

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI BİLİM DALI

**PERT MODELLERİNİN HEDEF PROGRAMLAMA
İLE HIZLANDIRILMASI
VE İNŞAAT SEKTÖRÜNE BİR UYGULAMA**

Yüksek lisans Tezi

HANİFE ÇETİN

İstanbul ,2008

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI BİLİM DALI

**PERT MODELLERİNİN HEDEF PROGRAMLAMA
İLE HIZLANDIRILMASI
VE İNŞAAT SEKTÖRÜNE BİR UYGULAMA**

Yüksek lisans Tezi

HANİFE ÇETİN

Danışman: Prof. Dr.İbrahim Doğan

İstanbul ,2008

Marmara Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü

Tez Onay Belgesi

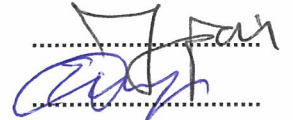
EKONOMETRİ Anabilim Dalı YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI Bilim Dalı
Yüksek Lisans öğrencisi HANİFE ÇETİN'İN PERT MODELLERİNİN HEDEF
PROGRAMLAMA İLE HIZLANDIRILMASI VE İNŞAAT SEKTÖRÜNE BİR UYGULAMA
adlı tez çalışması, Enstitümüz Yönetim Kurulunun 19.06.2008 tarih ve 2008-10/25 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Yüksek Lisans Tezi olarak
kabul edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 30.06.2008.

- 1) Tez Danışmanı : PROF. DR. İBRAHİM DOĞAN
2) Jüri Üyesi : YRD. DOÇ.DR. ERDAL DİNÇER
3) Jüri Üyesi : DOÇ. DR. ÖMER ÖNALAN


.....

.....

Bu çalışmanın hazırlanmasında desteklerini hiç esirgemeyen çok değerli anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.....

ABSTRACT

This subject of my study is analyzing the relationship of basic financial cost and the known duration time in to be come true investments. The goal of the work is that implication between the financial and realized duration to develop a model of linear goal programing .For the mentioned model Project to be considered as a network prepared they make it continually realized forced and it has got shortened the duration time of this Project .To be considered point in forcing the accounted duration time of the Project as become true of minimum financial increase for each unit.

Consisting of this study is to show the reality administration sample event practicing with the a completed building Project in our sample practicing at first using the CPM-PERT Project administration technique to speed up the duration time of the Project, it has been shortened total cost.In our second practicing linear goal programming technique it has been minimized with making speed up our Project duration time and it has been tried on focusing shortage total administration cost of our Project .At the end of this research to speed up with a model of goal programme.1.speed up and 2. it has been improved this model .To make decision for the important it has been supplied.

ÖZET

Bu çalışmanın konusu yatırımların gerçekleştirilmesinde var olduğu bilinen süre ile maliyet arasındaki ilişkinin esaslarının incelenmesidir. Çalışmanın amacı ise gerçekleştirme süresi ile maliyet arasındaki bu ilişkiyi belirlemeye yönelik bir doğrusal hedef programlama modeli geliştirmektir. Söz konusu model proje için hazırlanan şebekeyi esas alarak bu şebeke üzerinde ardışık olarak sıkıştırmalar yapmakta ve projenin gerçekleştirme süresini giderek kısaltmaktadır. Sıkıştırmalarda göz önünde tutulan nokta, projenin gerçekleştirme süresindeki her birim kısalmasının minimum maliyet artışına neden olacak şekilde gerçekleştirilmesidir.

Bu çalışmanın içeriği ise proje yönetim gerçeğini belirten ve örnek olay uygulaması ile Tamamlanan bir inşaat projesi uygulama çalışmasından oluşmaktadır. Örnek uygulamamızda, ilk önce CPM-PERT proje yönetim tekniği uygulanarak projemizin süresi hızlandırılmaya ve projemizin toplam maliyeti düşürülmeye çalışılmaktadır. İkinci uygulamamızda ise doğrusal hedef programlama tekniği ile hızlandırma işlemi yapılarak projemizin süresi minimize edilmeye çalışılmakta ve projemizin toplam maliyeti azaltılmaya yoğunlaşmaktadır. Bu araştırma sonucunda bir pert modelinin hedef programlama ile hızlandırılmasına 1. hızlandırma ve 2. hızlandırma şeklinde model geliştirilmiştir. Karar vericiye önemli bir araç sağlanmış olmaktadır.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

TABLO LİSTESİ.....	I
ŞEKİL LİSTESİ.....	V
GİRİŞ.....	1
1.PROJE YÖNETİMİNE GENEL BAKIŞ.....	4
1.1.Proje Nedir?.....	4
1.2.Proje Yönetimi.....	5
1.2.1.Projelerde Kullanılan Kaynaklar.....	6
1.2.1.1.Zaman.....	6
1.2.1.2.Finansman.....	6
1.2.1.3.İşçilik.....	6
1.2.1.4.Malzeme-Teçhizat.....	6
1.2.1.5.Teknik,İdari Personel.....	7
1.3.Proje Yönetim Sistemi.....	7
1.4.Projelerin Planlanması ,Programlanması ve Kontrolü.....	10
1.4.1.Proje Planlama.....	10
1.4.1.1.Proje Planlamada Amaçlar.....	12
1.4.1.2.Proje Planlamada Yöntemler.....	12
1.4.2.Proje Programlama.....	12
1.4.3.Proje Kontrol.....	13
2.ŞEBEKE (AĞ).....	14
2.1.Şebeke Analizi.....	14
2.2.Şebeke Uygulamalarının Kapsamı.....	15
2.2.1.Şebeke Tanımlamaları.....	16
2.2.1.1.Ağ (Şebeke).....	16
2.2.1.2.Düğüm.....	17
2.2.1.3.Dal.....	17
2.2.1.4.Yol (Hat).....	17
2.2.1.5.Zincir.....	20
2.2.1.6.Çevrim.....	21
3.PROJE ÇİZELGELEME.....	22
3.1.Gantt(Çizelgesinin) Şemasının Tanıtımı.....	22
3.2.Gantt Çizelgesi.....	22
3.3.Gantt(Çubuk Diyagramlar).....	23
3.3.1.Gantt Şemasının Yapılması.....	25
3.3.1.1.Gantt Şemasının Yapılması (Doldurma Yöntemi).....	26
3.3.1.2.Gant Şemasının Yapılması (Blok Yöntemi).....	27
3.3.1.3.Gant Şemasının Yapılması (Sembol Yöntemi).....	28
3.3.1.4.Gant Şemasının Yararları ve Sakıncaları.....	28
4.AĞ YAKLAŞIMI (CPM/PERT)	30
4.1.Pert ve CPM Tekniklerinin Temel Farkı.....	31
4.2.Pert ve CPM Tekniğinin Faydaları.....	32
4.3.Matris Çözüm Yöntemi.....	34
4.3.1.En Erken Gerçekleşme Zamanlarının Hesaplanması.....	34
4.3.2.En Geç Gerçekleşme Zamanlarının Hesaplanması.....	36
4.4.Kritik Yörünge'nin Belirlenmesi.....	36

4.4.1.Esnekliklerin (Bollukların) Hesaplanması.....	37
4.4.1.1.Toplam Esneklik.....	38
4.4.1.2.Serbest Esneklik.....	39
4.4.1.4.Ara Esneklik.....	39
4.5.Pert Yöntemi.....	40
5.ALTERNATİF PROGRAM HAZIRLAMA.....	44
5.1.İşgücünün Dengelenmesi.....	44
5.2.Kaynakların Dengelenmesi.....	44
5.3.Gerçekleştirme Süresinin Optimize Edilmesi.....	44
5.4.Süre Maliyet İlişkisi.....	45
5.5.Maliyet Kavramı ve Maliyete İlişkin Sınıflamalar.....	46
5.5.1.Dolaylı ve Dolaysız Maliyetler.....	46
5.5.2.Alternatif veya Fırsat Maliyeti.....	47
5.6.Yatırım Programını Oluşturan Faaliyetler Bazında Süre-Maliyet İlişkisi.....	47
5.6.1.Faaliyetlerin Süre ve Maliyetlerinin Belirlenmesi.....	47
5.6.2.Faaliyet Maliyetlerinin Süreye Göre Değişiminin Belirlenmesi.....	49
5.6.3.Yatırım Programı Bazında Süre Maliyet İlişkisi.....	51
5.7. Maliyeti Oluşturan Bileşenler.....	52
5.7.1.Dolaylı Maliyetler.....	52
5.7.2.Dolaysız Maliyetler.....	52
5.8.Maliyetlerin Süreye Göre Değişiminin Belirlenmesi.....	53
6.ŞEBEKENİN SIKIŞTIRILMASI.....	55
6.1.Optimum Gerçekleştirme Süresinin Hesaplanması.....	61
6.2. Dolaylı Maliyet Eğrisinin Belirlenmesi.....	61
6.3.Dolaysız Maliyet Eğrisinin Belirlenmesi.....	62
6.4.Kullanılan Teknikle İlgili Çalışmalar.....	63
6.5.Srilal Perera ‘nın Lineer Programlama Yöntemi.....	63
6.5.1.Minimum Maliyet Sınırlamaları.....	65
6.5.2.Maksimum Maliyet Sınırlamaları.....	65
6.5.3.Başlangıç Zamanları Farkına İlişkin Sınırlamalar.....	66
6.5.4.Bitiş Zamanları Farkına İlişkin Sınırlamalar.....	66
6.5.5.Başlangıç Zamanı Sınırlamaları.....	67
6.5.6.Faaliyet Süresi Sınırlamaları.....	67
6.5.7.Proje Süresi Sınırlamaları.....	67
7.TEZ KAPSAMINDA GELİŞTİRİLEN MODELİN İNCELENMESİ.....	69
7.1.Problemin Tanımlanması.....	69
7.2.Modelin Tanıtımı.....	69
7.3 Optimum Sürenin Belirlenmesi.....	75
8.HEDEF PROGRAMLAMA.....	81
8.1.Hedef Programlamanın Kullanıldığı Alanlar.....	81
8.2.Karar Problemleri.....	82
8.2.1.Bir Karar Probleminin Elamanları.....	82
8.2.2.Bir Karar Analizinde Bulunması Gereken Adımlar.....	83
8.3.Çok Amaçlı Karar Alma.....	85
8.3.1.Hedef Programlama.....	87
8.3.2.Hedef Programlamanın Kullanıldığı Alanlar.....	88
8.3.3.Hedef Programlama Tekniğinin Özellikleri.....	91
8.3.4.Hedef Programlamanın Avantajları ve Dezavantajları.....	93
8.3.5.Hedef Programlama Tekniğinin Gelişimi.....	93
8.4.Hedef Programlama Türleri.....	100

8.5.Hedef Programlama Tekniğinin Sınıflandırılması.....	101
8.6.Hedef Programlamanın Yapısı.....	101
8.6.1.Karar Değişkenleri.....	102
8.6.2.Sistem Kısıtları.....	102
8.6.3.Hedef Kısıtları.....	102
8.6.4.Amaç Fonksiyonları.....	102
8.6.5.Birleşik Amaç (Başarı)Fonksiyonu.....	103
8.6.6.Hedef Programlama Tekniği.....	103
8.6.7.Genel Hedef Programlama Modeli.....	103
8.6.8.Hedef Programlamanın Formülasyonu.....	108
8.6.9.Hedef Programlamanın Varsayımları.....	108
8.6.9.1.Hedeflerin Önceliklendirilmesi.....	108
8.6.9.1.1.Ordinal Sıralama.....	110
8.6.9.1.2.Kardinal Sıralama.....	111
8.6.9.1.3.Ordinal ve Kardinal Sıralama.....	112
8.6.9.2.Negatif Olmama Varsayımı.....	113
8.7.Hedef Programlamanın Formülasyonu.....	113
8.7.1.Hedeflerin ve Hedef Fonksiyonların Belirlenmesi.....	114
8.7.2.Sapma Değişkenlerinin Belirlenmesi.....	115
8.7.3.Hedef Kısıtlarının Belirlenmesi.....	116
8.7.4.Mutlak Amaçların Belirlenmesi.....	116
8.7.5.Aaçların Öncelik Seviyelerine Ayrılması.....	116
8.7.6.Ağırlık Faktörlerinin Belirlenmesi.....	116
8.7.7.Amaç Fonksiyonlarının Oluşturulması.....	117
8.7.8.Başarı Fonksiyonunun Oluşturulması.....	118
8.7.9.Genel Hedef Programlama Modeli.....	119
8.8.Hedef Programlamanın Kullanım Amacı.....	120
8.9.Hedef Programlamanın Tanımı ve Varsayımları.....	121
8.9.1.Hedef Programlamanın Sınıflandırılması.....	124
8.9.2.Hedef Programlamanın Uygulama Alanları.....	124
8.10.Hedef Programlama Modeline Genel Bir Yaklaşım.....	126
8.10.1.Karar Değişkenlerinin Belirlenmesi.....	126
8.10.2.Amaç Fonksiyonunun Formülasyonu.....	127
8.10.3.Mutlak Amaç Fonksiyonu.....	130
8.10.4.Erişim Fonksiyonunun Oluşturulması.....	131
8.11.Hedef Programlama Modelinin Yapısı.....	133
8.11.1.Hedef Programlama ile Doğrusal Programlamanın Karşılaştırıl....	134
8.12.Genel Bir Hedef Programlama Modeli.....	136
8.12.1.Lindo Paket Programı Kullanılarak Hedef Programlama Modelinin Çözümü.....	142
9.CP VE PERT ‘İN İNŞAAT SEKTÖRÜNE UYARLANMASI VE BİR UYGULAMA ÇALIŞMASI.....	145
9.1.Çalışmanın Amacı.....	145
9.2.Çalışma Hakkında Genel Bilgi.....	146
9.3.Projeyle İlgili Yapılan Hesaplamalar ve Projenin Şebeke Diyagramı.....	146
9.4.Şebekedeki Yollar ve Kritik Yolların Bulunması.....	159
9.5.Proje Faaliyetlerinin ve Projenin Toplam Maliyeti.....	167
9.6.Projedeki Her Yolun Gerçekleşme Olasılığının Hesaplanması.....	168
9.7.Faaliyetlerin Gerçekleşme Olasılıklarının Hesaplanması.....	174
9.8.Projedeki Faaliyetlerin Hızlandırılmasının Maliyetler Üzerindeki Etkisinin	

İncelenesi.(PERT/Maliyet Yönteminin Uygulanması).....	180
10.DOĞRUSAL HEDEF PROGRAMLAMA MODELİ İLE İLGİLİ İNŞAAT SEKTÖRÜ UYGULAMASI.....	190
10.1.Firmanın Projesi ve Projesine Ait İş Akışları Hakkında Genel Bilgi.....	198
10.2.İnşaat Firması İçin Proje Hedeflerinin Belirlenmesi.....	200
10.3.İnşaat Firması İçin Doğrusal Hedef Programlama Modelinin Kurulması....	203
10.4.Model İle İlgili Verilerin Derlenmesi.....	204
10.5.Modelin Planlaması.....	204
10.5.1.İncelenen Modele İlişkin Yapılan Varsayımlar.....	205
10.5.2.Modelin Oluşturulması.....	206
10.6.PERT Modellerinin Hedef Programlama İle Hızlandırılması.....	207
11.SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	223
11.1.CPM ve PERT Tekniği İle Hedef Programlama Modelinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	223
11.2 CPM ve PERT Tekniği İle Hızlandırma İşlemlerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	225
11.3.Hedef Programlama İle Hızlandırma İşlemlerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	225
12.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	229
12.1.Çalışmamızın Değerlendirilmesi.....	226
12.2.Öneriler.....	231
KAYNAKÇA.....	232
EKLER.....	241

GİRİŞ

Proje, bir konu etrafında düşüncenin yoğunlaştırılması, sorunun çözüme kavuşturulması için tüm ayrıntıların düşünülmesi ve uygulanacak yöntemlerin sistematik olarak belirlenmesi ve ortaya konulması çabasıdır. Proje bir konu etrafında ayrıntılı ve sistematik düşünce olgusu olduğu kadar, mevcut bilgi ve ek araştırmalarla bir senteze ulaşma davranışdır. Akıllı insan bir işi gerçekleştirirken yazılı olmasa da kafasında bir proje yapar ve bu projeye göre hareket eder. Proje yapılması, karmaşık, uzunca bir zaman dilimine yayılan, birçok aşaması olan ve büyük harcamaları gerektiren işlerde kaynakların (zaman dâhil) etkin kullanılması için zorunluluktur.

Bir plan çerçevesinde, belli bir zaman döneminde belirli (sınırlı) kaynaklarla diğerlerinden bağımsız gerçekleştirilecek, ancak birbirleri ile ilişkili faaliyetler kümesine proje denilir. Bir binanın mimari çiziminin yapılması, betonarme, sıhhi tesisat, ısı yalıtım, elektrik, kalorifer vb. ile ilgili hesaplama ve çizimlerin hazırlanması, bir inşaat projesi içinde bulunması gereken alt projelerdir. Projesiz bir işe başlamak, bir insanın ne yapacağını, nereye gideceğini bilmeden yola çıkması demektir. Akılcı biçimde yürütülmesi düşünülen her ekonomik faaliyet bir proje kapsamı içinde yer alır.

Bu çalışmanın içeriği ise yukarıdaki proje yönetim gerçeğini belirten ve örnek olay uygulaması ile tamamlanan bir inşaat projesi uygulama çalışmasından oluşmaktadır. Örnek uygulamamızda, ilk önce CPM-PERT proje yönetimi tekniği uygulanarak projemizin süresi hızlandırılmaya ve projemizin toplam maliyeti düşürülmeye çalışılmaktadır. İkinci uygulamamızda ise, doğrusal hedef programlama modeli tekniği ile hızlandırma işlemi yapılarak projemizin süresi minimize edilmeye çalışılmakta ve projemizin toplam maliyeti azaltılmaya yoğunlaşmaktadır.

Tezin bölümlerini sıralamak gerekirse şu bölümlerden oluştuğunu belirtebiliriz. Birinci bölümde, proje yönetimine genel bakış yapılarak proje yönetimi ve ona ait temel kavramlar ve terimler tanımlanmaktadır. İkinci bölümde ise, bir proje yönetimindeki şebekenin ne olduğu ve şebekedeki faaliyetlerin ve olayların açıklanmasındaki söz konusu işlerin tanımlanmasından oluşmaktadır. Üçüncü bölümde ise, bir projenin çizelgelemesinde kullanılan GANTT şemasının tanımlanması ve proje yönetim aracı

olarak GANTT şemasının nasıl ve nerelerde kullanıldığı açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde ise, bir projedeki kritik yörünge'nin belirlenmesindeki CPM'in rolü ve proje faaliyetlerindeki öncelik ilişkilerinin tayin edilmesinde kullanılan PERT tekniğine yoğunlaşmaktadır. Beşinci bölümde ise, bir projedeki alternatif program hazırlama yaklaşımının nasıl olması gerektiği işlenmektedir. Özellikle işgücünün dengelenmesi, kaynakların dengelenmesi, gerçekleştirme sürelerinin optimize edilmesi ve süre-maliyet ilişkisi üzerinde durulmaktadır. Altıncı bölümde ise, bir projedeki şebekenin nasıl sıkıştırılacağı üzerinde yoğunlaşarak projenin daha kısa sürede tamamlanmasının nasıl başarılabileceği açıklanmaktadır.

Yedinci bölümde ise, bu çalışma kapsamında geliştirilen modelin incelenmesi üzerinde durulmaktadır. Modelimizdeki problemimizin tanımlanması için, özellikle modelden cevabı beklenen sorular şunlar olacaktır: Yatırımın farklı bitiş sürelerine karşılık gelen en ekonomik maliyetin saptanması için hangi eylem ya da eylemlerin hızlandırılması gerekmektedir? Yatırımın minimum maliyetle gerçekleştirilebileceği süre nedir? Yatırım için optimum süre nedir? Yatırımın en hızlı gerçekleştirme süresi nedir? Problemin tanımlanmasından sonra da, modelin tanıtımı yapılmaktadır. Sekizinci bölümde de, tezimizdeki örnek olay inşaat projesi uygulamasının PERT modelleri tekniği kullanılarak hedef programlamayla hızlandırılması üzerinde çalışılmaktadır. Özellikle yöneylem araştırması tekniklerinden doğrusal programlama yöntemi kullanılarak hızlandırma işlemi gerçekleştirilmektedir.

Dokuzuncu bölümde ise, yine tezin örnek olay inşaat projesi çalışmasının CPM ve PERT teknikleri kullanılarak proje şebeke diyagramının belirlenmesi ve kritik yolunun bulunması üzerindeki uygulama çalışması işlenmektedir. Bu nedenle daha önce üzerinde fazla çalışılmamış inşaat sektöründeki bir bina projesinde CPM ve PERT tekniklerinin uygulanması uygun görülmüştür. Bu kapsamda çalışmamızın amacı, bir bina inşaat projesi uygulamasında bu tekniklerin uygulanıp uygulanmayacağını görmek, karşılaşılabilecek olası problemleri tanımlamak, alternatif çözüm yolları araştırmaktır. Olası problemler ise şu şekilde sıralanabilir: Kritik olmayan faaliyetlerden kritik faaliyetlere yapılabilecek kaynak dağılımının incelenmesi nasıl olmalıdır? Projedeki faaliyetlerin hızlandırılmasının maliyetler üzerindeki etkisinin incelenmesi (süre-maliyet

ilişkisi) nasıl yapılmalıdır? Projenin gecikmesine neden olabilecek alternatif kritik yolların araştırılması niçin önemlidir? Örnek olay çalışmamızdaki firma, GB Mühendislik Mimarlık adlı şirketin, sözleşmeli müşterilerinden biri olan İTAMEKS'in ÇATI KATI PROJESİ'ne ait DIŞ KABUK KAPATMA İŞLERİ KEŞFİ'nin projelendirilmesidir. Bu uygulama çalışması ile keşif yapılırken müşteriye verilen maliyetlerin belirlenmesinde ve projenin ne kadar sürede tamamlanacağına ilişkin sürecin tayin edilmesinde önerilen alternatiflerin değerlendirilmesinin ve projenin ne kadar etkin, ne kadar karlı ve ne kadar sürede tamamlandığının, hedef programlama modeli ile hızlandırılmasının sağlanması ve PERT tekniği ile incelenmesidir.

Onuncu bölümde ise, yukarıda açıklanan örnek olay çalışmasının CPM ve PERT tekniği ile modellendirilip hızlandırılmasının yanında bir de aynı problemin doğrusal hedef programlama modeli tekniği kullanılarak hızlandırma işleminin araştırılması uygulama çalışmasıdır. Tezin son bölümü olan onbirinci bölümde ise, geliştirilen modelimiz ve örnek olay uygulama projenin sonuçları ile ilgili değerlendirmeler ve öneriler ile çalışma tamamlanmaktadır.

Bu çalışmanın esas amacı optimum sürenin belirlenmesinde ve süre maliyet ilişkisinde maliyetlerde sağlanacak tasarrufu belirlemek için yöneylem araştırması konularından CPM-PERT teknikleri ve doğrusal hedef programlama modeli ile inşaat sektörü üzerine aynı veriler doğrultusunda uygulama yapılmıştır. Her iki modelde avantajlar ve dezavantajlar saptanmıştır. Bu çalışma aynı zamanda ilk olma özelliği de taşımaktadır. Bu araştırma sonucunda bir pert modelinin hedef programlama ile hızlandırılmasına 1. hızlandırma ve 2.hızlandırma şeklinde model geliştirilmiştir. Modelden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek hızlandırma da yeni bir yaklaşım öne sürülmüştür

1. PROJE YÖNETİMİNE GENEL BAKIŞ

1.1. Proje Nedir?

Proje, bir konu etrafında düşüncenin yoğunlaştırılması, sorunun çözüme kavuşturulması için tüm ayrıntıların düşünülmesi ve uygulanacak yöntemlerin sistematik olarak belirlenmesi ve ortaya konulması çabasıdır. Proje bir konu etrafında ayrıntılı ve sistematik düşünce olgusu olduğu kadar, mevcut bilgi ve ek araştırmalarla bir senteze ulaşma davranışıdır. Akıllı insan bir işi gerçekleştirirken yazılı olmasa da kafasında bir proje yapar ve bu projeye göre hareket eder. Proje yapılması, karmaşık, uzunca bir zaman dilimine yayılan, birçok aşaması olan ve büyük harcamaları gerektiren işlerde kaynakların (zaman dâhil) etkin kullanılması için zorunluluktur. Bir plan çerçevesinde, belli bir zaman döneminde belirli(sınırlı) kaynaklarla diğerlerinden bağımsız gerçekleştirilecek, ancak birbirleri ile ilişkili faaliyetler kümesine proje denilir. Bir binanın mimari çiziminin yapılması, betonarme, sıhhi tesisat, ısı yalıtım, elektrik, kalorifer vb ile ilgili hesaplama ve çizimlerin hazırlanması, bir inşaat projesi içinde bulunması gereken alt projelerdir. Projesiz bir işe başlamak, bir insanın ne yapacağını, nereye gideceğini bilmeden yola çıkması demektir. Akılcı biçimde yürütülmesi düşünülen her ekonomik faaliyet bir proje kapsamı içinde yer alır.¹

Proje, ekonomik ve teknik yapılabilirliğe sahip en düşük yatırım olarak ya da bir toplumda belirli bir zaman içinde mal ve hizmetlerin üretimini artırmak için, bazı olanakları yaratma, genişletme ya da geliştirmeye dönük bir öneri olarak tanımlanabilir.²

Proje kavramını, proje yönetimi yönünden de; bütün iş tamamlanmadan önce belirli bir sırada yapılmak zorunda olan, birbiri ile ilişkili faaliyetler kombinasyonu şeklinde tanımlamak mümkündür. Daha geniş bir ifade ile proje, belirli bir amacı olan

¹ Hüseyin Şahin, **Yatırım Projeleri Analizi**. 2. Baskı, Bursa: Ezgi kitapevi,2000, s:3.

² Devlet Yatırım Bankası, **Yatırım Projelerinin Hazırlanması ve Değerlendirilmesi**. Cilt 1-II , Ankara,1985

ve bir zaman süresi içinde birbiri ile ilişkili faaliyetlerin gerçekleştirilmesi suretiyle tamamlanan bir sistem çalışması olarak da tanımlanabilir.³

Bu tanımlamalardan hareketle bir projenin karakteristikleri;

1. Tek ve belirli bir amaç,
2. Geçici bir organizasyon,
3. Sınırlı zaman ve kaynaklar,
4. Kaynak ihtiyacında dalgalanmalar,
5. Birbiri ile ilişkili faaliyetler dizisi ve
6. Dışarıdan ortaya konulan kısıtlamalar olarak sıralanabilir.⁴

1.2. Proje Yönetimi

Proje yönetimi, genel olarak, örgüt amaçlarının (mal ve hizmet üretmek) gerçekleştirilmesi için, üretim faktörlerini bir araya getirme, planlama, örgütleme, yürütme, uyumlaştırma ve denetim işlevlerine ilişkin, ilke ve tekniklerin, sistemli bir şekilde uygulanması faaliyetlerinin tümü olarak tanımlanabilir. Projenin planlanması, uygulamaya konulması, izlenmesi, raporlanması, gelişmelerin değerlendirilmesi ve aksaklıkların giderilmesi işlerinin bir organizasyonla sağlanması, projenin istenen zamanda gerçekleştirilmesi için önem taşımaktadır. Bunun için proje faaliyetlere ayrılır, faaliyetlerin birbiri ile ilişkileri belirlenir. İş analizlerinden yararlanılarak standartlar oluşturulur, faaliyetlerin süresi, ihtiyaç duyacağı kaynaklar saptanır. Daha sonra kaynaklar temin edilerek uygulamaya geçilir. Uygulama sırasında faaliyetler izlenir, denetlenir. Bu aşamada süre ve kaynak açısından sapmalar tespit edilerek ve gerekli değerlendirmeler yapılarak yeni önlemler alınır. Böylelikle proje etkin bir şekilde

³ Osman Hallaç, **Kantitatif Karar Verme Teknikleri**. Cilt I, İstanbul, 1991. s.183-184

⁴ A. Soysal, "Proje Yönetimine Giriş", **Seminer Notları**, İstanbul, 1986.

gerçekleştirilebilecektir. Bu işlemler için ise yetkin kişilerden oluşan bir proje yönetimi olmalıdır.⁵

1.2.1. Projelerde Kullanılan Kaynaklar

Projelerde kullanılan kaynakları şu şekilde sıralayabiliriz.

1.2.1.1. Zaman

Projelerde kullanılan en önemli kaynak olup, proje yöneticilerinin en önemli görevi projenin zamanında bitirilmesini sağlamaktır.

1.2.1.2. Finansman

Her projenin bir finansman gereksinimi olacağı açıktır. Dolayısıyla her projenin bir maliyeti vardır. Bir proje uygulamasında değişik zamanlarda değişik miktarlarda finansman ihtiyacı doğabilir. Her faaliyetin gereksinme duyacağı zamanda karşılanmak üzere, finansmanının önceden planlanmış olması önem taşır.

1.2.1.3. İşçilik

Projelerin uygulanması sırasında; projeyi oluşturan faaliyetler dizisinin karakterine uygun olarak değişik nicelik ve nitelikte personelin kullanılması gerekir. Projenin tüm süresi içinde farklı yapı ve karakterde faaliyetler için muhtelif zamanlarda, çeşitli nicelik ve nitelikte personele ihtiyaç olabilir. Bu nedenle iyi bir personel planlaması gereklidir.

1.2.1.4. Malzeme – Teçhizat

Projelerin gerçekleştirilmesinde çeşitli malzemelere ve teçhizata ihtiyaç duyulur. Her faaliyetin sırası geldiğinde kullanacağı malzemelerin ve teçhizatın hazır tutulması gerekir. Bu nedenle malzeme ve teçhizat temini ve gerekli finansmanın sağlanması önem taşır.

⁵ Yakup Cebeci, Ali Kahraman ve Mehmet Canbazoğlu, 'Proje Planlama Teknikleri ve Madencilik Projelerine Uygulanması', **Madencilik**, cilt15, sayı 2 (Haziran 1991), s.31

1.2.1.5. Teknik, İdari Personel

Projenin yürütülmesinde ve başarılı sonuçlandırılmasında önemli etkenlerden biri de; teknik, idari ve yönetici personelin bulunmasıdır. Bu konuda yeterli deneyimi olan, yetenekli, eğitilmiş yöneticilere de ihtiyaç duyulacaktır. Projede kullanılacak kaynaklar sınırsız değildir. Bu nedenle en düşük kaynak tüketimi ile en düşük maliyetle projelerin gerçekleştirilmesi temel hedeftir.⁶

1.3. Proje Yönetim Sistemi

İnsanlar her gün her an değişik sorunlar ile karşı karşıya kalırlar ve bu sorunların üstesinden gelebilmek için çeşitli kararlar alırlar. Bu günlük hayatın bir parçası haline gelmiştir. Benzer durum işletmeler açısından da söz konusudur; işletmelerin karşısına çeşitli sorunlar çıkar ve bu sorunları ortadan kaldırmak için yönetimin çeşitli kararlar alması gerekir. Bu kararlar her gün gerçekleştirilen rutin işlemler ile ilgili olabileceği gibi, işletmenin geleceğini doğrudan etkileyebilecek olağanüstü ve çok önemli sorunlar ile de ilgili olabilir. Yani alınan kararlar işletmenin gelecekte başarılı olup olmamasını ve daha da önemlisi işletmenin gelecekte yaşamını sürdürüp sürdürememesini doğrudan etkilemektedir.

İşletmelerin başarılı olabilmeleri yani belirledikleri amaçlarına ulaşabilmeleri ellerindeki kıt kaynakları optimal amaca en uygun biçimde kullanabilmeleri ile olanaklıdır. Bu nedenle yapılacak işlerin, bu işler için ayrılan kaynakların faaliyete geçilmeden önce belirlenmesi ve buna göre faaliyetin planlanması gereklidir. Tek bir faaliyetle karşı karşıya kalındığında bu iş çok zaman almayacak ve çok ufak bir yanılma payı ile gerçekleştirilebilecektir. Ancak birden çok ve birbirleri ile çeşitli biçimlerde ilişkili faaliyetler dizisi söz konusu olduğunda ise, kolay gibi gözüken bu planlama faaliyeti içinden çıkılmaz bir hale gelecektir. Bunun sonucunda ya istenen işler istenen zamanlarda tamamlanamayacak ya da beklenenin üzerinde bir maliyet söz konusu

⁶ Cebeci, Kahraman ve Canbazoglu, s:30-31.

olabilecektir. Bu nedenle içinde birbirleri ile ilişkili birden fazla faaliyeti kapsayan projelerin yönetimi de işletmeler açısından ayrı bir önem taşımaktadır.⁷

Proje yönetme sistemi; projenin tanımlanmasının, çalışmaların organize ve koordine edilmesinin, projenin" izlenmesi ve değerlendirilmesinin nasıl yapılacağını açıklar. Bir rehber görevi görür.⁸

Proje yönetim sistemi aşağıda belirtilen sekiz maddeden oluşmaktadır.

1. Projenin toplam işini halledilebilir görev parçalarına ayırmak.
2. Görevlerin sırasını ve birbirleri ile olan bağlantılarını belirlemek.
3. Her bir görevin kendinden sonrakinin tamamlanmasını nasıl etkilediğini belirlemek.
4. Görev tamamlama konusunda tam nerede olduğumuzu ve duyarlı biçimde daha ne kadar iş yapılması gerektiğini belirlemek.
5. Projenin tamamlanması için gerekli bütçeyi belirlemek.
6. Amaca ulaşmak için gerekli kaynakları belirlemek
7. Görev tamamlanmasını engelleyen veya yavaşlatan sorunları belirlemek
8. Görevlerin tamamlanmasını engelleyen veya yavaşlatan sorunların çözümlerini ve önlem alınmaması halinde olabilecekleri belirlemek.

Buna göre, bulunduğumuz yerden gitmek istediğimiz yere gidebilmek için; gerekli olan zaman, bütçe ve kaynakların önceden belirlenmesi ve programlarının proje yönetim sistemine uygun olarak yapılması gerekir.⁹

Proje yönetim araçları bize şunları sağlar:

⁷ Halil Sariaslan ve Ali Argun Karaca, **İşletmelerde Sayısal Analizler**, Ankara:Turhan Kitapevi, 2003, s: 295.

⁸ Burhan Albayrak, **Proje Yönetimi ve Danışmanlık**. 2. Baskı, Ankara: Alfa, 1998, s.82.

⁹ Albayrak, s:79-80.

- Şematik olarak gösterilen işlerin tanımları yapılır ve her görevle ilgili tüm işlerin tamamlanması için uygulama planları geliştirilir.
- Planlanan ve gerçekleştirilen işler karşılaştırmak suretiyle görev konusunda gerçekleştirilenler periyodik olarak değerlendirilir.
- Planlanan veya gerçekleştirilen yanlış ve ters durumları ortadan kaldırmak için alternatif çözümler geliştirilir. Bunun için;
 - En uygun planı seçmek,
 - Onayları gözden geçirerek başlıca değişiklikleri kontrol etmek,
 - Plan değişikliğinden etkilenecek tüm tarafların haberdar edilmesini temin etmek.¹⁰

Proje yönetiminin dokuz fonksiyonu vardır:

- Projenin faaliyet konusunun yönetilmesi,
- Proje maliyetlerinin yönetilmesi,
- Proje zamanının yönetilmesi,
- Projede yer alan insan kaynaklarının yönetilmesi,
- Proje çalışanları arasındaki iletişimin yönetilmesi,
- Kalitenin yönetilmesi,
- Proje ile ilgili satın alma faaliyetlerinin yönetilmesi,
- Proje ile ilgili riskin yönetilmesi,
- Proje fonksiyonları arasındaki işbirliğinin yönetilmesi,¹¹

¹⁰ Albayrak, s:82.

¹¹ M.P. Spinner, **Project Management: Principles and Practicles**, New Jersey, USA: Prentice-Hall, 1997, s:6-7.

Bu dokuz fonksiyonun gerçekleştirilmesi üç ana aşamadan oluşur: 1) Planlama, 2) Programlama, 3) Kontrol.

Planlama: Bu aşama projenin amacının belirlenmesini, tanımlanmasını ve proje takımının oluşturulmasını içerir.

Programlama: Bu aşamada insan, para ve tedarik kaynaklarının faaliyetlere atanması gerçekleştirilir ve her faaliyet arasındaki ilişkiler belirlenir. (Programlama, projede yer alan faaliyetlerin birbiri ile ilişkilerinin ve zamanlarının belirlenmesini, sıraya konulmasını ve bu faaliyetlere gerekli kaynakların atanmasını içerir. Bu aşama temel olarak planlama aşamasından kesin sınırlarla ayrılamaz. Bu aşamada gerçekleştirilecek faaliyetler için çeşitli planlama yöntemlerinden yararlanılabilir. Bu yöntemler arasında en yaygın uygulama alanı bulanlar Gantt şemaları ile PERT ve CPM ağ yöntemleridir.)

Kontrol: Projenin gerçekleştirilmesi aşamasında işletme, kaynaklarını, maliyetlerini, kalite düzeyini ve bütçelerini yakından izler. Gerekli olduğu durumlarda planlar revize edilir ya da değiştirilir, zaman ve maliyet beklentilerini karşılayabilmek için kaynaklar düzenlenir.¹²

1.4. Projelerin Planlanması, Programlaması ve Kontrolü

1.4.1. Proje Planlama

Planlama aşaması projeyi ayrı faaliyetlere bölmekle başlar. Daha sonra faaliyetlerin süreleri tahmin edilirse şebeke diyagramının her bir ayrı faaliyetleri temsil eden oklarla kurulur. Planlama aşamasının çok daha önemli olan yönü, proje için programı geliştirilmede kullanılmasıdır.

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

¹² J. Heizer,, B. Render, **Operations Management**. 6th Ed., New Jersey, USA: Prentice-Hall, 2001, s.658

olmayacağından, bu konuda gerekli önlemler de alınamayacaktır.¹³ 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.¹⁴

Projeler genel bir planın öğeleridir. Plan ile projeler arasında organik bağlantı mevcuttur. Plan, çeşitli alanları ve konuları ilgilendiren çok sayıda projenin ekonomik olarak değerlendirilmesi ve belirli amaç doğrultusunda koordine edilmesinden oluşur. Firma belirli amaçlara ancak bir dizi yatırım projesini uygulayarak ulaşabilir. Proje hazırlanması gelişme hedefini gerçekleştirmenin nihai aşamasıdır. Planlama çalışması uygulanacak projelerin başarı şanslarını önceden, nesnel ölçülere göre değerlendirip aralarında bir öncelik sıralaması yapmak durumundadır. Söz konusu ölçütlere (kriterlere) yatırım ölçütleri deniliyor.

Proje ile planlama arasındaki ilişkileri ortaya koyarken şu iki noktayı göz nünde tutmak gerekir:

a) Planda, ekonominin (veya firmanın) belirli bir zaman sürecindeki tüm faaliyetlerine ve amaçlarına toplayıcı bir gözle bakılır. Proje çalışması ise tekil bir iktisadi faaliyetin mümkün olan tüm ayrıntılarına inmek durumundadır. Proje ile söz konusu mikro faaliyeti bizzat yürütecek veya faaliyet içinde rol alacak birim düzeyine inilir,

b) Planlama bir ileriye bakış (projeksiyon) işlemidir. Geleceği tahmin, geçmişin verilerinden faydalanılarak yapılır. Proje çalışmasında geçmişin verileri derlenir ve değerlendirilir.¹⁵

¹³ İ. S.Barutçugil, "Büyük Ölçekli Yatırım Projelerinin Yönetimi", **Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, cilt 5,sayı 2, 1984, s.162.

¹⁴ İ. S.Barutçugil, **Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri**. 2.Baskı, Bursa: Uludağ Üniversitesi Yayınları, 1988, s. 239-240.

¹⁵ Şahin, s.4.

Planlama, örgütleme, yönetme ve denetleme görevleri bütün işletmeler için yürütülmesi gerekli görevlerdir. Bu görevleri yerine getirmek için şirketin yaptığı işe bağlı olarak değişen çeşitli teknikler kullanılır. Genel olarak, Şebeke Analizi (Network), denilen ve uygulamada PERT-CPM yöntemleri olarak ortaya çıkan teknik de bu işletmecilik tekniklerindendir. ŞEBEKE sözcüğü ok şeklinde çizilen ve şebeke planlama tekniklerinin esasını oluşturan birbirine bağlı faaliyetlerin şekiller ya da bir diyagram olarak gösterilmesinden gelir.

1.4.1.1. Proje planlamada amaçlar

Proje planlamada çeşitli amaçlar söz konusu olabilir. Amaca göre de yapılacak planlar farklılık arz edecektir. Bu amaçlar şu şekillerde ortaya konulabilir.

- a) Eldeki kaynaklar çerçevesinde projenin en kısa sürede bitirilmesi.
- b) Önceden belirlenmiş olan proje süresi içinde projenin en az kaynak kullanımı ile sonuçlandırılması.
- c) Projenin, maliyetini en az yapacak bir süre içinde tamamlanması.

Bu amaçlardan seçilen herhangi birini gerçekleştirmek için planlar yapıldığında; belirli süre, maliyet ve kaynak ihtiyacı olan proje faaliyetleri olurlu bir şekilde seri ve paralel olarak düzenlenir. İlişkileri planda gösterilir.¹⁶

1.4.1.2. Proje Planlamada yöntemler

Çeşitli yöntemler vardır. Ama bizim ilgileneceğimiz konu Proje Planlamada Şebeke Modelleridir.

1.4.2. Proje Programlama

Programlama aşamasının en son amacı, her bir faaliyet için başlama ve bitiş zamanını gösteren bir zaman diyagramı hazırlamaktır. Ayrıca program, proje zamanında tamamlanırsa özen gerektiren zaman açısından kritik faaliyetleri

¹⁶Cebeci, Kahraman ve Canbazoglu, s:30-31

göstermelidir. Program kritik olmayan faaliyetler için geciktirildikleri zaman kullanılması avantajlı olan gecikme miktarı veya serbestlik süresini göstermelidir.

Proje programlama, kaynak gereksiniminin ve tahmin edilen süre içinde projenin gidişatının programlanmasıdır. Proje programlamada ilk aşama, her bir faaliyet için gerekli süreyi belirlemektir.¹⁷ 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.¹⁸

1.4.3. Proje Kontrol

Düzenli aralıklarla proje için ilerleme raporlarını düzenleme amacına yönelik bir aşamadır.

PERT tekniği, kritik faaliyetler oluşmadan önce rahatsızlık veren noktaları- üretim dar geçidi, gecikmeleri ve araları minimize eden bir tekniktir ki bu nedenle projedeki çeşitli faaliyetler kontrol edilebilir.

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 yan kritik faaliyetler üzerinde yoğunlaşmak mümkündür.¹⁹

¹⁷ T.A. Grow, **Construction: A Guide For The Profession**, New Jersey, USA. Prentice-Hall, Inc.1975, s.185.

¹⁸ Osman Halaç, **Kantitatif Karar Verem Teknikleri**, İstanbul: Alfa Basım Yayım Dağıtım,1995, s.184.

¹⁹ J. G. Monks, **Schaum's Outline of Theory and Problems of Operations Management**, 2nd Edition, McGraw-Hill Inc, 1996,s. 352, s. 354.

2. ŞEBEKE (AĞ)

Şebeke için şu tanımı yapabiliriz: Programın amacına ulaşmak için gereken faaliyetler ve olaylardan meydana gelen, faaliyet ve olayların birbirleri ile olan planlama gereği bağlantı ve ilişkilerini gösteren şekil veya diyagrama denir. Veya kısaca söz konusu olan işin tamamlanması için gerekli tüm işlemler (operasyonlar) ağının belirlenmesi ve bağlantılarının bir diyagram şeklinde gösterilmesidir diye tanımlayabiliriz.

2.1. Şebeke Analizi

Şebeke analizi ise bir planlama tekniği olup genellikle büyük ölçekli projelerin planlanması, bir noktadan diğer noktaya olan en kısa yolun bulunması, inşaat planlaması, yeni ürünlerin pazarlanmasının programlanması, belirli sistemlerdeki maksimum akışın (örneğin trafik akışı, sıvı akışları gibi).

Herhangi bir proje yönetimi, birbirleri ile ilgili birkaç faaliyetin sınırlı olanaklarda planlama, koordinasyon ve kontrolünü gerektirir. Bu sınırlı olanaklar, insanlar, makineler, para ve zamandır. Bundan başka proje yönetimi, başlangıçta oluşturulan plandaki herhangi bir değişikliğin plana dâhil edilmesini ve bu değişikliğin etkisinin hemen bilinmesini gerektirir. Bu nedenle yöneticiler, en iyisi sadece plan ve listeleme olmayacak dinamik bir planlama ve listelemeye dayanmaya mecburdurlar. Bu ise dinamik koşullardaki değişikliğin ani etkilerini yeterli ölçüde karşılayamayabilecek ve orijinal plan ve listelemede uygun değişikliklerin yapılmasını gerektirecektir. Şebeke analizindeki son yıllardaki gelişmeler, bir eşit sistem veya teknik olarak araştırmalara öncülük etmektedir. Şebeke analizi bunlara temel bir çatı hazırlamaktadır. Bunlar;

- i) Yapılabilen işleri tanımlamak,
- ii) İşleri, tutarlı ardı ardına gelen bir zaman ve sonuç içinde toparlamak,
- iii) Planın ilerlemesinde dinamik bir kontrol sistemini etkili tutmak.

2.2. Şebeke Uygulamalarının Kapsamı

1. durum: Meksika körfezindeki kuyuları iç kesimlerdeki teslim noktalarına bağlayan kıyıdaki doğalgaz boru hattı projesinin tasarımı. Modelin amacı boru hattının inşaat maliyetlerinin minimum kılınmasıdır.

2. Var olan yol şebekesinde iki şehir arasındaki en kısa rotanın belirlenmesi.

3. Kömür madenini enerji santraline bağlayan, kömürü su içerisinde taşıyarak nakleden boru hattı ağının maksimum kapasitesinin belirlenmesi (bu boru hattı, kömürü özel tasarlanmış borular içerisinde su pompalayarak taşır),

4. Petrol yataklarından rafinerilere boru hattıyla bağlanmış şebekenin minimum maliyet akış çizelgesinin belirlenmesi.

5. İnşaat projesinin faaliyetleri için zaman çizelgesinin (başlangıç ve bitiş tarihlerinin) belirlenmesi.

Diğerleri gibi bu durumların çözümü de çeşitli şebeke optimizasyonu algoritmalarıyla gerçekleştirilir.

1. durum: Minimum kapsayan ağaç algoritması ile,

2. durum: En kısa yol algoritması ile,

3. durum: Maksimum akış algoritması ile,

4. durum: Minimum maliyet kapasiteli şebeke algoritması ile

5. durum: Kritik yol (CPM) algoritması ile çözümlenebilir/çözümlebilir.

Not: Bu algoritmaların uygulandığı durumlar ayrıca doğrusal programlama problemi olarak da formüle edilip çözülebilir. Bununla birlikte, önerilen şebeke esaslı algoritmalar simpleks yöntemden daha etkilidir.²⁰

²⁰ Hamdy A. Taha, **Yöneylem Araştırması**. Ş. Alp Baray ve Şair Esnaf (çeviren ve uyarlayanlar). 3. Basım. İstanbul:Literatür Yayınları, 2003, s:211.

Şebeke modelleme, karmaşık problemlerin çözümü için uygun bir yoldur. Bu bölümde çeşitli şebeke uygulamaları tanıtılmıştır. Bu uygulamalar doğrusal programlar olarak çözümlerine rağmen özel şebeke algoritmaları hesaplama bakımından çok daha iyidir. Şebeke problemlerini çözme yeteneği de olan simpleks yöntemi bu bölümde sunulan özel algoritmaların çoğunu içine alır. Bununla birlikte, bu özel algoritmalar hesaplama bakımından genellikle daha etkindir ²¹.

2.2.1.Şebeke Tanımlamaları

2.2.1.1. Ağ (Şebeke)

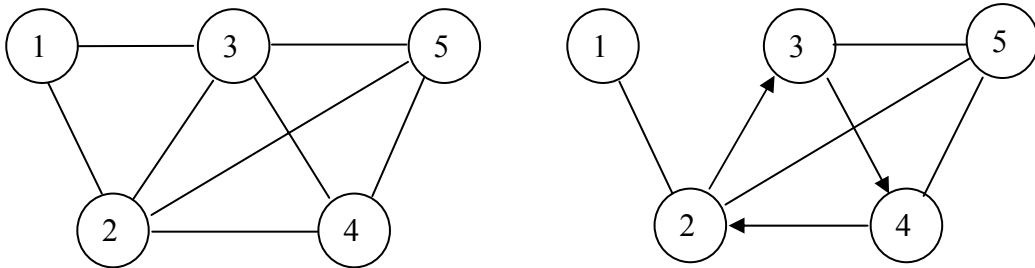
Grafiğin dalları üzerinde bir akış olması durumunda grafik, akış ağı veya kısaca ağ (serim, network, şebeke) ismini alır.

Bir şebeke bağlantılar (veya dallar) ile birbirine bağlanmış bir dizi düğümden oluşur.

Ve (N, A) notasyonu ile ifade edilir. Buradaki N , düğümler kümesi, A ise bağlantılar kümesidir. Örneğin, Şekil 2.1' deki şebeke aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$N = \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

$$A = \{(1, 3), (1, 2), (2, 3), (2, 4), (2, 5), (3, 4), (3, 5), (4, 5)\}$$



Şekil 2.1. Şebeke diyagramı örneği.²²

²¹ Taha, s:273.

²² Taha, s:212.

2.2.1.2. Düğüm

Grafikte bulunan noktaların her birine düğüm denir.

Düğümler, i lerine kendilerini tanımlayan sembollerin (harf veya rakam) yazıldığı k  k dairelerle gösterilirler.²³

2.2.1.3. Dal

Herhangi iki düğümü birbirine birleştiren çizgi veya eğriye dal denir. Bir dal okla gösterildiğinde yönlendirilmiş olur. Okla birleştirilen iki düğüm 1 ve 3 olmak üzere, bunları birleştiren dal (1, 3) ile gösterilir. Bu sembolde 1, (1, 3) dalının başlangıç 3 ise bitiş düğümüdür. Böyle bir dal üzerinde bir akış söz konusuysa, akışın yönü 1' den 3' ye olmak üzere tektir. Yönlendirilmemiş bir (2, 3) dalı, biri (2, 3) diğeri (3, 2) olmak üzere yönlendirilmiş iki dal yerine geçer. Böyle bir dal üzerinde akış hem 2' den 3' ye hem de 3' den 2' ye doğru olmak üzere çift yönlüdür. Yönlendirilmiş bir dal ileriye veya geriye doğrudur. Başlangıç düğümü i olan, yani i düğümünü terk eden bütün dallar i düğümüne göre ileriye doğrudur. Benzer şekilde, bitiş düğümü i olan, yani i düğümüne giren bütün dallar i düğümüne göre geriye doğrudur. Kısaca, bir düğüm için ileriye doğru olan bir dal başka bir düğüm için geriye doğru olabilir.

Her şebekenin kendisine özgü bir akış tipi vardır. ( rneğin petrol ürünleri boru hattından, trafik bir karayolu şebekesinden akar.) Genelde bir şebekedeki akış, şebekedeki bağlantıların sonlu veya sonsuz olabilen kapasiteleriyle sınırlıdır.²⁴

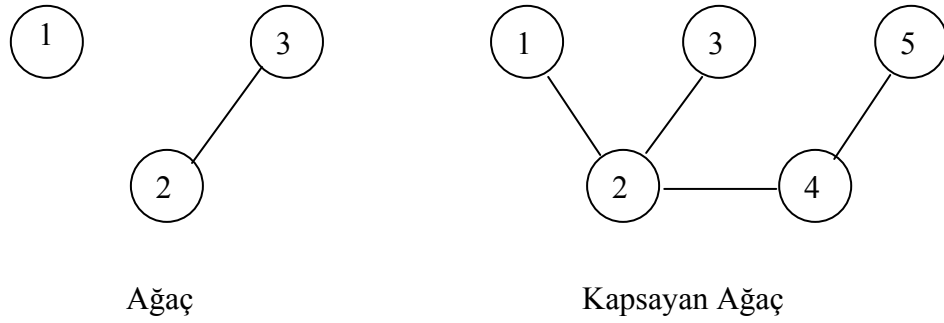
2.2.1.4. Yol (Hat)

Her bir daldaki akışın yönüne bakılmaksızın iki düğümü birleştiren ayrı dalların sırasıdır. Yol bir düğümü kendisine bağlıyorsa, bir döngü veya bir çevrim oluşturur. Örneğin şekil1'de (2, 3), (3, 4) ve (4, 2) dalları bir döngü oluşturur. Yönlendirilmiş döngüde (veya bir devrede) tüm dallar aynı yöne yöneltilmiştir.

²³ Nal n Cinemre, **Yöneylem Araştırması**. 2. Baskı, İstanbul:Beta Basım Yayım, 2004, s: 145–147.

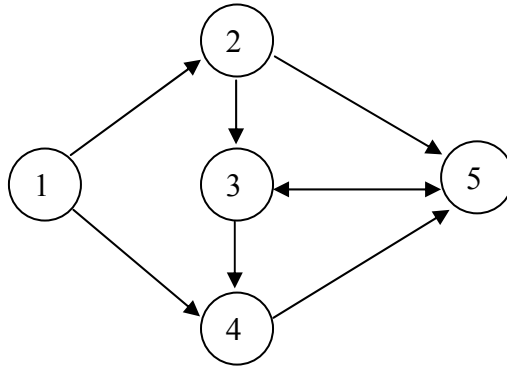
²⁴ Taha, s:212

Bağlı şebeke, her iki ayrı düğümün en azından bir yolla bağlanmasıdır. Şekil 1'de bu tip bir şebeke görülmektedir. Ağaç, bağlı şebekenin tüm düğümlerinin sadece bir altkümesini ilgilendiren bir şebekedir. Oysa kapsayan ağaç, şebekenin tüm düğümlerini hiçbir döngüye izin vermeden birbirine bağlar, burada kapsayan ağaç şebekenin tüm düğümlerini bağlayan ağaçtır. Şekil 2.2 bir ağaç, bir de kapsayan ağaç örneği verilmiştir.²⁵



Şekil 2.2. Ağaç ve kapsayan ağaç örneği.

Yukarıda açıklandığı gibi ağ, düğüm ve dallardan oluşan bir sistemdir. Her ağın mutlaka bir başlangıç bir de bitiş düğümü bulunmalı, gerekirse bu düğümler yapay olarak yaratılmalıdır. Bir ağın bir tek başlangıç ile bir tek bitiş düğümünün bulunmasının sağladığı yararlar ileride açıklanacaktır. Basit bir ağ örneği Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



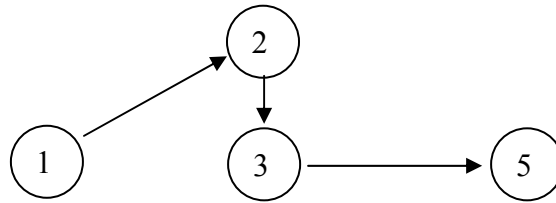
Şekil 2.3. Basit bir ağ örneği.

²⁵ Taha, s:212

Şekilden görüldüğü gibi ağ, sayılarla gösterilen 5 düğümden oluşmuştur. Ağı oluşturan dallar; (1, 2), (1, 4), (2, 3), (3, 4), (2, 5), (3, 5), (4, 5) ve (5, 3) olmak üzere sekiz tanedir. Açıklamalarımız için dallardan birini, sözgelimi (1, 2) dalını ele alalım. Başlangıç düğümü 1, bitiş düğümü 2 ile gösterilen bu dal üzerinde akışın 1' den 2'ye doğru olmak üzere tek yönlü olduğu görülebilir Akışın iki yönlü olduğu tek bir dal (3 ve 5 no'lu düğümler arasında) varılır İleriye ve geriye doğru dallara örnek olmak üzere 4 no'lu düğümü ele alalım Şekil 4.1'den görüldüğü gibi (1, 4) dalı 4 no'lu düğüme göre geriye doğru iken (4, 5) dalı aynı düğüm için ileriye doğrudur. Diğer taraftan (3, 4) dalı 3 no'lu düğüme göre ileriye, 4 nolu düğüme göre geriye doğrudur. Bir dalın incelenen bir düğüme göre ileriye veya geriye doğru olduğunun belirlenmesi özellikle en yüksek akış problemlerinde çok önemlidir. Ağ analizinde, dalların oluşturdıkları özel grupların önemi büyüktür. Bu özel gruplardan bazıları aşağıda tanımlanmıştır.

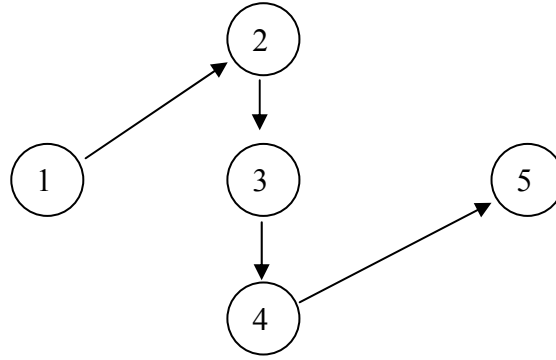
Yol- Başlangıç düğümü, kendisinden önce gelen dalın bitiş düğümü ile aynı - olan dallar dizisine yol denir.

Şekil 2.3'teki ağın 1 ve 5 nolu düğümlerini birbirine bağlayan bir yol, Şekil 2.4'te gösterildiği gibi olabilir.



Şekil 2.4. Yol örneği

Şekil 2.5'te gösterildiği gibi (1, 2), (2, 3), (3, 4), (4, 5) dalları da bir yol oluşturmaktadır.

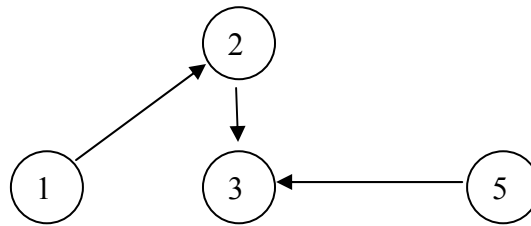


Şekil 2.5. Dallara ait bir yol.

Başlangıç ve bitiş düğümleri aynı olmak üzere aynı ağ için daha başka yollar tanımlanabileceği açıktır. (1, 2), (2, 5) veya (1, 4), (4, 5) dizileri gibi. Kısaca ağ aynı olmak koşuluyla başlangıç ve bitiş düğümleri veya herhangi iki düğüm arasında bağlantı sağlayan birden fazla yol tanımlanabilir.

2.2.1.5. Zincir

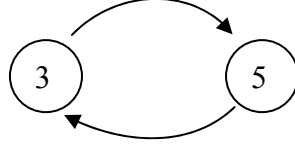
Kendisinden önce gelen dalla tek bir ortak noktası olan dallar dizisine zincir denir. Şekil 2.6' daki (1, 2), (2, 3), (5, 3) dallar dizisi bir zincirdir. (1, 4), (3, 4), (4, 5) dallar dizisinin de bir zincir olduğu görülebilir. Daha farklı zincirler tanımlanabileceği unutulmamalıdır.



Şekil 2.6. Zincir örneği.

2.2.1.6. Çevrim

Başlangıç düğümü ile bitiş düğümü aynı olan yola çevrim denir. (3,5), (5,3) dal ikilisi ile tanımlanan çevrim aşağıda gösterilmiştir.²⁶



Şekil 2.7. Çevrim süresi örneği.

²⁶ Cinemre, s. 145–147.

3. PROJE ÇİZELGELEME

3.1. Gantt (Çizelgesinin) Şemasının Tanımı

İş programı, Gantt Şeması kullanılarak iyi bir şekilde programlanır ve takip edilir. Bu yönetim aracı ilk defa yönetim bilimi otoritesi ve endüstri mühendisi Henry Gantt tarafından 1918 yılında geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Gantt grafikleri olarak ifade edilmektedir. Ayrıca, zaman çizgisi veya kilometre taşı şeması olarak da adlandırılmaktadır.

Gantt şeması; iş programını takip etmek, iş programının önceliklerini tanımlamak, zamanı yönetmek, problemleri çözmek ve projeyi rapor etmek için kullanılmaktadır.

Gantt Şeması; proje safhalarının başlama ve bitiş tarihlerini belirtir, projenin safha safha takip edilmesini sağlar. Avantajı çok çabuk hazırlanabilmesidir. Dezavantajı ise kritik noktaları belirtmez.²⁷

3.2. Gantt Çizelgesi

1955 yılına kadar yönetiminde en yaygın biçimde kullanılan planlama tekniklerinden biriydi.²⁸ Yakın zamana kadar en iyi bilinen ve en çok uygulanan proje planlama tekniğidir. Küçük ve orta büyüklükteki projelerde yaygın bir kullanımı hâlâ devam etmektedir (Tablo 3.1). Olasılık arz eden işlerde kullanılmaması, proje süresi içinde kritik faaliyetler zincirini ve faaliyetlerin kendi içindeki ilişkilerini gösterememesi olumsuz yanıdır. Pratik ve kolay anlaşılır bir yöntem olması ise olumlu yanıdır.

Yöntemin esası: Yatay bir zaman eksenini üzerinde her faaliyetin başlama ve bitiş zamanlarını belirleyen çubuk diyagramlardır. Uygulamada planlanmış bir

²⁷ Albayrak, s.86

²⁸ Cinemre, s.180

faaliyetin gerçekleşme durumu ile doğruya (çubuğa) paralel olarak çizilen ikinci bir doğru ile gösterilmektedir.²⁹

Geçmişte proje yönetiminde en sık kullanılan yöntem olan "Gantt Şemaları" planlama faaliyetini çok fazla kullanmayan bir yöntemdir. Bu yöntemde zamanın yatay ölçekte yer aldığı grafiklerde her faaliyetin gerçekleşme süreleri gösterilir. Dolayısıyla bu yöntem ile faaliyetler arasındaki ardışıklık ilişkilerini dikkate almak çok zordur.³⁰

3.3. GANTT (Çubuk Diagramlar)

Faaliyetler arasındaki zaman ve maliyet faktörlerini de dikkate alarak gösterme fikri yeni değildir. Özellikle Henry Gantt bu konuda daha 1900'lü yılların başlarında önemli çalışmalar yapmış, planlama ve kontrol faaliyetleri için kendi adıyla anılan çizelgeyi (Gantt çizelgesi) geliştirmiştir. 1960'lara kadar, planlama ve kontrol sorunlarında çözüm aracı olarak yaygın biçimde kullanılan Gantt çizelgesi günümüzde sanayi mühendisleri tarafından sıkça kullanılmaktadır. Proje adımlarını sistematik olarak tanımlamaya yarayan Gantt çizelgesi istatistiksel grafikler içerisinde okunması ve izlenmesi en kolay çizelgelerden biridir. Faaliyetlerin başlama ve bitiş zamanlarının yatay bir zaman eksenini üzerinde belirtilmesi esasına dayanan bu çizelgenin bir başka özelliği dinamik olması yani, programlanan işle belirli bir anda yapılmış olan iş miktarını karşılaştırma olanağı sağlamasıdır. Gantt çizelgesinde, faaliyetlerin sırası yukarıdan aşağıya doğru dikey eksen üzerinde, zaman akışı ise yatay eksen üzerinde gösterilir. Zaman birimi olarak ay, hafta, gün veya saat seçilebilir. Bu seçim yapılan işin özelliğine göre değişir. Proje planlama yöntemlerinden olan Gantt çizelgesinde faaliyetler, süreleriyle orantılı olarak şerit halinde ve yatay çizgi ile gösterilir.

A, B, C ve D olmak üzere dört faaliyetten oluşan bir projenin uygulama programı (Gantt Çizelgesi) Tablo 3.1'de verilmiştir. Tablo 3.1 incelendiğinde, A'nın 4, B'nin 3, C'nin 6 ve D'nin 2 haftada tamamlandıkları görülecektir, Buna göre örneğin, 10. haftanın sonunda A ve B faaliyetlerinin bitmiş, C faaliyetinin yansının

²⁹ Cebeci, Kahraman ve Canbazoglu, ,s: 32

³⁰ Sariaslan ve Karaca, s:295

tamamlanmış ve D faaliyetine hiç başlanmamış olması gerekmektedir. Gantt çizelgesi üzerinde tamamlanan faaliyetlerin kalın bir şerit ile gösterilmesi sonucunda hangi faaliyetlerin gerçekleştirildiği belirlenerek programın kontrolü sağlanmış olur. Bu amaçla oluşturulan Tablo 3.2 incelendiğinde 10. hafta sonunda A ve B faaliyetlerinin programa uygun olarak tamamlanmış, D faaliyetinin henüz başlamamış olduğu, C faaliyetinin ise programın 2 hafta gerisinde olduğu görülür.

Tablo 3.1. Bir projenin uygulama programı (Gantt Çizelgesi).

	HAFTA														
Faaliyet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	••••	••••	••••	••••											
B					••••	••••	••••								
C								••••	••••	••••	••••	••••	••••		
D														••••	••••

Tablo 3.2. Bir projedeki faaliyetlerin uygulama programı (Gantt Çizelgesi).

