ₁	1.67	8.570.777.000	1.06
J ₂	1.67	8.570.777.000	1.06
J ₃	1.67	8.570.777.000	1.06
K	18	231.785.545.000	12.3
L	17	952.132.948.000	11.3
M	8	126.710.439.000	6

ÇİZELGE 7. Projedeki Faaliyetlerin Hızlandırma Maliyetleri, Hızlandırılabilen Süreleri ve Eğimleri

Faaliyetler	Hızlandırma Maliyeti (TL)	Hızlandırılabilen Süre (Ay)	Eğim (TL)
A	46.323.214.440	1.83	16.400.122.098
B	76.610.523.420	1.83	22.800.070.175
C ₁	387.936.603.774	2.08	70.042.400.853
C ₂	387.936.603.774	2.08	70.042.400.853
C ₃	387.936.603.774	2.08	70.042.400.853
D ₁	14.707.453.332	0.88	6.973.495.832
D ₂	13.987.504.800	0.92	5.887.749.783
D ₃	13.576.115.520	0.47	10.649.650.043
E	85.926.682.912	0.92	49.997.746.643
F ₁	31.177.709.890	0.88	20.304.686.239
F ₂	31.177.709.890	0.88	20.304.686.239
F ₃	31.177.709.890	0.88	20.304.686.239
G ₁	53.879.216.447	2.44	10.274.541.986
G ₂	53.879.216.447	2.44	10.274.541.986
G ₃	53.879.216.447	2.44	10.274.541.986
H ₁	21.753.190.627	0.24	35.181.677.613
H ₂	21.753.190.627	0.24	35.181.677.613
H ₃	21.753.190.627	0.24	35.181.677.613
I	82.912.290.406	1.83	11.272.359.785
J ₁	12.904.161.851	0.61	7.103.909.592
J ₂	12.904.161.851	0.61	7.103.909.592
J ₃	12.904.161.851	0.61	7.103.909.592
K	265.626.234.570	5.7	5.936.963.082
L	1.237.772.832.400	5.7	50.112.260.421
M	151.038.843.288	2	12.164.202.144

Elimizdeki bu verilerle artık hızlandırma işlemleri yapılabilir. Hızlandırma işlemini yaparken, hızlandırma yapılacak yolda, eğimi en küçük olan faaliyetler seçilir. Çizelge 8’de hızlandırma işlemleri ve bu işlemlerin sonucunda her yolun aldığı değer görülmektedir. Çizelge 9’da ise her bir hızlandırma işleminin sonucunda proje maliyetinin alacağı değerler görülmektedir.

ÇİZELGE 8. Hızlandırma İşlemleri (Süre: Ay)

Yollar	1. Hız.	2. Hız.	3. Hız.	4. Hız.	5. Hız.	6. Hız.	7. Hız.	8. Hız.	9. Hız.
1.yol	30.4	30.4	30.4	28.57	26.74	24.74	22.66	20.58	20
2.yol	38.23	35.79	35.18	33.35	31.52	29.52	27.44	25.36	24.78
3.yol	36.9	34.46	33.85	32.02	30.19	28.19	26.11	24.03	23.45
4.yol	38.31	35.87	35.26	33.43	31.6	29.6	27.52	25.44	24.86
5.yol	36.98	34.54	33.93	32.1	30.27	28.27	26.19	24.11	23.53
6.yol	33.98	33.98	33.37	31.54	29.71	27.71	25.63	23.55	22.97
7.yol	34.98	34.98	34.37	32.54	30.71	28.71	26.63	24.55	23.97
8.yol	33.98	33.98	33.37	31.54	29.71	27.71	25.63	23.55	22.97
9.yol	38.31	35.87	35.26	33.43	31.6	29.6	27.52	25.44	24.86
10.yol	36.98	34.54	33.93	32.1	30.27	28.27	26.19	24.11	23.53
11.yol	33.98	33.98	33.37	31.54	29.71	27.71	25.63	23.55	22.97
12.yol	38.31	35.87	35.26	33.43	31.6	29.6	27.52	25.44	24.86
13.yol	36.98	34.54	33.93	32.1	30.27	28.27	26.19	24.11	23.53
14.yol	27.1	27.1	27.1	25.27	23.44	21.44	19.36	17.28	17.28
15.yol	33.93	31.49	30.88	29.05	27.22	25.22	23.14	21.06	21.06
16.yol	32.6	30.16	29.55	27.72	25.89	23.89	21.81	19.73	19.73
17.yol	22.3	22.3	22.3	20.47	18.64	16.64	14.56	14.56	14.56
18.yol	28.3	25.86	25.25	23.42	21.59	19.59	17.51	17.51	17.51
19.yol	29.63	27.19	26.58	24.75	22.92	20.92	18.84	18.84	18.84
20.yol	37.38	34.94	34.33	32.5	30.67	28.67	26.59	24.86	24.86
21.yol	36.38	33.94	33.33	31.5	29.67	27.67	25.59	23.86	23.86
22.yol	16	16	16	14.17	12.34	10.34	10.34	10.34	10.34

