

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CPM, PERT ve BULANIK MANTIK TEKNİKLERİYLE PROJE YÖNETİMİ VE BİR
İŞLETMEDE UYGULANMASI**

METE MAZLUM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ALİ FUAT GÜNERİ**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CPM, PERT ve BULANIK MANTIK TEKNİKLERİYLE PROJE YÖNETİMİ VE BİR
İŞLETMEDE UYGULANMASI**

Mete MAZLUM tarafından hazırlanan tez çalışması 10.07.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ali Fuat GÜNERİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ali Fuat GÜNERİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Semih ÖNÜT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Uğur Buğra Çelebi
Yıldız Teknik Üniversitesi

Projelerin çok büyük ve karmaşık oluşu nedeniyle etkili planlama tekniklerine ihtiyaç duyulmuştur. En çok bilinen ve en gelişmiş olan proje planlama, programlama ve kontrol teknikleri CPM ve PERT'tir. Bu teknikler, proje için belirlenen hedeflere sınırlı kaynakların optimum şekilde kullanımını sağlayarak ulaşmayı amaçlamaktadır. Söz konusu tekniklerde kullanılan zaman değerlerinin bulanıklaştırılması neticesinde Bulanık PERT ve CPM teknikleri ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada klasik ve bulanık CPM ve PERT tekniklerinden faydalanılarak bir projenin planlaması yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca proje yönetimi, projelerin planlanması, programlanması ve kontrolü kavramları ile bulanık mantık metodolojisi incelenmiştir.

Bu çalışmanın yapılmasında bana yol gösteren değerli hocam Doç. Dr. Ali Fuat Güneri'ye ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos, 2014

Mete MAZLUM

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
1.2 Tezin Amacı.....	4
1.1 Hipotez.....	4
BÖLÜM 2	
PROJE YÖNETİMİ VE KONTROLÜ	5
2.1. Proje Kavramı.....	5
2.2. Projelerin Özellikleri	5
2.3. Proje Yönetimi.....	7
2.3.1 Proje Planlama	10
2.3. Proje Yönetimi.....	7
BÖLÜM 3	
KRİTİK YOL METODU	22
3.1. Şebekeyi Oluşturan Temel Kavramlar.....	22
3.1.2 Faaliyetler.....	23
3.1.2.1 Faaliyetlerin Tanımı	23
3.1.2.2 Faaliyetlerin Zaman Birimi Ve Tanımlanması	23
3.1.2.3 Kulka Faaliyetler.....	24
3.1.3 Faaliyetler Arasındaki Bağlantılar	25

3.1.4 Faaliyetlerin Numaralandırılması.....	27
3.2 Şebeke Diyagramının Oluşturulması.....	27
3.2.1 Şebeke Diyagramının Oluşturulması Sürecinde Uyulması Gereken Temel Kurallar.....	27
3.2.2. Şebeke Diyagramının Oluşturulması Sürecinde Kaçınılması Gereken Mantıksal Hatalar	30
3.3 Şebeke Diyagramında Faaliyetlerin Ve Olayların Zaman Sınırlarının Belirlenmesi – Şebekenin Programlanması	31
3.3.1 Düğüm Noktalarının En Erken Olay Zamanlarının Tespiti.....	33
3.3.2 Düğüm Noktalarının En Geç Olay Zamanlarının Tespiti.....	34
3.3.3 Faaliyetlerin En Erken Başlama Süresi (Early Starting Time: ES)	36
3.3.4 En Erken Bitme Süresi (Early Finishing Time: EF)	36
3.3.5 En Geç Bitme Süresi (Late Finishing Time: LF)	36
3.3.6 En Geç Başlama Süresi (Late Starting Time: LS)	37
3.4 Kritik Yolun Belirlenmesi:.....	37
3.5 Şebekenin Boşluk Değerleri	37
3.5.1 Toplam Boşluk.....	38
3.5.2 Serbest Boşluk.....	38
3.5.3 Bağımsız Boşluk.....	39
3.6 Şebeke Analizlerinde Zaman - Maliyet İlişkisi ve Hızlandırma İşlemi	39
3.6.1 CPM' de Zaman Maliyet Eğrileri.....	41
3.6.2 Proje Toplam Süresinin Kısaltılması	42
3.6.2.1 Basit Hızlandırmalarla Proje Süresinin Maliyet Artışı Minimum Olacak Şekilde Kısaltılması	43
BÖLÜM 4	
BULANIK MANTIK.....	53
4.1 Bulanık Kümeler ve Bulanık Sayılar	57
4.1.1 Bulanık kümeler	57
4.1.2 Bulanık Sayılar	59
4.1.2.1 Üçgensel bulanık sayılar	61
4.1.3 Bulanık sayılarda işlemler	62
4.1.3.1 Bulanık sayılarda yaklaşık işlemler	62
4.1.4 Üyelik fonksiyonları	63
4.1.13 Durulaştırma (Defuzzification)	81
4.1.13.1 Ağırlık merkezi (Centroid) yöntemi.....	81
4.1.13.2 Ağırlıklı ortalama yöntemi	82
BÖLÜM 5	
BULANIK PERT (FPERT) YÖNTEMİ	83
5.2 Bulanık CPM (FCPM) Yöntemi	86
BÖLÜM 6	
PROJE YÖNETİMİ ve BULANIK PROJE YÖNETİMİ UYGULAMASI	88
6.1 CPM ile Proje Süresinin Hesaplanması.....	89

6.2 Bulanık CPM ile Proje Süresinin Hesaplanması.....	91
6.3 Klasik PERT ile Proje Süresinin Hesaplanması.....	94
6.4 Bulanık PERT ile Proje Süresinin Hesaplanması	96
6.5 CPM, PERT, FCPM ve FPERT İle Elde Edilen Proje Sürelerin Gösterilmesi..	101
6.6 Proje Maliyetlerinin İncelenmesi.....	102
6.7 Proje Üzerindeki Olası Senaryoların Analizi ve Klasik Pert ile Proje Süresinin Hesaplanması.....	104

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER	107
KAYNAKLAR.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	113

SİMGE LİSTESİ

$(\tilde{E\tilde{S}_i} - E\tilde{F}_i)$	İleriye Doğru Geçişte Bulanık En Erken Başlama-Bitiş Zamanları
$(\tilde{L\tilde{S}_i} - L\tilde{F}_i)$	Geriye Doğru Geçişte Bulanık En Geç Başlama-Bitiş Zamanları
$(-)$	Bulanık Çıkarma
$(+)$	Bulanık Toplama
$(Te)_i$	Faaliyet i'nin En Erken Gerçekleşebileceği Zaman
$(Tg)_i$	Faaliyet i'nin En Geç Gerçekleşebileceği Zaman
$\tilde{A}_i$	En Erken Başlama Zamanları
$\wedge$	İki Kümenin Kesişimi
$\mu_{A \cap B}(x)$	$A \cap B$ Kesişimin Üyelik Fonksiyonu
μ	Üyelik Derecesi
$\mu_A(x)$	x Değerinin A Kümesindeki Üyelik Derecesi
$\mu_{A \cup B}(x)$	$A \cup B$ Kümesinin Üyelik Fonksiyonu
A	Bulanık Kümesi
a	En Küçük Değer
$a(x,y,z)$	X, Y ve Z Firmalarının İyimser Faaliyet Sürelerinin Ortalama Değeri
$m(x,y,z)$	X, Y ve Z Firmalarının Optimal Faaliyet Sürelerinin Ortalama Değeri
$b(x,y,z)$	X, Y ve Z Firmalarının Kötümser Faaliyet Sürelerinin Ortalama Değeri
C_{pi}	Bir i Yolunun Kritiklik Derecesi
α_1	Büüklüğün Alt Sınırlarının Kabul Edilebilir Değeri
α_2	Büüklüğü Kesinlikle Gösteren Sayı
α_3	Büüklüğün Üst Sınırlarının Kabul Edilebilir Değeri
T	Arzu Edilen Proje Tamamlanma Zamanını
b	En büyük Değer
EF	Faaliyetin En Erken Bitirme Zamanı
U	Elemanları "x" ile Gösterilen Bir Evrensel Küme
ES	Faaliyetin En Erken Başlama Zamanı
LF	Faaliyet için En Geç Bitirme Zamanı
LS	Faaliyetin En Geç Başlama Zamanı
m	Optimal Değer
P_i	j İşinin Öncül İşler Seti
S_i	j İşinin Ardıl İşler Seti
$\sup$	Bir Kümenin En Büyük Değeridir

TB	Toplam Bolluk
te	Beklenen Ortalama Zaman
Te	Beklenen Proje Tamamlanma Zamanını
tij	Faaliyet Süresini
Tpi	i. Yolun Bulanık Yol Uzunluğu
vj	j İşi
σ	Standart Sapma
σ_T	Kritik Yol Üzerindeki Standart Sapma

KISALTMA LİSTESİ

CPM	Kritik Yol Metodu
FCPM	Bulanık CPM
FPERT	Bulanık PERT
GM	Gerçekleşen Maliyet
ISO	Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
KD	Kazanılmış Değer
KDY	Kazanılmış Değer yöntemi
LOB	Denge Çizgisi
MIS	Yönetim Bilgi Sistemi projesi
MPE	Maliyet Performans Endeksi
MV	Maliyet Varyansı
PD	Planlanmış Değer
PERT	Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği
PMI	Proje Yönetimi Enstitüsü
PQLC	Potansiyel Kalite Kaybı Maliyeti (Potential Quality Loss Cost)
ZÇV	Zaman Çizelgesi Varyansı
ZÇPE	Zaman Çizelgesi Performans Endeksi
WBS	İş Dağılım Yapısı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Proje yönetim safhaları8
Şekil 2.2	Gantt cetveli16
Şekil 2.3	Gantt'tan PERT'e geçişin birinci aşaması18
Şekil 2.4	Gantt'tan PERT'e geçişin ikinci aşaması18
Şekil 2.5	Bir PERT ve CPM şebekesini oluşturan tüm faaliyetlerin tamamlanma sürelerini ifade eden (farazi) değerlerin diyagram üzerinde gösterimi.....19
Şekil 3.1	İki faaliyetin grafik olarak gösterimi21
Şekil 3.2	Üç farklı faaliyetin gösterimi23
Şekil 3.3	Kukla faaliyetin gösterimi.....23
Şekil 3.4	Farklı dört faaliyet arasındaki ilişkinin gösterimi.....24
Şekil 3.5	Kukla faaliyetin farklı bir gösterimi24
Şekil 3.6	İki faaliyet arasındaki bağıntının gösterimi.....25
Şekil 3.7	Üç farklı faaliyet arasındaki bağıntının gösterimi.....25
Şekil 3.8	Üç faaliyet arasındaki bağıntının gösterimi25
Şekil 3.9	Şebeke kurulumunda temel çizginin gösterimi.....27
Şekil 3.10	Ana faaliyetlerin oluşturduğu proje şebekesi28
Şekil 3.11	Alt faaliyetlerin oluşturduğu kapalı şebekenin gösterimi28
Şekil 3.12	İlmik probleminin gösterimi.....29
Şekil 3.13	Diyagramdaki mantıksal probleminin (askı) gösterimi30
Şekil 3.14	Zaman tahmini yapılan dört farklı faaliyetin gösterimi.....31
Şekil 3.15	Örnek projenin şebeke diyagramı43
Şekil 3.16	Basit hızlandırmalarla maliyetlerin azaltılmasına ait örneğin ilk aşaması44
Şekil 3.17	Basit hızlandırmalarla maliyetlerin azaltılmasına ait örneğin ikinci aşaması45
Şekil 3.18	Basit Hızlandırmalarla Maliyetlerin Azaltılmasına Ait Örneğin üçüncü aşaması45
Şekil 3.19	Basit hızlandırmalarla maliyetlerin azaltılmasına ait örneğin dördüncü aşaması46
Şekil 3.20	Basit hızlandırmalarla maliyetlerin azaltılmasına ait örneğin beşinci aşaması48
Şekil 3.21	Basit hızlandırmalarla maliyetlerin azaltılmasına ait örneğin altıncı aşaması51

Şekil 3.22	Basit hızlandırmalarla maliyetlerin azaltılmasına ait örneğin son durumu	52
Şekil 4.1	Bulanık mantık modeli	60
Şekil 4.2	Klasik mantık modeli	60
Şekil 4.3	Bitişik dikdörtgen gösterim	63
Şekil 4.4	Bitişik üçgen gösterim	64
Şekil 4.5	Örtüşmeli üçgen gösterim	65
Şekil 4.6	Bulanık küme	66
Şekil 4.7	Bir bulanık kümenin çekirdek, destek ve sınırkısımları	67
Şekil 4.8	Normal bulanık küme	68
Şekil 4.9	Subnormal bulanık küme	68
Şekil 4.10	Konveks normal bulanık küme	69
Şekil 4.11	Nonkonveks normal bulanık küme	70
Şekil 4.12	Bulanık kümelerin birleşme özelliği	71
Şekil 4.13	Bulanık kümelerin kesişme özelliği	72
Şekil 4.14	Bulanık kümelerin evrik alma özelliği	73
Şekil 4.15	Mesafe bulanık alt kümeleri	75
Şekil 4.16	Bir girdi altkümesinin bir çıktı alt kümesine gitmesi	77
Şekil 4.17	Servis kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu	78
Şekil 4.18	Yemek kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu	79
Şekil 4.19	İki girdi değişkeninin bulanıklaştırılması	80
Şekil 4.20	Bahşış miktarı değişkeninin üyelik fonksiyonu	81
Şekil 4.21	Bulanık çıkarım kümesi	81
Şekil 4.22	Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma	82
Şekil 4.23	Ağırlıklı ortalama yöntemiyle durulaştırma	83
Şekil 6.1	Kesin faaliyet sürelerinin WinQSB ekranında gösterimi	89
Şekil 6.2	Kesin faaliyet zamanları için WinQSB ile proje tamamlanma zamanının hesaplanması	90
Şekil 6.3	Projenin kritik yolunun, beklenen tamamlanma süresinin gösterimi	90
Şekil 6.4	Grafiksel CPM çözümü	91
Şekil 6.5	Her bir faaliyet için kötümser temsilci değeri ve WinQSB’de çözümü	93
Şekil 6.6	Her bir faaliyet için iyimser temsilci değeri ve WinQSB’de çözümü	94
Şekil 6.7	Her faaliyet için zaman tahminlerinin WinQSB ekranında gösterimi	95
Şekil 6.8	Klasik PERT için aktivite analizi ve elde edilen sonuçlar	96
Şekil 6.9	Projenin kritik yolunun beklenen tamamlanma süresinin ve varyansının gösterimi	97
Şekil 6.10	Yolların kritiklik derecelerinin hesaplanması	101
Şekil 6.11	Senaryo Analizinde Her Faaliyet İçin Zaman Tahminlerinin WINQSB Ekranında Gösterimi	104
Şekil 6.12	Senaryo Analizinde Klasik PERT İçin Aktivite Analizi ve Elde Edilen Sonuçlar	105
Şekil 6.13	Senaryo Analizi Sonucunda Oluşan Kritik Yolun Beklenen Tamamlanma Süresinin ve Varyansının Gösterimi	106

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	Örnek proje için hazırlanmış faaliyetler ve maliyetlerine ilişkin43
Çizelge 6.1	Faaliyet tanımları ve kodları.....88
Çizelge 6.2	Online internet şube için gerekli olan faaliyetler, faaliyetlerin öncelik ilişkileri ve her faaliyet için firmaların verdiği üçgensel bulanık sayılar ile temsilci değerleri.....91
Çizelge 6.3	Herbir faaliyet için kötümser ve iyimser üçgensel bulanık sayılar ve temsilci değerleri.....92
Çizelge 6.4	X, Y ve Z firmalarından alınan bulanık faaliyet süreleri ve ortalama değerleri.....98
Çizelge 6.5	ES (erken başlama), EF (erken bitirme) zamanları99
Çizelge 6.6	LS (son başlama) ve LF (son bitme) zamanları.....99
Çizelge 6.7	Yolların kritiklik dereceleri.....101
Çizelge 6.8	CPM, PERT, FCPM ve FPERT İle Elde Edilen Proje Sürelerin Gösterilmesi.....101
Çizelge 6.9	Proje Maliyetlerinin Gösterilmesi.....103

**CPM, PERT ve BULANIK MANTIK TEKNİKLERİYLE PROJE YÖNETİMİ VE BİR
İŞLETMEDE UYGULANMASI**

Mete MAZLUM

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ali Fuat GÜNERİ

Artan rekabet ortamı sonucunda projelerin öngörülen zamanda ve belirlenmiş kaynaklarla tamamlanmaları zorunlu hale gelmiştir. Projelerin gecikmeden belirlenmiş mevcut şartlar dahilinde tamamlanabilmeleri için etkili bir proje yönetimine ihtiyaç duyulmakta ve bu gereksinimlerin karşılanmasında proje planlama tekniklerinden yararlanılmaktadır.

Bu çalışmada proje yönetiminin önemli bir basamağını oluşturan, proje planlama tekniklerinden klasik PERT ve CPM ile bulanık proje yönetiminde kullanılan bulanık PERT (FPERT) ve bulanık CPM (FCPM) teknikleri, yeni bir online internet şube düşüncesi ile online internet şube projesinin planlanması için kullanılacak ve sonuçlar incelenecektir. Çalışmada üç farklı firmadan alınan kesin ve bulanık faaliyet süreleri kullanılmıştır. Kesin faaliyet süreleri kullanılarak klasik CPM ve PERT bulanık veriler için üçgensel bulanık sayılar kullanılarak bu projenin CPM ve PERT optimizasyonu incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Proje Yönetimi, Bulanık Mantık, PERT, CPM, Bulanık PERT, Bulanık CPM

ABSTRACT

CPM, PERT and with FUZZY LOGIC TECHNICAL PROJECT MANAGEMENT AND IMPLEMENTATION A BUSINESS

Mete MAZLUM

Department of Industrial Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof.Dr. Ali Fuat GÜNERİ

In the result of increased competition medium, it has been obligatory to complete the projects in the foresighted time and with the sources which are specified. An effective project management is necessary to finish the projects without delay and in the precense of the qualifications which are characterized before. The project planning techniques are utilized to provide these necessities.

In this study, classic PERT and CPM which are the techniques of project management, fuzzy PERT and fuzzy CPM which are used in the fuzzy project management, all of these techniques will be used to improve a online internet branch and to plan the project of a online internet branch. At the end of the study, the results will be analyzed. In the study, certain and fuzzy activity times are used which are taken from three different firms. The CPM and PERT optimization of the project is analyzed by using triangular fuzzy numbers for fuzzy datas and the classic CPM and PERT optimization of the project is analyzed in the presence of certain activity times.

Key words: Prject Management, Fuzzy Logic, PERT, CPM, Fuzzy PERT, Fuzzy CPM

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra teknolojinin gelişmesiyle birlikte, yöneylem araştırması olarak bilinen bilim dalı ortaya çıkmış ve takip eden yıllarda yıllarda çok hızlı bir gelişme göstermiştir. Bunun sonucunda, işletmeler kendilerini yenileyerek rakiplerinden farklı olmayı amaçlamış ve kaynaklarını en verimli şekilde kullanarak, en kısa zamanda en az maliyetle projelerini tamamlamaya çalışmışlardır. Büyük ve kompleksprojelerin yönetimini ve kontrolünü sağlayacak etkili yöntemlere olan ihtiyaç bu alandaiki temel tekniğin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bunlar; Kritik yol yöntemi (CPM-Critical Path Method) ile Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT-Project Evaluation and Review Technique) olarak adlandırılırlar. Heriki tekniğin temelinde şebeke diyagramları kullanılmaktadır. Şebeke diyagramları projenin bütününü oluşturan faaliyetlerin ve bufaaliyetlerin aralarındaki mantıksal bağlantıların grafik şeklinde ifade edilmesine dayanmaktadır. Temel hedef projenin tüm kaynaklarının (hammadde, iş gücü, teçhizat vb.) optimum düzeyde değerlendirilerek istenen sürelerde projenin tamamlanmasını sağlamaktır.

Her iki teknik de aynı dönemde (1956 – 1958) birbirinden bağımsız iki farklı araştırma grubutarafından geliştirilmiştir. E.I. Dupont De Nemours şirketi bünyesinde çalışan araştırmagrubu tarafından, çok büyük bir kimya fabrikasının inşaat projesinin uygulaması sürecindeyapılan çalışmalar sonucu CPM ortaya çıkmıştır. PERT ise A.B.D donanmasının

yürüttüğü Polaris Güdümlü Füze Projesinin uygulaması sürecinde geliştirilmiş ve projenin beklenenden 2 yıl daha erken bitirilebilmesine olanak tanımıştır.

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

Her iki tekniğin temel amaçları;

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

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

CPM tekniğinin deterministik yapısı PERT’e göre daha kolay uygulanabilir olmasını sağlamıştır. Bu da CPM’in araştırma geliştirme projelerinde, ürün geliştirme, bilişim sistemlerinin tasarımı, bütçeleme vb. alanlarda ve özellikle inşaat sektöründe daha geniş bir uygulama alanı bulmasına ve tercih edilmesine olanak tanımıştır. CPM ve PERT teknikleri karar verme ve uygulama süreçlerini kapsayan üç farklı aşamadan oluşur; planlama, programlama, kontrol.

Planlama aşamasında, projeyi oluşturan faaliyetler tespit edilir ve ayrı ayrı ele alınır. Daha sonra faaliyetlerin tamamlanma süreleri tahmin edilir ve şebeke diyagramı (network) faaliyetleri temsil eden oklar ve olayları temsil eden düğüm noktaları kullanılarak kurulur.