	HAFTA														
Faaliyet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	————	————	————	————											
B					————	————	————								
C								————	••••	••••	••••	••••	••••		
D														••••	••••

Basit ve küçük çapta projeler için kullanışlı olmasına karşın, büyük projeler için kullanışlı olmayan Gantt çizelgesi, faaliyetler arasındaki bağımlılıkları da tam olarak açıklayamamaktadır. Hangi faaliyetlerin geciktirilebileceği, hangilerinin geciktirilemeyeceği hakkında bilgi de vermemektedir. Zaman-maliyet analizi

yapabilmek için gerekli bilgi Gantt çizelgesinde yoktur. Söz konusu çizelgenin bu olumsuz özellikleri ağ yaklaşımını ortaya çıkarmıştır.³¹

3.3.1. Gantt Şeması'nın Yapılması

Gantt Şeması içi siyah kutular, çizgiler veya semboller kullanılarak üç değişik şekilde yapılabilir. Zaman çizgisi; projenin her safhasının planlanan ve gerçekleşen sürelerinin başlama ve bitiş tarihlerinin takip edilmesini sağlamaktadır. Safhalar yukarıdan aşağıya doğru sıralanmaktadır. Her safha şemaya işlendikten sonra kolaylıkla takip edilebilir.

Gantt Şeması'nın hazırlanmasında aşağıdaki kurallar uygulanır.

- Safhaların tanımlanmak.
- Safhaları sıralamak.
- Her safhanın başlama ve bitiş tarihini belirlemek.
- Safhaları bir şema üzerinde göstermek.

Gantt Şeması elle ve bilgisayarla hazırlanmaktadır. Büyük ve karmaşık projelerin planlanması ve projenin zamanında ve baştan belirlene bütçeler çerçevesinde tamamlanabilmesi, ancak bilgisayar destekli etkin yöntemlerin kullanımı ile söz konusudur. Gantt Şemasının daha iyi anlaşılabilmesi için nasıl hazırlandığını bir örnek üzerinde açıklayalım. Projesinde safhalar aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Safha 1: Tasarım: 40 gün.

Safha 2: Hukuki işlemler: 30 gün

Safha 3: Finans sağlama: 45 gün

Safha 4: Üretim tesislerini kurma: 60 gün

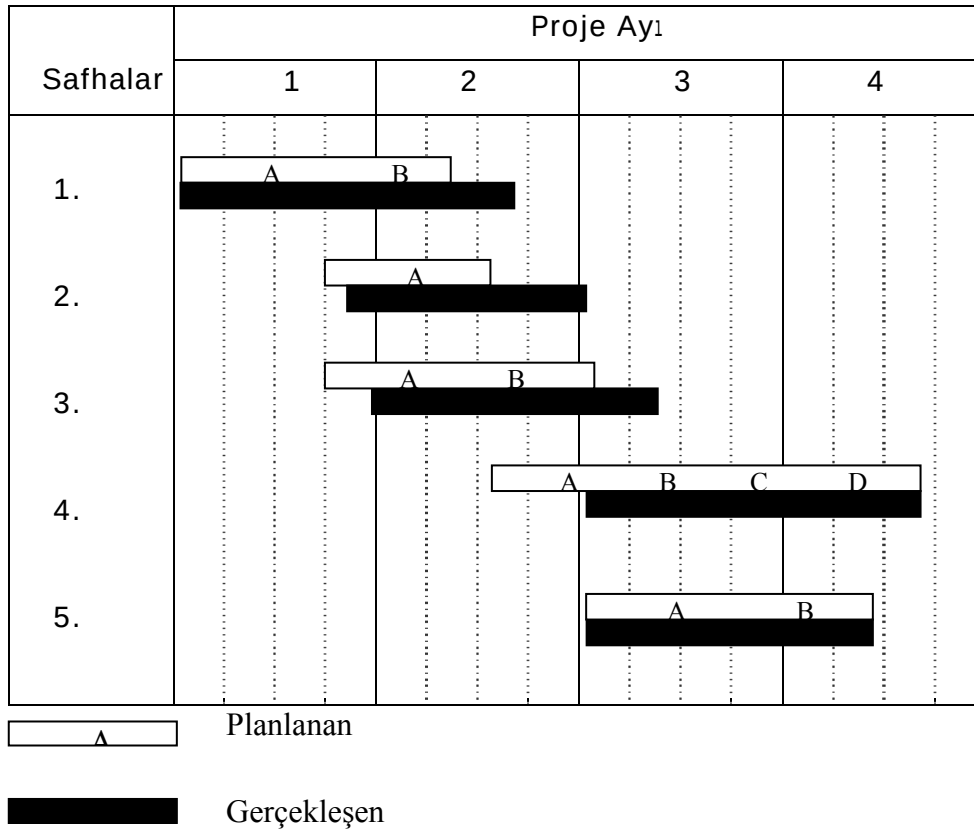
Safha 5: Pazarlama ve satış planlama:35 gün.

³¹ Cinemre, s.180-181.

3.3.1.1 Gantt Şeması'nın Yapılması: Doldurma Yöntemi

Doldurma yönteminde her safha, Tablo 3.3'de görüldüğü gibi kendi içinde alt görevlere ayrılır.

Tablo 3.3. Gantt Şeması (doldurmalı).

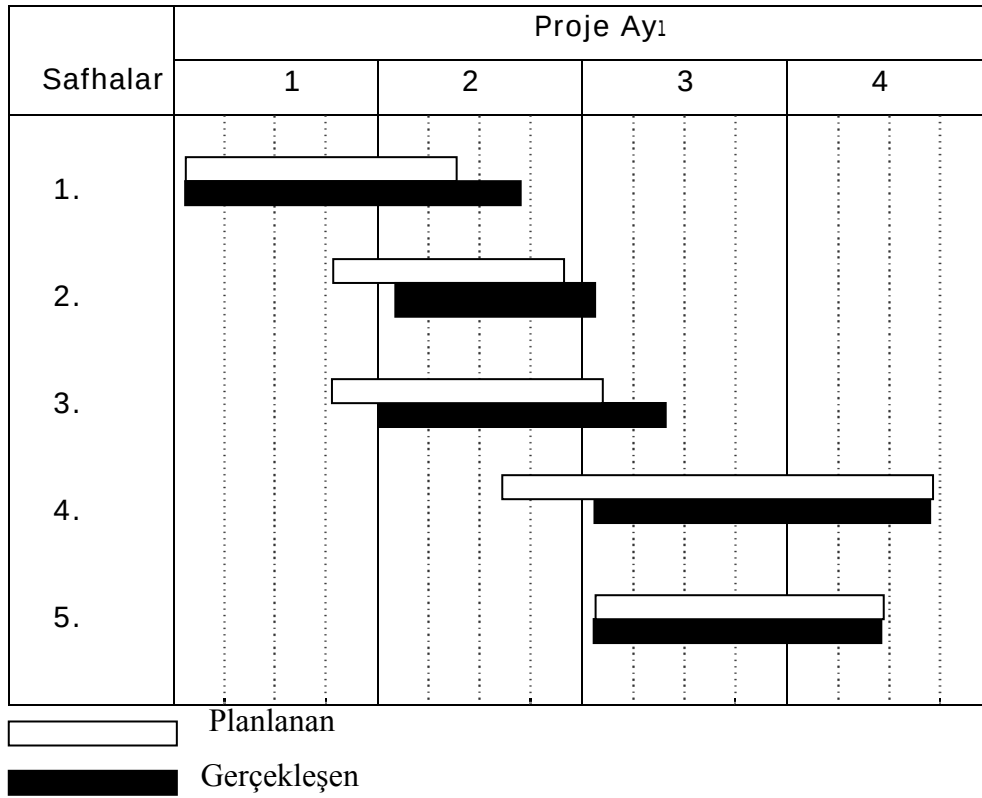


Doldurma yönteminde görevler şekilde görüldüğü gibi alfabetik şekilde belirtilir. Örneğin; üçüncü safhada, üzerinde çalışma yapılan görevler a, b ve c harfleriyle gösterilmiştir. Projeyi alt safhalara ayırmak büyük ve karmaşık projeler için yararlıdır. Projenin alt safhalara ayrılması ekibin daha iyi yönetilmesini sağlar. Bu yöntemin diğer bir faydası da işin tamamlanma durumunun gösterilmesinde yardımcı olur.

3.3.1.2. Gantt Şeması'nın Yapılması: Blok Yöntemi

Safhalar, Gantt Şeması'nda bloklar şeklinde gösterilir. Bu şema, projenin her safhasının programlanan ve gerçekleşen tarihlerini gösteren iş programıdır (Tablo 3.4).

Tablo 3.4. Gantt Şeması (blok).



Planlanan safhalar beyaz, gerçekleşen safhalar ise siyah bloklar halinde gösterilir. Bu şema projenin yapılışı sırasında nerelerde gecikmenin olduğu ve ileride nasıl giderileceğine ait bir fikir verir. Bu örnekte; birinci safha plânlanandan daha fazla zaman almıştır. Bundan ikinci ve üçüncü safhalar etkilenmiştir. Bu gecikme dördüncü safhaya kadar devam etmiş, ancak son safhada giderilmiştir. Dolayısıyla projenin süresi içinde tamamlanması sağlanmıştır.

3.3.1.3. Gantt Şeması'nın Yapılması: Sembol Yöntemi

Gantt Şeması'nın oluşturulmasında üçgen sembol kullanılmaktadır. İçi boş olan üçgenler planlanan, içi dolu (siyah) olan üçgenler ise gerçekleşen başlama ve bitiş tarihlerini göstermektedir (Tablo 3.5).

Tablo 3.5. Gantt Şeması (sembol).

Safhalar	Proje Ayı			
	1	2	3	4
1.	▽ ▲	▽ ▲		
2.		▽ ▲		
3.		▽ ▲	▽ ▲	
4.				▽ ▲
5.			▽ ▲	▽ ▲

▽ Planlanan başlama ve bitiş

▲ Gerçekleşen başlama ve bitiş

3.3.1.4. Gantt Şeması'nın Yararları ve Sakıncaları

Gantt Şeması, projenin safhalarını tanımlamak, zamanı takip etmek, projenin gidişatı hakkında bilgi edinmek ve rapor hazırlamak için kullanılmaktadır. Zayıf noktaları göstermez. Gantt Şeması'nın avantajı çok çabuk hazırlanmasıdır. Gantt Şeması küçük projeler için yararlıdır. Daha geniş bilgiler ve teknik isteyen çok geniş projelerde yeterli olmayabilir ve şu sorunlarla karşılaşılabilir:

- Gantt Şeması; safhalar arasındaki zayıf ilişkileri tanımlamaz. Görev bir kişiden diğerine aktarılırken projelerde gecikme olasılığı vardır. Bu en çok karşılaşılan gecikme nedenidir.

- Gantt Şeması; bir safhadaki gecikmenin diğer safhalara nasıl bir etki yapacağını göstermez.

- Gantt Şeması; projenin başarılı olabilmesi için gerekli gereksinimlerin programlanmasını ve kritik noktaların tanımlanmasını tek başına sağlayamaz.

- Gantt Şeması; her safhanın ne kadar tamamlanmış olduğunu göstermez. Takip için doldurma yöntemi kullanılabilir. Ancak bu yöntem ayrıntılı takip için geliştirilmemiştir.³²

Gantt Şemalarının eksik yönlerini gidermek amacıyla eş zamanlı olarak ama iki farklı grup ve iki farklı amaç için iki yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin geliştirilmesi ile proje yönetimi ayrı bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Yöntemlerden birincisi Kritik Yol Yöntemi (Critical Path Method - CPM) 1950'li yıllarda planlanan faaliyetlerin tamamlanması için gereken zamanın bilindiği büyük endüstriyel projelerin kontrolü ve ölçeklendirilmesi amacıyla geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntem yöneticilere ek bir maliyete katlanmak ya da bir faaliyete ayrılan kaynakların diğer bir faaliyete yönltilmesi yoluyla ilgili faaliyetin gerçekleşme süresinin azaltılması olanağını sağlar. İkinci yöntem olan 'Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği' (Project Evaluation And Review Technique - PERT) ise, yine 1950'li yılların sonlarında A.B.D. ordusu tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem geliştirilirken CPM yönteminden farklı olarak her bir faaliyet için tek bir zaman belirlenmesi yerine iyimser, normal ve kötümser olmak üzere üç olasılıklı gerçekleşme süreleri tahmini belirlenmektedir. Bu özellik iki yöntem arasındaki en önemli fark olmakla birlikte günümüzde bu iki yöntem arasındaki fark tamamen ortadan kalkmış ve tek bir teknik olarak kullanılmaya başlanmıştır.³³

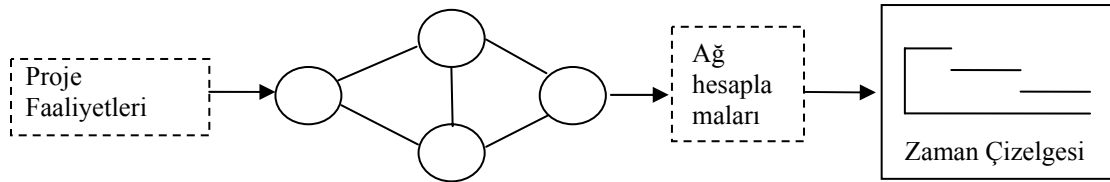
³² Albayrak, s.86-90.

³³ Sariaslan ve Karaca, s:296.

4. AĞ YAKLAŞIMI (CPM / PERT)

Önce, projenin faaliyetlerini, faaliyetlerin öncelik ilişkilerini ve zaman gereksinimlerini tanımlarız. Daha sonra proje, faaliyetler arasında öncelik ilişkilerini gösteren bir şebekeye dönüştürülür. Üçüncü aşama, projenin zaman çizelgesinin geliştirilmesini sağlayacak belirli şebeke hesaplamalarıyla ilgilidir.³⁴

PERT/CPM tekniklerini kullanan proje yönetimi projenin ayrı faaliyetlere bölünmesi ile başlar. Daha sonra belirlenen her faaliyetin gerçekleşme süresi belirlenir ve her faaliyet bir ok ile gösterilerek bir ağ diyagramı oluşturulur. Ağ diyagramı faaliyetler arası ilişkilerin şekilsel olarak gösterilmesini sağlar. Daha sonra projenin ölçeklendirilmesinde de bu ağ diyagramı kullanılacaktır (Şekil 4.1).³⁵



Şekil 4.1. Ağ diyagramı.³⁶

CPM çok yararlı bir planlama tekniğidir ve ayrıca GANTT tablolarındaki aşağıdaki nedenler dolayısıyla daha üstündür:

- a. Projelerin planlanması, projede gerekli olan faaliyetlerin birbirine olan ilişkilerini göstermek bakımından zorunludur. Diğer planlama tekniklerinde bu durum görülmez.
- b. Şemanın çizilmesi olanaklı faaliyetlerin unutulmamasını sağlar.
- c. Kritik faaliyetler ortaya çıktığında bu faaliyetlerde gecikme olmayacağını gösterir ve gerektiğinde bu faaliyetlerde fazla işgücü kullanılarak projeyi tamamlama zamanının kısılabilceğini gösterir.

³⁴ Taha, s:258.

³⁵ Sariaslan ve Karaca, s:295.

³⁶ Taha, s:258.

d. Ayrıca acele olmayan faaliyetlere zamanından önce finansman ve işgücü bağlanmamasını sağlar.³⁷

4.1. Pert ve CPM Tekniklerinin Temel Farkı

Bir projenin veya sürecin toplam süresini hesaplamaya yarayan PERT ve CPM (Kritik Yol Metodu) tekniklerinin temel farkı; PERT'in her faaliyet için tahmini süreler belirlemesine karşın, CPM tekniğinin faaliyet sürelerini kesin olarak kabul etmesidir. PERT, belirsizlik kavramını olasılık dağılımlar kullanarak modele yansıtır. Bu yöntemde, her faaliyet için, en iyimser (a), en kötümser (b) ve en olası (m) süreler belirlenir. CPM, faaliyet sürelerinin kesin olarak bilindiğini varsayar ve tek bir süre tahmini yapar. Süre tahmini dışında, diyagramların çizilmesi, faaliyetlerin en erken ve en geç başlama ve bitiş sürelerinin bulunmasıyla ilgili olarak yapılan işlemler PERT ve CPM' de aynıdır.

Proje yönetiminde, planlama tekniklerinden kritik yol yöntemi (CPM) ile proje değerlendirme ve gözden geçirme tekniği (PERT) gelişmiş ülkelerde çok geniş bir uygulama alanı olan proje çizelgeleme teknikleridir. Anılan yöntemler eldeki sınırlı kaynaklar ölçüsünde projenin tamamlanma süresinin belirlenmesi, toplam maliyeti en düşük yapacak proje süresinin saptanması, sürenin kısaltılması amacıyla kaynak aktarımı yapılması vb. konularda yöneticiler için hayati önem taşıyan sorunlara etkili çözüm yolları ararlar ve bulurlar. Anılan yöntemler ülkemizde de birçok büyük projede kullanılmıştır. II. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü ve Güney Doğu Anadolu Projesi CPM, Keban Barajı ve İstanbul Boğaz Köprüsü PERT' in uygulandığı projelere örnek gösterilebilir.

CPM ve PERT, birbirine bağlı çok sayıda faaliyetten oluşan büyük projelerin programlanmasında kullanılan yöntemlerdir. Birbirlerinden bağımsız geliştirilmelerine karşın birbirlerine çok benzeyen bu iki yöntem arasındaki en önemli fark faaliyet sürelerine ilişkindir. PERT' de faaliyetlere ilişkin süreler belirsiz olup bir takım olasılık

³⁷ <http://www.ozyazilim.com/ozgur/marmara/karar/cpm.htm> , (2005)

hesaplamaları ile tanımlandığı halde, CPM' de bu sürelerin kesinlikle bilindiği varsayılmaktadır.³⁸

CPM (Critical Path Method — Kritik Yol Yöntemi) ve PERT (Program Evaluation and Review Technique — Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği) projelerin planlanması, çizelgelenmesi ve kontrolüne yardımcı olmak üzere tasarlanmış şebeke esaslı modellerdir. Bir proje, her birinde zaman ve kaynak harcanan birbiriyle ilişkili faaliyetlerin bir araya getirilmesidir. CPM ve PERT' in amacı çizelgeleme faaliyetlerine analitik anlamlar kazandırmaktır.

Ağ diyagramı oluşturulduktan sonra her faaliyetin başlangıç ve bitiş zamanları ile diğer faaliyetlerle ilişkilerini gösteren bir zaman ölçeği oluşturulur. Projeyi oluşturan faaliyetlerin bazılarında belirli bir gecikme yapılabilir, bazılarında ise projenin istenen zamanda tamamlanabilmesi için hiçbir gecikme istenilmez. Kritik faaliyetler adını alan ve projenin istenen zamanda tamamlanabilmesi için hiçbir şekilde gecikme olmaması gereken faaliyetlerin hangileri oldukları ve kritik olmayan faaliyetlerin boş zamanları da bu zaman ölçeğinde yer alması gereken bilgilerdendir. Yöntemin son aşaması ise belirli aralıklarla projenin ilerleyişini kontrol amacına yöneliktir ve bu amaçla da ağ diyagramı kullanılır.

4.2. PERT ve CPM Tekniğinin Faydaları

PERT/CPM yöntemi kullanılmasının sağlayacağı bazı faydalar şu şekilde özetlenebilir:

- Yöneticinin projenin bütün faaliyetlerini ve bileşenlerini belirlemeye zorlanması,
- Bütün faaliyetlerin gerçekleştirilmesi için gereken sürelerin belirlenmesini gerektirmesi,

³⁸ Cinemre, s.178-179.

- Herhangi bir faaliyette yapılacak değişikliklerin bütüncül olarak projeye etkilerini göstermesi,
 - Yönetim kademeleri arasındaki iletişimi artırması,
 - Olası sorunların karşılaşılmadan belirlenmesini sağlaması,
 - Her yönetim seviyesi için veri sağlaması ve
 - "eğer...olursa,... ne olur?"(what if?) sorularına cevap verilmesini sağlaması.
- Sağladığı bu yararlardan dolayı PERT/CPM özellikle faaliyetleri arasında karmaşık ilişkiler olan, personel planlaması ve zaman kısıtı önemli projelerde etkin bir planlama, uygulama ve kontrol imkânı sağlayacaktır. Bunların yanı sıra takım çalışmasına ihtiyaç duyulan ve çok sayıda veri gerektiren projelerde de önemli faydalar sağlayacaktır.³⁹

Ayrıca ağ yaklaşımının sağladığı yararlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- * Bir ya da daha fazla sayıda projenin aynı anda ve istenen ayrıntıda planlama denetiminin yapılmasına olanak sağlar.
- * Faaliyetler arasındaki karmaşık ilişkiler oldukça basit ve açık biçimde gösterilir. Böylece proje, planlamayı yapanların dışındaki kimselere de kolayca açıklanabilir.
- * İşlemler oldukça basit olup, bilgisayarda kolayca programlanabilir.
- * Kritik faaliyetlerin saptanması sonucunda önemli olan bir grup faaliyete dikkat çekilir. Böylece, daha etkin bir planlama ve denetime olanak sağlanır.
- * Bazı faaliyetlerin gecikme ve/veya hızlandırılmalarının etkileri ve bunlara bağlı olarak oluşacak darboğazların kolayca saptanabileceği bir ortam oluşturulur.
- * Değişik proje tarihlerine ilişkin toplam proje maliyetleri hesaplanarak en düşük toplam maliyetli proje planı seçilebilir.

³⁹ Sariaslan, Karaca, s. 296.

* Çok değişik konu ve kapsamda proje kolayca planlanabilir.

* Kaynaklar, aynı kaynağı kullanan faaliyetler arasında en düşük toplam maliyete neden olacak şekilde bölüştürülebilir. Burada, problemin güçlüğü nedeniyle en düşük maliyete neden olacak bölüşüm sağlanamasa da buna yakın bir sonuç elde edilebilir.

* Projenin uygulanması sırasında güncelleştirmeye önem verilerek projenin günü gününe izlenmesi sağlanır. Böylece proje yönetiminden sorumlu kimselerin aksayan noktaları görebilmeleri ve gerektiğinde süratle müdahale edebilmelerini sağlayan bir alet oluşturulmuş olur.

Araştırmalar ağ yaklaşımının kullanıldığı uygun işlerde projenin tamamlanma süresinin en az %10 azaltılabileceğini, kaynak kullanımındaki faydanın ise en azından %5 artırılabilceğini göstermiştir.⁴⁰

4.3. Matris Çözüm Yöntemi

Bu yönetimin uygulanması için ilk olarak üzerine faaliyet süreleri konmuş bir ok diyagramı gerekmektedir. Daha sonra yatayda düğüm noktası sayısı kadar haneye sahip bir satırdan ve düşeyde aynı sayıda haneye sahip bir sütundan oluşan süre matrisi oluşturulur (Tablo 4.1a).

Matris oluşturulduktan sonra çözüm iki safhada gerçekleştirilir:

4.3.1. En Erken Gerçekleşme Zamanlarının Hesaplanması

Bunun için önce 1.satırın solundaki TE hanesine 0 yazılır. 2.satırdan sağa doğru ilerlenip okun diyagonalı kestiğı yerden yukarı çıkarılır. Buradaki rakam ile bu rakamla aynı satırdaki TE değeri toplanıp toplam 2.satırdaki TE hanesine yazılır. Aynı işleme devam edilerek her noktaya karşılıklı gelen en erken gerçekleşme zamanları bulunur. Eğer diyagonalı kesen ok yukarı çıkarken birden fazla süreyle karşılaşırsa bu

⁴⁰ Cinemre, s:181-182.

durumda her süre kendisiyle aynı satırdaki TE değeri ile toplanıp, sonuçların en büyüğü, TE değeri hesaplanacak düğüm noktası satırındaki TE hanesine kaydedilir (Tablo 4.1b).

Tablo 4.1a. Matris Çözüm Yöntemi.

TE	J I	1	2	3	4	5
	1		3	2	6	
	2				5	7
	3				2	
	4					4
	5					
	TG					

Tablo 4.1b. Matris Çözüm Yöntemi.

TE	J I	1	2	3	4	5
0	1				6	
3	2				5	7
2	3				2	
8	4					4
12	5					
	TG	0	3	6	8	12

4.3.2. En Geç Gerçekleşme Zamanlarının Hesaplanması

En erken gerçekleşme zamanları hesaplandıktan sonra, en alttaki TG satırının, son düğüm noktasının bulunduğu sütuna karşılık gelen hanesine, son düğüm noktasının en erken başlangıç zamanı yazılır. Daha sonra bir önceki sütundan yukarı çıkılıp okun diyagonalı kestiği noktadan sağa dönülür. Buradaki süre değeri, kendisiyle aynı sütundaki TG değerinden çıkarılır. Bulunan değer, sözü edilen düğüm noktasının en geç başlangıç zamanıdır. Aynı işleme ilk noktaya varana kadar devam edilerek bütün TG değerleri bulunur. Diyagonalı kesen okun birden fazla değeri göstermesi durumunda her bir değer, kendisiyle aynı sütundaki TG değerinden çıkarılıp, sonuçların en küçüğü söz konusu düğüm noktasının en geç gerçekleşme zamanı olarak kaydedilir.

Bu hesaplar yapıldıktan sonra, daha önceden açıklandığı gibi olayların en erken ve geç gerçekleşme zamanları, faaliyetlere ait en erken ve en geç başlangıç-bitiş zamanlarına dönüştürülüp tablo haline getirilir.

4.4. Kritik Yörüngenin Belirlenmesi

Şebekeyi oluşturan her faaliyet belli bir öneme sahiptir. Ancak tecrübeler göstermiştir ki genelde, toplam faaliyet sayısının %10 - 15'ini oluşturan birkaç faaliyet projenin tamamlanması için gereken süreyi kontrol etmektedir.⁴¹ Bu eylemler kritik faaliyetler olarak isimlendirilir ve bunlardan birinin tamamlanmasındaki gecikme yörüngedeki diğer kritik faaliyetleri de etkileyerek toplam proje tamamlanma süresinin de uzanmasına neden olur. Proje yöneticisi projenin zamanlamasını kontrol etmek istiyorsa bu yörüngedeki faaliyetlere sürekli dikkat göstermek durumundadır. Kritik faaliyetleri tanımlamada kullanılan kriterler şu şekilde ifade edilebilir.

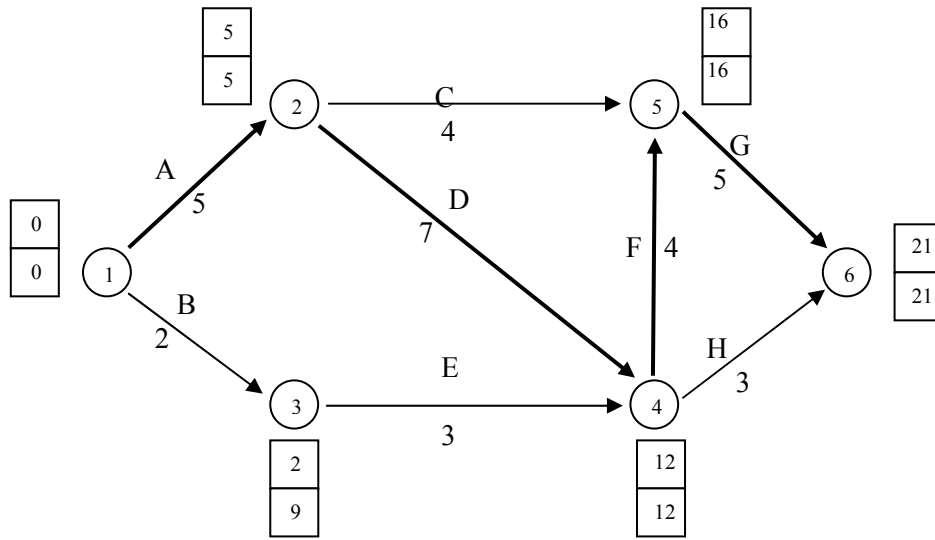
- Faaliyetin başlangıç düğüm noktasına ait en erken ve en geç gerçekleşme zamanları birbirine eşit olmalıdır. $[TE(i)=TG(i)]$ (2.1)

⁴¹ J.B. Hirt, **An Integrated Management Control Technique For The Steel Erection Industry**, Michigan:University Microfilms Inc, 1964 , s.114.

- Faaliyetin bitiş düğüm noktasına ait en erken ve en geç gerçekleşme zamanları birbirine eşit olmalıdır. $[TE(J)=TG(J)]$ (2.2)

- Faaliyet için ayrılabilen süre, eylemin süresine eşit olmalıdır. $[TE(i)+SR(A)=TE(J)]$ (2.3)

Bu üç durum, bir faaliyetin kritik olması için gerek şart olup, ancak üçünün de sağlanması yeter şarttır. Bir faaliyetin başlangıç ve bitiş düğüm noktaları ilk iki koşulu sağladığı halde üçüncüsünü sağlamayabilir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Kritik yörüngeyi belirlemek.

Görüldüğü gibi C eyleminin başlangıç ve bitiş düğüm noktalarındaki TE ve TG'ler birbirine eşittir. Ancak bu eylem için elde edilebilir süre $16-5=11$ olduğu halde eylemin süresi 4'tür. Dolayısıyla C eylemi kritik değildir.

4.4.1. Esnekliklerin (Bollukların) Hesaplanması

Herhangi bir projede, normal sürelerinden daha uzun sürede gerçekleştirdikleri halde projenin tamamlanma süresini etkilemeyen faaliyetler vardır. Kritik faaliyetler dışında kalan bu faaliyetler belli zaman aralığında olmak koşuluyla istenen zamanda başlayıp, bitirilebilir. Sağladıkları bu esneklik para, işgücü, ekipman, ve malzeme gibi

kaynakların kullanımında yapılacak düzenlemeler ve dengelemeler için son derece değerlidir. Böylece maliyetlerde bir tasarruf ve etkinlikte bir artış sağlanabilir.

Geleneksel proje yönetim ve kontrol metotları bu esnekliği kullanamazlar. Bu yüzden çoğu kez bu olanak israf edilir.⁴² Öte yandan CPM bu esnekliği projenin hayati noktalarından biri olarak tanımlar: bunun kontrolü için kaynak dengelemesine ve optimum sürenin hesaplanmasına yönelik özel mekanizmalara olanak tanır.

Literatürde bir faaliyet için dört ayrı esneklik (ya da bolluk) tanımlanmaktadır.

4.4.1.1. Toplam Esneklik (Total Float)

En erken başlama zamanında başlayan bir faaliyetin bitiş zamanı ile faaliyetin en geç bitiş zamanı arasındaki farktır. (şekil 2.5) Bunu,

$$T_e = (TG)_j - [(TE)_i + T_{ij}] \quad (2.4)$$

şeklinde formüle edebiliriz.

Toplam bolluğa ya da esnekliğe sahip bir faaliyet, en erken başlama zamanından bu bolluk miktarı kadar geç başlasa bile projenin tamamlanma zamanı bundan etkilenmez. Toplam esnekliği küçük olan faaliyetler kritik olmaya elverişlidir. Bu yüzden kritik eylemler gibi bunlara da dikkat gösterilmelidir.

4.4.1.2. Serbest esneklik (Free Float)

En erken başlama zamanında başlayan bir faaliyetin bitiş zamanı ile faaliyetin en erken bitiş zamanı arasındaki farktır (Şekil 4.3). Bunu,

$$S_e = (TE)_j - [(TE)_i + T_{ij}] \quad (2.5)$$

şeklinde formüle edebiliriz.

⁴² Hirt , s.116.

Bu şebekeyi ilgilendirmeyen türde bir esnekliktir. Sadece faaliyetin kendisini ilgilendirir ve başka faaliyetlere aktarılmaz. Bu nedenle bu tür esnekliğe sahip faaliyetler gereksiz yere çabuk tamamlanan faaliyetlerdir.

4.4.1.3. Bağımsız esneklik (Independent Float)

En geç başlama zamanında başlayan bir eylemin bitiş zamanı ile eylemin en erken bitiş zamanı arasındaki farktır (Şekil 4.3). Bunu,

$$B_e = (TE)_j - [(TG)_i + t_{ij}] \quad (2.6)$$

şeklinde formüle edebiliriz.

Bu da serbest bolluk gibi sadece ait olduğu faaliyeti ilgilendiren bir esnekliktir. Bu tür esnekliğe sahip faaliyetler gereksiz yere en hızlı tamamlanan faaliyetlerdir. Diğerlerinin aksine bağımsız bolluklar negatif değer alabiliriz. Bu tür esnekliğe sahip faaliyetler kritik olma olasılığı en az olan faaliyetlerdir.

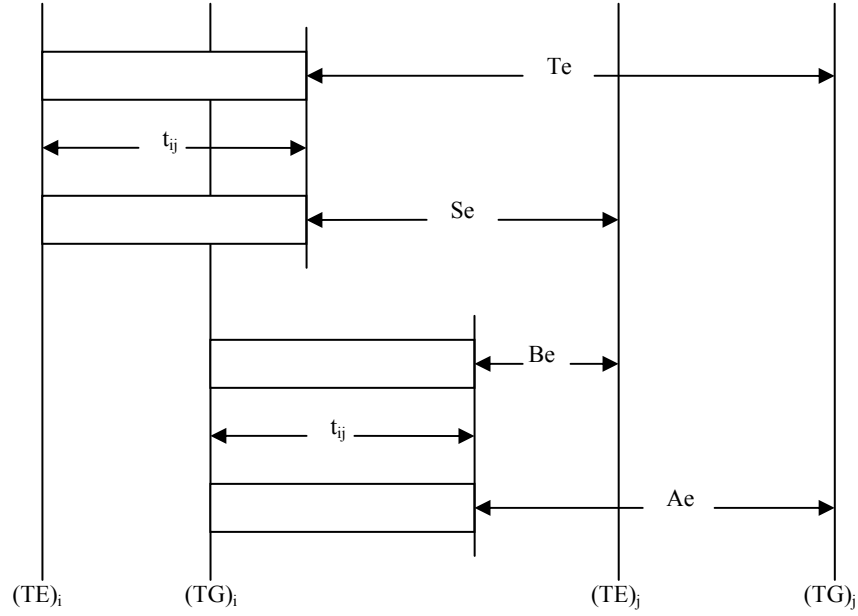
4.4.1.4. Ara esneklik

En geç başlama zamanında başlayan bir faaliyetin bitiş zamanı ile faaliyetin en geç bitiş zamanı arasındaki farktır. (şekil 2. 5) Bunu,

$$A_e = (TG)_j - [(TG)_i + t_{ij}] \quad (2.7)$$

şeklinde formüle edebiliriz.

Bir faaliyet başlangıç düğüm noktasının en geç tamamlanma zamanından ara esnekliği kadar geç başlayabilir. Bu esneklik yardımıyla eylemlerin en geç başlama zamanları belirlenir. Ara bolluğu büyük olan faaliyetlerin kritik olma olasılığı diğerlerine göre daha azdır.



Şekil 4.3. Esnekliklerin grafik ifadesi.⁴³

4. 5. Pert Yöntemi

CPM’de sürelerin kesin olarak bilindiği, ayrıca faaliyetlere ayrılan kaynak miktarlarının değişmesi durumunda faaliyet sürelerinin de değişebileceği kabul edilmektedir. Oysa, araştırma ve geliştirme projelerinin her biri özel projeler olup bu projelerdeki faaliyetlerin pek çoğu yalnızca bir kez gerçekleştirildiğinden, benzer faaliyetlerden süre ile ilgili ilk bilgiler elde edilemez. Bu tür projelerin yönetimi faaliyetlerin tamamlanma sürelerindeki belirsizlikleri dikkate alan PERT tekniği ile gerçekleştirilir.

PERT’de faaliyetlerin tamamlanma süreleri ile değil, bunların beklenen değerleri ($E(D_{ij})$) ile işlem yapılır. Bir başka deyişle, faaliyet sürelerinin rasgele değişkenler oldukları ve bir olasılık dağılımına göre ortaya çıktıkları varsayılır. Herhangi bir faaliyetin beklenen tamamlanma süresi, faaliyetin %50 olasılıkla

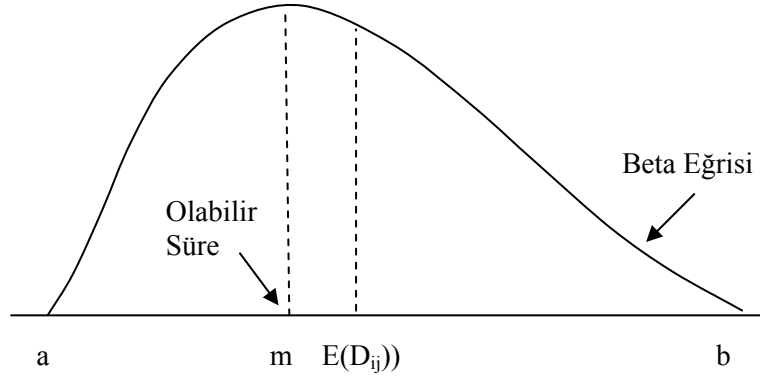
⁴³ E. Çetmeli, *Yatırımların Planlanmasında Kritik Yörünge ve Pert Metodları*, İstanbul, 1982, s.136

tamamlanacağı süre demektir. Bu sürenin belirlenebilmesi için her bir faaliyete ilişkin üç ayrı tamamlanma süresinin tahmin edilmesi gerekir. Bu süreler aşağıda açıklanmışlardır.

1. İyimser Süre (a): Faaliyetin en erken tamamlanacağı süredir. Bu sürenin tahmininde bütün her şeyin planlandığı gibi gideceği, bütün etmenlerin faaliyeti iyi yönde etkileyecekleri kabul edilir. İyimser tahminin gerçekleşmesi olasılığı %1'dir.
2. Kötümser Süre (b): Faaliyetin en geç tamamlanma süresidir. Bu sürenin tahmininde hiçbir şeyin planlandığı gibi gitmeyeceği, beklenmedik olayların (mekanik arıza, kaynak temininde aksama, kötü hava koşulları gibi) faaliyete kötü yönde etki edeceği varsayılır.
3. Olabilir Süre (m): Varsa daha önceki uygulamalardan elde edilen ilk bilgilerin veya tahmin çalışmaları sonuçlarının kullanılmasıyla normal koşullar altında faaliyetin tamamlanacağı süreye en yüksek olasılıkla tamamlanma süresi veya olabilir süre denir. Olabilir süre en gerçekçi süredir.

Faaliyetin tamamlanma süresinin iyimser tahmin ile kötümser tahmin tarafından belirlenen aralığın dışında olabileceği gözden uzak tutulmamalıdır. Olabilir süre kesinlikle a ile b aralığında bulunacak olmakla birlikte, $(a+b)/2$ ile belirlenen değer solunda veya sağında olabileceği gibi $(a+b)/2$ ile çakışabilir. Bu özellikten dolayı, (i, j) faaliyetinin tamamlanma süresi D_{ij} rasgele değişkeninin modu m, alt uç noktası a, üst uç noktası b olan beta dağılımı gösterdiği varsayılır. A, b ve m değerlerinin tahmin edilmesinden sonra bu üç sürenin tek bir değer olarak ifade edilmesinden sonra bu üç sürenin tek bir değer olarak ifade edilmesi gerekir. $(a+b)/2$ 'nin ağırlığı m'nin ağırlığının yarısına eşittir.⁴⁴

⁴⁴ Cinemre, s.208



Şekil 4.4.

Bu varsayım altında D_{ij} 'nin ortalaması aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$E(D_{ij}) = \frac{(a+b)/2 + 2}{3} = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Faaliyetin tamamlanma süresi, ortalama tamamlanma süresinden farklı olabileceğinden, bu süreye ilişkin varyansın da hesaplanması gerekir. Tek modlu dağılımların pek çoğunda, uç değerler dağılımın ortalamasından yaklaşık 3 standart sapma uzaklıkta bulunurlar. Bu durumda, $6\delta = b - a$ veya $\delta = \frac{(b-a)}{6}$ yazılabilir. Bu bağlantıdan hareketle (i, j) faaliyetinin süresine ilişkin varyans aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V(D_{ij}) = \frac{(b-a)^2}{36}$$

Faaliyet sürelerinin beta dağıldıkları varsayımına ek olarak, anılan sürelerin birbirinden bağımsız rasgele değişken oldukları kabul edildiğinden, proje ağındaki herhangi bir yolun tamamlanma süresi de rasgele değişken olur ve bu değişkenin ortalaması aşağıdaki gibi hesaplanır.⁴⁵

$$\text{Herhangi bir yoldaki faaliyetlerin beklenen tamamlanma süresi} = \sum_{(i,j) \in \text{Yol}} E(D_{ij})$$

Benzer yaklaşımla herhangi bir yolun varyansı da şu şekilde hesaplanır:

⁴⁵ Cinemre, s.209

$$\text{Herhangi bir yoldaki faaliyet sürelerinin varyansı} = \sum_{(i,j) \in \text{Yol}} V(D_{ij})$$

Her faaliyetin ortalama süresi ile varyansının hesaplanmasından sonra, CPM uygulamasına geçilir ve kritik yol belirlenir.

İstenirse projenin herhangi bir zaman süresinden önce veya bu süre içinde tamamlanma olasılığı hesaplanabilir. Bunun için, kritik yolu oluşturan faaliyetlerin sayısının kritik yolun normal dağılımlı olmasını sağlayacak büyüklükte olduğu kabul edilir. Bunun sonucunda; projenin belirli veya öngörülen zamanda tamamlanma olasılığı ile ilgili sorular kolayca yanıtlanabilir. Bu amaçla, öngörülen veya dikkate alınan süre T olmak üzere standart normal olarak adlandırılan bir değişken tanımlanır. Standart normal değişken, genel olarak aşağıdaki gibi açıklanır.

$$Z = \frac{X - E(X)}{\sqrt{V(X)}}$$

Z ile gösterilen bu değişken; ortalaması sıfır, varyansı 1 olan standart normal değişkendir. Hesaplamaları kolaylaştırmak amacıyla, çeşitli Z değerleri için normal eğri tablolarından yararlanılmaktadır.

Birden fazla kritik yol olduğunda olasılık hesaplamalarında varyansı büyük olan kritik yolu dikkate almak gibi bir eğilim vardır. Bu konuda benimsenen diğer bir yaklaşım ise, projenin beklenenden geç tamamlanmasıyla ilgili olasılıkların hesaplanmasında en büyük varyansı, beklenenden daha kısa sürede tamamlanmasıyla ilgili olasılıklarda en küçük varyansı dikkate almaktır. Böylece ulaşılan sonuçların daha güvenilir olması sağlanır.⁴⁶

⁴⁶ Cinemre, s. 208-210

5. ALTERNATİF PROGRAM HAZIRLAMA

Proje yönetiminin temel amacı karın maksimizasyonunu sağlamak ve projenin minimum maliyetle gerçekleştirilmesine yönelik bir programı ortaya koymaktır. Bunu yaparken bir proje yöneticisinin dikkat etmesi gereken başka faktörler de vardır. Bunları şöyle sıralayabiliriz:

5.1. İşgücünün dengelenmesi

Önerilen program, projenin çeşitli safhalarında gereken personel tip ve sayısı açısından eldeki olanaklara uymayan bir program olabilir. İşgücü temininin bir sınırlama olarak ortaya çıkması son derece olağandır. Bu durumda, sınırlamaları göz önüne alan uygun bir işgücü dağılımını öneren yeni programlar geliştirilmelidir.

5.2. Kaynakların dengelenmesi

Mevcut programda önerilen kaynak sarfı oranları bazen yönetim tarafından kabul edilemez değerler alabilir. Örneğin bir toplu konut projesinde aynı anda 5 ekip birden çalıştırmak, eldeki diğer projelerde bir takım kaynak problemlerine neden olabilir. Bu nedenle mevcut kaynakların daha akılcı kullanımına ve ekipmanların boş bekleme sürelerinin minimize edilmesine yönelik program alternatifleri geliştirilmelidir.

5.3. Gerçekleştirme süresinin optimize edilmesi

Eğer normal eylem süreleri kullanılarak saptanmış olan gerçekleştirme süresi proje yönetimi ve müşteri açısından istenenden uzunsa, şebekenin minimum maliyet artışına neden olacak biçimde sıkıştırılması, yani işin hızlandırılması gerekecektir.

Aslında bu üç konu birbiriyle bir bütün teşkil etmekte ve bir arada değerlendirilmeleri gerekmektedir. Ancak tezin konusunu oluşturan süre-maliyet ilişkisinin belirlenmesi amacıyla yapılacak sıkıştırmaları gerçekleştirmede kullanılabilecek bir modelin ortaya konabilmesi, konuyu bu aşamada diğerlerinden

soyutlamakla mümkündür. Yapılacak şey her bir faktörün irdelenmesini ayrı ayrı gerçekleştirmek ve sonuçta elde edilen çıktıları bir araya getirerek bir karara varmaya çalışmak olmalıdır.

5.4. Süre – Maliyet İlişkisi

Bu çalışmanın başında da ifade edildiği gibi, bir faaliyeti gerçekleştirmek için kullanılması gereken kaynak miktarı ilk bakışta faaliyetin süresinden bağımsız sabit bir değer olarak görülmektedir. Bu düşünceye paralel olarak, herhangi bir faaliyetin ya da projenin normal olarak nitelendirilen süreden daha kısa bir sürede tamamlanmak istenmesi durumunda değişecek olan tek şeyin birim zamanda sarf edilen kaynak miktarı olacağı söylenebilir. Bu durumda söz konusu faaliyetin maliyetinin de süreden bağımsız, sabit bir değer olacağı açıktır.

Ancak, tek vardiya çalışarak 30 günde bitirilen bir işin, üç vardiya halinde çalışıldığında 10 günde bitirileceği savı teoride ne kadar doğruysa, uygulamada da gerçek olmaktan o kadar uzaktır. Özellikle yapım sektöründe faaliyetler ya da projeler hızlandırıldığında bu hızlandırmadan dolayı bir takım etkin olmayan kaynak kullanımları ile üretkenlik düzeyinde düşüşler söz konusu olmaktadır. bu ise aslında aynı nitelik ve nicelikteki iş için daha fazla kaynak kullanımı anlamına gelmektedir ki, sonuçta maliyette bir artışın meydana geleceği açıktır. Burada sözü edilen elbette dolaysız maliyet faktörlerinin karşılığı olan maliyettir.

Proje maliyetinin yalnızca dolaylı ve dolaysız maliyet unsurlarından oluştuğunu farz ederek ve diğer faktörleri daha sonra hesaba katılmak üzere bir kenara bırakarak soyutlamaya gidecek olursak; bunlardan dolaysız maliyet eğrisinin proje süresiyle ters; dolaylı maliyet doğrusunun ise aynı yönde gelişmesi sonucu, bu iki maliyet unsuruna ait değişimin aynı eğime sahip olduğu noktada toplam maliyet eğrisinin bir minimum yapacağını görmek mümkündür.

Bu sonuç, sürenin maliyeti etkileyen önemli faktörlerden biri olduğunu, bu nedenle yüklenici ile girişimci arasında daima bir Pazarlık konusu olacağını, dolayısıyla

yüklenici açısından üzerinde dikkatle durulması gereken karar konularından birimi teşkil ettiğini ortaya koymaktadır.

5.5. Maliyet Kavramı Ve Maliyete İlişkin Sınıflamalar

Maliyet (cost) kelimesi genellikle gider (expense) kelimesiyle karşılıklı değişebilir biçimde, bazen de eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Ekonomist ALFRED MARSHALL' ın bu kavramları karşılayan tanımlaması şöyledir: “Çabalar için ödenmek zorunda olan para ve fedakârlıklar, üretimin parasal maliyeti ya da kısaca üretim giderleri olarak adlandırılır.”⁴⁷

Maliyete ilişkin ayrıntılı ve anlamlı analizler yapabilmek için bu kavramı oluşturan birleşenlere, yani maliyet türlerine değinmek doğru olacaktır.

5.5.1. Dolaylı ve Dolaysız Maliyetler

Bu maliyet türlerini tanımlamak için öncelikle izlenebilir (traceable) ve genel giderleri tanımlamak gerekir. İzlenebilir maliyet, belirli bir ürün, işlem ya da hizmetteki varlığı belirlenebilen maliyettir. Bunun dışındaki maliyetler ise genel giderleri oluşturur.

Dolaysız maliyet, belirli bir ürün, işlemlere ya da hizmetlere yüklenmesi istenen izlenebilir maliyetlerden oluşur. Endirekt ya da dolaylı maliyet ise ayrı olarak ifade edilmeyen ve direkt olarak ürün, işlem ya da hizmetlere yüklenmemiş izlenebilir maliyetlerle beraber bütün genel giderlerin toplamıdır. Dolaysız işçilik ve malzeme maliyetleri ile dolaylı maliyetler arasındaki farklılık maliyetin üretilen kalemlere yüklenmesindeki metod farklılığına dayanır.⁴⁸

⁴⁷ A. Marshall, **Principles of Economics** , London :Mc Millan & Co. Ltd., 1916, s.339.

⁴⁸ A. Manne, **Economic Analysis For Business Decisions**, New York: Mc Graw–Hill Book Company, 1961, s.44.

Dolaysız işgücü maliyeti direkt olarak ürünlere, işlem ve hizmetlere yüklenen her tür izlenebilir işgücü maliyetlerinden oluşur. Aynı ayırım dolaylı ve dolaysız malzeme maliyetleri için de söz konusudur.

5.5.2. Alternatif Veya Fırsat Maliyeti

Fırsat maliyeti sınırlı kaynaklar seçilen her alternatif için kullanıldığından ve bu yüzden imkân dâhilindeki gelirleri arttırabilecek ya da masrafları azaltabilecek diğer alternatifleri için artık kullanılamayacağından vazgeçilen fırsat ya da fırsatların maliyetidir.

Fırsat maliyetleri muhasebe defterlerine kaydedilmez ve geçmişte ya da şu andaki ödeme miktarlarıyla belirli olan maliyetlerden ayırt edilir.

Olanak varken, iş programının hızlandırılması ile eldeki işin normal süresinden önce bitirilmeyişi ve bu yüzden bir diğer işin kaçırılması ya da geciktirilmesi sonucu katlanılacak kayıplar da değerlendirmede göz önünde tutulmalıdır.

5.6. Yatırım Programını Oluşturan Faaliyetler Bazında Süre–Maliyet İlişkisi

Yatırımın gerçekleşmesi için gereken toplam sürenin kısaltılması, yatırıma ait şebekeyi oluşturan faaliyetlerin hızlandırılmasıyla mümkün olduğundan, öncelikle faaliyet düzeyinde süre-maliyet ilişkisini incelemek ve dolaysız maliyet eğrisinin karakterini ortaya koymak gerekir.

5.6.1. Faaliyetlerin Süre ve Maliyetlerinin Belirlenmesi

Burada söz konusu olan süre faaliyetin, normal kaynak kullanım koşulları altındaki süredir. Herhangi bir faaliyete ait süre-maliyet eğrisinin değişimini

inceleyebilmek için öncelikle faaliyetin normal süresinin belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra bu nokta röper alınarak, kaynaklarda sağlanacak belli artışlar sonucunda süre ve bu süreye karşılık gelen maliyet değerleri belirlenecektir.

İşin süresinin bulunması, şebeke analizine özgü olmayan bir problemdir; herhangi bir niceliksel planlama metodunda söz konusu olabilir. Proje planlama sorumluları iş ölçümü metotları konusunda iyi donanmış, bilgili iş etüdü ya da endüstri mühendisliği bölümlerinden bu konuda sık sık yardım alırlar. İş etüdünün yapılmasında kullanılan yararlı metotlardan biri analitik tahmindir.

Analitik tahminde iş elemanlarına ayrılır ve işin kapsamı (work content) tahmin edilir. Böylece her bir iş parçasının tahminine geçilir. Tahminci yapılacak işin niteliğine ilişkin temel bir bilgiye sahiptir ve zaman etüdü konusunda edindiği deneyimler ile bu bilgisini birleştirerek gerçekçi değerlendirmelerde bulunabilir.

Daha sonra, iş üzerinden yapılan ölçümler ve zaman etütleri tahminler üzerinde bir kontrol sağlar ve ayrıca standart veriler halinde sınıflandırılıp ileride kullanılabilecek enformasyonu temin eder. Bu standart veriler suni standartlar oluşturma amacıyla belli aktivite alanlarında yürütülen sistematik zaman etütleri ile daha sonra geliştirilir.

Proje süresine ilişkin bu veriler, projenin içinde bulunduğu çevresel koşullar planlama evresinde düşünüldüğü şekilde kaldıkça geçerlidir. Fakat gerçekte; proje ilerlerken, faaliyet sürelerini etkileyen bir çok problem doğar. Bu problemlerin nedeni faaliyet sürelerini dinamik olarak etkileyen belirsiz fakat tahmin edilebilir değişkenlerdir. Bu değişkenler dinamik bir nitelik taşıdığından, ayrıca proje şartlarına, yöreye ve eylemin yıl içinde gerçekleştirildiği zamana bağlı olduğundan etkilerinin saptanması son derece zordur. Faaliyet süreleri tahmininde belirsizlik yaratan bu değişkenler şu şekilde ifade edilmektedir.⁴⁹

- Öğrenme ya da işe adaptasyon süresi
- Hava koşulları

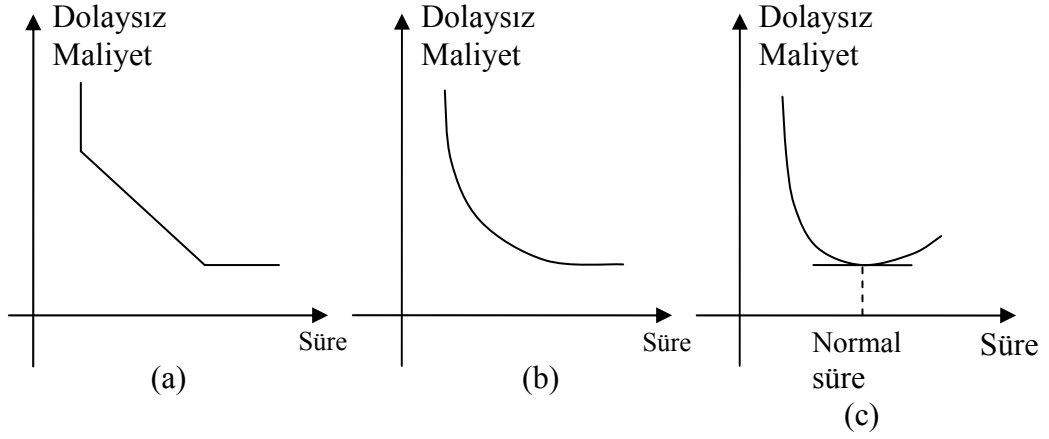
⁴⁹ A.H.N.Nandakumar, "Simulation Model To Forecast Project Completion Time", **Journal of Construction Engineering & Management**, ASCE, Vol. 111, No: 4, December, 1985, s.329.

- Çalışma alanındaki izdiham ve kargaşa
- İşçilerin devamsızlığı
- Dizayn değişiklikleri ve işin yeniden yapımı
- Projenin karmaşıklığı
- Zemin şartları
- Etkin olmayan danışmanlık hizmetleri
- Bina türü
- Nakliye programı
- Malzeme temini programı
- Yasal problemler
- Üretkenlik düzeyi

Kaynakların tüketiminden doğan maliyetlerin en iyi tahmini yukarıda belirtildiği gibi işin ölçümünden çıkacaktır. Bu amaçla maliyet tahmin formları hazırlayıp bu formlarda maliyetler kodlanmış birleşenlerine ayrılır. Her birleşen daha sonra işgücü ve araç alt birleşenlerine bölünür. Sonuç olarak bu bileşenlere ait maliyet tahminleri bir araya getirilerek işin toplam tahmini maliyeti belirlenir.

5.6.2. Faaliyet Maliyetlerinin Süreye Göre Değişiminin Belirlenmesi

Başta da belirtildiği gibi, faaliyetlerin hızlandırılmasından kaynaklanan ilave maliyet unsurları da göz önüne alındığında bir faaliyetin hızlandırılmış süresine karşılık gelen maliyet, normal maliyet değerinden yüksek olacağı ortadadır. Faaliyetin süresi ve maliyeti çoğunlukla aşağıdaki diyagramlardan birindeki gibi bir ilişki arz eder (Şekil 5.1a-b-c).



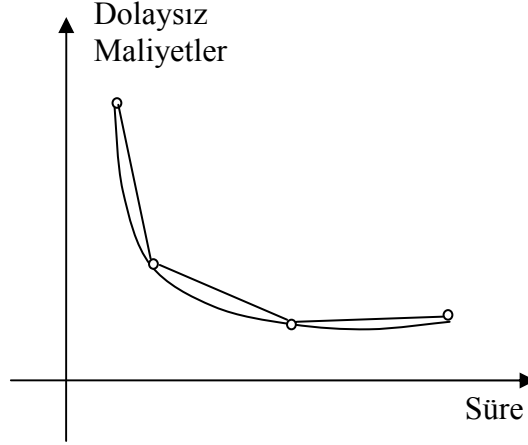
Şekil 5.1a-b-c. Faaliyet maliyetinin süreye bağlı olarak değişimi.⁵⁰

Diğer süre-maliyet ilişkileri de mümkündür. Örneğin süre artarken maliyet bir minimuma düşebilir ve işin akılcı olmayan uzun bir periyoda sürüklenmesine izin verildiği takdirde tekrar yükselmeye başlar (Şekil 5.1c). Burada sadece basit durumlar söz konusudur fakat aynı genel yaklaşım daha komplike örnekler için de düşünülebilir.

Her grafik üç akla uygun varsayımı içerir. İlki, daha önceden sözü edilen; maliyetin, süre azaltıldıkça azalmaktan ziyade yükseldiğidir. İkinci olarak süre hiçbir harcama miktarının azaltamayacağı bir alt limite sahiptir. Üçüncü olarak, işin yavaşlamasına izin vererek yapılabilecek tasarrufların da bir limiti vardır. Şekil 5.1a dördüncü bir varsayım daha içermektedir. Şöyle ki, maliyet ve süre arasındaki ilişki belli sınırlar içinde bir doğru olarak ifade edilebilir.

Ancak bu her faaliyet için geçerli değildir. Bazı faaliyetlerde sürede küçük bir azalma sağlamak az bir maliyet artışına neden olabilir. Fakat iş hızlandırılmaya devam edildiğinde maliyet eğrisi giderek dikleşmeye başlar. Böyle durumlarda süre-maliyet ilişkisinin doğrusal olmadığı söylenir ve bu tür bir ilişkinin söz konusu olduğu durumlarda hesap yapmanın en kolay yolu, bu ilişkiyi bir dizi lineer ilişkiler zincirine dönüştürmektir.

⁵⁰ Battersby, s.154.



Şekil 5.2. Faaliyetin doğrusal olmayan süre-maliyet ilişkisi ve bu ilişkinin lineer biçime dönüştürülmesi. ⁵¹

Bu konu şebekenin sıkıştırılması bölümünde daha detaylı olarak ele alınacaktır.

5.6.3. Yatırım Programı Bazında Süre –Maliyet İlişkisi

Konut üretimi, uçak üretimi ya da kitap yayını gibi bir projeyi yüklenen ve belirli sabit miktarlarda kira, vergi ve personel giderleri olan bir şirketi göz önüne aldığımızda her projeye harcanan süre kısaldıkça, şirketin proje için katlanacağı sabit maliyetlerin de azaldığını görmek mümkündür.

Bu avantaja karşılık, israfı kaçan gereksiz çabaların iş etüdü yapılarak önceden ortadan kaldırıldığını düşünürsek; bir işin ancak ona daha fazla kaynak ayrılmasıyla daha hızlı yapılabileceği de ortadadır. ⁵² Kaynaklardaki bu artış, dolaysız maliyetlere yansiyacaktır.

O halde maliyetin süreye göre değişimini inceleyebilmek için yatırımın maliyetini oluşturan bu bileşenlerin ortaya konması gerekir.

⁵¹ Martino, s.15

⁵² Battersby, s.154.

5.7. Maliyeti Oluşturan Bileşenler

Yapımcı firma açısından bakıldığında yapılan işe ait dolaylı ve dolaysız maliyetleri aşağıdaki şekilde incelemek mümkündür.

5.7.1. Dolaylı Maliyetler

Genel Masraflar: ihale masrafları, sigorta ve faizler gibi bir kere için söz konusu olan ve yatırımın büyüklüğü ile ilişkili olan masraflara ilave olarak şantiyenin kurulması ve işletilmesi için gereken personel giderlerinden oluşan dolaylı işgücü giderlerini içeren masraflardır. Dolaysız giderlerin sabit bir yüzdesi olarak hesaplanırlar.

- Şantiye mobilizasyonu masrafları: Şantiye binaları, bunların tesisatları ve yolların yapımından kaynaklanan giderlerden ve ayrıca kreyn, betoniyer, silolar gibi iş makinelerinin sökölüp takılmasından doğan masraflardır.

- Genel merkez masrafları: proje için merkezden yapılan yönetime, malzeme ye vs. ilişkin harcamalardan oluşur. Dolaysız masrafların bir yüzdesi olarak hesaplanır. Kimi zaman da genel merkez masraflarının firmaya ait maliyet merkezlerine dağıtımında bir dağıtım temeline göre oranlama yönetimi kullanılır. Dağıtım temeli olarak belli bir dönemdeki direkt işgücü maliyeti ya da süresi kabul edilebileceği gibi, direkt malzeme maliyetleri ya da makine süreleri de esas alınabilir.⁵³ Önemli olan seçilen dağıtım temelinin dolaylı maliyetlerin projelere, süreçlere ya da ürünlere doğru oranlarda yüklenmesini saplamasıdır.

5.7.2. Dolaysız Maliyetler

- Faaliyetin bünyesine giren masraflar: faaliyetin yapılabilmesi için gereken işgücü giderlerinden ve makine kiralardan oluşur.

- Malzeme masrafları: yatırımın fiziksel bünyesine giren her türlü malzeme ile yatırım oluşturulan faaliyetleri yerine getirmek için gereken makine, akaryakıt, yağ vb. malzemelerin masrafları toplamıdır.

⁵³ Manne, s.38.

- Eksik kapasite kullanımından doğan masraflar: makinelerine tam kapasiteyle çalıştırılmamasından kaynaklanan maliyetlerdir ve dolaysız maliyetlere ilave edilmeleri gerekir.

5.8. Maliyetlerin Süreye Göre Değişiminin Belirlenmesi

Yatırım maliyetini oluşturan bileşenlerden biri olan dolaylı maliyetler sabit bir değer olarak ifade edilebilir. Dolayısıyla firmanın, belli bir zaman diliminde herhangi bir proje için, geçen bir birim süreye karşılık katlanacağı dolaylı maliyet değeri hep aynı kalacaktır. Bu ifadeden dolaylı maliyet değerinin süreye göre değişimin lineer bir karaktere sahip olduğunu çıkarmak mümkün gibi görünmektedir.

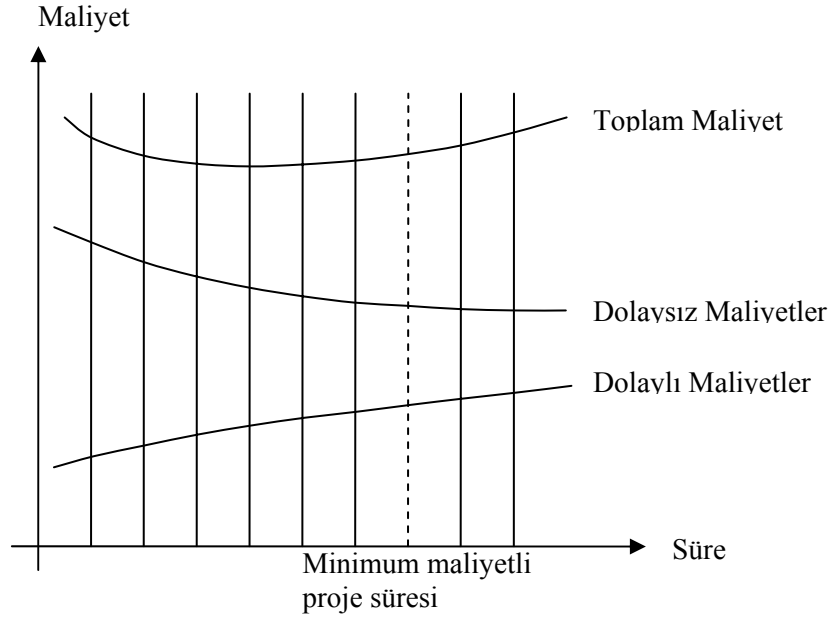
Gerçekte inşaat sektöründe durum biraz farklıdır. Bu sektörde faaliyet gösteren firmalar kısa sürede yeni örgütsel düzenlemelerle iş hacmini farklılaştırabilmekte, bir tek projeden birkaç projeye geçebilmektedir. Bu durumda projelere dağıtılan genel giderler de değişiklik göstermektedir.