ÇİZELGE 9. HIZLANDIRMA İŞLEMLERİ VE PROJE MALİYETLERİ

Hızlandırma İşlemleri (Ay)	Proje Maliyeti (TL.)
1. Hızlandırma	2.514.541.333.146
2. Hızlandırma	2.688.587.032.068
3. Hızlandırma	2.777.220.344.132
4. Hızlandırma	2.793.620.466.230
5. Hızlandırma	2.816.420.536.405
6. Hızlandırma	2.840.748.940.693
7. Hızlandırma	2.910.791.341.546
8. Hızlandırma	3.036.882.965.902
9. Hızlandırma	3.106.925.366.755

Çizelge 8’de görüldüğü gibi, projenin tamamlanma süresinin 39.23 aydan 24.86 aya düşürülmesi 9 aşamada gerçekleştirilmiştir. Yani 9 hızlandırma işlemi yapılmıştır. 1.hızlandırma işleminde, 4. yoldan 13. yola kadar olan yolları hızlandırmak (kısaltmak) için E faaliyeti kullanılmıştır. 20. ve 21. yolları hızlandırmak için K ve L faaliyetleri kullanılmıştır. Bu yollar 0.92 ay

hızlandırılmıştır. Bu hızlandırma işleminin sonucunda projenin normal maliyetine E, K ve L faaliyetlerinin eğimleri (birim süre hızlandırma maliyetleri) eklenmiştir. Projenin normal maliyeti 2.408.494.363.000 TL.dir ve 1.hızlandırma işlemi proje maliyetini Çizelge 9'da görüldüğü gibi 2.514.541.333.146 TL.'ye yükseltmiştir.

Çizelge 8'de görüldüğü gibi 2.hızlandırma işleminde 2., 3., 4. ve 5. yolları hızlandırmak için G_3 faaliyeti, 9., 10., 15. ve 16. yolları hızlandırmak için G_2 faaliyeti, 12., 13., 18. ve 19. yolları hızlandırmak için G_1 faaliyeti, 20. yolu hızlandırmak için K, 21. yolu hızlandırmak için de L faaliyeti kullanılmıştır. Bu yollar 2.44 ay hızlandırılmıştır. 2. hızlandırma işlemi proje maliyetini Çizelge 9'da görüldüğü gibi 2.688.587.032.068 TL.'ye yükseltmiştir.

3. hızlandırma işleminde 2., 3., 4., 5. ve 6. yolları hızlandırmak için J_3 faaliyeti, 7. yolu hızlandırmak için I faaliyeti, 8., 9., 10., 15. ve 16. yolları hızlandırmak için J_2 faaliyeti, 11., 12., 13., 18. ve 19. yolları hızlandırmak için J_1 faaliyeti, 20. yolu hızlandırmak için K faaliyeti, 21. yolu hızlandırmak için de L faaliyeti kullanılmıştır. Bu yollar 0.61 ay hızlandırılmıştır. 3. hızlandırma işleminin sonucunda her yolun aldığı değer Çizelge 8'de görülmektedir. Çizelge 9'da görüldüğü gibi 3. hızlandırma işleminin sonucunda proje maliyeti 2.777.220.344.132 TL. olarak bulunmuştur.