Çizilen şebeke diyagramı projeyi oluşturan faaliyetlerin birbirleri arasındaki ilişkileri ifade eden bir çizelgedir. Planlama aşamasında oluşturulan şebeke diyagramı farklı faaliyetleri ayrıntılarıyla inceleme olanağı sağlar ve proje uygulamaya koyulmadan önce alternatif değişiklikler yapma imkanı tanır. Aynı zamanda planlama safhası , programlama safhasına temel teşkil etmesi yönüyle ayrıca önem arz eder.

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

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

Bilim ve teknolojiye gelişmeler, günümüzün modern toplumu karmaşık bir hale getirdiği için, karar süreçleri belirsiz ve incelenmesi zor bir özellik kazanmıştır. Belirsizliği incelemek için genellikle olasılık kuramının kavram ve yöntemleri kullanılır. 1960'lı yıllarda güncel problemleri modellemede kullanılan olasılık kuramının kavram ve yöntemleri tekrar gözden geçirilmiş ve eleştirilmiştir. Daha sonra, bu eleştiriler doğrultusunda olasılık kuramının yerine kullanılabilecek yöntemler geliştirmek için yoğun çalışmalar yapılmıştır (Ertuğrul, 2006).

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, bulanıklık altında karar vermeyi sağlayan yöntemlerden bulanık PERT ve CPM’i incelemektir. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışma giriş ve sonuç kısmı ile birlikte yedi bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ilk bölümünde konuya genel bir giriş yapılmış, ikinci bölümünde proje yönetimi kavramı incelenmiş ve proje planlama teknikleri genel olarak değerlendirilmiştir. Üçüncü bölümde proje planlama tekniklerinden CPM ve PERT incelenmiş, dördüncü bölümde bulanık mantıkkonusuna değinilmiştir. Beşinci bölümde, bu iki kavramın entegrasyonu olan Bulanık PERT ve CPM’den bahsedilmiştir. Çalışmanın altıncı bölümünde, bulanık PERT (FPERT) ve bulanık CPM (FCPM) tekniklerinin bir uygulamasına yer verilmiştir. Yedinci ve son bölümde ise sonuçlara değinilmiştir.

1.3 Hipotez

Bulanık Küme Teorisi, 1965 yılında L. A. Zadeh tarafından önerildiğinden beri sadece iyi belirlenmiş, kesin verilerle değil; belirsiz ve bulanık verilerle de ilgilenilmektedir. Bu teori, gerçek dünyanın matematiksel olarak ifade edilmesini, böylece klasik matematiğin yarattığı kesin sınırların asılarak, belirsizliğin karar süreçlerinde yer almasını sağlamıştır. Bilim ve teknolojinin hemen hemen her alanında bulanık küme teorisinin yaygın kullanımı, endüstriyel sistemlerde karar verme konusuna getirdiği yeni açılımlar ile klasik yöneylem araştırması çalışmalarının etki alanını genişletmiştir. Bu teori, yöneylem araştırmasında Doğrusal Programlama, doğrusal olmayan programlama, hedef programlama, dinamik programlama, ulaştırma modelleri, oyun teorisi ve şebeke problemlerinde yaygın olarak kullanılır.

PROJE YÖNETİMİ VE KONTROLÜ

2.1. Proje Kavramı

Sözlük anlamı itibariyle proje, yapılacak bir yapının çalışmanın taslağı olarak ifade edilmektedir. Daha geniş bir manada ise proje, belirlenmiş bir hedefi gerçekleştirmek için belirli bir sırada uygulanması gereken birbiri ile öncelik/sonralık ilişkisine sahip faaliyetlerin bütünü olarak tarif edilebilir. Söz konusu faaliyetler birbiriyle mantıksal bir sıra içinde ilişki halindedir, yani bazı faaliyetler bazı faaliyetler tamamlanmadan başlayamazlar (Copertari, 2002).

Bir Proje ile şunlar oluşturulabilir:

- Başka bir öğenin bileşeni olan ya da tek başına bir nihai öge teşkil eden bir ürün,
- Bir hizmet gerçekleştirmek için bir hizmet ya da kapasite (örneğin, üretimi ya da dağıtımı destekleyen bir iş fonksiyonu)
- Var olanda bir üründe ya da servis hatlarında iyileştirme (örneğin, hataları ortadan kaldırmak için gerçekleştirilen bir Six Sigma Projesi) ya da
- Bir sonuç ya da belge (örneğin, bir araştırma projesi) (Aziz,2013)

2.2. Projelerin Özellikleri

Bir projenin temel özellikleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Taha, 1976):

- i- Her proje sonludur: Proje bir hedefin belirlenip açıkça tanımlanmasıyla başlar. Hedef, yeni bir ürün geliştirmek, bir işletmenin organizasyonunu modernize etmek gibi çeşitli şekillerde açıklanabilir. Hedefin gerçekleşmesiyle proje tamamlanmış olur.
- ii- Proje özgündür: Bir projenin özgünlüğü, o projenin daha önce yapılmamış olması ya da daha önce yapılmış olsa bile aynı koşulların birebir oluşturulmasının olanaksız olması gerektiğidir.
- iii- Proje tekrar edilebilirdir: Bir proje gerek uygulama aşamasında gerekse uygulamaya başlanmadan önce, projenin dahili ve haricindeki etkenlerin gerektirdiği doğrultuda yeniden yapılanmaya, yeniden düzenlenmeye uygun esnek bir oluşumdur.
- iv- Proje faaliyetler bütünüdür: Proje, önceden belirlenmiş çok sayıda faaliyetin yapılmasıyla gerçekleşir. Faaliyetler bir projenin yapı taşlarıdır.
- v- Proje karmaşıktır: Faaliyetler arasında mantıksal ilişkiler mevcuttur. Bu ilişkiler, projenin başlangıcı ile bitiş arasındaki akış yapısını oluşturur.

Projeler, bazı özellikleri yardımıyla diğer süreçlerden ayırt edilirler. Bu özellikler ise şu şekildedir (Yamak, 1998):

- Projeler sıradan olmayan, rutin dışı işlerdir, tekrarlanmazlar, bir kerelik veya bir adetlik yapırlar. Bir adetten fazla yapılan işler; sıradan, tekrarlanan, rutin işlerdir. Rutin bir iş sırasında karşılaşılan bir sorun, o işi yapan tarafından kısa sürede çözümlenemiyorsa, o süreçte yer alan farklı disiplinlerden gelen çalışanların oluşturacağı bir ekip tarafından çözülmesi gerekecektir. Bu tipik bir projedir.
- Her proje belli bir amaç için yapılır ve bu amaca ulaşınca proje sona erer. Bu amacınaçık ve anlaşılır biçimde tanımlanması, gerçekçi, somut ve ölçülebilir olması gerekir. Söz konusu üst amacın gerçekleştirilmesi sırasında gözetilecek olan alt amaçlar veya hedeflerin de saptanmış olması beklenir. Bu hedeflerin tümünün ana amaca uygun olması zorunlu olup, gerçekleştirilmeleri ana amacın gerçekleşmesini asla tehlikeye atmamalıdır.

- Projeler geçici organizasyonlardır. Proje için kurulan organizasyon, proje sona erdiğinde dağılır. Proje ekibinde yer alan kişiler de fonksiyonlarına geri döner veya başka projelere geçer.
- Her projenin koşulları farklıdır. Hiç bir proje aynı şekilde iki kez yapılmaz. Örneğin, her yıl gerçekleştirilen bir olay, tören, festival, kutlama vb. planlama bakımından yeterli büyüklük ve karmaşıklıkta ise, her yıl ayrı bir proje olarak ele alınmalıdır. Çünkü her yıl bir takım farklılıklar olması kuvvetle muhtemeldir.
- Projede söz konusu olan iş veya ürün belli bir ölçeğin üstünde büyüklükte ve/veya karmaşık yapıdadır. Bu tür işler normal, alışılmış usullerle ve yöntemlerle ele alınamaz, yönetilemez. Faaliyetlerin birbirleriyle olan bağıntıları, dikkatli, titiz bir çalışmayı ve etkili bir koordinasyonu gerektirir. Bu yapılmadığı takdirde beklenmedik gecikmeler ile karşılaşılabilir.

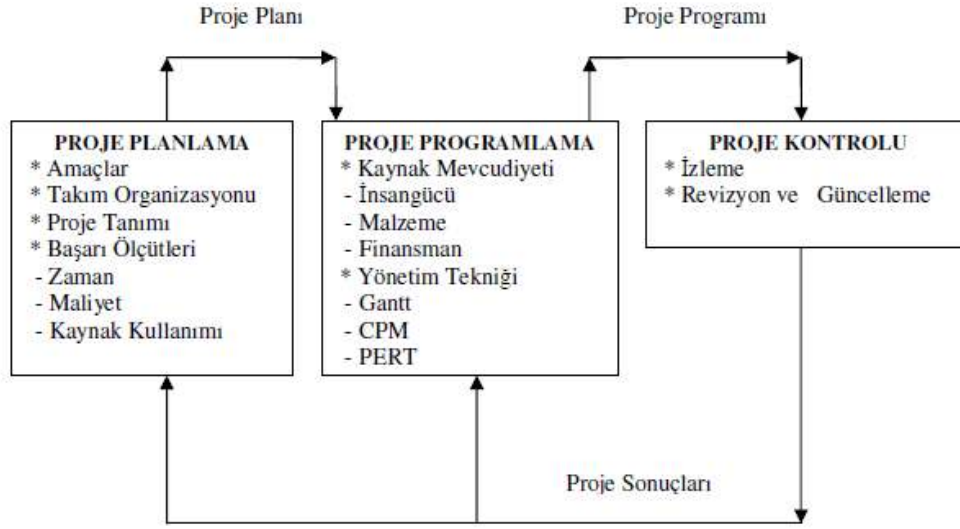
2.3. Proje Yönetimi

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

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

Projelerin başarılı bir şekilde yürütülmesi için uygun teknoloji kullanımı ve gerekli kaynakların tahsisinden baska, etkin ve başarılı bir proje yönetiminin de gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu noktada projelerin yönetim açısından önem taşıyan özellikleri şöyle ifade edilebilir (Barutçugil, 1984):

- Projeler belirli bir bütçe ve belirli bir zaman içerisinde istenen amaca ulaşmayı hedefler.
- Proje ilerledikçe, projenin plan ve programında birtakım değişiklikler gerekebilir. Her aşamada faaliyetlerin gereksinim duyduğu (hammadde, işgücü vb.) kaynakların harcama hızı değişebilir. Bu nedenle proje yönetimi esnek bir yapıya sahip olmalıdır.
- Proje hızlandırma çalışmalarının maliyeti, sonuca yaklaştıkça daha çok artmaktadır. İstenilen zaman tasarrufunu gerçekleştirmek için uygulanması gereken hızlandırma işleminin maliyeti, projenin ilerleyen aşamalarında daha pahalıya mal olduğundan, tüm aşamalarda bütünleşmiş bir kontrol sisteminin kurulması gerekmektedir. Projedeki aşamalar birbirine bağlı olduğundan dolayı, ilk aşamada alınan kararların, daha sonraki aşamaların zaman ve maliyet faktörlerini etkilemesi söz konusu olduğundan proje yöneticilerinin başlangıç kararlarında oldukça dikkatli davranmaları gerekmektedir.
- Projenin bitiş noktalarına doğru maliyet, zaman ve teknik koşullarla ilgili belirsizlikler giderek azalır, proje tamamlandığında ise bu belirsizlik tamamen ortadan kalkar. Söz konusu belirsizlikler projenin birbirine bağlı aşamalarının tamamlanmasıyla giderek kaybolur. Ulaşılmak istenen hedefe olabildiğince erken ve doğru bir şekilde ulaşmayı sağlayan proje planlama ve kontrol sistemlerine ve yöntemlerine projelerin bu özelliğinden dolayı gereksinim duyulmaktadır.



Şekil 2.1 Proje Yönetim Safhaları (G.J. Monks, 1996)

Şekil 2.1'de gösterildiği üzere projenin planlama aşaması proje hedeflerinin belirlenmesini, bu hedefleri gerçekleştirecek takımların oluşturulmasını ve hedeflerin takibini gerçekleştirmek için gerekli başarı ölçütlerinin belirlenmesini içerir. Projenin toplam maliyeti, tamamlanma süresi ve projenin ihtiva ettiği tüm faaliyetlerin gereksinim duyduğu kaynakların tespiti yine projenin planlama aşamasında gerçekleştirilen hususlardır.

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

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

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

2.3.1 Proje Planlama

Proje planlama, bir işin veya eserin gerçekleştirilmesi için uyulması tasarlanan düzenin kurulması, bir projenin tamamlanabilmesi için yapılması gerekli bütün faaliyetlerin neler olduğunun belirlenmesi, bu faaliyetlerin birbirleriyle olan mantıksal ilişkileri ve yapılabilimleri için ihtiyaç duyulan kaynakların göz önünde bulundurularak projenin gerçekleştirilmesi için gerekli düzenin kurulması olarak ifade edilebilir.

Planlama, proje süresi boyunca yalnızca bir kere yapılan ve proje sonuna kadar hiç değişikliğe uğramadan uygulanan bir nitelikte değildir. Proje planı, proje süresince yapılan kontroller sonucunda elde edilen bilgiler ve değişen dış etkenler uyarınca, devamlı olarak değerlendirme, gözden geçirme ve yenilenme süreçleri içerisinde bulunur. Böylece plan, zamanla uygulanamaz bir nitelik kazanmak yerine, sürekli güncellenerek proje tamamlanana kadar uygulanabilirliğini korur.

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

Bir projeye planlamasına başlamadan önce tanımlanması gereken faktörler projenin alanı, projenin tamamlanacağı süre, projenin gerçekleştirilebilmesi için gerekli bütçe ve tamamlanma zamanı olarak ifade edilebilir (Naylor, 1996).

Proje planlamada nihai hedef üç farklı şekilde olabilir;

- i- Eldeki kaynaklar çerçevesinde projenin en kısa zamanda bitirilmesi,
- ii- Daha önceden belirlenmiş bir proje süresi dahilinde en az kaynak kullanımı ile projenin bitirilmesi,
- iii- Proje toplam maliyetini en az yapacak bir proje süresinde projenin bitirilmesidir.

Projenin planlama aşaması, belirlenen amaçlara göre projeyi teşkil eden faaliyetlerin birbirleriyle olan mantıksal ilişkileri, tamamlanma süreleri, kaynak gereksinimleri ve maliyetleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilir. Dolayısıyla projenin planlama aşamasında gereksinim duyulan bilgi ve verilerin elde edilme sürecinde çalışmaya ışık tutacak soruların sorulması önemlidir. Örneğin; “Proje ne gibi faaliyetlerden oluşmaktadır?”, “Faaliyetlerin birbirleriyle olan ilişkileri nasıldır?”, “Her faaliyetin ne tür makine gücüne gereksinimi vardır?”, “Her faaliyetin hangi miktarda işgücüne ihtiyacı vardır?”, “Faaliyetlerin ve projenin bütününe maliyet unsurları nelerdir?” gibi soruların sorulması ve cevap bulması bir projenin etkin bir şekilde planlanabilmesi için gereklidir.

Planlama sürecinde izlenmesi gereken aşamalar şöyle ifade edilebilir (Waters, 1994):

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

Özet olarak, projede planlama safhası şu şekilde ifade edilebilir:

Proje ana faaliyet gruplarına ayrılır ve her grup içindeki temel faaliyetler tespit edilir, her bir faaliyetin tamamlanma süresi ve gerektirdiği kaynak miktarı belirlenir. Daha sonra faaliyetlerin birbirleriyle olan mantıksal ilişkileri göz önünde bulundurularak faaliyet sıraları belirlenir ve tüm proje bu mantıksal ilişkiler ve faaliyet öncelik sıralaması ışığında

bir bütün olarak ifade edilir. Böylece proje şebekesi kurularak proje programlama aşamasına zemin hazırlanmış olur.

2.3.2. Proje Programlama

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

Proje programlama, kaynak gereksiniminin ve tahmin edilen süre içinde projenin gidişatının (ilerlemesinin) programlanmasıdır. Programlama aşamasında her faaliyetin başlama ve bitiş zamanını gösteren bir zaman diyagramı hazırlanır. Proje programı proje açısından tamamlanması kritik faaliyetleri göstererek faaliyetlerin gecikme miktarı veya serbestlik süresi hakkında bir fikir vermelidir (Monks, 1996).

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

Proje programının sağladığı avantajlar şöyle ifade edilebilir (Monks, 1996):

- Tüm projeyi ve birbirleriyle ilişkili faaliyetleri koordine eder.
- Tüm faaliyetlerin mantıklı bir biçimde planlanmasını sağlayarak faaliyetlerin organize edilmesini kolaylaştırır.
- Öncelik ilişkilerini ve özellikle kritik olan faaliyetlerin sırasını tanımlar.
- Gerçek değerlerle karşılaştırma yapabilmek için projenin tamamlanma süresinin (veya maliyetinin) tahminiyle ve bu konudaki standartlarla ilgili bilgileri sağlar.

- İnsan gücü, malzeme ve mali alanda yer değiştirebilecek kaynakları tanımlayarak kaynakların daha iyi kullanılmasını sağlar.

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

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

Proje programlaması sürecinde göz önünde bulundurulması gereken hususlar şöyle ifade edilebilir (Gülerman, 1970):

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

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

Bir proje programı şu unsurlar hakkında bilgi vermelidir (Jensen, 1994):

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

Programlama aşamasının en son amacı, her bir faaliyet için başlama ve bitiş zamanını gösteren bir zaman diyagramı hazırlamaktır. Bu diyagram belirlenen faaliyetin projenin diğer faaliyetleriyle olan ilişkisini de gösterir. Ayrıca program hedeflenen proje zamanında tamamlanırsa özen gerektiren zaman açısından kritik faaliyetleri göstermelidir. Program kritik olmayan faaliyetler geciktirildikleri zaman veya sınırlı kaynaklar etkin bir şekilde kullanıldıkları zaman kullanılması avantajlı olan gecikme miktarı veya boşluk süresini göstermelidir (Halaç, 1983).

2.3.3. Proje Kontrolü

Proje kontrol safhası projenin uygulanması sürecinde proje planına uygun hareket edilmesine ve planda öngörülmeleyen risklere uyum sağlanmasına imkan tanıyan işlemleri içerir. Yapılan gözlemler sonucu gerçekleştirilmesi planlanan hedefler ile gerçekleşenler arasında bir fark tespit edilirse bunun sebepleri araştırılarak uygun bir tedbir ve düzeltici faaliyetler gündeme getirilir. Amaç planlanan ve gerçekleşen arasındaki farkı ortadan kaldırmaktır. Bunu gerçekleştirirken eğer planlanmış olan hedef gerçekçiliğini kaybetmiş

ise yeni bir hedef belirlenir. Proje hedefi hala gerçekçi olarak kabul edilebiliyor ise bu hedef muhafaza edilir ve hedefe götüren işlemlerde uygun değişiklikler, düzenlemeler yapılır.

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

Proje kontrol aşaması, planlama ve programlama aşamalarından bağımsız olamamakla birlikte bu aşamaların proje süresince takibini içerir. Etkili bir takip olmadan uygulanan proje planı ve programı oldukça yetersizdir. Örnek olarak, herhangi bir kritik olmayan faaliyette bir gecikme söz konusu olduğunda bunu düzeltmek bu faaliyeti izleyen kritik olmayan faaliyetlerin yeniden programlanması ile sınırlıdır. Böyle bir durumda, yani kritik olmayan faaliyetlerin yeniden programlanması söz konusu olduğunda, bu faaliyetlere ait boşluk zaman değerleri kullanıldığından bu faaliyetler kritik faaliyet haline gelebilirler. Bu sebeple projede herhangi bir aksamanın söz konusu olmaması için bu faaliyetlerin çok yakından takip edilmesi gerekmektedir. Gecikme kritik faaliyetlerden birinde meydana gelirse, o takdirde yapılacak şey daha önceki başlıklarda ifade edildiği gibi ek kaynak kullanmak bazı kaynakları kritik olmayan faaliyetlerden kritik olanlara aktarmak, yeniden programlama yapmak vb. işlemleri içerir. Bütün bu işlemler proje takibi yapılmaksızın gerçekleştirilemesi ve projenin hedeflenen zamanda tamamlanabilmesi mümkün değildir. Dolayısıyla kontrol aşaması projenin gerçekleşme süresi boyunca proje planının ve programının güncelleştirilmesini sağladığı için hayati öneme sahiptir (Hill, 1991). Ayrıca proje kontrolünde ölçümlenebilir parametreler (KPI) koymak projenin başarısını ve zamanında yapılmasını artıracak bir faktördür (Steyn, Stokar, 2014).

Brezilya'da 450 şirket üzerinde yapılan bir araştırmada projelerde bir kontrol/risk ekibi oluşturan ve bu mekanizmayı proaktif olarak kullanan şirketler kullanmayan şirketlere oranlar projelerinde %80 oranla daha başarılı olmuşlardır (Junior, Carvalho, 2013).