Dolaysız maliyetlere gelince; daha önce de açıklandığı gibi yatırım süresinin kısaltılması faaliyetlerin hızlandırılmasına bağlıdır. Bunun gerektireceği ek kaynak ihtiyacı ve yaratacağı etkinsizliklerden doğan ilave maliyetlerde dolaysız maliyetleri arttıracaktır. Şebekede yapılacak her bir sıkıştırmada hızlandırılması gereken faaliyet ya da faaliyetler ve bunların birim maliyet artışları birbirinin aynısı olamayacağından, farklı proje bitiş süreleri için söz konusu olacak maliyet artışları da farklılık arz edecektir. Bu durumun doğal sonucu olarak dolaysız maliyetlerin süreye göre değişimi eğrisel bir nitelik taşıyacaktır.

Eğer işin bitirilmesi için belli bir sınırlama söz konusu değilse, işin bitiş tarihini bir birim süre uzatmanın kazancı, bu bir birim süre için katlanılacak dolaylı maliyet miktarından fazla olduğu sürece bu işleme devam etmek yüklenicinin maliyetine olacaktır.

Bir diğer değişle projenin, normal kaynak kullanım verileri geçerliken söz konusu olan bitiş süresinden bir birim süre önce bitmesi için katlanılması gereken

dolaysız maliyet artışı, proje bir birim süre erken bittiği için sağlanacak dolaylı maliyet kazancından az olduğu sürece proje süresinin kısaltılması akılcı olacaktır.⁵⁴



Şekil 5.3. Yatırım maliyetinin süreye göre değişimi ve minimum maliyetli gerçekleştirme süresinin belirlenmesi.

Dolaylı maliyet doğrusu ve dolaysız maliyet eğrisinin birlikte değerlendirilmesi ile elde edilen toplam maliyet eğrisine bakıldığında bu durum açıkça görülmektedir. Normal proje süresinden hızlı proje süresine ilerledikçe azalan değerler alan toplam maliyet eğrisi, dolaysız maliyet eğrisine ait doğru parçalarının dolaylı maliyet doğrusundan daha büyük bir eğime sahip olmaya başladığı noktada bir minimuma erişmekte ve bu noktadan itibaren yükselmeye başlamaktadır (Şekil 5.3)

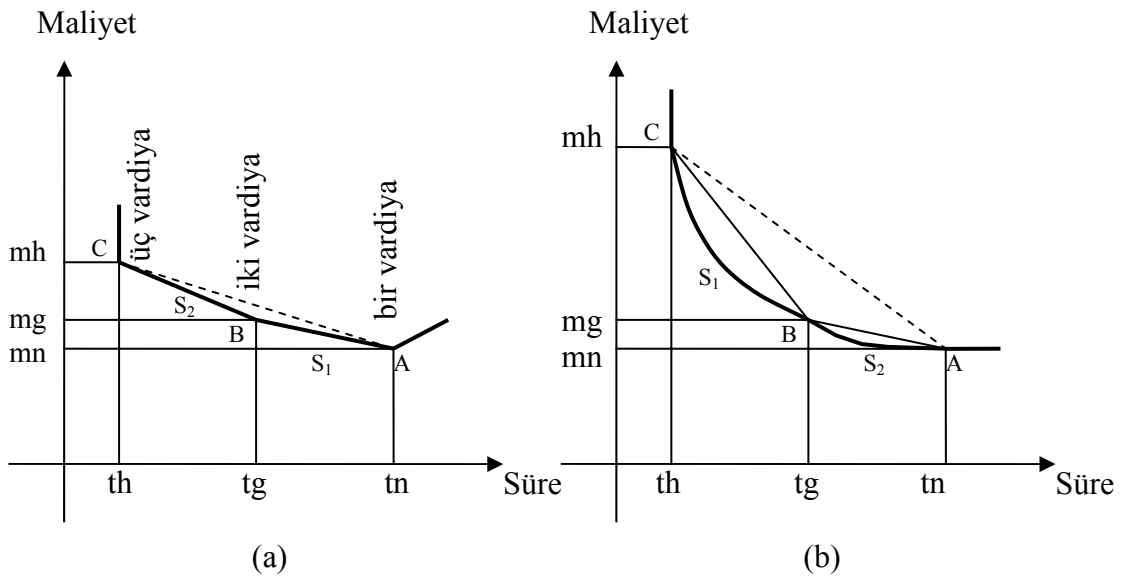
⁵⁴ Battersby, s.154.

6. ŞEBEKENİN SIKIŞTIRILMASI

Daha önce de açıklandığı gibi yapının gerçekleştirilmesine yönelik bir eylemin daha kısa sürede tamamlanabilmesi ancak kullanılan kaynaklarda nitelik ve nicelik açısından belli artışların sağlanmasıyla söz konusu olabilir. Yatırımın toplam gerçekleştirme süresi de şebekeyi oluşturan bu faaliyetlerin hızlandırılmasıyla mümkündür. Süre-maliyet ilişkilerinin araştırılmasında başvurulan bu işleme ‘sıkıştırma’ ya da ‘zorlama’ adı verilir.

Bir faaliyetin zorlamaya girebilmesi için kritik yörünge üzerinde olması ve hızlı süresinden (crash-time) daha uzun bir süreye sahip olması gerekmektedir.

Faaliyet düzeyinde süre-maliyet ilişkisi incelenirken değinildiği gibi, faaliyetlerin süre-maliyet değişimi genellikle içbükey bir eğri oluşturuyor. Ancak bu büküklüğün derecesi her faaliyet için aynı değildir. Bu durumu grafik üzerinde incelersek,



Şekil 6.1. Faaliyete ait süre-maliyet ilişkisi.

(Şekil 6.1) Görüldüğü gibi AB ve BC noktaları arasındaki maliyet artışı farklıdır. A ve B noktaları arasındaki birim maliyet değişimi,

$$S_1 = \frac{Mg - Mn}{tn - tg}, TL/süre birimi \quad (3.1)$$

B ve C noktaları arasındaki birim maliyet değişimi ise,

$$S_2 = \frac{Mg - Mn}{tn - tg}, TL/ süre birimi'dir. \quad (3.2)$$

Şebekenin sıkıştırılması sürecinde birden fazla sayıda faaliyetin hızlandırılması gerekebileceğinden ve gerçekte yapı üretiminde söz konusu pek çok eylemde AC doğrusu, AB ve BC doğrularından önemli ölçüde sapma göstermediğinden, genellikle, uygulamaya kolaylığı açısından, eylemin birim maliyet değişimi AC doğrusunun eğimi olarak kabul edilir (Şekil 6.2a). Bu durumda faaliyetin ortalama birim maliyet artışı

$$S = \frac{Mh - Mn}{tn - th}, TL/ süre birimi \quad (3.3)$$

Olarak kabul edilir ve bu kabulle yeterli prezisyonda doğru sonuçlar elde edilebilir. Bu şekilde bir kabulle yola çıkılarak yapılan sıkıştırmalara ‘Basit Sıkıştırma’ denir.

Bazı faaliyetlerde, belli bir noktadan sonraki kaynak artırımının gerektirdiği birim maliyet artışları, o noktaya kadarki artışlardan önemli farklılık gösterebilmektedir. Böyle durumlarda maliyet değişimi eğrisinin içbükeyliği artmakta ve eylemin maliyet değişiminin ifadesinde AC doğrusunun kullanılması hatalı sonuçlar vermektedir. (Şekil 6.2) Yaklaşık eğim hesabının yeterli presizyonu sağlamadığı bu gibi durumlarda parça (piece-wise) temeline dayanarak hesap yapılmaktadır.⁵⁵

⁵⁵ Martino, s.14.

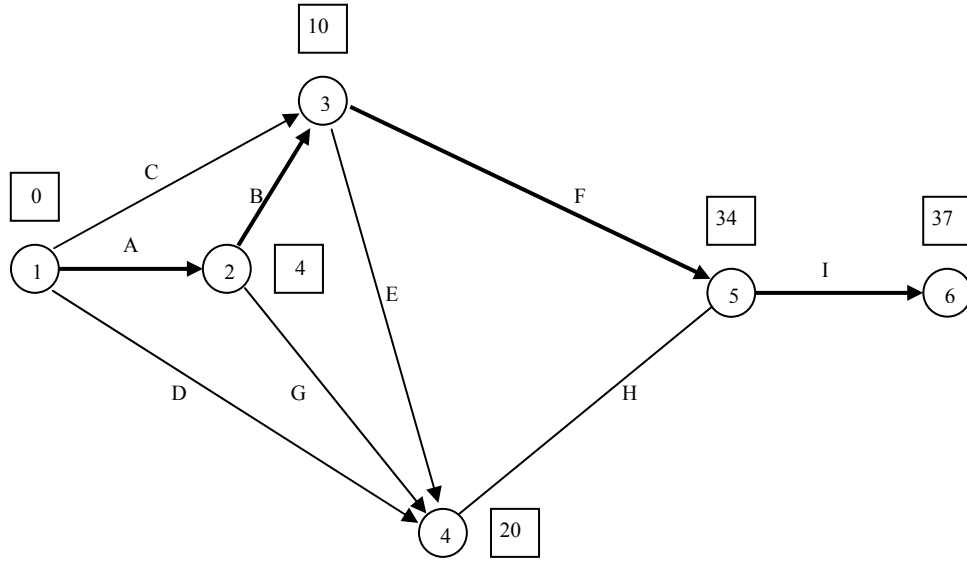
Sonuç olarak AB noktaları arasında S_1 , BC noktaları arasında ise S_2 eğiminin söz konusu olduğu bu yaklaşımla yapılan zorlamalara da ‘Bileşik Sıkıştırma’ adı verilmektedir.

Sıkıştırma sürecindeki mantık ve dikkat edilecek noktalar bir örnekle daha kolay anlaşılacaktır (Tablo 6.1). Aşağıda bir hidro-elektrik barajına ait iş programının şebeke diyagramı ve diğer gerekli bilgiler verilmiştir.⁵⁶ (Şekil 6.3) Toplam 37 ayda biten işin 9 ay önce tamamlanması istenmektedir. Bunu sağlamak için öncelikle A,B,F ve I faaliyetlerini, yani kritik faaliyetlerin ele alınması gerekir. 5,9 ve 13 milyonluk aylık hızlandırma maliyeti gerektiren A,B ve F eylemleri ile kıyaslandığında 3 milyonluk bir maliyet artışına nende olan I eyleminin hızlandırılması gerektiği açıktır. Böylece projenin tamamlanma süresi 36 aya inecektir (Şekil 6.4).

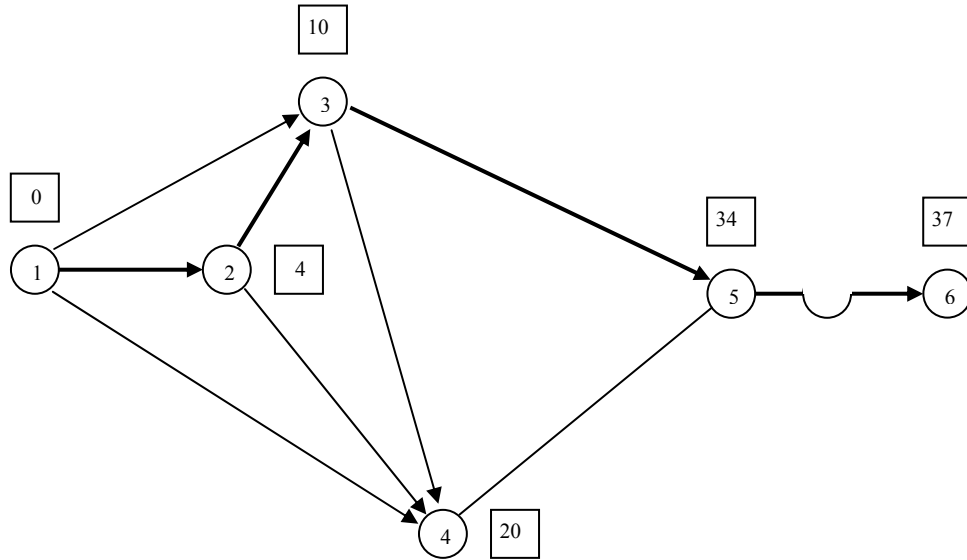
Tablo 6.1. Örnek şebekeye ilişkin süre- maliyet verileri.

Faaliyet	Normal Program		Hızlandırılmış Program		Aylık Hızlandırma Maliyeti (TL/ay)
	Muhtemel Süre (Ay)	Muhtemel Maliyet (TL)	Muhtemel Süre (Ay)	Muhtemel Maliyet (TL)	
A	4	5	2	15	5
B	6	11	5	30	19
C	4	3	2	11	4
D	12	150	9	180	10
E	10	10	8	20	5
F	24	147	19	212	13
G	7	18	6	30	12
H	10	4	7	25	7
I	3	2	2	5	3
		350		528	

⁵⁶ Kauffmann and Destbazeille, s.95.



Şekil 6.2. Şebeke diyagramı.



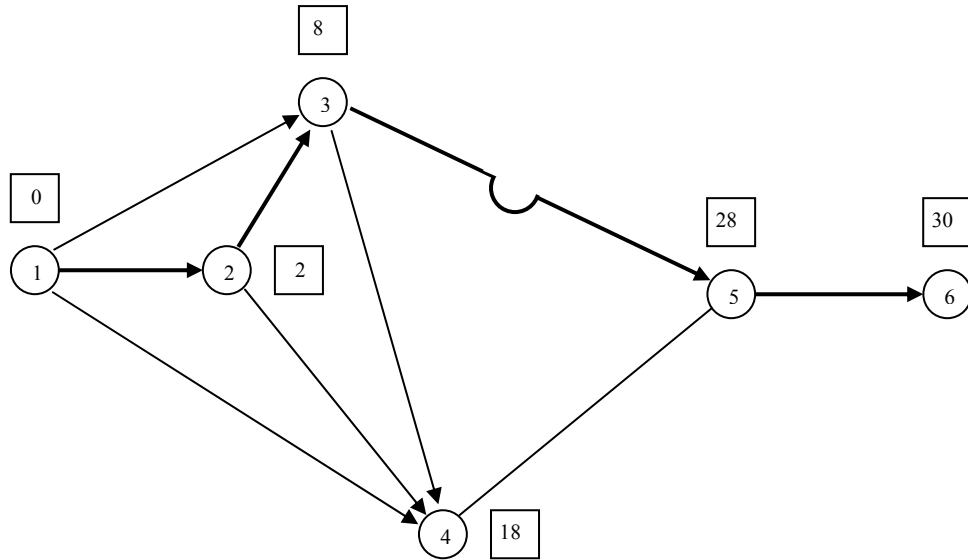
Şekil 6.3. Birinci zorlama (sıkıştırma).

Şimdi biraz daha ilerleyelim ve bir ay daha kazanmaya çalışalım. Bu durumda I faaliyetini hızlandırmak artık mümkün olmadığından, A faaliyetinin 1 ay hızlandırılması en düşük maliyet artışına neden olarak, işin 1 ay daha önce bitmesine olanak verecektir (Tablo 6.2).

Tablo 6.2. Her bir zorlamada hızlandırılması gereken faaliyetler.

Program Süresi	Maliyet	Toplam A	B	Faaliyetlerin Süreleri (Ay)						
				C	D	E	F	G	H	I
37	350	4	6	4	12	10	24	7	10	3
36	353	4	6	4	12	10	24	7	10	2
35	358	3	6	4	12	10	24	7	10	2
34	363	2	6	4	12	10	24	7	10	2
33	376	2	6	4	12	10	23	7	10	2
32	389	2	6	4	12	10	22	7	10	2
31	402	2	6	4	12	10	21	7	10	2
30	415	2	6	4	12	10	20	7	10	2
29	433	2	6	4	12	9	19	7	10	2
28	452	2	5	4	12	9	19	7	10	2

Şimdi ilk 7 zorlamayı geçip şebekenin durumuna bir göz atalım (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. 7.Zorlama sonunda şebekenin durumu.

Toplam proje süresini 30 aydan 29 aya indirmek istediğimizde bunu aşağıdaki iki şeklinden biriyle yapmamız mümkündür:

$$1. \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ Ay F faaliyeti: Maliyeti.....13} \\ 1 \text{ Ay E faaliyeti: Maliyeti..... 5} \end{array} \right. \quad \text{Toplam 18}$$

$$2. \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ ay B faaliyeti: Maliyeti 19} \\ \text{Toplam 19} \end{array} \right.$$

Yukarıdaki diyagramdan da görüleceği gibi minimum maliyet artışını veren E faaliyetinin 1 ay kısaltılması projenin tamamlanma süresini etkilememektedir. Bu hızlandırmadan sonra geriye kalan 1-2-3-5-6 kritik yörüngesi üzerindeki minimum maliyet artışına neden olan F faaliyetinin de bir ay hızlandırılması sonucu işin tamamlanma süresi 1 ay kısalabilmektedir. Bu çözümün getirdiği maliyet artışı ise toplam 18 milyondur.

Şebekedeki bu iki faaliyetten sonra, minimum maliyet artışı sağlayan üçüncü faaliyet B faaliyetidir. B faaliyetinin 1 ay hızlandırılması projenin tamamlanma süresinin direk etkilemekte, fakat 19 milyonluk bir maliyet artışı gerektirmektedir. Bu durumda E ve F faaliyetlerini birer ay hızlandırmak daha doğru bir çözümdür.

Burada vurgulanmak istenen şudur. Bir faaliyetin hızlandırılması için sadece minimum maliyet artışını sağlaması yetmez. Bu hızlandırma sonucunda projenin bitiş süresinin de kısaltılması gerekir. Yukarıdaki örnekte eğer B faaliyeti bir aylık bir hızlandırma karşılığı örneğin 16 milyonluk bir artışa neden olduysa, bu durumda her

ikisi de kendisinden daha az artışa neden olan (5 ve 13 milyon) E ve F faaliyetlerine tercih edilecektir.

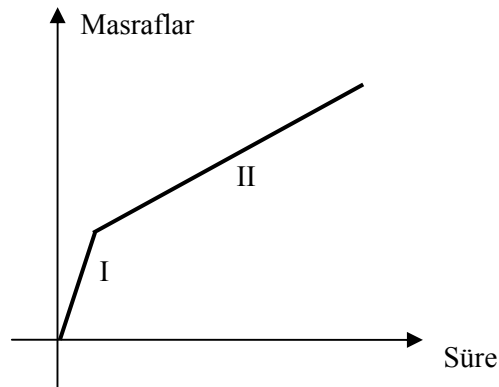
6.1. Optimum Gerçekleştirme Süresinin Hesaplanması

Projenin en düşük maliyetle gerçekleştirileceği sürenin saptanabilmesi için toplam yatırım maliyetini oluşturan iki maliyet unsurunun yani, dolaylı ve dolaysız maliyetlerin hızlı ve normal gerçekleştirme süreleri arasındaki değişiminin bilinmesi gerekmektedir. Ancak bu saptama tek başına pek fazla anlam taşımaz çünkü proje maliyeti sadece dolaylı ve dolaysız maliyetlerden ibaret değildir.

6.2. Dolaylı Maliyet Eğrisinin Belirlenmesi

Dolaylı maliyeti oluşturan masraflar, 3. bölümde genel masraflar, şantiye mobilizasyonu masrafları ve genel merkez masrafları olarak ele alınmıştır. Bu belirlemeden sonra firmanın katlanacağı dolaylı maliyetlerle yatırım süresi arasındaki ilişkiyi aşağıdaki şekilde göstermek mümkündür.⁵⁷

(Şekil 6.5) Şekildeki doğrunu birinci bölümü zamana bağlı olmayan ve başlangıçta kısa bir süre için yapılan, ihale, sigorta ve faiz gelirleri ile şantiye mobilizasyonu masraflarını; ikinci bölümü ise yatırım süresi boyunca zamanla orantılı olarak yapılan şantiyeye ait dolaylı işgücü harcamaları ve genel merkez masraflarını temsil etmektedir. Grafik yığılımlı değerleri göstermektedir.



Şekil 6.5. Yığılımlı dolaylı maliyet eğrisi.

⁵⁷ Çetmeli , s.73.

6.3. Dolaysız Maliyet Eğrisinin Belirlenmesi

Dolaysız maliyeti oluşturan masraflar da üçüncü bölümde faaliyetin bünyesine giren masraflar, makinelerin boş durmasından kaynaklanan masraflar ve yatırımın bünyesine giren masraflar olarak belirlenmiştir.

Daha önce de belirtildiği gibi, dolaylı maliyet doğrusunun aksine dolaysız maliyet eğrisi tamamen şebekeye ve şebekede yer alan faaliyetlerin sıkıştırma sürecinde hangi sırayla ne kadar ve hangi maliyet artışıyla hızlandırıldığına bağlı olduğundan, eğrinin normal ve hızlı proje sırası arasında yer alan sürelerle karşılık gelen değerlerinin hesaplanması için bir takım yöntemlere ihtiyaç vardır.

Yapı endüstrisinde bu ve buna benzer pek çok sorunun çözümünde yöneylem araştırması yaklaşımları başarıyla kullanılmaktadır. En genel biçimiyle, karar verme etkinliklerine bilimsel yaklaşım olarak tanımlanan yöneylem araştırması uygulamalarında iki aşama söz konusudur.⁵⁸ İlk olarak karmaşık karar sorununun matematiksel istatistiksel tanımı (genellikle) bir model olarak kurulur. İkinci aşamada kurulan modelden yararlanılarak, karar seçeneklerinin olası sonuçları ve istenilen sonuca ulaşabilmek için gerekli önlemler incelenir.

Modeller karar sorunlarının niteliklerine göre, tasarım, planlama, programlama çizelgeleme veya stratejik karar verme amaçlarıyla kurulurlar. Matematiksel, istatistiksel modellerin incelenebilmesi için geliştirmiş teknikleri:

- Lineer programlama
- Non-Lineer programlama
- Dinamik programlama
- Tam sayılı programlama
- Simülasyon

⁵⁸ O. A. Çezik , “Yapı bilim ve Yapı Endüstrisinde Yöneylem Araştırması”, YAE, Teknik Bülten 5. , 1981 , Yaz.

- Hedef Programlama

şeklinde tanımlamak mümkündür. Söz konusu problemin çözümünde bu tekniklerin hemen tamamı kullanılmaktadır.

6.4. Kullanılan Teknikle İlgili Çalışmalar

Süre-maliyet ilişkisini ve optimum süreyi belirlemeye yönelik olarak bu çalışma kapsamında geliştirilen modelin incelenmesine geçmeden önce u konuda yapılmış olan bazı çalışmaların tanıtılmasında yarar görülmektedir.

Küçük şebekelerle sınırlı kalan ve bu nedenle uygulama alanı sınırlı olan bir özellik arz etmelerine rağmen proje maliyetini belirlemede kullanılabilecek birçok metod vardır.

Meyer ve Shaffer tamsayı-programlamayı, Butcher ve Robinson dinamik programlamayı kullanırken Fulkerson ve Kelly analiz için Lineer programlamayı kullanmaktadır. Seimen ve Goya'nın küçük şebekeler için kullanışlı algoritmaları mevcuttur. Panagiotakopoulos kompleks bir şebekeyi basitleştirmek ve demin sözü edilen tekniklerden birinin uygulanabilecek hale getirmek için bir metod geliştirmiştir.⁵⁹

Burada özellikle Srilal Perera tarafından Precedence yöntemiyle hazırlanmış şebekelerin irdelenmesi için Hedef programlamaya yönelik verilerin hazırlanmasına ilişkin bir yöntemden söz edilecektir. Bu seçimin temel nedeni yöntemin bilgisayar uygulamasına yönelik oluşudur.

6.5. Srilal Perera'nın Lineer Programlama Yöntemi

Öncelikle her bir eylemin hızlandırılmasında birim zaman başına katlanılan extra maliyet

$$C = \frac{V - U}{R - Q} \quad (4.1)$$

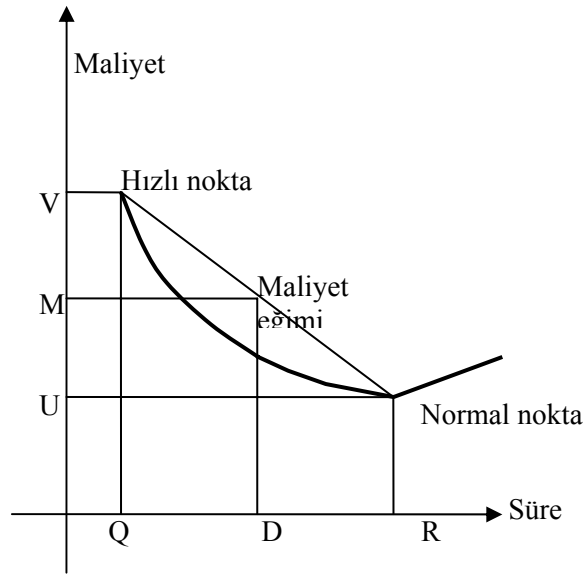
⁵⁹ Srilal Perera, "A Linear Programing Solution In Network Contraction", **Jornal of The Construction Division** , September , 1980, s.315.

denklemden elde edilir. (şekil 4.2)

Eylem süresi D için eşitlik

$$D = R - \frac{1}{C} (M - U) \quad (4.2)$$

şeklindedir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6. Faaliyetin süre-maliyet değişimi.

Eylem süresi erken başlama zamanı (Y) ve erken bitiş zamanı (X) arasındaki zaman farkına eşittir. Bunu

$$Y - X \geq D \quad (4.3)$$

şeklinde ifade etmek mümkündür. (2) ve (3) ten

$$Y - X \geq R - \frac{1}{C} (M - U) \quad (4.4)$$

eşitliği yazılabilir.

Bunu tekrar düzenleyerek

$$(Y - X) * C + M \geq (R * C) + U \quad (4.5)$$

şeklinde yazabiliriz. Eşitlik (4.5) faaliyetin maliyeti ile erken başlama ve bitiş süreleri arasındaki ilişkiyi vermektedir. Bu eşitlik şebekede her eyleme uygulanır. Örneğin bir A faaliyeti için eşitlik,

$$(YA - XA) * CA + MA \geq (RA * CA) + UA \text{ biçimindedir.}$$

Bu çalışmada şebeke sıkıştırmasında kullanılan teknik lineer programlamadır ve model şu şekilde formüle edilebilir.

Karar Değişkenleri: Bu problemde karar değişkenleri faaliyetlerin maliyetleri yani MA, MB... MM, eylemlerin erken başlama zamanları XA, XB... XM ve erken bitiş zamanları YA, YB... YM'dir.

Karar değişkenleri belirlendikten sonraki adım problemdeki sınırlamaların formüle edilmesidir.

6.5.1. Minimum maliyet sınırlamaları

Minimum maliyetler, faaliyetler normal sürelerinde gerçekleştirildiklerinde her bir faaliyet için katlanılan maliyetlerdir. Gerçek maliyetler bu değerlerden büyük ya da eşit olmak zorundadır. Bir A faaliyetinin minimum maliyeti, örneğin 500 TL ise, A faaliyetinin için yazılacak minimum maliyet sınırlaması $MA \geq 500$ şeklinde olacaktır. Bütün faaliyetler için bu sınırlamalar yazılmalıdır.

6.5.2. Maksimum maliyet sınırlamaları

Maksimum maliyetler, faaliyetler hızlı sürelerinde gerçekleştirildiklerinde her bir faaliyet için katlanılan maliyetlerdir. Gerçek maliyetler bu değerlerden küçük ya da eşit olmak zorundadır. Bir A faaliyetinin minimum sürede gerçekleştirilmesi durumundaki maliyeti, örneğin 1000 TL ise A faaliyeti için yazılacak maksimum maliyet sınırlaması, $MA \leq 1000$ şeklinde olacaktır. Bütün faaliyetler için bu sınırlamalar yazılmalıdır.

6.5.3. Başlangıç Zamanları Farkına İlişkin Sınırlamalar

Bir B faaliyetinin bir diğer A faaliyetinin başlamasından ancak belli bir süre sonra başlayabileceğini düşünelim. Bu başlangıç zamanı A faaliyetinin belli bir yüzdesi tamamlandıktan sonra B faaliyetinin başlayabileceği gerçeğinden kaynaklanır. Ancak A faaliyeti sıkıştırıldığında A ve B faaliyetlerinin başlangıç zamanları arasında kalan bu zaman parçası (lead time), demin sözü edilen, B faaliyetinin başlayabilmesi için A faaliyetinin tamamlanması gereken yüzdesinden büyük olacağından, A faaliyetinin sıkıştırılma süresinin A faaliyetinin normal süresine oranı kadar azaltılması gerekir. Başlama zamanları arasındaki bu farkı

$$S_{AB} = k \left| RA - \frac{1}{C} (MA - UA) \right| \quad (4.6)$$

şeklinde ifade edebiliriz.

Bazı faaliyetler ise başlama süreleri arasındaki fark yüzdelere dayanmayıp sabittir. Sonuç olarak başlangıç zamanları sınırlaması olarak A ve B faaliyetleri için

$$XB \geq XA + S_{AB} \quad (4.7)$$

eşitliği yazılır. Bu eşitlikler gereken bütün faaliyetler için yazılmalıdır.

6.5.4. Bitiş zamanları farkına ilişkin sınırlamalar

Bir C faaliyetinin bir B faaliyeti bittikten 10 gün sonra bitebildiğini düşünelim. C faaliyeti hızlandırılarak bu süre 7 güne indirilebiliyorsa bu durumda B ve C faaliyetleri arasındaki bitiş zamanları farkı F_{BC} , 7 güne eşit ya da büyük olacaktır. Bu durumu,

$$YC \geq YB + F_{BC} \quad (4.8)$$

şeklinde ifade edebiliriz. Bu eşitlikler gereken bütün faaliyetler için yazılmalıdır.

6.5.5. Başlangıç zamanı sınırlamaları

Bir faaliyetin başka bir faaliyetle 3. maddedeki gibi bir ilişki yoksa, başlangıç zamanı, önceki faaliyetin erken bitiş zamanına eşit olacaktır. Eğer bu faaliyetten önce gelen birden fazla faaliyet varsa, başlangıç zamanı, bu faaliyetlerden en büyük erken bitiş zamanına sahip olan faaliyetin bitiş zamanına eşit olacaktır. Örneğin bir C faaliyetinden önce A ve B faaliyetleri geliyorsa,

$$XC \geq YA \quad (4.9)$$

$$XC \geq YB \quad (4.10)$$

eşitlikleri yazılmalıdır.

Şebekedeki bütün faaliyetler için bu sınırlamalar ortaya konmalıdır.

6.5.6. Faaliyet süresi sınırlamaları

(4.5) no.lu eşitlikteki süreye ilişkin ifadede her faaliyet için gerekli değerler yerine konursa, her faaliyet için gerekli süre sınırlamaları elde edilir.

6.5.7. Proje süresi sınırlamaları

Projenin belirlenen zaman limiti içinde bitirilmesi gerektiğinden son faaliyetin bitiş süresi,

$$XZ \leq \text{Projenin bitmesi istenen süre} \quad (4.11)$$

olmalıdır.

Amaç Fonksiyonu: amaç, projeyi toplam maliyeti minimumda tutacak şekilde belli eylemleri hızlandırarak belirlenen zaman limiti içinde bitirmektir. Dolayısıyla amaç fonksiyonu

$$\text{Maliyet (Z)} = MA + MB + \dots ML + MM \quad (4.12)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Mevcut sınır koşulları ve amaç fonksiyonu veri olarak girilip bir lineer programlama programı ile kolaylıkla sonuçlar alınabilir.

Görüleceği gibi bu model, proje programlama metodlarını bilen biri için fazla karmaşık olmayan bir süreç içermektedir. Modelin handikapı, şebeke üzerinden gerekli verileri ve sınır koşullarını saptayacak kişiye aşırı yüklenmesi ve esas yükü bilgisayara değil, insana yüklemesidir. Bir örnek vermek gerekirse 14 faaliyetten oluşan bir şebekede mevcut sınırlama denklemlerinin sayısı 74'tür.⁶⁰ Yüzler ya da binlerle ifade edilen faaliyetlerden oluşan şebekeler söz konusu olduğunda saptanması gerekecek eşitlik sayısını kestirebilmek oldukça güçtür. Böyle bir problem karşısında herhangi bir eşitliği yanlış belirlemek ya da atlamak hiç de zor olmayacaktır. Üstelik verilerin tekrar kontrolü ve hataların bulunması da son derece zor ve vakit alıcı olacağı gibi, fark edilemeyen yanlışlıklar sonucu yanlış sonuçlar elde etme tehlikesi de vardır.

⁶⁰ Srilal Perera , “Overlapping Precedence Networks” , **Journal of The Construction Division** , March , 1982.

7. TEZ KAPSAMINDA GELİŞTİRİLEN MODELİN İNCELENMESİ

Yatırıma ait süre-maliyet ilişkisini irdelleyecek bu modeli ortaya koymadan önce, modelin çözümlemesi istenen problemi belirlemek doğru bir yaklaşım olacaktır.

7.1. Problemin Tanımlanması

Genel olarak bakıldığında sorun, yüklenici firmanın belli bir proje için farklı süre ve kaynak kullanım değerlerine karşılık olarak katlanacağı maliyetlerin saptanması ve elde edilecek bu verilerin, başka bir takım verilerle desteklenip, bütünleştirilerek karar vermede yönetime ışık tutmasının sağlanmasıdır.

Bu amaçla oluşturulacak modelden cevabı beklenen sorular şunlar olacaktır:

- Yatırımın farklı bitiş sürelerine karşılık gelen en ekonomik maliyetin saptanması için hangi eylem ya da eylemlerin hızlandırılması gerekmektedir?
- Yatırımın minimum maliyetle gerçekleştirilebileceği süre nedir?
- Yatırım için optimum süre nedir?
- Yatırımın en hızlı gerçekleştirme süresi nedir?

Bu sorulara sağlıklı cevap alınabildiği takdirde karar verici konumdaki kişi, içinde bulunduğu belirsizlik ortamından bir parça daha sıyrılabilme olanağı bulacak ve daha sağlıklı çözümler önerebilecektir.

7.2. Modelin Tanıtımı

Modelin incelenmesinde göz önünde tutulması gereken en önemli noktalardan biri modelin bilgisayar destekli olarak, yani bilgisayarın olanakları göz önüne alınarak tasarlanmış olduğudur. Modelin geliştirilmesinde dikkat edilen noktalardan biri de girilmesi gereken veri sayısının olabildiğince düşük tutulması ve kolayca girilebilmesi olmuştur.

Modelin geliştirilmesinde esas alınan proje programlama yöntemi ‘Kritik Yörünge Metodu’ dur. Bu amaçla öncelikle bir CPM programı geliştirilmiştir. Bu programla kritik yörünge ve kritik olmayan eylemlere ilişkin esneklikler saptanmaktadır. Ayrıca her faaliyetin en erken-en geç başlangıç ve bitiş zamanları takvim tarihlerine dönüştürülerek çıktı olarak alınabilmektedir.

Bu dosyaya girmesi gereken bilgiler şunlardır.

- Faaliyetin numarası
- Faaliyetin başlangıç ve bitiş düğüm noktası numaraları
- Faaliyetin adı
- Faaliyetin normal süresi
- Faaliyetin maliyeti
- Faaliyetin birim maliyet artışı
- Faaliyetin maksimum kısalabilme süresi

Görüldüğü gibi yukarıdaki veriler böyle bir irdeleme için gerekli temel veriler olup, şebeke üzerinden sadece faaliyetin iki ucundaki düğüm noktası numaralarının okunması gerekmektedir ki, bunda da herhangi bir hata yapma olasılığı son derece zayıftır.

Bu açıklamalardan sonra modelin dayandığı temellerin incelenmesine geçebiliriz.

Daha önce de belirtildiği gibi amaç, projenin tamamlanma süresini bir birim kısaltabilmek için hangi faaliyet ya da faaliyet gruplarının hızlandırılması gerektiğinin saptanmasıydı. Eğer şebekedeki kritik yörünge tek bir hattan oluşabilse ve bu hat normal ve hızlı proje süresi arasında değişmeksizin ve dallanmaksızın kalabilseydi, en düşük birim maliyet artışına neden olan kritik faaliyetlerden başlayarak, hızlandırılacak bütün eylemler hızlandırılır ve her bir proje tamamlanma süresine

karşılık gelen toplam maliyet kolayca değerlendirilebilirdi. Ancak görünen odur ki, şebekedeki kritik yörünge çoğunlukla tek bir hattan ibaret olmamakta; öyle olsa bile belli sayıda sıkıştırmadan sonra dallanmaya başlamaktadır. İşte bu durumda, şebekedeki faaliyet sayısının artışına paralel olarak, hangi faaliyet ya da faaliyet gruplarının hızlandırılacağına saptanması giderek zorlaşmakta ve problem elle çözülür olmaktan çıkmaktadır.

Bu durumda öncelikle, bir birim süre hızlandırıldıklarında proje tamamlama süresinin de bir birim kısaltılmasını sağlayabilen alternatif faaliyet ya da faaliyet gruplarının saptanması gerekir. Bunun için de, şebekedeki faaliyetlerle 1, 2, 3...n eylemden oluşan gruplar oluşturmak ve tek tek bu gruptaki faaliyetleri hızlandırarak, nihai sürenin bir birim kısaltılmasını sağlayan grupları belirlemek, ardından da olumlu sonuç veren grupların toplam birim maliyet artışlarını karşılaştırarak, minimum maliyet artışını veren gruptaki faaliyet ya da faaliyetleri hızlandırmak gerekir.

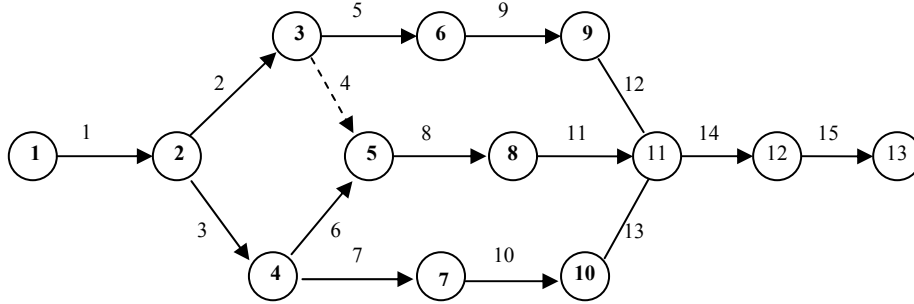
Orta boy şebekelerde bile böyle bir irdelemeye girişmenin anlamsızlığını ve değerlendirmeye girecek alternatif grupların sayısının makul bir düzeye indirilmesi gerektiği açıktır. İşte modelin temel noktalarından biri de bu eliminasyondur. Bu eleme faaliyet ve grup bazında olmak üzere iki düzeyde ve aşamada gerçekleştirilir.

Bir faaliyetin değerlendirmeye alınabilmesi için aşağıdaki koşullara uyması gerekmektedir:

- Faaliyet, kritik yörünge üzerinde bulunmalıdır; nihai süreyi belirleyen kritik eylemler olduğuna göre, kritik olmayan eylemlerin hızlandırılması anlamsız olacaktır.
- Faaliyet, bir 'hat'(yol) oluşturan faaliyetler arasında en düşük birim maliyet artışına sebep olan faaliyet olmalıdır: bu ifadeyi açmak için 'hat başlangıcı ve sonu' kavramlarını tanımlamak gerekmektedir.

Eğer bir düğüm noktası ikiden fazla kritik faaliyete bağlanıyorsa – kukla faaliyetler dahil- bu düğüm noktası bir 'Hat Başlangıcı' ya da 'Hat Sonu'dur. Şebekenin

ilk ve son noktası bu tanımın dışındadır. Örnek olarak aşağıdaki küçük şebekeyi örnek alalım (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. Örnek şebeke.

Faaliyetlerin tamamı kritik olan bu şebekede ilk etapta irdelemeye girecek faaliyet sayısı 14 (kukla faaliyet hariç) gibi görünmektedir. Düğüm noktaları incelendiğinde 1-2-3-4-5-11 ve 13 numaralı noktaların hat başlangıcı ve sonu olma niteliğine sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Yollar ve bu yolları oluşturan faaliyetler ile her yoldaki en düşük birim maliyet artışına neden olan faaliyetler aşağıda gösterilmiştir (Tablo 7.1).

Tablo 7.1. Örnek şebekeye ait Yol ve Yol Temsilcileri.

Yol Numarası	Faaliyet Numarası	Birim Maliyet Artışı	Yoldaki Minimum Birim Maliyetli Faaliyet
1	1	800	1
2	2	100	2
3	3	300	3
4	5,9,12	500	9
5	6	400	6
6	7,10,13	200	13
7	8,11	600	8
8	14,15	700	15

Görüldüğü gibi irdelemelere girecek faaliyet sayısı 14'ten 8'e düşmüştür. Buradaki mantık şu temel gerçeğe dayanır. Aynı 'Hat' üzerinde yer alan faaliyetlerden hangisi hızlandırılırsa hızlandırılırsın bu işlemin şebeke ve kritik yörünge üzerindeki etkisi aynı olacaktır. Bu nedenle, bu faaliyetlerden birim maliyet artışı en az olan, 'Hat'ı

temsil eden faaliyet olarak irdellemelere katılırken, diğerleri seçilen faaliyetin hızlandırılması artık olanaksız olduğu anda onun yerini almak üzere şimdilik elenecektir. Her bir sıkıştırmadan sonra yollar ve temsilcilerinin yeniden belirlenmesi gerekmektedir.

Sonraki adım seçilen bu faaliyetlerin kendi aralarında, birim maliyet artışlarına göre küçükten büyüğe sıralanmasıdır.

Faaliyet bazındaki bu işlem ve elemelerden sonra grup bazındaki elemelere geçmek mümkündür. Yine yukarıdaki örneğe dönecek olursak, elimizde 8 adet faaliyet olduğuna göre başlangıç için bu faaliyetleri 1, 2, 3... ve maksimum 8'erli olarak gruplayıp ve her grubun sırayla hızlandırılıp projenin bitiş süresini kısaltıp kısaltmadığına bakmamız gerekecektir. ($z=8$)

Faaliyetleri önce 1'erli olarak gruplayıp tek tek hızlandırdığımızda, ilk olarak 700 TL'lik birim maliyet artışına neden olan 15 nolu faaliyetin proje tamamlanma süresini bir birim kısalttığını görürüz. Program bu noktada 1 faaliyetli grupların incelenmesinden vazgeçmekte ve bir fazla yani 2 faaliyetten oluşan gruplara yönelmektedir. Aşağıdaki tablodan görüleceği gibi bunun nedeni, grupların toplam birim maliyet artışlarına göre sıralanmış olmasıdır. 15 numaralı faaliyetten sonra yer alan bütün faaliyetler 700 TL'den büyük toplam birim maliyet artışına neden olacağı için bunların irdelenmesi anlamlı olmayacaktır.

Tablo 7.2. 1 Faaliyetli Grupların İrdelenmesi.

Grup No.	Faaliyet Numarası	Toplam Birim Maliyet Artışı
1	2	100
2	13	200
3	3	300
4	6	400
5	9	500
6	8	600
7	15	700
8	1	800

Bu noktada durup, modelin irdelemeye tabi tutacağı grupların maksimum faaliyet sayısını yeniden saptamak gerekmektedir. Birim maliyet artışlarına göre sıraladığımız faaliyetlere ait bu değerleri ilk faaliyetten başlayarak toplarsak, ilk üç faaliyeti birlikte hızlandırmanın toplam maliyetinin $(100+200+300=600)<700$ olduğunu görürüz (Tablo 7.2). Bir sonraki eylemi de bu gruba katarsak, toplam $(100+200+300+400=1000)$ olacaktır. Açıkça görüldüğü gibi bunun anlamı hiçbir 4 faaliyetli grubun, 1 faaliyetli gruplar arasından seçilen 15 numaralı faaliyetin hızlandırılmasından daha düşük bir maliyet artışına sahip olamayacağıdır. Dolayısıyla modelin irdelemesi gereken grupların faaliyet sayısı 8’den 3’e düşmüştür. ($z=3$)

Şimdi yapılması gereken, (Tablo 7.3) de birim maliyet artışlarına göre sıralanmış olan 8 faaliyetin ikişerli olarak gruplanıp sonra da toplam birim maliyet artışlarına göre sıralanmasıdır.

Tablo 7.3. İki Faaliyetli Grupların İrdelenmesi.

Grup No.	Faaliyet No.	Toplam Birim Maliyet Artışı
1	2-13	$100+200=300$
2	2-3	$100+300=400$
3	2-6	$100+400=500$
4	13-3	$200+300=500$
5	2-9	$100+500=600$
6	13-6	$200+400=600$
7	2-8	$100+600=700$
8	13-9	$200+500=700$
9	3-6	$300+400=700$
.	.	.
.	.	.
.	.	.
27	8-1	$600+800=1400$
28	15-1	$700+ 800=1500$

Tablo 7.3’te görüldüğü gibi ilk 6 grubun toplam birim maliyet artışları 700 TL’den küçük olduğundan, eğer 6 gruba kadar hiçbir grup toplam proje süresini kısaltmasaydı, model bu noktada irdelemeyi kesip son olarak 3’lü gruplara bakacaktı. Ancak tablodan da izlenebileceği gibi 2 ve 3 numaralı faaliyetlerden oluşan 2. grup, toplam proje süresini kısalttığı için geri kalan grupların irdelenmesi gerekmeyecektir.

Bu noktada tekrar geri dönüp Tablo 7.1'e bir göz atmak gerekmektedir. Tablo 7.1'deki ilk iki faaliyetin birim maliyet artışları toplamı $(100+200=300)<400$ dür. Bir sonraki faaliyeti de bu gruba katarsak toplam, $(100+200+300=600)>400$ olmaktadır. Yani modeli irdelenmesi gereken grupların maksimum faaliyet sayısı 2 olmalıdır. Bundan fazla faaliyet içeren hiçbir grup 2 ve 3 numaralı faaliyetlerin sağladığı 400 TL'lik toplam birim artışından daha düşük bir maliyetle proje süresini kısaltamayacaktır. ($z=2$) Bu durumda ilk sıkıştırma bitmiş olmaktadır. Süresi hızlandırılacak faaliyetler 2 ve 3 numaralı faaliyetler olup, bu işlem sonucu katlanılacak ilave maliyet ise $100+300=400$ TL'dir.

Her bir zorlamadan sonra başa dönüp 'Hat'ları ve 'Hat Temsilcileri' yeniden belirlemek ve anlatılmaya çalışılan bu süreci tekrarlamak gerekmektedir. Yapılan irdelemeler sonucunda projenin tamamlanma süresi bir noktadan sonra kısaltılamayacaktır. Bu nokta projenin gerçekleştirilebileceği en hızlı süreyi göstermektedir.

7.3. Optimum Sürenin Belirlenmesi

Bir yatırım gerçekleştirilme hızı ve bitirilme süresi konusunda girişimci ve yüklenici şahıs ya da firmalar genellikle aynı doğrultuda düşüncelere sahip değildir. Girişimcinin düşüncesi sonuçta ortaya çıkacak ürünün yani yapının getireceği gelirden mümkün olduğunca çabuk yararlanabilmektedir. Bu nedenle yükleniciden talebi işin olabildiğince çabuk tamamlanmasıdır.

Yüklenici açısından olaya bakıldığında, sürenin kısılması genel giderlerden tasarruf sağlandığından maliyetleri düşürmekte ancak dolaysız maliyetleri arttırmaktadır. Dolayısıyla bir denge noktasının bulunması söz konusudur. Ayrıca yüklenici kaynak başına daha büyük gelir sağlayabilecek başka projelere de sahip olabilir. Bu durumda elindeki projeyi bir an önce bitirip kaynaklarını diğer projelere transfer etmeyi de düşünebilir.

Girişimci ise sadece yüklenicinin proje programının yürütölmesindeki avantajlarına baēlı kalmaz.⁶¹ O da programı kendi istekleri doērultusunda hızlandırmak ve yürütmek dürtüsüne sahiptir.

Teoride şebeke programları ile proje süresini belirlemek mümkünken, gerçekte esas süreler girişimci ile yapılan görüşmeler sonucu belirlenir.⁶²

Eēer girişimci tarafından yükleniciye herhangi bir süre dayatılmamışsa, bu durumda projenin ekonomik karakterine ilişkin olarak yapılacak bir dizi sondajdan elde edilen verilerle bir süre belirlenmesi söz konusu olabilecektir.

Tezin konusu olan süre-maliyet ilişkilerinin belirlenmesi ve projenin minimum maliyetle gerçekleştirildiēi sürenin saptaması bu verilerin sadece bir kısmını oluşturmaktadır.

Projenin minimum maliyetle gerçekleştirildiēi süre yatırım için her zaman optimum süre deēildir. Çünkü yatırımı etkileyen maliyetler sadece dolaylı ve dolaysız maliyetlerden ibaret deēildir. Yüklenici süreye ilişkin kararını verirken bu verilerden elbette yararlanacaktır. Ancak bu esnada göz önüne alacaēı başka maliyet faktörleri ve kısıtlamalar da olacaktır.

Kaynak kısıtlamaları minimum maliyetli sürenin belirlenmesinde zaten dikkate alınmaktaydı. Bunun dışında beklenen enflasyon oranı, alınan krediler, bunların faizleri, fırsat ya da alternatif maliyetleri ile programın gerektirdiēi nakit hareketleri ve bunlara ait güncelleştirilmiş deēerler süre-maliyet optimizasyonunda göz önüne alınması gereken en önemli faktörler arasında sayılmaktadır.⁶³ Ayrıca projenin girişimci tarafından talep edilen bir süre limiti içinde tamamlanması durumunda öngörölün bir prim ya da bu sürenin aşılması durumunda geçerli olacak bir yaptırım söz konusuysa bunların da hesaba katılması gerekecektir. Bunlara ek olarak kısa dönem maliyet öğeleri

⁶¹ J. O' Brien, **Critical Path Method, Creative Control of Building Cost**, Edited by HUNT ,W. D., Jr., ATA , Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1967, s.119.

⁶² L.F. Heineck , **The Programing Of House Building**, Federal University of R.G. Do Sul, Porto Alegre, Brasil, 1985, s.4.

⁶³ R.W.Gutsch, "Project Management By Means of A Network System of The Third Generation", **Proceedings of The Second Internationals Congress**, Amsterdam, The Netherlands, 6-10 October, 1969, Edited By H. J. M.Lombaers, North Holland Publishing Company, Amsterdam, London, 1969, s.367.

arasında sabit ve değişken maliyetlerle beraber tanımlanan bir normal kâr faktörü söz konusudur. Bu değer firmanın sermayesini elindeki projeye değil de bankaya yatırması durumunda elde edeceği faizdir ve bir maliyet faktörü olarak ele alındığından, firmanın hiç kâr etmemesi normal kâr etmesi anlamına gelirken, kâr etmesi de normalin üstünde bir kâr elde ettiği anlamını taşır.⁶⁴

Eldeki projenin gerektirdiğı nakit hareketleri, firmanın kasasında belli bir nakitin sürekli olarak bulundurulmasını gerektirebilecektir. Bunun temininde söz konusu olacak kredilerin faizleri de enflasyon ortamına bağlı olarak değişim gösterecektir. Programın ortaya koyduğu nakit gereksiniminin kısa, orta ya da uzun vadeli kredilerle karşılanması durumunda da katlanılacak kredi maliyetleri farklı olacaktır.

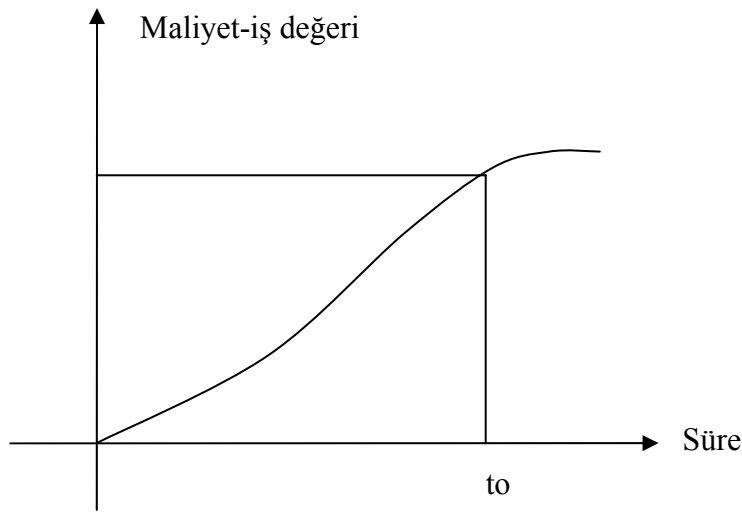
Fiyatların genel düzeyindeki sürekli bir artış olarak tanımlanan enflasyon, girişimci açısından olduğu kadar yüklenici açısından da önemli etkilere sahiptir. Yüksek enflasyon ortamında altın, döviz, arsa gibi spekülatif yatırım alanları daha cazip hale gelecek, faizler yükselecektir. Buna bağlı olarak da firmanın bir maliyet faktörü olarak ele alacağı normal kar değeri büyüyecektir.

Girişimci, yüklenici için minimum maliyetle projenin gerçekleştirilmesine olanak veren sürenin dışında bir süre ile üretimin bu süreden önce ya da sonra tamamlanmasına bağlı olarak birtakım ilave ödemeleri ve cezai yatırımları öneriyorsa maliyet hesabında bunların da göz önüne alınması gerekecektir. İşi girişimcinin dayattığı süreden daha geç bitirmenin kazancı katlanılacak yatırımın değerinden daha fazlaysa ya da daha erken bitirilmenin sağlayacağı primlerin değeri iş hızlandırıldığı için kaybedilebileceklerden fazlaysa gerçekleştirme süresi, diğer maliyet faktörlerinin de ışığında, bu saptamalar doğrultusunda değiştirilebilir.

Yüklenici süreye ilişkin vereceğı kararı en çok etkileyen faktörlerden biri de nakit akışlarıdır. Firma, projenin gerçekleştirilmesi sürecindeki nakit giriş ve çıkışlarını dengelemek durumundadır. Bu açıdan bakıldığında minimum maliyetli süre her zaman en uygun nakit akışını sağlayan süre olmayabilir.

⁶⁴ Anon , **İktisadi Analiz** , T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları , No: 40, Ankara , Ekim 1985 , s.111.

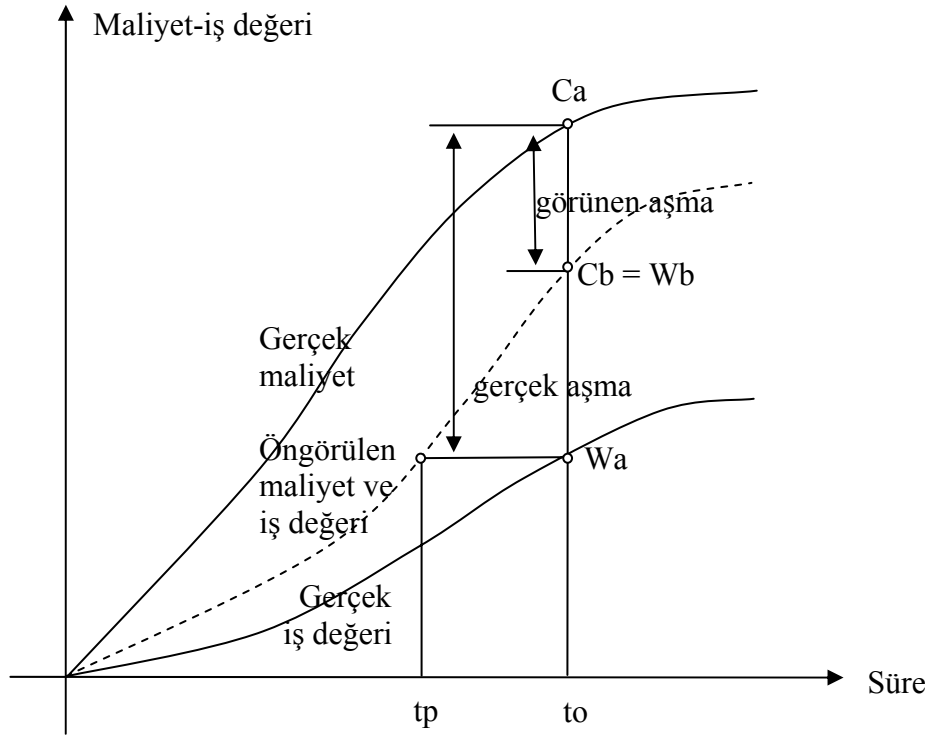
Bu irdelemeyi yapabilmek için kullanılan en iyi tekniklerden biri ‘Pert-Cost’tur. Adının aksine herhangi bir probabilistik düşünceye dayanmayan bu yaklaşımda tüm proje maliyet belirleme amacıyla küçük parçalara ayrılır. İş paketi olarak adlandırılan faaliyet gruplarını yerine getirmek için gereken işgücü, malzeme ve diğer kaynaklar tahmin edilerek parasal değerleri belirlenir. Sonuç (Şekil 7.2) de görülen bir ‘öngörülen’ maliyet ve iş değeridir.



Şekil 7.2. Öngörülen süre ve maliyet- iş değeri eğrisi.

Burada süre, maliyet ve iş değerinden oluşan üç boyutlu bir sistem söz konusudur. ⁶⁵ Maliyet ve iş değeri, öngörülen ve gerçekleşen olmak üzere iki ayrı ölçüyü sahiptir. Anlamlı bir yorumlama için bu iki koordinatta her iki ölçü gereklidir. (Şekil 7.3) de öngörülen ve gerçekleşen maliyet ile iş değerleri görülmektedir.

⁶⁵ S. E. Elmaghraby, **Activity Networks**, New York, 1977 , s. 32



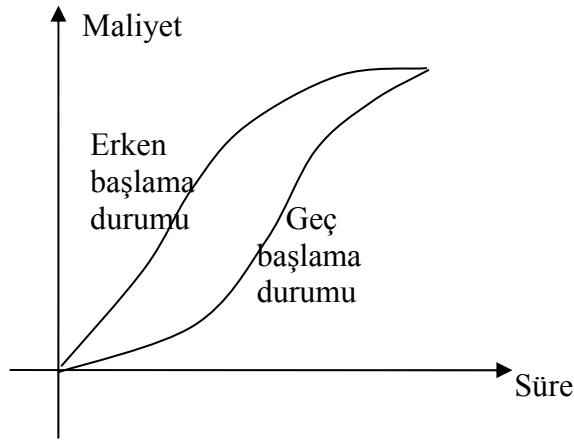
Şekil 7.3. Öngörülen ve gerçekleşen maliyet ile iş değerleri.

Şu anı temsil eden t_o 'daki durum 4 parametreye göre ölçülür.

- Katlanılan gerçek maliyet(C_a)
- Öngörülen maliyet(C_b)
- Gerçek iş değeri(W_a)
- Öngörülen iş değeri (W_b)

Görülen maliyet artışı $C_a - C_b$ 'dir. Fakat bu yanıltıcıdır. t_o anında öngörülen maliyet C_b iken, aslında bu miktar belli bir iş değeri için düşünülmüştür. Gerçekte W_a iş değerinin t_p süresinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu yüzden proje, t_o anında gerçekleştirilmesi gereken iş kapsamından daha azı için C_a maliyetine katlanmak durumundadır ve gerçek maliyet aşımı $C_a - W_a$ 'dır. Projedeki gecikme, işin değeri ölçüt alındığında $t_o - t_p$ 'dir.

(Şekil 7.3) deki çizim aslında tek değildir. Kritik olmayan faaliyetlerin erken ve geç başlama limitleri arasında sonsuz sayıda durum vardır.⁶⁶ Sonuç olarak biri kritik olmayan faaliyetlerin mümkün olan en erken, diğeri ise en geç tarihlerde başlaması durumundaki nakit akışlarını gösteren iki limit eğri vardır (Şekil 7.4).



Şekil 7.4. Limit nakit çıkışı eğrileri.

Yüklenici, girişimci tarafından kendisine bir süre önerilse bile sözü edilen bu faktörleri incelemelidir. Böylece kendisi için optimum olan süre ile, yüklenicinin önerdiği süreye ait maliyet farkından doğan kayıplarını saptayıp teklifini buna göre hazırlayabilir.

⁶⁶ Elmaghraby , s.34.

8. HEDEF PROGRAMLAMA

Matematiksel modeller, sistemin karar değişkenlerinin tanımlanmasında bir grup matematiksel sembolleri kullanmaktadır. Sistem davranışlarının tanımlanmasında kullanılan matematiksel fonksiyonlarda yer alan bu değişkenler birbirleriyle ilişkilidir. Problemin çözümü, iyi geliştirilmiş matematiksel tekniklerin modele uygulanması ile elde edilmektedir. Bir matematiksel model temelde,

- Karar değişkenleri ve parametreler
 - Sınırlamalar ve kısıtlamalar
 - Amaç fonksiyonu,
- sekinde üç ana gruba ayrılmaktadır.⁶⁷

8.1.Hedef Programlamanın Kullanıldığı Alanlar :

İşletmelerin karşılaştığı karmaşık karar problemlerinin çözümü yöneticilere düşer. Fakat kararlara etki eden tüm koşulları ele almak ve tüm elverişli karar seçeneklerinden beklenen sonuçları belirlemek de pek kolay değildir. İşte bu noktada iyi karara ulaşabilmek için problemlerin sağlıklı analizi ve araştırılması esnasında bilimsel yöntemler kullanılmalıdır. “Nicel Karar Verme”. “Yöneylem Araştırması” ve “Yönetim Bilimi” gibi adlar taşıyan disiplinlerin doğuşu,

- İnsan gücü planlaması,
- Kaynak planlaması,
- Üretim planlaması,
- Program seçimi ve bütçe yapımı,
- Finans planlaması,

⁶⁷ İsmet Doğan, Nurhan Doğan, Abdülkadir Akcan, ‘Rasyonel ve Ekonomik Hayvan Beslemede Hedef Programlamadan Yararlanma’, Tubitak **Turk J Vet Anim Sci**, 24(2000), s. 236

- Ulaştırma problemlerinin çözümü,
- Şehir planlama,

gibi birçok sahada daha iyi kararlara ulaşmayı sağlamıştır ⁶⁸.

Günümüzde tüm alanlarda sürekli olarak çeşitli karar verme problemleri ile karşı karşıya kalmaktayız. Verilmesi gereken kararların bazıları oldukça basit ve önemsiz iken, bazıları da oldukça karmaşık bir yapıya sahip olmaktadır ve büyük bir önem teşkil etmektedirler ⁶⁹. Bu kararlar arasında; işgücünü artırmak, çalışma verimliliğini artırmak, değişik hammaddeler kullanmak veya yeni bir ürünün üretimine geçmek gibi kararlar vardır. Karar alma, iş dünyasındaki en önemli aktivitelerden biridir. Organizasyonlar karar alma safhaları için büyük miktarlarda para ve zaman harcamaktadırlar.⁷⁰ Tüm bu kararları alırken, karar almada izlenen yol ve yapılan faaliyetler ise kararlardan beklenen faydalar doğrultusunda değişmektedir. Karar analizlerinin temel kullanım nedeni, karar analizlerinin potansiyel seçenek veya politikaların görelî olasılıklarını kararlaştırılıp değerlendirerek en iyi hareket tarzının seçimi için karar vericiye yardım edebilmesidir.⁷¹

8.2.Karar Problemleri

Karar verme sürecine analitik olarak yaklaşabilmek için bir kararı oluşturan temel öğelerin belirlenmesi gerekmektedir ⁷².

8.2.1.Bir Karar Probleminin Elamanları

Karar verme problemi en genel anlamda; bir seçenek kümesinden en az bir amaç veya ölçüte göre en uygun seçeneğin seçimi şeklinde tanımlanabilir. Buna göre bir

⁶⁸ Doğan, Doğan ve Akcan, s. 236

⁶⁹ Nagen Nagarur, Prem Vrat, Wanchai Duongsuwan, “Production Planning And Sched-uling For Injection Moulding Of Pipe Fittings: A Case Study”, **International Journal Of Production Economics** 53,1997, s.157-170

⁷⁰ Metin Dağdeviren, Tamer Eren, ‘Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi Ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması’, **Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 16, No 2, (2001), s.42

⁷¹ Nagarur, Vrat and Duongsuwan, s.160

⁷² Richard F. Deckro, John E. Hebert, ‘Goal Programming Approaches To Solving Linear Decision Rule Based Aggregate Production Planning Models”. **IIE Transaction**, Sayı:16, 1984, s.309

karar probleminin elemanlarını karar verici, seçenekler, kriterler, sonuçlar, çevre ve karar vericinin öncelikleri oluşturur. En basit şekliyle bir karar problemi bir amaç veya ölçüte göre seçenekler arasından bir seçim yapma gibi düşünülebilir.⁷³ Fakat en güç olanı ele alınacak özel amacın seçimidir .⁷⁴

8.2.2.Bir Karar Analizinde Bulunması Gereken Adımlar

Genel olarak, bir karar analizinde bulunması gereken adımlar ise şu şekilde sıralanabilir⁷⁵:

- Karar probleminin belirlenmesi,
- Problemin formüle edilmesi,
- Modelin kurulması,
- Bilgi derlenmesi,
- Modelin çözümü,
- Modelin geçerliliğinin araştırılması ve duyarlılık analizleri,
- Sonuçların yorumu,
- Kararın verilmesi, uygulanması ve kontrol edilmesi.