4. hızlandırma işleminde tüm yolları hızlandırmak için A faaliyeti kullanılmıştır. Tüm yollar Çizelge 8'de görüldüğü gibi 1.83 ay hızlandırılmıştır. 4. hızlandırma işlemi sonucu proje maliyeti Çizelge 9'de görüldüğü gibi 2.793.620.466.230 TL.'ye yükselmiştir.

5. hızlandırma işleminde tüm yolları hızlandırmak için B faaliyeti kullanılmıştır. Tüm yollar Çizelge 8'de görüldüğü gibi 1.83 ay hızlandırılmış ve proje maliyeti Çizelge 9'da görüldüğü gibi 2.816.420.536.405 TL.'ye yükselmiştir.

Çizelge 8'den de anlaşıldığı gibi 6. hızlandırma işleminde tüm yolları hızlandırmak için M faaliyeti kullanılmış ve bu yollar 2 ay hızlandırılmıştır. 6. hızlandırma işleminin sonucunda proje maliyeti Çizelge 9'da görüldüğü gibi 2.840.748.940.693 TL.olarak bulunmuştur.

7. hızlandırma işleminde 1. yoldan 21. yola kadar olan yolları hızlandırmak için C_1 faaliyeti kullanılmıştır. Bu yollar 2.08 ay hızlandırılmış ve bu hızlandırma işleminin sonucunda proje maliyeti Çizelge 9'da görüldüğü gibi 2.910.791.341.546 TL. olarak bulunmuştur.

Çizelge 8’de görüldüğü gibi 8. hızlandırma işleminde 1. yoldan 16. yola kadar olan yolları hızlandırmak için C₂ faaliyeti kullanılarak bu yollar 2.08 ay hızlandırılmış, 20. yolu 1.73 ay hızlandırmak için K faaliyeti, 21. yolu 1.73 ay hızlandırmak için de L faaliyeti kullanılmış ve 8. hızlandırma işleminin sonunda proje maliyeti Çizelge 9’de görüldüğü gibi 3.036.882.956.902 TL.’ye yükselmiştir.

9. hızlandırma işleminde ise, 1. yoldan 13. yola kadar olan yolları hızlandırmak için C₃ faaliyeti kullanılmıştır. 9. hızlandırma işleminin sonucunda proje süresi Çizelge 8’de görüldüğü gibi 24.86 aya düşürülmüş ve bu hızlandırma işleminin maliyeti proje maliyetini Çizelge 9’de görüldüğü gibi 3.106.925.366.755 TL.’ye yükseltmiştir.

Sonuç olarak projenin tamamlanma süresinin 39.23 aydan 24.86 aya düşürülmek istenmesi durumunda, PERT/Maliyet yönteminin uygulanmasıyla projenin maliyeti 2.408.494.363.000 TL.’den 3.106.925.366.755 TL.’ye yükselmiştir. Yani maliyetlerde 698.431.003.755 TL.’lik bir artış söz konusudur

Hızlandırma işlemlerinin yapılmak istenmesi durumunda maliyetlerdeki bu artış gözönünde tutulmalıdır.

4.8. Çalışmanın Sonuçları

Projenin mühendislerinden sağlanan bilgiler ışığında, projenin beklenen tamamlanma süresi 30 aydır. Projeye PERT’in uygulanmasıyla, projenin toplam beklenen süresi 24.86 ay olarak bulunmuştur.

Projenin kritik yolu, A-B-C₁-K-M, kritik faaliyetleri de A, B, C₁, K, M olarak bulunmuştur. Bu faaliyetlerdeki herhangi bir gecikme, tüm projenin gecikmesine neden olabilir. Projenin standart sapması, kritik faaliyetlerin standart sapmalarının toplanmasıyla bulunan, 3.89 aydır. Yani projenin toplam beklenen zamanı 3.89 ay sapma gösterebilir. Projenin ikinci kritik yolu (yarı kritik yolu), A-B-C₁-L-M yoludur. Bu yolun standart sapması da 3.89 olarak bulunmuştur. Bu yolda olabilecek herhangi bir gecikme de bu yolun kritik yola dönüşmesine ve projenin gecikmesine neden olabilir.