2.4 Proje Planlama Teknikleri

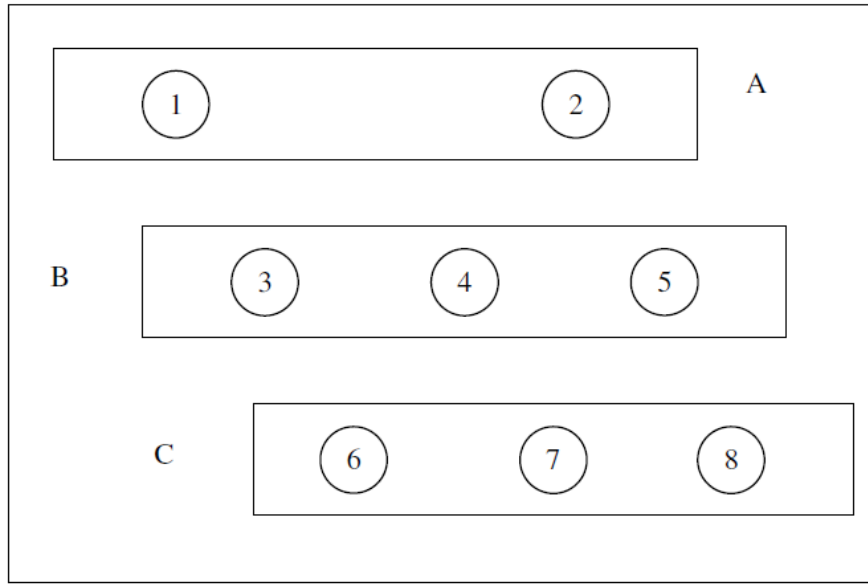
Proje planlama ve programlama tekniklerine ilk sistematik yaklaşım I. Dünya Savaşı'ndaki askeri uygulamalardan kaynaklanan Gantt diyagramıdır. Gantt diyagramları daha sonra geliştirilerek uygulama alanları genişletilmiştir. Bu yaklaşıma aynı zamanda çubuk diyagramı yaklaşımı da denilmektedir. Ancak Gantt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

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

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

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

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

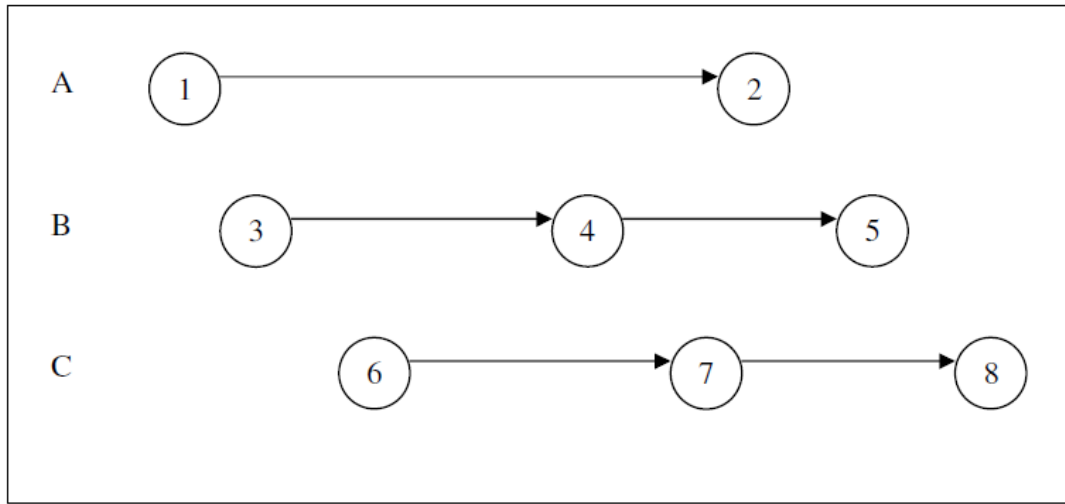


Şekil 2.2 Gantt Cetveli (R.J.Thierauf ve R.C.Klekamp, 1975)

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

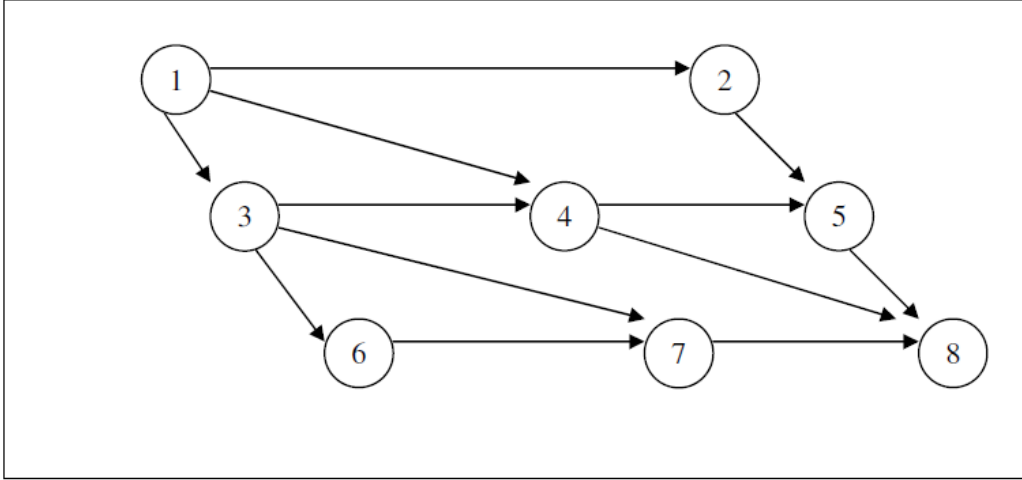
Gantt cetvellerinin tarihi gelişimi sürecinde üç aşama halinde CPM ve PERT tekniklerinin de temelini teşkil eden şebeke yöntemine ulaşılmıştır.

Şekil 2.3' de görüldüğü gibi geçişin ilk aşamasında Gannt cetvellerindeki A, B ve C faaliyetlerinin yerini aynı faaliyetlerin alt aşamaları alınmıştır. Böylece aşamalar arasındaki fiziki sıra ortaya konularak kendi aralarında öncelik sıraları belirlenmiştir. Birinci faaliyet tamamlanmadan ikinci faaliyete geçilemeyeceği görülmesine rağmen, üçüncü faaliyete veya altıncı faaliyete birinci faaliyet ile aynı anda başlanabilir mi? Dördüncü veya yedinci faaliyetlere gelinmeden hangi olayların tamamlanması gereklidir? Geçişin ilk aşaması buna cevap verememektedir. Ancak bu cevabın II. aşama ile verilebildiği görülebilir.



Şekil 2.3 Gannt'tan PERT'e geçişin birinci aşaması (R.J.Thierauf, R.C.Klekamp, 1975)

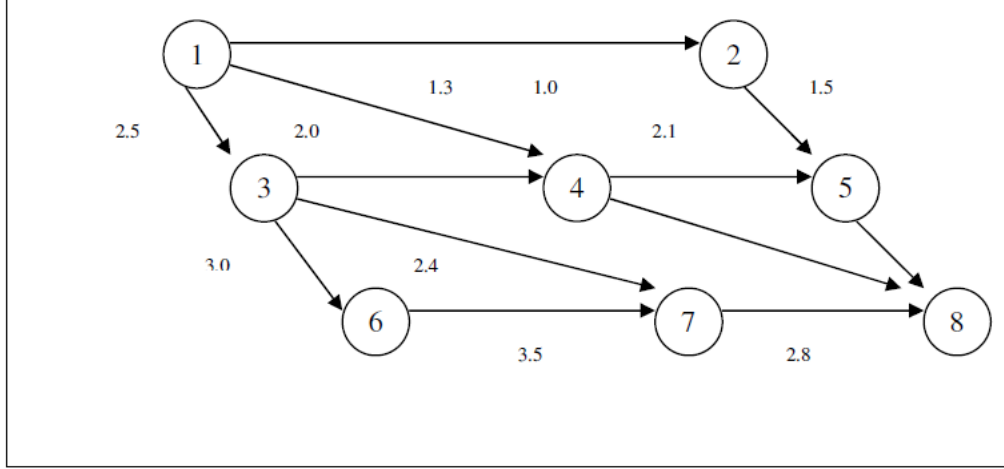
İkinci aşama ile faaliyetlerin birbirleri ile olan ilgileri oklarla gösterilmiştir. Böylece hangi faaliyeti hangi faaliyetin izlediği, herhangi bir olayı hangi olay ya da olayların takip etmesi gerektiği ortaya koyulmaktadır. Şekil 2.4' de görüldüğü gibi 2. faaliyet 4. faaliyetten bağımsızdır. Yalnız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



Şekil 2.4 Gantt'tan PERT'e geçişin ikinci aşaması (R.J.Thierauf, R.C.Klekamp, 1975)

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

Birinci ve ikinci aşama Gantt cetvellerinde A, B ve C faaliyetlerinin gerçekleşme süresi olan zaman verilerinden söz edilebilirken, ikinci aşama cetvelleri sonunda A, B ve C faaliyetlerinin varlıklarının ortadan kalkması, bu faaliyetlerin gerçekleşme sürelerini de ortadan kaldırır. Bunun yerine artık faaliyetlerin tamamlanma sürelerinden bahsedilen ve III. aşama Gantt cetveli olan CPM ve PERT şebekesine ulaşılmış olunmaktadır. Bu aşamada projeyi oluşturan faaliyetlerin birbirleriyle olan mantıksal ilişkileri ve her faaliyetin tamamlanma süreleri açık bir şekilde diyagram üzerinde ifade edilebilmektedir.



Şekil 2.5 Bir PERT ve CPM Şebekesini Oluşturan Tüm Faaliyetlerin Tamamlanma Sürelerini İfade Eden (Farazi) Değerlerin Diyagram Üzerinde Gösterimi

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

- Şebeke diyagramları proje yöneticisine, karar verme aşamasında etkili olan projeye alakalı gerekli bilgileri bir bütün olarak sunabilmektedir.
- Şebeke diyagramlarında, proje çeşitli faaliyetler olarak değil de bir bütün içinde çeşitli aşamalar olarak ele alındığından bazı faaliyetlerin ayrı gösterilme gereği ortadan kalkmıştır (A, B, C faaliyetleri gibi).
- Şebeke diyagramlarında, projenin yönetilebilirliğini arttıracak tarzda genel zaman ölçeği yerine şebekenin her faaliyeti için ayrı ayrı belirlenmiş olan zaman değerleri kullanılır.
- Şebeke diyagramları sadece basit faaliyetlerin değil çok daha karışık projelerin yönetimi için de kullanılabilecek bir yapıya sahiptir.
- Şebeke diyagramları projenin kritik yolunun tespitinde ve yönetiminde proje yöneticisine kolaylık sağlar (Kerzner, 2004).

Şebeke diyagramları, projeyi teşkil eden faaliyetlerin birbirleriyle olan mantıksal bağlantılarını her faaliyetin tamamlanma sürelerini açık bir şekilde ifade edebildiğinden

projede doğabilecek bir aksama durumunda veya aksamanın olup olmadığının kontrolünde, yöneticiye projenin tamamına bakmak yerine her faaliyet için daha etkin bir kontrol sağlayabilme olanağı tanır. Proje yönetiminin etkili bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için gerekli diğer tüm çalışmalara zemin sağlar.

KRİTİK YOL METODU

3.1. Şebekeyi Oluşturan Temel Kavramlar

3.1.1. Olaylar (Düğüm Noktaları)

Olay, zaman içerisinde meydana gelen bir veya birden fazla paralel faaliyetin başladığı ya da sonuçlandığı durumu gösterir ve gerçekleşmesi için hiçbir kaynak ve zaman kullanımını gerektirmez (Sezen, 1994). Şebeke diyagramını teşkil eden olaylar birbirlerini mantıksal bir sıra içerisinde takip etmek zorundadırlar.

Şebeke diyagramının oluşturulması aşamasında olaylarla alakalı bir takım kabuller göz önünde bulundurulmaktadır (Winston, 2004):

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

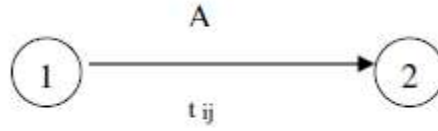
Olaylar şebeke içerisinde çeşitli geometrik şekillerle ifade edilebilirler. Genel olarak kullanılan şekil daire olup bu çalışmada da tüm olaylar dairelerle ifade edilmiştir.

3.1.2 Faaliyetler

3.1.2.1 Faaliyetlerin Tanımı

Faaliyet, bir projeyi teşkil eden, tamamlanması için zaman ve kaynak (iş gücü, hammadde, ekipman vb.) kullanımı gerektiren işler veya görevler bütünü olarak ifade edilir (Gordon ve Pressman, 1978). Şebekeyi oluşturan faaliyetler birbirleriyle mantıksal bir sıra içerisinde bağlıdırlar.

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



Şekil 3.1 İki Faaliyetin Grafik Olarak Gösterimi

3.1.2.2 Faaliyetlerin Zaman Birimi Ve Tanımlanması

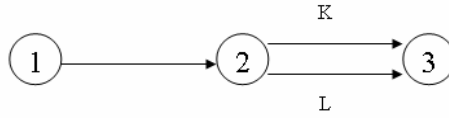
Program içindeki faaliyetlerin zaman birimleri aynı olmalıdır. Uzun süreli projelerde zaman biriminin ay ya da yıl olarak seçilmesi, kısa süreli ve uygulamada kullanılacak detay programlarda ise zaman biriminin gün ya da hafta olarak seçilmesi uygun olmaktadır. CPM ve PERT tekniklerinde önemli olan faaliyetlerin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

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

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

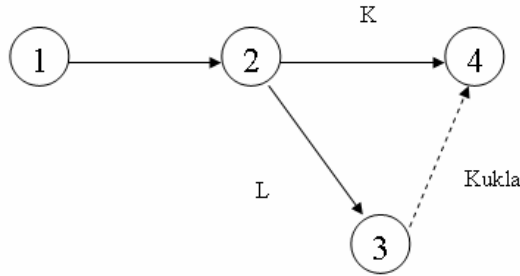
3.1.2.3 Kulka Faaliyetler

Herhangi bir faaliyetin veya olayın şebekedeki diğer faaliyet veya olaylarla olan mantıksal bağlantılarının açıklanabilmesi için bazen kulka faaliyetlerin kullanımı gereklidir. Kulka faaliyetler, gerçekleşmesi için zaman ve kaynak kullanımı gerektirmeyen faaliyetlerdir. Kulka faaliyetlerin şebeke diyagramı oluşturulması sürecinde farklı şekillerde kullanımı söz konusudur. Örneğin, kendilerinden hemen önce ve hemen sonra gelen olaylar aynı olan K ve L gibi iki faaliyet ele alınacak olursa, bu durumu ifade edecek mantıksal çizim şu şekilde olmalıdır (Öztürk, 2005):



Şekil 3.2 Üç Farklı Faaliyetin Gösterimi

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

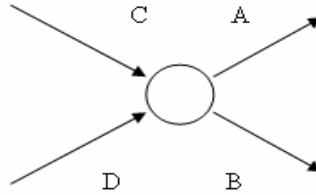


Şekil 3.3 Kulka Faaliyetin Gösterimi

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

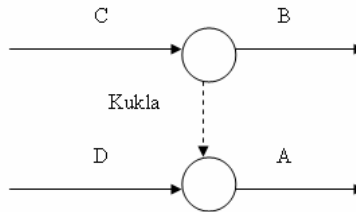
Kulka faaliyetler süresi kısa olan faaliyetten sonra gelir ve böylece en uzun tamamlanma sürelerine sahip faaliyetlerin teşkil ettiği kritik yol üzerinde kulka faaliyet bulunma olasılığı azaltılmış olur.

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



Şekil 3.4 Farklı Dört Faaliyet Arasındaki İlişkinin Gösterimi

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



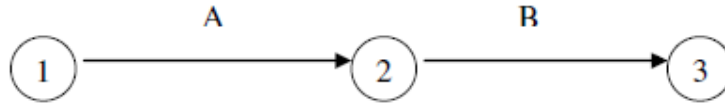
Şekil 3.5 Kukla Faaliyetin Farklı Bir Gösterimi

3.1.3 Faaliyetler Arasındaki Bağlılıklar

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

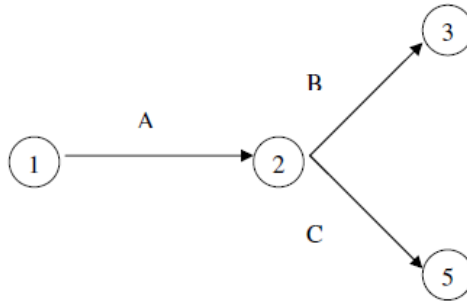
gösterilmeleri gerekmektedir. Bağıntılara ait örnekler genel olarak aşağıdaki şekliyle ifade edilebilir (Winston, 2004):

- a) A faaliyeti tamamlandıktan sonra B faaliyeti başlar.



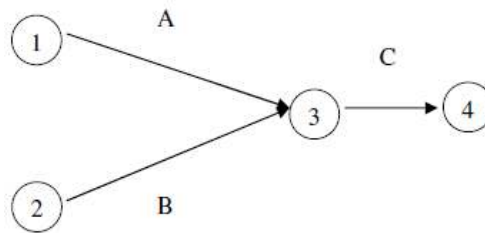
Şekil 3.6 İki Faaliyet Arasındaki Bağıntının Gösterimi

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



Şekil 3.7 Üç Farklı Faaliyet Arasındaki Bağıntının Gösterimi

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



Şekil 3.8 Üç Faaliyet Arasındaki Bağıntının Gösterimi

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

3.1.4 Faaliyetlerin Numaralandırılması

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

Literatürde en çok kabul gören ve kullanılan numaralandırma yöntemi şöyledir:

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

Faaliyetleri numaralandırmada iki farklı metod vardır:

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

- i) Numaralama 0, 1, 2, 3... şeklinde arada hiçbir tam sayı atlanılmadan yapılabilir.
- ii) Numaralama 0, 5, 15, 20... gibi j'nin i'den yüksek olmasından başka hiçbir koşu gözetmeksizin yapılır. Bunun avantajı şebekeye sonradan bir faaliyet ilave etmek gerektiğinde aradaki kullanılmamış tam sayılardan faydalanarak bu işlemin rahatça yapılabilmesidir.

3.2 Şebeke Diyagramının Oluşturulması

3.2.1 Şebeke Diyagramının Oluşturulması Sürecinde Uyulması Gereken Temel Kurallar

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

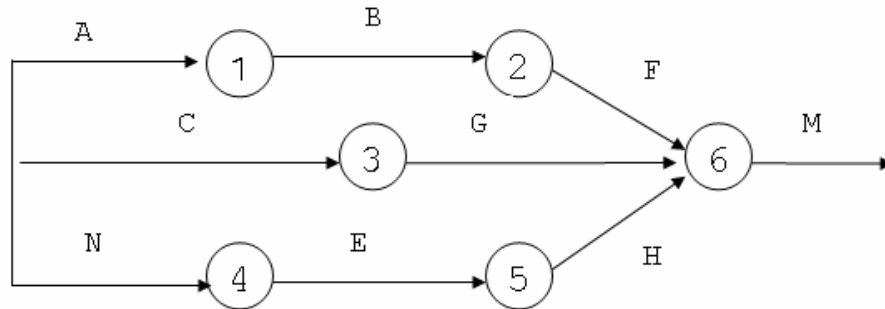
Literatürde bir şebekenin nasıl oluşturulacağına dair çatışan görüşler vardır. Özellikle PERT'de planın son faaliyetten başlayarak geriye doğru kurulması görüşü kuvvetlidir. Sebep olarak, daha önce hiç yapılmamış yepyeni bir projede, örneğin bir bilimsel araştırma projesinde sonuç tespit edilmiş olmakla beraber, sonuca götüren faaliyetlerin

daha yeni tespit edileceği gösterilir. Dolayısıyla bu görüşe göre projenin şebeke diyagramı sağdan sola yani sonuçtan sonucu meydana getirecek faaliyetlere doğru oluşturulmalıdır.

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

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

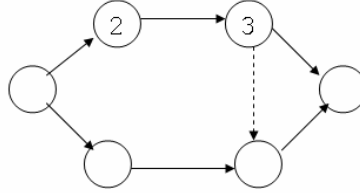
Başlangıç faaliyetleri birden fazla olduğu ve beraber yapılmaları gerektiği hallerde iki çözüm tarzı vardır: Birincisinde, başlangıç faaliyetleri bir noktadan dağılırlar, ikincisinde ise, bir temel çizgi kullanılır. Temel çizgi, aslında bir nokta ile gösterilen bir olaydır. Ancak birkaç faaliyete başlangıç teşkil ettiginden dolayı bu nokta, uzatılarak çizgi haline getirilmiştir.



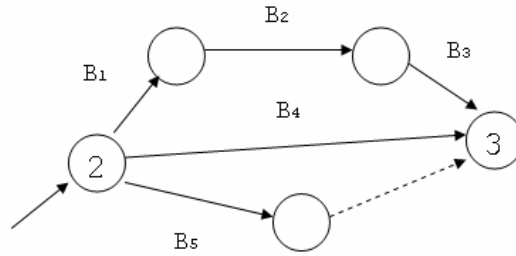
Şekil 3.9 Şebeke Kurulumunda Temel Çizginin Gösterimi

Bir diğer husus projeyi teşkil eden faaliyetleri oluşturan alt faaliyetlerle alakalıdır. Ana programda herhangi bir faaliyet bir okla gösteriliyorsa, bu faaliyeti oluşturan ayrıntı faaliyetler kapalı bir şebeke teşkil etmelidir.