Karar alma esnasında karar alıcı, kararın sonucu hakkında üç durum ile karşı karşıyadır.

İlk durumda, herhangi bir kararın alınabilmesi için karar alma problemindeki bütün seçeneklerin sonuçları biliniyor olabilir. Bu belirlilik ortamında karar alıcı amacına en uygun seçeneği kolayca belirleyecektir.

⁷³ Dağdeviren ve Eren, s.42

⁷⁴ Öztürk, s.14

⁷⁵ F.S. Budnick, A. Mojena, T.E. Vollman, **Principles of Operations Research for Management**, Richard D. Irwin Inc., 1977, s. 3

İkinci durumda karar alıcı seçeneklerin hangi şartlar altında hangi sonuçları vereceğini bilmiyor olabilir. Bu durumda karar alıcı bu belirsizlik ortamında çeşitli tekniklere göre seçimine en uygun gelen kararı almak zorundadır.

Üçüncü durumda ise, karar alıcı bütün seçeneklerin her koşul altında alacağı sonuçları belirli olasılık değerleri ile belirleyebilir. Bu durumda karar alıcı elindeki olasılık değerlerinden yararlanarak optimum amaca yönelik bir seçim yapacaktır. Olasılıkların geçmiş deneyimlerden hareketle belirlendiği durumlarda süreç risk altında karar alma olarak belirlenir.⁷⁶

Karar Problemleri, amaç sayısına göre “tek amaçlı” ve “çok amaçlı” olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Tek amaçlı problemler, tek bir amaç fonksiyonunun optimizasyonu ile karakterize edilebilirler. Gerçek hayat problemlerinde optimize edilmek istenen amaç fonksiyonu sayısı genellikle 1’den büyüktür. Bu gibi durumlarda, genellikle en önemli görünen amaç öncelikle dikkate alınır diğerler amaçlar probleme ya kısıt olarak eklenir ya da başka bir optimizasyon problemi olarak değerlendirilir. Bir başka yaklaşım ise, çok sayıdaki amacın tek bir amaca dönüştürülmesidir. Bu yaklaşım, birbiriyle çelişen amaçların zorlamayla tek bir amaca dönüştürülmesi yönüyle eleştirilmektedir. Birbiriyle çelişen amaçların aynı ölçekte değerlendirilmesi, dolayısıyla tek bir amaç fonksiyonu olarak ele alınması oldukça zordur. Ayrıca, gerçek hayat problemlerinde bu her zaman gerçekleştirilemeyebilir. Problemde çelişen amaçlar aynı ölçekte değerlendirilmiş olsalar da, çelişen bu amaçları optimum kılan tek bir çözümün bulunması olanaksız olabileceği gibi bulunan çözüm uygun olmayabilir.⁷⁷ Böyle durumlarda her amacın önem derecesini temel alan uzlaşık çözümler bulunabilir.⁷⁸

Gerçekte basit düzeyli bir sistemin bile birbirleri ile eşanlı değişen ve birbiri ile çatışabilen birden fazla amacı olabilir. Böylece gerçek yaşamda karşılaşılan problemlerin tek bir amaç ile ifade edilmesinin gerçekçi bir yaklaşım olmadığı anlaşılmıştır.

⁷⁶ Münevver Turanlı , Ali Köse, ‘Doğrusal Hedef Programlama Yöntemi İle Türkiye’deki Sigorta Şirketlerinin Performanslarının Değerlendirilmesi’, **İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, Yıl:4 Sayı:7 (Bahar 2005/1). s.20

⁷⁷ Cinemre, s.325

⁷⁸ Taha, s.343

üzerine, bu tür problemlerin çözümü için çok amaçlı karar verme modelleri geliştirilmiştir⁷⁹

8.3.Çok Amaçlı Karar Alma

Çok amaçlı karar kapsamının ana fikri, her bir bölümün merkezindeki karar alıcı tarafından bölümler içindeki büyük problemlerin anlaşılır olmasının sağlanması ve bu problemlerin çözüme ulaşması şeklinde açıklanabilir.⁸⁰ Çözüm, karar alıcının kendi tercih durumu ile tutarlı hareket etmesi halinde kendi alternatif çözümünün seçileceğine işaret eder. Çok amaçlı karar alma modellerinde iki önemli temel yaklaşım vardır. Bunlardan biri sonuç yönlendirme yaklaşımı, diğeri ise süreç yönlendirme yaklaşımıdır.⁸¹

Sonuç-yönlendirme yaklaşımının temelinde, eğer bir karar sürecinin sonucu önceden doğru olarak biliniyorsa ki bu yaklaşımın temelini oluşturur, o zaman karar süreci açıkça anlatılır. Bu yaklaşımdaki karar analizinin kuralı, basit ve çok özellikli fayda teorileri gibi benzeri teorilerde sorulan “ne” ve “ne zaman” sorularından çok, “nasıl” sorusunu soran bir yönlendirmedir.

Süreç-yönlendirme yaklaşımında ise; temelde belirlenen karar süreci bir tane olduğunda bu karar süreci doğrultusunda sonuç, önceden doğru olarak tahmin edilebilir.

Çok amaçlı karar alma yöntemlerinde, lineer cebir, simpleks yöntemi ve bazı bilgisayar paket programlarının kullanım bilgisine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Bu ihtiyaçların giderilmesi ile birlikte matematiksel yapıda yer alan maksimizasyon veya minimizasyon problemi çözülerek karar alıcıya seçim aşamasında yardımcı olunur.⁸²

Çok amaçlı karar verme problemlerinde birbiri ile çatışabilen birden fazla amaç vardır. Bazı amaçlar diğer amaçlara göre daha yüksek bir öncelikte veya eşit öncelikte olup farklı ağırlıkta olabilir. Böyle durumlarda çatışan amaçları optimum kılan tek bir

⁷⁹ Ersin Yılmaz, “Amaç Programlama Tekniği Ve Orman Kaynakları Planlamasına Uygulanması Örnekleri”, Tarsus **Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Doğa Dergisi** (Journal of DOĞA), Sayı: 11, Yıl: 2005, s. 113

⁸⁰ P.Goodwin and G.Wright, **Decision Analysis for Management Judgment**, John Wiley & Sons, New York:1992

⁸¹ M. Zeleny, **Multiple Criteria Decision Making**, Mc Graw-Hill Co., New York:1982

⁸² Turanlı, Köse, s.21

özüm bulunamayacağın-dan, bunun yerine her amacın önem ve ağırlık derecesini temel alan uzlaşık çözümler bulunabilir.⁸³

Uygulamada karşılaşılan sorunların çoğu birbirleri ile çelişen çok sayıda amacı içermektedir. Dolayısıyla tek amaçlı problemlerin çözümünde kullanılan teknikler uygulamadaki birçok problemin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Çünkü çok amaçlı problemlerin çözümünde tek amaçlı problemlerin çözümünde kullanılan teknikler kullanılırsa problem herhangi bir amaç için en iyilenirken diğer amaçların göz ardı edilmesi gerekir. Bu ise istenmeyen sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Hedef Programlama Metodu, çok amaçlı problemlerin çözümü için geliştirilmiş metodlar arasında yer almaktadır. Bu tür problemlerin çözümünde tam olarak bütün hedeflere ulaşılması beklenmemelidir. Çok amaçlı problemlerin çözümünden elde edilecek sonuçlar yöneticinin ya da karar vericinin vereceği kararlardan etkilenmektedir. Dolayısıyla hedefler arasında bir ödünleşim söz konusu olduğunda karar vericinin alacağı kararlara göre hedeflerden sapmalar olacaktır. Hangi hedeften, hangi yönde ne kadar sapabileceğiniz bu tür problemlerin çözümünde önemli rol oynamaktadır.⁸⁴

Amaç sayısı çoğaldıkça analizin de zorlaşacağı söylenebilir. Analizin zor olmasına yol açan nedenler aşağıda açıklanmıştır:

- 1.Amaçları kesin ve anlaşılabilir bir şekilde açıklamak genellikle zordur.
- 2.Amaçların öncelikleri konusunda fikir ayrılığı olabilir.
- 3.Zaman içinde farklı durumların ortaya çıkması sonucunda amaçların öncelikleri değişebilir.
- 4.Organizasyonun değişik bölümlerinin amaçlara bakışları farklı olabilir.
- 5.Amaçlar sistem ve çevresindeki değişikliklere karşı duyarlıdır.
- 6.Amaçlardan bazılarının sayısal olarak tanımlanması güçtür.

⁸³ Yılmaz, s. 113

⁸⁴ Doğan, Doğan ve Akcan, s. 233

7. Alternatifler arasındaki ilişkiler ve bunların amaçlar üzerindeki etkilerini ölçmek zordur.⁸⁵

Çok amaçlı durumların çözümünde kullanılabilecek belli başlı altı yöntem vardır. Bunlar;

8.3.1. Hedef Programlama

Hedef programlama çok amaçlı durumları içeren problemlerin çözümü için geliştirilen özel bir yöntemdir. Yöntemin temel ilkesi şudur: Karar vericiden her bir amaç için erişilmesini arzu ettiği bir hedef değer belirlenmesi istenir. Belirlenen bu hedefler formüllendirilerek problem kapsamına alınır. Birden fazla amacın birlikte ele alındığı bu yöntemde amaçlar (hedefler) genellikle önem sırasına göre sıralanır.

1. Hedef programlamada amaç hedeflerden arzulanmayan sapmaların en küçüklenmesidir.

2. Hedeflerin gereksinimlere (kısıtlayıcılara) göre açıklanması

Bu yaklaşım doğrusal programlamada kullanılır. En önemli (birincil) amaç en iyi (en büyük veya en küçük) yapılırken, diğer bütün hedefler (ikincil) sistem kısıtlayıcıları olarak açıklanır.

3. Tek ölçeğe dönüştürme

Bütün hedefler tek bir ölçeğe (söz gelimi TL) göre açıklanması. Bu durumda bütün çıktılar, alternatiflerin maliyetleri de dâhil olmak üzere, aynı ölçü birimiyle açıklanmalıdır.

4. Hedeflerden birinin diğerleri cinsinden açıklanması (değiş- tokuş)

Zaman zaman iki veya daha fazla sayıdaki hedeflerden bir tanesi diğerleri cinsinden açıklanabilir. Bu değiş tokuşla tüm hedefler aynı ölçekle açıklanmış ve tek ölçeğe dönüştürme gerçekleştirilmiş olur.

⁸⁵ Cinemre, s.326

5. Fayda sisteminin kullanılması

6. Çok amaçlı doğrusal programlama

Birden fazla hedefin olduğu durumlarda, özellikle de hedeflerin öncelikleri önceden belli değilse, kullanılır. Çok amaçlı doğrusal programlamada, amaçlar önceden belirlenmiş hedefler şeklinde değil, doğrusal amaç fonksiyonu cinsinden açıklanır. Çok amaçlı doğrusal programlama çoğu kez hedef programlamadan daha fazla avantaj sağlar.⁸⁶

Çok amaçlı karar alma problemleri, uygulama alanlarına, amaç ve kısıtlarına ve karar alıcı ile ilişki düzeylerine göre sınıflandırılır. Bunlardan uygulamada oldukça geniş kullanım alanı olan Doğrusal Hedef Programlama yöntemi amaç ve kısıtlarına göre olan sınıflandırma içinde yer almaktadır.⁸⁷

8.3.2. Hedef programlamanın Kullanıldığı Alanlar

Önceliklerin kullanılması yoluyla çoklu çatışan amaçları ele almayı sağlayan formal bir karar analizi yönetim biliminin yeni ufku olabilir.⁸⁸ Hedef programlamanın gücü onun hedef bir değer hakkında çift yönlü tercihler şeklinde kullanılmasında yatar.⁸⁹ Hedef Programlama, çok sayıda hedef veya amaçların bulunduğu doğrusal programlama problemlerine uygulanan bir yöntemdir. Doğrudan amaçları optimize eden doğrusal programlamanın aksine, hedef programlama, hedef değerler ve gerçekleşmiş sonuçlar arasındaki sapmaları minimize ederek, çatışan amaçları yönetmek amacıyla kullanılır.⁹⁰ Doğrusal programlama problemlerinde amaç fonksiyonu birim açısından TL, kâr, verimlilik, maliyet vb. gibi yalnız bir ölçekle ölçülendirilir. Çok boyutlu bir ölçek kümesi ile ifade edilebilen çok amaçlı bir doğrusal programlama problemini

⁸⁶ Cinemre, s. 326-327

⁸⁷ Turanlı, Köse, s. 22

⁸⁸ Chowdary Boppana V. and Jannes Slomp, "Production Planning under Dynamic Product Environment: A Multi-objective Goal Programming Approach", <http://www.ub.rug.nl/eldoc/som/a/02A12/02A12.pdf> (12.12.2004)

⁸⁹ Aniela Maria, Christopher A. Mattson, Amir Ismail-Yahaya and Achille Messac, 'Linear Physical Programming For Production Planning Optimization', **Engineering Optimization**, Vol.35(1), 2003, s.22

⁹⁰ Stephen C. H. Leung, Yue Wu And K. K. Lai, "Multi-Site Aggregate Production Planning With Multiple Objectives: A Goal Programming Approach Production Planning & Control", Vol. 14, No. 5, July–August 2003, s. 427

yazmak mümkün değildir.⁹¹ Bu yüzden çok amaçlı problemlerin çözümünde Hedef Programlama yöntemine ihtiyaç duyulmuştur. Bütün işletmelerin bir takım hedefleri vardır. Bu hedefler işletmeden işletmeye değişebileceği gibi bazı işletmeler için haftalık minimum veya maksimum üretim miktarı ve üretim maliyeti gibi basit hedefler olabileceği gibi bazı işletmeler için de birbirinden bağımsız birden fazla hedefin birleşmesinden meydana gelebilecek karmaşık hedefler de olabilmektedir⁹²

İşin içine karmaşık hedefler girdiği zaman, problemin çözümünde doğrusal programlama yöntemi yetersiz kalmaktadır. Bu noktadan itibaren karar problemlerini çözmede Hedef Programlama Yönteminden yararlanılmaya başlanır. Bu yöntemde karar vericiden her bir amaç için erişilmesini arzu ettiği bir hedef değer belirlenmesi istenir. Bu yöntemde göre tercih edilen çözüm, bu hedef değerlerden sapmaları en küçükleyen çözüm olmaktadır.⁹³ İşletme yönetiminde karmaşık ve birden fazla çok sayıda hedef olduğu zaman, karar vericinin gözünde kazandıkları önem derecesine göre, bu hedefler bir öncelik sırası edinir. Birçok hedef programlama problemde bir hedef diğer hedeflere göre daha önemli olmaktadır, buna öncelikli hedef denilmektedir.⁹⁴ Bu öncelik sırası verilmiş olan hedefleri gerçekleştirmek artık yönetimin görevi olmaktadır. Sonuçta hedeflerden sapmalar, yani bir hedefin üzerinde gerçekleşmesi (+) pozitif sapma ve hedefin altında kalınması (-) negatif sapma değerleri toplamının minimize edilmesi bir tek amaç olarak ortaya konulur.⁹⁵

Çok amaçlı karar probleminin hedef programlama olarak ifade edilebilmesi için amaçlar arasında önemlerine göre bir öncelik sırası oluşturulmalıdır. Problemin hedef programlamaya dönüştürülebilmesinde, her bir amaç için erişilmek istenen birer hedef değer belirlenmesi gerekir. Burada, amaç ve hedefin birbirlerinden farklı kavramlar olduğu göz ardı edilmemelidir. Amaç, bir eylemin karar verici tarafından hangi doğrultuda gerçekleştirilmek istendiğini, hedef ise bu eylemin niceliğini ifade eder. Örneğin bir şirketin kârını arttırmak istemesi amaç, kârın söz gelimi 1500'den az

⁹¹ Halaç, s. 503

⁹² C. W. Churchman, **Introduction to Operations Research, Second Corrected Printing**, New York: John Wiley & Sons Inc., 1968, s.74-75

⁹³ R. Evren ve Füsün Ülengin, **Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme**, İstanbul: İ.T.Ü. 1992, s.54

⁹⁴ B.Render, and Ralph M. Stair, **Quantitative Analysis for Management**, 3. Edition, Boston: Allyn and Bacon Inc., 1988, s.525

⁹⁵ Halaç, s. 503

olmaması hedefdir. Hedef programlamada amaç hedeflerden istenmeyen yöndeki sapmaların (p = Pozitif Sapma, n = Negatif Sapma) en küçük olmasıdır. Bu yüzden hedef programlama orantısız ve genellikle birbirleri ile çelişen hedeflerin bulunduğu problemlerde başarı ile uygulanabilmektedir⁹⁶

Herhangi bir doğrusal programlama modeli, amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcılar kümesi şeklinde iki bölümde incelenebilir. Doğrusal programlamada maksimizasyon veya minimizasyon şeklinde oluşturulan amaç fonksiyonları kısıtlayıcı kümesine göre optimize edilir. Bu optimizasyon sürecinde amaç fonksiyonlarının olabildiğince iyi değerler alması istenir. Yani amaç fonksiyonları sınırlandırılmamıştır.

Hedef programlama kullanıcıya, amacın öncelikleri (üstünlükleri) bakımından bir optimal bir çözüm sunarken, birbirine zıt amaçların amaç fonksiyonunda yer almasına fırsat verir. Hedef programlamanın teknik avantajlarından biri de hiçbir hedef gerçekleştirilebilir olmasa bile, her zaman bir çözüm sağlamasıdır. Birbirine karşıt amaçların önceliklerine göre optimal bir sonuç elde edilir ve hedeflere ulaşıp ulaşılmadığını göstermek için sapma değişkenleri dikkate alınır. Amaç hedeflerden sapmayı en aza indirmektir. Hedef programlama, planlanmış amaçları tatmin etmek ve bunlara uygun ve gerçekçi yaklaşmak için uygulanır.

Hedef programlama sadece amaçların niteliklerini değil, bunların karşılaştırılmalarını ve hedeflerini de bildirir. Fakat bunları bildirirken çok karmaşık prosedürler içermez. Özellikle doğrusal hedef programlama mevcut doğrusal programlama yöntemleri tarafından basitçe çözülebilir. Hedef programlamanın mantığında temel olarak farklılıklar vardır. Hedef programlama maksimizasyon ve minimizasyon problemlerinden farklı olarak belirlenen hedeflerden en az sapmalı çözümü bulmaya yöneliktir.⁹⁷

Hedef Programlama Metodu, çok amaçlı problemlerin çözümü için geliştirilmiş bir metoddur. Bu tür problemlerin çözümünde tam olarak bütün hedeflere

⁹⁶ L. Jeffrey Ringuest, **Multiobjective Optimization: Behavioral and Computational Considerations**, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1992, s.19

⁹⁷ Metin Dağdeviren ve Tamer Eren, “Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 16, No2, 2001, s.

ulaşılması beklenmemelidir. Çok amaçlı problemlerin çözümünden elde edilecek sonuçlar yöneticinin ya da karar vericinin vereceği kararlardan etkilenmektedir. Dolayısıyla hedefler arasında bir ödünleşim söz konusu olduğunda karar vericinin alacağı kararlara göre hedeflerden sapmalar olacaktır. Hangi hedeften, hangi yönde ne kadar sapılabileceği bu tür problemlerin çözümünde önemli rol oynamaktadır.⁹⁸

Hedef programlaması, belli karar çerçevesinde farklı ve çelişen amaçların eniyilenmesini araştıran matematiksel bir modeldir. Hedef programlamasında, en küçüklenmeye çalışılan sapmalar doğrusal programlamanın simpleks algoritmasındaki aylak değişkenler olarak adlandırılır. Sapmalar her hedeften negatif ve pozitif sapma olarak iki yönde temsil edilir. Hedef programlama asıl gaye atanan öncelik ve görelî önemlerine bu sapmaları en aza indirmektir ve tüm amaçları hedeflere dönüştüren bir model olarak ele almaktır. Bu dönüştürme, her amacın sağ tarafına istenen düzeyin atanması ile yapılır. İstenene düzey ile çözüm düzeyi arasındaki sapmaların enküçüklenmesiyle çözümüne ulaşılmaya çalışılır.⁹⁹

8.3.3. Hedef Programlama Tekniğinin Özellikleri

Hedef programlama tekniğinin özellikleri aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

- Amaç Programlama tekniğinde birbiri ile çatışabilen birden fazla ve farklı amaç ile ilgili birden fazla amaç fonksiyonu bulunabilir. Bu nedenle karar verici açısından Amaç Programlama tekniği, esnek bir yapıya sahip bir teknik olarak düşünölebilir.
- Amaç Programlama tekniği, amaçlara yönelik hedef değerlerinden meydana gelebilecek sapmaları minimize etmeye dayalı bir tekniktir.
- Amaç Programlama tekniğinde, en yüksek öncelikli hedeflerin veya eşit öncelikteki en yüksek ağırlıklı hedeflerin ilk olarak sağlanması söz konusudur ve dolayısıyla tüm amaçlar için hedeflere ulaşma zorunlu değildir.

⁹⁸ Doğan, Doğan ve Akcan, s.233

⁹⁹ Murat Atan, “ok Amaçlı Hedef Programlama İle Optimal Portföy Seçim Modelinin İmkb 100 Endeksine Uygulanması”, Gazi Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Faköltesi, ..s.2

- Amaç programlama tekniğinde, model çözümlenmeden önce tüm amaç ve kısıtlar için hedef değerleri belirlenmelidir.

- Amaç programlama tekniğinde, karar vericinin belirlediği öncelik ve ağırlıklara göre, modeldeki kısıtların hedef değerleri olabildiğince sağlanmaya çalışılır.

- Amaç Programlama tekniğinde, tüm değişkenler sıfırdan büyük değer almak zorundadır.

- Amaç Programlama tekniğinde, birbiri ile çatışabilen birden fazla ve farklı amaçların tamamı için bir optimum çözüm bulunamayacağından dolayı, amaçların öncelik ve ağırlık derecesine göre oluşan “uzlaşık çözüm” söz konusudur.

- Amaç Programlama tekniği ile her zaman bir uzlaşık çözüm bulunabilir.¹⁰⁰

Hedef Programlama modelinin bazı temel ilkeleri vardır. Bunları kısaca şu şekilde özetleyebiliriz;

* Hedef programlamada her bir amaç bir hedef olarak kabul edilir.

* Hedef programlamada hedeflerin gerçekleştirilmesinde öncelikler dikkate alınır. Önce birinci öncelik düzeyindeki hedefler daha sonra ikinci öncelik düzeyindeki hedefler gerçekleştirilir. Sıra atlamadan bütün hedefler tamamlanana kadar devam edilir.

* d_i^- i. hedefin altında kalınması durumunu, d_i^+ hedefin aşılması durumunu gösterir.

* Hedef düzeyleri dikkate alınarak hedeflerden toplam sapma minimize edilmeye çalışılır. Öncelikle birinci öncelikli hedefler için problemin çözümü belirlenir. Daha sonra bu çözümü ihmal etmeyen ikinci düzey hedeflere ait çözüm belirlenir. Aynı şekilde diğer hedefleri olabildiğince sağlayan ve önceki hedefleri ihmal etmeyen çözümler belirlenir.¹⁰¹

¹⁰⁰ Yılmaz, s.113-149

¹⁰¹ Atan., s.3

8.3.4. Hedef Programlamanın Avantajları ve Dezavantajları

Son olarak hedef programlamanın bazı avantajları ve dezavantajlarından söz edilirse; Bu yöntemle iki ve daha çok amaca sahip karar problemlerinin çözümü yapılabilir. Gevşek kısıtlara izin verir.¹⁰² Hedef programlama, doğrusal programlamada “uygun çözümü mevcut olmayan” (infeasible) problemlere uygun bir çözüm geliştirmede yardımcı teknik olarak da kullanılmaktadır.¹⁰³ Amaç fonksiyonu çok sayıda amaç fonksiyonunun birleştirilmesiyle oluşturulur. Bu nedenle karmaşık bir yapıya sahip olabilirler. Hedef değerleri karar verici tarafından tespit edilmelidir. Karar verici, hedeflerin ağırlıklarını ve öncelik seviyelerini belirlemelidir. Bu değerleri bağdaşık hale getirecek bir yol bulunmalıdır.¹⁰⁴

8.3.5. Hedef Programlama Tekniğinin Gelişimi

Hedef programlamanın ilk çıkışı, 1955 yılında CHARNES, COOPER ve FERGUSON tarafından ortaya konmuş ve Doğrusal Programlama tekniğinin bir versiyonu olarak tanımlanmıştır. Yazarlar, tekniğin genel matematiksel şeklini göstermişler ve birkaç örnek uygulama ortaya koymuşlardır.¹⁰⁵

CHARNES ve COOPER (1961) ise Hedef Programlama (Goal Programming) terimini ilk kez kullanmış ve bu tekniği belli kısıt denklemleri altında, hedeflere olabildiğince yakın ulaşacak şekilde amaç fonksiyonunun optimizasyonuna yarayan bir teknik olarak tanımlamışlardır. Bu teknikte, her bir amaç fonksiyonunda oluşan sapmaları (pozitif, negatif veya her ikisi birden) ortaya koyma ve bu sapma değişkenlerini başarıma fonksiyonuna koyarak minimize etme suretiyle çözümü olmayan Doğrusal Programlama problemlerinin çözümlenebileceğini göstermişlerdir.

¹⁰² Emre Kongar and S. M. Gupta, “A Multi-Criteria Model For Remanufacturing”, **Proceedings Of The Third International Conference On Operations and Quantitative Management**, 2000, s. 292

¹⁰³ Mehpare Timor, **Yöneylem Araştırması ve İşletmecilik Uygulamaları**, İstanbul:İstanbul Üniversitesi Yayınları, 2002, s. 4

¹⁰⁴ Atan, s.4

¹⁰⁵ A. A. Charnes, W. W. Cooper and R. O. Ferguson, “Optimal Estimation of Executive Compensation by Linear Programming”, **Management Science**, Vol 1, No:2, January, 1955, s.138-151,

Bunun yanında Amaç Programlama tekniğinin önceliklendirme (ordinal) ve ağırlıklandırma (kardinal) metodolojilerini de tartışmışlardır.¹⁰⁶

IJIRI (1965)¹⁰⁷ ise Amaç Programlama tekniğinin prosedürü ve prensiplerini ayrıntılı olarak ele alan bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, işletmelerde yöneticilerin gerçekleştirdiği muhasebe kontrollerine yönelik teoriler ve yöntemler geliştirmek amaçlanmıştır. Çalışma asıl olarak ana yönetim amaçlarının (kâr maksimizasyonu gibi) birbiri ile ilişkili birkaç alt amaca ayrılabilceği düşüncesine dayandırılmıştır. Böylece alt amaçların daha kolay saptanabileceği, önceliklendirilebileceği, ele alınabileceği ve ölçülebileceği düşünülmüştür. Daha sonra Amaç Programlama tekniğinin ağırlıklandırma ve önceliklendirme metodolojileri bir araya getirilerek bir veya daha fazla alt amaca sahip bir veya birden fazla amaca yönelik formülasyonlar ortaya konmuştur. Bu şekilde amaçların önceliklendirmesi ile aynı öncelik düzeyindeki amaçlara ilişkin sapmaların ağırlıklandırılması konularına açıklık getirilmiştir

1965 yılında Ijiri tarafından “genelleştirilmiş ters alma tekniği” ile çözüm elde edilebilen daha kullanışlı bir hale getirilmiş¹⁰⁸

1970’lerin ortalarına kadar literatürde kısıtlı sayıda hedef programlama uygulamasına rastlanmaktadır. Daha sonra Lee ve Ignizio’nun çalışmalarına dayanan gelişmeler olmuştur. Bu çalışmalarda hedef programlama uygulamalarının ve teknik gelişmelerinin artışı öne çıkmıştır.¹⁰⁹

LEE (1972)¹¹⁰ ise Amaç Programlama tekniğinin tarihçesi, matematiksel formu ve örnek uygulamaları konusunda ayrıntılı bir kitap yayınlamıştır. Bu kitapta çok sayıda hipotetik (varsayıma dayalı) ve ampirik (deneysel) çalışma sunulmuş ve simpleks çözümde kullanılan bir Fortran bilgisayar programı verilmiştir. Ayrıca çeşitli sektörlerle

¹⁰⁶ A. A. Charnes, W. W. Cooper, **Management Models and Industrial Application of Linear Programming**, Vol. I., Apendix: B, New York: John Wiley & Sons, 1961, s.210-223

¹⁰⁷ Y. IJIRI, **Management Goals and Accounting for Control**, Amsterdam: Northolland Publishing Co., 1965, s. 1-191

¹⁰⁸ Nesa Wu, and Richard Coppins. **Linear Programming and Extensions**, New York: McGraw-Hill Inc., 1981, s. 358

¹⁰⁹ Dağdeviren, Eren, s.45

¹¹⁰ S. M.Lee, **Goal Programming for Decision Analysis**, Philadelphia: Auerbach Publishers Inc., 1972,

yönelik kıt kaynakların tahsisinin nasıl planlanacağını gösteren örnek uygulamalar ortaya konmuştur.

Diğer yandan LEE (1972), birden fazla sayıda amacın önceliklendirilmesi konusunun, Amaç Programlama tekniğini Doğrusal Programlama tekniğinden ayıran bir özellik olduğunu vurgulamıştır. Eğer bir karar verme problemi birden fazla sayıda karşılaştırılmaz amaç içeriyor ise, o takdirde karar vericinin bu amaçları önceliklerine göre sıralaması gerektiğini belirtmiştir. Bu görüş her ne kadar CHARNES VE COOPER (1961) tarafından tanımlanmış olan amaç sıralamasına benzese de, LEE (1972) amaçları ağırlıklandırma işleminin sadece aynı öncelik düzeyindeki karşılaştırılabilir amaçlar için kullanılabileceğini belirtmiştir. Bunun yanında değişen amaç önceliği sıralamaları, sağ taraf değerleri, matris katsayıları (değişkenler) veya yeni kısıtların ilavesi gibi optimallik sonrası duyarlılık analizleri için yöntemler de vermiştir. Bu konuda, karmaşık problemlerde ve birkaç sayısal katsayı veya sağ taraf değerleri değiştirme söz konusu olduğunda, en iyi işlemin problemi yeniden formüle etmek ve çözümlemek olduğunu vurgulamıştır. Bu yayında tartışılan örneklerin çoğunun sadece 5-10 değişkenli basit örnekler oluşu dikkat çekmektedir.

KORNBLUTH (1973)¹¹¹, Amaç Programlama tekniğinin ağırlıklandırma ve önceliklendirme olmak üzere iki ana tipi konusunda açıklamalarda bulunmuştur. Bunun yanında dört tip amaç yapısından bahsetmiştir. Bunlar ağırlıklandırılmış doğrusal amaçlar, önceliklendirilmiş doğrusal amaçlar, ağırlıklandırılmış fraksiyonel (kesirli) amaçlar ve önceliklendirilmiş fraksiyonel amaçlardır. Bu tiplerin her birisi için matematiksel teori ve hesaplara ilgili yöntemler sunmuştur. Ayrıca Amaç Programlama tekniğinde, karar vericinin içinden sübjektif şekilde en uygun olanını seçebildiği bir çözüm takımının ortaya konmasının, bu teknik için en önemli üstünlük olduğunu belirtmiştir.

Amaç Programlama tekniğinin bugünkü duruma gelmesinde büyük katkısı olduğu kabul edilen IGNIZIO (1976)¹¹² ise; Doğrusal, Doğrusal Olmayan, Doğrusal Tamsayı ve Doğrusal 0-1 Amaç Programlama yöntemlerine yönelik yaklaşımlar ve

¹¹¹ J. S. H. Kornbluth, "A Survey of Goal Programming", **OMEGA, the International Journal of Management Sciences**, Volume: 1, 1973, s. 193-205

¹¹² J. P. Ignizio, **Goal Programming Extensions**, Lexington: Lexington Books, 1976

çözümlemeler konusunda açıklamalarda bulunarak örnek problemler vermiştir. Bunun yanında, Doğrusal Amaç Programlama tekniğine yönelik Fortran bilgisayar dilinde yazılmış bir bilgisayar programı da geliştirilmiştir.

Amaç Programlama tekniği geliştirildiği günden bu yana çok geniş bir uygulama alanına sahip olmuştur. Nitekim LIN (1980)¹¹³, Amaç Programlama tekniğinin çeşitli sektörlerdeki önemli uygulamalarını liste halinde belirtmiştir.

IGNIZIO (1983)¹¹⁴, Genelleştirilmiş Amaç Programlama tekniğini Yöneylem Araştırması/ Yönetim Bilimi ve Sistem Mühendisliği alanı için tek bir çalışmada toplamıştır. Böylece bu tekniğe yönelik bir genel giriş ve inceleme sağlamıştır. Çalışmada Genelleştirilmiş Amaç Programlama tekniği altında yatan felsefe tanımlanmış ve yaklaşımın tamamını kapsayacak şekilde modellerin belli alt sınıfları gösterilmiştir. Yazar, hem Amaç Programlama tekniğinin ve hem de Genelleştirilmiş Amaç Programlama tekniğinin evrensel olarak kabul görmüş tek bir tanımının bulunmadığını ve Genelleştirilmiş Amaç Programlama tekniğinin çok amaçlı matematiksel programlamaya yönelik önerilen birkaç felsefe ve metodolojiden birini temsil ettiğini belirtmiştir. Çalışma sonucunda Genelleştirilmiş Amaç Programlama tekniğinin, çok amaçlı matematiksel programlama problemlerinin modellenmesi ve çözümüne yönelik kullanımı için pratik ve sağlıklı bir araç olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca çok amaçlı matematiksel programlama problemlerinin tüm tipleri için sadece tek bir en iyi yaklaşımın bulunmadığı ve belki de asla olmayacağı da vurgulanmıştır.

Öte yandan WALKER (1985)¹¹⁵, Amaç Programlama tekniğine alternatif bir yaklaşım tanımlamıştır. Bu yaklaşım sapma değişkenlerinin hem ağırlıklandırılmasını ve hem de önceliklendirilmesini bir araya getirmekte ve böylece amaçlara yönelik hedef düzeylerinin önceden belirlenmesine gerek duymama yönünde Amaç Programlama tekniğine yenilik getirmiştir. Uygulanabilir ve optimal olan çözüm takımlarını ortaya koymak üzere öncelik sıralaması (ordinal ranking) kullanılmıştır. Daha sonra karar

¹¹³ W. T. Lin, A Survey of Goal Programming Applications. OMEGA, Volume: 8, 1980

¹¹⁴ J. P. Ignizio, "Generalized Goal Programming: An Overview", **Computers and Operations Research**, Volume: 10, No: 4, 1983, s.277-289

¹¹⁵ H. D. Walker, "An Alternative Approach to Goal Programming", **Canadian Journal of Forest Research**, Volume: 15, 1985, s.319-325

vericinin ağırlıklandırmadan tatmin olması ve uyum (compromise) çözümüne ulaşmasına kadar etkileşimli bir şekilde ağırlıklandırmalar yapılmıştır. Karar vericinin uygulama yönünde alternatif optimal çözümlerden birisini seçinceye kadar bu alternatiflerin elemeyden geçirilmesini sağlamak için, amaçların önceliklendirilmesi ve amaçların ağırlıklandırılması bir arada kullanılmıştır.

Buna karşın MENDOZA (1986)¹¹⁶ Amaç Programlama tekniğindeki etkin hedef düzeylerinin tahmin edilmesinde Deneyimsel (Heuristic) Programlama yaklaşımının kullanımını açıklamıştır. Önerilen yöntem uygulandığında farklı amaçlar için etkin hedef düzeylerine ulaşılmaktadır. Bu yaklaşım, Amaç Programlama problemlerindeki karar uzayının belirlenmesi etkinliğini iyileştirme yönünde tasarlanmıştır. Böylece karar uzayının belirlenmesindeki hesaplama yükü azaltılmaktadır. Dahası bu yaklaşım karar uzayının belirlenmesinde karar vericinin aktif katılımına da imkân vermektedir. Sonrasında bu hedef düzeyleri, gerçekleştirilecek Amaç Programlama çözümlerinde kullanılabilir. Yazar, bu yöntemi açıklamak için hipotetik bir örnek de sunmuştur.

ROMERO (1986)¹¹⁷ ise yaptığı çalışmada, 1970 yılından 1982 yılına kadar olan Amaç Programlama tekniği konusundaki literatürü incelemiştir. Bu çalışmada, Amaç Programlama tekniği konusundaki metodolojik ve uygulamalı yaklaşık 300 adet kaynak, 18 adet uygulama alanı ve 12 adet farklı Amaç Programlama tipine göre sınıflandırılmıştır.

MENDOZA (1987)¹¹⁸ ise Amaç Programlama tekniğinin birden fazla sayıda amaç içeren karar problemlerinin çözümüne yönelik en geniş şekilde kabul gören araçlardan birisi olduğunu belirtmiş,.. Böylece bu çalışmada Amaç Programlama formülasyonlarının genel bir incelemesi ve açıklamalı örnekleri ile geleneksel ve son Amaç Programlama metodolojileri incelenmiştir. Dahası bu teknikle ilgili eleştiriler de tartışılmış ve bunları düzeltmeye yönelik bazı yaklaşımlar (çözüm etkinliğinin

¹¹⁶ G. A. Mendoza, "A Heuristic Programming Approach in Estimating Efficient Target Levels in Goal Programming", **Canadian Journal of Forest Research**, Volume: 16, 1986, s.363-366

¹¹⁷ C. Romero, "A Survey of Generalized Goal Programming", **European Journal of Operational Research**, Volume: 25, No: 2, May, 1986, s.183-191

¹¹⁸ G. A. Mendoza, "Goal Programming Formulations and Extensions: An Overview and Analysis", **Canadian Journal of Forest Research**, Volume:17, 1987, s.575-581

sağlanması, baskın çözümlerin belirlenmesi, alternatif optima, Amaç Programlama tekniğini etkileşimli yaklaşımlara bağlayan bazı tekniklerin açıklanması) belirtilmiştir. Sonuçta her ne kadar Amaç Programlama tekniğinin bazı zayıflıkları ve kısıtlamaları olsa da, basitliği ve geniş kabulünden dolayı faydalı bir analitik ve operasyonel bir karar verme aracı olmaya devam edeceği ve bu tekniğin zenginleştirilmesi ve iyileştirilmesine yönelik araştırma çabalarının süreceği vurgulanmıştır.

Bunun yanında RUSTAGI ve BARE (1987)¹¹⁹, iki aşamalı ve etkileşimli bir Amaç Programlama yaklaşımı sunmuşlardır. Bu yaklaşımın birden fazla sayıda ve birbiri ile çatışan amaçların mevcut olduğu Çok Amaçlı Faydalanma problemlerinin çözümünde faydalı olacağı belirtilmiştir. Yaklaşımın ilk aşaması olan analitik aşamada, belirlenen hedef düzeylerinden eşit mesafede olan etkin çözümler ortaya konmaktadır. İkinci aşama olan karar verme aşamasında ise, ilk aşamada elde edilen sonuçlar karar vericiye sunulmaktadır. Böylece karar verici ya analistin sağladığı uyum (compromise) çözümünü kabul etmekte ya da hedef düzeylerini değiştirmektedir. Bu yaklaşımın önemli özellikleri olarak karar vericinin amaçlar arasında tercih sunma yönünde herhangi bir ağırlık veya fayda fonksiyonu belirlemeye gereksinme duymaması, her bir yineleme sonucunun karar vericiye grafik olarak sunulması ve böylece farklı amaçlar arasında uyum veya çatışma derecesinin kolaylıkla görselleştirilmesine imkân vermesi belirtilebilir. Burada altı çizilen Etkileşimli Amaç Programlama tekniği, karar vericinin bütün olası etkin çözümler arasından en iyi uyum çözümünü belirlemeye yardım etme yönünde bir yaklaşımdır. Bu tekniğin işleyişi nispeten şeffaftır ve karar vericiden amaç fonksiyonlarını ağırlıklandırması veya önceliklendirmesi şeklinde bir tercih yapması istenmemektedir. Ayrıca çözümleme sonuçlarının grafik olarak sunulması, karar vericinin amaçlar arasındaki çatışma durumunu daha iyi anlamasını sağlamakta ve böylece daha gerçekçi ve ulaşılabilir hedef düzeyleri belirlemesine imkân vermektedir.

120

¹¹⁹ K. P. Rustagi, ve B. B. Bare, "Resolving Multiple Goal Conflicts with Interactive Goal Programming", **Canadian Journal of Forest Research**, Volume: 17, 1987, s.1401-1407

¹²⁰ Yılmaz, s.16

Öte yandan ülkemizde de Amaç Programlama tekniğinin farklı alanlarda uygulama örnekleri bulunmaktadır. Nitekim KURUÜZÜM (1986)¹²¹ ise, sanayideki proses kontrolü probleminde Amaç Programlama tekniğinin kullanımını araştırmış ve örnek bir uygulama çalışması gerçekleştirmiştir.

GÖKÇEN (1994)¹²², karışık model montaj hattı dengeleme problemlerine yönelik olarak istasyon, bölgeleme ve bütçe kısıtlarını dikkate alan 0-1 Tamsayılı Amaç Programlama modelini dikkate almış ve çözümlemiştir.

Bunun yanında KAZAN (1997)¹²³ ise, ekonomide var olan ve çoğu kez birbiriyle çatışan amaçlara nasıl ulaşılabileceği sorusuna çözüm aramıştır. Bu amaçla Türkiye ekonomisi için bir makro ekonometrik model kurmuş ve bu model ile Amaç Programlama modelini eşanlı olarak kullanmıştır. Böylece her iki modelin eksikliklerinin de üstesinden gelmiş ve çok amaçlı iktisat politikasında uygulanabilmesi için pratik bir model elde etmiştir. Sonuçta oluşturulan modelin hem ekonometrik yöntem aracılığı ile istatistik çözümlemeleri yapılmış ve hem de Amaç Programlama tekniği kullanılarak çok amaçlı iktisat politikası saptamalarına optimal çözüm bulunmuştur.¹²⁴

Hedef programlama günümüzde en yaygın kullanılan çok ölçütlü karar verme tekniklerinden biridir. Romeo, Scnieederjans ve Tamiz'in yaptığı çalışmalarda birçok etkili uygulama alanının olduğu ortaya konulmuştur.¹²⁵

1968 yılında da Contini hedef programlamayı belirsizlik durumlarına, Jaaskelainen ise toplu üretim planlamasına uyarlamıştır. Daha sonraları hedef

¹²¹ O. Kuruüzüm, **Prosess Endüstrisinde Proses Kontrolü Problemine Hedef Programlama ile Yaklaşım ve Alternatif Bir Programlama Algoritması Önerisinin Bir Uygulama Üzerinde Değerlendirilmesi**, (Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1986)

¹²² H. Gökçen, **Karışık Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Yeni Modeller**, (Yayınlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1994)

¹²³ A. Kazan, **Türkiye Ekonomisi İçin Bir Ekonometrik Model Denemesi ve Ekonometrik Modellerin Hedef Programlama Modelleri ile Eşanlı Kullanımı**, (Yayınlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, , 140 sayfa+Ekler, Ankara, 1997)

¹²⁴ Yılmaz, s. 17

¹²⁵ Metin Dağdeviren, Diyar Akay ve Mustafa Kurt, "İş Değerlendirme, Faktör Derece Puanlarının Belirlenmesinde Hedef Programlama Yönteminin Kullanılması", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 19, No1,89-95, 2004, s.91

programlama akademik, finans, işletme yönetimi, medya gibi birçok değişik dalda uygulama alanı bulmuştur. Bunların çoğu Sang Lee'nin "Goal Programming for Decision Analysis" isimli kitabı ve Lee ve Jaaskelainen'in geliştirdiği bilgisayar programları sayesinde gerçekleştirilmiştir¹²⁶

Gerçek hayata uyarlanabilirliği bakımından çok etkin olan hedef programlama günümüzde de; üretim planlaması, iş gücü planlaması, akademik kaynak tahsisi, finansal planlama, bütçeleme, nakliye, performans tahminlemesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır.¹²⁷

Son yıllarda çok amaçlı programlama tekniklerinin sayısında, artış görülmektedir. Bu tekniklerin en önde gelenlerinden biri de, hedef programlamadır. Jones ve arkadaşlarının 115 makaleyi inceleyerek yaptığı çalışmada, kullanılan çok amaçlı karar verme tekniklerinin % 7' sini hedef programlamanın oluşturduğu gösterilmiştir^[128]. Hedef Programlama çok amaçlı karar verme yöntemlerini ölçmek için geliştirilen modellerden biridir. Bu model, karar vericinin bir grup olası çözüm alanından en iyi çözümü bulurken, birçok amacı hesaba katmasına dayanır ^[129]. Birçok hedef programlama uygulamasında değişken seçimi analizci tarafından mekanistik yolla yapılır. Buna rağmen her değişken, değişik bir yapı gösterdiğinden dolayı karar verici tarafından seçilmelidir ^[130].¹³¹

8.4. Hedef Programlama Türleri

Hedef programlama geliştirilen amaç fonksiyonunun yapısına bağlı olarak sınıflandırılabilir. Bunlar;

a. Tek hedefli programlama

¹²⁶ Wu, s.358

¹²⁷ **Ozan Kocadağı, Doğrusal Hedef Programlama İle Bütçeleme,**

¹²⁸ D. F.Jones, S. K. Mirrazavi and M. Tamiz, "Multi-Objective Meta-Heuristics: An Overview of The Current State-of-The-Art", **European Journal of Operational Research**, Vol 137, No 1, 1-9, 2002

¹²⁹ B. Aouni, O. Kettani, "Goal Programming Model: A Glorious History and A Promising Future", **European Journal of Operational Research**, Vol 133, No 2, 2001, s.225-231,

¹³⁰ M. V. R.Uría, R.Caballero, F. Ruiz, and C. Romero, "Meta-Goal Programming", **European Journal of Operational Research**, Vol 136, No 2, 2002, s.422-429,

¹³¹ Dağdeviren, Akay ve Kurt, s.91

- b. Eşit ağırlıklı çok hedefli programlama
- c. Ağırlıklı çok hedefli programlama
- d. Öncelikli çok hedefli programlama
- e. Ağırlıklı- öncelikli çok hedefli programlamadır.

8.5.Hedef Programlama Tekniğinin Sınıflandırılması

Amaç Programlama modeli, gerek varsayımları ve gerekse modelin yapısal özelliklerinden dolayı konuya bakış açısına göre farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma şekilleri aşağıdaki gibi gösterilmektedir (LEE, 1972)

Amaç Fonksiyonlarına Göre Amaç Programlama Türleri: Amaç fonksiyonlarına göre Amaç Programlaması, Doğrusal Amaç Programlama ve Doğrusal Olmayan Amaç Programlama olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Doğrusal Amaç Programlama modeli grafik yöntem ile veya simpleks yöntemi ile çözülebilir. Doğrusal Olmayan Amaç Programlama modeli ise çeşitli teknikler ile doğrusal hale dönüştürüldükten sonra çözümleri yapılır.

Karar Değişkenlerinin Değerlerine Göre Amaç Programlama Türleri: Karar değişkenlerine göre Amaç Programlama türleri; Kesikli Değerler Alabilen Amaç Programlama, Tamsayılı Amaç Programlama, Karışık Tamsayılı Amaç Programlama, 0-1 Amaç Programlama ve Sürekli Değerler Alabilen Amaç Programlamadır.

Katsayıların Özelliklerine Göre Amaç Programlama Türleri: Katsayıların özelliklerine göre üç tür Amaç Programlama tekniği vardır. Bunlar; Deterministik Amaç Programlama, Stokastik Amaç Programlama ve Belirsiz Amaç Programlamadır.¹³²

8.6.Hedef programlamanın yapısı

Hedef programlama;

¹³² Yılmaz, s.6

1. Karar değişkenleri
2. Sistem kısıtları
3. Hedef kısıtları
4. Amaç fonksiyonları
5. Birleşik amaç (Başarı) fonksiyonu olmak üzere beş bileşenden oluşur.

8.6.1. Karar Değişkenleri

Modelde karar verici tarafından değeri belirlenmek istenen bilinmeyenlere karar değişkeni adı verilir. Karar değişkenleri x_i 'ler ile ifade edilmiştir.

8.6.2. Sistem Kısıtları

Doğrusal programlamadaki kısıtlara karşılık gelirler. Bunlar mutlak olan ve değişmelerine izin verilmeyen kısıtlardır. Doğrusal programlamadaki gibi formüle edilirler ve öncelikle bunların gerçekleştirilmesine çalışılır.

8.6.3. Hedef Kısıtları

Ulaşılmak istenen hedef değerlerini gösteren fonksiyonlardır. Bunlar sistem kısıtları kadar katı ve değişmez değildir. Sistem kısıtları sağlandıktan sonra hedef kısıtlarının sağlanması süreci başlar. Hedeflenen başarı ile gerçekleşen başarı arasındaki farka sapma denir. Hedef tam anlamıyla sağlanmışsa sapma sıfırdır. Hedefe ulaşılamamışsa negatif sapma, hedefin üzerinde bir başarı sağlanmışsa pozitif sapma meydana gelir. Pozitif sapmalar p_i , negatif sapmalar n_i ile gösterilir.

8.6.4. Amaç fonksiyonları

Herhangi bir amaç için belirlenen hedeften olabilecek sapmaları en küçükleyen fonksiyona amaç fonksiyonu adı verilir. Bu çalışmada amaç fonksiyonları G ile

gösterilecektir. Bu bağlamda istenmeyen sapmaların bir fonksiyonu olan $G_i(n_i, p_i)$, i 'inci amaç fonksiyonunu göstermektedir.

8.6.5. Birleşik amaç (Başarı) fonksiyonu

Birleşik amaç fonksiyonu, diğer bir adıyla başarı fonksiyonu, tüm amaç fonksiyonlarının belirli bir öncelik seviyesi ve/veya ağırlığa göre toplam şeklinde yazılmasıyla oluşturulur. Başarı fonksiyonunun oluşturulmasındaki temel ilke, çok amaçlı modeli tek amaçlı bir modele indirgemektir. Böylelikle, asıl amaç hedeflerden olabilecek istenmeyen sapmalar toplamını en küçüklemek olacaktır. Başarı fonksiyonu “s” ile gösterilecektir.¹³³

8.6.6. Hedef Programlama Tekniği

Yöntemin temelinde, amaçların önem derecesine göre sıralanması ve hedeflerin belirlenmesi yatar. Bu yöntem, amaçların hepsini birer kısıt haline dönüştürür ve önem sırasına göre hedeflerden sapmaları minimize etmeye çalışır. Yapılan araştırmalar, olası hataları önlemek için karar alıcının değişik önem sırası ve hedefler ile problemi bir kaç kez çözmesini tavsiye etmektedir.¹³⁴

Bu yöntemde; saptanan hedeflerden sapmaları minimize etmeye çalışırken her bir amaç fonksiyonu için, karar verici tarafından tanımlanmış öncelik ve ağırlık katsayıları dikkate alınır. Hedef programlama tekniği, yapısal olarak, tüm sapmalar toplamını minimize eden bir teknik olmasından ziyade, mümkün olduğu kadar daha yüksek öncelikli sapmaları minimize eden bir tekniktir.¹³⁵

8.6.7. Genel Hedef Programlama Modeli

Hedef Programlama Tekniği, amaç fonksiyonunun doğrusal olduğu ve hedeflerdeki sapmaların en küçüklenmesinin istendiği problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Genel bir hedef programlama modeli aşağıdaki biçimde verilebilir;

¹³³ *Doğrusal Hedef Programlama İle Bütçeleme Hazırlayan: Ozan Kocadağlı s.3-4*

¹³⁴ H. Ching-Lai and A. S. Masud, **Multi Objective Decision Methods and Applications**, Berlin:Springer Verlag Publications, 1979, s.

¹³⁵ A.Kuruüzüm, (1998), **Karar Destek Sistemlerinde Çok Amaçlı Yöntemler**, Antalya: Akdeniz Üniversitesi Basımevi, Yayın No: 72, s

$$\text{Min } Z = [P_1 h_1 (d_1^-, d_1^+), P_2 h_2 (d_2^-, d_2^+), \dots, P_k h_k (d_k^-, d_k^+)]$$

$$f_i(x) + d_i^- - d_i^+ = b_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, q$$

$$g_j(x) + d_j^- - d_j^+ = b_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$d_i^-, d_i^+, d_j^-, d_j^+ \geq 0$$

Burada,

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$: Karar değişkenleri vektörünü,

q : Amaç fonksiyonlarının sayısını,

f_i : i . amaç fonksiyonunu,

n : Kaynak kısıt sayısını,

g_j : j . kaynak kısıtını,

b_i : i . amaç fonksiyonu için karar verici tarafından belirlenmiş hedefi,

b_j : j . kısıtın sağ yan değerini,

d_i^- : i . hedeften negatif (erişim altı) sapma değerini,

d_i^+ : i . hedeften pozitif (erişim üstü) sapma değerini,

d_j^- : j . kaynaktan negatif sapma değerini,

d_j^+ : j . kaynaktan pozitif sapma değerini,

$h_i (d_i^-, d_i^+)$: i . hedef için doğrusal erişim fonksiyonunu,

P_i : i . hedef için karar verici tarafından belirlenmiş önceliği,

k: Hedef sayısını,

göstermektedir.¹³⁶

Doğrusal hedef programlama probleminin, maksimizasyon olarak genel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\text{Max } (f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x))$$

$$g_k(x) \leq b_k \quad k = 1, 2, \dots, p$$

$$x \geq 0$$

Doğrusal hedef programlama probleminin minimizasyon olarak genel ifadesi ise aşağıdaki gibidir.

Amaç fonksiyonu;

$$\text{Min } (\sum \sum w_k p_k (d_i^{+/-}))$$

kısıtlar,

$$g_i(x) + d_i^- - d_i^+ = b_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$g_k(x) \leq 0 \quad k = 1, 2, \dots, p$$

$$x_i, d_i^-, d_i^+ \geq 0$$

$$(d_i^-)(d_i^+) = 0$$

Burada p_k , karar alıcının modeldeki amaç fonksiyonlarından sapmaların, hedef fonksiyonunda hangi sırada minimize edileceğini belirtir, önceliklerin önem seviyesi

¹³⁶ Doğan, Doğan ve Akcan, s.236

$p_k \geq p_{k+1} \geq p_{k+2} \dots \geq p_{k+n}$ şeklindedir. Bu durumda uygulamada en yüksek önceliğe sahip sapma değişkeni (p_k) minimize edilir daha sonra diğer öncelikli sapma değişkeni için işlem yapılır, w_k , karar alıcı tarafından tanımlanan ağırlık katsayılarıdır. b_i , karar alıcı tarafından amaçlar için belirlenmiş hedef değerlerdir. d_i^- ve d_i^+ 'lar i. hedefteki artı ve eksi sapmaları göstermektedir. $(d_i^-)(d_i^+) = 0$ koşulu, herhangi bir aşamada aynı denkleme ait iki sapma değişkeninin aynı anda pozitif değer alamayacağını gösterir.

Hedef programlama amaçlarda meydana gelen sapmaları minimize etmeyi amaçlayan bir teknik olduğuna göre problem, doğrusal hedef programlamada minimizasyon problemi olarak düşünülür ve bu durumda amaç fonksiyonu ve hedef denklemleri aşağıdaki gibi belirlenir (Lee, 1973)¹³⁷;

$$\text{Min } \{w_1 (d^-, d^+), w_2 (d^-, d^+), \dots, w_i (d^-, d^+)\}$$

$$g_k(x) + d_i^- - d_i^+ = b_k \quad k = 1, 2, \dots, p$$

$$g_i(x) + d_{k+i}^- - d_{k+i}^+ = b_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$d_i^-, d_i^+ \geq 0$$

$$(d_i^-).(d_i^+) = 0$$

Görüldüğü gibi, problemde amaç fonksiyonu daha önce tanımlanan başarı fonksiyonlarından oluşmakta ve orjinal amaç fonksiyonları hedef denklemleri haline dönüşmektedir. Böylece m tane orjinal amaç fonksiyonu ve p tane kısıttan oluşan maksimizasyon problemi, (p+m) hedef denklemi haline dönüşür. Dönüştürmenin tamamlanmasının ardından problem doğrusal hedef programlama yöntemi ile çözülür.

¹³⁷ Lee S. M., "Goal Programming for Decision Analysis of Multiple Objectives", **Sloan Management Review** Vol. 14, No:2, 1973

Ulaşılan sonuçlar karar alıcıya sunulur ve karar alıcı bu sonuçlar arasından en uygununu seçer.¹³⁸

Tüm açıklamaların ışığında Hedef Programlamanın Genel Formülasyonu;

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^i P_k (W_{ik}^+ d_i^+ + W_{ik}^- d_i^-)$$

$$\sum_{j=1}^m (a_{ij} \overline{X_j} + d_i^- - d_i^+) = b_i \quad (5)$$

$$X, d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, m$$

(5) nolu eşitlikte;

X_j : Karar değişkenleri

b_i : i. hedef düzeyi

d_i^- : Hedeften negatif sapma

d_i^+ : Hedeften pozitif sapma

w_{ik}^+, w_{ik}^- : k öncelik düzeyindeki, i. hedefin sapma değişkenlerine verilmiş olan asıl ağırlıklar.

P_k : k hedefine verilen, tahsis edilmiş öncelik $P_k, \dots, P_{k+1}$

a_{ij} : i. hedefte X_j ile ilgili teknoloji katsayısını gösterir.¹³⁹

¹³⁸ Turanlı ve Köse, s..23-24

¹³⁹ Murat Atan, “Çok Amaçlı Hedef Programlama İle Optimal Portföy Seçim Modelinin IMKB 100 Endeksine Uygulanması”, nereden yayınlanmıştır?

8.6.8. Hedef Programlamanın Formülasyonu :

Hedef Programlamanın basit formülasyonu aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min} \left[\left(\sum_{i=1}^m (s_i^- + s_i^+)^a \right) \right]^{1/a}$$

Kısıtlar:

$$g_k(x) \leq 0, \quad k = 1, 2, \dots, p$$

$$f_i(x) + s_i^- - s_i^+ = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$s_i^-, s_i^+ \geq 0, \quad \forall i$$

$$s_i^-, s_i^+ = 0, \quad \forall i$$

Burada b_i , $i=1, 2, \dots, m$ karar verici tarafından amaçlar için belirlenmiş hedef değerlerdir,

s_i^- ve s_i^+ ler i . hedeften eksi ve artı sapmaları göstermektedir, a 'nın değeri, karar vericinin değer fonksiyonuna bağlıdır. Hedef programlamanın en yaygın kullanılan formülasyon şekli, karar vericinin, amaçlar için bir takım hedef değerler belirlemesine ilave olarak amaçların önem derecelerine göre sıralanması ile ilgili bilgiyi de verebileceğini kabul eder. Bu haliyle hedef programlamanın formülasyonu şu şekli alır:

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min} [P_1 h_1(d^-, d^+), P_2 h_2(d^-, d^+), \dots, P_i h_i(d^-, d^+)]$$

Kısıtlar:

$$g_k(x) \leq 0, \quad k = 1, 2, \dots, p$$

$$f_i(x) + d_i^- - d_i^+ = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$d_i^-, d_i^+ \geq 0, \quad \forall_i$$

$$d_i^-, d_i^+ = 0, \quad \forall_i$$

Burada, $h_j(d^-, d^+)$, $j = 1, 2, \dots, l$ sapma değişkenlerinin lineer fonksiyonları olup, başarıma fonksiyonları olarak adlandırılmaktadır. Burada P_j 'ler gölge ağırlıklardır ve $P_j \gg P_{j+1}$ 'dir. Bunun anlamı, P_j, P_{j+1} 'den çok daha büyük olup, $W + P_{j+1} > P_j$ yapacak, hiçbir büyük W sayısının olmadığı kabul edilir. Bu yöntemle çözüme ulaşmada ilk olarak $h_1(d^-, d^+)$ en küçüklenir. Bu işlem sonucunda en küçük değer $h_1 = h_1^*$ olur. Daha sonra $h_2(d^-, d^+)$ en küçüklenir. Ancak herhangi bir aşamada h_1, h_1^* 'den büyük olamaz. Böylece, daha az önemli olan başarıma fonksiyonu $h_2(d^-, d^+)$, daha önemli olan başarıma fonksiyonu $h_1(d^-, d^+)$ 'in zararını karşılayamaz. Bu süreç $h_j(d^-, d^+)$ en küçüklenene kadar devam eder.¹⁴⁰

8.6.9. Hedef programlamanın varsayımları :

Hedef programlamanın varsayımları aşağıda açıklanmıştır.

8.6.9.1.Hedeflerin Önceliklendirilmesi :

Hedeflerin önceliklerinin belirlenmesinde kullanılan üç farklı algoritma vardır. Bunlar; “Ordinal Sıralama”, “Kardinal Sıralama” ve “Ordinal ve Kardinal Sıralama”dır. Üçü de çok sayıda amaç fonksiyonun tek bir amaç fonksiyonuna indirgenmesini sağlar.

¹⁴⁰ İ.Figen Gülenç ve Bilge Karabulut, “Doğrusal Hedef Programlama İle Bir Üretim Planlama Probleminin Çözümü”, **Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, (9) 2005 / 1, s.55-68

8.6.9.1.1.Ordinal Sıralama :

Karar verici, hedefleri arasında önem bakımından bir öncelik sırası oluşturmalıdır. Hedefler arasındaki en yüksek dereceden öncelik P_1 , sonraki $P_2, \dots$, ile gösterilmelidir. Sözelimi kâr, pazar payından önemli olabilir, yani kâr hedefi pazar payı hedefinden önce gelir.¹⁴¹ Bu varsayım oldukça sınırlayıcı görünmekle birlikte uygulamada pek çok durum bu varsayımı sağlar hale getirilebilir. Model daha sonra, yüksek öncelikli hedefin optimum değerinin küçük öncelikli hedef tarafından kötüleştirilmesine izin vermeyecek şekilde, her seferinde bir hedef değerini optimum kılar.¹⁴² Ordinal sıralamada problemin h sayıda hedefi, karar vericinin amaçlarının önemine göre bir sıraya sokulur.

$$\text{Min } G_1 = \beta_1 \text{ (1. Dereceden veya en yüksek öncelik seviyesi, } P_1 \text{)}$$

.....

$$\text{Min } G_i = \beta_i$$

.....

$$\text{Min } G_h = \beta_h \text{ (h. Dereceden veya en düşük öncelik seviyesi, } P_h \text{)}$$

β_i ' ler ($i = 1, 2, \dots, h$), i. hedefi tanımlayan n_i veya p_i sapma değişkenlerinin bir bileşenidir.

Burada önemle vurgulanması gereken, i. hedef için tanımlanmış eşitsizliğin (kısıtın) yönü $\geq$

biçimindeyse, G_i amaç fonksiyonun p_i (i. pozitif sapma) değişkenini, eşitsizliğin yönü $\leq$

biçimindeyse, n_i değişkenini en küçükleyecektir. Birinci durumda $\text{Min } G_i = p_i$, ikinci durumda da $\text{Min } G_i = n_i$ geçerlidir. Dolayısıyla birinci durumda (1.1) birleştirilmiş amaç fonksiyonunda G_i yerine p_i , ikinci durumda da n_i gelmelidir. Tüm

¹⁴¹ Cinemre, s.326

¹⁴² Baray-Esnaf, s.348

amaç fonksiyonlarını (h adet) içeren birleştirilmiş amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\text{Min } s = P_1 G_1 + P_2 G_2 + \dots + P_n G_n \quad (1.1)$$

Algoritma, 1. dereceden öncelikli G_1 hedefinden çözüme başlayarak, en düşük öncelikli G_n hedefiyle çözümü sonlandırır. Süreç, düşük öncelikli hedefler için bulunan optimum değerlerin, yüksek öncelikli hedefleri kötüleştirmesine izin vermeyecek şekilde işler. Yani tüm i 'ler için $s(G_j)$, i . hedeften daha düşük bir öncelikli ($i < j$) j . hedefin optimum değeri olmak üzere; $s(G_j)$ 'nin optimizasyonu, $s(G_i)$ 'nin değerini kötüleştiremez.

Aslında öncelik sıralaması düşüncesi doğrusal programlama gibi geleneksel tek amaçlı modellere de uyarlanabilir. Bir doğrusal programlama, sistem kısıtları olarak bilinen doğrusal kısıtlar ve sınırlamalar altında, tek bir doğrusal amaç fonksiyonun eniyilenmesi olarak yazılır.

Burada sistem kısıtları, kullanılan kaynakların sınırlarını ifade ederler. Bu bağlamda, bir doğrusal programlama, birinci öncelik olarak kısıtların sağlanmasını, ikinci öncelik olarak da amaç fonksiyonunun eniyilenmesini amaç edinen bir hedef programlama olarak değerlendirilebilir.