Çalışmada her faaliyetin %100 olasılıkla ne kadar sürede bitirebileceğini gösteren hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca, projeyi oluşturan 22 yolun ayrı ayrı standart sapmaları bulunarak, projenin gecikmesine neden olabilecek alternatif kritik yolları da araştırılmıştır. Çalışmada ayrıca, projedeki 22 yolun tespit edilen sürelerde veya daha kısa sürelerde tamamlanma olasılıkları bulunmuş, projedeki her faaliyetin en erken ve en geç başlama ve bitiş süreleriyle gecikme süreleri hesaplanmış ve gecikme süresi en çok olan

faaliyetlerden kritik faaliyetlere yapılabilecek kaynak aktarımıyla ilgili yorumlar geliştirilmiştir.

Son olarak PERT/Maliyet Tekniği kullanılmış ve projedeki faaliyetlerin hızlandırılmasının maliyetler üzerindeki etkisi incelenerek süre-maliyet ilişkileri ortaya konmuştur.

6. SONUÇ

Proje planlama teknikleri, gerçek hayatta karşılaşılan problemleri basit bir şekle indirgeyerek çözmeye çalışmaktadır. Bu teknikler özellikle sağladıkları bakış açıları ve problem yapısını kurmada sağladıkları kolaylıklar açısından proje yöneticilerine oldukça yardımcı olmaktadır. Tekniklerin sağladıkları farklı zaman-maliyet kombinasyonları proje yöneticilerine optimum veya optimuma yakın alternatifleri seçme imkanı tanımaktadır.

Proje planlama teknikleri, projelerin planlanması, programlanması ve kontrolünde kullanılmaktadır. Proje planlama teknikleri sayesinde, yöneticiler, planlanan veya beklenmedik değişimlerin gelecekteki etkilerini tahmin edebilmekte ve gerekli önlemleri almaktadır. Bu teknikler sayesinde, proje yöneticisi, projedeki faaliyetlerin süresini belirleyerek, projenin gerisinde kalan faaliyetleri ve bunların projenin gidişatı üzerindeki etkilerini tespit edebilmektedir. Proje planlama teknikleri, kaynakların zaman ve maliyet faktörleri açısından değerlendirilmesine imkan vererek, proje kontrolünü sağlamaya yardımcı olmaktadır.

Projenin gerçekteştirilmesi sırasında, bazı faaliyetler planlananın gerisinde, bazıları da ilerisinde olabilir. Bu durumda, planlanandan ileri düzeyde olan faaliyetlerden, planlananın gerisinde olan faaliyetlere bir kaynak aktarımı yapılarak, projenin gecikmesi önlenir. Bunun için de öncelikle proje çalışmaları sırasında sorun yaratabilecek alanların, planlananın ilerisinde ve gerisinde olan faaliyetlerin tespit edilmesi gerekmektedir.

Çalışmada da incelendiği gibi, PERT ve CPM arasındaki temel fark, süre tahminlerinde görölmektedir. CPM, faaliyet sürelerinin daha önce yapılmış çalışmalara dayanarak tahmin edilebildiği durumlarda, PERT ise, özellikle faaliyet sürelerini tahmin etmede belirsizliklerin söz konusu olduğu durumlarda kullanılmaktadır. PERT, faaliyetlerin nasıl daha kısa sürede tamamlanabileceği ile ilgilenirken, CPM, faaliyetlerin zaman-maliyet dengesini kurmaya çalışmaktadır. PERT/Zaman olarak adlandırılan PERT sayesinde projedeki birçok faaliyet kontrol edilebilmektedir. PERT, gecikmeleri önlemek için 3'lü süre tahmini yaparak çeşitli durum ve koşulların en uygun nasıl düzenlenmesi gerektiği konusunda proje yöneticisine bir fikir vermektedir. Ancak proje

yöneticisi, kaynakların en düşük maliyetle kullanılması üzerinde de durmalıdır. PERT'in geliştirilmiş biçimi olan PERT/Maliyet, çok karmaşık araştırma-geliştirme projelerinde kaynakların esnek kullanımı ve kontrolü için, teknik program amaçlarının gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. PERT/Maliyet tekniği ayrıca, proje yöneticisine, proje maliyetinin bütçelenen maliyetlerden ne kadar fazla olduğu ve projenin programlanan sürenin ne kadar gerisinde veya ilerisinde olduğu ile ilgili bilgiler de vermektedir.