Örneğin, Şekil 3.10' da gösterilmiş olan proje şebekesinin 2. ve 3. olaylarını bağlayan faaliyeti oluşturan alt faaliyetlerin meydana getirdiği kapalı şebeke Şekil 3.11' de gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Ana Faaliyetlerin Oluşturduğu Proje Şebekesi



Şekil 3.11 Alt Faaliyetlerin Oluşturduğu Kapalı Şebekenin Gösterimi

Bir şebeke diyagramı kurmak için dikkat edilmesi gereken kurallar şöyle özetlenebilir (Taha, 1976):

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

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

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

1. Bu faaliyetin başlayabilmesi için hangi faaliyetler tamamlanmış olmalıdır?

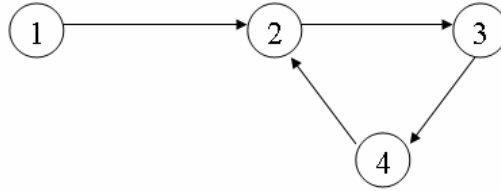
2. Bu faaliyeti hangi faaliyetler izlemelidir?
3. Bu faaliyetle aynı anda oluşan faaliyetler hangileridir?

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

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

3.2.2. Şebeke Diyagramının Oluşturulması Sürecinde Kaçınılması Gereken Mantıksal Hatalar

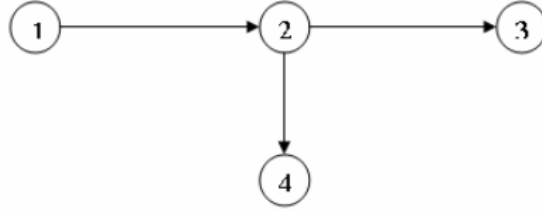
1. İlmik (looping) denilen bağıntılar yanlıştır. Bu problem Şekil 3.12' de şöyle gösterilmiştir:



Şekil 3.12 İlmik Probleminin Gösterimi

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

2. Şekil 3.13' deki askı (dangling) olarak isimlendirilen bağıntı da yanlıştır. Bu en azından eksiktir. Çünkü (2,4) faaliyeti askıda kalmakta, projenin amacına erişmekteki rolü belirtilmemektedir. Herhangi bir faaliyet bir başka faaliyetin yürütülmesi için gerekli değilse projede yer almamalıdır ya da projenin bir bölümünü oluşturuyor ve kendışinden sonra başka hiçbir faaliyeti etkilemiyorsa ilgili okun ucu projenin son olayına bağlanmalıdır (Lockyer, 1998).



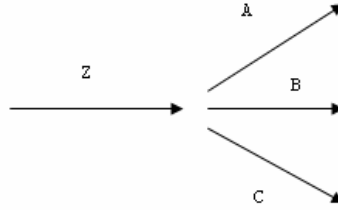
Şekil 3.13 Diyagramdaki Mantıksal Probleminin (Askı) Gösterimi

3.3 Şebeke Diyagramında Faaliyetlerin Ve Olayların Zaman Sınırlarının Belirlenmesi – Şebekenin Programlanması

Şebeke diyagramı oluşturulduktan sonra faaliyetlerin zaman tahminlerinin yapılması gerekir. Zaman tahminlerinin yapılmasında şu noktalar göz önünde tutulmalıdır:

1. Zaman tahminleri en iyi kaynaktan temin edilmelidir. Geçmiş yıllarda gerçekleştirilmiş aynı veya benzer projelere ait veriler, faaliyeti gerçekleştirecek olan personel, zaman tahminlerinin en iyi şekilde eldeedilebileceği belli başlı kaynaklardır. Zaman tahminlerinin tecrübeli personel tarafından yapılması önemlidir.
2. Her faaliyet hakkındaki zaman tahminleri, faaliyetler tek tek ve birbirinden ayrı bir şekilde ele alınarak yapılır. Bir faaliyet hakkında zaman tahmini yapılırken, diğer faaliyetlerin o faaliyet üzerindeki tesiri katiyen göz önüne alınmamalıdır. Yani projeyi oluşturan tüm faaliyetler birbirinden bağımsızdır.
3. Her faaliyetin zaman tahmini, normal ve uygulamada kullanılan miktarda işçi, makine ve malzeme kullanıldığı öngörülerek yapılır. Örneğin, bir firmanın elinde çukur kazma faaliyeti için kullanılacak 12 işçisi olsa ve çukurun hacmi ancak üç kişinin çalışabileceği kadar ise, o takdirde normal işçi sayısının üç olduğu kabul edilecek ve zaman tahminleri buna göre yapılacaktır. Uygulamada kullanılan miktarın ne olduğu hususunda şüpheye düşüldüğü durumda, normal değere yakın bir zamantahmini kabul edilir. Programlama gerçekleştikten sonra düzeltmeler yapılabilir.

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



Şekil 3.14 Zaman Tahmini Yapılan Dört Farklı Faaliyetin Gösterimi

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

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

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

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

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

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

3.3.1 Düğüm Noktalarının En Erken Olay Zamanlarının Tespiti

En erken olay zamanı (TE), olayın başlangıç teşkil ettiği bütün faaliyetlerin mümkün olan en erken başlama zamanlarına tekabül eder ve projenin son faaliyetlerinin bitiş noktasını teşkil eden olayın (TE)’ si projenin bitirilmesi için gereken zamanı verir (Winston, 2004).

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

Bu çalışmada TE değerlerinin gösterimi, her okun başında (TE)_i ve sonunda (TE)_j olarak gerçekleştirilecektir.

En erken olay zamanının tespiti için gerekli işlem şebekenin başından sonuna doğru (forward pass) yani şebekenin solundan sağına doğru gerçekleştirilmelidir (Haga, 1998).

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

En erken olay zamanı şu şekilde formüle edilebilir:

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

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

3.3.2 Düşüm Noktalarının En Geç Olay Zamanlarının Tespiti

En erken olay zamanı projenin programlanabilmesi için gerekli olan faaliyet zamanlarının belirlenmesinde tek başına yeterli değildir. Çünkü her faaliyetin en erken olay zamanında başlama zorunluluğu yoktur. Özellikle kritik yol üzerinde bulunmayan faaliyetlerin proje tamamlanma süresini aksatmadan belli bir süre geciktirilmeleri mümkündür. Bu eksikliği gidermek amacıyla "en geç olay zamanı" olarak adlandırılan ikinci bir zaman parametresi tarif edilmiştir.

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

Çalışma boyunca en geç olay zamanı (TL) ile gösterilecektir. Her okun başında $(TL)_i$ ve sonunda $(TL)_j$ en geç olay zamanı olacaktır.

En geç olay zamanının tespiti için gerekli işlem şebekenin sonundan başına doğru yani şebekenin sağından soluna doğru gerçekleştirilmektedir (backward pass) (Haga, 1998). Her olay için en geç olay zamanı, başlangıcı o olayda olan faaliyetin tamamlanma süresinin yine aynı faaliyetin sonucundaki en geç olay zamanından çıkarılması ile elde edilir. Eğer bir olayda birkaç faaliyetin başlangıcı var ise faaliyetlerden sadece tamamlanma süresi en küçük olan işleme alınır.

Bu işlem şu şekilde formüle edilebilir:

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

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

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

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

T_s ile projenin hedeflenen tamamlanma süresi T_p mukayesesi şu şekilde yapılabilir (Çetmeli, 1982);

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

2. $T_s > T_p$ halinde, son düğüm noktasının en erken / geç olay zamanı projenin hedef süresini aşıyor demektir. Bu durumda, maliyetin artacağı göz önüne alınarak işçi ve makine kapasitesi uygun şekilde artırılır ve kritik faaliyet sürelerinin kısaltılmasına çalışılır. Süreleri kısaltılacak kritik faaliyetlerin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Bunlar, işçi ve makine kapasiteleri artırılabilir ve kısaltılabilir cinsten olmalıdır. Bu şekilde kısaltmalar yapılarak $T_s \equiv T_p$ şartı sağlanmaya çalışılır. Bu işlem "hızlandırma" olarak adlandırılır.

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

Görüldüğü üzere olay zamanlarının tespiti sürecinde bahsedilen tanımlar ve aritmetik işlemler çerçevesinde $(TE)_i$ ve $(TL)_i$ faaliyetlerin başlangıcında; $(TE)_j$ ve $(TL)_j$ faaliyetlerin

bitiminde olmak üzere dört farklı zaman parametresi türetilmiştir ve bu zaman parametreleri projeyi oluşturan faaliyetlerin zaman sınırlarının belirlenmesi sürecine temel teşkil eder.

Projedeki faaliyetlerin yönetiminde, tüm projenin programlanan tamamlanma süresini etkilemeden her bir faaliyetin ne kadar erken ne kadar geç başlayacağını veya biteceğini bilmek gereklidir. Şebeke diyagramında yapılan bu hesaplamalar sayesinde projenin tamamlanma süresi kontrol altına alınabilmektedir (Monks, 1996).

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

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

En erken başlama zamanının formülasyonu şu şekilde ifade edilebilir:

$$ES = (TE)_i$$

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

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

Bir faaliyetin en erken bitme süresi şu şekilde formüle edilebilir:

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

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

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

En geç bitme süresi şu şekilde formüle edilebilir:

$$LF = (TL)_j$$

3.3.6 En Geç Baslama Süresi (Late Starting Time: LS)

Bu süre bir faaliyetin, tüm projeyi geciktirmeden başlayabileceği en geç süredir.

En geç başlama süresi her faaliyetin en geç bitme süresinden bu faaliyetin tamamlanma süresinin çıkarılmasıyla bulunmaktadır.

En geç başlama süresi şu şekilde formüle edilebilir:

$$LS_{ij} = LF_{ij} - D_{ij} = (TL)_j - D_{ij}$$

3.4 Kritik Yolun Belirlenmesi:

Kritik yol şebekenin başlangıç ve bitiş olaylarını birleştiren, tamamlanma zamanı açısından en büyük değerlere sahip ve toplam boşluk değeri sıfır olan faaliyetlerin teşkil ettiği faaliyetler dizisi olarak ifade edilebilir.

Kritik yol, projenin tamamlanma süresini belirler ve kritik yolu teşkil eden faaliyetlerden her hangi birinin programlanan zamandan geç tamamlanması tüm projenin aksamasına projenin programlanan tamamlanma süresinin uzamasına neden olur (Winston, 2004).

Bir yolun kritik olabilmesi için gerçekleşmesi gereken şartlar şu şekilde ifade edilebilir (Pillay, Wang, 2003).

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

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

3.5 Şebekenin Boşluk Değerleri

Bir şebekede, kritik yol üzerinde olmayan faaliyetlerin tamamlanma zamanlarının projeyi geciktirmeksizin belli oranlarda ertelenebilme imkanı vardır. Yani kritik olmayan faaliyetler belirli bir zaman aralığı içinde tamamlandığı takdirde proje süresini etkilemezler.

Faaliyetlerin geciktirilebileceği bu zaman değerleri boşluk değeri olarak ifade edilmektedir. Bu boşluk değerlerinin her faaliyet için belirlenmesi proje yöneticisine kaynakların kullanımı ve zaman yönetimi hususunda önemli avantajlar sağlar. Boşluk değerleri sayesinde projenin hedeflenen süresini etkilemeden kritik olmayan faaliyetlerin başlama ve tamamlanma sürelerine müdahale edilebilir ve kritik faaliyetlerin gereksinim duyduğu kaynakların aktarımı daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilir.

3.5.1 Toplam Boşluk

A faaliyeti (TE)_i, zamanında başlayıp T_{ij} süresince devam ediyorsa, bu faaliyetin bittiği zaman ile A faaliyetinin projeyi geciktirmeden tamamlanabileceği en geç tamamlanma zamanı yani (TL)_j arasındaki süre farkına toplam boşluk denir (Winston, 2004).

Bu sembollerle ve şekil olarak şöyle ifade edilebilir:

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

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

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

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

3.5.2 Serbest Boşluk

A faaliyeti müsaade edilen en erken zamanda (TE)_i başlayıp t_{ij} süresince devam ediyorsa bu faaliyetin bittiği zaman ile j düğüm noktasının en erken gerçekleşme zamanı (TE)_j arasında süre farkına serbest boşluk denir (Winston, 2004) ve şu şekilde ifade edilir:

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

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

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

3.5.3 Bağımsız Boşluk

Bir A faaliyeti i düğüm noktasının en geç gerçekleşme zamanında başlıyor $(TL)_i$ ve T_{ij} süresince devam ediyorsa bu faaliyetin bittiği zaman ile j düğüm noktasının en erken gerçekleşme zamanı arasında geçen süreye bağımsız boşluk denir. (Erişken ve Diğerleri, 1973).

Bağımsız boşluk şöyle ifade edilebilir:

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

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

3.6 Şebeke Analizlerinde Zaman - Maliyet İlişkisi ve Hızlandırma İşlemi

Projeyi oluşturan faaliyetlerin her birinin tamamlanma süresi faaliyetin gereksinim duyduğu kaynakların cinsi ve miktarı ile yakından ilişkilidir. Bu şekilde tamamlanma süresi kullanılan kaynakların bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Bunun yanı sıra kaynakların farklı kombinasyonları için birbirinde farklı maliyetlerin oluştuğu bilinmektedir. Dolayısıyla gerek projeyi oluşturan faaliyetlerin gerekse tüm projenin tamamlanma süresi ile maliyeti arasında fonksiyonel bir ilişki söz konusudur (Trade off) (Ozoron, Perkgoz, Sakawa, 2004). Birçok projede faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin tahmini sürecinde göz önünde bulundurulmuş en etkin kaynak şüphesiz iş gücüdür. Aynı zamanda iş gücü, faaliyetlerin gereksinim duyduğu diğer kaynaklara oranla daha kolay kontrol edilebilen bir kaynak olması nedeniyle ayrı bir öneme sahiptir.

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

Bunlar;

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

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

Hızlandırılmış zaman tahmini ise faaliyetin normal süresinin hiçbir masraftan kaçınılmadan mümkün olan en düşük değere kadar kısaltılmasını öngören zaman tahminidir. Hızlandırma işlemi sonucu oluşan maliyet ise hızlandırılmış maliyet olarak ifade edilir. (Sadjadi, Pourmoayed ve Aryanezhad, 2012)

Bir projede hızlandırma işlemi, proje tarihlerini yakalamak için en çok kullanılan yoldur. Hızlandırma işlemi ile projeyi uygun sürelerle çekilebilir. Bu süreç bir değiş tokuştur (trade off). Bir yandan süreden kısılrken diğer yandan potansiyel kalite kaybı maliyetini göz önünde bulundurmak gerekir (Kim, Kang, Hwang, 2013).

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

- Fazla mesai: 8 saatlik normal mesaiye ilave olarak gerektiği kadar fazla mesai söz konusu olabilir. Doğal olarak fazla mesai saatleri işçi yevmiyesinde saat başına %50 ile %100 lük bir ücret artışına sebep olacaktır.
- Haftalık çalışma saatlerinin arttırılması: Normal olarak haftada 5 gün çalışılırken haftalık çalışma gün sayısının 6 veya 7 güne çıkartılması söz konusu olabilir.
- Bazı işler için gece vardiyası konulabilir fakat gece çalışma ücretleri yüksek olmasına karşılık bazı işler dışında gündüze göre gece çalışması verimi düşük olacaktır. Bu etkenler iş verimini düşürürken maliyeti de arttırıcı rol oynar.

- Projenin uygulama sürecinde zamanı kısaltmaya yönelik ileri teknoloji kullanımı söz konusu olabilir. Bu şekilde yüksek teknoloji kullanımının bedeli olan ekstra maliyetlere katlanılarak proje süresinde kısaltmalar mümkün olacaktır.
- Projede kullanılan ekipman, teçhizat ve makinelerin artırılması ile normal sürenin kısaltılması mümkündür.

Bu ve benzeri uygulamalar sonucu proje zamanının kısaltılması mümkündür.

Projedeki bu hızlandırma süphesiz yanında ek bir maliyet getirecektir. Bu noktada CPM tekniği uygulanırken; zaman ve maliyetin birbirleriyle olan ilişkisinin analizi hayati önem arz etmektedir.

Zaman – maliyet eğrisindeki her nokta gerçekleşmesi muhtemel bir proje planına tekabül eder, zamanı kısaltmak için maliyeti arttırmak, maliyeti azaltmak için zamanı genişletmek zorunluluğu söz konusudur. Bununla birlikte, zaman – maliyet ilişkisinde indirgenemez bir minimum plan noktası da mevcuttur. Bu minimum planın içerdiği maliyet veya zaman değerleri bu noktadan öteye indirgenemez. Şekilde görüleceği üzere, minimum maliyet planın içerdiği maliyet değeri zamanda daha fazla genişletme yapılsa bile bu noktadan sonra azaltılamaz. Aynı şekilde minimum zaman planının içerdiği zaman değeri hızlandırma işlemlerine devam edilse bile bu noktadan sonra kısaltılamaz. Dolayısıyla faaliyetler üzerine yapılan hızlandırma işlemleri bu sınır değerler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmelidir.

3.6.1 CPM' de Zaman Maliyet Eğrileri

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

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

Zaman eğrileriyle yapılan çalışmalar eğrinin özelliğine bağlı olarak çok çeşitlilik gösterebilir, pratik değildir, zaman alabilir ve maliyetlerle olan ilişkisi garanti değildir. Bu yüzden zaman maliyet ilişkisini doğrusal bir ilişki olarak kabul ederek bu ilişkiyi ifade eden doğrusal zaman –maliyet eğrileri kullanılabilir. Böylece zaman içerisinde her birim azalma maliyetinde eşit oranda artış sağlayacaktır. Zamanda yapılan tasarruflar sonucu maliyetinde meydana gelecek birim artış çalışma boyunca $Ic(s)$ sembolüyle ifade edilmiştir.

Ic nin formülasyonu şu şekilde ifade edilir: (Öztürk, 2005)

$$Ic(s) = (Cc - Nc) / (Nt - Ct)$$

Burada;

Cc : Hızlandırma (sıkıştırma) maliyeti

Nc : Normal maliyet

Nt : Normal süre

Ct : Hızlandırma süresi

3.6.2 Proje Toplam Süresinin Kısaltılması

Şebekenin toplam süresi kritik yol üzerindeki faaliyet sürelerinin toplamına eşit için kritik faaliyetlerin sürelerinde hızlandırma işlemiyle kısaltmalar yaparak toplam süre projenin tamamlanması için arzulanan süreye eşit hale getirilebilir.

Hızlandırma işlemi, hedeflenen proje süresine ulaşıncaya kadar, iç değeri en küçük faaliyetler öncelikli olmak koşulu ile tüm kritik faaliyetlere uygulanır. Ancak bu işlem yapılırken dikkat edilecek bazı kuralları vardır (Çetmeli, 1982).

- 1- Süresi kısaltılacak kritik faaliyetlerin özelliklerinin iyi bilinmesi zorunludur. Bunlar iş ve makine kapasiteleri artırılarak süreleri kısaltılabilen cinsten olmalıdır.
- 2- Kritik yol üzerindeki bazı faaliyetlerin süreleri kısaltılırken bu faaliyetlere çeşitli şekilde bağlı, kritik olmayan faaliyetlerin bazıları da kritik olabilir, yani yeni kritik yollar meydana gelebilir.

Yeni kritik yollara göre de toplam süre tekrar kontrol edilmeli gerekiyorsa yeni yol üzerindeki faaliyetlerin süreleri de kısaltılmalıdır.

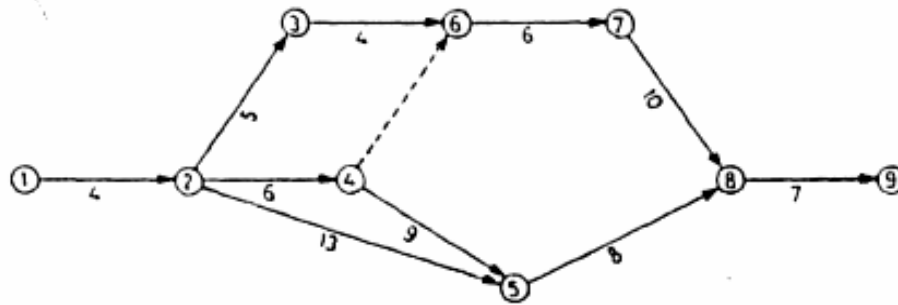
Burada yeni bir sorun ortaya çıkmaktadır. Kritik yol üzerindeki hangi faaliyetlerin süreleri ne miktar kısaltılmalıdır?

Bu sorunun cevabı iki ayarı yönden ele alınmalıdır.

- Sürelerin kısaltılmasında proje maliyetinin artışı göz önüne alınmayacaksa, tamamlanma hızı çok iyi kontrol edilebilen faaliyetler hızlandırma işlemine tabi tutulmalıdır. Bunlar tek cins ekipmana bağlı işlerdir. Baska bir deyimle süresi kısaltıldığı zaman bu faaliyetin yeni süre içinde tamamlanacağından emin olunmalıdır.
- Sürelerin kısaltılmasında proje maliyetinin artışının da minimum olması isteniyorsa ki bu durum kritik yol metodunun esas hedeflerinden biridir aşağıda bir örnek üzerinde anlatılan şekliyle hangi faaliyetlerin sürelerinin ne kadar kısaltılacağı tayin edilmelidir.

3.6.2.1 Basit Hızlandırmalarla Proje Süresinin Maliyet Artışı Minimum Olacak Şekilde Kısaltılması

Şekil 3.15' de görülen bir projeye ait faaliyetlerin süreleri normal süredeki maliyetleri ve her maliyetin en fazla kaç hafta kısaltılabileceği ve maliyetlerin birim artışları verilmiştir.