8.6.9.1.2. Kardinal Sıralama :

Bu yöntemde hedeflerden olacak istenmeyen her sapmaya belirli bir ağırlık verilmelidir. Bu ağırlıklar her sapmanın görece önemini gösterir. Modelde tek bir amaç fonksiyonu, problemin hedeflerini temsil eden fonksiyonların ağırlıklandırılmış toplamı haline getirilir. Bu yaklaşım özellikle sapmaların boyutları birbirlerinden farklı olduğunda önem kazanır. Bu yaklaşımın belli başlı iki zorluğu vardır. Birincisi hedeflerin ağırlıklandırılmasının zor olması, ikincisi ağırlıkların hem hedeflerin görece önemlerini hem de sapmalar arasındaki boyut ilişkisini açıklamasıdır. G_i , i 'inci amaç fonksiyonu, w_i 'ler i 'inci amaç fonksiyonun ağırlık çarpanı olmak üzere; n hedefli bir modelin amaç fonksiyonları aşağıdaki gibidir:

$$\text{Min } G_i, \quad i = 1, 2, \dots, h$$

Ağırlıklandırma yönteminde kullanılan birleştirilmiş amaç fonksiyonu en genel haliyle

$$\text{Min } s = w_1 G_1 + w_2 G_2 + \dots + w_n G_n \quad (1.2)$$

biçiminde tanımlanır. Burada da, i. hedef için tanımlanmış kısıtın yönü $\geq$ biçimindeyse, G_i amaç fonksiyonun p_i (i. pozitif sapma) değişkenini, eşitsizliğin yönü $\leq$ biçimindeyse, n_i değişkenini enküçükleyeceğidir. Birinci durumda $\text{Min } G_i = p_i$, ikinci durumda $\text{Min } G_i = n_i$ geçerlidir. Dolayısıyla birinci durumda (1.2) birleştirilmiş amaç fonksiyonunda G_i yerine p_i , ikinci durumda da n_i gelmelidir.

8.6.9.1.3. Ordinal ve Kardinal Sıralama :

Ordinal ve kardinal sıralama, belirli bir hedef için tanımlanan sapmaların her ikisinin birden istenmemeleri durumunda kullanılabilir. Böyle bir durumda aynı öncelik seviyesinde bulunan sapmalardan hangisinin daha önemli olduğunu belirlenmelidir. Örneğin G_i hedefine ait olan n_i ve p_i sapmalarının her ikisi de istenmiyor ise, hangisinin daha önemli olduğu belirlenmelidir. Eğer ikisi de aynı öneme sahip ise, G_i fonksiyonu birleştirilmiş amaç fonksiyonunda

$P_i G_i = P_i (n_i + p_i)$ biçiminde ifade edilebilir. İki sapmanın önemleri farklı ise, bu farklılık ifade edilmelidir. Örneğin negatif sapma, pozitif sapmadan daha önemli ise, n_i sapması

i. öncelik seviyesinde, p_i sapmasında (i+1) öncelik seviyesinde ifade edilebilirse

$(G_i = P_i n_i + P_{i+1} p_i)$ de bu durum bir karışıklığa yol açabilir. Çünkü ordinal sıralamada bahsedildiği gibi P_i başka bir hedefin, P_{i+1} başka bir hedefin öncelik seviyesini ifade etmektedir. Böyle bir karışıklıktan kurtulabilmek için, aynı öncelik seviyesinde bulunan n_i ve p_i sapmaları önemlerine göre ağırlıklandırılabilir. Mesela, i. hedefe ait pozitif sapma negatif sapmadan iki kat önemli ise, hedef fonksiyonu birleşik amaç fonksiyonunda

$P_i G_i = P_i n_i + 2P_i p_i$ biçiminde ifade edilebilir.

8.6.9.2.Negatif Olmama Varsayımı :

Hedef programlamanın ikinci varsayımı, tıpkı doğrusal programlamada olduğu gibi, tüm karar değişkenlerinin sıfır veya pozitif olması varsayımdır. Hedef programlamanın çözümünde kullanılan Simpleks çözüm yöntemi negatif olmayan değişkenler gerektirdiği için bu varsayım zorunludur. Negatif olmama koşulu bir varsayım olmasına rağmen başlangıçta bu varsayımı sağlamayan durumlar kolayca bu varsayımı sağlar hale getirilebilir.¹⁴³

8.7. Hedef programlamanın formülasyonu:

Bir karar modelinin oluşturulmasında ilk olarak karar değişkenleri belirlenmeli ve sırasıyla “karar vericinin istekleri”, “kısıtlı kaynaklar” ve “karar değişkenleri üzerindeki kısıtlamalar” göz önünde bulundurulmalıdır. Kısıtlı kaynaklar ve karar değişkenleri üzerindeki kısıtlamalar negatif olmama koşulu ile birlikte problemin uygun çözüm bölgesini oluşturur. Karar vericinin tamamen karşılanmasını istediği amaçları birinci öncelik seviyesine ayrılır. Hiç bir sapmaya izin verilmeyen türden amaçlar ise modele uygun çözüm bölgesini belirleyen birer sınırlayıcı olarak da alınabilir. Tamamen karşılanması zorunlu olmayan diğer tüm amaçlar önem sırasına göre sıralanır. Amaçların belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken bir konu amaç sayısının olabildiğince azaltılmasıdır. Bunun yolu amaçların tek tek incelenerek birisi karşılandığında, kendiliğinden karşılanmış olan diğer amaçların elimine edilmesidir. Amaçların mümkün olan en az sayıya indirgenmesinden sonra sıra, geride kalan amaçları matematiksel olarak ifade etmeye gelir. Karar vericinin amaçları için bazı tipik örnekler; en büyük kar, en küçük maliyet, en az fazla mesai, personelden en yüksek düzeyde faydalanma, en küçük risk vb olarak sıralanabilir.

Bir sonraki adım ise, belirlenen amaçlar için ulaşıldığı takdirde karar vericiyi tatmin edecek hedef değerlerinin belirlenmesidir. Örneğin, modelde herhangi bir i. amaç için ilgili karar değişkenlerinin kullanılmasıyla oluşturulmuş hedef fonksiyonu $f_i(x)$

¹⁴³ Cinemre, s.328

olsun. Bu fonksiyon ile ifade edilen bir amaç için belirlenen hedef değeri ε olsun. $d > 0$ olmak üzere; problemin çözümünde $f_i(x)$ 'in değeri $\varepsilon + d$ ise, pozitif sapma değişkeninin değeri δ ($p_i = \delta$) ve negatif sapma değişkeninin değeri sıfır olur. $f_i(x)$ 'in değeri $\varepsilon - \delta$ ise, pozitif sapma değişkeninin değeri sıfır ve negatif sapma değişkeninin değeri δ 'dır ($n_i = \delta$). Çözümde $f_i(x) = \varepsilon$ olması ise negatif ve pozitif sapmaların ikisinin de sıfır değeri aldığı anlamına gelir ($n_i = 0$, $p_i = 0$). Hedef değeri belirlenmiş olduğundan sıra, bu değerden olabilecek sapmaları gösteren hedef kısıtlarını yazmaya gelir. Bu kısıtlardan sonra da, istenmeyen sapmaları en küçükleyecek olan amaç fonksiyonları (G_i) belirlenmelidir. Karar modelinin oluşturulmasının son adımı da, önceliklerine göre sıralanmış tüm amaç fonksiyonlarının fonksiyonunun oluşturulmasıdır. Oluşturulan bu fonksiyona “başarı fonksiyonu” adını vermiştik. Buraya kadar bahsedilen adımlar aşağıda ayrıntılandırılmıştır.

8.7.1.Hedeflerin ve Hedef Fonksiyonlarının Belirlenmesi :

Bu kısımda karar verici, her bir amacı için istediği hedefler belirler. Bundan sonra her bir hedef için ilgili karar değişkenlerinin kullanılmasıyla bir hedef fonksiyonu oluşturulur. Hedefler, herhangi bir hedef fonksiyonunun değerinin belirli bir değerin altında kalmaması, üstüne çıkmaması veya belirlenen değere eşit olması şeklinde olabilir. Örneğin bir fabrikada belirli bir zaman diliminde üretilen, farklı kalitede A, B ve C ürünlerinin toplamının en az 1000 adet olması. Sistem kısıtlarını ifade eden hedef fonksiyonlarında bu hedef değerleri kendiliğinden ortaya çıkar. Ancak diğer amaçlar için karar vericinin makul hedefler belirlemesi beklenir. Sözelimi i. amaç için belirlenen hedef b_i olmak üzere, her hedef fonksiyonu aşağıdaki durumlardan birine uyacak şekilde ifade edilir.

$$f_i(x) \geq b_i \quad (1.3)$$

$$f_i(x) = b_i \quad (1.4)$$

$$f_i(x) \leq b_i \quad (1.5)$$

8.7.2.Sapma Değişkenlerinin Belirlenmesi :

Daha önce ifade edildiği gibi hedeflenen değerlerden sapmaları gösteren değişkenlere sapma değişkenleri kısaca sapma denir. $f_i(x)$ hedef fonksiyonunun, b_i değerini aşma miktarını gösterecek olan negatif sapma değişkeni n_i , b_i değerinin altında kalma miktarını gösterecek olan pozitif sapma değişkeni de p_i ile gösterilecektir. Bu sapma değişkenleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$p_i = \begin{cases} f_i(x) - b_i & ; f_i(x) > b_i \\ f_i(x) - b_i & ; 0 \end{cases} \quad (1.6)$$

$$n_i = \begin{cases} b_i - f_i(x) & ; f_i(x) < b_i \\ 0 & ; f_i(x) \geq b_i \end{cases} \quad (1.7)$$

İstenmeyen sapma değişkenleri yukarıda (1,3), (1,4) ve (1,5) ile açıklanan durumlara bağlı olarak aşağıdaki gibi belirlenir.

- (1,3) şeklinde ise n_i
- (1,4) şeklinde ise n_i ve p_i
- (1,5) şeklinde ise p_i

8.7.3. Hedef Kısıtlarının Belirlenmesi :

Sapma değişkenlerinin ait oldukları hedef fonksiyonlarının sol tarafına eklenmesi ile elde edilen hedef kısıtları, herhangi bir i. amaç için aşağıdaki gibidir.

$$f_i(x) + n_i - p_i = b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (1.8)$$

8.7.4. Mutlak Amaçların Belirlenmesi :

Herhangi bir amaç için belirlenen hedef değerinin tutturulabilmesi, o hedef için belirlenen n ve p istenmeyen sapma değişkenlerinin değerlerinin sıfır olmasına bağlı ise, bu bir mutlak amaçtır. Karar vericinin bu tür amaçları olduğunda, ki bu çok sık rastlanan bir durumdur, öncelikle bunların karşılanmasına çalışır. Bunun için bu tür hedefler, en yüksek dereceden önem düzeyini gösteren P_1 ile ağırlıklandırılmalıdır. Mutlak amaçların P_1 ile ağırlıklandırılması, bu amaçların daha düşük önem düzeyindeki amaçlardan daha önce karşılanmasını sağlar.

8.7.5. Amaçların Öncelik Seviyelerine Ayrılması :

Mutlak amaçların birinci öncelik seviyesine (P_1) ayrılmasından sonra geriye kalan mutlak olmayan amaçlar için de karar vericinin tercih sırasına göre önem seviyeleri belirlenir. Aralarında önem bakımından bir doğru orantı mevcut olan amaçlar aynı önem seviyesine ayrılabilir. Farklı ölçülerle açıklanan amaçlar ancak ortak bir ölçek ile ifade edilebildiklerinde aynı öncelik seviyesinde bir araya getirilebilirler.

8.7.6. Ağırlık Faktörlerinin Belirlenmesi :

Aynı önem seviyesindeki iki amaç veya aynı hedefe ait olan sapmalar (n,p) arasında tercih bakımından farklılık olması sorun yaratabilir. Söz konusu sorunun üstesinden gelebilmek için aynı önem seviyesindeki amaçlara ve/veya istenmeyen sapmalara birer ağırlık çarpanı atanır. Ağırlık çarpanlarının büyüklükleri, amaçların kendi aralarındaki ve/veya istenmeyen sapmaların kendi aralarındaki bağıntıya ve karar vericinin tercihinine göre belirlenir.

8.7.7 Amaç Fonksiyonlarının Oluşturulması :

Bu adımda (1.8) ile ifade edilen tipik bir hedef kısıtının oluşturulmasında kullanılan hedef için, aşağıdaki üç durumdan biri söz konusudur. Böylelikle bu üç durumdan birine uyan x çözüm değeri belirlenir.

1. b_i ye eşit ya da daha büyük

2. b_i ye eşit ya da daha küçük

3. b_i ye eşit

Bu üç olası durumda yapılacak işlem Tablo 1.1 de gösterilmiştir. Tablo 1.1’ den de anlaşılacağı gibi başarı fonksiyonunun bileşenleri olan fonksiyonlar istenmeyen sapmaların fonksiyonlarıdır.

Tablo 1.1: Amaç Fonksiyonu Oluşturma Tablosu¹⁴⁴

Amaç	Yapılacak İşlem
1. $f(x)$, b_i ye eşit ya da daha büyük	enk n_i
2. $f(x)$, b_i ye eşit ya da daha küçük	enk p_i
3. $f(x)$, b_i ye eşit	enk $n_i + p_i$

¹⁴⁴ J. P. Ignizio, **Goal Programming and Extensions**, Second Edition, Lexington Books, Massachusest, 1979

8.7.8. Başarı Fonksiyonunun Oluşturulması :

Son olarak da s ile gösterilecek olan başarı fonksiyonu aşağıdaki formda ifade edilebilir.

$$enk\ s = \{ P_1 [G_1 (n, p)], P_2 [G_2 (n, p)] ,..., P_h [G_h (n, p)] \} \quad (1.9)$$

Yukarıda ifade edilen başarı fonksiyonunda “h”, amaçlar arasındaki farklı önem düzeylerinin

sayısı, $G_j (n, p)$ ($j = 1,2,...,h$), j. öncelikli olarak en küçüklenmesi beklenen istenmeyen sapma değişkenlerinin bir fonksiyonu (Amaç fonksiyonu) ve P_h de $G_h (n, p)$ fonksiyonunun önceliğini göstermektedir. Açıktır ki toplam amaç fonksiyonu sayısı m ise $h \leq m$ olacaktır.

Eğer s 'nin bileşenleri olan $G_h (n, p)$ fonksiyonları, başarı fonksiyonunda önem sırasını koruyacak şekilde yerleştirilmişler ise, $P_1, P_2, ..., P_h$ 'lerin kullanılmaması bir sorun yaratmayacaktır. Bu durumda başarı fonksiyonu birinci bileşen birinci öncelikte, ikinci bileşen ikinci öncelikte,..., olmak üzere aşağıdaki gibi daha yalın bir biçimde ifade edilebilir. Bu çalışmada da bu gösterim tercih edilmiştir.

$$enk\ s = \{ G_1 (n, p), G_2 (n, p) ,..., G_h (n, p) \} \quad (1.10)$$

(1.10) $s_h = G_h (n, p)$ olmak üzere aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$enk\ s = (s_1, s_2, ..., s_H) \quad (1.11)$$

Verilen bir hedef programlama modeli için en iyi çözüm noktası olan bir x noktası x^* ile, bu noktaya karşılık amaç fonksiyonunun aldığı değer s^* ile gösterilir.

Açıktır ki s^* , diğer tüm uygun çözüm noktalarına karşılık elde edilen başarı fonksiyonlarından daha fazla tercih edilen veya aynı olandır. Farklı x değerlerine göre elde edilen başarı fonksiyonları arasında tercih yapma işlemi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

Farklı iki x_1 ve x_2 uygun çözüm noktasına karşılık elde edilen iki başarı fonksiyonunun iki değeri sırasıyla $s(1)$ ve $s(2)$ olsun. Bu sonuçlardan $s(1)$ in $s(2)$ ye göre tercih edilir olabilmesi için $s(1) - s(2)$ vektörünün sıfır olmayan ilk bileşeninin negatif olması gerekir.¹⁴⁵

8.7.9. Genel Hedef Programlama Modeli:

Buraya kadar bahsedilen adımların izlenmesi ile çok amaçlı karar verme problemi istenen formda modellenmiş olur. Hedef programlama olarak tanımlanan bu modelin genel görünümü aşağıdaki gibidir.

$$enk\ s = \{G_1(n, p), G_2(n, p), \dots, G_h(n, p)\} \quad (1.12)$$

$$f_i(x) + n_i - p_i = b_i \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (1.13)$$

$$x, n, p \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, m; \quad j=1, 2, \dots, n) \quad (1.14)$$

Burada (1.12) başarı fonksiyonunu, (1.13) kısıtları ve (1.14) negatif olmama koşulunu ifade etmektedir.

¹⁴⁵ Bu durum, lexicographic minimum olarak adlandırılır. Örneğin $s(1) = (0, 2, 50)$, $s(2) = (0, 3, 2)$ ye tercih edilir

Söz konusu hedef programlama olduğunda doğrusal programlama için verilen tanımlar aşağıdaki gibi değiştirilmelidir.

- **Tanım 1 (Temel Çözüm):** Karar değişkeni sayısı n ve amaç sayısı m olmak üzere

$(n + 2 m) - m$ değişkeninin değeri sıfır olan çözüme temel çözüm denir. Değeri sıfır olan

$(n + m)$ değişkene “temel olmayan değişkenler”, geri kalan m değişkene de “temel değişkenler” denir.

- **Tanım 2 (Uygun Çözüm):** Mutlak amaçların tümünü karşılayan bir çözüme “uygun çözüm” denir.

- **Tanım 3 (En İyi Çözüm):** Eğer bir x noktası için elde edilen başarı fonksiyonu s , diğer tüm uygun çözümler için elde edilenlere tercih ediliyor veya aynı kalıyor ise x “en iyi çözüm” olarak adlandırılır

8.8. Hedef Programlamanın Kullanım Amacı

Yöneylem araştırması tekniklerinden doğrusal programlama yöntemi kullanılarak tek bir amaç, belirli kısıtlayıcı koşullar altında optimize edilebilmeye çalışılır. Doğrusal programlama tekniğinin kullanıldığı çalışmaların çoğu bir ya da daha çok plan kısıtlamasına maruz kalmış tek bir hedefin minimizasyonuna ya da maksimizasyonuna odaklanmıştır.

Doğrusal programlama tekniği ile tek hedefli bir model kurarak böyle çok hedefli bir problem sunmak, minimum maliyet ya da maksimum açıklık hedeflerinden yalnızca bir tanesinin seçilmesini diğer hedefin ise model dışında bırakılmasına sebep gerektirir. Çok hedefli bir problemi tek hedefli bir probleme dönüştürme işleminde karşılaşılan en büyük problem, hedeflerin kendi nispi önemlerini yansıtan kendilerine

has ağırlıklar istiyor olmasıdır. Bu ağırlıklar için doğru değerler bulmak genellikle zordur. Klasik optimizasyonda hedeflere ağırlıklar tayin ederek tek bir hedefte birleştirme yaklaşımı birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır.

Ancak günlük yaşamda karşılaşılan sorunların tek bir amaç ile ifade edilmesinin gerçekçi bir yaklaşım olmadığına anlaşılmaya başlandı, bu tür sorunların çözümü için çok amaçlı karar verme modelleri geliştirilmiştir. Tek amaçlı optimizasyon tekniklerinin en önemli varsayımlarından biri, çözüme kavuşturulacak sistemin tek bir probleminin bulunduğu ve bunun bir amaç fonksiyonu biçiminde ifade edilerek optimuma ulaştırılması gerektiğidir. Gerçekte basit düzeydeki bir sistemin bile birbiriyle eşanlı değişen, birbiriyle çelişen veya birbirinden etkilenen birden fazla hedefi olabilir ve bunların tümünü birden optimize edecek bir çözümler kümesi istenebilir. Bu optimum çözümler kümesi, her bir hedefin tek amaçlı optimizasyonla elde edilecek çözümler kümesiyle aynı değildir. Çok amaçlı karar modellerinde, birbirleriyle çelişen birden çok amaç, belirli koşullar altında optimize edilmeye çalışılır. Çok amaçlı karar verme problemlerinde birbiri ile çelişen amaçlar vardır ve bazı durumlarda işletmeler için bazı amaçlar diğer amaçlara göre daha önemli bir öncelikte olabilir. Bu çalışmada, amaçlara ilişkin ağırlıkların ve önceliklerin verildiği doğrusal çok amaçlı problemlerin çözümünde kullanılabilecek, hedef programlaması olarak bilinen teknik üzerinde durulacaktır.

Hedef programlama modelinde belirlenen hedeflerin hepsi modele dâhil edilir. Çözüm sonucu belirlenen hedeflerden herhangi bir sapma olup olmadığı belirlenir. Eğer belirlenen hedeflerden bir sapma oluşmuşsa eldeki kısıtlara uygun olarak bu sapmalar minimize edilmeye çalışılır. Böylece belirli kısıtlar altında, amaçları sağlayan en uygun çözüm belirlenmeye çalışılır.

8.9. Hedef Programlamanın Tanımı ve Varsayımları

Hedef programlama olarak bilinen teknik, karar verici olan kişiyi birbiriyle çelişen çok sayıda hedefle başbaşa bırakır. Diğer taraftan hedef programlama karar vericinin belirli amaç öncelikleriyle ilgili optimal bir çözüm ortaya koyar. Hedef programlama yaklaşımı karar vericiyi doğrusal programlamada olduğu gibi tek bir hedef

için optimal bir sonuca ulaşmak yerine birkaç hedef için yeterli bir başarı düzeyi yakalama gayreti içine iter. Temel olarak, yönetici bütün amaçlara ulaşmak için gerekli olan çözüme mümkün olduğunca çok yaklaşacak olan bir karara varmak ister. Hedef programlama doğrusal programlamanın iyi geliştirilmiş ve test edilmiş tekniklerini kullanırken, çok sayıda hedefin eşanlı olarak incelenmesine olanak sağlar. Belki de bu yöntemin üstünlüğü işletmelerin, karar verme sürecinde çok sayıda amaç ve hedefi birleştirmelerine izin vermesidir. Yöntemin doğrusal programlamaya göre diğer üstünlükleri ise hesaplamalar sırasında, doğrusal programlama problemlerinin çözümünde kullanılan simpleks yönteminin kullanılabilmesi ve böylece hesaplamaların hızlı ve sonuçların etkin olmasının sağlanmasıdır.

Yöntemin sakıncası, karar vericinin amaçlar kümesine ilişkin hedefler ve bu hedeflere ilişkin öncelikler verilebildiği durumlarda da kullanıldığında, çözümlemede bulunan sonucun karar verici tarafından doyurucu bulunmasını her zaman garanti edememesidir. Ayrıca belirlenen çözümün duyarlılığını test edecek etkin bir yöntemin geliştirilememiş olması da yöntem için diğer bir dezavantajdır. Hedef programlaması yönteminde doğrusal programlamaya benzer şekilde, sadece amaç fonksiyonunun en iyilenmesi yerine, amaçlardan meydana gelebilecek sapmaların minimize edilmesine çalışılır.

Hedef programlamasının varsayımlarının açıklanmasından önce bazı temel kavramlar üzerinde durulacaktır. İngilizce karşılığı *goal programming* olan yöntem Türkçe'ye *hedef programlama* veya *amaç programlama* olarak tercüme edilebilir. Hedef programlamasında, *hedef*, istenen bir seviye ile belirlenmiş bir amaç olarak ve *amacı da* karar vericinin arzu ettiği genel bir ifadenin yansıması şeklinde tanımlanabilir.¹⁴⁶

Hedef programlama modeli ile uygun bir çözüm bulunabilmesi için bazı temel varsayımların sağlanması gereklidir. Bunlar;

¹⁴⁶ Ignizio, s.4

1. *Doğrusallık Varsayımı*: Bu varsayım girdiler ile çıktılar arasında aynı yönlü bir ilişkinin olduğunu gösterir. Girdiler artarken/azalırken aynı oranda çıktılarda artar/azalır.

2. *Toplanabilirlik Varsayımı*: Çeşitli faaliyetler tarafından kullanılan kaynakların toplam kullanımı ve elde edilen toplam katkı, her bir faaliyet tarafından ayrı ayrı kullanılan kaynakların toplamı ve bunların ayrı ayrı yarattıkları katkıların toplamına eşittir.

3. *Sınırlılık Varsayımı*: Amaç, sınırlı kaynakların optimal dağılımını sağlamaktır. Problemin çözümünde kullanılacak olan kaynaklar sonludur. Bu nedenle probleme giren kaynaklar kısıtlanır.

4. *Negatif Olmama Varsayımı*: Hedef programlama yöntemi, ancak modelde kullanılan değişkenler pozitif değerler aldığı zaman kullanılabilir. Modeldeki tüm değişkenler yani karar ve sapma değişkenlerinin değerleri sıfır veya sıfırdan büyük olmalıdır. Hedef programlama modelinde yer alan bir değişken negatif değer alırsa bu değişkeni ancak negatif olmayan iki değişkenin farkı olarak yazılır. Çözümde bu farkın oluşturduğu yeni değişken kullanılır. Çözüm sonucunda bulunan değer yerine konularak değişkenin orjinal değeri bulunur.

5. *Amaçlara Öncelik Verilmesi Varsayımı*: Hedef programlama modelinde daha önce bahsedildiği gibi herbir amaca veya amaç grubuna belli bir öncelik verilir. İlk amaç P_1 ile gösterilir. Daha sonraki amaçlar da sırasıyla $P_2, P_3, \dots, P_K$ öncelikleri ile tanımlanır.¹⁴⁷ Kurulacak olan bir hedef programlaması modeli yukarıda belirtilen bu varsayımları sağlamalıdır.

¹⁴⁷ Ignizio, s. 5

8.9.1. Hedef Programlamanın Sınıflandırılması

Hedef programlaması modeli gerek varsayımları gerekse modelin yapısal özellikleri nedeniyle çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma türleri şu şekilde belirtilebilir.¹⁴⁸

i) *Amaç Fonksiyonlarına Göre Hedef Programlaması Türleri:* Amaç fonksiyonlarına göre hedef programlaması iki gruba ayrılır. Bunlar, doğrusal hedef programlama ve doğrusal olmayan hedef programlamadır. Doğrusal hedef programlama modeli grafik yöntemle veya simpleks yöntemi ile çözülebilir. Doğrusal olmayan hedef programlaması modeli ise çeşitli teknikler ile doğrusal hale dönüştürüldükten sonra çözümlenebilir.

ii) *Karar Değişkenlerinin Değerlerine Göre Hedef Programlaması Türleri:* Karar değişkenlerine göre hedef programlama türleri: Kesikli değerler alabilen hedef programlama, sürekli değerler alabilen hedef programlama, tamsayılı hedef programlama ve 0-1 hedef programlamadır. Bu tür hedef programlama modellerinin çözümü için White'ın dal sınır metodu, minimum-minimax yöntemi gibi çeşitli çözüm algoritmaları geliştirilmiştir.

iii) *Katsayıların Özelliklerine Göre Hedef Programlama Türleri:* Katsayıların özelliklerine göre üç tür hedef programlama tekniği vardır. Bunlar, deterministik, stokastik ve belirsiz hedef programlama teknikleridir.

8.9.2. Hedef Programlamanın Uygulama Alanları

Hedef programlama, çok amaçlı karar verme metotları içinde en çok uygulama alanı olan tekniktir. Son yıllarda pekçok alanda ortaya çıkan problemlerin çözümünde bu teknikten faydalanılmaktadır. Bu teknikten yararlanılan alanları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- Üretim Planlaması
- Kaynak Planlaması

¹⁴⁸ Lee, s. 362

- Medya Planlaması
- İşgücü Planlaması
- Sağlık Planlaması
- Akademik Kaynak Dağılımı
- Yerel Yönetimlerin Ekonomik Planlaması
- Okul Otobüs Servislerinin Planlaması
- Ulaştırma
- Hastanelerde Kaynak Planlaması
- Proje Seçimi ve Genel Bütçe Planlaması
- Portföy Seçimi
- Finansal Planlama
- Öğrenci Başarısının Kestirimi

Bu tür uygulamalar uzun dönemli planlar olabileceği gibi orta veya kısa dönemli programlar şeklinde de yapılabilmektedir. Planlamanın hangi dönemde yapılacağı araştırma alanının özelliğine ve araştırmanın amacına göre değişiklik gösterebilir.¹⁴⁹

Hedef programlaması kullanılarak çözüm bulunan problemlerden bazıları şunlardır. Silahlı kuvvetlerde (1973), askerler için uygun bir beslenme sistemi oluşturulması problemi, Sealey (1978), bir bankanın finansman planlaması problemi, Saygıdeğer (1978), tarım sektöründe bölge bazında üretim planlaması problemi, Arthur ve Lawrence (1980), kimyasal ürün üreten bir firmanın üretim planlaması sorununun çözümlenmesi, Bazaraa ve Bauzaher (1981), Mısır 'da tarım sektörü için üretim planlamasında, Zanakis (1983), personel atamasında beş mühendisin onbeş projeye en

¹⁴⁹ Kuruüzüm, s.9

iyi şekilde yerleştirilmesi problemi, Mc Cann-Rugg, White ve Enders (1983), şeker hastaları için yapılacak diyetlerin belirlenmesi probleminde, Narag ve Sharma (1988), Hindistan’da amortisör üreten bir fabrikanın üretim planlaması sorunu gibi problemlerin çözümlenmesinde hedef programlama tekniğinden faydalanılmıştır.¹⁵⁰

8.10. Hedef Programlama Modeline Genel Bir Yaklaşım

Bir karar verici, oluşturacağı bir karar modelinin matematiksel formülasyonu için ilk adımda karar değişkenlerini belirlemelidir. Karar değişkenleri veya diğer adıyla kontrol değişkenleri karar vericinin denetimi altında olan faktörlerdir. Karar verici için ikinci adım hedef (amaç) fonksiyonlarının belirlenmesidir. Karar verici bazı koşulları dikkate alarak hedef (amaç) fonksiyonlarını oluşturur. Bu koşullar;

1. Karar vericinin istekleri.
2. Sınırlı kaynaklar.
3. Kontrol değişkenleri üzerine konulan herhangi bir kısıtlama.

8.10.1. Karar Değişkenlerinin Belirlenmesi

Bir karar modelinin formülasyonundaki ilk adım karar değişkenlerinin belirlenmesidir. Karar değişkenlerinin belirlenmesi sırasında hedef programlamanın sınıflandırılmasındaki genişlik ile hedef programlamanın yaygın ve geniş bir uygulama alanına sahip olması bazı zorlukların oluşmasına neden olabilir. Bu nedenle karar değişkenleri belirlenirken hedef programlama yönteminin dahil olduğu sınıf ve ele alınan uygulama alanına göre farklılık gösteren problemler sisteminin yapısına uygun değişkenler seçilmelidir. Örneğin öğrencinin başarı durumunun ele alındığı bir modelde öğrencinin başarısını etkileyen pek çok faktör vardır. Öğrencinin sahip olduğu ekonomik koşullar, eğitim kurumunun sahip olduğu koşullar (bilgisayar ve lisan laboratuvarları, yeterli sayıda öğretmen ve fiziksel kapasite yeterliliği vb.), kütüphane imkânları, öğrencinin ders çalışma zamanı ve sahip olduğu kardeş sayısı gibi faktörler öğrencinin başarısını etkiler. Yukarıda sayılan bu faktörlerden bazıları karar verici

¹⁵⁰ Akyol, s.1-12

tarafından kontrol edilemeyebilir. Bu durumda bu faktörlerin modele dâhil edilmesine gerek yoktur. Hedef programlamanın matematiksel formülasyonunda karar değişkenleri X_j ile gösterilir. X_j^* ise j'nci karar değişkeninin en iyi değerini gösterir.

8.10.2. Amaç Fonksiyonunun Formülasyonu

Hedef programlaması modelinde amaç fonksiyonu, karar vericinin istekleri, sınırlı kaynaklar ve kontrol değişkenleri üzerine konulan herhangi bir kısıtlama koşulları göz önünde bulundurularak oluşturulur. Amaç fonksiyonu birkaç grup altında toplanabilir. Bunlar birinci grup amaçlar, ikinci grup amaçlar ve üçüncü grup amaçlardır.

- *Birinci grup amaçlar:* Kâr'ın maksimizasyonu, maliyetin minimizasyonu, atıl kapasitenin minimizasyonu, fazla mesai veya üretim zamanının minimizasyonu, riskin minimizasyonu, hatalı üretimin minimizasyonu, kapasite kullanımının maksimizasyonu ve üretim sırasında kullanılmayan hammadde'nin minimizasyonudur.

- *İkinci grup amaçlar:* Sınırlı malzeme (hammadde), sınırlı işgücü, sınırlı bütçe (finans) ve sınırlı zamandır. Tüm bu amaçlar eldeki kaynakların optimal şekilde kullanılmasını sağlayacak biçimdedir.

- *Üçüncü grup amaçlar:* Değişkenlerin negatif olmaması ve değişkenlerin üzerine konulan bazı kısıtlamalardır.¹⁵¹

Yukarıdaki gruplarda belirtildiği gibi belirlenen amaç fonksiyonlarını modele dahil ederken çözümü etkilemeyeceği düşünülen amaçlar elenebilir ve birleştirilmesi olanaklı olan amaçlar birleştirilebilir. Hedef programlamasında belirlenen amaçların incelenen probleme uygun olması için bazı özellikleri taşıması gereklidir. Bu özellikler:

1. Amaçlar problemi tüm yönleriyle kapsamalı,

¹⁵¹ Ignizio, s.22-23

2. Analizi yapılabilmeye uygun olmalı,
3. Problem içerisinde yalnızca bir kez kullanılmalı,
4. Planlama sürecini basitleştirmek amacıyla bölünebilir olmalı,
5. Daha önce açıklanan şekilde düzenlenen amaç fonksiyonları mümkün olduğunca az olmalıdır.

Amaç fonksiyonları, karar değişkenlerinin matematiksel bir fonksiyonu olarak gösterilebilir. Hedef programlaması modelinde amaç (hedef) fonksiyonu G_i şeklinde ifade edilir.

$$G_i = f_i(\bar{X}), \quad \bar{X} = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (1)$$

Bu formülasyonda $f_i(\bar{X})$, i'nci amaca ilişkin karar değişkenlerinin bir fonksiyonudur. Modelde bütün amaç fonksiyonlarına ait bir sağ taraf değeri vardır. O halde i'nci amaç fonksiyonunun matematiksel gösterimi;

$$f_i(\bar{X}) \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} b_i \quad (2)$$

şeklindedir. Bu formülasyonda;

$\bar{X}$: Karar değişkenleri vektörünü,

b_i : i'nci amaç fonksiyonuna ait sağ taraf değeri veya $f_i(\bar{X})$ 'in sağlanması gereken hedef değerini gösterir.

(2)' den görüleceği üzere amaç fonksiyonu, amaç fonksiyonuna ait sağ taraf b_i değerinden küçük eşit ($\leq$), eşit ($=$) veya büyük eşit ($\geq$) olabilir.¹⁵²

¹⁵² Ignizio, s.23-24

Hedef programlaması modelinde, herhangi bir amaç fonksiyonu için pozitif ve negatif sapma değişkenleri vardır. Bir başka deyişle erişimüstü ve erişimaltı olarak adlandırılan bu değişkenler sırasıyla P_i ve n_i ile gösterilir. $\bar{X}$ karar değişkenlerinin herhangi bir vektörü için n_i değeri, b_i ' den negatif bir sapmayı temsil ederken, P_i değeri pozitif bir sapmayı temsil eder. Herhangi bir hedef için P_i ya da n_i ' den herhangi biri, ya da her ikisi, sonucun uygun olabilmesi için sifıra eşit olmak zorundadır.

Hedef programlama modelinde her bir amaç fonksiyonu,

$$f_i(\bar{X}) + n_i - P_i = b_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3)$$

biçiminde gösterilir.

Hedef programlama modelinde amaç fonksiyonu, karar vericinin istekleri doğrultusunda farklı şekillerde yazılabilir. Bu durumda hedef programlama problemi amaç fonksiyonunun oluşturulmasına göre farklı isimler ile adlandırılabilir. Örneğin amaç fonksiyonu,

$$\text{Min } Z = n_1 + P_1 \quad (4)$$

şeklinde oluşturulmuş ise bu durum “*Tek amaçlı hedef programlama*” olarak adlandırılır. Amaç fonksiyonu,

$$\text{Min } Z = [R_1.P_1 + R_1.P_2] \quad (5)$$

şeklinde oluşturulmuş ise yani problemin aynı önceliğe sahip birden çok amacı varsa bu duruma “*Çok hedefli eşit öncelikli hedef programlama*” denir. (5)’ nolu eşitlikte, R_i i ’nci hedef için karar verici tarafından belirlenmiş önceliği (ağırlığı) gösterir. Benzer şekilde eğer amaç fonksiyonu,

$$\text{Min } Z = [R_1.P_1 + R_1.P_2 + R_2.n_3 + R_3.n_4 + R_4.n_5] \quad (6)$$

şeklinde oluşturulmuş ise “*Çok hedefli çelişik öncelikli hedef programlama*” olarak adlandırılır. Son olarakta amaç fonksiyonu,

$$\text{Min } Z = [2R_1.P_1 + 2R_1.P_2 + R_2.n_3 + R_3.n_4] \quad (7)$$

şeklinde ise “Çok hedefli, ağırlıklı, çelişik öncelikli hedef programlama ” olarak adlandırılır.

8.10.3. Mutlak Amaç Fonksiyonu

Hedef programlama modelinde problem ile ilgili tüm amaç fonksiyonları belirlendikten sonra herhangi bir hedef için pozitif bir sapmanın ve negatif bir sapmanın her ikisinin birden, çözümün uygun olabilmesi için sıfıra eşit olması zorunluluğu vardır. Bu şekilde oluşturulacak olan bir hedefe mutlak bir hedef verilmelidir yani hedefe ulaşmak zorundadır. Eğer varsa bütün mutlak hedeflere, en azından bütünüyle ulaşılmasını garantiye almak için, birinci öncelik (ağırlık) düzeyi, P_1 verilmektedir. Geri kalan mutlak olmayan hedefler seti, kendi öncelik düzeylerine göre gruplandırılırlar. Bunlara da benzer şekilde $P_2, P_3, \dots, P_m$ öncelikleri verilir. Bu öncelik sıralaması arasında,

$$R_1.P_1 > R_2.P_2 > R_3.P_3 \dots R_m.P_m \quad (8)$$

ilişkisi vardır. Bu eşitlikte R_i , i 'nci hedef için karar verici tarafından belirlenmiş önceliği (ağırlığı) gösterir. Bu ilişki az öneme sahip veya düşük önceliğe sahip bir amaç fonksiyonunun, ağırlığı ne olursa olsun, daha önceki bir öncelik değerine tercih edilemeyeceğini gösterir. Model içinde aynı önceliğe veya başka bir deyişle eşit ağırlığa sahip birden çok amaç fonksiyonu bulunabilir.

8.10.4. Erişim Fonksiyonunun Oluşturulması

Hedef programlama modelinin formülasyonunun oluşturulması aşamasındaki en önemli adım erişim fonksiyonunun oluşturulmasıdır. Erişim fonksiyonu, herbir amaç fonksiyonuna ait pozitif ve negatif sapma

$$f_i(\bar{X}) + n_i - P_i = b_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (9)$$

(3) nolu eşitlikteki gibi amaç fonksiyonunun, arzu edilen duruma göre erişim fonksiyonunda yer alacak sapma değişkenlerinin durumu (10) nolu eşitlik ile gösterilmiştir.

HEDEF

SÜREÇ

a) $f_i(\bar{X}) \geq b_i \implies n_i$

n_i 'nin minimizasyonu

(b_i 'ye eşit ya da daha fazla)

b) $f_i(\bar{X}) = b_i \implies n_i + P_i$

$n_i + P_i$ 'nin minimizasyonu

(10)

(b_i 'ye eşit)

c) $f_i(\bar{X}) \leq b_i \implies n_i$

P_i 'nin minimizasyonu

(b_i 'ye eşit ya da daha az)

Bütün hedefler için $f_i(\bar{X})$ ve b_i arasındaki ilişkiyi yansıtan süreç saptandıktan sonraki adım tüm hedefleri kendi öncelikleri ile ($P_1, P_2, \dots, P_m$) birleştirmektir. Metotta belirlenen herbir hedefe ulaşılması gerektiğinden, hedeflerden olan sapmaların minimizasyonu istenir. Bu durumda erişim fonksiyonu aşağıdaki şekli alır.¹⁵³

$$\text{Min } Z = \{P_1[h_1(n, p)], P_2[h_2(n, p)], \dots, P_k[h_k(n, p)]\} \quad (11)$$

Bu eşitlikte,

(11) nolu eşitlikte,

$h_l(n, p)$: l öncelik düzeyinde, sapma değişkenlerinin doğrusal bir fonksiyonu,

n : Negatif bir sapma vektörü,

p : Pozitif bir sapma vektörü,

k : Amaç fonksiyonuna ilişkin öncelik düzeylerinin sayısı ve

m : Amaç fonksiyonu sayısıdır.

¹⁵³ M. Atan, D.Boztosun., “Hedef Programlaması İle Türkiye Bankacılık Sektöründe Finansal Planlama Uygulaması”, Ankara:**Kooperatifçilik Dergisi**, Sayı 145, Temmuz - Ağustos - Eylül 2004, s. 77 - 93

Burada $k \leq m$ ' dir. Yani önceliklerin sayısı, amaç fonksiyonu sayısından küçük ya da eşittir (Ignizio, 1976: 30 -34).

Tüm bu açıklamalardan faydalanarak genel bir hedef programlama modeli aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$f_i(\bar{X}) + n_i - P_i = b_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$g_j(\bar{X}) + n_j - P_j = b_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, l$$

$$\text{Min } Z = \{P_1 h_1(n_1, p_1), P_2 h_2(n_2, p_2), \dots, P_k h_k(n_k, p_k)\}$$

$$n_i, P_i, n_j, p_j \geq 0$$

$$\bar{X} \geq 0 \quad (12)$$

şeklinde oluşturulabilir. Bu formülasyonda,

$\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$: Karar (kontrol) değişkenleri vektörü,

M : Amaç fonksiyonlarının sayısı,

$f_i(\bar{X})$: i ' nci amaç fonksiyonu,

l : Kaynak kısıt sayısı,

b_i : i ' nci amaç fonksiyonu için karar verici tarafından belirlenmiş hedefi,

b_j : j ' nci kısıtın sağ taraf değeri,

n_i : i ' nci hedeften negatif sapma değerini,

p_i : i ' nci hedeften pozitif sapma değerini,

n_j : j ' nci kaynaktan negatif sapma değerini,

p_j : j ' nci kaynaktan pozitif sapma değerini,

$h_k(n_k, p_k)$: Sapma değişkenlerinin doğrusal bir fonksiyonu,

P_i : i 'nci hedef için karar verici tarafından belirlenmiş önceliği gösterir.¹⁵⁴

8.11. Hedef Programlama Modelinin Yapısı

Hedef programlama, tek bir amaca göre optimal bir çözüm bulmak yerine, birbiriyle çelişen amaçlar arasında, performans tatmin seviyesi sağladığı için bir *uzlaşma* noktasıyla sonuçlanır. Hedef programlamanın mantığı belli bir fonksiyonu maksimize etmekten çok, belirlenen amaçlardan sapmaların minimize edilmeye çalışılmasıdır.

Hedef programlama modelindeki bütün hedefler doğrusal ise, modelin tam bir optimal çözümü simpleks metodu kullanılarak elde edilebilir. Tüm bu açıklamaların ışığında hedef programlamanın genel formülasyonu;

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^i P_k (W_{ik}^+ d_i^+ + W_{ik}^- d_i^-) \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^m (a_{ij} \bar{X}_j + d_i^- - d_i^+) = b_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$\bar{X}_j, d_i^-, d_i^+ \geq 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

(14)

şeklinde yazılabilir. Burada ;

$$\bar{X}_j : \text{Karar değişkenleri } (\bar{X}_j = 1, 2, \dots, n),$$

b_i : i 'nci hedef düzeyi (bu değer simpleks algoritmasındaki sağ taraf sabiti ile aynı anlamdadır.),

$$d_i^- : \text{Hedef ' ten negatif sapma değeri,}$$

¹⁵⁴ Markland, s.319

d_i^+ : Hedef ' ten pozitif sapma değeri,

W_{ik}^+, W_{ik}^- : k öncelik düzeyindeki i .hedefin sapma değişkenlerine verilmiş olan asıl ağırlıklar,

P_k : k hedefine verilen, tahsis edilmiş öncelik ($P_k \gg P_{k+1}$),

a_{ij} : i . hedefte $\overline{X_j}$ ile ilgili teknoloji katsayısını gösterir.

Bu formülasyonda hedef programlamanın tanımı ve varsayımları bölümünde açıklanan varsayımların dışında, doğrusal programlamada olduğu gibi doğrusallık, toplanabilirlik, bölünebilirlik ve homojenlik varsayımları hedef programlama içinde geçerlidir. Hedef programlamanın en önemli avantajlarından birisi, karar vericinin amaçlar arasında önemine göre bir sıralamada bulunabilmesidir. Yapılacak bu sıralama ile bazı amaçlar çözümde belirleyici görev üstlenirken diğer bir kısım amaçlar ise modelde kısıtlayıcı koşul olarak yer alır. Bu sebeplerden ötürü P_i öncelik setinin sıralaması önemlidir.

Çünkü iteratif optimizasyonda önce P_i 'inci amaç sağlandıktan sonra P_{i+1} ' inci amacın başarılması söz konusudur.

8.11.1. Hedef Programlama ile Doğrusal Programlamanın Karşılaştırılması

Hedef programlama ve doğrusal programlama yöntemlerinin karşılaştırılması aşağıdaki şekilde yapılabilir.

1- Doğrusal programlama modelinde, belli doğrusal eşitlikler veya eşitsizlikler kısıtlayıcı koşullar altında doğrusal bir amaç fonksiyonu optimize edilmeye çalışılırken, hedef programlaması modelinde, amaç fonksiyonunda hedeflerden sapmalar minimize edilmeye çalışılır. Hedef programlamada doğrusal programlamadan farklı olarak tek bir amaç yerine birbiri ile çelişebilen birden çok amaç bulunabilir.

2- Doğrusal programlamada bütün kısıtlar eşit önemdedir ve hepsi eşanlı olarak sağlanmalıdır. Hedef programlamada ise kısıtlar modelde hedef olarak yer alır ve belirlenen öncelik sıralarına göre sağlanmaya çalışılır. Hedef programlamada, amaç fonksiyonu, aynı zamanda öncelikli hale getirilebilen sapma değişkenlerinin ağırlıklı toplamının minimize edilmesini ister. Öncelikli hale getirme işlemi tercihli bir şekilde yapılır. Burada sapma değişkenleri için ağırlıklar, kendine denk düşen hedef değerlerinden her birim sapma için göreceli bir *ceza* 'yı yansıtır. Ayrıca doğrusal programlamada tek bir amaç mutlak sağlanmaya çalışılırken, hedef programlamada en öncelikli hedeften başlanarak tüm hedefler sağlanılmaya çalışılır ve bütün amaçların sağlanması gerekmez.

3- Hedef programlamada bulunan pozitif ve negatif sapma değişkenleri, doğrusal programlamadaki aylak değişkene karşılık gelir. Sapma değişkenleri her bir hedef kısıtlaması için dâhil edilir ve o hedefin olası eksik başarı veya fazla başarısını yansıtır.

4- Doğrusal programlamada amaç fonksiyonu maksimizasyon veya minimizasyon şeklinde olabilirken hedef programlamada ise amaç fonksiyonu sadece minimizasyon şeklinde olur. Hedef programlamada hedefler birer kısıt olarak modele girer. Kaynaklar üzerindeki sınırlamaları yansıtan kısıtlamalar modele aynen herhangi bir doğrusal programlama modeline katılacağı gibi dâhil edilir.

5- Doğrusal programlama amaç fonksiyonu, kâr maksimizasyonu veya maliyet minimizasyonu olarak düzenlendiğinde hedef belirlenmez. Hedef programlamada ise bu durumda hedef değerleri gereklidir. Doğrusal programlamada sağ yan sabiti maksimizasyon probleminde üst sınır, minimizasyon probleminde ise alt sınır olarak işlem görür.

6- Hedef programlama karar verici açısından daha esnek yapıya sahip bir tekniktir. Sadece tek bir amaç yerine birden çok ve birbiri ile çelişebilen amaçları sağlamaya çalıştığı için karar vericiye daha çok amacı eşanlı sağlama imkanı verir.

7- Hedef programlama modelinin bütün değişkenleri yani hem karar değişkenleri, $\overline{X_j}$, hem de sapma değişkenleri, d_i^- ve d_i^+ 'ya sıfıra eşit ya da sıfırdan büyük değerler almak zorundadır. Doğrusal programlamada da benzer şekilde karar değişkenleri sıfırdan büyük değerler almak zorundadır.

8- Hedef programlaması modelinin çözümü esnasında doğrusal programlamada olduğu gibi simpleks algoritması kullanılır. Hedef programlamada çözümde temele girecek değişken doğrusal programlamada olduğu gibi en yüksek önceliğe sahip ve en yüksek gelişmeyi sağlayacak değişken olmalıdır. Bu nedenle hedef programlamada bütün amaçlar eniyilenemeyebilir. Doğrusal programlamada ise bunun aksine bulunan çözüm optimum çözümdür. Yapılan çözümlemeler sonucu doğrusal programlama ile optimum çözüm bulunamaz iken hedef programlamada uygun çözüm bulunabilir.

Hedef programlamasında problemin çözümüne ilk öncelikli, P_1 , hedefinden başlayarak tüm amaçların sağlanmaya çalışılarak devam edilir. Hedef programlamasının amaç fonksiyonunda karar değişkenleri, $\overline{X_j}$, bulunmaz. Amaç fonksiyonunda sadece minimize edilmesi arzu edilen hedeflerden sapma değişkenleri, d_i^- ve d_i^+ , yer alır

8.12. Genel Bir Hedef Programlama Modeli

Bu kısımda, bir üretim problemi ve bir gelir maksimizasyonu probleminin hedef programlama yöntemi ile nasıl çözümlenebileceği hipotetik bir örnek üzerinde incelenmeye çalışılacaktır.

Örnek: Madidas spor donanımları şirketi diğer donanımları yanısıra iki farklı spor çantası modeli üretiyor. Bunlar, el çantası ve seyahat çantasıdır. Yöneticiler bu çantalar için haftalık üretim miktarlarını belirlemek istiyor. Kararın temelini oluşturan ilgili veriler Tablo 8.1'de özetlenmiştir (Acar, 1993).

Tablo 8.1. Madidas Spor Donanımları Firması Haftalık Üretim Bilgileri.

	Çanta Başına Gereken Süre (Dakika)		Haftalık Kapasite (Dakika)
	El Çantası	Seyahat Çantası	
Kesim Zamanı	6	4	3.820
Dikiş Zamanı	5	9	6.470
Bitiş Zamanı	2	3	2.400
Satış Fiyatı (YTL)	5.000	8.000	

Birinci Adım: Çantaların satışından elde edilen haftalık kârın maksimize edilmesi için aşağıdaki doğrusal programlama modeli formüle edilir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Maks } Z = 5000 X_1 + 8000 X_2 \quad (\text{Gelir YTL})$$

Kısıtlar

$$6 X_1 + 4 X_2 \leq 3820 \quad (\text{Kesim Zamanı})$$

$$5 X_1 + 9 X_2 \leq 6470 \quad (\text{Dikiş Zamanı})$$

$$2 X_1 + 3 X_2 \leq 2400 \quad (\text{Bitiş Zamanı})$$

$$X_1, X_2 \geq 0$$

Bu formülasyonda X_1 ve X_2 sırasıyla El ve Seyahat çantalarını göstermektedir. Yukarıdaki problemin çözümü sonucunda 250 adet El çantası ve 580 adet Seyahat çantası üretilmesi ve bunun sonucunda da haftalık maksimum 5.890.000 YTL kâr elde edileceği sonucu bulunmuştur. Ayrıca optimal çözümü elde ederken firma kesim ve dikiş zaman kapasitelerinden tam olarak faydalanmış ancak bitiş bölümünde 160 dakikalık atıl kapasite kalmıştır.

Tablo 8.2. Madidas Spor Donanımları Firması Fazla Mesai Bilgileri.

	Fazla Mesai (YTL / Dakika)	Maksimum Fazla Mesai Kapasitesi (Dakika / Hafta)
Kesim Bölümü	450	600
Dikiş Bölümü	520	1400
Bitiş Bölümü	400	450

İkinci Adım: Haftalık 5.890.000 YTL 'lik kâr'ın yeterli olmadığını ve bundan dolayı fazla mesai olasılıklarını araştırıldığını varsayalım. Fazla mesai planına karar vermek için Tablo 8.2'de yer alan bilgilerden faydalanılacaktır.

Tablo 8.2'deki bu bilgilerden faydalanarak yeni bir doğrusal programlama problemi oluşturulmuştur. Ancak, fazla mesai çalışmasının firma için kârlı olup olmadığını ve eğer her bölüm için fazla mesai uygulaması yapılırsa ne kadar kâr elde edilebileceği konusunda kesin bilgi yoktur. Doğrusal programlamada fazla mesai kapasitelerinin eklenmesiyle sağ taraf katsayılarını değiştirilmemesi gerekmektedir. Kâr hakkında kesin bir yargıya varılabilmesi için fazla mesai'yi ayrı bir karar değişkeni olarak alınmalıdır. Bu nedenle modele üç ayrı değişken daha eklenir. Bu değişkenler;

R_1 : Kesim bölümünde kullanılan fazla mesai süresi,

R_2 : Dikiş bölümünde kullanılan fazla mesai süresi,

R_3 : Bitiş bölümünde kullanılan fazla mesai süresidir.

Daha önceki çözümde bitiş bölümünde 160 dakikalık atıl kapasite ortaya çıkmıştı. Bu durumda bitiş bölümünde fazla mesai uygulaması gereksiz olabilir. Buradaki sorun şudur: Eğer diğer bölümlerde fazla mesai uygulaması yapılırsa, artan üretim düzeyi nedeniyle bitiş bölümü içinde fazla mesai uygulaması gerekebilecektir. Öyleyse yeni değişkenlerin ilavesi ile yeni amaç fonksiyonu,

Amaç Fonksiyonu

$$Maks Z = 5000 X_1 + 8000 X_2 - 450 R_1 - 520 R_2 - 400 R_3$$

şeklinde yazılabilir. Fazla mesai uygulamasının gerektirdiği yeni maliyet, çantaların satışından elde edilen gelirden düşülerek yeni kâr fonksiyonu oluşturulur. Bu durumda tüm kısıtlar aşağıdaki şekle dönüştürülür.

Kısıtlar

$$6 X_1 + 4 X_2 - R_1 \leq 3820$$

$$R_1 \leq 600$$

$$5 X_1 + 9 X_2 - R_2 \leq 6470$$

$$R_2 \leq 1400$$

$$2 X_1 + 3 X_2 - R_3 \leq 2400$$

$$R_3 \leq 450$$

$$X_1, X_2, X_3, R_1, R_2, R_3 \geq 0$$

Bu problemin çözümü sonucunda fazla mesai kullanımı toplam kârı 5.890.000 YTL' den 6.214.240 YTL' ye yükseltmiştir. Çözüm sonucu 85 adet El çantası ve 827 adet Seyahat çantası üretilecektir. Bu üretim planı sonucu kesim bölümünde fazla mesai'ye gerek yoktur. Buna karşın dikiş bölümünde 1400 dakika ve bitiş bölümünde de 252 dakika fazla mesai' ye gerek duyulduğu ortaya çıkmıştır.

Üçüncü Adım: Bölümler arası mesai farklılıklarının işçiler arasında problemler meydana getirebileceğini ve ayrıca 1400 dakikalık fazla mesainin dikiş bölümünde kalite ve verimlilikte bir düşüşe yol açacağına bunlara ek olarak da fazla mesai nedeniyle iş kazalarında da artış olacağını düşünülürse aşırı fazla mesai gerektiren bu yeni çözümden memnun olunmadığını varsayalım. 6.000.000 YTL'lik bir kârın firma açısından tatmin edici olduğuna karar verilsin. Bu durumda firmanın amacı geliri maksimize etmek yerine 6.000.000 YTL'lik bir kâr hedefini karşılamak amacıyla nasıl bir fazla mesai uygulaması yapılması gerektiğini bulmaktır. Bu nedenle artık hedeften sapmalar minimize edilmeye çalışılacaktır. Çünkü hedeflerde aşırı başarı çok yüksek bir fazla mesai kullanımını ve yetersiz başarıda istenen kâr'dan daha azını beraberinde

getirmektedir. En ideal olanı, bu hedefler arasındaki farkın sıfır olması durumudur. Bu sebeble X_i ve R_i değerleri aşağıdaki şartı sağlamalıdır.

$$5000 X_1 + 8000 X_2 - 450 R_1 - 520 R_2 - 400 R_3 = 6.000.000$$

Bu eşitlikte hedeflerden sapmalara da yer verilmelidir. Bu amaçla sapma değişkenleri aşağıdaki gibi tanımlanır.

d_i^+ : Kâr hedefinde aşırı başarı,

d_i^- : Kâr hedefinde yetersiz başarı.

Bu şekilde tanımlanan sapma değişkenlerinin katılımıyla tek hedef kısıtının formülasyonu;

$$5000 X_1 + 8000 X_2 - 450 R_1 - 520 R_2 - 400 R_3 - d_i^+ + d_i^- = 6.000.000$$

şeklinde yazılır. Bu eşitlikten de görüleceği gibi d_i^+ ve d_i^- değişkenlerinin her ikisinin de aynı anda pozitif bir değer alamayacağı açıktır. Eğer herhangi bir sapma yoksa her ikisi de sıfır olacaktır ve bu mutlak hedeftir. Belirlenen hedef 6.000.000 YTL'den fazla bir kâr ortaya çıkıyorsa o zaman d_i^+ pozitif bir değer alırken d_i^- ise sıfır olur.

Belirlenen hedef 6.000.000 YTL'den daha az bir kâr elde edilmesi durumunda ise d_i^- pozitif bir değer alırken d_i^+ ise sıfır değerini alır.

Problemin çözümü için belirlenen hedeflerden sapmalar amaç olarak ele alınır ve bu şekilde W ile tanımlanan yeni amaç fonksiyonunu oluşturulur.

$$\text{Amaç Fonksiyonu} \quad \text{Min } W = d_i^- + d_i^+$$

Bu amaç fonksiyonuna göre hedeften pozitif ya da negatif yönde bir sapmanın her ikisinin de karar verici açısından eşit öneme sahip olduğudur. Sapma değişkenlerinde herhangi bir ağırlıklandırma işlemi yapılmamıştır. 6.000.000 YTL'lik

kâr hedefinden sapmaları minimize edecek olan hedef programlama modelini aşağıdaki gibi oluşturulur.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } W = d_i^- + d_i^+$$

Kısıtlar

$$6 X_1 + 4 X_2 - R_1 \leq 3820$$

$$R_1 \leq 600$$

$$5 X_1 + 9 X_2 - R_2 \leq 6470$$

$$R_2 \leq 1400$$

$$2 X_1 + 3 X_2 - R_3 \leq 2400$$

$$R_3 \leq 450$$

$$5000 X_1 + 8000 X_2 - 450 R_1 - 520 R_2 - 400 R_3 - d_i^+ + d_i^- = 6.000.000$$

$$X_1, X_2, X_3, R_1, R_2, R_3, d_i^+, d_i^- \geq 0$$

Bu yeni modelin çözümü sonucunda bulunan optimal çözüme göre, fazla mesai'in toplam kullanımı 642 dakikaya düşürülmekte ve aynı zamanda 6.000.000 YTL olarak belirlenen kâr hedefi gerçekleşmektedir. Optimal çözüme göre, kesim bölümünde 140 dakika, dikiş bölümünde 502 dakika ve bitiş bölümünde ise hiç olmamak üzere toplam 642 dakika fazla mesai uygulaması yapılarak ve firma 208 adet El çantası ile 648 adet Seyahat çantası üretecektir. Bu üretim sonucunda da belirlendiği gibi 6.000.000 YTL kâr elde edilecektir.

İncelenen bu örnek ile tek hedefli bir optimizasyon probleminin ne şekilde hedef programlama formülasyonuna çevrilebileceğini ve birbirleriyle çelişen amaçlar

arasında nasıl bir uzlaşma sağladığı incelenmiştir. İncelenen problemdeki çelişen amaçlar *kâr'ı arttırmak ve fazla mesai zamanını azaltmaktır.*

8.12.1. LİNDÖ Paket Programı Kullanılarak Hedef Programlama

Modelinin Çözümü:

Hedef programlama problemlerini çözebilen çeşitli bilgisayar paket programları vardır. Bu çalışmada, gerek hedef programlamanın yapısı gerekse de kullanıcıya sağladığı kullanım kolaylıkları nedeniyle LİNDÖ paket programı kullanılmıştır. İncelenen örneği LİNDÖ paket programı yardımıyla çözebilmek için ilk adımda modelin LİNDÖ paket programında çözümü yapılabilecek şekilde düzenlemesi yapılmalıdır. Model,

Birinci model

Amaç Fonksiyonu :

N_1 (Amaç ' tan negatif sapma)

Kısıt Koşulları :

$$6 X_1 + 4 X_2 - R_1 \leq 3820$$

$$5 X_1 + 9 X_2 - R_2 \leq 6470$$

$$2 X_1 + 3 X_2 - R_3 \leq 2400$$

$$R_1 \leq 600$$

$$R_2 \leq 1400$$

$$R_3 \leq 450$$

$$5000 X_1 + 8000 X_2 - 450 R_1 - 520 R_2 - 400 R_3 - P_1 + N_1 = 6.000.000$$

şeklinde yazarak ilk iterasyon çözümü yapılır. İlk iterasyon sonucunda $Z = 0$ olarak bulunmuştur. O halde ilk amaç sağlanmıştır. İkinci iterasyonda aynı modele $N_1 \leq 0$ kısıtı eklenir. Amaç fonksiyonu da P_1 olarak değiştirilir ve model yeniden çözülür.

İkinci model

Amaç Fonksiyonu :

P_1 (Amaç' tan pozitif sapma)

Kısıt Koşulları :

$$6 X_1 + 4 X_2 - R_1 \leq 3820$$

$$5 X_1 + 9 X_2 - R_2 \leq 6470$$

$$2 X_1 + 3 X_2 - R_3 \leq 2400$$

$$R_1 \leq 600$$

$$R_2 \leq 1400$$

$$R_3 \leq 450$$

$$5000 X_1 + 8000 X_2 - 450 R_1 - 520 R_2 - 400 R_3 - P_1 + N_1 = 6.000.000$$

$$N_1 \leq 0$$

Çözüm sonucunda $Z = 0$ olarak bulunur. İkinci amaçta sağlanmıştır. Üçüncü ve son iterasyonda modele $P_1 \leq 0$ kısıtı ilave edilir. Amaç fonksiyonunda $P_1 + N_1$ şekline dönüştürülür. Model bu şekilde çözülür.

Üçüncü model

Amaç Fonksiyonu :

$$P_1 + N_1$$

Kısıt Koşulları :

$$6 X_1 + 4 X_2 - R_1 \leq 3820$$

$$5 X_1 + 9 X_2 - R_2 \leq 6470$$

$$2 X_1 + 3 X_2 - R_3 \leq 2400$$

$$R_1 \leq 600$$

$$R_2 \leq 1400$$

$$R_3 \leq 450$$

$$5000 X_1 + 8000 X_2 - 450 R_1 - 520 R_2 - 400 R_3 - P_1 + N_1 = 6.000.000$$

$$N_1 \leq 0$$

$$P_1 \leq 0$$

Bu son iterasyon sonucu bulunan çözüm optimal çözümdür. Optimal çözümde $Z = 0$ olarak bulunmuştur. Her iki amaçta sağlanmıştır. Bulunan çözüme göre 208 adet X_1 (El çantası) ve 648 adet X_2 (Seyahat çantası) üretilmektedir. Ayrıca $R_1 = 140$ dakika (Kesim bölümündeki fazla mesai süresi), $R_2 = 502$ dakika (Dikiş bölümündeki fazla mesai süresi), $R_3 = 0$ dakika (Bitiş bölümündeki fazla mesai süresi) fazla mesai yapıldığı sonucu ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak firma hedef programlama yardımıyla 6.000.000 YTL olarak belirlediği kâr hedefini sağlayan ve bu kâr hedefi sağlanırken bölümler arasındaki fazla mesai süresini de uygun olarak ayarlayan çözüme LİNDÖ paket programı yardımıyla ulaşmıştır.

9. CPM VE PERT'İN İNŞAAT SEKTÖRÜNE UYARLANMASI VE BİR UYGULAMA ÇALIŞMASI

9.1. Çalışmanın Amacı

Çalışmanın teorik kısmında da belirtildiği gibi, PERT özellikle deterministik süreçlerle ilgilenen bir tekniktir. Bu nedenle daha önce üzerinde fazla çalışılmamış inşaat sektöründeki bir bina projesinde uygulanması uygun görülmüştür. Çalışmanın amacı bir bina inşaat projesi uygulamasında bu tekniklerin uygulanıp uygulanmayacağını görmek, karşılaşılabilecek olası problemleri tanımlamak, alternatif çözüm yolları araştırmaktır. Olası problemler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 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.