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

Çalışmada, PERT'in kullanılmasıyla projenin tamamlanma süresi 24.86 ay olarak bulunmuştur. Projenin kritik yolları ve kritik faaliyetleri tespit edilmiştir. Bulunan kritik faaliyetler sayesinde, proje yöneticisi, hangi faaliyetlerde hiç aksama yapılmamasına ve üzerinde önemle durulması gerektiğine karar verebilir. Ayrıca PERT/Maliyet tekniğinin kullanılarak süre-maliyet ilişkilerinin ortaya konması da uygulama kısmında yapılan çalışmalar arasındadır.

KAYNAKÇA

Barutçugil, İ. S. (1984) "Büyük Ölçekli Yatırım Projelerinin Yönetimi", *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5/2:162

Barutçugil, İ. S. (1988) "Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri" *Uludağ Üniversitesi Yayınları*, 2.Baskı, 239-240

Cottrell, D. (1999) "Simplified Program Evaluation and Review Technique", *Journal of Construction Engineering and Management*, Jan/Feb, 125/1:17

Çimen, S. (1994) *Projelerde Başarıyı Belirleyen Faktörler ve Kamu Kuruluşlarında Bu Faktörlere Yaklaşımın Belirlenmesi*,Yayınlanmamış Uzmanlık Tezi, DPT Uzmanlık Tezleri.

Dunne, E. J. ve Klementowski, L.J. (1982) "An Investigation of The Use of Network Techniques in Research and Development Management", *IEEE Transactions On Engineering Management*, 29/3, August:77.

Grow,T.A. (1975)*Construction:A Guide For The Profession*, Prentice-Hall, Inc.

Halaç, O. (1995) *Kantitatif Karar Verem Teknikleri*, Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.

Hillier F. S. and Lieberman, G.J. (1995) *Introduction To Operations Research*, McGraw Hill Inc.

Hoare, H.R. (1973) *Project Management Using Network Analysis*, McGraw Hill Company.

İpeköz, B. (1994) *PERT Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Krajewski, L.J. and Thompson, H.E. (1981) *Management Science: Quantitative Methods in Context*, John Wiley & Sons, Inc.

Krajewski, L. J. and Ritzman, L.P. (1996) *Operations Management: Strategy and Analysis*, 4th Edition, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

Levin, R. I. and Kirkpatrick, C.A. (1973) PERT ve CPM İle Planlama Ve Denetim, *ODTÜ, İdari Bilimler Fakültesi*, 2.Baskı, Yayın:12, Ogun Kardeşler Matbaası.

Monks, J. G. (1996) *Schaum's Outline of Theory and Problems of Operations Management*, 2nd Edition, McGraw-Hill Inc.

Öcal, M.E. (1991) *Yapı Projelerinde Kullanılan Kaynakların Planlama ve Kontrolünde Şebeke Analizi ve Çubuk Diyagrama Dayalı Karma Bir Model Önerisi ve Uygulaması*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Rowe, K. (1975) *Management Techniques For Civil Engineering Construction*, Applied Science Publishers Ltd.

Sauls, E. (1978) "The Use of GERT", IEEE Engineering Management Review, 6/12, June:30.

Schleip, W and Schleip, R. (1972) *Planning and Control in Management: The German RPS System*, Peter Peregrinus Ltd., England.

Stevenson, W. J. (1996) *Production/Operations Management*, IRWIN, Inc.

Thierauf, R. J. (1978) *An Introduction to Operations Research*, John Wiley & Sons, Inc., A Wiley / Hamilton Publication.

Wiest, J. D. and Levy, F.K. (1969) *A Management Guide To PERT/CPM*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Yamak, O. (1994) *Üretim Yönetimi*, 1.Baskı, Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.