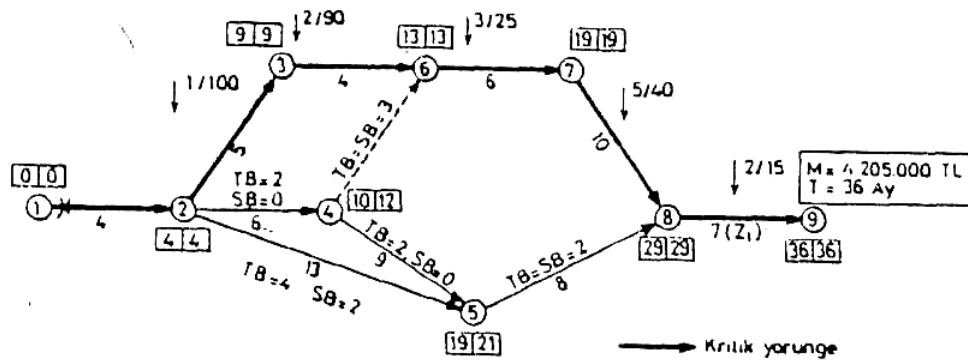


Şekil 3.15 Örnek Projenin Şebeke Diyagramı

Çizelge 3.1 Örnek Proje için Hazırlanmış Faaliyetler ve Maliyetlerine İlişkin Çizelge

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

Verilen normal sürelerle hesaplanan toplam süre 36 haftadır. 1-2-3-6-7-8-9 yolu üzerindeki faaliyetlerde kritiktir. Kritik olmayan faaliyetlerin toplam boşlukları hesaplanarak Şekil 3.21' daki şebeke üzerine yazılmıştır. Aynı şekil üzerinde kritik faaliyetlerin üzerine maksimum kısaltma süreleri ile maliyetlerin birim artışları yazılmıştır.



Şekil 3.16 Basit Hızlandırmalarla Maliyetlerin Azaltılmasına Ait Örneğin İlk Aşaması

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

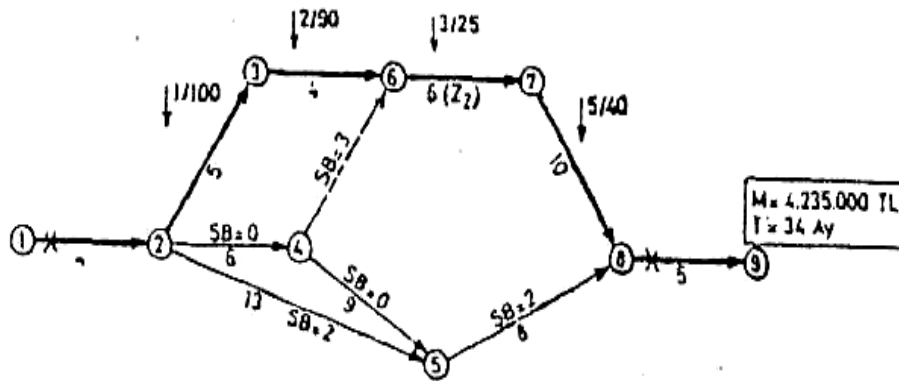
1. HIZLANDIRMA

Şekil 3.17' deki 1-2 faaliyetinin süresini azaltmak söz konusu değildir. Süresi kısaltıldığı zaman kritik olmayan diğer faaliyetlerin boşluk değerlerini değiştirmeyen ve maliyet birim artışı (lc) en az olan faaliyet 8-9'dur. Bu faaliyetin süresi 2 ay kısalttığımız zaman şebekenin yalnız 8-9 arasındaki süresi azalmaktadır. İlk hızlandırma bu faaliyette yapılacağından Şekil 3.21' de 8-9 faaliyetine 1. hızlandırmayı tarif etmek amacıyla konmuştur.

Proje süresi: $36-2=34$ ay

Proje maliyeti: $4.250.000-15.000=4.235.000$ TL

1.Hızlandırmadan sonra, toplam süre 34 aya inmekte ve proje maliyetindeki artış minimum olmaktadır. Şekil3.18' de yeni durum gösterilmiştir. 8-9 faaliyetinde artık yeni bir süre hızlandırması söz konusu olmadığı için faaliyetin üstündeki değeri kaldırılmış ve ok unüzzerine yeni süresi ve (x) işareti konmuştur.



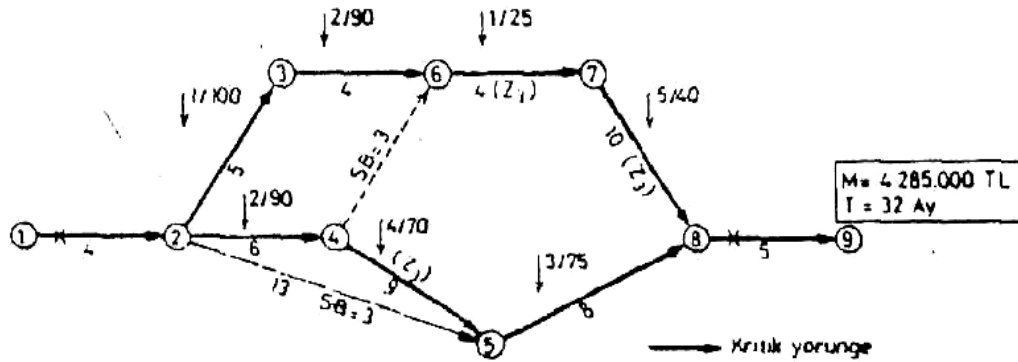
Şekil 3.17 Basit Hızlandırmalarla Maliyetlerin Azaltılmasına Ait Örneğini İkinci Aşaması

2. HIZLANDIRMA

Kritik yol üzerinde s(lc) değeri en küçük olan 6-7 faaliyetidir. Bu faaliyetin süresi en fazla 3 ay kısaltılabilir. Bu sebeple Şekil 3.23' de faaliyetin üzerine Z2 yazılmıştır. Diğer taraftan şebekenin 6-7-8 yolunun 8 ucuna bağlı olan 5-8 faaliyetinin boşluğu 2 aydır. 5-8 faaliyetinin süresinde ve maliyetinde bir değişiklik yapmamak için 6-7 faaliyeti 2 ay kısaltılabilir. Bu durumda 5-8 faaliyetinin serbest boşluğu 0 olur, yani kritik faaliyet haline gelir. 5-8'e bağlı ve ondan evvel olan 4-5, 2-4 faaliyetlerinde boşlukları zaten sıfır oldukları için bunlarda kritik hale gelirler. Yeni bir 2-4-5-8 kritik yolu meydana gelmiş olur.

2. Hızlandırmadan sonra Proje süresi $34-2=32$ ay

Proje maliyeti $4.235.000 + 2 \times 25.000 = 4.285.000$ TL



Şekil 3.18 Basit Hızlandırmalarla Maliyetlerin Azaltılmasına Ait Örneğin Üçüncü Aşaması

3. HIZLANDIRMA

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

2-3-6-7-8 yolunda en ekonomik süre kısaltılması 6-7'den 1 ay, 7-8 den 1 ay, 4- 5'den 2 ay azaltmakla mümkündür. İlerde hangi adımda hangi faaliyetlerin sürelerinde değişiklik yapıldığını görebilmek için bu faaliyetlerin üzerlerine Şekil 3.19' de Z3 yazılmıştır. 3.

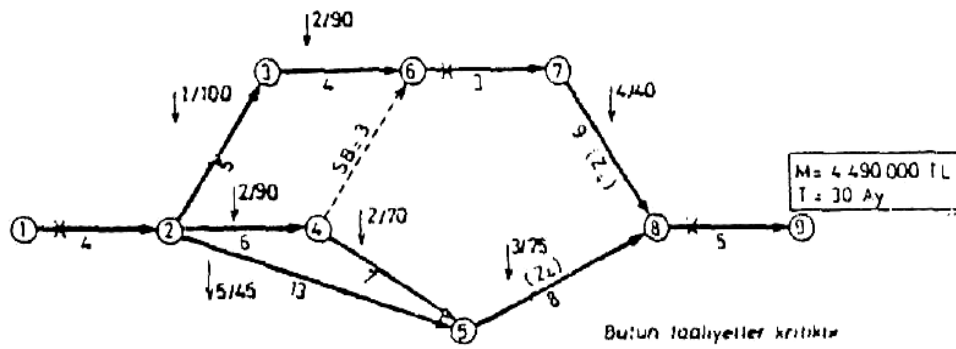
hızlandırmadan sonra projenin süresi $32 - 2 = 30$ ay, projenin maliyeti 2. hızlandırma sonunda 4.285.000'dir.

6-7'den $1 \times 25.000 = 25.000$

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

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

4.490.000



Şekil 3.19 Basit Hızlandırmalarla Maliyetlerin Azaltılmasına Ait Örneğin Dördüncü Aşaması

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

4. HIZLANDIRMA

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

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

hızlandırmadan sonra,

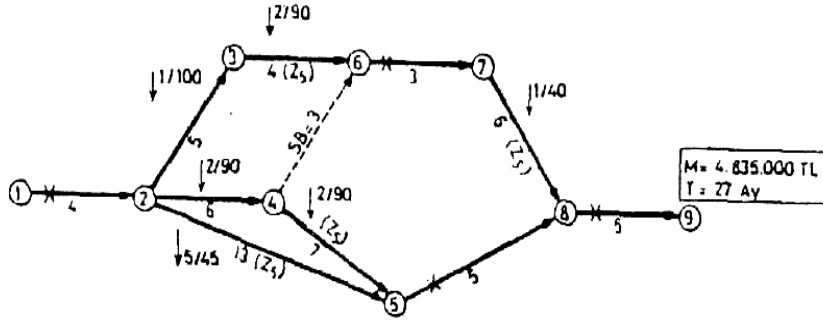
Proje süresi 30-3 + 27 ay

Proje maliyeti 3. hızlandırma sonunda 4.490.000

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

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

4.835.000' dir.



Şekil 3.20 Basit Hızlandırmalarla Maliyetlerin Azaltılmasına Ait Örneğin Beşinci Aşaması

5.HIZLANDIRMA

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

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

Hızlandırma sonunda 4.835.000

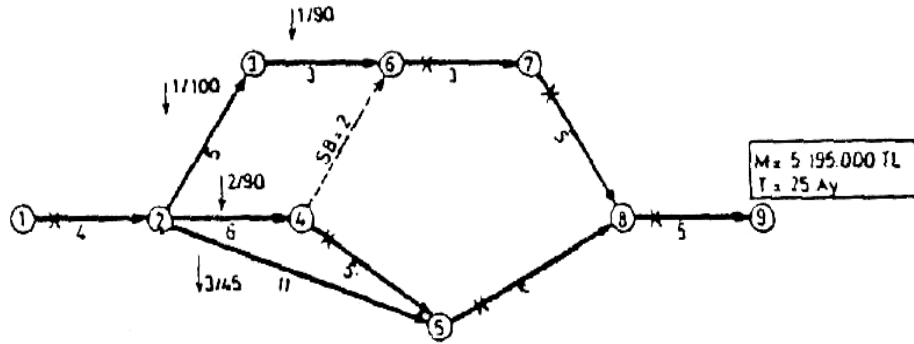
3-6' dan $1 \times 90.000 = 90.000$

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

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

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

5.195.000 olur.



Şekil 3.21 Basit Hızlandırmalarla Maliyetlerin Azaltılmasına Ait Örneğin Altıncı Aşaması

6. HIZLANDIRMA

Şekil 3.22'deki şebekede 2-3-6-7-8 yolunda 2 aylık, 2-4-5-8' de 2 aylık 2-5-8 de ise 3 aylık kısalma süresi kalmıştır. Bu üç ayrı yoldaki süre kısaltmaları eşit olması zorunluluğu sebebiyle şebeke ancak 2 aya daha kısaltılabilir.

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

Hızlandırma sonunda 5.195.000

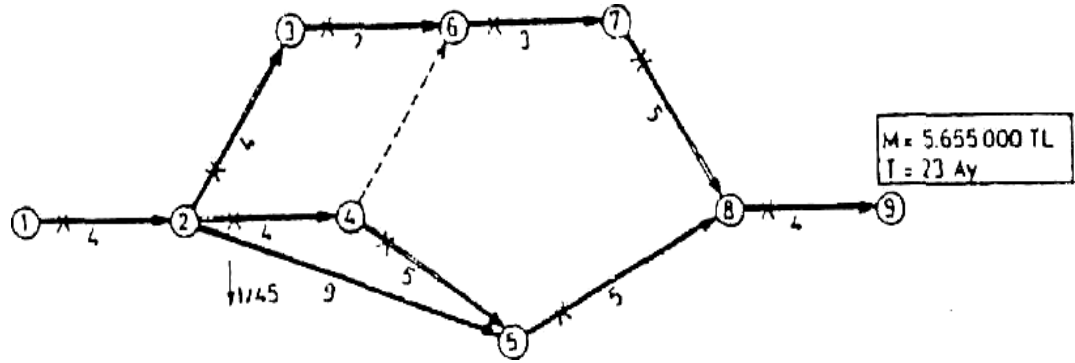
2-3' den $1 \times 100.000 = 100.000$

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

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

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

5.655.000' dir.



Şekil 3.22 Basit Hızlandırmalarla Maliyetlerin Azaltılmasına Ait Örneğin Son Durumu

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

BÖLÜM 4

BULANIK MANTIK

İngilizce “fuzzy logic” kelimelerinin sözlük anlamı olan bulanık mantık çok net olmayan mantığa dayalı önermelerin, mantık süzgecinden geçirilerek incelenmesinin yapıldığı bir metod olarak adlandırılabilir. Bu metod ilk kez 1965 yılında Azeri asıllı akademisyen Prof.Dr.Lotfi A.Zadeh tarafından ortaya atılmış ve günümüze gelmiştir. Günümüzde Zadeh’in Bulanık Mantık’ı ortaya koyduğu andan itibaren dünyada 15.000’e yakın bilimsel makale yayınlanmıştır. Öncesine bakıldığında ise Polonyalı mantıkçı Jan Lukasiewicz’in 1930 yıllarında klasik mantıkta kullanılan ikili mantık sistemi “doğru” veya “yanlış” değerlerini üçlü mantık sistemine oturttuğu görülür. Bulanık mantığın aksine klasik mantık sistemleri belirsizlikle ilgilenmezler. Bir başka ifade ile bulanıklık doğruluk ölçütünün keskin bir şekilde tanımlanmamasından kaynaklanan durumlardaki problemlerle uğraşmak içinide bir yöntem tescil eder (Aksoy, 2004).

Bulanık mantık, bir şey hakkında yargı ortaya atarken, aynı anda, bu yargıyı oluştururken dayandığı matematiksel sınıflandırmaların ne kadar içinde, ne kadar dışında olduğundan bahseder. Verinin ne kadar o yargı kümesine ait, ne kadar ait olmadığı bilgisine dayanarak o veriye yeni bir tanım getirir.

Bulanık mantık küme teorisinde üyelik derecesi kavramını geliştirmiştir. Örneğin gençler kümesine 25 yaşındaki bir insan %100 üye iken, 60 yaşındaki bir insan %30 üyedir şeklinde ifadeleri vardır. Böylesine bir açılım sübjektif verilere dayansa da kazandırdığı esneklik ve gerçek hayat olaylarına daha iyi çözüm önerebilme itibariyle çok taraftar toplamıştır

(Russel ve Norvig, 2003).

Ev ile iş arasındaki kısa gezintiler her insanın günlük yaptığı işlerdendir. İnsanlar için ulaşım sırasındaki bireysel biçimlerden bazıları bisiklete binme, araba kullanma ve yürüme olarak tanımlanabilir. Bu noktada gerekli olan saptama ise gittiğimiz yere ne kadar kısa sürede varacağımızdır. Geleneksel metodlar içinde bu olguyu tanımlamak için sayısal tekniklerin kullanıldığı matematiksel modeller anlatılır (Turan ve Khisty, 2003). İnsan beyni belirsiz ve öznel değerler ile uğraştığından beri, bu tip teknik ve modellerin belirsizliğin var oluşuna gereken önemi vermediği tartışılmıştır. Bununla beraber bütün bu yapıların geleneksel metodlar içerisinde birleştirilmesiyle mantıklı bir matematiksel modelin tanımlanması hemen hemen imkansızlaşır.

İşte bu noktada Zadeh'in bulanık mantığı analiz yapan insanlara mükemmel bir araç olarak sunulur. Ayrıca bulanık mantık modelleri geliştirildiğinden beri, insanların karar verme proseslerinde geleneksel metodlara kıyasla çok daha anlaşılır olduğu görülmektedir (Weck, vd., 1997).

Bulanık kavram ve sistemlerin dünyanın değişik araştırma merkezlerinde dikkat kazanması 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından yapılan gerçek bir kontrol uygulaması ile olmuştur. Bu araştırmacılar ilk defa bir buhar makinesi kontrolünün bulanık sistem ile modellemesini başarmıştır. Bu ön çalışmadan, bulanık sistemlerle çalışmanın ne kadar kolay ama sonuçlarının da ne kadar etkili olduğu anlaşılmıştır (Şen, 2000).

Daha sonraki yıllarda bulanık sistem uygulaması bir çimento fabrikasının işletilmesi ve kontrolü için yapılırken artık bulanık kavramlar dünyanın bir çok yerinde yavaş yavaş kullanılmaya başlanmıştır. Bu faaliyet Batı'da çok yavaş olurken Doğu'da ve özellikle Japonya, Singapur, Kore ve Malezya'da kendisini fazlaca göstermiştir. Müteakip yıllarda bilhassa 1980'lerden sonra bulanık sistemin elektrikli süpürgeler, çamaşır makineleri, asansörler, metro ve şirket işletimi gibi konularda bulanık mantık kullanımında fazlasıyla artış olmuştur. Son yıllarda birçok mühendislik dallarında, veri tabanlarının sözcükleştirilmesinde ve birçok konularda kullanılır hale gelmiştir.

Bulanık mantık ile matematik arasındaki temel fark bilinen anlamda matematiğin sadece

aşırı uç değerlerine izin vermesidir. Klasik matematiksel yöntemlerle karmaşık sistemleri modellemek ve kontrol etmek işte bu yüzden zordur, çünkü veriler tam olmalıdır. Bulanık mantık kişiyi bu zorunluluktan kurtarır ve daha niteliksel bir tanımlama olanağı sağlar. Bir kişi için 38,5 yaşında demektense sadece orta yaşlı demek birçok uygulama için yeterli bir veridir. Böylece azımsanamayacak ölçüde bir bilgiindirgenmesi söz konusu olacak ve matematiksel bir tanımlama yerine daha kolay anlaşılabilen niteliksel bir tanımlama yapılabilecektir.

Bulanık mantığın uygulama alanları çok geniştir. Sağladığı en büyük fayda ise “insana özgü tecrübe ile öğrenme” olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanımasıdır. Bu nedenle lineer olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için özellikle uygundur. Bulanık mantık yaklaşımı, makineler insanların özel verilerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve öngörülerinden yararlanarak çalışabilme yeteneği verir (Elmas, 2003).

Bulanık mantık konusunda yapılan araştırmalar Japonya’da oldukça fazladır. Özellikle fuzzy process kontroller olarak isimlendirilen özel amaçlı bulanık mantık mikro işlemci çipinin üretilmesine çalışılmaktadır.

Otomatik iletim hatları gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bundan başka uzay araştırmaları ve havacılık endüstrisinde de kullanılmaktadır. TAI’de araştırma gelişme kısmında bulanık mantık konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Yine bir başka uygulama olarak otomatik civatalamaların değerlendirilmesinde bulanık mantık kullanılmaktadır. Bulanık mantık yardımıyla civatalama kalitesi belirlenmekte, civatalama tekniği alanında bilgili olmayan kişiler açısından konu şeffaf hale getirilmektedir. Burada bir uzmanın değerlendirme sınırlarına erişilmekte ve hatta geçilmektedir.

Fuzzy kuramının merkez kavramı fuzzy kümeleridir. Küme kavramı kulağa biraz matematiksel gelebilir ama anlaşılması kolaydır. Örneğin “orta yaş” kavramı incelenirse, bu kavramın sınırlarının kişiden kişiye değişiklik gösterdiğini görülür. Kesin sınırlar söz konusu olmadığı için kavram matematiksel olarakda kolayca formüle edilemez. Ama genel olarak 35 ile 55 yaşları orta yaşlılık sınırları olarak düşünülebilir. Bu kavram grafik olarak ifade

edilmek istenirse, karşılaşılan eğriye “aitlik eğrisi” adı verilir ve kavram içinde hangi değerin hangi ağırlıkta olduğunu gösterir. Bulanık küme, kümeye aitlik derecesi üyelik değeri ile tanımlanmış olan kümeyi ifade eder (Karanfil, 1993).

Bir fuzzy kümesi kendi aitlik fonksiyonu ile açık olarak temsil edilebilir. Aitlik fonksiyonu 0 ile 1 arasındaki her değeri alabilir. Böyle bir aitlik fonksiyonu ile “kesinlikle ait” veya “kesinlikle ait değil” arasında istenilen incelikte ayarlama yapmak mümkündür. Bulanık mantık, adından anlaşılabilir olduğu gibi mantık kurallarının esnek ve bulanık bir şekilde uygulanmasıdır. Klasik (boolean) mantıkta bilindiği gibi, "doğru" ve "yanlış" ya da "1" ve "0" lar vardır oysa bulanık mantıkta ikisinin arasında bir yerde olan önermeler ve ifadelere izin verilebilir ki, gerçek hayata baktığımızda hemen hemen hiçbir şey kesinlikle doğru veya kesinlikle yanlış değildir. Gerçek hayatta önermeler genelde kısmen doğru veya belli bir olasılıkla doğru şeklinde değerlendirilir. Bulanık mantığa da zaten klasik mantığın gerçek dünya problemleri için yeterli olmadığı, durumlar dolayısıyla ihtiyaç duyulmuştur (Şen, 2001).