9.2. Çalışma Hakkında Genel Bilgi

GB Mühendislik Mimarlık adlı şirketin, sözleşmeli müşterilerinden biri olan İTAMEKS'in ÇATI KATI PROJESİ'ne ait DIŞ KABUK KAPATMA İŞLERİ KEŞFİ'nin projelendirilmesidir. Bu uygulama çalışması ile keşif yapılırken müşteriye verilen maliyetlerin belirlenmesinde ve projenin ne kadar sürede tamamlanacağına ilişkin sürecin tayin edilmesinde önerilen alternatiflerin değerlendirilmesinin ve projenin ne kadar etkin, ne kadar karlı ve ne kadar sürede tamamlandığının, hedef programlama modeli ile hızlandırılmasının sağlanması ve PERT tekniği ile incelenmesidir. Normal koşullarda söz konusu projenin tamamlanma süresi 57 gündür. Haftanın 7 günü çalışma günü şeklinde dikkate alınarak ve günde 8 saat işgücü kullanılarak projenin tamamlanması öngörülmüştür. Projenin İTAMEKS tarafından onaylanması 3 Temmuz 2006 tarihinde yapılmış ve 10 Temmuz 2006 tarihinde de proje

başlatılmış olmalıdır. Ve sözleşmeye göre de proje 4 Eylül 2006 tarihinde teslim edilmiş olmalıdır. Projenin toplam sözleşme bedelinin 107.749,30 YTL olarak öngörüldüğü, firmanın da bu bedel üzerine % 10 müteahhitlik karı olan hizmet bedelini ekleyerek 118.524,23 YTL sabit toplam bedel üzerinden projeyi üstlendiği tespit edilmiştir. Süreler gün olarak hesaplanmıştır. Projede faaliyetlerin A, A1, A2, B, B1, B2 gibi ifade edilmesi, özellikle faaliyetlerin kendi içindeki ilişkileri göstermek için kullanılmıştır. Hedef programlama ile hızlandırma ve PERT tekniğinin günümüzde pek çok bilgisayar programı yardımıyla uygulanması gerçekleştirilir. Kullanım kolaylığı ve projeyi ayrıntılı analiz edebilme imkanı tanıdığından, Microsoft bünyesindeki Microsoft Office ürün grubu içerisinde yer alan Microsoft Project 2003 bilgisayar programından destek alınmıştır.

9.3. Projeye İlgili Yapılan Hesaplamalar ve Projenin Şebeke Diyagramı

Projede İTAMEKS ÇATI KATI PROJESİ DIŞ KABUK KAPATMA İŞLERİ KEŞFİ'ne ilişkin olarak yapılan tüm faaliyetler aynı işçi grupları tarafından yürütülmektedir. Projede yapılması gereken faaliyetler ve faaliyetler arasındaki öncelik ilişkileri, GM Mühendislik Mimarlık firması inşaat mühendislerinden alınan verilere göre şöyledir:

Temel Faaliyetler ve Alt Faaliyetler:

A- KIRIM DÖKÜM MOLOZ İŞLERİ

A1- Çatı Üzerindeki Mevcut Duvarların ve Döşemelerin Kırılması

A2- Moloz Atımı ve Temizlik

A3- Moloz Nakliyesi ve Dökümü

B- ISLAK KABA İNŞAAT MALZEMELERİNİN ÇATIYA ÇIKMASI

B1- Tuğla Duvar İşleri için Gerekli Malzemenin Çatıya Çıkması

B2- Çatı Eğim ve Koruyucu Beton Malzemelerinin Çatıya Çıkması

C- ÇELİK KARKAS VE KABA İNŞAAT İŞLERİ

C1- Çelik Taşıyıcı Sistem İmalatları

C11- Çelik Çatı Tesis Edilmesi

C12- Tonoz Çatı Gizli Dere İmalatı

C13- Merdiven Kulesi Gizli Dere İmalatı

C2- Trapez Döşeme İmalatı

C21- Teknik Oda Zeminine 4/5 Baklavalı Sac Kaplanması

C22- Kauçuk Alınması

C23- Jeneratör Altlığının Hazırlanıp Makinenin Yerine Konması

D- ÇATI KAPLAMA İŞLERİ

D1- Çatı Kaplama İmalatları

D11- BoteK Malzeme Temini

D12- Tonoz BoteK Boyalı Galvaniz Sac Ken. Çatı Kaplaması

D13- Kule Çatısı Tek Kat Galvaniz Boyalı Sac Çatı Kaplaması

D2- Yağmur İnişleri

D21- Tonoz Çatı Gizli Yağmur İniş Boruları

D22- Merdiven Kulesi Gizli Yağmur İniş Boruları

D23- Ön ve Arka Teras EklenecK Gizli Yağmur İniş Boruları

D24- Paslanmaz Çelik Yağmur Suyu Süzgeci

E- ASANSÖR İŞLERİ

E1- Asansör Makinesinin Sökülmesi

E2- Asansör Kapılarının Takılması

E3- Asansör Makinesinin Takılması

E4- Asansör Makinesinin Devreye Girmesi

F- DUVAR İŞLERİ

F1- Ön ve Arka Kabuk Duvarlarının Yapılması

F2- Asansör Etrafı Duvarlarının Yapılması

F3- İç Bölücü Duvarlarının Yapılması

F4- Probil Duvarının Yapılması

G- CEPHE DOĞRAMASI İMALATLARI

G1- Isı Yalıtımlı Alüminyum Sürme Doğrama İmalatları

G11- 4800X700 Isı Yalıtımlı Alüminyum Doğrama

G12- 4800X1000 Isı Yalıtımlı Alüminyum Doğrama

G13- 3600X1000 Isı Yalıtımlı Alüminyum Doğrama

G14- 3600X1980 Isı Yalıtımlı Alüminyum Doğrama

G2- 1200X1700 Isı Yalıtımlı Alüminyum Kanatlı Doğrama İmalatları

H- CEPHE KAPLAMA İMALATLARI

H1- Alüminyum Kompozit Panel Cephe Kaplama İmalatları

H11- Al Com Panel Malzeme Temini

H12- Cephe Üzeri Al Com Panel Kaplama

H2- Alüminyum Menfez İmalatları

H3- Mantolama ve Isı Yalıtımı İmalatları

H31- Alt Komşu Bina Tarafına Mantolama Yapılması

H32- Probil Tarafına Dilatasyon Dolgusu Yapılması

H4- Sıva/Boya Tamiratları

H41- Mevcut Paparet İç Yüzeyleri Sıva Tamirleri ve Boyanması

H42- Probil Duvarının Sıva Tamiri ve Boyası

İ- TERAS ÇATI İŞLERİ

İ1- Isı Yalıtımlı Teras Çatı İmalatları (1.Alternatif)

İ11- Teras Çatı Eğim Betonu Kısım 1

İ12- Teras Çatı Su Yalıtımı Kısım 1

İ13- Teras Çatı Isı Yalıtımı Kısım 1

İ14- Teras Çatı Yalıtım Koruyucu Beton Kısım 1

İ15- Seramiklerin Çatıya Çıkması

İ16- Seramik Sarf Malzemesinin Çatıya Çıkması

İ17- Seranit Olea Mat Seramik Kaplanmaı

İ18- Teras Çatı Eğim Betonu Kısım 2

İ19- Teras Çatı Su Yalıtımı Kısım 2

İ110- Teras Çatı Isı Yalıtım Kısım 2

İ111- Teras Çatı Yalıtım Koruyucu Beton Kısım 2

İİ1- Isı Yalıtımlı Teras Çatı İmalatları (2.Alternatif)

İİ11- Teras Çatı Eğim Betonu Kısım 1

İİ12- Teras Çatı Su Yalıtımı Kısım 1

İİ13- Teras Çatı Isı Yalıtımı Kısım 1

İİ14- Teras Çatı Yalıtım Koruyucu Beton Kısım 1

İİ15- Seramiklerin Çatıya Çıkması

İİ16- Seramik Sarf Malzemesinin Çatıya Çıkması

İİ17- Seranit Olea Mat Seramik Kaplanma

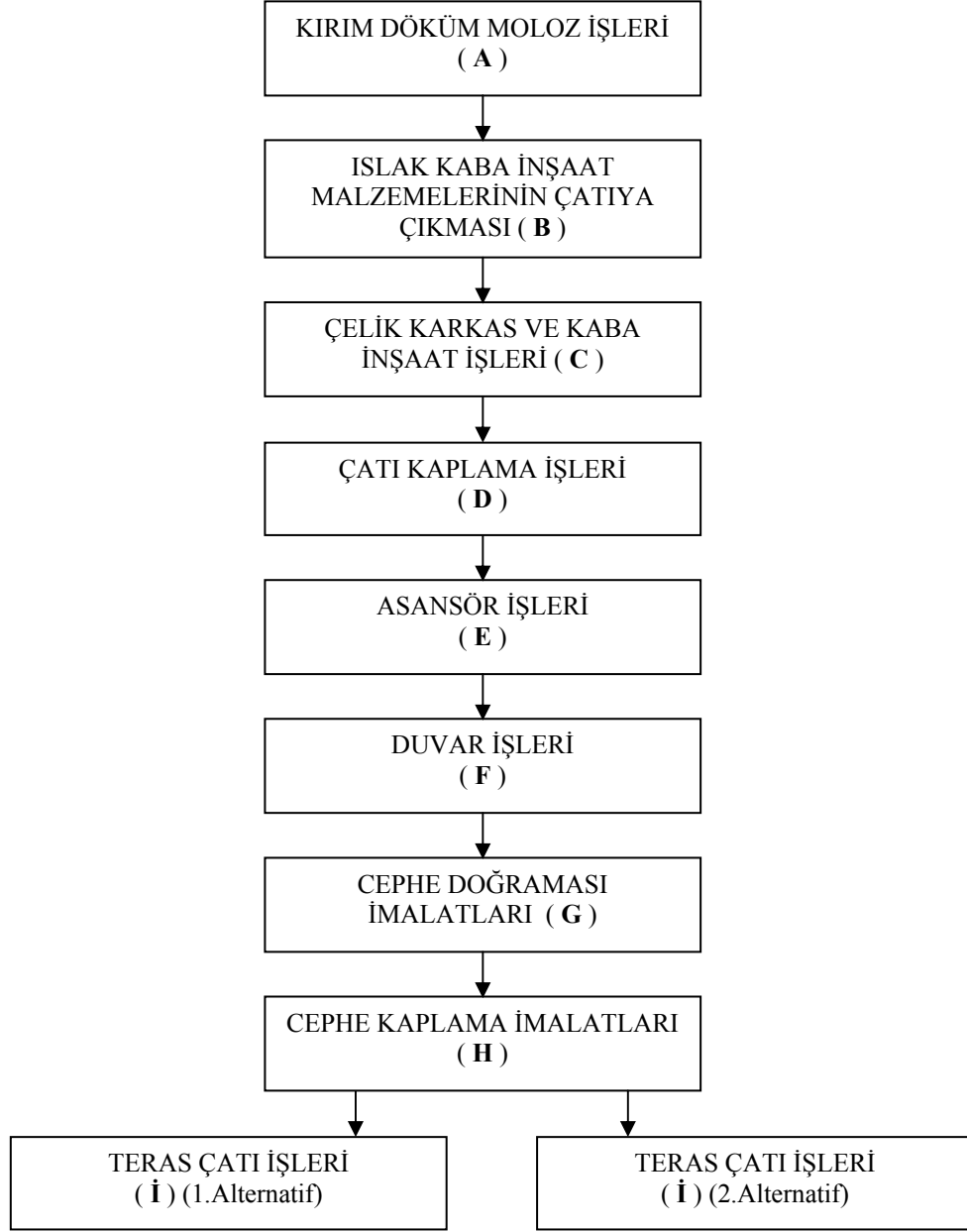
İİ18- Teras Çatı Eğim Betonu Kısım 2

İİ19- Teras Çatı Su Yalıtımı Kısım 2

İİ110- Teras Çatı Isı Yalıtım Kısım 2

İİ111- Teras Çatı Yalıtım Koruyucu Beton Kısım 2

Şekil 9.1’de temel işlere ait iş akım şemasını göstermektedir. Şekil 9.1’den de görüleceği gibi, işlerin sıralaması ve önceliklendirmesi de bu iş akımına göre gerçekleşmektedir.



Şekil 9.1. Projedeki temel işlere ait iş akım şeması.

Faaliyetlerin sıralamasına ve önceliklendirme ilişkilerine göre ise iş akışı ise aşağıdaki Tablo 9.1’de gösterildiği gibidir. Özellikle faaliyetlerde Şekil 9.1’deki iş akışı sıralaması takip edilse de, bazı faaliyetlerden önce aynı anda yürütülebilecek faaliyetler de görülmektedir. Ancak aynı işçi grubu kullanıldığı ve özellikle çalışma ve kullanım alanı sıkıntısı olduğu için fiili olarak bunu gerçekleştirmek pek uygun olmamaktadır. Yine de projenin doğrusal programlama modeli ile sürelerin hızlandırılmasının

gerçekleştirilmesi esnasında bu veriler dikkate alınacak ve projenin toplam süresinin kısaltılmasına çalışılacaktır.

Tablo 9.1. Faaliyetlerin sıralamasına ve önceliklendirme ilişkilerine göre iş akışı.

Temel Faaliyetler ve Alt Faaliyetler	Öncelik İlişkileri	Faaliyetin Toplam Süresi (Gün)
A	-	17
A1	-	17
A2	-	17
A3	-	17
B	-	28,89
B1	A3	16,89
B2	A3	4,89
C	-	24,89
C1	-	24,89
C11	-	19
C12	C11	5
C13	-	5
C2	-	9,89
C21	-	6,89
C22	C21	1
C23	C22	2
D	-	31,89
D1	-	26,89
D11	C21	10,89
D12	C12	15
D13	B2	2
D2	-	14,89
D21	A3	2
D22	A3	2
D23	C13	2
D24	A3	2
E	-	30,89
E1	-	2
E2	E1, C13	3
E3	E1	7
E4	E3, E1	7
F	-	27,78
F1	B2	13
F2	E4, B2	5
F3	F1, F4	3
F4	F2	8
G	-	20
G1	-	20
G11	A3	20
G12	A3	20
G13	A3	20
G14	A3	20
G2	A3	20
H	-	49,78

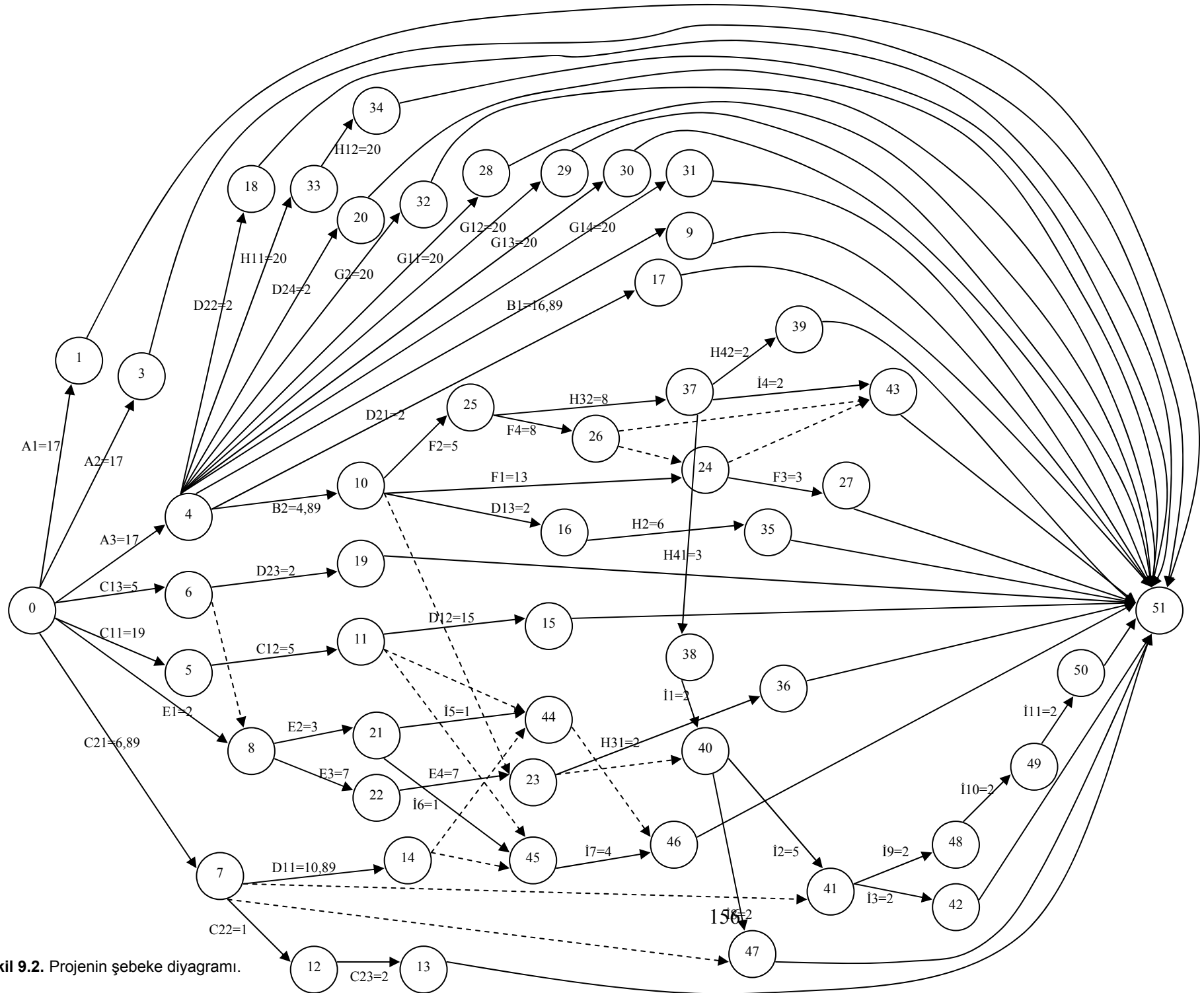
H1	-	40,78
<i>H11</i>	<i>A3</i>	20
<i>H12</i>	<i>H11</i>	20
H2	D13, C23	6
H3	-	20
<i>H31</i>	<i>E4</i>	2
<i>H32</i>	<i>F2</i>	8
H4	-	3
<i>H41</i>	<i>H32</i>	3
<i>H42</i>	<i>H32</i>	2
I (1.Alternatif)	-	22,78
<i>İ1</i>	-	5
<i>İ11</i>	<i>H41, E4</i>	2
<i>İ12</i>	<i>İ11, C21</i>	5
<i>İ13</i>	<i>İ12</i>	2
<i>İ14</i>	<i>H32, F4, F1</i>	2
<i>İ15</i>	<i>E2, D11, C12</i>	1
<i>İ16</i>	<i>E2, D11, C12</i>	1
<i>İ17</i>	<i>İ16; İ15</i>	4
<i>İ18</i>	<i>İ1, C21</i>	2
<i>İ19</i>	<i>İ2</i>	2
<i>İ110</i>	<i>İ19</i>	2
<i>İ111</i>	<i>İ110</i>	2
İİ (2.Alternatif)	-	22,78
<i>İİ1</i>	-	5
<i>İİ11</i>	<i>H41, E4</i>	2
<i>İİ12</i>	<i>İİ11, C21</i>	5
<i>İİ13</i>	<i>İİ12</i>	2
<i>İİ14</i>	<i>H32, F4, F1</i>	2
<i>İİ15</i>	<i>E2, D11, C12</i>	1
<i>İİ16</i>	<i>E2, D11, C12</i>	1
<i>İİ17</i>	<i>İİ16; İİ15</i>	4
<i>İİ18</i>	<i>İİ1, C21</i>	2
<i>İİ19</i>	<i>İİ2</i>	2
<i>İİ110</i>	<i>İİ19</i>	2
<i>İİ111</i>	<i>İİ110</i>	2

Tablo 9.2. Her bir faaliyet için yapılan üçlü süre tahminleri, bu faaliyetlerin beklenen süreleri, varyansları ve standart sapmaları.

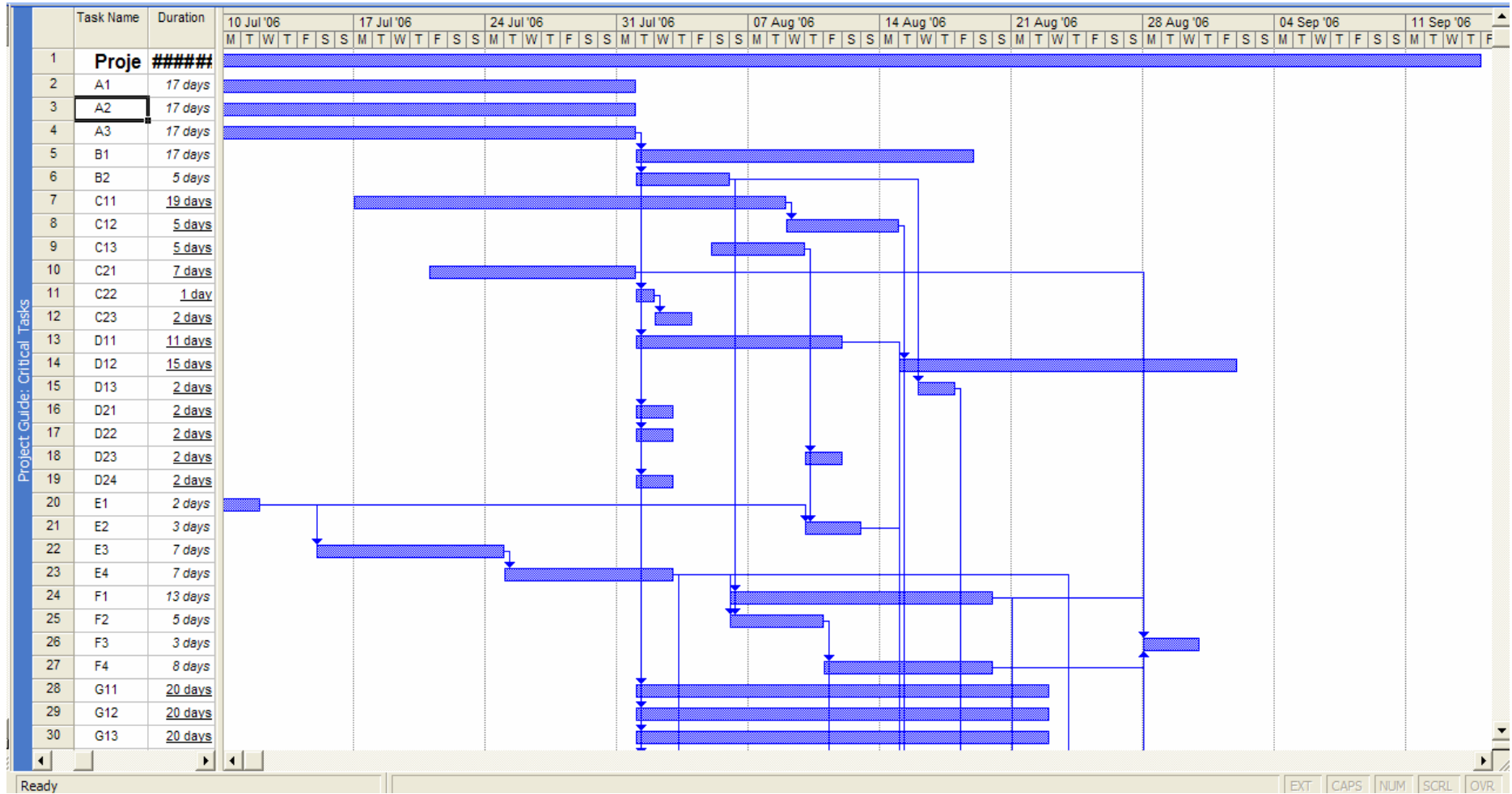
Temel Faaliyetler ve Alt Faaliyetler	En İyimser Süre (Gün) (<i>a</i>)	En Olası Süre (Gün) (<i>m</i>)	En Kötümser Süre (Gün) (<i>b</i>)	Beklenen Süreler (Gün) (μ)	Varyanslar (σ^2)	Standart Sapmalar (σ)
A1	4	11	17	5,333	4,694	2,167
A2	4	11	17	5,333	4,694	2,167
A3	4	11	17	5,333	4,694	2,167
B1	8	13	16,89	6,315	2,195	1,482
B2	1	2	4,89	1,315	0,420	0,648
C11	5	14	19	6,333	5,444	2,333
C12	1	3	5	1,500	0,444	0,667
C13	1	3	5	1,500	0,444	0,667
C21	3	4	6,89	2,315	0,420	0,648
C22	0,5	0,7	1	0,367	0,007	0,083
C23	1	1,5	2	0,750	0,028	0,167
D11	3	7	10,89	3,482	1,729	1,315
D12	4	9	15	4,667	3,361	1,833
D13	0,7	1,3	2	0,667	0,047	0,217
D21	0,7	1,3	2	0,667	0,047	0,217
D22	0,6	1	2	0,600	0,054	0,233
D23	0,5	1	2	0,583	0,063	0,250
D24	0,5	1,2	2	0,617	0,063	0,250
E1	0,6	1,2	2	0,633	0,054	0,233
E2	1	2	3	1,000	0,111	0,333
E3	3	5	7	2,500	0,444	0,667
E4	3	5	7	2,500	0,444	0,667
F1	8	10	13	5,167	0,694	0,833
F2	2	4	5	1,833	0,250	0,500
F3	1	2	3	1,000	0,111	0,333
F4	3	5	8	2,667	0,694	0,833
G11	5	13	20	6,333	6,250	2,500
G12	5	13	20	6,333	6,250	2,500
G13	4	14	20	6,333	7,111	2,667
G14	4	14	20	6,333	7,111	2,667
G2	7	15	20	7,000	4,694	2,167
H11	10	15	20	7,500	2,778	1,667
H12	10	16	20	7,667	2,778	1,667
H2	2	4	6	2,000	0,444	0,667
H31	0,5	1,2	2	0,617	0,063	0,250
H32	3	6	8	2,833	0,694	0,833
H41	1	2	3	1,000	0,111	0,333
H42	0,4	1	2	0,567	0,071	0,267
I11	0,5	1,3	2	0,633	0,063	0,250
I12	2	3,5	5	1,750	0,250	0,500
I13	0,5	1	2	0,583	0,063	0,250
I14	0,5	1,3	2	0,633	0,063	0,250
I15	0,3	0,7	1	0,333	0,014	0,117

<i>İ16</i>	0,3	0,7	1	0,333	0,014	0,117
<i>İ17</i>	2	3	4	1,500	0,111	0,333
<i>İ18</i>	1	1,5	2	0,750	0,028	0,167
<i>İ19</i>	1	1,5	2	0,750	0,028	0,167
<i>İ110</i>	1	1,5	2	0,750	0,028	0,167
<i>İ111</i>	1	1,5	2	0,750	0,028	0,167
<i>İ11</i>	0,7	1,4	2	0,683	0,047	0,217
<i>İ12</i>	1	3	5	1,500	0,444	0,667
<i>İ13</i>	0,5	1,2	2	0,617	0,063	0,250
<i>İ14</i>	0,5	1,2	2	0,617	0,063	0,250
<i>İ15</i>	0,2	0,6	1	0,300	0,018	0,133
<i>İ16</i>	0,4	0,7	1	0,350	0,010	0,100
<i>İ17</i>	2	3	4	1,500	0,111	0,333
<i>İ18</i>	0,5	1,3	2	0,633	0,063	0,250
<i>İ19</i>	1	1,5	2	0,750	0,028	0,167
<i>İ110</i>	1	1,5	2	0,750	0,028	0,167
<i>İ111</i>	1	1,5	2	0,750	0,028	0,167

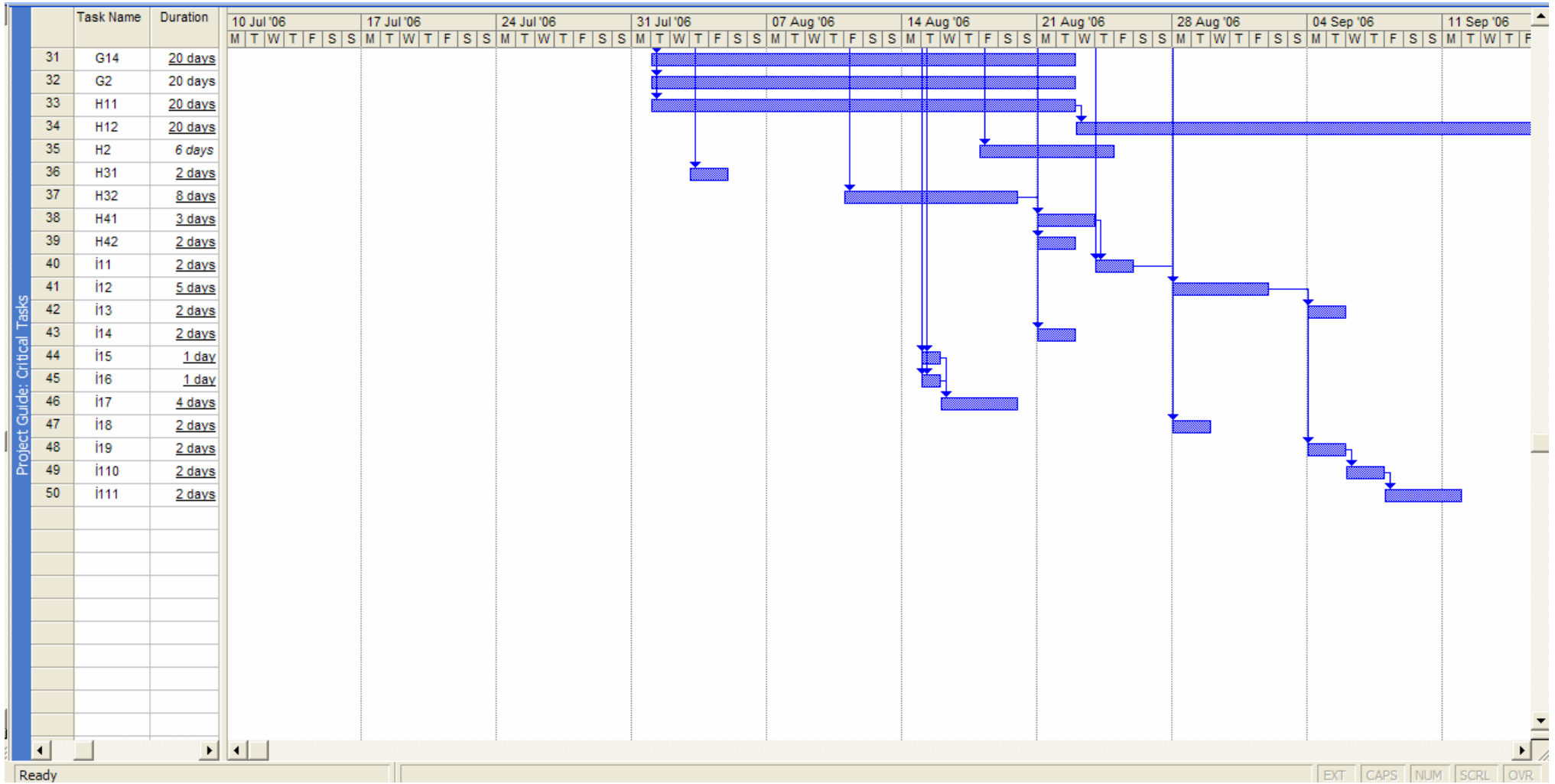
Tablo 9.2’de her bir faaliyet için yapılan üçlü süre tahminleri, bu faaliyetlerin beklenen süreleri, varyansları ve standart sapmaları görülmektedir. Projenin şebeke diyagramı ise Şekil 9.2’de görüldüğü gibidir. Yine Şekil 5.3’de ise uygulamanın GANT şeması gösterilmektedir.



Şekil 9.2. Projenin şebeke diyagramı.



Şekil 9.3. Uygulamanın GANT şeması.



Şekil 9.3. Uygulamanın GANT şeması – Devam.

9.4. Şebedeki Yollar ve Kritik Yolun Bulunması

Şekil 5.2'ye bakıldığında projenin kritik yolu tüm yollar ayrı ayrı hesaplanarak şöyle bulunur:

1.Yol: $0 - 1 - 51 = 17 = 17$ gün

2.Yol: $0 - 3 - 51 = 17 = 17$ gün

3.Yol: $0 - 4 - 18 - 51 = 17 + 2 = 19$ gün

4.Yol: $0 - 4 - 33 - 34 - 51 = 17 + 20 + 20 = 57$ gün (A3-H11-H12)

5.Yol: $0 - 4 - 20 - 51 = 17 + 2 = 17$ gün

6.Yol: $0 - 4 - 32 - 51 = 17 + 20 = 37$ gün

7.Yol: $0 - 4 - 28 - 51 = 17 + 20 = 37$ gün

8.Yol: $0 - 4 - 29 - 51 = 17 + 20 = 37$ gün

9.Yol: $0 - 4 - 30 - 51 = 17 + 20 = 37$ gün

10.Yol : $0 - 4 - 31 - 51 = 17 + 20 = 37$ gün

11.Yol : $0 - 4 - 9 - 51 = 17 + 16,89 = 33,89$ gün

12.Yol : $0 - 4 - 17 - 51 = 17 + 2 = 19$ gün

13.Yol : $0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 39 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 8 + 2 = 36,89$

gün

14.Yol : $0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 43 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 8 + 2 = 36,89$

gün

15.Yol : $0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 =$

$= 17 + 4,89 + 5 + 8 + 3 + 2 + 5 + 2 + 2 + 2 = 50,89$ gün

$$\mathbf{16.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 41 - 42 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 8 + 3 + 2 + 5 + 2$$

$$= 46,89 \text{ gün}$$

$$\mathbf{17.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 47 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 8 + 3 + 2 + 2 = 41,89 \text{ gün}$$

$$\mathbf{18.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 24 - 27 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 8 + 3 = 37,89 \text{ gün}$$

$$\mathbf{19.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 24 - 43 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 8 = 34,89 \text{ gün}$$

$$\mathbf{20.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 43 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 8 = 34,89 \text{ gün}$$

$$\mathbf{21.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 24 - 27 - 51 = 17 + 4,89 + 13 + 3 = 37,89 \text{ gün}$$

$$\mathbf{22.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 24 - 43 - 51 = 17 + 4,89 + 13 = 34,89 \text{ gün}$$

$$\mathbf{23.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 16 - 35 - 51 = 17 + 4,89 + 2 + 6 = 29,89 \text{ gün}$$

$$\mathbf{24.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 23 - 36 - 51 = 17 + 4,89 + 2 = 23,89 \text{ gün}$$

$$\mathbf{25.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 2 + 2 + 2 = 32,89 \text{ gün}$$

$$\mathbf{26.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 41 - 42 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 2 = 28,89 \text{ gün}$$

$$\mathbf{27.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 47 - 51 = 17 + 4,89 + 2 = 23,89 \text{ gün}$$

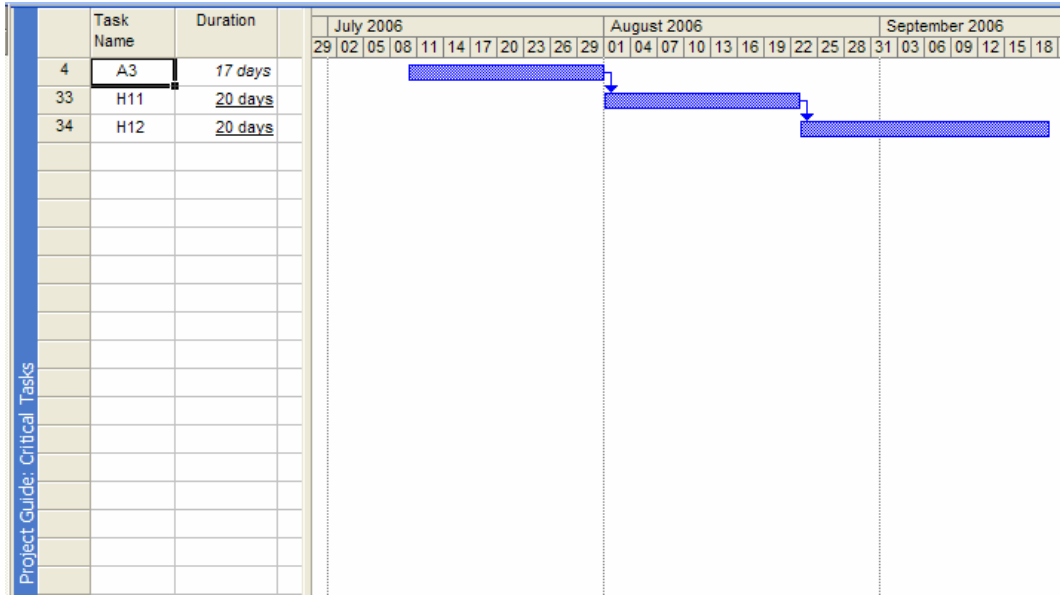
$$\mathbf{28.Yol} \quad : 0 - 6 - 19 - 51 = 5 + 2 = 7 \text{ gün}$$

$$\mathbf{29.Yol} \quad : 0 - 6 - 8 - 21 - 44 - 46 - 51 = 5 + 3 + 1 = 9 \text{ gün}$$

$$\mathbf{30.Yol} \quad : 0 - 6 - 8 - 21 - 45 - 46 - 51 = 5 + 3 + 1 + 4 = 13 \text{ gün}$$

- 31.Yol** : $0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 36 - 51 = 5 + 7 + 7 + 2 = 21$ gün
- 32.Yol** : $0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = 5 + 7 + 7 + 5 + 2 + 2 + 2 = 30$ gün
- 33.Yol** : $0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 41 - 42 - 51 = 5 + 7 + 7 + 5 + 2 = 26$ gün
- 34.Yol** : $0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 47 - 51 = 5 + 7 + 7 + 2 = 21$ gün
- 35.Yol** : $0 - 5 - 11 - 15 - 51 = 19 + 5 + 15 = 39$ gün
- 36.Yol** : $0 - 5 - 11 - 44 - 46 - 51 = 19 + 5 = 24$ gün
- 37.Yol** : $0 - 5 - 11 - 45 - 46 - 51 = 19 + 5 + 4 = 28$ gün
- 38.Yol** : $0 - 7 - 14 - 44 - 46 - 51 = 6,89 + 10,89 = 17,78$ gün
- 39.Yol** : $0 - 7 - 14 - 45 - 46 - 51 = 6,89 + 10,89 + 4 = 21,78$ gün
- 40.Yol** : $0 - 7 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = 6,89 + 2 + 2 + 2 = 12,89$ gün
- 41.Yol** : $0 - 7 - 41 - 42 - 51 = 6,89 + 2 = 8,89$ gün
- 42.Yol** : $0 - 7 - 47 - 51 = 6,89$ gün
- 43.Yol** : $0 - 7 - 12 - 13 - 51 = 6,89 + 1 + 2 = 9,89$ gün

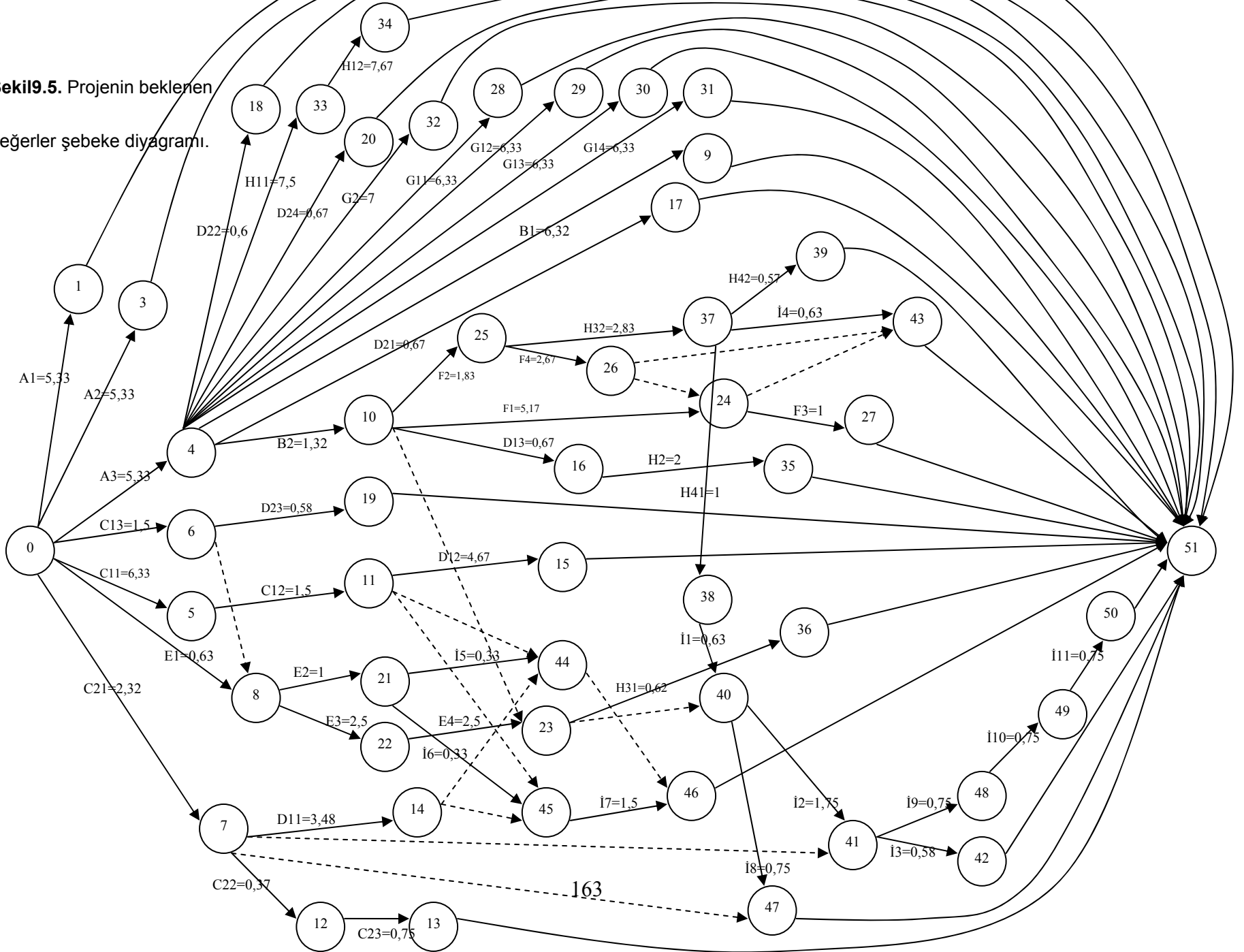
Şekil 5.4'ten de görülebileceği gibi proje diyagramının kritik yolu 4.yol olan ve 57 güne tekabül eden **A3-H11-H12** yoludur.



Şekil 9.4. Projenin kritik yolunun gösterimi (4.yol olan ve 57 güne tekabül eden **A3-H11-H12** yolu).

Her bir faaliyetin bulunmuş olan beklenen değerleri her yolda ayrı ayrı toplanarak her bir yola ait toplam beklenen değerler hesaplanmış olur (Bkz. Şekil 9)

Şekil9.5. Projenin beklenen değerler şebeke diyagramı.



Projeye PERT'in uygulanmasıyla, projenin tamamlanma süresi (A3-H11-H12 = 5,33 + 7,5 + 7,67 = 20,5 gün) 20,5 gün olur. Bu faaliyetlerde oluşacak herhangi bir aksamaya tüm projede bir aksamaya neden olabilir.

Projenin kritik yolu dikkate alınarak, gecikme sürelerinin bulunması ise Şekil 9.6'daki şekilden görülmektedir. Gecikme süreleri ile birlikte ise Tablo 9.3'de gösterilmiştir. Tabloda gecikme sürelerini bulurken EES (en erken başlama süresi), EEF (en erken bitme süresi), EGS (en geç başlama süresi) ve EGF (en geç bitme süresi) kısaltmaları kullanılmıştır.

Tablo 9.3. Faaliyetlerin en erken başlama, en erken bitiş, en geç başlama ve en geç bitiş süreleri ile gecikme süreleri (beklenen değerlerle).

Temel Faaliyetler ve Alt Faaliyetler	EES (En Erken Başlama) (Gün)	EEF (En Erken Bitiş) (Gün)	EGS (En Geç Başlama) (Gün)	EGF (En Geç Bitiş) (Gün)	Beklenen Süreler (Gün) (μ)	Gecikme Süreleri (EGF – EEF)
A1	0	5,33	0	20,5	5,333	15,17
A2	0	5,33	0	20,5	5,333	15,17
A3	0	5,33	0	5,33	5,333	0
B1	5,33	11,65	5,33	20,5	6,315	8,85
B2	5,33	6,65	5,33	10,21	1,315	3,56
C11	0	6,33	0	14,33	6,333	8
C12	6,33	7,83	14,33	15,83	1,500	8
C13	0	1,5	0	11,5	1,500	10
C21	0	2,32	0	15,52	2,315	13,2
C22	2,32	2,69	15,52	19,75	0,367	17,06
C23	2,69	3,44	19,75	20,5	0,750	17,06
D11	2,32	5,8	15,52	19	3,482	13,2
D12	7,83	12,5	15,83	20,5	4,667	8
D13	6,65	7,32	10,21	18,5	0,667	11,18
D21	5,33	6	5,33	20,5	0,667	14,5
D22	5,33	5,93	5,33	20,5	0,600	14,57
D23	1,5	2,08	11,5	20,5	0,583	18,42
D24	5,33	6	5,33	20,5	0,617	14,5
E1	0	1,5	0	11,5	0,633	10
E2	1,5	2,5	11,5	18,67	1,000	16,17
E3	1,5	4	11,5	14	2,500	10
E4	4	6,65	14	16,5	2,500	9,85
F1	6,65	11,82	10,21	19,5	5,167	7,68
F2	6,65	8,48	10,21	12,04	1,833	3,56
F3	11,82	17,32	19,5	20,5	1,000	3,18
F4	8,48	11,15	12,04	19,5	2,667	8,35
G11	5,33	11,66	5,33	20,5	6,333	8,84
G12	5,33	11,66	5,33	20,5	6,333	8,84
G13	5,33	11,66	5,33	20,5	6,333	8,84

<i>G14</i>	<i>5,33</i>	<i>11,66</i>	<i>5,33</i>	<i>20,5</i>	<i>6,333</i>	<i>8,84</i>
<i>G2</i>	<i>5,33</i>	<i>12,33</i>	<i>5,33</i>	<i>20,5</i>	<i>7,000</i>	<i>8,17</i>
<i>H11</i>	<i>5,33</i>	<i>12,83</i>	<i>5,33</i>	<i>12,83</i>	<i>7,500</i>	<i>0</i>
<i>H12</i>	<i>12,83</i>	<i>20,5</i>	<i>12,83</i>	<i>20,5</i>	<i>7,667</i>	<i>0</i>
<i>H2</i>	<i>7,32</i>	<i>9,32</i>	<i>18,5</i>	<i>20,5</i>	<i>2,000</i>	<i>11,18</i>
<i>H31</i>	<i>6,65</i>	<i>7,27</i>	<i>16,5</i>	<i>20,5</i>	<i>0,617</i>	<i>13,23</i>
<i>H32</i>	<i>8,48</i>	<i>11,31</i>	<i>12,04</i>	<i>14,87</i>	<i>2,833</i>	<i>3,56</i>
<i>H41</i>	<i>11,31</i>	<i>12,31</i>	<i>14,87</i>	<i>15,87</i>	<i>1,000</i>	<i>3,56</i>
<i>H42</i>	<i>11,31</i>	<i>11,88</i>	<i>14,87</i>	<i>20,5</i>	<i>0,567</i>	<i>8,62</i>
<i>I11</i>	<i>12,31</i>	<i>12,94</i>	<i>15,87</i>	<i>16,5</i>	<i>0,633</i>	<i>3,56</i>
<i>I12</i>	<i>12,94</i>	<i>14,69</i>	<i>16,5</i>	<i>18,25</i>	<i>1,750</i>	<i>3,56</i>
<i>I13</i>	<i>14,69</i>	<i>15,27</i>	<i>18,25</i>	<i>20,5</i>	<i>0,583</i>	<i>5,23</i>
<i>I14</i>	<i>11,31</i>	<i>11,94</i>	<i>14,87</i>	<i>20,5</i>	<i>0,633</i>	<i>8,56</i>
<i>I15</i>	<i>2,5</i>	<i>7,83</i>	<i>18,67</i>	<i>20,5</i>	<i>0,333</i>	<i>12,67</i>
<i>I16</i>	<i>2,5</i>	<i>7,83</i>	<i>18,67</i>	<i>19</i>	<i>0,333</i>	<i>11,17</i>
<i>I17</i>	<i>7,83</i>	<i>9,33</i>	<i>19</i>	<i>20,5</i>	<i>1,500</i>	<i>11,17</i>
<i>I18</i>	<i>12,94</i>	<i>13,69</i>	<i>16,5</i>	<i>20,5</i>	<i>0,750</i>	<i>6,81</i>
<i>I19</i>	<i>14,69</i>	<i>15,44</i>	<i>18,25</i>	<i>19</i>	<i>0,750</i>	<i>3,56</i>
<i>I110</i>	<i>15,44</i>	<i>16,19</i>	<i>19</i>	<i>19,75</i>	<i>0,750</i>	<i>3,56</i>
<i>I111</i>	<i>16,19</i>	<i>19,94</i>	<i>19,75</i>	<i>20,5</i>	<i>0,750</i>	<i>0,56</i>

Şekil 9.6. Faaliyetlerin en erken

başlama, en erken bitiş,

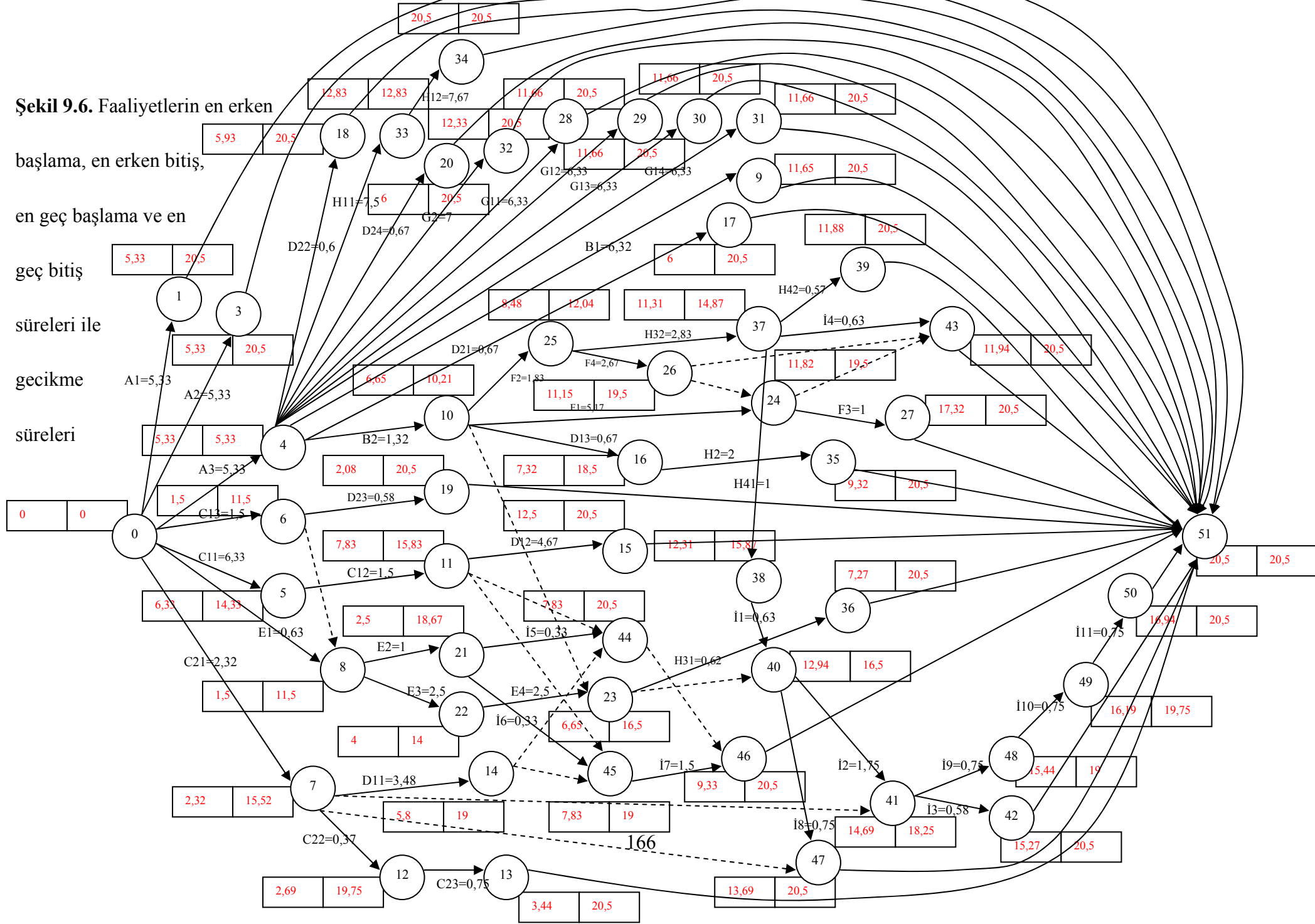
en geç başlama ve en

geç bitiş

süreleri ile

gecikme

süreleri



Şekil 9.6’da görüldüğü gibi gecikme süresi sıfır (0) olan faaliyetler **A3, H11 ve H12** faaliyetleridir. Bu faaliyetler projemizdeki kritik yolu ifade etmektedir.

Tablo 9.3’te yer alan gecikme sütunundaki sayılar, projenin bitirilmesi için gerekli olan 20,5 günü geçirmeden her bir faaliyetin ne kadar geç başlayabileceğini göstermektedir. Örneğin G2 ve H2 faaliyeti arasındaki 8,17 günlük gecikme projenin beklenen zamanda tamamlanma süresini etkilemeyecektir. Yine aynı şekilde F4 faaliyetinin 8,35 güne kadar geç başlaması, H31 faaliyetinin 13,23 güne kadar geç başlaması projenin aksamasına neden olmayacaktır.

Gecikme süreleri aynı zamanda projenin aksamaması için bir faaliyetin en geç bitirilebileceği süreyi göstermektedir. Bu değerın sıfır (0) olması, faaliyetin istenildiği gibi gerçekleştirilebileceğini, pozitif olması projenin önünde gidildiğini (planın ilerisinde olduğunu), negatif olması da faaliyetin planlanan gidişatın gerisinde olduğunu ve bunun için de gerekli önlemlerin alınması gerektiğini işaret etmektedir.

Projede en çok gecikme süresine sahip olan faaliyet 18,42 gün ile D23 faaliyetidir. Sonra sırasıyla 17,06 gün ve yine 17,06 gün ile C22 ve C23 faaliyeti gelmektedir. 16,17 gün ile de E2 faaliyeti bunları takip etmektedir. Bu faaliyetler diğer faaliyetlere göre daha çok gecikme süresine sahip olduğundan, bu faaliyetlerden diğer faaliyetlere, özellikle kritik olan faaliyetlere, zaman ve işgücü şekilde kaynak aktarımının yapılması mümkündür. Tabii burada o faaliyette özellikle işgücünün olması gerekir ki o faaliyete gecikme süresi uzun olan faaliyetlerden kaynak aktarımı yapılabilsin. A, C1, H, G ve İ kod numarası ile başlayan faaliyetler özellikle malzeme ve işgücüne dayalı işler olduğu için bu faaliyetlere işgücü kaynak aktarımı yapılabilir.

9.5. Proje Faaliyetlerinin ve Projenin Toplam Maliyeti

Projedeki her bir faaliyet için maliyetler ayrı ayrı Tablo 9.4’te verilmiştir. Faaliyetlerde malzeme, işgücü, nakliye ve genel giderler olmak üzere dört ayrı maliyet kalemi ele alınmıştır. Gider kalemleri tablodan da görüleceği gibi bazı kalemlerde varken diğer kalemlerde yoktur. Mesela B1 ve B2 faaliyeti için sadece nakliye ve genel gider kalemi mevcuttur. Genellikle tüm faaliyetler tek tek incelendiğinde maliyet kalemlerinin özellikle işgücü, malzeme ve genel giderden oluştuğu görülmektedir.

Nakliye gideri ise o kadar sık görülmeyen bir gider kalemidir. Yani projenin tamamlanmasında üşgücü, malzeme ve genel gider kalemlerinin çok önemli bir yeri vardır. Faaliyet maliyetleri arasında en fazla maliyete sahip faaliyetin C11 faaliyeti ile 22.440 YTL olduğu görülmektedir. Eğer bu faaliyet maliyetinde önemli bir azalma sağlanabilirse, projenin toplam maliyetinde önemli bir düşüş yakalanabilir ve projeden elde edilecek kar da o derecede maksimize edilebilir. C11 faaliyetinin ise kritik yörüngede olmamış olması projenin maliyetini düşürmek için önemli bir fırsattır. Aynı süre ile proje maliyeti düşürülebilir.

9.6. Projedeki Her Yolun Gerçekleşme Olasılığının Hesaplanması

Projede bulunan yolların yüzde kaç olasılıkla tespit edilen sürede veya daha kısa sürelerde tamamlanabileceğini bulmak için özellikle her yolun standart sapması hesaplanmıştır. Bunun için Tablo 9.2'deki standart sapma değerlerinden faydalanacağız. Standart sapma değerleri toplamı aşağıdaki gibidir.

$$\mathbf{1.Yol: 0 - 1 - 51 = A1 = 2,167 \text{ gün}}$$

$$\mathbf{2.Yol: 0 - 3 - 51 = A2 = 2,167 \text{ gün}}$$

$$\mathbf{3.Yol: 0 - 4 - 18 - 51 = A3 - D22 = 2,167 + 0,233 = 2,4 \text{ gün}}$$

$$\mathbf{4.Yol: 0 - 4 - 33 - 34 - 51 = A3 - H11 - H12 = 0,233 + 1,667 + 1,667 = 3,567 \text{ gün}}$$

$$\mathbf{5.Yol: 0 - 4 - 20 - 51 = A3 - D24 = 2,167 + 0,25 = 2,417 \text{ gün}}$$

$$\mathbf{6.Yol: 0 - 4 - 32 - 51 = A3 - G2 = 2,167 + 2,167 = 4,334 \text{ gün}}$$

$$\mathbf{7.Yol: 0 - 4 - 28 - 51 = A3 - G11 = 2,167 + 2,5 = 4,667 \text{ gün}}$$

$$\mathbf{8.Yol: 0 - 4 - 29 - 51 = A3 - G12 = 2,167 + 2,5 = 4,667 \text{ gün}}$$

$$\mathbf{9.Yol: 0 - 4 - 30 - 51 = A3 - G13 = 2,167 + 2,667 = 4,834 \text{ gün}}$$

$$10.Yol : 0 - 4 - 31 - 51 = A3 - G14 = 2,167 + 2,667 = 4,834 \text{ gün}$$

$$11.Yol : 0 - 4 - 9 - 51 = A3 - B1 = 2,167 + 1,482 = 3,649 \text{ gün}$$

$$12.Yol : 0 - 4 - 17 - 51 = A3 - D21 = 2,167 + 0,217 = 2,384 \text{ gün}$$

$$13.Yol : 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 39 - 51 = A3 - B2 - F2 - H32 - H42 = \\ = 2,167 + 0,648 + 0,5 + 0,833 + 0,267 = 4,415 \text{ gün}$$

$$14.Yol : 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 43 - 51 = A3 - B2 - F2 - H32 - İ4 = \\ = 2,167 + 0,648 + 0,5 + 0,833 + 0,25 = 4,398 \text{ gün}$$

$$15.Yol : 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = A3 - \\ B2 - F2 - H32 - H41 - İ1 - İ2 - İ9 - İ10 - İ11 = \\ = 2,167 + 0,648 + 0,5 + 0,833 + 0,333 + 0,25 + 0,5 + 0,167 + 0,167 + 0,167 \\ = 5,732 \text{ gün}$$

$$16.Yol : 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 41 - 42 - 51 = A3 - B2 - F2 - \\ H32 - H41 - İ1 - İ2 - İ3 = 2,167 + 0,648 + 0,5 + 0,833 + 0,333 + 0,25 + 0,5 + 0,25 = \\ 5,481 \text{ gün}$$

$$17.Yol : 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 47 - 51 = A3 - B2 - F2 - H32 - \\ H41 - İ1 - İ8 = \\ = 2,167 + 0,648 + 0,5 + 0,833 + 0,333 + 0,25 + 0,167 = 4,898 \text{ gün}$$

$$18.Yol : 0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 24 - 27 - 51 = A3 - B2 - F2 - F4 - F3 = \\ = 2,167 + 0,648 + 0,5 + 0,833 + 0,333 = 4,481 \text{ gün}$$

Tablo 9.4. Her bir faaliyete ait maliyet kalemleri ve maliyet toplamı.