Bulanık mantık ile çalışmanın tercih edilmesinin nedenleri özetlenecek olursa şöyle sıralanabilir:

- Bulanık mantığın anlaşılması kolaydır. Bulanık mantığın dayandığı matematiksel teori basittir.
- Bulanık mantığı çekici kılan şey yaklaşımının doğallığı ve kompleks yada karmaşıklıktan uzak olmasıdır.
- Bulanık mantık esnektir.
- Eksik yada yetersiz verilerle işlemler yapılabilir.
- Bulanık mantık karmaşık lineer olmayan fonksiyonları modelleyebilir. ANFIS gibi uyarlanabilir teknikler yardımı ile herhangi bir girdiye çıktı veri kümelerini eşleştirerek bulanık modeller oluşturulabilir.
- Bulanık mantık ile uzman kişilerin görüş ve tecrübelerinden yararlanılır.
- Bulanık mantık sıradan insanların günlük işlerinde kullandığı dili kullanır. Bu da

bulanık mantığın en büyük avantajıdır (Yılmaz ve Arslan, 2005).

Günümüzde bir projede beklenen 4 çeşit belirsizlik çeşidi vardır:

- Varyasyon
- Öngörülen Belirsizlik
- Öngörülemeyen Belirsizlik
- Kaos

Projeler genellikle yüksek miktarda “Öngörülemeyen Belirsizlikle” karşı karşıya kalmaktadırlar. Bulanık mantıkla proje yönetimi uygun bir yönetim anlayışı ile beraber, projelerdeki “Öngörülemeyen Belirsizliği” “Öngörülebilir Belirsizlikle” çevirmekte oldukça başarılı bir yöntemdir (Meyer, Loch, Pich, 2014).

4.1 Bulanık Kümeler ve Bulanık Sayılar

Bulanık sistemler genel olarak, mevcut verilerden seçilen girdi değişkenlerinden çıktı değişkenlerinin elde edilmesini sağlamak amacıyla bulanık küme ilkelerini kullanan sistemlerdir. Bulanık sistemlerin en büyük avantajı insan deneyimlerinin ve sözel verilerin bulanık sayılar yardımıyla bulanık modele katılması ile çözüme ulaşılmasıdır. Bulanık model (bulanık çıkarım sistemi), bulanık Eğer İse kuralları adı verilen bulanık kurallara dayanan sistemlerdir (Yılmaz ve Arslan, 2005).

4.1.1 Bulanık kümeler

Bulanık küme, kümeye aitlik derecesi üyelik değeri ile tanımlanmış olan kümeyi ifade eder. Bulanık küme kavramı, Zadeh’in klasik sistem kuramının matematiksel yöntemlerinin gerçek dünyadaki pek çok sistemle özellikle insanları içeren kısmen karmaşık sistemlerle uğraşırken yetersiz kalmasından hoşnut kalmayıp doğmuştur. Zadeh, bu noktada ikili üyelik fonksiyonuyla ifade edilen klasik kümeler yerine dereceli üyelik fonksiyonuyla ifade edilen bulanık kümeler tanımlamasını öne sürdü. Bulanık küme kuramı ‘belirsizlik’in bir tür biçimlenişi, formüllendirilmesidir. Bir çeşit çok-değerli küme kuramıdır. Fakat işlemleri diğer küme kuramlarınıninkilerden farklılıklar gösterir. Kümedeki her bir birey çift-değerli küme kuramlarında olduğu gibi ‘üye’ ya da ‘üye değil’ olarak değil de bir dereceye kadar üye olarak

görülür.

Bulanık küme kavramı, hassasiyetin arttırılması açısından klasik kümelerinkine göre daha uygun olan yeni bir araç sağlamaktadır. Bu yaklaşım klasik küme kuramlarında kullanılan üyelik kavramını bir kenara bırakıp yerine tamamen yenisini koymak değil, iki-değerli üyeliği çok-değerliliğe taşıyarak genellemesini yapmaktadır (Makropoulos ve Butler, 2005).

Gerçek uzun boylu olarak esas alınırsa ondan biraz daha uzun veya kısa olanlar uzun boylu değil diye dışlanamazlar. Esas alınan uzun boyluluğun altında ve üstündeki boylar o kadar kuvvetli olmasa bile, uzun boyluluğa ait olma derecesi biraz daha az olmakla beraber yine de uzun boylular kümesine girmektedir. Böylelikle dünyadaki tüm insanlar kümesindeki insanların teker teker boy açısından birer uzunluk üyelik derecelerinin bulunduğu söylenebilir. Bunu biraz daha küçük ölçekte, Türkiye’de bulunan insanların “insan toplumu” kümesinin birer ögesi olduğu düşünülürse, bunların da ayrı ayrı uzun boyluluk açısından üyelik derecelerinin bulunduğu söylenebilir.

Aristo mantığına göre çalışan ve şimdiye kadar alışla gelen klasik küme kavramında, bir kümeye giren öğelerin oraya ait oluşları durumunda üyelik dereceleri 1’e, ait olmamaları durumunda ise 0’a eşit varsayılmıştır. İkisi arasında hiçbir üyelik derecesi düşünülemez. Yani klasik küme kavramında bir eleman bir kümenin üyesidir veya değildir (Başlıgil, 2004). Halbuki bulanık kümeler kavramında 0 ile 1 arasında değişen, değişik üyelik derecelerinden söz etmek mümkündür. Böylece daha şimdiden bulanık kümelerindeki öğelerin üyelik derecelerinin kesintisiz olarak 0 ile 1 arasında değerler aldığından söz edilebilir. Aslında Zadeh küme öğelerinin üyelik derecelerinin 0 ile 1 arasında değişebileceğini ileriye sürerek kümeler teorisinde geniş uygulamaya sahip ve doğal hayatla uyumlu olan bulanık kümeler kavramının özellikle 1980 yılı sonrasındaki teknoloji ve bilimsel çalışmalarda etkisi büyük olmuştur. Bu şekilde tanımlanan üyelik derecelerinin her bir bulanık söz için üç temel özelliği sağlaması tanım olarak gerekmektedir. Bunlar şöyle sıralanabilir:

- Bulanık kümenin normal olmasıdır ki, bunun için en azından o kümede bulunan öğelerden bir tanesinin en büyük üyelik derecesi olan 1’e sahip bulunması gerekliliğidir.

- Bulanık kümenin monoton olması istenir ki, bunun anlamı üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağda ve soldaki öğelerin üyelik derecelerinde 1'e yakın olmasıdır.
- Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa veya sola eşit mesafede hareket edildiği zaman bulunan öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olmasıdır ki, buna da bulanık kümenin simetrik özelliği adı verilir.

Klasik kümelerle bulanık kümelerin arasındaki önemli farklardan bir tanesi klasik kümelerin sadece bir tane dikdörtgen üyelik derecesi fonksiyonu bulunmasına karşın bulanık kümenin yukarıdaki üç şarttan ilk ikisini mutlaka sağlayacak biçim değişik üyelik derecesi fonksiyonlarına sahip olmasıdır.

Bulanık küme üyelik derecesi fonksiyonlarının mutlaka simetrik olması özelliğini sağlaması gerekmemektedir. Çoğu durumda insanlar sayısal bilgileri hassas bir şekilde tanımlayamazlar. Örneğin "yaklaşık 55", "0'a yakın", "6000'den büyük" gibi ifadeler kullanırlar. Bunlar bulanık sayılara birer örnektir. Bulanık alt kümeler teorisi kullanılarak, bu bulanık sayılar gerçel sayılar kümesinin bir bulanık alt kümesi olarak tanımlanabilir. Bulanık bir A sayısı en azından aşağıdaki üç koşulu sağlamalıdır:

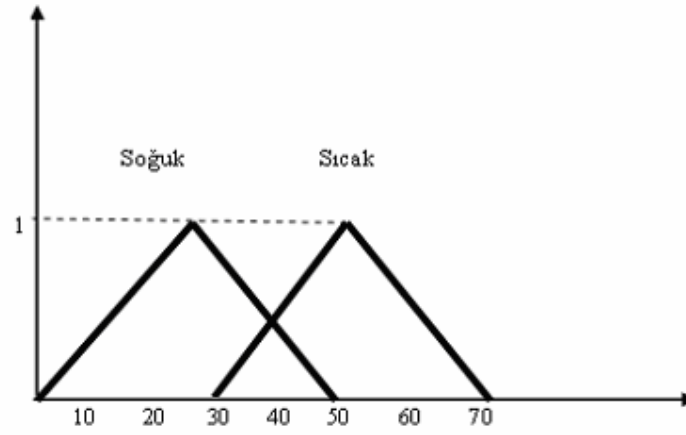
- A normal bir bulanık küme olmalıdır.
- A dış bükey bir bulanık küme olmalıdır.
- A'nın desteği, 0^+A , sınırlı olmalıdır (Klir ve Yuan, 1995).

4.1.2 Bulanık Sayılar

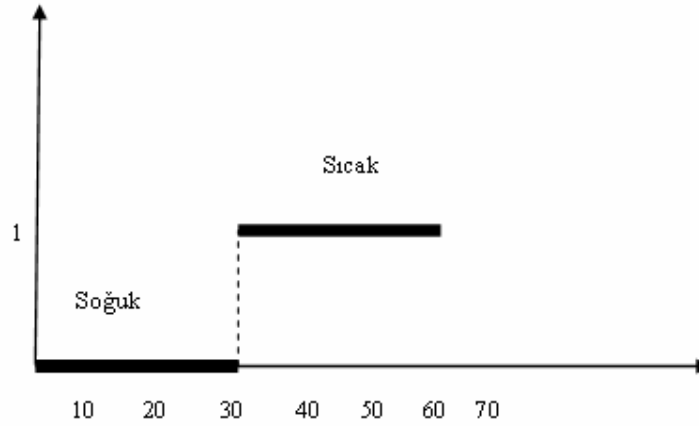
Bulanık sayılar, orijinal olarak ölçülen değişkenlerin genel bir ölçeğe dönüştürülmesi için kullanılır. Bir bulanık sayı, bulanık kümeler arasında ve gerçel sayıların bulunduğu yer içerisinde tanımlıdır (Klir ve Yuan, 1995).

Bulanık sayılar 1 olarak tanımlanan bir küme içerisindeki maksimum üyelik anlamındaki normallik özelliğine sahiptirler. Bu özellik yeni bir ölçüm skalası tanımlamak için kullanılır. Cebirsel ve aritmetik işlemler "uzatma prensibi" ile bu kümelerde bir analogi şeklinde tanımlanabilir.

Bulanık sayılar kavramı, bir standartlaştırma aracı olmakla kalmayıp aynı zamanda sözel değerleri de bir karar prosesi içinde birleştiren bir yapıdır. Bulanık sayılar aslında sözel değerleri betimlemektedir (saldırgan, çok saldırgan vb. gibi). Bunu geleneksel bir anlayış içerisinde ele alarak, temel bir değişkene doğru ilerlemektedir (Makropoulos ve Butler, 2005).



Şekil 4.1 Bulanık Mantık Modeli



Şekil 4.2 Klasik Mantık Modeli

4.1.2.1 Üçgensel bulanık sayılar

Üçgensel bulanık sayılar (a_1, a_2, a_3) gibi ölçüler ile gösterilir. Burada a_2 büyüklüğü kesinlikle gösteren sayıdır. a_1 ve a_3 büyüklüğün alt ve üstsınırlarının kabul edilebilir değerlerini göstermektedir.

$A=(a_1, a_2, a_3)$ şeklinde bu üçgensel sayı için üyelik fonksiyonu ise;

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & a_3 < x \end{cases}$$

şeklinde gösterilmektedir.

U, elemanları “x” ile gösterilen bir evrensel küme olarak tanımlansın. U’nun klasik bir alt kümesi olan A için üyelik, μ_A karakteristik fonksiyonu ile gösterilir ve $\{0, 1\}$ arasında aşağıdaki gibi değişmektedir:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } x \in A \text{ ise} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

Eğer küme değerinin gerçekten $[0, 1]$ aralığında olmasına izin verilirse, A kümesi “Bulanık Küme” olarak isimlendirilir. $\mu_A(x)$, x’in A kümesi içindeki “üyelik derecesi” dir ve $\mu_A(x)$ ’in 1’e yakın değerleri için x’in A kümesine üyeliği artar. A bulanık kümesi, düzenli ikililer kümesi ile karakterize edilmiştir.

$$A=\{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$$

Zadeh, burada aynı zamanda aşağıdaki gösterim şeklinide önermiştir. X sonlu bir küme olduğunda A bulanık kümesi $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ şeklinde belirtilir.

Belirsizliğin ve rekabetin çok olduğu günümüz iş hayatında, Üçgensel Bulanık Sayılar kullanarak yapılan bir CPM/PERT çok daha esnek ve doğru sonuçlar vermektedir (Madhuri, Saradhi, Shankar, 2014).

4.1.3 Bulanık sayılarda işlemler

Bulanık sayılardaki işlemlerde unutulmaması gereken iki kavram ortaya çıkmaktadır. Bunlar yaklaşık sonuçlar veren aritmetik işlemler ve güven aralıkları ile aritmetik işlemler olarak sıralanabilir.

4.1.3.1 Bulanık sayılarda yaklaşık işlemler

$A=(x_1, x_2, x_3)$ ve $B=(y_1, y_2, y_3)$ şeklinde iki tane üçgensel bulanık sayı olduğunu varsayılırsa bu sayılar üzerinde bazı kavramları açıklığa kavuşturulabilir.

- Eşitlik: A ve B bulanık sayılarının eşitliği, karşılıklı olarak bütün elemanların eşitliğini göstermektedir. Bu şu şekilde açıklanabilir:

$A=B$ ise $(x_1, x_2, x_3)=(y_1, y_2, y_3)$ ise $x_1=y_1, x_2=y_2, x_3=y_3$ olmaktadır.

- Toplama: $A (+) B= (x_1+y_1, x_2+y_2, x_3+y_3)$ şeklinde ifade edilmektedir.
- Çıkarma: $A (-) B= (x_1-y_3, x_2-y_2, x_3-y_1)$ şeklinde gösterilmektedir. Sonuç yeniden üçgensel bir bulanık sayı olmaktadır.
- Üçgensel Bulanık Sayının Simetriği: $A = (x_1, x_2, x_3)$ üçgensel bulanık sayı olarak ele alınırsa, bu sayının simetriği şöyle olacaktır $-(A)=(-x_1, -x_2, -x_3)$

Çarpma ve bölme işlemleri yalnızca pozitif bulanık sayılar üzerinde tanımlanmaktadır. Pozitif bulanık sayı alt sınır değeri pozitif olan sayıdır.

- Çarpma: $A \otimes B=(x_1.y_1, x_2.y_2, x_3.y_3)$ şeklinde gösterilmektedir.

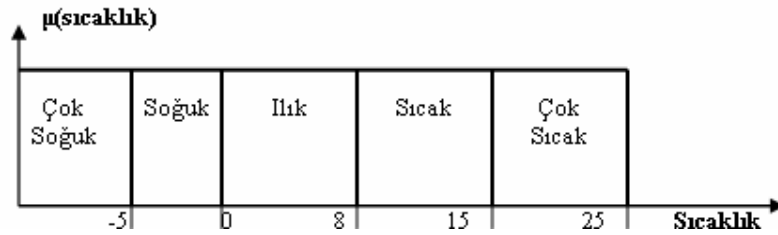
- Bölme:

$$A : B = \left(\frac{x_1}{y_3}, \frac{x_2}{y_2}, \frac{x_3}{y_1} \right)$$

şeklinde gösterilir. Bu işlem sonucu çıkan sayıda bir üçgensel bulanık sayı olmaktadır.

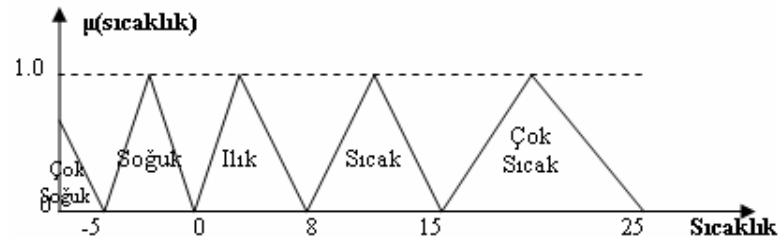
4.1.4 Üyelik fonksiyonları

Üyelik fonksiyonu sayısal bir aralığın bir kelime ile ifade edilen bir küme olan üyeliğini tarif eder. Göz önünde tutulan bir bulanık kelime veya ifadenin temsil ettiği sayısal aralık o ifade hakkında bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenebilir. Mesela İstanbul’da sıcaklık derecesinin değişim aralığının aşağı yukarı –5 dereceden +35 dereceye kadar olduğu söylenebilir. İşte bu aralık sıcaklık kümesinin İstanbul için öğelerin bulunabileceği aralığı belirtir. Böylece tüm sıcaklık uzayı belirlenmiştir. Ancak günlük konuşmalarda bu sıcaklık uzayında “çok soğuk”, “soğuk”, “ılık”, “sıcak”, “aşırı sıcak” gibi bir takım alt aralıklardan oluştuğu düşünülür. Çok soğukun –5 derece ile 0 derece, soğukun 0 derece ile 8 derece, ılığın 8 derece ile 15 derece, sıcaklığın 15 derece ile 25 derece, çok sıcak 25 dereceden başladığı söylenebilir. Burada dikkat edilirse aralık tahminlerinde bulunmuş ve her bir alt aralıktan biri bitince diğeri başlamıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Bitişik Dikdörtgen Gösterim

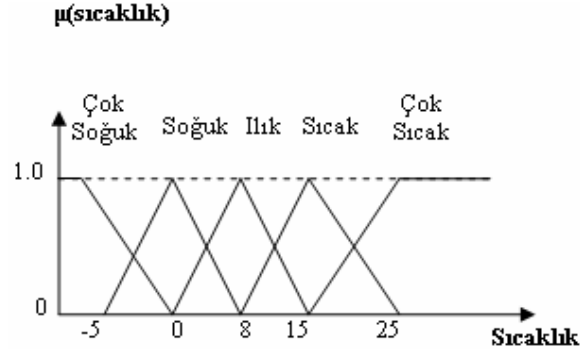
Bu aralıkların sınırlarında yine Aristo mantığına göre katı kararlar alınmalıdır. Örneğin 7.9 derecenin soğuk, 8.1 derecenin ise ılık olduğuna karar verilir. Bu şekilde gösterim bakımından önemli bir nokta her alt aralığa düşen sıcaklık değerinin üyelik derecesinin sadece o aralıkta 1’e, diğer aralıklarda ise 0’a eşit olduğudur. Bu nedenle her sıcaklık alt



Şekil 4.4 Bitişik üçgen gösterim

Şekil 4.4’ de yukarıdaki tartışmanın bir doğal sonucu olarak en basit üçgen üyelik fonksiyonları bitişik olarak alınmıştır. Bu üçgenlerinde sıcaklık alt kümelerini tam yansıtmadığı açıktır. Çünkü burada da sınırlardaki sıcaklık değerlerinin üyelik dereceleri sıfır olarak düşünülmüştür. Ayrıca, bu sınır değerlerine alttakinede üstteki sıcaklık alt kümelerine dahildir. Böylece sınır değerler için tam anlamı ile bir belirsizlik vardır. Diğer taraftan bu şekildeki alt aralıklar halen Aristo mantığına göre işlem görür. Çünkü bir alt aralığa düşen sıcaklık değeri, sadece o alt aralığa aittir. Fakat şekil 4.3’ den farklı olarak üyelik derecesi 1’e eşit değildir.

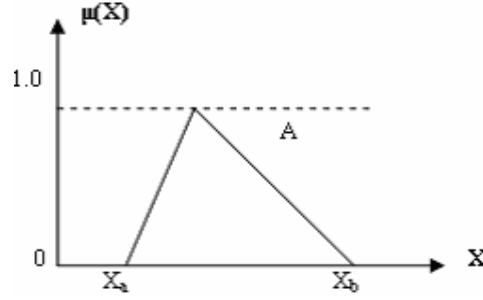
Biraz daha makul düşünen birisi bu aralıkların arasındaki geçiş kısımlarının böyle bir birinin devamı olmayacağını ve bir örtüşmenin söz konusu olabileceğini söylerse daha mantıklı günlük hayatta geçerli ve uzlaştırıcı çözümlere gitmiş olur. Çünkü herkesin ılık sınırlarının +5 ile 15 derecede sıfır üyelik derecelerine sahip olacağını kabul etmesini savunmak mümkün değildir. Halbuki günlük hayatta sınıra yakın olan değerlerin hangi aralığa düşeceği oldukça şüpheli yani bulanıktır (Ross, 1995). Böylece sıcaklık alt aralıklarının bir biri ile örtüşmeli geçişlere sahip olmasının gerekliliği ile sonuçta Şekil 4.5’ de verilen üyelik fonksiyonlarına varılır.



Şekil 4.5 Örtüşmeli Üçgen Gösterim

Yukarıda söylenenlerden sonar ilk ve son alt aralıktaki sıcaklık durumlarının “çok çok soğuğa” veya “çok çok sıcağa” doğru giderken başka alt aralıklar olmadığından, üyelik derecelerinin 1’e eşit kalmasının makul olacağı anlaşılır. Bunun doğal bir sonucu olarak da ilk ve son üyelik fonksiyonlarının üçgen değilde yamuk şeklinde olacağı sonucuna varılır. Böylece, her alt aralığa girişimli olarak bir üyelik fonksiyonu şekli tayin edilmiştir.

Diğer taraftan, sorun her alt aralığa, örneğin “ılık ” aralığına düşen sıcaklık derecelerinin hepsinin aynı dönemde olup olmayacağıdır. Tabii olarak, ılık aralığının alt ve üst uçlarına yaklaştıkça onun komşusu olan altta soğuk, üstte ise sıcak alt kümelerine doğru sıcaklık derecelerinin ,o alt aralığın uçlarına yakın kısımlarına bir alt aralıkta önem derecesi diye bir değer düşünülecek olursa bunun en büyük değerlerin o alt aralığın ortalarında en düşük değerlerinise uçlarda olacağını söyleyebiliriz. Genel olarak, her alt aralığın ayrık üyelik fonksiyonu bu şekilde gösterildiği gibi olur. Bu fonksiyonların simetrik olması gerekmez. Böylece X_a ve X_b gibi alt ve üst sınırlara sahip X değişkeninin bu aralıktaki her değerine ayrı bir üyelik derecesi, $\mu(x)$ tayin edilmiş olur. Bu aralıktaki tüm X değerleri, o X değişkeninin bir alt kümesini teşkil eder.



Şekil 4.6 Bulanık küme

Genel olarak küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren böyle bir eğriye üyelik fonksiyonu (önem eğrisi) adı verilir. Bu kümenin en önemli özellikleri, alt küme sınırlarındaki değerlerin orta öğelerinkine göre daha düşük olmasıdır. Ancak klasik kümelere bir benzerlik teşkil etmesi açısından en büyük önem derecesine sahip olan ortaya yakın öğelere 1 değeri verilirse, diğerlerinin 0 ile 1 arasındaki değişimin, her bir öğe için değerine, üyelik derecesi (μ), bunun bir alt küme içindeki değişimine ise üyelik fonksiyonu ($\mu_A(x)$) adı verilir. Böylece üyelik fonksiyonu şemsiyesi altında toplanan öğeler önem derecelerine göre birer üyelik derecesine sahiptir. X evrensel bir küme olsun. A kümesini tanımlayan üyelik fonksiyonu

$$\mu_A: x \rightarrow [0, 1] \quad (4.1)$$

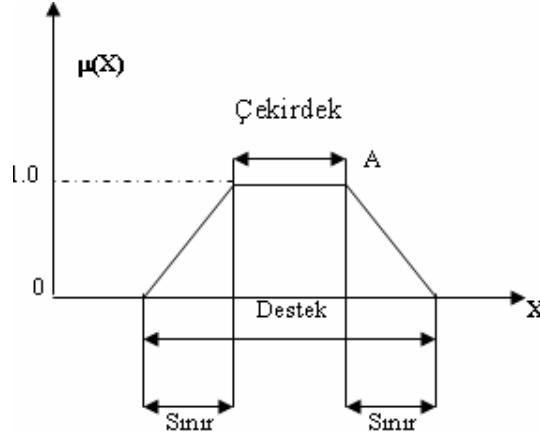
şeklinde tanımlanır.

Buna bağlı olarakda bulanık A kümesinin tanımı

$$A = \{(x, \mu_A(x) | x \in X)\} \quad (4.2)$$

şeklindedir. Matematik kurallarına uygun olarak düzgün şekilli üyelik fonksiyonlarını şekil 4.7’de gösterilen üçgenden başka, yamuk veya çaneğrisi şeklinde de olabilir. Ancak pratik uygulamalarda bunlardan en fazla üçgen olanı kullanılır (Yakhchali, 2012).

Herhangi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunun çekirdeği (Şekil 4.5), A kümesi içinde üyelik derecesi “1” eşit olan elemanların kümesidir.



Şekil 4.7 Bir Bulanık Kümenin Çekirdek Destek Ve Sınır Kısımları (Şen, 2001)

Herhangi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunun destek kısmı (Şekil 4.7), A kümesi içindeki sıfır olmayan üyelik değerlerini karakterize eden evrensel küme olarak tanımlanır ve

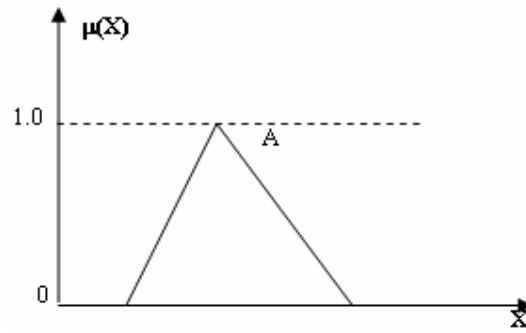
$$\text{Supp } A = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\}$$

(4.3)

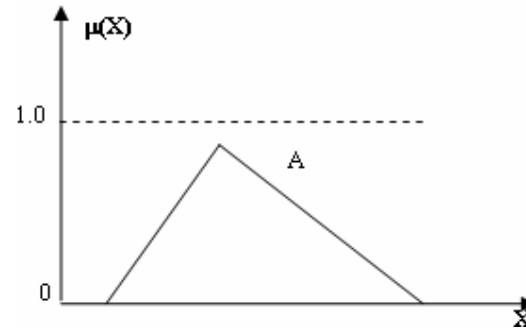
ile gösterilir.

Herhangi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunun sınırları (Şekil 4.10), A kümesi içindeki sıfır ve tam üye olmayan değerler ile karakterize edilen evrensel küme olarak tanımlanır. Bu küme içindeki X elemanlarının üyelik dereceleri 0 ile 1 arasındadır.

Normal bulanık küme üyelik fonksiyonu üyelik değeri 1 olan en az bir tane elemanına sahiptir (Şekil 4.8).

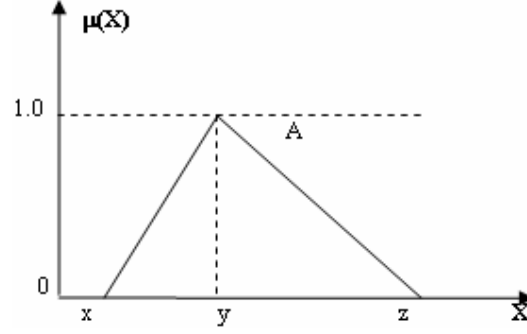


Şekil 4.8 Normal Bulanık Küme (Ross, 1995)



Şekil 4. 9 Subnormal Bulanık Küme (Ross, 1995)

A bulanık kümesinin yüksekliği üyelik fonksiyonunun maksimum değeridir. $\text{Max}\{\mu_A(x)\}$ ile gösterilir. Eğer bu değer 1'den küçük ise bu bulanık küme subnormal bulanık kümedir (Şekil 4.9).



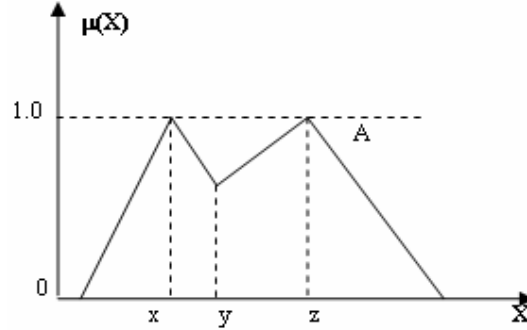
Şekil 4.10 Konveks Normal Bulanık Küme (Ross, 1995)

Konveks bulanık küme, üyelik fonksiyonu monoton bir şekilde artan veya azalan, veya önce monoton bir şekilde artan sonra artan değerler ile monoton bir şekilde azalan kümeler olarak açıklanır. Bir başka deyişle eğer, herhangi $x < y < z$ elemanları için;

$$\mu_A(y) \geq \min [\mu_A(x), \mu_A(z)]$$

(4.4)

denklemini sağlanıyorsa bu bulanık küme, A, konveks bulanık kümedir (Şekil 4.10). Herhangi iki konveks kümenin kesişiminde konveks bulanık kümedir. Üyelik fonksiyonunda üyelik değerleri 0,5 olan noktalar fonksiyonun cross-over noktaları olarak tanımlanır.



Şekil 4.11 Nonkonveks Normal Bulanık Küme (Ross, 1995)

Eğer A tek noktada konveks normal bir bulanık küme olarak tanımlanırsa, A bir bulanık sayıyı ifade eden bir küme olur. Bulanık kümeler, bir değer ve bu değerün üyelik derecesinden oluşan sayı çiftlerinde oluşurlar. Bu çiftler üzerinde işlem yaparken, bazı bulanık küme özellikleri kullanılır. Bulanık küme işlemlerinin klasik kümelerdeki farkı ise üyelik fonksiyonlarının bahsedilen bulanık küme özellikleriyle işleme sokulmasıdır.

Daha öncede anlatıldığı gibi bir üyelik fonksiyonu; belirli bir aralıktaki sayıların ya da değerlerin genellikle bulanık bir kelime ile ifade edilen bir kümeye üye olma durumlarını tarif eder. Bu üyelik durumunun bir fonksiyonla ifade edilmesinin nedeni, herhangi bir elemanın bir kümeye “tam olarak” ait olmak zorunda olmamasıdır. Klasik kümelerde böyle bir şey söz konusu değildir. Yani bir bulanık kümenin elemanlarının üyelik dereceleri 0 ile 1 arasında değerler alabilirken klasik kümenin elemanları 0 ya da 1 üyelik derecelerinden yalnızca birine sahip olabilirler.

Bulanık kümelerinde, klasik kümelerdekine benzer özellikleri vardır. Bu özellikler genel olarak grafik gösterimleriyle açıklanmıştır. Bunun sebebi uygulama çalışmasında grafik yöntemle çözülecek olmasıdır.

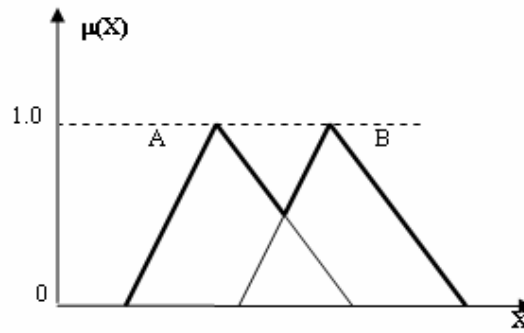
4.1.5. Birleşme Özelliği

$A \cup B$ kümesinin $\mu_{A \cup B}(x)$ üyelik fonksiyonu, $x \in X$ her değeri için aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$$

(4.5)

Birleşme özelliği şekil 4.12’ de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Bulanık Kümelerin Birleşme Özelliği

Örneğin “uzunboylular” kümesine 0.5 üyelik derecesiyle, “şişmanlar” kümesine de 0.3 üyelik derecesiyle üye olan bir kişi, bu kümelerin birleşimi olan “uzun boylular VEYA şişmanlar” kümesine 0.5 üyelik derecesiyle üyedir.

4.1.6. Kesişme Özelliği

$\mu_{A \cap B}(x)$ üyelik fonksiyonu,

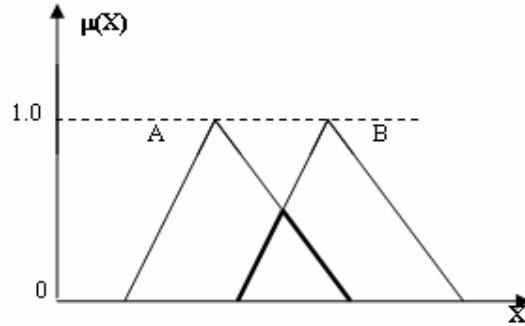
$x \in X$ ’in her değeri için ;

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$$

(4.6)

ifade edilir.

Şekil 4.13’ de (4.6) eşitliğinin grafik ifadesi gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Bulanık Kümelerin Kesişme Özelliği

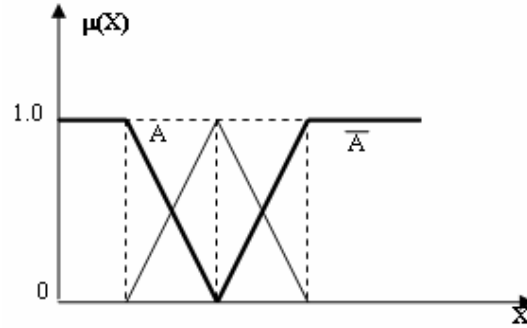
Birleşme özelliği için verilen örnek kesişme özelliği için şu şekilde düzenlenebilir; “uzun boylular” kümesine 0.5 üyelik derecesiyle, “şişmanlar” kümesinde 0.3 üyelik derecesiyle üye olan bir kişi, bu kümelerin kesişimi olan “uzun boylular VE şişmanlar” kümesine 0.3 üyelik derecesiyle üyedir.

4.1.7 Evrik Alma Özelliği

Bulanık A kümesinin evriği $x \in X$ 'in her değeri için $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu türünden aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (4.7)$$

İfadenin grafiksel gösterimi şekil 5.14’de görülmektedir.



Şekil 4.14 Bulanık Kümelerin Evrik Alma Özelliği

Örneğin: “şişmanlar” kümesinde 0.3 üyelik derecesiyle üye olan bir kişi, bu kümenin evriği (tersi) olan “şişman olmayanlar” kümesine 0.7 üyelik derecesiyle üyedir.

4.1.8. Standart Formlar ve Sınırlar

Yaygın olan üyelik fonksiyonu formları normal ve konveks olanlardır. Bununla birlikte bulanık kümeler üzerindeki bazı işlemler ve üyelik fonksiyonu üzerindeki işlemler subnormal ve nonkonveks fonksiyonlar ile sonuçlanır.

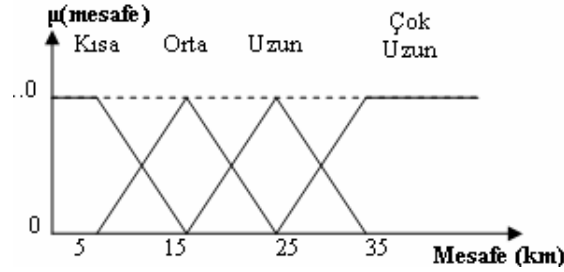
Üyelik fonksiyonları simetrik veya asimetrik olabilirler. Bu fonksiyonlar tek boyutlu kümelerde tanımlandığı gibi çoklu-boyut kümelerde de tanımlanabilirler. Burada gösterilen fonksiyonlarda tek boyutlu eğriler gösterilmektedir. İki boyutlu durumlarda da bu eğriler yüzeyleri, üç ve daha fazlası için ise hiper yüzeyleri gösterirler. Bu hiper yüzeyler veya eğriler n-boyutlu uzay parametreleri ile $[0, 1]$ aralığındaki üyelik değerleri arasındaki kombinasyonlardan oluşan basit biçimlerdir. Yine bu üyelik değer-in-boyutlu uzaydaki parametrelerin spesifik kombinasyonlarının n-boyutlu bir evrensel kümede tanımlanan belli bir bulanık küme içinde olan üyelik derecelerini gösterir. N-boyutlu kümeler için olan hiper yüzeyler birleşik olasılık yoğunluk fonksiyonlarına benzerdir. Fakat tabiki üyelik fonksiyonunun çizimi belli bir kümedeki üyelik içindir frekansla veya olasılık yoğunluk fonksiyonu ile ilişkili değildir (Ross,1995).

4.1.9 Üyelik Derecesinin Belirlenmesi

İhtimaller hesabından bilineceği gibi rastgele bir değişkene değişik ihtimal yoğunluk fonksiyonları uydurulabileceği düşüncesine benzer olarak, bulanık kümelere daha da fazla şekilde üyelik derecelerinin gerekse bunların tümünü temsil edebilecek üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, ilk başlayanlar tarafından bile kişisel sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sıkça rastlanır. Zaten pratikte bir çok sorunun üstesinden gelebilmek için bu yaklaşımlar çoğu zaman yeterlidir. Öyle olmasa bile ilk yaklaşım olarak bu esaslara göre davranmaları faydalıdır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan diğer yöntemlerin tümü oldukça fazladır. Başlıcaları şöyle sıralanabilir (Şen,2001):

- Sezgi,
- Çıkarım,
- Mertebeleme,
- Açılı bulanık kümeler,
- Yapay sinir ağları,
- Genetik algoritmalar,
- Çıkarımcı muhakeme

Bunlardan sezgi fazla bir metodoloji bilgisi gerektirmemektedir. Burada kişinin kendi anlayış, görüş ve olaylara bakışı önemli rol oynar. Buna en basit örnek olarak herkesin, hemen her gün karşı karşıya kalarak görüşleriye sürdüğü mesafe kelimesinin belirttiği belirsiz alt kümeleri düşünebiliriz. Bir insanın yürüyeceği günlük mesafe için en azından kısa, orta, uzun ve çok uzun gibi dört tane alt küme belirlenebilir. Bu alt kümelerin her biri şekil 4.15’ de görüldüğü gibi belirli bir geometrik şekil ile temsil edilebilir.



Şekil 4.15 Mesafe Bulanık Alt Kümeleri

Bu Geometrik şekillerin konumları doğal olarak o yörede yaşayan kişilere göre değişir. Örneğin, kırsal kesimlerde yaşayan insanların anladığı kısa kavramı ile kentsel bölgelerde yaşayanların ki birbirinden oldukça farklıdır.

Çıkarım ile bulanık küme üyelik fonksiyonlarının bulunması için mutlaka incelenen olay hakkında bazı temel bilgilere sahip olmak gerekir. Burada, literatürde sıkça bilinen bir örnek üzerinde durularak izah yapılacaktır. Bir üçgenin A, B ve C içaçıları toplamı 180° dir. İşte bu bilgiden hareketle bir çıkarıma gidilebilir. Üçgenlerin yaklaşıklıkla eşkenar(E), ikizkenar(i), dikaçılı(D), dikaçılışkenar(DE) ve diğerleri (Di) gibi alt kümeler ayrılabilir. Bunların her biri, üçgenler kümesinin bulanık alt kümelerini temsil eder. Sıra bu alt kümelerin her birine birer üyelik fonksiyonu çıkarımlarının yapılmasına geldiğinde bilinenlerden yararlanılarak bazı üyelik fonksiyonu çıkarımları yapılmasına gidilebilir.

Mesela, bulanık bir ikiz kenar üçgende;

$A \geq B \geq C \geq 0$ olmak üzere $A=B$ veya $C=B$ olması durumunda üyelik

Değerinin $\mu_i(X)=1$ olacağı düşünülerek üyelik fonksiyonu

$$\mu_i(A,B,C)=1-(1/60) \text{ Min}(A-B,B-C) \quad (4.8)$$

şeklinde ifade edilebilir. $A=120^{\circ}$, $B=60^{\circ}$ ve $C=0$ ise $\mu_i(X)=0$ olur.

Halbuki bulanık bir dik üçgen için üyelik fonksiyonu

$$\mu_D(A,B,C)=1-(1/90)A-90^\circ \quad (4.9)$$

Şeklinde ifade edilir. Mesela $A=90^\circ$ için dik üçgenin üyelik derecesi $\mu_D(X)=1$ ve $A=180^\circ$ içinise $\mu_D(X)=0$ 'dır. Diğer taraftan yaklaşık ikizkenar ve dik üçgen için bulanık ikizkenar üçgen ile bulanık dik üçgenlerin bileşimi olarak yukarıdaki iki üyelik fonksiyonundan en küçükleme (Min) ve en büyükleme (Max) işlemler ile

$$\mu_{I \cup D}(A,B,C)=\text{Min}[\mu_I(A,B,C),\mu_D(A,B,C)] \quad (4.10)$$

Şeklinde ifade edilebilir (Ross, 1995).

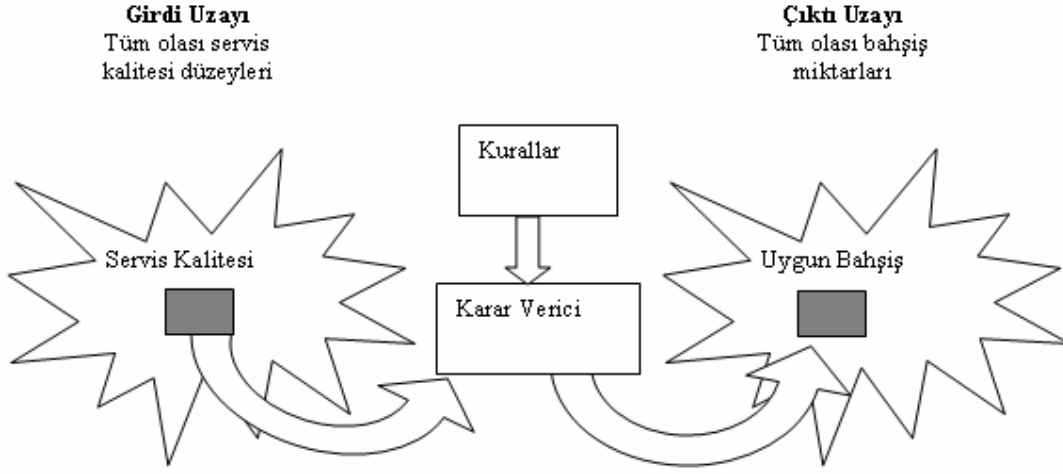
Üyelik fonksiyonu tayininde mertebelendirme yöntemi de kullanılır. Burada bir bulanık değişken hakkında anketler soruşturmalar veya seçimler yapılarak üyelik derecelerinin tayinine çalışılır. Her zaman verilen iki seçenek arasındaki tercihler sayılır ve bu tercihlere verilen puanlandırmalarla işlemler yapılır (Ross, 1995).