Temel Faaliyetler ve Alt Faaliyetler	Öncelik İlişkileri	Faaliyetin Toplam Süresi (Gün)	Faaliyetin Toplam Maliyeti (YTL)	Faaliyet için Kullanılan Kaynaklar
A	-	17	4.000	
A1	-	17	2.250	İşgücü + malzeme + genel gider
A2	-	17	1.000	İşgücü + malzeme + genel gider
A3	-	17	750	İşgücü + malzeme + genel gider
B	-	28,89	2.250	
B1	A3	16,89	1.750	Nakliye + genel gider
B2	A3	4,89	500	Nakliye + genel gider
C	-	24,89	27.453,50	
C1	-	24,89	26.160	
C11	-	19	22.440	İşgücü + malzeme + genel gider
C12	C11	5	1.560	İşgücü + malzeme + genel gider
C13	-	5	2.160	İşgücü + malzeme + genel gider
C2	-	9,89	1.293,50	
C21	-	6,89	646	İşgücü + malzeme + genel gider
C22	C21	1	312,50	İşgücü + malzeme + genel gider
C23	C22	2	335	İşgücü + malzeme + genel gider
D	-	31,89	20.070	
D1	-	26,89	18.575	
D11	C21	10,89	16.000	İşgücü + malzeme + genel gider
D12	C12	15	2.125	İşgücü + malzeme + genel gider
D13	B2	2	450	İşgücü + malzeme + genel gider
D2	-	14,89	1.495	
D21	A3	2	400	İşgücü + malzeme + genel gider
D22	A3	2	150	İşgücü + malzeme + genel gider
D23	C13	2	625	İşgücü + malzeme + genel gider
D24	A3	2	320	İşgücü + malzeme + genel gider
E	-	30,89	0	
E1	-	2	0	İşgücü + malzeme + genel gider
E2	E1, C13	3	0	İşgücü + malzeme + genel gider
E3	E1	7	0	İşgücü + malzeme + genel gider
E4	E3, E1	7	0	İşgücü + malzeme + genel gider
F	-	27,78	4.214	
F1	B2	13	2.500	İşgücü + malzeme + genel gider
F2	E4, B2	5	900	İşgücü + malzeme + genel gider
F3	F1, F4	3	400	İşgücü + malzeme + genel gider
F4	F2	8	414	İşgücü + malzeme + genel gider
G	-	20	17.776,80	
G1	-	20	16.984,80	
G11	A3	20	8.402,40	İşgücü + malzeme + genel gider
G12	A3	20	4.089,60	İşgücü + malzeme + genel gider
G13	A3	20	1.915,20	İşgücü + malzeme + genel gider
G14	A3	20	2.577,60	İşgücü + malzeme + genel gider
G2	A3	20	792	İşgücü + malzeme + genel gider
H	-	49,78	19.790	
H1	-	40,78	13.230	
H11	A3	20	7.000	İşgücü + malzeme + genel gider
H12	H11	20	6.230	İşgücü + malzeme + genel gider
H2	D13, C23	6	3.920	İşgücü + malzeme + genel gider
H3	-	20	1.704	
H31	E4	2	1.200	İşgücü + malzeme + genel gider
H32	F2	8	504	İşgücü + malzeme + genel gider
H4	-	3	936	
H41	H32	3	516	İşgücü + malzeme + genel gider
H42	H32	2	420	İşgücü + malzeme + genel gider
İ (1.Alternatif)	-	22,78	12.195	
İ1	-	5	12.195	
İ11	H41, E4	2	1.650	İşgücü + malzeme + genel gider
İ12	İ11, C21	5	3.125	İşgücü + malzeme + genel gider
İ13	İ12	2	510	İşgücü + malzeme + genel gider
İ14	H32, F4, F1	2	840	İşgücü + malzeme + genel gider
İ15	E2, D11, C12	1	100	İşgücü + malzeme + genel gider
İ16	E2, D11, C12	1	100	İşgücü + malzeme + genel gider
İ17	İ16, İ15	4	1.120	İşgücü + malzeme + genel gider
İ18	İ1, C21	2	480	İşgücü + malzeme + genel gider
İ19	İ2	2	2.400	İşgücü + malzeme + genel gider
İ110	İ19	2	550	İşgücü + malzeme + genel gider
İ111	İ110	2	1.320	İşgücü + malzeme + genel gider
İİ (2.Alternatif)	-	22,78	9.890	

İİ1	-	5	9.890	
İİ11	H41, E4	2	1.650	İşgücü + malzeme + genel gider
İİ12	İİ11, C21	5	3.125	İşgücü + malzeme + genel gider
İİ13	İİ12	2	510	İşgücü + malzeme + genel gider
İİ14	H32, F4, F1	2	840	İşgücü + malzeme + genel gider
İİ15	E2, D11, C12	1	100	İşgücü + malzeme + genel gider
İİ16	E2, D11, C12	1	100	İşgücü + malzeme + genel gider
İİ17	İİ16; İİ15	4	515	İşgücü + malzeme + genel gider
İİ18	İİ1, C21	2	475	İşgücü + malzeme + genel gider
İİ19	İİ2	2	1.400	İşgücü + malzeme + genel gider
İİ110	İİ19	2	625	İşgücü + malzeme + genel gider
İİ111	İİ110	2	550	İşgücü + malzeme + genel gider

19.Yol : $0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 24 - 43 - 51 = A3 - B2 - F2 - F4 =$

$= 2,167 + 0,648 + 0,5 + 0,833 = 4,148$ gün

20.Yol : $0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 43 - 51 = A3 - B2 - F2 - F4 = 2,167 + 0,648 + 0,5 + 0,833 =$

$= 4,148$ gün

21.Yol : $0 - 4 - 10 - 24 - 27 - 51 = A3 - B2 - F1 - F3 = 2,167 + 0,648 + 0,833 + 0,333 =$

$= 3,981$ gün

22.Yol : $0 - 4 - 10 - 24 - 43 - 51 = A3 - B2 - F1 = 2,167 + 0,648 + 0,833 = 3,648$ gün

23.Yol : $0 - 4 - 10 - 16 - 35 - 51 = A3 - B2 - D13 - H2 = 2,167 + 0,648 + 0,217 + 0,667 =$

$= 3,699$ gün

24.Yol : $0 - 4 - 10 - 23 - 36 - 51 = A3 - B2 - H31 = 2,167 + 0,648 + 0,25 = 3,065$ gün

25.Yol : $0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = A3 - B2 - İ2 - İ9 - İ10 - İ11 =$

$$= 2,167 + 0,648 + 0,5 + 0,167 + 0,167 + 0,167 = 3,816 \text{ gün}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{26.Yol} & : 0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 41 - 42 - 51 = A3 - B2 - İ2 - İ3 = 2,167 \\ & + 0,648 + 0,5 + 0,25 = \\ & = 3,565 \text{ gün} \end{aligned}$$

$$\mathbf{27.Yol} : 0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 47 - 51 = A3 - B2 - İ8 = 2,167 + 0,648 + 0,167 = 2,982 \text{ gün}$$

$$\mathbf{28.Yol} : 0 - 6 - 19 - 51 = C13 - D23 = 0,667 + 0,25 = 0,917 \text{ gün}$$

$$\mathbf{29.Yol} : 0 - 6 - 8 - 21 - 44 - 46 - 51 = C13 - E2 - İ5 = 0,667 + 0,333 + 0,117 = 1,117 \text{ gün}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{30.Yol} & : 0 - 6 - 8 - 21 - 45 - 46 - 51 = C13 - E2 - İ6 - İ7 = 0,667 + \\ & 0,333 + 0,117 + 0,333 = \\ & = 1,45 \text{ gün} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{31.Yol} & : 0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 36 - 51 = C13 - E3 - E4 - H31 = 0,667 + \\ & 0,667 + 0,667 + 0,25 = \\ & = 2,251 \text{ gün} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{32.Yol} & : 0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = C13 - E3 - \\ & E4 - İ2 - İ9 - İ10 - İ11 = 0,667 + 0,667 + 0,667 + 0,5 + 0,167 + 0,167 + 0,167 = \\ & 3,002 \text{ gün} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{33.Yol} & : 0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 41 - 42 - 51 = C13 - E3 - E4 - İ2 - \\ & İ3 = \\ & = 0,667 + 0,667 + 0,667 + 0,5 + 0,25 = 2,751 \text{ gün} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{34.Yol} & : 0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 47 - 51 = C13 - E3 - E4 - İ8 = 0,667 \\ & + 0,667 + 0,667 + 0,167 = \end{aligned}$$

$$= 2,168 \text{ gün}$$

$$\mathbf{35.Yol} : 0 - 5 - 11 - 15 - 51 = 19 + 5 + 15 = C11 - C12 - D12 = 2,333 + 0,667 + 1,833 =$$

$$= 4,833 \text{ gün}$$

$$\mathbf{36.Yol} : 0 - 5 - 11 - 44 - 46 - 51 = C11 - C12 = 2,333 + 0,667 = 3 \text{ gün}$$

$$\mathbf{37.Yol} : 0 - 5 - 11 - 45 - 46 - 51 = C11 - C12 - İ7 = 2,333 + 0,667 + 0,333 = 3,333 \text{ gün}$$

$$\mathbf{38.Yol} : 0 - 7 - 14 - 44 - 46 - 51 = C21 - D11 = 0,648 + 1,315 = 1,963 \text{ gün}$$

$$\mathbf{39.Yol} : 0 - 7 - 14 - 45 - 46 - 51 = C21 - D11 - İ7 = 0,648 + 1,315 + 0,333 = 2,296 \text{ gün}$$

$$\mathbf{40.Yol} : 0 - 7 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = C21 - İ9 - İ10 - İ11 = 0,648 + 0,167 + 0,167 + 0,167 =$$

$$= 1,149 \text{ gün}$$

$$\mathbf{41.Yol} : 0 - 7 - 41 - 42 - 51 = C21 - İ3 = 0,648 + 0,25 = 0,898 \text{ gün}$$

$$\mathbf{42.Yol} : 0 - 7 - 47 - 51 = C21 = 0,648 \text{ gün}$$

$$\mathbf{43.Yol} : 0 - 7 - 12 - 13 - 51 = C21 - C22 - C23 = 0,648 + 0,083 + 0,167 = 0,898 \text{ gün}$$

Çalışmada bundan sonra her yolu tek tek yazmak yerine, 1.yol, 2.yol gibi tanımlamalar kullanılacaktır.

Projede 43 yolun standart sapması hesaplandığında, projenin kritik yolu değişmektedir. 4.yol kritik yol değildir artık. Yeni kritik yol 15.yoldur. 5,732 günlük standart sapma ile 15.yol, projenin yeni kritik yolunu göstermektedir. Ayrıca 5,481

günlük standart sapma ile 16.yol kritik yola en yakın yoldur ki bunu yarı kritik yol olarak adlandıracağız.

Kritik yolda meydana gelebilecek herhangi bir gecikme tüm projenin aksamasına neden olabilir. Projeyi yönetirken sadece kritik yol ve kritik faaliyetler üzerinde yoğunlaşıp yarı kritik yolu ihmal etmemiz projenin gecikmesine neden olabileceğinden, yarı kritik yol üzerindeki faaliyetleri de bir o kadar dikkatli incelemeliyiz.

9.7. Faaliyetlerin Gerçekleşme Olasılıklarının Hesaplanması

Tablo 9.5'te yarı kritik ve diğer yollar için standart sapmalar ve gerçekleşme olasılıkları verilmiştir. Projede bulunan yolların yüzde kaç olasılıkla tespit edilen sürede veya daha kısa sürelerde tamamlanabileceğini bulmak için öncelikle her yolun standart sapması hesaplanmıştır. Olasılıklar ise $Z = (T - T_c) / V_c$ formülü ile hesaplanmıştır. Formüldeki notasyonlar şöyledir:

Z : Standart normal dağılım tablosundaki z değeri

T : Projenin tamamlanma süresi = 57 gün

T_c : İlgili faaliyetin tamamlanma süresi (gün)

V_c : İlgili faaliyetin standart sapması (gün)

Projede bulunan yolların beklenen tamamlanma sürelerini bulmak için özellikle her yolun beklenen değeri hesaplanmıştır. Bunun için Tablo 9.2'deki beklenen değerlerinden faydalanacağız. Projenin toplam beklenen değeri ise 20,5 gün idi. Yukarıdaki formülde yerine konulduğunda her bir faaliyete ilişkin gerçekleşme olasılıkları Tablo 9.5'teki gibi olur. Her bir yola ait beklenen değerlerin toplamı ise aşağıdaki gibidir.

1.Yol: $0 - 1 - 51 = A1 = 5,333$ gün

2.Yol: $0 - 3 - 51 = A2 = 5,333$ gün

$$\mathbf{3.Yol:} \ 0 - 4 - 18 - 51 = A3 - D22 = 5,333 + 0,6 = 5,933 \text{ gün}$$

$$\mathbf{4.Yol:} \ 0 - 4 - 33 - 34 - 51 = A3 - H11 - H12 = 5,333 + 7,5 + 7,667 = \mathbf{20,5}$$

gün

$$\mathbf{5.Yol:} \ 0 - 4 - 20 - 51 = A3 - D24 = 5,333 + 0,617 = 5,95 \text{ gün}$$

$$\mathbf{6.Yol:} \ 0 - 4 - 32 - 51 = A3 - G2 = 5,333 + 7 = 12,333 \text{ gün}$$

$$\mathbf{7.Yol:} \ 0 - 4 - 28 - 51 = A3 - G11 = 5,333 + 6,333 = 11,666 \text{ gün}$$

$$\mathbf{8.Yol:} \ 0 - 4 - 29 - 51 = A3 - G12 = 5,333 + 6,333 = 11,666 \text{ gün}$$

$$\mathbf{9.Yol:} \ 0 - 4 - 30 - 51 = A3 - G13 = 5,333 + 6,333 = 11,666 \text{ gün}$$

$$\mathbf{10.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 31 - 51 = A3 - G14 = 5,333 + 6,333 = 11,666 \text{ gün}$$

$$\mathbf{11.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 9 - 51 = A3 - B1 = 5,333 + 6,315 = 11,648 \text{ gün}$$

$$\mathbf{12.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 17 - 51 = A3 - D21 = 5,333 + 0,667 = 6 \text{ gün}$$

$$\mathbf{13.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 39 - 51 = A3 - B2 - F2 - H32 - H42 =$$

$$= 5,333 + 1,315 + 1,833 + 2,833 + 0,567 = 11,881 \text{ gün}$$

$$\mathbf{14.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 43 - 51 = A3 - B2 - F2 - H32 - İ4 =$$

$$= 5,333 + 1,315 + 1,833 + 2,833 + 0,633 = 11,947 \text{ gün}$$

$$\mathbf{15.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = A3 -$$

$$B2 - F2 - H32 - H41 - İ1 - İ2 - İ9 - İ10 - İ11 =$$

$$= 5,333 + 1,315 + 1,833 + 2,833 + 1 + 0,633 + 1,75 + 0,75 + 0,75 + 0,75 =$$

$$16,947 \text{ gün}$$

$$\mathbf{16.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 41 - 42 - 51 = A3 - B2 - F2 -$$

$$H32 - H41 - İ1 - İ2 - İ3 =$$

$$= 5,333 + 1,315 + 1,833 + 2,833 + 1 + 0,633 + 1,75 + 0,583 = 15,28 \text{ gün}$$

$$\mathbf{17.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 47 - 51 = A3 - B2 - F2 - H32 - H41 - \dot{I}1 - \dot{I}8 =$$

$$= 5,333 + 1,315 + 1,833 + 2,833 + 1 + 0,633 + 0,75 = 13,697 \text{ gün}$$

$$\mathbf{18.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 24 - 27 - 51 = A3 - B2 - F2 - F4 - F3 =$$

$$= 5,333 + 1,315 + 1,833 + 2,667 + 1 = 12,148 \text{ gün}$$

$$\mathbf{19.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 24 - 43 - 51 = A3 - B2 - F2 - F4 =$$

$$= 5,333 + 1,315 + 1,833 + 2,667 = 11,148 \text{ gün}$$

$$\mathbf{20.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 43 - 51 = A3 - B2 - F2 - F4 = 5,333 + 1,315 + 1,833 + 2,667 =$$

$$= 11,148 \text{ gün}$$

$$\mathbf{21.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 24 - 27 - 51 = A3 - B2 - F1 - F3 = 5,333 + 1,315 + 5,167 + 1 = 12,815 \text{ gün}$$

$$\mathbf{22.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 24 - 43 - 51 = A3 - B2 - F1 = 5,333 + 1,315 + 5,167 = 11,815 \text{ gün}$$

$$\mathbf{23.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 16 - 35 - 51 = A3 - B2 - D13 - H2 = 5,333 + 1,315 + 0,667 + 2 = 9,315 \text{ gün}$$

$$\mathbf{24.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 23 - 36 - 51 = A3 - B2 - H31 = 5,333 + 1,315 + 0,617 = 7,265 \text{ gün}$$

$$\mathbf{25.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = A3 - B2 - \dot{I}2 - \dot{I}9 - \dot{I}10 - \dot{I}11 =$$

$$= 5,333 + 1,315 + 1,75 + 0,75 + 0,75 + 0,75 = 10,648 \text{ gün}$$

$$\mathbf{26.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 41 - 42 - 51 = A3 - B2 - \dot{I}2 - \dot{I}3 =$$

$$= 5,333 + 1,315 + 1,75 + 0,583 = 8,981 \text{ gün}$$

27.Yol : $0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 47 - 51 = A3 - B2 - İ8 = 5,333 + 1,315 + 0,75 = 7,398$ gün

28.Yol : $0 - 6 - 19 - 51 = C13 - D23 = 0,583 + 1,5 = 2,083$ gün

29.Yol : $0 - 6 - 8 - 21 - 44 - 46 - 51 = C13 - E2 - İ5 = 0,583 + 1 + 0,333 = 1,916$ gün

30.Yol : $0 - 6 - 8 - 21 - 45 - 46 - 51 = C13 - E2 - İ6 - İ7 = 0,583 + 1 + 0,333 + 1,5 = 3,416$ gün

31.Yol : $0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 36 - 51 = C13 - E3 - E4 - H31 = 0,583 + 2,5 + 2,5 + 0,617 =$
 $= 6,2$ gün

32.Yol : $0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = C13 - E3 - E4 - İ2 - İ9 - İ10 - İ11 =$
 $= 0,583 + 2,5 + 2,5 + 1,75 + 0,75 + 0,75 + 0,75 = 9,583$ gün

Tablo 9.5. Tüm yolların gerçekleşme olasılıkları.

Yollar	Her Bir Yolun Beklenen Tamamlanma Süresi (Gün)	Standart Sapmalar (Gün)	Gerçekleşme Olasılıkları(%)
1.Yol	5,333	2,167	0.4999
2.Yol	5,333	2,167	0.4999
3.Yol	5,933	2,4	0.4999
4.Yol	20,5	3,567	0.0000
5.Yol	5,95	2,417	0.4999
6.Yol	12,333	4,334	0.4699
7.Yol	11,666	4,667	0.4706
8.Yol	11,666	4,667	0.4706
9.Yol	11,666	4,834	0.4664
10.Yol	11,666	4,834	0.4664
11.Yol	11,648	3,649	0.4925
12.Yol	6	2,384	0.4999
13.Yol	11,881	4,415	0.4744
14.Yol	11,947	4,398	0.4738

15.Yol	16,947	5,732	0.2324
16.Yol	15,28	5,481	0.3289
17.Yol	13,697	4,898	0.4177
18.Yol	12,148	4,481	0.4686
19.Yol	11,148	4,148	0.4878
20.Yol	11,148	4,148	0.4878
21.Yol	12,815	3,981	0.4732
22.Yol	11,815	3,648	0.4913
23.Yol	9,315	3,699	0.4987
24.Yol	7,265	3,065	0.4999
25.Yol	10,648	3,816	0.4951
26.Yol	8,981	3,565	0.4993
27.Yol	7,398	2,982	0.4999
28.Yol	2,083	0,917	0.4999
29.Yol	1,916	1,117	0.4999
30.Yol	3,416	1,45	0.4999
31.Yol	6,2	2,251	0.4999
32.Yol	9,583	3,002	0.4998
33.Yol	7,916	2,751	0.4999
34.Yol	6,333	2,168	0.4999
35.Yol	12,5	4,833	0.4515
36.Yol	7,833	3	0.4999
37.Yol	9,333	3,333	0.4995
38.Yol	5,797	1,963	0.4999
39.Yol	7,297	2,296	0.4999
40.Yol	4,565	1,149	0.4999
41.Yol	2,898	0,898	0.4999
42.Yol	2,315	0,648	0.4999
43.Yol	3,432	0,898	0.4999

33.Yol : $0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 41 - 42 - 51 = C13 - E3 - E4 - İ2 - İ3 =$

$$= 0,583 + 2,5 + 2,5 + 1,75 + 0,583 = 7,916 \text{ gün}$$

34.Yol : $0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 47 - 51 = C13 - E3 - E4 - İ8 = 0,583 + 2,5 + 2,5 + 0,75 =$

$$= 6,333 \text{ gün}$$

35.Yol : $0 - 5 - 11 - 15 - 51 = 19 + 5 + 15 = C11 - C12 - D12 = 6,333 + 1,5 + 4,667 = 12,5$ gün

36.Yol : $0 - 5 - 11 - 44 - 46 - 51 = C11 - C12 = 6,333 + 1,5 = 7,833$ gün

37.Yol : $0 - 5 - 11 - 45 - 46 - 51 = C11 - C12 - İ7 = 6,333 + 1,5 + 1,5 = 9,333$ gün

38.Yol : $0 - 7 - 14 - 44 - 46 - 51 = C21 - D11 = 2,315 + 3,482 = 5,797$ gün

39.Yol : $0 - 7 - 14 - 45 - 46 - 51 = C21 - D11 - İ7 = 2,315 + 3,482 + 1,5 = 7,297$ gün

40.Yol : $0 - 7 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = C21 - İ9 - İ10 - İ11 = 2,315 + 0,75 + 0,75 + 0,75 = 4,565$ gün

41.Yol : $0 - 7 - 41 - 42 - 51 = C21 - İ3 = 2,315 + 0,583 = 2,898$ gün

42.Yol : $0 - 7 - 47 - 51 = C21 = 2,315$ gün

43.Yol : $0 - 7 - 12 - 13 - 51 = C21 - C22 - C23 = 2,315 + 0,367 + 0,750 = 3,432$ gün

1. ve 2.yolun 2,167 günlük standart sapma ile 5,333 günde veya daha kısa sürede olma olasılığı % 49,99 (0.4999)'dur. 15.yolun ise 5,732 günlük standart sapma ile 16,947 günde veya daha kısa sürede olma olasılığı ise % 23,24 (0.2324)'tür.

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

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

Projedeki kritik yollar ve bu yolların süreleri aşağıda gösterilmiştir.

1.Yol: $0 - 1 - 51 = 17 = 17$ gün

2.Yol: $0 - 3 - 51 = 17 = 17$ gün

3.Yol: $0 - 4 - 18 - 51 = 17 + 2 = 19$ gün

4.Yol: $0 - 4 - 33 - 34 - 51 = 17 + 20 + 20 = 57$ gün (A3-H11-H12)

5.Yol: $0 - 4 - 20 - 51 = 17 + 2 = 17$ gün

6.Yol: $0 - 4 - 32 - 51 = 17 + 20 = 37$ gün

7.Yol: $0 - 4 - 28 - 51 = 17 + 20 = 37$ gün

8.Yol: $0 - 4 - 29 - 51 = 17 + 20 = 37$ gün

9.Yol: $0 - 4 - 30 - 51 = 17 + 20 = 37$ gün

10.Yol : $0 - 4 - 31 - 51 = 17 + 20 = 37$ gün

11.Yol : $0 - 4 - 9 - 51 = 17 + 16,89 = 33,89$ gün

12.Yol : $0 - 4 - 17 - 51 = 17 + 2 = 19$ gün

13.Yol : $0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 39 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 8 + 2 = 36,89$

gün

14.Yol : $0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 43 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 8 + 2 = 36,89$
gün

15.Yol : $0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 =$
 $= 17 + 4,89 + 5 + 8 + 3 + 2 + 5 + 2 + 2 + 2 = 50,89$ gün

16.Yol : $0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 41 - 42 - 51 = 17 + 4,89 + 5 +$
 $8 + 3 + 2 + 5 + 2$
 $= 46,89$ gün

17.Yol : $0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 47 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 8 + 3$
 $+ 2 + 2 = 41,89$ gün

18.Yol : $0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 24 - 27 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 8 + 3 =$
 $37,89$ gün

19.Yol : $0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 24 - 43 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 8 = 34,89$
gün

20.Yol : $0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 43 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 8 = 34,89$ gün

21.Yol : $0 - 4 - 10 - 24 - 27 - 51 = 17 + 4,89 + 13 + 3 = 37,89$ gün

22.Yol : $0 - 4 - 10 - 24 - 43 - 51 = 17 + 4,89 + 13 = 34,89$ gün

23.Yol : $0 - 4 - 10 - 16 - 35 - 51 = 17 + 4,89 + 2 + 6 = 29,89$ gün

24.Yol : $0 - 4 - 10 - 23 - 36 - 51 = 17 + 4,89 + 2 = 23,89$ gün

25.Yol : $0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = 17 + 4,89 + 5 +$
 $2 + 2 + 2 = 32,89$ gün

26.Yol : $0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 41 - 42 - 51 = 17 + 4,89 + 5 + 2 = 28,89$
gün

27.Yol : $0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 47 - 51 = 17 + 4,89 + 2 = 23,89$ gün

- 28.Yol** : $0 - 6 - 19 - 51 = 5 + 2 = 7$ gün
- 29.Yol** : $0 - 6 - 8 - 21 - 44 - 46 - 51 = 5 + 3 + 1 = 9$ gün
- 30.Yol** : $0 - 6 - 8 - 21 - 45 - 46 - 51 = 5 + 3 + 1 + 4 = 13$ gün
- 31.Yol** : $0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 36 - 51 = 5 + 7 + 7 + 2 = 21$ gün
- 32.Yol** : $0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = 5 + 7 + 7 + 5 + 2 + 2 + 2 = 30$ gün
- 33.Yol** : $0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 41 - 42 - 51 = 5 + 7 + 7 + 5 + 2 = 26$ gün
- 34.Yol** : $0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 47 - 51 = 5 + 7 + 7 + 2 = 21$ gün
- 35.Yol** : $0 - 5 - 11 - 15 - 51 = 19 + 5 + 15 = 39$ gün
- 36.Yol** : $0 - 5 - 11 - 44 - 46 - 51 = 19 + 5 = 24$ gün
- 37.Yol** : $0 - 5 - 11 - 45 - 46 - 51 = 19 + 5 + 4 = 28$ gün
- 38.Yol** : $0 - 7 - 14 - 44 - 46 - 51 = 6,89 + 10,89 = 17,78$ gün
- 39.Yol** : $0 - 7 - 14 - 45 - 46 - 51 = 6,89 + 10,89 + 4 = 21,78$ gün
- 40.Yol** : $0 - 7 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = 6,89 + 2 + 2 + 2 = 12,89$ gün
- 41.Yol** : $0 - 7 - 41 - 42 - 51 = 6,89 + 2 = 8,89$ gün
- 42.Yol** : $0 - 7 - 47 - 51 = 6,89$ gün
- 43.Yol** : $0 - 7 - 12 - 13 - 51 = 6,89 + 1 + 2 = 9,89$ gün

Projenin kritik yolları yine 57 gün ile 4.yol ve yarı kritik yolu da 50,89 gün ile 15.yol olarak görülmektedir. Projenin kritik yolunun ve faaliyetlerinin en erken ve en geç başlama ve bitiş sürelerinin hesaplanması suretiyle gecikme sürelerinden yola

çıkarak da bulabiliriz. Tablo 9.6’da en erken ve en geç başlama ve bitiş süreleri görülmektedir.

Tablo 9.6. Faaliyetlerin en erken başlama, en erken bitiş, en geç başlama ve en geç bitiş süreleri ile gecikme süreleri (normal sürelerle).

Temel Faaliyetler ve Alt Faaliyetler	EES (En Erken Başlama) (Gün)	EEF (En Erken Bitiş) (Gün)	EGS (En Geç Başlama) (Gün)	EGF (En Geç Bitiş) (Gün)	Süreler (Gün)	Gecikme Süreleri (EGF – EEF)
A1	0	17	0	57	17	0
A2	0	17	0	57	17	0
A3	0	17	0	17	17	0
B1	17	33,89	17	57	16,89	0
B2	17	21,89	17	28	4,89	0
C11	0	19	0	37	19	0
C12	19	24	37	42	5	18
C13	0	5	0	32	5	0
C21	0	6,89	0	42,11	6,89	0
C22	6,89	7,89	42,11	55	1	35,22
C23	7,89	9,89	55	57	2	47,11
D11	6,89	17,78	42,11	53	10,89	35,22
D12	24	39	42	57	15	18
D13	21,89	23,89	28	51	2	6,11
D21	17	19	17	57	2	0
D22	17	19	17	57	2	0
D23	5	7	32	57	2	27
D24	17	19	17	57	2	0
E1	0	5	0	32	2	0
E2	5	8	32	52	3	27
E3	5	12	32	39	7	27
E4	12	21,89	39	46	7	27
F1	21,89	34,89	28	54	13	6,11
F2	21,89	26,89	28	33	5	6,11
F3	34,89	37,89	54	57	3	19,11
F4	26,89	34,89	33	54	8	6,1
G11	17	37	17	57	20	0
G12	17	37	17	57	20	0
G13	17	37	17	57	20	0
G14	17	37	17	57	20	0
G2	17	37	17	57	20	0
H11	17	37	17	37	20	0
H12	37	57	37	57	20	0
H2	23,89	29,89	51	57	6	27,11
H31	21,89	23,89	46	57	2	24,11
H32	26,89	34,89	33	41	8	6,11
H41	34,89	37,89	41	44	3	6,11
H42	34,89	36,89	41	57	2	6,11
I11	37,89	39,89	41	46	2	3,11
I12	39,89	44,89	46	51	5	6,11
I13	44,89	46,89	51	57	2	6,11
I14	34,89	36,89	41	57	2	6,11
I15	39,89	44,89	46	51	1	6,11
I16	8	24	52	53	1	44
I17	24	28	53	57	4	29
I18	39,89	41,89	46	57	2	6,11
I19	44,89	46,89	51	53	2	6,11
I110	46,89	48,89	53	55	2	6,11
I111	48,89	50,89	55	57	2	6,11

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü gibi kritik faaliyetler gecikme süreleri sıfır (0) olan A3-H11-H12 faaliyetleridir.

Son olarak yapılacak işlem ise, projedeki faaliyetlerin normal maliyetlerini, hızlandırma maliyetlerini, hızlandırma sürelerini, hızlandırılabilinen sürelerini ve eğitim tespit etmektir. Hızlandırma süresi olarak, her faaliyetin ortalama beklenen süreleri kullanılmaktadır. Normal süre olarak da her faaliyetin en kötümser süresi kullanılmaktadır. Eğim ise $S = (C_h - C_n) / (D_n - D_h)$ formülü olarak çıkmaktadır. Burada,

C_h : Hızlandırma Maliyeti

C_n : Normal Maliyet

D_n : Normal Süre

D_h : Hızlandırılmış Süre

S : Eğim

Tablo 9.7. Projedeki faaliyetlerin normal süre ve maliyetleriyle hızlandırma süreleri (süre: Gün, maliyet: YTL).

Temel Faaliyetler ve Alt Faaliyetler	Normal Süre (Gün) = D_n	Normal Maliyet (YTL) = C_n	Hızlandırma Süresi = Beklenen Süreler (Gün)
A1	17	2.250	5,333
A2	17	1.000	5,333
A3	17	750	5,333
B1	16,89	1.750	6,315
B2	4,89	500	1,315
C11	19	22.440	6,333
C12	5	1.560	1,500
C13	5	2.160	1,500
C21	6,89	646	2,315
C22	1	312,50	0,367
C23	2	335	0,750
D11	10,89	16.000	3,482
D12	15	2.125	4,667
D13	2	450	0,667
D21	2	400	0,667
D22	2	150	0,600
D23	2	625	0,583

<i>D24</i>	2	320	0,617
E1	2	0	0,633
E2	3	0	1,000
E3	7	0	2,500
E4	7	0	2,500
F1	13	2.500	5,167
F2	5	900	1,833
F3	3	400	1,000
F4	8	414	2,667
<i>G11</i>	20	8.402,40	6,333
<i>G12</i>	20	4.089,60	6,333
<i>G13</i>	20	1.915,20	6,333
<i>G14</i>	20	2.577,60	6,333
G2	20	792	7,000
H11	20	7.000	7,500
H12	20	6.230	7,667
H2	6	3.920	2,000
<i>H31</i>	2	1.200	0,617
<i>H32</i>	8	504	2,833
<i>H41</i>	3	516	1,000
<i>H42</i>	2	420	0,567
<i>İ11</i>	2	1.650	0,633
<i>İ12</i>	5	3.125	1,750
<i>İ13</i>	2	510	0,583
<i>İ14</i>	2	840	0,633
<i>İ15</i>	1	100	0,333
<i>İ16</i>	1	100	0,333
<i>İ17</i>	4	1.120	1,500
<i>İ18</i>	2	480	0,750
<i>İ19</i>	2	2.400	0,750
<i>İ110</i>	2	550	0,750
<i>İ111</i>	2	1.320	0,750

olarak gösterilmektedir. Tablo 9.7’de ise projedeki faaliyetlerin normal süre ve maliyetlerle süreleri, Tablo 9.8a ve 9.8b’de ise projedeki maliyetlerin hızlandırma maliyetleri, hızlandırılabilinen süreleri ve eğimleri gösterilmektedir.

Projelerin süreleri içinde özellikle A1, A2 ve A3 faaliyeti için ayrı ayrı 3 gün hızlandırma imkanı vardır (Tablo 9.8a). Bunun için her bir faaliyet için işçilik ücreti olarak ilave 600 YTL’lik bir maliyet artışı meydana gelmektedir. Bunun dışında projenin süresinde hızlandırma imkanı bulunmamaktadır. Yine A1, A2 ve A3 faaliyetlerinin süresini 2 gün daha kısaltmakla her bir faaliyetin maliyeti sırasıyla 1.500, 1.000 ve 750 YTL artmaktadır (Tablo 9.8b). Bunun dışında başka bir hızlandırma imkanı bulunmamaktadır. Çünkü sözleşmeye göre 5 günden sonraki gecikme için ceza maliyeti doğmaktadır her geçen gün için. Bu da günlük olarak 3.000 YTL’dir.

Tablo 9.8a. Projedeki faaliyetlerin hızlandırma maliyetleri, hızlandırılabilinen süreleri ve eğimleri

Temel Faaliyetler ve Alt Faaliyetler	Hızlandırılabilinen Süre (Gün) = D_h	Hızlandırma Maliyeti (YTL) = C_h	Eğim (YTL)	Beklenen Süreler (Gün)
A1	14	2.850	200	4,833
A2	14	1.600	200	4,833
A3	14	1.350	200	4,833
B1	16,89	1.750	0	6,315
B2	4,89	500	0	1,315
C11	19	22.440	0	6,333
C12	5	1.560	0	1,500
C13	5	2.160	0	1,500
C21	6,89	646	0	2,315
C22	1	312,50	0	0,367
C23	2	335	0	0,750
D11	10,89	16.000	0	3,482
D12	15	2.125	0	4,667
D13	2	450	0	0,667
D21	2	400	0	0,667
D22	2	150	0	0,600
D23	2	625	0	0,583
D24	2	320	0	0,617
E1	2	0	0	0,633
E2	3	0	0	1,000
E3	7	0	0	2,500
E4	7	0	0	2,500
F1	13	2.500	0	5,167
F2	5	900	0	1,833
F3	3	400	0	1,000
F4	8	414	0	2,667
G11	20	8.402,40	0	6,333
G12	20	4.089,60	0	6,333
G13	20	1.915,20	0	6,333
G14	20	2.577,60	0	6,333
G2	20	792	0	7,000
H11	20	7.000	0	7,500
H12	20	6.230	0	7,667
H2	6	3.920	0	2,000
H31	2	1.200	0	0,617
H32	8	504	0	2,833
H41	3	516	0	1,000
H42	2	420	0	0,567
I11	2	1.650	0	0,633
I12	5	3.125	0	1,750
I13	2	510	0	0,583
I14	2	840	0	0,633
I15	1	100	0	0,333
I16	1	100	0	0,333
I17	4	1.120	0	1,500
I18	2	480	0	0,750
I19	2	2.400	0	0,750
I110	2	550	0	0,750
I111	2	1.320	0	0,750

Elimizdeki bu verilerle artık hızlandırma işlemi yapılabilir. Hızlandırma işlemi yaparken hızlandırma yapılacak yolda, eğimi en küçük olan faaliyet seçilir. Tablo 9.9’da hızlandırma işlemleri ve bu işlemlerin sonucunda her yolun aldığı değer görülmektedir. Tablo 9.10’da ise her bir hızlandırma işleminin sonunda proje maliyetinin alacağı değerleri göstermektedir.

Yukarıda hesaplanacak hızlandırmalar için hızlandırılabilir süreli faaliyetlerin yardımıyla hızlandırma yapacağız. Amacımız kritik yolumuz olan A3-H11-H12 yolunun en kısa süresine ve maliyetine ulaşmaktır.

Şu an itibariyle haftanın tüm günü çalışarak projenin toplam maliyeti 107.749,30 YTL’dir ve projenin bitirilme süresi de 20,5 gündür (beklenen bitme süresi). Amacımız kritik yol üzerinde zaman ve maliyet dengesini sağlayacak en uygun işlemi yerine getirmektir.

Tablo 9.8b. Projedeki faaliyetlerin hızlandırma maliyetleri, hızlandırılabilinen süreleri ve eğimleri.

Temel Faaliyetler ve Alt Faaliyetler	Hızlandırılabilinen Süre (Gün) = D_h	Hızlandırma Maliyeti (YTL) = C_h	Eğim (YTL)	Beklenen Süreler (Gün)
A1	12	3.750	214,29	4,500
A2	12	2.000	200	4,500
A3	12	1.500	150	4,500
B1	16,89	1.750	0	6,315
B2	4,89	500	0	1,315
C11	19	22.440	0	6,333
C12	5	1.560	0	1,500
C13	5	2.160	0	1,500
C21	6,89	646	0	2,315
C22	1	312,50	0	0,367
C23	2	335	0	0,750
D11	10,89	16.000	0	3,482
D12	15	2.125	0	4,667
D13	2	450	0	0,667
D21	2	400	0	0,667
D22	2	150	0	0,600
D23	2	625	0	0,583
D24	2	320	0	0,617
E1	2	0	0	0,633
E2	3	0	0	1,000
E3	7	0	0	2,500
E4	7	0	0	2,500

F1	13	2.500	0	5,167
F2	5	900	0	1,833
F3	3	400	0	1,000
F4	8	414	0	2,667
G11	20	8.402,40	0	6,333
G12	20	4.089,60	0	6,333
G13	20	1.915,20	0	6,333
G14	20	2.577,60	0	6,333
G2	20	792	0	7,000
H11	20	7.000	0	7,500
H12	20	6.230	0	7,667
H2	6	3.920	0	2,000
H31	2	1.200	0	0,617
H32	8	504	0	2,833
H41	3	516	0	1,000
H42	2	420	0	0,567
I11	2	1.650	0	0,633
I12	5	3.125	0	1,750
I13	2	510	0	0,583
I14	2	840	0	0,633
I15	1	100	0	0,333
I16	1	100	0	0,333
I17	4	1.120	0	1,500
I18	2	480	0	0,750
I19	2	2.400	0	0,750
I110	2	550	0	0,750
I111	2	1.320	0	0,750

1.Hızlandırma:

1.Yol: $0 - 1 - 51 = A1 = 4,833$ gün

2.Yol: $0 - 3 - 51 = A2 = 4,833$ gün

3.Yol: $0 - 4 - 18 - 51 = A3 - D22 = 4,833 + 0,6 = 5,433$ gün

4.Yol: $0 - 4 - 33 - 34 - 51 = A3 - H11 - H12 = 4,833 + 7,5 + 7,667 = 20$ gün

5.Yol: $0 - 4 - 20 - 51 = A3 - D24 = 4,833 + 0,617 = 5,45$ gün

6.Yol: $0 - 4 - 32 - 51 = A3 - G2 = 4,833 + 7 = 11,833$ gün

7.Yol: $0 - 4 - 28 - 51 = A3 - G11 = 4,833 + 6,333 = 11,166$ gün

$$\mathbf{8.Yol:} \ 0 - 4 - 29 - 51 = A3 - G12 = 4,833 + 6,333 = 11,166 \text{ gün}$$

$$\mathbf{9.Yol:} \ 0 - 4 - 30 - 51 = A3 - G13 = 4,833 + 6,333 = 11,166 \text{ gün}$$

$$\mathbf{10.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 31 - 51 = A3 - G14 = 4,833 + 6,333 = 11,166 \text{ gün}$$

$$\mathbf{11.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 9 - 51 = A3 - B1 = 4,833 + 6,315 = 11,148 \text{ gün}$$

$$\mathbf{12.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 17 - 51 = A3 - D21 = 4,833 + 0,667 = 5,5 \text{ gün}$$

$$\mathbf{13.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 39 - 51 = A3 - B2 - F2 - H32 - H42 =$$

$$= 4,833 + 1,315 + 1,833 + 2,833 + 0,567 = 11,381 \text{ gün}$$

$$\mathbf{14.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 43 - 51 = A3 - B2 - F2 - H32 - İ4 =$$

$$= 4,833 + 1,315 + 1,833 + 2,833 + 0,633 = 11,447 \text{ gün}$$

$$\mathbf{15.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = A3 -$$

$$B2 - F2 - H32 - H41 - İ1 - İ2 - İ9 - İ10 - İ11 =$$

$$= 4,833 + 1,315 + 1,833 + 2,833 + 1 + 0,633 + 1,75 + 0,75 + 0,75 + 0,75 =$$

$$16,447 \text{ gün}$$

$$\mathbf{16.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 41 - 42 - 51 = A3 - B2 - F2 -$$

$$H32 - H41 - İ1 - İ2 - İ3 =$$

$$= 4,833 + 1,315 + 1,833 + 2,833 + 1 + 0,633 + 1,75 + 0,583 = 14,78 \text{ gün}$$

$$\mathbf{17.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 47 - 51 = A3 - B2 - F2 - H32 -$$

$$H41 - İ1 - İ8 =$$

$$= 4,833 + 1,315 + 1,833 + 2,833 + 1 + 0,633 + 0,75 = 13,197 \text{ gün}$$

$$\mathbf{18.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 24 - 27 - 51 = A3 - B2 - F2 - F4 - F3 =$$

$$= 4,833 + 1,315 + 1,833 + 2,667 + 1 = 11,648 \text{ gün}$$

$$\mathbf{19.Yol} \quad : \ 0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 24 - 43 - 51 = A3 - B2 - F2 - F4 =$$

$$= 4,833 + 1,315 + 1,833 + 2,667 = 10,648 \text{ gün}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{20.Yol} \quad & : 0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 43 - 51 = A3 - B2 - F2 - F4 = 4,833 + \\ & 1,315 + 1,833 + 2,667 = \\ & = 10,648 \text{ gün} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{21.Yol} \quad & : 0 - 4 - 10 - 24 - 27 - 51 = A3 - B2 - F1 - F3 = 4,833 + 1,315 \\ & + 5,167 + 1 = 12,315 \text{ gün} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{22.Yol} \quad & : 0 - 4 - 10 - 24 - 43 - 51 = A3 - B2 - F1 = 4,833 + 1,315 + \\ & 5,167 = 11,315 \text{ gün} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{23.Yol} \quad & : 0 - 4 - 10 - 16 - 35 - 51 = A3 - B2 - D13 - H2 = 4,833 + \\ & 1,315 + 0,667 + 2 = 8,815 \text{ gün} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{24.Yol} \quad & : 0 - 4 - 10 - 23 - 36 - 51 = A3 - B2 - H31 = 4,833 + 1,315 + \\ & 0,617 = 6,765 \text{ gün} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{25.Yol} \quad & : 0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = A3 - B2 - İ2 - \\ & İ9 - İ10 - İ11 = \\ & = 4,833 + 1,315 + 1,75 + 0,75 + 0,75 + 0,75 = 10,148 \text{ gün} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{26.Yol} \quad & : 0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 41 - 42 - 51 = A3 - B2 - İ2 - İ3 = \\ & = 4,833 + 1,315 + 1,75 + 0,583 = 8,481 \text{ gün} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{27.Yol} \quad & : 0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 47 - 51 = A3 - B2 - İ8 = 4,833 + 1,315 + \\ & 0,75 = 6,898 \text{ gün} \end{aligned}$$

$$\mathbf{28.Yol} \quad : 0 - 6 - 19 - 51 = C13 - D23 = 0,583 + 1,5 = 2,083 \text{ gün}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{29.Yol} \quad & : 0 - 6 - 8 - 21 - 44 - 46 - 51 = C13 - E2 - İ5 = 0,583 + 1 + \\ & 0,333 = 1,916 \text{ gün} \end{aligned}$$

$$\mathbf{30.Yol} \quad : 0 - 6 - 8 - 21 - 45 - 46 - 51 = C13 - E2 - \dot{I}6 - \dot{I}7 = 0,583 + 1 + 0,333 + 1,5 = 3,416 \text{ gün}$$

$$\mathbf{31.Yol} \quad : 0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 36 - 51 = C13 - E3 - E4 - H31 = 0,583 + 2,5 + 2,5 + 0,617 =$$

$$= 6,2 \text{ gün}$$

$$\mathbf{32.Yol} \quad : 0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = C13 - E3 - E4 - \dot{I}2 - \dot{I}9 - \dot{I}10 - \dot{I}11 =$$

$$= 0,583 + 2,5 + 2,5 + 1,75 + 0,75 + 0,75 + 0,75 = 9,583 \text{ gün}$$

$$\mathbf{33.Yol} \quad : 0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 41 - 42 - 51 = C13 - E3 - E4 - \dot{I}2 - \dot{I}3 =$$

$$= 0,583 + 2,5 + 2,5 + 1,75 + 0,583 = 7,916 \text{ gün}$$

$$\mathbf{34.Yol} \quad : 0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 47 - 51 = C13 - E3 - E4 - \dot{I}8 = 0,583 + 2,5 + 2,5 + 0,75 =$$

$$= 6,333 \text{ gün}$$

$$\mathbf{35.Yol} \quad : 0 - 5 - 11 - 15 - 51 = 19 + 5 + 15 = C11 - C12 - D12 = 6,333 + 1,5 + 4,667 = 12,5 \text{ gün}$$

$$\mathbf{36.Yol} \quad : 0 - 5 - 11 - 44 - 46 - 51 = C11 - C12 = 6,333 + 1,5 = 7,833 \text{ gün}$$

$$\mathbf{37.Yol} \quad : 0 - 5 - 11 - 45 - 46 - 51 = C11 - C12 - \dot{I}7 = 6,333 + 1,5 + 1,5 = 9,333 \text{ gün}$$

$$\mathbf{38.Yol} \quad : 0 - 7 - 14 - 44 - 46 - 51 = C21 - D11 = 2,315 + 3,482 = 5,797 \text{ gün}$$

$$\mathbf{39.Yol} \quad : 0 - 7 - 14 - 45 - 46 - 51 = C21 - D11 - \dot{I}7 = 2,315 + 3,482 + 1,5 = 7,297 \text{ gün}$$

$$\mathbf{40.Yol} : 0 - 7 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = C21 - İ9 - İ10 - İ11 = 2,315 + 0,75 + 0,75 + 0,75 =$$

$$= 4,565 \text{ gün}$$

$$\mathbf{41.Yol} : 0 - 7 - 41 - 42 - 51 = C21 - İ3 = 2,315 + 0,583 = 2,898 \text{ gün}$$

$$\mathbf{42.Yol} : 0 - 7 - 47 - 51 = C21 = 2,315 \text{ gün}$$

$$\mathbf{43.Yol} : 0 - 7 - 12 - 13 - 51 = C21 - C22 - C23 = 2,315 + 0,367 + 0,750 = 3,432 \text{ gün}$$

1.hızlandırma sonucunda kritik yolun beklenen değerinin 20,5 günden 20 güne düştüğü görülmektedir. Ancak projenin toplam maliyetinin ise 107.749,30 YTL'den $(600 \times 3 + 107.749,30) = 109.549,30$ YTL'ye çıkmıştır. Yani 1.hızlandırma sonucu genel toplam maliyet 109.549,30 YTL olarak çıkmıştır.

2.Hızlandırma:

$$\mathbf{1.Yol:} 0 - 1 - 51 = A1 = 4,5 \text{ gün}$$

$$\mathbf{2.Yol:} 0 - 3 - 51 = A2 = 4,5 \text{ gün}$$

$$\mathbf{3.Yol:} 0 - 4 - 18 - 51 = A3 - D22 = 4,5 + 0,6 = 5,1 \text{ gün}$$

$$\mathbf{4.Yol:} 0 - 4 - 33 - 34 - 51 = A3 - H11 - H12 = 4,5 + 7,5 + 7,667 = \mathbf{19,667}$$

gün

$$\mathbf{5.Yol:} 0 - 4 - 20 - 51 = A3 - D24 = 4,5 + 0,617 = 5,117 \text{ gün}$$

$$\mathbf{6.Yol:} 0 - 4 - 32 - 51 = A3 - G2 = 4,5 + 7 = 11,5 \text{ gün}$$

$$\mathbf{7.Yol:} 0 - 4 - 28 - 51 = A3 - G11 = 4,5 + 6,333 = 10,833 \text{ gün}$$

$$\mathbf{8.Yol:} 0 - 4 - 29 - 51 = A3 - G12 = 4,5 + 6,333 = 10,833 \text{ gün}$$

$$\mathbf{9.Yol:} 0 - 4 - 30 - 51 = A3 - G13 = 4,5 + 6,333 = 10,833 \text{ gün}$$

$$10.Yol : 0 - 4 - 31 - 51 = A3 - G14 = 4,5 + 6,333 = 10,833 \text{ gün}$$

$$11.Yol : 0 - 4 - 9 - 51 = A3 - B1 = 4,5 + 6,315 = 10,815 \text{ gün}$$

$$12.Yol : 0 - 4 - 17 - 51 = A3 - D21 = 4,5 + 0,667 = 5,167 \text{ gün}$$

$$13.Yol : 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 39 - 51 = A3 - B2 - F2 - H32 - H42 = \\ = 4,5 + 1,315 + 1,833 + 2,833 + 0,567 = 11,048 \text{ gün}$$

$$14.Yol : 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 43 - 51 = A3 - B2 - F2 - H32 - İ4 = \\ = 4,5 + 1,315 + 1,833 + 2,833 + 0,633 = 11,114 \text{ gün}$$

$$15.Yol : 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = A3 - \\ B2 - F2 - H32 - H41 - İ1 - İ2 - İ9 - İ10 - İ11 = \\ = 4,5 + 1,315 + 1,833 + 2,833 + 1 + 0,633 + 1,75 + 0,75 + 0,75 + 0,75 = \\ 16,114 \text{ gün}$$

$$16.Yol : 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 41 - 42 - 51 = A3 - B2 - F2 - \\ H32 - H41 - İ1 - İ2 - İ3 = \\ = 4,5 + 1,315 + 1,833 + 2,833 + 1 + 0,633 + 1,75 + 0,583 = 14,447 \text{ gün}$$

$$17.Yol : 0 - 4 - 10 - 25 - 37 - 38 - 40 - 47 - 51 = A3 - B2 - F2 - H32 - \\ H41 - İ1 - İ8 = \\ = 4,5 + 1,315 + 1,833 + 2,833 + 1 + 0,633 + 0,75 = 12,864 \text{ gün}$$

$$18.Yol : 0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 24 - 27 - 51 = A3 - B2 - F2 - F4 - F3 = \\ = 4,5 + 1,315 + 1,833 + 2,667 + 1 = 11,315 \text{ gün}$$

$$19.Yol : 0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 24 - 43 - 51 = A3 - B2 - F2 - F4 = \\ = 4,5 + 1,315 + 1,833 + 2,667 = 10,315 \text{ gün}$$

$$\mathbf{20.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 25 - 26 - 43 - 51 = A3 - B2 - F2 - F4 = 4,5 + 1,315 + 1,833 + 2,667 =$$

$$= 10,315 \text{ gün}$$

$$\mathbf{21.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 24 - 27 - 51 = A3 - B2 - F1 - F3 = 4,5 + 1,315 + 5,167 + 1 = 11,982 \text{ gün}$$

$$\mathbf{22.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 24 - 43 - 51 = A3 - B2 - F1 = 4,5 + 1,315 + 5,167 = 10,982 \text{ gün}$$

$$\mathbf{23.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 16 - 35 - 51 = A3 - B2 - D13 - H2 = 4,5 + 1,315 + 0,667 + 2 = 8,482 \text{ gün}$$

$$\mathbf{24.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 23 - 36 - 51 = A3 - B2 - H31 = 4,5 + 1,315 + 0,617 = 6,432 \text{ gün}$$

$$\mathbf{25.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = A3 - B2 - \dot{I}2 - \dot{I}9 - \dot{I}10 - \dot{I}11 =$$

$$= 4,5 + 1,315 + 1,75 + 0,75 + 0,75 + 0,75 = 9,815 \text{ gün}$$

$$\mathbf{26.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 41 - 42 - 51 = A3 - B2 - \dot{I}2 - \dot{I}3 =$$

$$= 4,5 + 1,315 + 1,75 + 0,583 = 8,148 \text{ gün}$$

$$\mathbf{27.Yol} \quad : 0 - 4 - 10 - 23 - 40 - 47 - 51 = A3 - B2 - \dot{I}8 = 4,5 + 1,315 + 0,75 = 6,565 \text{ gün}$$

$$\mathbf{28.Yol} \quad : 0 - 6 - 19 - 51 = C13 - D23 = 0,583 + 1,5 = 2,083 \text{ gün}$$

$$\mathbf{29.Yol} \quad : 0 - 6 - 8 - 21 - 44 - 46 - 51 = C13 - E2 - \dot{I}5 = 0,583 + 1 + 0,333 = 1,916 \text{ gün}$$

$$\mathbf{30.Yol} \quad : 0 - 6 - 8 - 21 - 45 - 46 - 51 = C13 - E2 - \dot{I}6 - \dot{I}7 = 0,583 + 1 + 0,333 + 1,5 = 3,416 \text{ gün}$$

$$\mathbf{31.Yol} : 0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 36 - 51 = C13 - E3 - E4 - H31 = 0,583 + 2,5 + 2,5 + 0,617 =$$

$$= 6,2 \text{ gün}$$

$$\mathbf{32.Yol} : 0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = C13 - E3 - E4 - İ2 - İ9 - İ10 - İ11 =$$

$$= 0,583 + 2,5 + 2,5 + 1,75 + 0,75 + 0,75 + 0,75 = 9,583 \text{ gün}$$

$$\mathbf{33.Yol} : 0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 41 - 42 - 51 = C13 - E3 - E4 - İ2 - İ3 =$$

$$= 0,583 + 2,5 + 2,5 + 1,75 + 0,583 = 7,916 \text{ gün}$$

$$\mathbf{34.Yol} : 0 - 6 - 8 - 22 - 23 - 40 - 47 - 51 = C13 - E3 - E4 - İ8 = 0,583 + 2,5 + 2,5 + 0,75 =$$

$$= 6,333 \text{ gün}$$

$$\mathbf{35.Yol} : 0 - 5 - 11 - 15 - 51 = 19 + 5 + 15 = C11 - C12 - D12 = 6,333 + 1,5 + 4,667 = 12,5 \text{ gün}$$

$$\mathbf{36.Yol} : 0 - 5 - 11 - 44 - 46 - 51 = C11 - C12 = 6,333 + 1,5 = 7,833 \text{ gün}$$

$$\mathbf{37.Yol} : 0 - 5 - 11 - 45 - 46 - 51 = C11 - C12 - İ7 = 6,333 + 1,5 + 1,5 = 9,333 \text{ gün}$$

$$\mathbf{38.Yol} : 0 - 7 - 14 - 44 - 46 - 51 = C21 - D11 = 2,315 + 3,482 = 5,797 \text{ gün}$$

$$\mathbf{39.Yol} : 0 - 7 - 14 - 45 - 46 - 51 = C21 - D11 - İ7 = 2,315 + 3,482 + 1,5 = 7,297 \text{ gün}$$

$$\mathbf{40.Yol} : 0 - 7 - 41 - 48 - 49 - 50 - 51 = C21 - İ9 - İ10 - İ11 = 2,315 + 0,75 + 0,75 + 0,75 = 4,565 \text{ gün}$$

41.Yol : $0 - 7 - 41 - 42 - 51 = C21 - İ3 = 2,315 + 0,583 = 2,898$ gün

42.Yol : $0 - 7 - 47 - 51 = C21 = 2,315$ gün

43.Yol : $0 - 7 - 12 - 13 - 51 = C21 - C22 - C23 = 2,315 + 0,367 + 0,750 = 3,432$ gün

2.hızlandırma sonucunda kritik yolun beklenen değerinin 20,5 günden 19,667 güne düştüğü görülmektedir. Ancak projenin toplam maliyetinin ise 107.749,30 YTL'den $(1.500 + 1.000 + 750 + 107.749,30) = 110.999,30$ YTL'ye çıkmıştır. Yani 2.hızlandırma sonucu genel toplam maliyet 110.999,30 YTL olarak çıkmıştır.

Hızlandırmalar tamamlandığında, yukarıdaki tabloda kritik yolumuzu ifade eden 4.yola baktığımızda, 2 farklı hızlandırma sonucunda toplam yaklaşık olarak 1 güne yakın proje süresi kısalmıştır. Ve bunun için oluşacak toplam maliyet 110.999,30 YTL'dir.

Böylece PERT tekniğinden yararlanarak kritik faaliyetleri ve bu faaliyetler için süre-maliyet ilişkisini görmüş olduk. Bu ilişkiyi incelerken faaliyetlerin sorunsuz ilerlediği varsayımı üzerine oturtularak inceleme yapılmıştır.

Tablo 9.9. Projedeki faaliyetlerin yollarına ait hızlandırma işlemleri.

Yollar	1.Hızlandırma (Süre: Gün)	2.Hızlandırma (Süre: Gün)
1.Yol	4,833	4,5
2.Yol	4,833	4,5
3.Yol	5,433	5,1
4.Yol	20	19,667
5.Yol	5,45	5,117
6.Yol	11,833	11,5
7.Yol	11,166	10,833
8.Yol	11,166	10,833
9.Yol	11,166	10,833
10.Yol	11,166	10,833
11.Yol	11,148	10,815
12.Yol	5,5	5,167
13.Yol	11,381	11,048

14.Yol	11,447	11,114
15.Yol	16,447	16,114
16.Yol	14,78	14,447
17.Yol	13,197	12,864
18.Yol	11,648	11,315
19.Yol	10,648	10,315
20.Yol	10,648	10,315
21.Yol	12,315	11,982
22.Yol	11,315	10,982
23.Yol	8,815	8,482
24.Yol	6,765	6,432
25.Yol	10,148	9,815
26.Yol	8,481	8,148
27.Yol	6,898	6,565
28.Yol	2,083	2,083
29.Yol	1,916	1,916
30.Yol	3,416	3,416
31.Yol	6,2	6,2
32.Yol	9,583	9,583
33.Yol	7,916	7,916
34.Yol	6,333	6,333
35.Yol	12,5	12,5
36.Yol	7,833	7,833
37.Yol	9,333	9,333
38.Yol	5,797	5,797
39.Yol	7,297	7,297
40.Yol	4,565	4,565
41.Yol	2,898	2,898
42.Yol	2,315	2,315
43.Yol	3,432	3,432

Tablo 9.10. Projedeki faaliyetlerin yollarına ait hızlandırma işlemleri ve proje maliyeti.

Hızlandırma İşlemleri (Gün)	Proje Maliyeti (YTL)
20,5 gün kritik yolun tamamlanma süresi	107.749,30
1.hızlandırma işlemi 3 gündür. Kritik yol için 20,5 gün hızlandırma ile 20 gün olacaktır.	3 günlük 1.hızlandırma ile genel toplam proje maliyeti, $600 \times 3 + 107.749,30 = 109.549,30$ YTL olacaktır.
2.hızlandırma işlemi 5 gündür. Kritik yol için 20,5 gün hızlandırma ile 19,667 gün olacaktır.	5 günlük 2.hızlandırma ile genel toplam proje maliyeti, $1.500 + 1.000 + 750 + 107.749,30 = 110.999,30$ YTL olacaktır.

10. DOĞRUSAL HEDEF PROGRAMLAMA MODELİ İLE İLGİLİ İNŞAAT SEKTÖRÜ UYGULAMASI

10.1. Firmanın Projesi ve Projesine Ait İş Akışları Hakkında Genel Bilgi

GB Mühendislik Mimarlık adlı şirketin, sözleşmeli müşterilerinden biri olan İTAMEKS'in ÇATI KATI PROJESİ'ne ait DIŞ KABUK KAPATMA İŞLERİ KEŞFİ'nin projelendirilmesidir. Bu uygulama çalışması ile keşif yapılırken müşteriye verilen maliyetlerin belirlenmesinde ve projenin ne kadar sürede tamamlanacağına ilişkin sürecin tayin edilmesinde önerilen alternatiflerin değerlendirilmesinin ve projenin ne kadar etkin, ne kadar karlı ve ne kadar sürede tamamlandığının, doğrusal hedef programlama modeli ile hızlandırılmasının incelenmesidir. Projenin tamamlanması öngörülmüştür.

Normal koşullarda söz konusu projenin tamamlanma süresi 57 gündür. Haftanın 7 günü çalışma günü şeklinde dikkate alınarak ve günde 8 saat işgücü, toplam 1 usta ve 3 amele işgücü kullanılarak projenin tamamlanması öngörülmüştür. Projenin İTAMEKS tarafından onaylanması 3 Temmuz 2006 tarihinde yapılmış ve 10 Temmuz 2006 tarihinde de proje başlatılmış olmalıdır. Ve sözleşmeye göre de proje 4 Eylül 2006 tarihinde teslim edilmiş olmalıdır.

Projenin toplam sözleşme bedelinin 107.749,30 YTL olarak öngörüldüğü, firmanın da bu bedel üzerine % 10 müteahhitlik karı olan hizmet bedelini ekleyerek 118.524,23 YTL sabit toplam bedel üzerinden projeyi üstlendiği tespit edilmiştir. Süreler gün olarak hesaplanmıştır. Projede faaliyetlerin A, A1, A2, B, B1, B2 gibi ifade edilmesi, özellikle faaliyetlerin kendi içindeki ilişkileri göstermek için kullanılmıştır. Doğrusal hedef programlama ile hızlandırma tekniğinin günümüzde pek çok bilgisayar programı yardımıyla uygulanması gerçekleştirilir. Kullanım kolaylığı, projeyi ayrıntılı analiz edebilme ve doğrusal hedef programlamaya ait oluşturduğumuz modelin çözümüne imkan tanıdığından, LİNDÖ paket programından destek alınmıştır.

Genel maliyet bilgileri aşağıdaki gibidir:

Bir ustanın hafta içi ve cumartesi günü günlük maliyeti : 60 YTL/gün

Bir ustanın hafta içi ve cumartesi günü günlük 4 saat ilave mesai maliyeti : 60 YTL/gün

Bir ustanın pazar günü günlük maliyeti :120 YTL/gün

Bir amelenin hafta içi ve pazar günü günlük maliyeti : 50 YTL/gün

Bir amelenin haftaiçi ve cumartesi günü günlük 4 saat ilave mesai maliyeti:50 YTL/gün

Bir amelenin Pazar günü günlük maliyeti :100 YTL/gün

Bir seferlik nakliye maliyeti : 20YTL/nakliye

Bir torba çimentonun maliyeti : 8 YTL/torba

Bir m³ kumun maliyeti : 35 YTL/m³

13,5'luk Tuğlanın Maliyeti :0,23YTL/adet

Genel Gider Maliyeti: İlgili faaliyetin ihtiyaçlarına göre her bir faaliyetin genel gideri farklıdır. Her bir faaliyete ait günlük ortalama genel giderler aşağıdaki gibidir:

A faaliyetinin günlük ortalama genel gider maliyeti :179,29 YTL/gün

B faaliyetinin günlük ortalama genel gider maliyeti : 0 YTL/gün

C faaliyetinin günlük ortalama genel gider maliyeti : 1.102,99 YTL/gün

D faaliyetinin günlük ortalama genel gider maliyeti : 629,35 YTL/gün

E faaliyetinin günlük ortalama genel gider maliyeti : 0 YTL/gün

F faaliyetinin günlük ortalama genel gider maliyeti : 3,37 YTL/gün

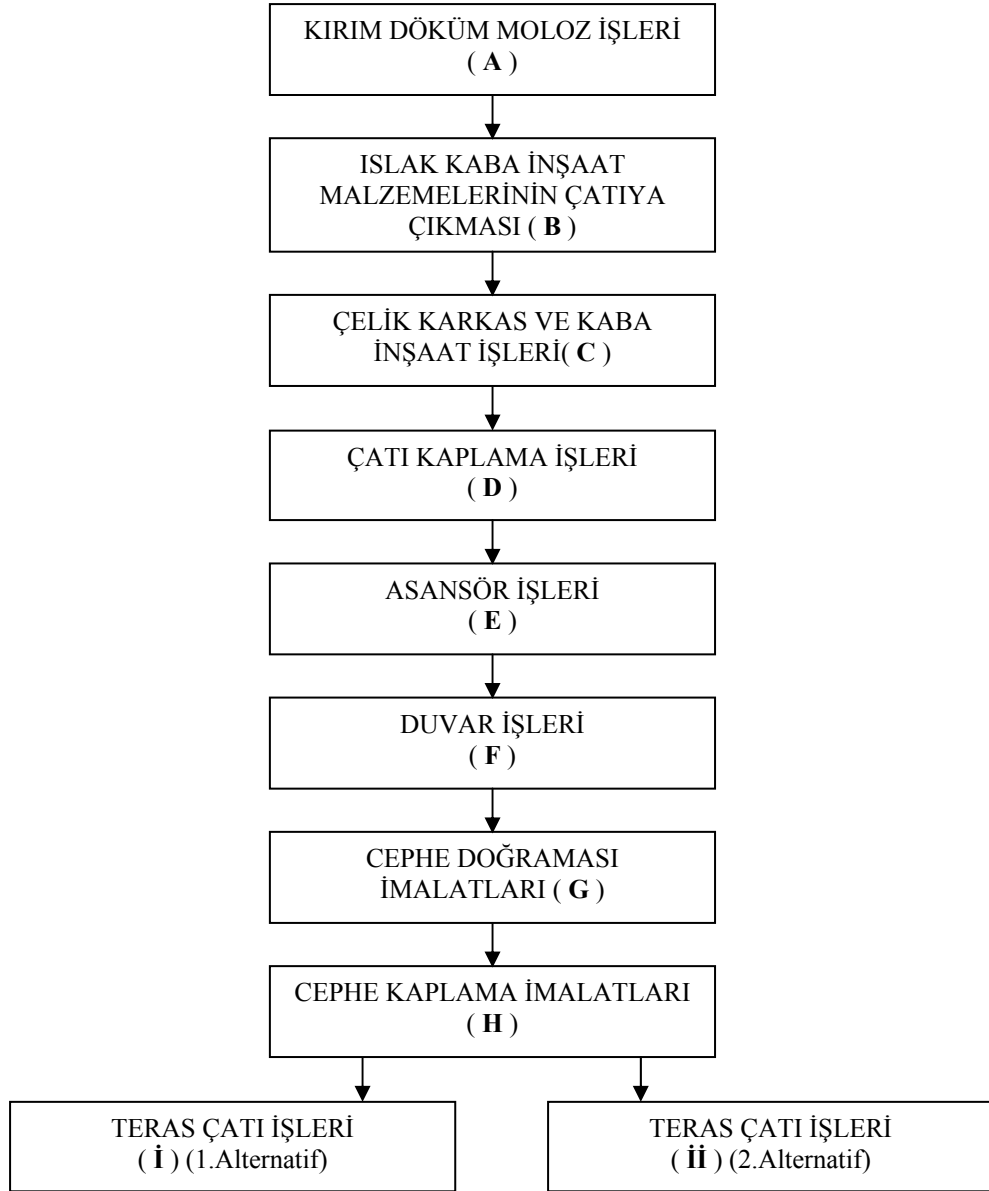
G faaliyetinin günlük ortalama genel gider maliyeti : 888,84 YTL/gün

H faaliyetinin günlük ortalama genel gider maliyeti : 355,38 YTL/gün

İ faaliyetinin (1.alternatif) günlük ortalama genel gider maliyeti :336,52
YTL/gün

İ faaliyetinin (2.alternatif) günlük ortalama genel gider maliyeti :434,15
YTL/gün

Faaliyetlerin sıralamasına ve önceliklendirme ilişkilerine göre ise iş akışı ise aşağıdaki Tablo 10.1’de gösterildiği gibidir. Özellikle faaliyetlerde Şekil 10.1’deki iş akışı sıralaması takip edilse de, bazı faaliyetlerden önce aynı anda yürütülebilecek faaliyetler de görülmektedir. Ancak aynı işçi grubu kullanıldığı ve özellikle çalışma ve kullanım alanı sıkıntısı olduğu için fiili olarak bunu gerçekleştirmek pek uygun olmamaktadır. Yine de projenin doğrusal programlama modeli ile sürelerin hızlandırılmasının gerçekleştirilmesi esnasında bu veriler dikkate alınacak ve projenin toplam süresinin kısaltılmasına çalışılacaktır.



Şekil10.1. Projedeki temel işlere ait iş akım şeması.

Tablo 10.1. Faaliyetlerin sıralamasına ve önceliklendirme ilişkilerine göre ise iş akışı.

Temel Faaliyetler ve Alt Faaliyetler	Öncelik İlişkileri	Faaliyetin Toplam Süresi (Gün)
A1	-	17
A2	-	17
A3	-	17
B1	A3	16,89
B2	A3	4,89
C11	-	19
C12	C11	5
C13	-	5
C21	-	6,89
C22	C21	1
C23	C22	2
D11	C21	10,89
D12	C12	15
D13	B2	2
D21	A3	2
D22	A3	2
D23	C13	2
D24	A3	2
E1	-	2
E2	E1, C13	3
E3	E1	7
E4	E3, E1	7
F1	B2	13
F2	E4, B2	5
F3	F1, F4	3
F4	F2	8
G11	A3	20
G12	A3	20
G13	A3	20
G14	A3	20
G2	A3	20
H11	A3	20
H12	H11	20
H2	D13, C23	6
H31	E4	2
H32	F2	8
H41	H32	3
H42	H32	2
I11	H41, E4	2
I12	I11, C21	5
I13	I12	2
I14	H32, F4, F1	2
I15	E2, D11, C12	1
I16	E2, D11, C12	1
I17	I16; I15	4
I18	I1, C21	2
I19	I2	2
I110	I19	2
I111	I110	2
II11	H41, E4	2
II12	II11, C21	5
II13	II12	2
II14	H32, F4, F1	2
II15	E2, D11, C12	1
II16	E2, D11, C12	1
II17	II16; II15	4
II18	II1, C21	2
II19	II2	2
II110	II19	2
II111	II110	2

10.2. İnşaat Firması için Proje Hedeflerinin Belirlenmesi

Özel sektörde faaliyet gösteren firmanın ilk hedefi kâr maksimizasyonunun sağlanmasıdır. Firma kârını arttırabilmek için mevcut proje süresini azaltmayı ve mevcut proje maliyetlerini (işgücü + malzeme + nakliye + genel giderler) azaltmayı hedeflemektedir. Bu nedenle mevcut proje süresi minimizasyonu ile mevcut proje maliyet minimizasyonu firmanın ikinci ve üçüncü amaçları olarak ortaya çıkmaktadır. Projede çalışan işgücünün tam kapasite kullanılması, proje süresindeki azalmanın sağlanması ve proje maliyetlerinin azaltıcı etki yaratması açısından önemlidir. Bu nedenle, projedeki toplam maliyet minimize edilmeye çalışılarak ve projenin süresi minimize edilmeye çalışılarak proje süresinin hızlandırılmasına çalışılacaktır. Yukarıda sayılan bu faktörler dikkate alınarak firma için bir temel model geliştirilmeye çalışılmıştır. İncelenen dönem 57 gün ve incelenen proje sayısı 1 adettir. Kurulan modelde esas olarak üç hedef alınmıştır. Model için gerçekleştirilmek istenen hedefler özetlenirse,

- 1- Projedeki firma kârını maksimize etmek,
- 2- Projenin toplam maliyetini minimize etmek (işgücü + malzeme + nakliye + genel giderler),
- 3- Projenin toplam süresini minimize etmektir.

Modelde yukarıda belirtilen bu üç amaç gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Çözümde doğrusal hedef programlama modeli kullanılmıştır. Firma için herhangi bir hedefin diğerlerine göre daha fazla ağırlığı (önceliği) yoktur. Tüm hedefler eşit önceliğe sahiptir.

10.3. İnşaat Firması için Doğrusal Hedef Programlama Modelinin Kurulması

Daha önceki Doğrusal Hedef Programlama bölümünde ifade ettiğimiz gibi uygulama için seçtiğimiz inşaat firmasına uygulayacağımız model; *Doğrusal Hedef Programlama* modelidir. Bu modeli seçmemizin temel nedeni şu andaki üst yönetimin

hedefleri olan, kar, maliyet azaltma ve proje süresini azaltma yönündedir. Model için firmadan alınan veriler *Temmuz 2006* yılına ilişkin olup şimdi söz konusu modelimizi kurmak için gerekli işlemleri sırasıyla tamamlamaya çalışalım.

10.4. Model ile İlgili Verilerin Derlenmesi

Gerçekleştirilen proje döneminde firmanın incelenen dönem içinde yürüttüğü dokuz çeşit temel faaliyet ele alınmış ve 36 değişken tanımlanmıştır. Firmanın yukarıda belirtilen 36 değişkenine ilişkin verilen bilgiler ve oluşturulan modelin çözümünde kullanılan veri setleri Tablo 6.2’de verilmiştir.

10.5. Modelin Planlaması

Firmanın proje planı’nın hazırlanabilmesi için bir temel model oluşturulmuştur. Modelin oluşturulması aşamasından önce modelde kullanılan değişkenler Tablo 10.2’de gösterilmiştir.

Tablo 10.2. Modellerde Kullanılan Karar (Kontrol) Değişkenleri ve inceleme parametreleri.

Değişkenin Açıklaması	Modeldeki Karar (Kontrol) Değişkeni
A faaliyetinin (1nci faaliyet) tamamlanma süresi	X_1
B faaliyetinin (2nci faaliyet) tamamlanma süresi	X_2
C faaliyetinin (3üncü faaliyet) tamamlanma süresi	X_3
D faaliyetinin (4üncü faaliyet) tamamlanma süresi	X_4
E faaliyetinin (5inci faaliyet) tamamlanma süresi	X_5
F faaliyetinin (6ncı faaliyet) tamamlanma süresi	X_6
G faaliyetinin (7nci faaliyet) tamamlanma süresi	X_7
H faaliyetinin (8inci faaliyet) tamamlanma süresi	X_8
I faaliyetinin (9uncu faaliyet) tamamlanma süresi (I ve II olmak üzere 2 alternatif vardır)	X_9
1inci faaliyetin Faaliyet Geliri	FG_1
2nci faaliyetin Faaliyet Geliri	FG_2
3üncü faaliyetin Faaliyet Geliri	FG_3
4üncü faaliyetin Faaliyet Geliri	FG_4
5inci faaliyetin Faaliyet Geliri	FG_5
6ncı faaliyetin Faaliyet Geliri	FG_6
7nci faaliyetin Faaliyet Geliri	FG_7
8inci faaliyetin Faaliyet Geliri	FG_8
9uncu faaliyetin Faaliyet Geliri	FG_9
1inci faaliyetin Faaliyet Maliyeti	FM_1
2nci faaliyetin Faaliyet Maliyeti	FM_2
3üncü faaliyetin Faaliyet Maliyeti	FM_3

4inci faaliyetin Faaliyet Maliyeti	FM₄
5inci faaliyetin Faaliyet Maliyeti	FM₅
6ncı faaliyetin Faaliyet Maliyeti	FM₆
7nci faaliyetin Faaliyet Maliyeti	FM₇
8inci faaliyetin Faaliyet Maliyeti	FM₈
9uncu faaliyetin Faaliyet Maliyeti	FM₉
1inci faaliyetin Faaliyet Karı	p₁
2nci faaliyetin Faaliyet Karı	p₂
3üncü faaliyetin Faaliyet Karı	p₃
4üncü faaliyetin Faaliyet Karı	p₄
5inci faaliyetin Faaliyet Karı	p₅
6ncı faaliyetin Faaliyet Karı	p₆
7nci faaliyetin Faaliyet Karı	p₇
8inci faaliyetin Faaliyet Karı	p₈
9uncu faaliyetin Faaliyet Karı	p₉
İnceleme Parametresinin Açıklaması	İnceleme Parametre Notasyonu
<i>i</i> . faaliyetin Faaliyet Usta İşgücü Maliyeti	lc_{ui}
<i>i</i> . faaliyetin Faaliyet Amele İşgücü Maliyeti	lc_{ai}
<i>i</i> . faaliyetin Faaliyet Nakliye Maliyeti	nc_i
<i>i</i> . faaliyetin Faaliyet Çimento Maliyeti	çc_i
<i>i</i> . faaliyetin Faaliyet Kum Maliyeti	kc_i
<i>i</i> . faaliyetin Faaliyet Tuğla Maliyeti	tc_i
<i>i</i> . faaliyetin Faaliyet Genel Gider Maliyeti	gg_i

10.5.1. İncelenen Modele İlişkin Yapılan Varsayımlar

- 1- Planlama dönemi 10.07.2006 – 4.09.2006 tarihleri arasında 57 gün olarak alınmıştır.
- 2- Dönem başı stok bulunmadığı yani dönem başı stok düzeyinin sıfır olduğu kabul edilmiştir.
- 3- Proje dönemi içinde malzeme ihtiyacının tam zamanlı olarak anında karşılandığı varsayılmıştır.
- 4- İncelenen dönem içinde projenin gerçekleştirilmesinde kullanılan işgücünün planlama dönemi içinde değişmediği varsayılmıştır.
- 5- İncelenen dönem içinde projede kullanılan malzeme fiyatlarının dönem içinde değişmediği varsayılmıştır.

6- İncelenen dönem içerisinde firmaya ait nakliye kapasitesinin değişmediği varsayılmıştır.

7- Malzeme stok maliyetlerinin modeli etkilemediği varsayılmıştır.

10.5.2. Modelin Oluşturulması

Modelin birinci hedefi kar maksimizasyonu, ikinci hedefi maliyet minimizasyonu ve üçüncü hedefi proje süresinin minimize edilmesi olmak üzere üç hedefi vardır.

Birinci Hedef: *Kâr Maksimizasyonu*

İncelenen modelde dokuz değişken bulunmaktadır. Bu dokuz değişken 1 adet proje incelenerek belirlenmiştir. Yani bir değişken birden fazla parametrenin birleşiminden meydana gelebilmektedir. Modelde kâr hesaplanırken [Faaliyet Geliri – Faaliyet Maliyeti (İşgücü + malzeme + nakliye + genel giderler)] dokuz değişkenin tüm faaliyetlerinde kullanılan faaliyetler için hesaplanan maliyet ve gelir rakamları kullanılmıştır. Modeldeki katsayılar (p_i) gerçek değerlerinin aynısıdır. Aynı gerçek değerlerin kullanımı sağ yan sabiti (P_j) için de geçerlidir. Bu şekilde her faaliyete ait çalışma yapıldığı ve her gün çalışma yapıldığı durumda firmanın bu faaliyetten ortalama olarak ne kadar kâr elde ederdi sorusuna yanıt aranmıştır. Günlük çalışma saati ise mesai olmadan 8 saat olarak dikkate alınmaktadır. Her bir faaliyet için faaliyet karı p_i ‘den hesaplanır demiştik. Buradaki i .faaliyet karı,

$$p_i = FG_i - FM_i$$

hesaplanır. FG_i ‘nin hesaplanmasında projenin i .faaliyetinden elde edilen gelir dikkate alınır. Bunun için de FG_i ’nin hesaplanmasında projenin i .faaliyetindeki faaliyet maliyetinin (FM_i) üzerine % 10 müteahhitlik karı konulmakla bulunur. FM_i ise şu şekilde hesaplanır:

$$FM_i = lc_{ui} + lc_{ai} + nc_i + \zeta c_i + km_i + tc_i + gg_i$$

Aynı zamanda,

$$FM_i = c_i = lc_{ui} + lc_{ai} + nc_i + \zeta c_i + km_i + tc_i + gg_i$$

denklemini geçerlidir. Bu denklemden faaliyetlere ilişkin maliyetler ise şu şekilde bulunmuştur:

$$\sum_{i=1}^9 FM_i = 107.749,30 \text{ YTL}$$

Faaliyet başına maliyetler ise şu şekilde bulunmuştur:

$$FM_1 = 5.370 \text{ YTL}$$

$$FM_2 = 880 \text{ YTL}$$

$$FM_3 = 27.453,5 \text{ YTL}$$

$$FM_4 = 20.070 \text{ YTL}$$

$$FM_5 = 0 \text{ YTL}$$

$$FM_6 = 4.214 \text{ YTL}$$

$$FM_7 = 17.776,8 \text{ YTL}$$

$$FM_8 = 19.790 \text{ YTL}$$

$$FM_9 = 12.195 \text{ YTL}$$

FG_i 'nin hesaplanmasında ise şu sonuçlar elde edilmiştir.

$$\sum_{i=1}^9 FG_i \cdot X_i = 118.524,23 \text{ YTL}$$

Faaliyet başına gelirler ise şu şekilde bulunmuştur:

$$FG_1 = 5.370 \text{ YTL} \times 1,1 = 5.907 \text{ YTL}$$

$$FG_2 = 880 \text{ YTL} \times 1,1 = 968 \text{ YTL}$$

$$FG_3 = 27.453,5 \text{ YTL} \times 1,1 = 30.198,85 \text{ YTL}$$

$$FG_4 = 20.070 \text{ YTL} \times 1,1 = 22.077 \text{ YTL}$$

$$FG_5 = 0 \text{ YTL} \times 1,1 = 0 \text{ YTL}$$

$$FG_6 = 4.214 \text{ YTL} \times 1,1 = 4.635,4 \text{ YTL}$$

$$FG_7 = 17.776,8 \text{ YTL} \times 1,1 = 19.554,48 \text{ YTL}$$

$$FG_8 = 19.790 \text{ YTL} \times 1,1 = 21.769 \text{ YTL}$$

$$FG_9 = 12.195 \text{ YTL} \times 1,1 = 13.414,5 \text{ YTL}$$

Yukarıdaki hesaplamalardan da her bir faaliyete ait kar şöyle bulunmuştur:

$$p_1 = 5.907 - 5.370 = 537 \text{ YTL}$$

$$p_2 = 968 - 880 = 88 \text{ YTL}$$

$$p_3 = 30.198,85 - 27.453,5 = 2.745,35 \text{ YTL}$$

$$p_4 = 22.077 - 20.070 = 2.007 \text{ YTL}$$

$$p_5 = 0 \text{ YTL}$$

$$p_6 = 4.635,4 - 4.214 = 421,4 \text{ YTL}$$

$$p_7 = 19.554,48 - 17.776,8 = 1.777,68 \text{ YTL}$$

$$p_8 = 21.769 - 19.790 = 1.979 \text{ YTL}$$

$$p_9 = 13.414,5 - 12.195 = 1.219,5 \text{ YTL}$$

Birinci Hedef Fonksiyonu:

$$MaksZ_1 = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 + p_8 + p_9 \geq 10.774,93 \text{ ve}$$

$$MaksZ_1 = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 + p_8 + p_9 \leq 118.524,23$$

$$p_1 \geq 537 \text{ YTL}$$

$$p_2 \geq 88 \text{ YTL}$$

$$p_3 \geq 2.745,35 \text{ YTL}$$

$$p_4 \geq 2.007 \text{ YTL}$$

$$p_5 \geq 0 \text{ YTL}$$

$$p_6 \geq 421,4 \text{ YTL}$$

$$p_7 \geq 1.777,68 \text{ YTL}$$

$$p_8 \geq 1.979 \text{ YTL}$$

$$p_9 \geq 1.219,5 \text{ YTL}$$

$$p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9 \geq 0$$

İkinci Hedef: Maliyet Minimizasyonu

İncelenen modelde dokuz değişken bulunmaktadır. Bu dokuz değişken 1 adet proje incelenerek belirlenmiştir. Yani bir değişken birden fazla parametrenin birleşiminden meydana gelebilmektedir. Birinci hedefte olduğu gibi modeldeki katsayılar (FM_i) ve sağ yan sabiti (b_k) gerçek değerlerinin aynısıdır. Bu şekilde her güne ait çalışma yapılarak ve her gün çalışma yapıldığı durumda firma ne kadar maliyete katlanmak zorunda kalırdı sorusuna yanıt aranmıştır. Malzeme fiyatları ise proje süresince değişmemektedir. Günlük çalışma saati ise mesai olmadan 8 saat olarak dikkate alınmaktadır. Böylece tüm proje için firma ne kadar maliyete katlanmak zorunda kalmıştır sorusunun yanıtı bulunmuştur.

Her bir faaliyet için faaliyet maliyeti FM_i ‘den hesaplanır demiştik. Buradaki i .faaliyet maliyeti, FM_i ise şu şekilde hesaplanır demiştik:

$$FM_i = lc_{ui} + lc_{ai} + nc_i + \text{ç}c_i + km_i + tc_i + gg_i$$

İkinci Hedef Fonksiyonu:

$$MinZ_2 = FM_1 + FM_2 + FM_3 + FM_4 + FM_5 + FM_6 + FM_7 + FM_8 + FM_9 \leq 107.749,30$$

$$FM_1 \leq 5.370 \text{ YTL}$$

$$FM_2 \leq 880 \text{ YTL}$$

$$FM_3 \leq 27.453,5 \text{ YTL}$$

$$FM_4 \leq 20.070 \text{ YTL}$$

$$FM_5 \leq 0 \text{ YTL}$$

$$FM_6 \leq 4.214 \text{ YTL}$$

$$FM_7 \leq 17.776,8 \text{ YTL}$$

$$FM_8 \leq 19.790 \text{ YTL}$$

$$FM_9 \leq 12.195 \text{ YTL}$$

$$FM_1, FM_2, FM_3, FM_4, FM_5, FM_6, FM_7, FM_8, FM_9 \geq 0$$

Üçüncü Hedef: *Proje Süresinin Minimize Edilmesi*

Firma sahip olduğu işgücünün, işin önceliğine, miktarına ve işgücünün niteliğine bağlı olarak yapılacak işlere göre dağıtımını yapmaktadır. Bu amaçla dokuz değişken için gerekli olan proje faaliyet süresi belirlenmiştir. Atıl işgücü kalmaması ve işgücünün eşanlı olarak tüm projelerde kullanılmasının sağlanması amacıyla proje için gerekli olan süre minimize edilmeye çalışılmıştır. Dokuz değişkenin tümü için yani 1 projenin tamamının gerçekleşmesi için geçen proje zamanı sağ taraf sabiti olarak alınmıştır. Birinci hedefte olduğu gibi modeldeki katsayılar (X_i) ve sağ yan sabiti (d_m) gerçek değerlerinin aynısıdır. Bu şekilde her faaliyete ait çalışma yapılarak ve her gün çalışma yapıldığı durumda firma ne kadar sürede projeyi tamamlardı sorusuna yanıt aranmıştır.

Her bir faaliyet için i . faaliyet süresi X_i gündür.

Üçüncü Hedef Fonksiyonu:

$$MinZ_3 = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 \leq 57$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9 \geq 0$$

Üç hedef oluşturulduktan sonra modelin kısıtları işgücü, nakliye, malzeme, genel gider ve süre kısıtları ve diğer kısıtlar olmak üzere beş şekilde oluşturulmuştur.

İşgücü Kısıtları:

9 değişkene ait işgücü kapasiteleri (lq_{ui}) ve (lq_{ai}) birer kısıt oluşturmuştur. i . faaliyete ait (lc_{ui}) ve (lc_{ai}) ise şöyle bulunur:

$$lc_{ui} = 60 \cdot lq_{ui} \quad \text{ve} \quad lc_{ai} = 50 \cdot lq_{ai}$$

Kısıt denklemleri de,

$$\sum_{i=1}^9 lq_{ui} \leq 1,$$

$$\sum_{i=1}^9 lq_{ai} \leq 3$$

$$\sum_{i=1}^9 lc_{ui} \cdot X_i \leq 3.586,8$$

$$\sum_{i=1}^9 lc_{ai} \cdot X_i \leq 8.967$$

$$lc_{ui}, lc_{ai}, lq_{ui}, lq_{ai}, X_i \geq 0$$

Nakliye Kısıtları:

9 değişkene ait nakliye kapasitesi (nq_i) birer kısıt oluşturmuştur. i . faaliyete ait nc_i ise şöyle bulunur:

$$nc_i = 20 \cdot nq_i$$

Kısıt denklemi de,

$$\sum_{i=1}^9 nq_i \leq 18$$

$$\sum_{i=1}^9 nc_i \leq 360$$

$$nc_i, nq_i \geq 0$$

Malzeme Kısıtları:

Malzeme kısıtı oluşturulurken 9 değişkene ait i . faaliyet için ilgili faaliyette kullanılan malzeme kısıtları oluşmuştur. Çimento kısıtı olarak (ζc_i), kum kısıtı olarak (kc_i) ve tuğla kısıtı (tc_i) oluşmuştur. (ζc_i), (kc_i) ve (tc_i) şu şekilde hesaplanırlar:

$$\zeta c_i = 8 \cdot \zeta q_i, \quad kc_i = 35 \cdot kq_i \quad \text{ve} \quad tc_i = 0,23 \cdot tq_i$$

Kısıt denklemleri,

$$\text{Çimento miktarı kısıtı} \quad \sum_{i=1}^9 \zeta q_i \leq 208,$$

$$\text{Kum miktarı kısıtı} \quad \sum_{i=1}^9 kq_i \leq 32,75$$

$$\text{Tuğla miktarı kısıtı} \quad \sum_{i=1}^9 tq_i \leq 5.915$$

$$\text{Çimento maliyeti kısıtı} \quad \sum_{i=1}^9 \zeta c_i \leq 1.664$$

$$\text{Kum maliyeti kısıtı} \quad \sum_{i=1}^9 kc_i \leq 1.146,25$$

$$\text{Tuğla maliyeti kısıtı} \quad \sum_{i=1}^9 tc_i \leq 1.360,45$$

$$\check{c}c_i, kc_i, tc_i, \check{c}q_i, kq_i, tq_i \geq 0$$

Genel Gider Kısıtları:

9 değişkene ait genel gider (gg_i) birer kısıt oluşturmuştur. (gg_i) genel giderin hesaplanmasında i .faaliyet dönemindeki günlük ortalama genel gider hesabı dikkate alınmıştır. Genel gidere işgücü maliyetleri, nakliye maliyetleri, temel malzeme maliyetleri (kum, çimento ve tuğla) haricindeki diğer yan ekipman ve alet edevat giderleri, fason işçilik giderleri, işgücü iase giderleri ve diğer öngörülmemiş giderler dahildir. Her bir faaliyete ilişkin genel giderler (gg_i) aşağıdaki gibidir.

$$gg_1 \leq 3.048$$

$$gg_2 \leq 0 \text{ YTL}$$

$$gg_3 \leq 27.453,50 \text{ YTL}$$

$$gg_4 \leq 20.070 \text{ YTL}$$

$$gg_5 \leq 0 \text{ YTL}$$

$$gg_6 \leq 93,55 \text{ YTL}$$

$$gg_7 \leq 17.776,80 \text{ YTL}$$

$$gg_8 \leq 17.690,75 \text{ YTL}$$

$$gg_9 \leq 7.666 \text{ YTL}$$

$$gg_1, gg_2, gg_3, gg_4, gg_5, gg_6, gg_7, gg_8, gg_9 \geq 0$$

Süre Kısıtları ve Diğer Kısıtlar:

Faaliyet maliyetleri kısıt denklemleri:

$$FM_1 \leq 5.370$$

$$FM_2 \leq 880$$

$$FM_3 \leq 27.453,50$$

$$FM_4 \leq 20.070$$

$$FM_5 \leq 0$$

$$FM_6 \leq 4.214$$

$$FM_7 \leq 17.776,80$$

$$FM_8 \leq 19.790$$

$$FM_9 \leq 12.195$$

Her bir faaliyetin geliri sabit olup değişmemektedir. Kısıt denklemler:

$$FG_1 = 5.907$$

$$FG_2 = 968$$

$$FG_3 = 30.198,85$$

$$FG_4 = 22.077$$

$$FG_5 = 0$$

$$FG_6 = 4.635,4$$

$$FG_7 = 19.554,48$$

$$FG_8 = 21.769$$

$$FG_9 = 13.414,5$$

Her bir faaliyet için kar kısıt denklemleri:

$$537 \leq p_1 \leq 5.907$$

$$88 \leq p_2 \leq 968$$

$$2.745,35 \leq p_3 \leq 30.198,85$$

$$2.007 \leq p_4 \leq 22.077$$

$$0 \leq p_5 \leq 0$$

$$421,4 \leq p_6 \leq 4.635,4$$

$$1.777,68 \leq p_7 \leq 19.554,48$$

$$1.979 \leq p_8 \leq 21.769$$

$$1.219,5 \leq p_9 \leq 13.414,5$$

Süre kısıt denklemleri,

$$X_1 \leq 16$$

$$X_2 \leq 16$$

$$X_3 \leq 22$$

$$X_4 \leq 28$$

$$X_5 \leq 28$$

$$X_6 \leq 24$$

$$X_7 \leq 18$$

$$X_8 \leq 42$$

$$X_9 \leq 20$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9 \geq 0$$

$$FM_1, FM_2, FM_3, FM_4, FM_5, FM_6, FM_7, FM_8, FM_9 \geq 0$$

Model yukarıda gösterimi yapıldığı gibi 3 hedef fonksiyonundan meydana getirilmiştir. Modelimiz dikkate alındığında firmanın projedeki toplam karının $\sum_{i=1}^9 p_i \cdot X_i = 10.774,93$ YTL olarak gerçekleştiği görülmektedir.

10.6. PERT Modellerinin Hedef Programlama ile Hızlandırılması

Amaçlar:

i. Proje toplam direkt maliyetlerinin minimize kılınacak şekilde hızlandırılması.

ii. Proje varyansının minimize edilecek şekilde hızlandırılması.

iii. Projenin mümkün olan en kısa sürede tamamlanabilmesi.

(i, j) faaliyeti için toplam direkt maliyet şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Toplam direkt maliyet} : k_{ij} - c_{ij} \cdot t_{ij}$$

$$\text{Projenin toplam direkt maliyeti} : z = \sum_{(i,j)} (k_{ij} - c_{ij} \cdot t_{ij})$$

Hızlandırmadaki eğimin hesaplanmasında ise şu hesap yapılır:

$$c_{ij} = \frac{CC_{ij} - NC_{ij}}{NT_{ij} - CT_{ij}} = \text{egim}$$

Burada,

t_{ij} : (i,j) faaliyetinin süresi.

T_i : i.düğüm için en erken olay zamanı.

T_j : j.düğüm için en erken olay zamanı.

NT_{ij} : (i, j) faaliyetinin normal süresi.

CT_{ij} : (i, j) faaliyetinin hızlandırılabilir süresi.

CC_{ij} : (i, j) faaliyetinin hızlandırma maliyeti.

NC_{ij} : (i, j) faaliyetinin normal maliyeti.

σ_{ij} : (i, j) faaliyetinin varyansı.

PCT : Proje tamamlanma süresi.

$CPCT$: Hızlandırılmış proje tamamlanma süresi.

Hızlandırma modeli ise şu şekilde kurulur:

Minimizasyon probleminde,

$$MinZ = \sum_{(i,j)} (k_{ij} - c_{ij}.t_{ij})$$

Maksimizasyon probleminde,

$$MaksZ = \sum_{(i,j)} c_{ij}.t_{ij} \Rightarrow MinZ = \sum_{(i,j)} (-c_{ij}).t_{ij}$$

Model:

$$MinZ = d_1^+ + d_2^+ + M.d_3^+$$

$$t_{ij} \geq CT_{ij}$$

$$t_{ij} \leq NT_{ij}$$

$$T_i + t_{ij} \leq T_j$$

$$T_N \leq CPCT$$

$\forall (i, j)$

Fonksiyonel kısıtlar.

$$\sum_{(i,j)} (-c_{ij}) . t_{ij} - d_1^+ + d_1^- = 0$$

$$\sum_{(i,j)} \sigma_{ij}^2 . t_{ij} - d_2^+ + d_2^- = 0$$

$$CPCT - d_3^+ + d_3^- = 0$$

$$CPCT \leq CPT(skaler)$$

Hedef kısıtları.

$$CPCT, T_i, T_j, t_{ij} \geq 0 \quad i, j = 1, 2, \dots, N$$

$$d_k^+, d_k^- \geq 0, \quad k = 1, 2, 3$$

$$\forall (i, j)$$

Hızlandırılacak faaliyetler A1, A2 ve A3 faaliyetleridir. Daha önceki sayfalarda PERT tekniği ile hızlandırmada gösterdiğimiz gibi iki hızlandırma imkanı mevcuttur. 1.hızlandırmada 3 günlük bir hızlandırma yapılmaktadır. Yani A1 faaliyeti için d_1^+ , A2 faaliyeti için d_2^+ ve A3 faaliyeti için d_3^+ dikkate alınacaktır. Tablo 10.3'ten görüleceği üzere her üç faaliyet için de gerekli bilgiler hızlandırma için mevcuttur.

Tablo 10.3. Hızlandırılan faaliyetlerin süre bilgileri (1.hızlandırma için).

Düğüm No	Faaliyet	Varyans	$\Delta m/\Delta s$	Faaliyet Adı	Hızlandırılabilir Süre (Gün)	Hızlandırılacak Faaliyetler
1	(0,1)	2,778	200	A1	3	Y_{A1}
3	(0,3)	2,778	200	A2	3	Y_{A2}
4	(0,4)	2,778	200	A3	3	Y_{A3}
33	(4,33)	2,778	0	H11	0	Y_{H11}
34	(33,34)	2,778	0	H12	0	Y_{H12}

1.Hızlandırma Modeli:

$$MinZ_3 = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9$$

$$MinZ = d_1^+ + d_2^+ + M . d_3^+$$

$$A1 = 0$$

$$A2 \geq 17 - Y_{A1}$$

$$A3 \geq 17 - Y_{A2}$$

$$H11 \geq 20 - Y_{A3}$$

$$H12 \geq 20 - H11$$

$$Y_{A1} \leq 3$$

Fonksiyonel kısıtlar.

$$Y_{A2} \leq 3$$

$$Y_{A3} \leq 3$$

$$Y_{H11} \leq 0$$

$$Y_{H12} \leq 0$$

$$H12 \leq \alpha$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9 \geq 0$$

$$200.Y_{A1} + 200.Y_{A2} + 200.Y_{A3} + 0.Y_{H11} + 0.Y_{H12} - (d_1^+ - d_1^-) = 0$$

$$\sigma_{A1}^2.Y_{A1} + \sigma_{A2}^2.Y_{A2} + \sigma_{A3}^2.Y_{A3} + \sigma_{H11}^2.Y_{H11} + \sigma_{H12}^2.Y_{H12} - (d_2^+ - d_2^-) = 0$$

$$\alpha - (d_3^+ - d_3^-) = 0$$

$$\alpha \geq 0$$

Hedef

$$\alpha \leq 57$$

$$Y_{A1}, Y_{A2}, Y_{A3}, A1, A2, A3, H11, H12 \geq 0$$

$$d_i^+ \geq 0, \quad d_i^- \geq 0 \quad i = 1, 2, 3$$

kısıtları.

Sonuç:

$$A1=14 \text{ gün} \quad Y_{A1}=3 \text{ gün}$$

$$A2=14 \text{ gün} \quad Y_{A2}=3 \text{ gün}$$

$$A3=14 \text{ gün} \quad Y_{A3}=3 \text{ gün}$$

$$H11=20 \text{ gün} \quad Y_{H11}=0 \text{ gün}$$

$$H12=20 \text{ gün} \quad Y_{H12}=0 \text{ gün}$$

$\alpha=54$ gün

$$d_1^+ = 1.800 \text{ YTL}$$

$$d_1^- = 0$$

$$d_2^+ = 25,002 \text{ (Esitvar yans)}$$

$$d_2^- = 0$$

$$d_3^+ = 54\text{gün}(\text{maksimumhuzlandır } a)$$

$$d_3^- = 0$$

Bunlara göre projenin kritik yolunun süresi 57 günden 54 güne düşmüştür. Projenin toplam maliyeti ise 107.749,30 YTL'den 1.800 YTL artışla 109.549,30 YTL'ye çıkmıştır.

2.hızlandırmada 5 günlük bir hızlandırma yapılmaktadır. Yani A1 faaliyeti için d_1^+ , A2 faaliyeti için d_2^+ ve A3 faaliyeti için d_3^+ dikkate alınacaktır. Tablo 10.4'ten görüleceği üzere her üç faaliyet için de gerekli bilgiler hızlandırma için mevcuttur.

Tablo 10.4. Hızlandırılan faaliyetlerin süre bilgileri (2.hızlandırma için).

Düğüm No	Faaliyet	Varyans	$\Delta m/\Delta s$	Faaliyet Adı	Hızlandırılabilir Süre (Gün)	Hızlandırılacak Faaliyetler
1	(0,1)	1,778	214,29	A1	5	Y_{A1}
3	(0,3)	1,778	200	A2	5	Y_{A2}
4	(0,4)	1,778	150	A3	5	Y_{A3}
33	(4,33)	2,778	0	H11	0	Y_{H11}
34	(33,34)	2,778	0	H12	0	Y_{H12}

2.Hızlandırma Modeli:

$$MinZ_3 = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9$$

$$MinZ = d_1^+ + d_2^+ + M.d_3^+$$

$$\begin{aligned}
A1 &= 0 \\
A2 &\geq 17 - Y_{A1} \\
A3 &\geq 17 - Y_{A2} \\
H11 &\geq 20 - Y_{A3} \\
H12 &\geq 20 - H11 \\
Y_{A1} &\leq 5 \\
Y_{A2} &\leq 5 \\
Y_{A3} &\leq 5 \\
Y_{H11} &\leq 0 \\
Y_{H12} &\leq 0 \\
H12 &\leq \alpha
\end{aligned}$$

Fonksiyonel kısıtlar.

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9 \geq 0$$

$$\begin{aligned}
214,29.Y_{A1} + 200.Y_{A2} + 150.Y_{A3} + 0.Y_{H11} + 0.Y_{H12} - (d_1^+ - d_1^-) &= 0 \\
\sigma_{A1}^2.Y_{A1} + \sigma_{A2}^2.Y_{A2} + \sigma_{A3}^2.Y_{A3} + \sigma_{H11}^2.Y_{H11} + \sigma_{H12}^2.Y_{H12} - (d_2^+ - d_2^-) &= 0 \\
\alpha - (d_3^+ - d_3^-) &= 0 \\
\alpha &\geq 0 \\
\alpha &\leq 57 \\
Y_{A1}, Y_{A2}, Y_{A3}, A1, A2, A3, H11, H12 &\geq 0 \\
d_i^+ \geq 0, \quad d_i^- \geq 0 \quad i = 1, 2, 3
\end{aligned}$$

Hedef kısıtları.

Sonuç:

$$A1=12 \text{ gün} \quad Y_{A1}=5 \text{ gün}$$

$$A2=12 \text{ gün} \quad Y_{A2}=5 \text{ gün}$$

$$A3=12 \text{ gün} \quad Y_{A3}=5 \text{ gün}$$

$H_{11}=20$ gün $Y_{H11}=0$ gün

$H_{12}=20$ gün $Y_{H12}=0$ gün

$\alpha=52$ gün

$$d_1^+ = 2.821,45 \quad YTL$$

$$d_1^- = 0$$

$$d_2^+ = 26,67 \quad (Esitvar \ yans)$$

$$d_2^- = 0$$

$$d_3^+ = 52 \text{ gün} (\text{maksimum huzlandır } a)$$

$$d_3^- = 0$$

Bunlara göre projenin kritik yolunun süresi 57 günden 52 güne düşmüştür. Projenin toplam maliyeti ise 107.749,30 YTL'den 2.821,45 YTL artışla 110.570,75 YTL'ye çıkmıştır.

11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

11.1. Çalışmamızın Değerlendirmesi

Proje yönetiminin temel amacı karın maksimizasyonunu sağlamak ve projenin minimum maliyetle gerçekleştirilmesine yönelik bir programı ortaya koymaktır. Bunu yaparken bir proje yöneticisinin dikkat etmesi gereken başka faktörler de vardır. Bunları tezimizin ilgili bölümlerinde işlemeye çalıştık. Özellikle işgücünün dengelenmesinin, kaynakların dengelenmesinin, gerçekleştirme süresinin optimize edilmesinin, süre-maliyet ilişkisini tayin etmenin projenin tamamlanmasında önemli bir yeri olduğunu belirtmeye çalıştık. Çünkü bir projenin gerçekleştirilmesinde müşteri açısından maliyetin ve proje süresinin öneminin yanı sıra, projeyi gerçekleştirecek firmanın da maliyetleri azaltmasının ve karı maksimize etmesinin önemi son derece açıktır. Müşterinin projesinin en minimum maliyetle en kısa sürede tamamlanmasını hedeflemesinin yanında, projeyi gerçekleştiren firmanın da projeyi en düşük maliyetle en yüksek kar ile tamamlamak istemesi kaçınılmaz bir taleptir. Eğer normal eylem süreleri kullanılarak saptanmış olan gerçekleştirme süresi proje yönetimi ve müşteri açısından istenenden uzunsa, şebekenin minimum maliyet artışına neden olacak biçimde sıkıştırılması, yani işin hızlandırılması gerekecektir.

Aslında bu üç konu birbiriyle bir bütün teşkil etmekte ve bir arada değerlendirilmeleri gerekmektedir. Ancak tezimizin konusunu oluşturan süre-maliyet ilişkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan sıkıştırmaları gerçekleştirmede kullanılabilen bir modelin ortaya konabilmesi, konuyu bu aşamada diğerlerinden soyutlamakla mümkündür. Yapılan çalışmamızda, her bir faktörün irdelenmesini ayrı ayrı gerçekleştirmek ve sonuçta elde edilen çıktıları bir araya getirerek bir karara varmaya çalışmak olmuştur.

Bu çalışmanın başında da ifade edildiği gibi, bir faaliyeti gerçekleştirmek için kullanılması gereken kaynak miktarı ilk bakışta faaliyetin süresinden bağımsız sabit bir değer olarak görülmektedir. Bu düşünceye paralel olarak, herhangi bir faaliyetin ya da projenin normal olarak nitelendirilen süreden daha kısa bir sürede tamamlanmak istenmesi durumunda değişecek olan tek şeyin birim zamanda sarf edilen kaynak

miktarı olacağı söylenebilir. Bu durumda söz konusu faaliyetin maliyetinin de süreden bağımsız, sabit bir değer olacağı açıktır.

Özellikle yapım sektöründe faaliyetler ya da projeler hızlandırıldığında bu hızlandırmadan dolayı bir takım etkin olmayan kaynak kullanımları ile üretkenlik düzeyinde düşüşler söz konusu olmaktadır. Bu ise aslında aynı nitelik ve nicelikteki iş için daha fazla kaynak kullanımı anlamına gelmektedir ki, sonuçta maliyette bir artışın meydana geleceği açıktır. Burada sözü edilen elbette dolaysız maliyet faktörlerinin karşılığı olan maliyettir.

Proje maliyetinin yalnızca dolaylı ve dolaysız maliyet unsurlarından oluştuğunu farz ederek ve diğer faktörleri daha sonra hesaba katılmak üzere bir kenara bırakarak soyutlamaya gidecek olursak; bunlardan dolaysız maliyet eğrisinin proje süresiyle ters; dolaylı maliyet doğrusunun ise aynı yönde gelişmesi sonucu, bu iki maliyet unsuruna ait değişimin aynı eğime sahip olduğu noktada toplam maliyet eğrisinin bir minimum yapacağını görmek mümkündür. Bu sonuç, sürenin maliyeti etkileyen önemli faktörlerden biri olduğunu, bu nedenle yüklenici ile girişimci arasında daima bir pazarlık konusu olacağını, dolayısıyla yüklenici açısından üzerinde dikkatle durulması gereken karar konularından birimi teşkil ettiğini ortaya koymaktadır.

Daha önce de açıklandığı gibi bir faaliyetin gerçekleştirilmesine yönelik bir eylemin daha kısa sürede tamamlanabilmesi ancak kullanılan kaynaklarda nitelik ve nicelik açısından belli artışların sağlanmasıyla söz konusu olabilir. Yatırımın toplam gerçekleştirme süresi de şebekeyi oluşturan bu faaliyetlerin hızlandırılmasıyla mümkündür. Süre-maliyet ilişkilerinin araştırılmasında başvuru bu işleme ‘sıkıştırma’ ya da ‘zorlama’ adı verilir.

Tezimizdeki modelin geliştirilmesinde esas alınan proje programlama yöntemi ‘Kritik Yörünge Metodu’ olmuştur. Bu amaçla öncelikle bir CPM programı geliştirilmiştir. Bu programla kritik yörünge ve kritik olmayan eylemlere ilişkin esneklikler saptanmıştır. Ayrıca her faaliyetin en erken-en geç başlangıç ve bitiş zamanları takvim tarihlerine dönüştürülerek çıktı olarak alınabilmektedir.

Aynı zamanda örnek olay çalışmamız için PERT tekniği de kullanılmış ve bu teknikle hedef programlamayla hızlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Normal koşullarda söz konusu projemizin tamamlanma süresi 57 gündür. Haftanın 7 günü çalışma günü şeklinde dikkate alınarak ve günde 8 saat işgücü kullanılarak projenin tamamlanması öngörülmüştür. Projenin toplam sözleşme bedelinin 107.749,30 YTL olarak öngörüldüğü, firmanın da bu bedel üzerine % 10 müteahhitlik karı olan hizmet bedelini ekleyerek 118.524,23 YTL sabit toplam bedel üzerinden projeyi üstlendiği tespit edilmiştir. Hedef programlama ile hızlandırma ve PERT tekniğinin günümüzde pek çok bilgisayar programı yardımıyla uygulanması gerçekleştirilir. Kullanım kolaylığı ve projeyi ayrıntılı analiz edebilme imkânı tanıdığından, Microsoft bünyesindeki Microsoft Office ürün grubu içerisinde yer alan Microsoft Project 2003 bilgisayar programından destek alınmıştır.

11.2. Sonuçların Değerlendirmesi

11.2.1. CPM ve PERT Tekniği ile Hedef Programlama Modelinin Sonuçlarının Değerlendirmesi

Tezimizin bir önceki bölümü olan onuncu bölümde ise, örnek olay inşaat projesi uygulama çalışmamız için doğrusal hedef programlama modeli ile hızlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Bu uygulama çalışması ile keşif yapılırken müşteriye verilen maliyetlerin belirlenmesinde ve projenin ne kadar sürede tamamlanacağına ilişkin sürecin tayin edilmesinde önerilen alternatiflerin değerlendirilmesinin ve projenin ne kadar etkin, ne kadar karlı ve ne kadar sürede tamamlandığının, doğrusal hedef programlama modeli ile hızlandırılması işleminin gerçekleştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Şekil 9.6’da görüldüğü gibi gecikme süresi sıfır (0) olan faaliyetler **A3**, **H11** ve **H12** faaliyetleridir. Bu faaliyetler projemizdeki kritik yolu ifade etmektedir. Projeye PERT’in uygulanmasıyla, projenin beklenen tamamlanma süresi ($A3-H11-H12 = 5,33 + 7,5 + 7,67 = 20,5$ gün) 20,5 gün olmuştur. Bu faaliyetlerde oluşacak herhangi bir aksama tüm projede bir aksamaya neden olabilir. Tablo 9.3’te yer alan gecikme sütunundaki sayılar, projenin bitirilmesi için gerekli olan 20,5 günü geçirmeden her bir

faaliyetin ne kadar geç başlayabileceğini göstermektedir. Örneğin G2 ve H2 faaliyeti arasındaki 8,17 günlük gecikme projenin beklenen zamanda tamamlanma süresini etkilemeyecektir. Yine aynı şekilde F4 faaliyetinin 8,35 güne kadar geç başlaması, H31 faaliyetinin 13,23 güne kadar geç başlaması projenin aksamasına neden olmayacaktır.

Gecikme süreleri aynı zamanda projenin aksamaması için bir faaliyetin en geç bitirilebileceği süreyi göstermektedir. Bu değerın sıfır (0) olması, faaliyetin istenildiği gibi gerçekleştirilebileceğini, pozitif olması projenin önünde gidildiğini (planın ilerisinde olduğunu), negatif olması da faaliyetin planlanan gidişatın gerisinde olduğunu ve bunun için de gerekli önlemlerin alınması gerektiğini işaret etmektedir.

Projede en çok gecikme süresine sahip olan faaliyet 18,42 gün ile D23 faaliyetidir. Sonra sırasıyla beklenen 17,06 gün ve yine 17,06 gün ile C22 ve C23 faaliyeti gelmektedir. 16,17 gün ile de E2 faaliyeti bunları takip etmektedir. Bu faaliyetler diğer faaliyetlere göre daha çok gecikme süresine sahip olduğundan, bu faaliyetlerden diğer faaliyetlere, özellikle kritik olan faaliyetlere, zaman ve işgücü şekilde kaynak aktarımının yapılması mümkündür. Tabii burada o faaliyette özellikle işgücünün olması gerekir ki o faaliyete gecikme süresi uzun olan faaliyetlerden kaynak aktarımı yapılabilir. A, C1, H, G ve İ kod numarası ile başlayan faaliyetler özellikle malzeme ve işgücüne dayalı işler olduğu için bu faaliyetlere işgücü kaynak aktarımı yapılabilir.

Projedeki her bir faaliyet için maliyetler ayrı ayrı Tablo 9.4'te verilmiştir. Faaliyetlerde malzeme, işgücü, nakliye ve genel giderler olmak üzere dört ayrı maliyet kalemi ele alınmıştır. Gider kalemleri tablodan da görüleceği gibi bazı kalemlerde varken diğer kalemlerde yoktur. Mesela B1 ve B2 faaliyeti için sadece nakliye ve genel gider kalemi mevcuttur. Genellikle tüm faaliyetler tek tek incelendiğinde maliyet kalemlerinin özellikle işgücü, malzeme ve genel giderden oluştuğu görülmektedir. Nakliye gideri ise o kadar sık görülmeyen bir gider kalemidir. Yani projenin tamamlanmasında işgücü, malzeme ve genel gider kalemlerinin çok önemli bir yeri vardır. Faaliyet maliyetleri arasında en fazla maliyete sahip faaliyetin C11 faaliyeti ile 22.440 YTL olduğu görülmektedir. Eğer bu faaliyet maliyetinde önemli bir azalma sağlanabilirse, projenin toplam maliyetinde önemli bir düşüş yakalanabilir ve projeden

elde edilecek kar da o derecede maksimize edilebilir. C11 faaliyetinin ise kritik yörüngede olmamış olması projenin maliyetini düşürmek için önemli bir fırsattır. Aynı süre ile proje maliyeti düşürülebilir.

Projenin kritik yolları yine 57 gün ile 4.yol ve yarı kritik yolu da 50,89 gün ile 15.yol olarak görülmektedir. Projenin kritik yolunun ve faaliyetlerinin en erken ve en geç başlama ve bitiş sürelerinin hesaplanması suretiyle gecikme sürelerinden yola çıkarak da bulabiliriz. Tablo 9.6’da en erken ve en geç başlama ve bitiş süreleri görülmektedir.

11.2.2. CPM ve PERT Tekniği ile Hızlandırma İşlemlerinin Sonuçlarının Değerlendirmesi

1.hızlandırma sonucunda kritik yolun beklenen değerinin 20,5 günden 20 güne düştüğü görülmektedir. Ancak projenin toplam maliyetinin ise 107.749,30 YTL’den $(600 \times 3 + 107.749,30) = 109.549,30$ YTL’ye çıkmıştır. Yani 1.hızlandırma sonucu genel toplam maliyet 109.549,30 YTL olarak çıkmıştır.

2.hızlandırma sonucunda kritik yolun beklenen değerinin 20,5 günden 19,667 güne düştüğü görülmektedir. Ancak projenin toplam maliyetinin ise 107.749,30 YTL’den $(1.500 + 1.000 + 750 + 107.749,30) = 110.999,30$ YTL’ye çıkmıştır. Yani 2.hızlandırma sonucu genel toplam maliyet 110.999,30 YTL olarak çıkmıştır.

Hızlandırmalar tamamlandığında, kritik yolumuzu ifade eden 4.yola baktığımızda, 2 farklı hızlandırma sonucunda toplam yaklaşık olarak 1 güne yakın proje süresi kısalmıştır. Ve bunun için oluşacak toplam maliyet 110.999,30 YTL’dir.

11.2.3. Hedef Programlama ile Hızlandırma İşlemlerinin Sonuçlarının Değerlendirmesi

Kurulan modelde esas olarak üç hedef alınmıştır. Model için gerçekleştirilmek istenen hedefler özetlenirse,

4. Projedeki firma kârını maksimize etmek,

5. Projenin toplam maliyetini minimize etmek (işgücü + malzeme + nakliye + genel giderler),

6. Projenin toplam süresini minimize etmektir.

Bu üç ayrı model dikkate alınarak hedef programlama ile hızlandırma işlemleri yapılmış ve sonuçlar şu şekilde elde edilmiştir. Hızlandırılacak faaliyetler A1, A2 ve A3 faaliyetleridir. Daha önceki sayfalarda PERT tekniğı ile hızlandırmada gösterdiğimiz gibi iki hızlandırma imkânı mevcuttur.

1.Hızlandırmanın Sonuçları:

1.hızlandırmada 3 günlük bir hızlandırma yapılmıştır. Yani A1 faaliyeti için d_1^+ , A2 faaliyeti için d_2^+ ve A3 faaliyeti için d_3^+ dikkate alınmıştır. Tablo 10.3'ten görüleceğı üzere her üç faaliyet için de gerekli bilgiler hızlandırma için mevcuttur. Değerler şu şekilde elde edilmiştir.

$$A1=14 \text{ gün} \quad Y_{A1}=3 \text{ gün}$$

$$A2=14 \text{ gün} \quad Y_{A2}=3 \text{ gün}$$

$$A3=14 \text{ gün} \quad Y_{A3}=3 \text{ gün}$$

$$H11=20 \text{ gün} \quad Y_{H11}=0 \text{ gün}$$

$$H12=20 \text{ gün} \quad Y_{H12}=0 \text{ gün}$$

$$\alpha=54 \text{ gün}$$

$$d_1^+ = 1.800 \quad YTL$$

$$d_1^- = 0$$

$$d_2^+ = 25,002 \quad (Esit \text{ var yans})$$

$$d_2^- = 0$$

$$d_3^+ = 54 \text{ gün} (\text{maksimum hızlandır } a)$$

$$d_3^- = 0$$

Bunlara göre projenin kritik yolunun süresi 57 günden 54 güne düşmüştür. Projenin toplam maliyeti ise 107.749,30 YTL'den 1.800 YTL artışla 109.549,30 YTL'ye çıkmıştır.

2.Hızlandırmanın sonuçları:

2.hızlandırmada 5 günlük bir hızlandırma yapılmıştır. Yani A1 faaliyeti için d_1^+ , A2 faaliyeti için d_2^+ ve A3 faaliyeti için d_3^+ dikkate alınmıştır. Tablo 10.4'ten görüleceği üzere her üç faaliyet için de gerekli bilgiler hızlandırma için mevcuttur. Değerler şu şekilde elde edilmiştir.

$$A1=12 \text{ gün} \quad Y_{A1}=5 \text{ gün}$$

$$A2=12 \text{ gün} \quad Y_{A2}=5 \text{ gün}$$

$$A3=12 \text{ gün} \quad Y_{A3}=5 \text{ gün}$$

$$H11=20 \text{ gün} \quad Y_{H11}=0 \text{ gün}$$

$$H12=20 \text{ gün} \quad Y_{H12}=0 \text{ gün}$$

$$\alpha=52 \text{ gün}$$

$$d_1^+ = 2.821,45 \quad YTL$$

$$d_1^- = 0$$

$$d_2^+ = 26,67 \quad (Esitvar \ yans)$$

$$d_2^- = 0$$

$$d_3^+ = 52 \text{ gün} (maksimum \ hızlandır \ a)$$

$$d_3^- = 0$$

Bunlara göre projenin kritik yolunun süresi 57 günden 52 güne düşmüştür. Projenin toplam maliyeti ise 107.749,30 YTL'den 2.821,45 YTL artışla 110.570,75 YTL'ye çıkmıştır.

11.3. Öneriler

Projede en çok gecikme süresine sahip olan faaliyet 18,42 gün ile D23 faaliyetidir. Sonra sırasıyla beklenen 17,06 gün ve yine 17,06 gün ile C22 ve C23 faaliyeti gelmektedir. 16,17 gün ile de E2 faaliyeti bunları takip etmektedir. Bu faaliyetler diğer faaliyetlere göre daha çok gecikme süresine sahip olduğundan, bu faaliyetlerden diğer faaliyetlere, özellikle kritik olan faaliyetlere, zaman ve işgücü şekilde kaynak aktarımının yapılması mümkündür. Tabii burada o faaliyette özellikle işgücünün olması gerekir ki o faaliyete gecikme süresi uzun olan faaliyetlerden kaynak aktarımı yapılabilsin. A, C1, H, G ve İ kod numarası ile başlayan faaliyetler özellikle malzeme ve işgücüne dayalı işler olduğu için bu faaliyetlere işgücü kaynak aktarımı yapılabilir.

Faaliyet maliyetleri arasında en fazla maliyete sahip faaliyetin C11 faaliyeti ile 22.440 YTL olduğu görülmektedir. Eğer bu faaliyet maliyetinde önemli bir azalma sağlanabilirse, projenin toplam maliyetinde önemli bir düşüş yakalanabilir ve projeden elde edilecek kar da o derecede maksimize edilebilir. C11 faaliyetinin ise kritik yörüngede olmamış olması projenin maliyetini düşürmek için önemli bir fırsattır. Aynı süre ile proje maliyeti düşürülebilir.

KAYNAKÇA

Kitaplar

Albayrak, Burhan. **Proje Yönetimi ve Danışmanlık**. 2. Baskı, Ankara: Alfa, 1998

Anon, **İktisadi Analiz** , Ankara:Anadolu Üniversitesi Yayınları , No: 40, 1985

Barutçugil, İ. S. **Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri**. 2.Baskı, Bursa: Uludağ Üniversitesi Yayınları, 1988

Battersby, A. **Network Analysis for Planning and Scheduling**, New York:St. Martins Press, 2nd Edition,, 1967

Budnick,F.S., .A. Mojena, T.E. Vollman, **Principles of Operations Research for Management**, Richard D. Irwin Inc., 1977

Charnes A. ve Chooper W. W., **Management Models and Industrial Application of Linear Programming**, Vol. I., New York: John Wiley & Sons,1961

Ching-Lai H. and Masud A. S., **Multi Objective Decision Methods and Applications**, Berlin:Springer Verlag Publications, 1979

Churchman, C. W. **Introduction to Operations Research, Second Corrected Printing**, New York: John Wiley & Sons Inc., 1968

Cinemre, Nalân. **Yöneylem Araştırması**. 2. Baskı, İstanbul:Beta Basım Yayım, 2004

Çetmeli, E. **Yatırımların Planlanasında Kritik Yörünge ve Pert Metodları**, İstanbul, 1982,

Devlet Yatırım Bankası, **Yatırım Projelerinin Hazırlanması ve Değerlendirilmesi**. Cilt I-II , Ankara,1985

Doğan, İbrahim. Yöneylem Araştırması,

Elmaghraby, S. E., **Aktivity Networks**, New York, 1977

Evren, R. ve Füsün Ülengin,**Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme**, İstanbul: İ.T.Ü. 1992

Goodwin, P. and G.Wright, **Decision Analysis for Management Judgment**, New York: John Wiley & Sons, 1992

Grow, T.A. **Construction: A Guide For The Profession**,New Jersey, USA. Prentice-Hall, Inc.1975

Gökçen, H. “Karışık Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Yeni Modeller” (Yayınlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1994)

Gutsch, R.W. “Project Management By Means of A Network System of The Third Generation”, **Proceedings of The Second Internationals Congress**, Amsterdam, The Netherlands, 6-10 October, 1969, Edited By H. J. M.Lombaers, North Holland Publishing Company, Amsterdam, London, 1969

Halaç, Osman. **Kantitatif Karar Verem Teknikleri**, İstanbul: Alfa Basım Yayım Dağıtım,1995

Heineck, L.F. **The Programing Of House Building**, Federal University of R.G. Do Sul, Porto Alegre, Brasil, 1985

Heizer, J. and B. Render, **Operations Management**. 6th Ed., New Jersey, USA: Prentice-Hall, 2001

Hirt, J.B. **An Integrated Management Control Technique For The Steel Erection Industry**, Michigan:University Microfilms Inc, 1964

Ijiri, Y., **Management Goals and Accounting for Control**, Amsterdam:Northolland Publishing Co., 1965

Kauffmann , A. and G.Destbazeille, **The Critical Path Metod** , New York: Gordon and Breach Science Publishers

Kazan, A. “Türkiye Ekonomisi İçin Bir Ekonometrik Model Denemesi ve Ekonometrik Modellerin Hedef Programlama Modelleri ile Eşanlı Kullanımı” (Yayınlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, 140 sayfa+Ekler, Ankara,1997)

Kongar, Emre and S. M.Gupta, “A Multi-Criteria Model For Remanufacturing”, **Proceedings Of The Third International Conference On Operations and Quantitative Management**, 2000

Kuruüzüm, O. “Prosess Endüstrisinde Proses Kontrolü Problemine Hedef Programlama ile Yaklaşım ve Alternatif Bir Programlama Algoritması Önerisinin Bir Uygulama Üzerinde Değerlendirilmesi” (Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,1986)

Lee, S. M.**Goal Programming for Decision Analysis**, Philadelphia: Auerbach Publishers Inc., 1972

Lin, W. T. **A Survey of Goal Programming Applications**. OMEGA, Volume: 8, 1980

Manne, A. **Economic Analysis For Business Decisions**, New York: Mc Graw–Hill Book Company, 1961

Marshall, A. **Principles of Economics** , London :Mc Millan & Co. Ltd., 1916.

Martino, R. L. **Critical Path Networks**, New York: Mc Graw-Hill Book Company, 2nd Edition , 1969

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

O' Brien, J.**Critical Path Method, Creative Control of Building Cost**, Edited by HUNT ,W. D., Jr., ATA , Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1967

Öztürk, Ahmet. **Yöneylem Araştırması**, Bursa: Uludağ Üniversitesi Baimevi, 1987

Render, B. and Ralph M. Stair, **Quantitative Analysis for Management**, 3. Edition, Boston: Allyn and Bacon Inc., 1988

Ringuest, L. Jeffrey. **Multiobjective Optimization: Behavioral and Computational Considerations**, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1992

Sariasslan, Halil ve Ali Argun Karaca, **İşletmelerde Sayısal Analizler**, Ankara:Turhan Kitapevi, 2003

Spinner, M.P. **Project Management: Principles and Practicles**, New Jersey, USA: Prentice-Hall, 1997

Soysal, A. "Proje Yönetimine Giriş", **Seminer Notları**, İstanbul,1986.

Şahin, Hüseyin. **Yatırım Projeleri Analizi**. 2. Baskı, Bursa: Ezgi kitapevi,2000.

Taha, Hamdy A. **Yöneylem Araştırması**. Ş. Alp Baray ve Şair Esnaf (çeviren ve uyarlayanlar). 3. Basım. İstanbul:Literatür Yayınları, 2003

Timor, Mehpare. **Yöneylem Araştırması ve İşletmecilik Uygulamaları**, İstanbul:İstanbul Üniversitesi Yayınları, 2002

Wu, Nesa and Richard Coppins. **Linear Programming and Extensions**, New York: McGraw-Hill Inc., 1981

Zeleny, M. **Multiple Criteria Decision Making**, New York:Mc Graw-Hill Co., 1982

Sürelı Yayınlar

Atan,Murat ve D. Boztosun., “Hedef Programlaması İle Türkiye Bankacılık Sektöründe Finansal Planlama Uygulaması”, **Kooperatifçilik Dergisi**, Sayı 145, Temmuz - Ağustos – Eylül, Ankara, 2004

Aouni,B. and O. Kettani, “Goal Programming Model: A Glorious History and A Promising Future”, **European Journal of Operational Research**, Vol 133, No 2, 2001

Barutçugil, İ.S. "Büyük Ölçekli Yatırım Projelerinin Yönetimi", **Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, cilt 5,sayı 2, 1984

Cebeci, Yakup, Ali Kahraman ve Mehmet Canbazoglu, ‘Proje Planlama Teknikleri ve Madencilik Projelerine Uygulanması’, **Madencilik**, cilt15, sayı 2 (Haziran 1991)

Charnes, A., W. W. Cooper and R. O. Ferguson, “Optimal Estimation of Executive Compensation by Linear Programming”, **Management Science**, Vol 1, No:2, January, 1955

Çezik , O. A. “Yapı bilim ve Yapı Endüstrisinde Yöneylem Araştırması”, **YAE, Teknik Bülten** 5. , Yaz, 1981

Dağdeviren, Metin, Diyar Akay ve Mustafa Kurt, “İş Değerlendirme, Faktör Derece Puanlarının Belirlenmesinde Hedef Programlama Yönteminin Kullanılması” , **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 19, No1,89-95, 2004

Dağdeviren, Metin ve Tamer Eren, “Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 16, No2, 2001

- Deckro, Richard F. and John E. Hebert, ‘Goal Programming Approaches To Solving Linear Decision Rule Based Aggregate Production Planning Models’. **IIIE Transaction**, Sayı:16, 1984
- Doğan, İsmet, Nurhan Doğan, Abdülkadir Akcan, ‘Rasyonel ve Ekonomik Hayvan Beslemede Hedef Programlamadan Yararlanma’, Tubitak **Turk J Vet Anim Sci**, 24, 2000
- Gülenç, İ.Figen ve Bilge Karabulut, “Doğrusal Hedef Programlama İle Bir Üretim Planlama Probleminin Çözümü”, **Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, (9) 2005 / 1
- Ignizio, J. P. “Generalized Goal Programming: An Overview”, **Computers and Operations Research**, Volume: 10, No: 4, 1983
- Jones, D. F., S. K. Mirrazavi and M. Tamiz, “Multi-Objective Meta-Heuristics: An Overview of The Current State-of-The-Art”, **European Journal of Operational Research**, Vol 137, No 1, 1-9, 2002
- Kornbluth, J. S. H. “A Survey of Goal Programming”, **OMEGA, the International Journal of Management Sciences**, Volume: 1, 1973
- Lee S. M., (1973), “Goal Programming for Decision Analysis of Multiple Objectives”, **Sloan Management Review**, USA, Vol. 14, No:2,
- Leung, Stephen C. H., Yue Wu And K. K. Lai, “Multi-Site Aggregate Production Planning With Multiple Objectives: A Goal Programming Approach Production Planning & Control”, Vol. 14, No. 5, July–August 2003
- Maria, Aniela, Christopher A. Mattson, Amir Ismail-Yahaya and Achille Messac, ‘Linear Physical Programming For Production Planning Optimization’, **Engineering Optimization**, Vol.35(1), 2003

- Mendoza, G.A. "A Heuristic Programming Approach in Estimating Efficient Target Levels in Goal Programming", **Canadian Journal of Forest Research**, Volume: 16, 1986
- Nagarur, Nagen, Prem Vrat, Wanchai Duongsuwan, "Production Planning And Scheduling For Injection Moulding Of Pipe Fittings: A Case Study", **International Journal Of Production Economics** 53,1997
- Nandakumar, A.H.N. "Simulation Model To Forecast Project Completion Time", **Journal of Construction Engineering & Management** , ASCE , Vol. 111 , No: 4 , December , 1985
- Perera, Srilal. "A Linear Programing Solution In Network Contraction", **Journal of The Construction Division** , September , 1980
- Perera , Srilal. "Overlapping Precedence Networks" , **Journal of The Construction Division** , March , 1982
- Romero, C. "A Survey of Generalized Goal Programming", **European Journal of Operational Research**, Volume: 25, No: 2, May, 1986
- Rustagi, K. P. ve B. B. Bare, "Resolving Multiple Goal Conflicts with Interactive Goal Programming", **Canadian Journal of Forest Research**, Volume: 17, 1987
- Uría, M.V.R., R.Caballero, F. Ruiz, and C. Romero, "Meta-Goal Programming", **European Journal of Operational Research**, Vol 136, No 2, 2002
- Turanlı, Münevver ve Ali Köse, 'Doğrusal Hedef Programlama Yöntemi İle Türkiye'deki Sigorta Şirketlerinin Performanslarının Değerlendirilmesi', **İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, Yıl:4 Sayı:7 (Bahar 2005/1)

Walker, H. D. “An Alternative Approach to Goal Programming”, **Canadian Journal of Forest Research**, Volume: 15, 1985

Yılmaz, Ersin. “Amaç Programlama Tekniğı Ve Orman Kaynakları Planlamasına Uygulanması Örnekleri”, Tarsus **Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Doğa Dergisi** (Journal of DOĞA), Sayı: 11, Yıl: 2005

İnternet Yayınları

Chowdary Boppana V. and Jannes Slomp, “Production Planning under Dynamic Product Environment: A Multi-objective Goal Programming Approach”, <http://www.ub.rug.nl/eldoc/som/a/02A12/02A12.pdf> (12.12.2004)