4.1.10 Bulanık Kümelerde Kural Tabanı ve Çıkarım Süreci

Bulanık sistem teorisinin önemli bir katkısı bir bilgi tabanını doğrusal olmayan haritaya dönüştürme için sistematik bir metodoloji sağlamasıdır (Pillay ve Wang,2003).

Yukarıda da kısaca bahsedildiği gibi; bulanık mantık, bir girdi uzayını kural tabanı ve çıkarım motoru vasıtasıyla bir çıktı uzayına ulaştırır.

Örnek olarak; bir restorandaki “servis Kalitesine ” göre“ uygun bahşiş miktarı” kararı alınması verilebilir (Şekil 4.16). İnsanlar bahşiş verecekleri zaman servisi çeşitli kriterlere göre ölçüp, bir bahşiş fonksiyonuna sokmazlar. Yapılan şey çok basittir. “ EĞER servis kalitesi ‘çok iyi’ İSE ‘ çok ’bahşiş ver” gibi bir kaç tane kuralla konu açıklığa kavuşmuş olur.



Şekil 4.16 Bir Girdi Altkümesinin Bir Çıktı Altkümesine Gitmesi (MathWorks, 1995)

Bulanık mantık temelde problemlere getirdiğı bu kolay çözüm nedeniyle tercih edilir (MathWorks, 1995).

Yukarıdaki kurala bakıldığında, daha önceden karar vericinin aklında tanımlanan, servis kalitesi değişkenine ait dilsel bulanık kümeler olduğu görülür. Bu kümeler “Çok iyi”, “Orta” ve “Zayıf” olsun, benzer şekilde bahşış miktarı için bulanık kümeler ise “Az”, “Orta” ve “Çok” olsun. Karar vericinin servis için “çok iyi” ifadesini kullanması, herhangi bir kuralı belirli bir çıktı kümesine götürmez. Zira, alınan servis kalitesinin “çok iyi” kümesindeki üyelik derecesi uygun bahşış miktarının “çok” kümesindeki üyeliğini verecektir. Dolayısıyla üyelik derecesinin hesaplanmasını sağlayacak bir kesin (crisp) veya bulanık (fuzzy) girdiye ihtiyaç vardır. Böyle bir girdi sağlamak için servis kalitesinin 1–10 arasında puanlandığı varsayılabilir. Bir kabulde çıktı uzayı için yapılmalıdır.

Bahşış miktarının en küçük değeri %0 ve en büyük değerde %25 olsun.

Yukarıdaki kabuller ışığında çıktı (bahşış miktarı) şu adımlar izlenerek oluşturulur.

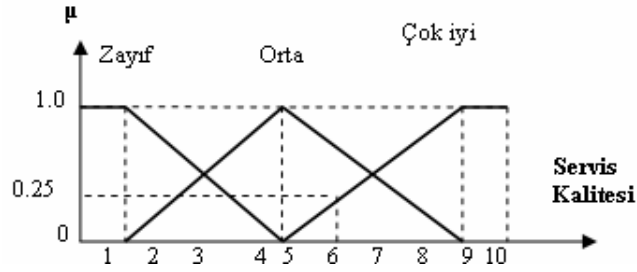
- Kesin (crisp) girdinin bulanıklaştırılması (Fuzzification)
- Kural tabanı vasıtasıyla çıkarım (Inference)

- Çıktının durulaştırılması (Defuzzification)

4.1.11 Bulanıklaştırma (Fuzzification)

Bulanıklaştırma, kesin olarak ifade edilen bir girdinin bulanık bir küme içerisindeki üyeliğinin bulunmasıdır. Bu yolla, kesin olarak ifade edilen bir sayı bir bulanık kümenin belli bir oranda elemanı olur.

Servis kalitesine verilen 6 puanı, 0.25 üyelik derecesi ile “Çok iyi” kümesine üyedir (Şekil 4.17).

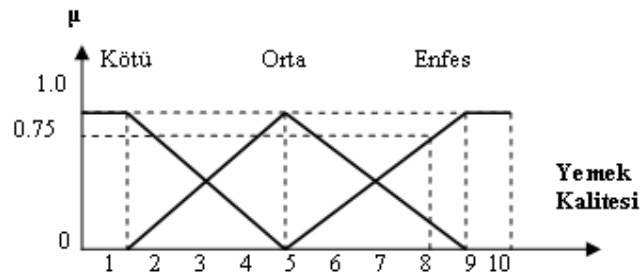


Şekil 4.17 Servis Kalitesi Değişkeninin Üyelik Fonksiyonu

Bulanıklaştırma işlemi sonucunda elde edilen değer 0.25’dir ve çıkarım için bu değer kullanılacaktır.

Bahşış örneğine, üyelik fonksiyonu Şekil 4.18’de gösterildiği gibi olan yemek kalitesi değişkeni eklensin. Kural tabanı da düzenlenerek aşağıdaki şekle getirilebilir;

EĞER servis kalitesi ‘çok iyi’ VEYA yemek kalitesi ‘enfes’ İSE ‘çok’ bahşış ver.



Şekil4.18 Yemek Kalitesi Değişkeninin Üyelik Fonksiyonu

Yemek kalitesine verilen 8 puanı, 0.75 üyelik derecesi ile “Enfes” kümesine üyedir (Şekil 5.18).

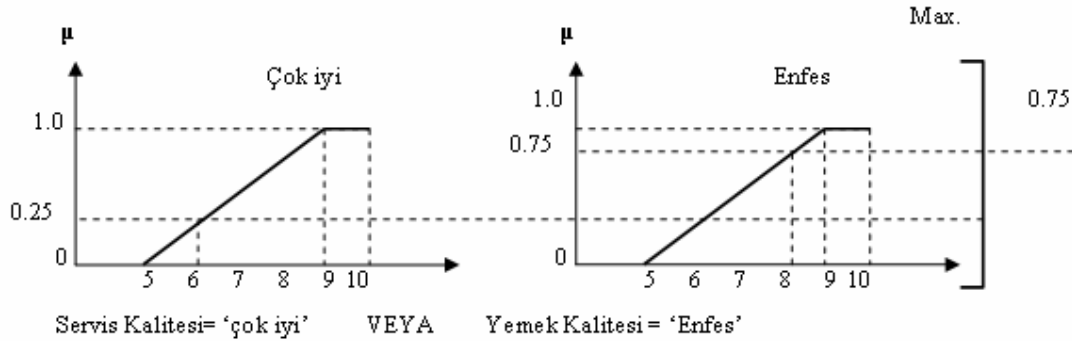
Bulanık kümelerde kesişim işleminin “ve” operatörüyle ifade edilebildiği ve bu ifadenin de matematiksel olarak “max” ile gösterildiği daha önce anlatılmıştı.

Öyleyse, kural tabanının öncül kısmı (EĞER ile İSE arası kısım) olan, “servis kalitesi’ çok iyi(Çİ)’ VEYA yemek kalitesi’ enfes(EN) ” ifadesi matematiksel olarak aşağıdaki gibi çözülür.

$$\mu_{Çİ \cap EN} = \text{Max}\{\mu_{Çİ}(6), \mu_{EN}(8)\} = \text{Max}\{0.25, 0.75\} = 0.75$$

(4.11)

Bu ifade Şekil 4.19’da grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.19 İki Girdi Değişkeninin Bulanıklaştırılması

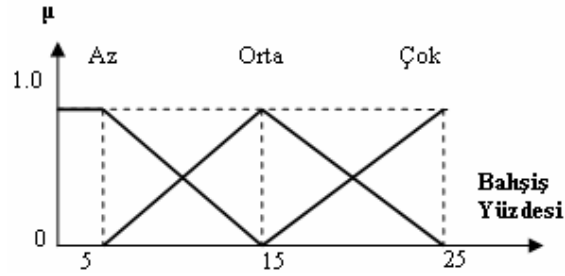
Bu işlem sonucunda elde edilen 0.75 değeri kural tabanının soncul (İSE’den sonraki) kısmında verilen uzayı daraltan bir çıkarımda rol oynar.

Bulanıklaştırmanın girdisi her zaman kesin (crisp) olmayabilir. Girdinin bulanık (fuzzy) bir küme olduğu durumlarda bulanıklaştırma işlemi iki bulanık kümenin kesiştirilmesiyle yapılır. Daha sonraki işlemler tamamıyla aynıdır.

4.1.12 Çıkarım (Inference)

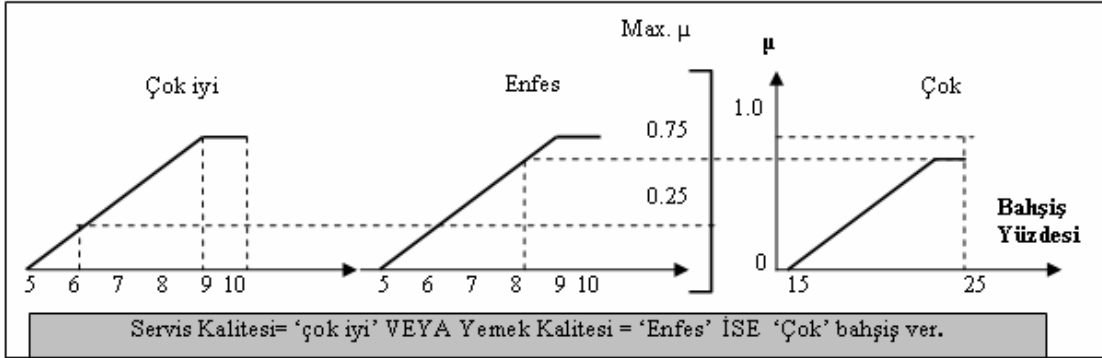
Çıkarım, bulanık bir girdi kümesinin kural tabanında belirtilen bulanık bir çıktı kümesine gitmesidir. Çıkarım sırasında kural tabanının öncül kısmında (antecedent) bulanıklaştırma ile elde edilen üyelik değeri soncul kısım (consequent)'daki bulanık kümeye yansıtılır ve bir çıktı bulanık kümesi elde edilir.

Çıkarım kısmında bahşış miktarında üyelik fonksiyonuna ihtiyaç vardır. Bahşış miktarının üyelik fonksiyonu şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20 Bahşış Miktarı Değişkeninin Üyelik Fonksiyonu

Aynı örnek devam ettirilirse bulanıklaştırma sonucunda elde edilen 0.75 değerinin, kural tabanında belirtilen “çok” bahşış kümesine uygulanması gerekir. Değerin kümeye uygulanmasıyla bahşış uzayı daralmaya uğrayacak ve uygun bahşış miktarının bulanık Kümesini verecektir (Şekil 4.21). Kural sayısının birden fazla olması durumunda, herbir kural dan elde edilen çıktıların bileşkesi, çıktı bulanık kümesini verir. Kesin bir çıktı değeri (Uygun bahşış oranı) ise durulaştırma işleminden sonar elde edilir.



Şekil 4.21 Bulanık Çıkarım Kümesi

4.1.13 Durulaştırma (Defuzzification)

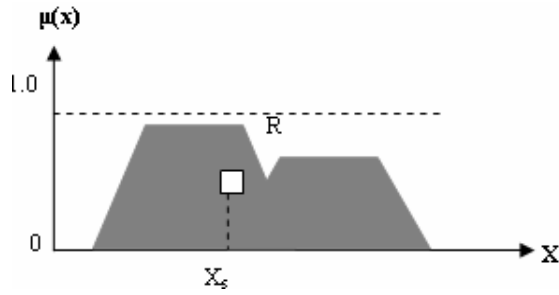
Bulanık çıkarım kümesinden yola çıkarak kesin bir sayı elde etme işlemine durulaştırma denir. Durulaştırma işlemi için bir çok metod mevcuttur. Ancak bu metodlardan yedi tanesi son yıllarda araştırmacılar tarafından sıklıkla önerilmektedir (Ross,1995) .Bu çalışmada,uygulamalarda sıkça kullanılan bumetodlardan ençokkullanılan iki tanesi özetlenmiştir.

4.1.13.1 Ağırlık merkezi (Centroid) yöntemi

Durulaştırma işlemleri arasında en yaygın kullanıma sahip olan yöntem Ağırlık Merkezi (Centroid) yöntemidir. Bu yöntemde bulanık çıktı kümesi (R)' nin ağırlık merkezinin izdüşümünde bulunan x_s değeri, kuralın kesin (crisp) çıktısıolarak kabuledilir. Anlatılanların matematiksel olarak ifadesi şöyledir (Ross, 1995):

$$x_s = \frac{\int \mu_R(x) \cdot x \cdot dx}{\int \mu_R(x) \cdot dx} \quad (4.12)$$

Şekil 4.22'de durulaştırmanın grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.22 Ağırlık Merkezi Yöntemi ile Durulaştırma

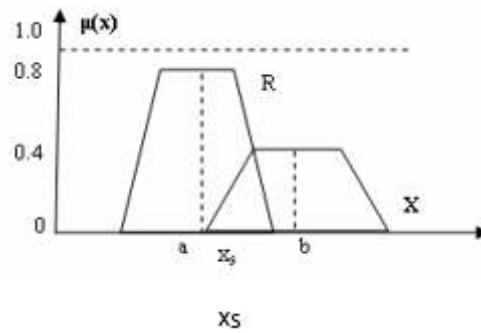
4.1.13.2 Ağırlıklı ortalama yöntemi

Bu yöntem üyelik fonksiyonlarının simetrik olduğu durumlarda kullanılır.

$$x_s = \frac{\sum \mu_R(x) \cdot x}{\sum \mu_R(x)}$$

(4.13)

Matematiksel ifadesi ile işlem (4.13) eşitliği şeklindedir (Ross, 1995). Grafiksel gösterim şekil 5.23’de verilmiştir.



Şekil 4.23 Ağırlıklı Ortalama Yöntemiyle Durulaştırma (Şen, 2001)

BULANIK PERT (FPERT) YÖNTEMİ

5.1 Bulanık PERT (FPERT) Yöntemi

Faaliyet sürelerini belirlemek amacı ile bulanık sayıları kullanan Bulanık Pert yöntemi ya da Bulanık CPM 1970'lerin ikinci yarısında itibaren gelişme göstermiştir. CPM'de kullanılan klasik formül bir sistem için bağımlıları, belirleyici faaliyet sürelerini bulanık sayılar ile yer değiştirerek bulma şeklindedir. Sistem içerisinde aynı yolu kullanarak kritik derecenin farklı kestirimlerini veren değişik bulanık kritik yol tanımları mevcuttur (Chanas Zielinski, 2001).

Bulanık en kısa yol ve bulanık PERT/CPM problemleri Dubois ve Prade (1980) tarafından analiz edilmiştir. Genişletilmiş toplama/çıkarma ve bulanık maksimum/minimum, bulanık değerlerin karşılaştırılması ve toplanması için kullanılmıştır. Chanas ve Kamburowski (1981) bulanık PERT'in çözümünde genişletilmiş toplama ve güçlü seviye kümelerini esas alan bir yaklaşım önermiştir.

McCahon ve Lee (1988) çalışmalarında, proje tamamlanma zamanının bulunmasında Lee ve Li'nin (1987) kıyaslama (comparison) metodu ile bileşik (composite) metodunu çözüm açısından karşılaştırmış ve bu metodlardan kıyaslama metodunun daha kısa ve anlaşılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Buckley (1989) olasılık teorisine dayalı bir bulanık PERT geliştirmiştir ancak erken başlama ve bolluk zamanları hala zor hesaplanmaktadır. Klein (1991) bulanık kısa yol problemini dinamik programlama formülasyonu kullanarak çözme yaklaşımını önermiştir.

Bu çalışmada, Gencer ve Tükbey'in (2001), FPERT metodu olarak bilinen kıyaslama metodu kullanılmıştır. Gencer ve Tükbey, projelerinde her işin bulanık zamanlarının bilindiği varsaymaktadır. Projenin tamamlanma zamanını bulmak için kıyaslama metodunda, ileriye doğru geçişte bulanıken erken başlama-bitiş ($E\tilde{S}_i - E\tilde{F}_i$) ve geriye doğru geçişte, bulanıken geç başlama –bitiş zamanları ($L\tilde{S}_i - L\tilde{F}_i$) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$E\tilde{S}_i = \max_{v_j \in P_i} [E\tilde{S}_j (+) \tilde{A}_j] \quad (5.1)$$

$$E\tilde{F}_i = E\tilde{S}_i (+) \tilde{A}_i$$

$$L\tilde{F}_i = \min_{v_j \in S_i} [L\tilde{F}_j (-) \tilde{A}_j] \quad (5.2)$$

$$L\tilde{S}_i = L\tilde{F}_i (-) \tilde{A}_i \quad (5.3)$$

$$(5.4)$$

$\tilde{A}_j$ j işinin bulanık iş süresi, (+) bulanık toplama, (-) bulanık çıkarma, v_j j. işi, P_i j işinin öncül işler seti, S_i j işinin ardıl işler setidir. Üç köşeli (üç elemanlı) bulanık sayılar (triangular fuzzy numbers) kullanıldığında, bir işin başlayabilmesi için birden fazla işin bitmesi gerektiği durumlarda, yeni başlayacak bir işin en erken başlama zamanının bulunmasında kullanılan bulanık öncüllük faktörleri $s(\tilde{A}_i), m(\tilde{A}_i)$

$$m(\tilde{A}_i) > m(\tilde{A}_j) \quad \text{veya} \quad m(\tilde{A}_i) = m(\tilde{A}_j)$$

$$\text{ve}$$

$$s(\tilde{A}_i) < s(\tilde{A}_j)$$

Koşulları sağlandığında $\tilde{A}_i > \tilde{A}_j$ olduğu kabul edilmekte ve $\tilde{A}_i$ 'nin değerleri en erken başlama zamanları olarak dikkate alınmaktadır.

Burada;

$$m(\tilde{A}) = 1/3(a+b+c) \quad \text{ve} \quad s(\tilde{A}) = 1/18(a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc) \quad (5.5)$$

Olduğu kabul edilmiştir (Gencer ve Tükbey, 2001).

5.2 Bulanık CPM (FCPM) Yöntemi

CPM (Critical Path Method), şebeke analizinde kullanılan bir planlama tekniğidir. Bu teknik “bir projenin gerçekleşmesi yönünde yapılan işlerin, ne zaman başlayacağını, biteceğini ve ne gibi işlerin ne zaman ve hangi sıra ile yapılacağını” şebeke şeklinde yöneticiye görsel bilgiler sunar. CPM, faaliyet sürelerinin sabit olduğu kabul edildiğinde deterministic bir yöntemdir (Chanas ve Zielinski, 2001).

Oysa gerçek dünya uygulamalarında belirlilik, gerçeklik ve verilerin kesinliği sıklıkla aldatıcıdır. Projenin planlamasında işleri için öngörülen süreler uygulamaya geçildiğinde iklim koşulları, makine bozulmaları, malzeme teminindeki aksamlar, işçi sorunları v.b. çeşitli nedenlerden kaynaklanan değişiklikler gösterebilir. CPM’de, projenin belirsizlik ortamında yürütüldüğü, çeşitli nedenlerden kaynaklanan değişikliklerden etkilenilebileceği dikkate alınmalıdır. (Baykasoğlu ve Gökçen, 2013)

Ertuğrul ve Tuş (2006) çalışmalarında belirsizlik ve kesin olmayan verinin üstesinden gelebilmek için bulanık verinin CPM yaklaşımıyla nasıl bütünleşeceğini gözden geçirmektedir.

Bulanık CPM, klasik CPM’in bir uzantısıdır. Bulanık CPM, subjektif ihtiyaçların mevcut olduğu problemlere CPM’i uygulamak için büyük bir esneklik getirmiştir. Bulanık küme teorisi, CPM karar problemleriyle ilgilenen fakat kesin olmayan verilerle formüle edilen bir yaklaşım olarak görünür. Bulanık CPM böyle bir amaç için düzenlenir.

Bu çalışmada, Ertuğrul ve Tuş’un (2006), CPM probleminin subjektif tercihe dayalı üyelik fonksiyonları ile birleştirilme metodu kullanılmıştır. Bu yöntemde her bir üçgensel bulanık sayının

$$\left(\frac{a + 2b + c}{4} \right) \quad (5.6)$$

Formülü ile temsilci değerleri belirlenmiş ve kendi aralarında büyük olan değer kötümser, ortanca değer optimal en küçük olan değerde iyimser değer olarak kabul

edilerek CPM hesabı yapılmıştır.

Bulanık CPM, pek çok karar verme sürecinde görülen bulanıklık, klasik CPM kullanılarak çözülebilen problemlerle birleştğinde kullanılan bir methodtur. Çoğu karar sürecinin belirsiz olduğu düşünülürse CPM'in etkin ve kullanışlı bir metod olduğu anlaşılır.

BÖLÜM 6

PROJE YÖNETİMİ ve BULANIK PROJE YÖNETİMİ UYGULAMASI

Proje yönetiminde kullanılan bir çok yöntem olmakla beraber en çok yaygınlık kazanan yöntemler PERT ve CPM yöntemleridir. Bu çalışmada, proje yönetiminde kullanılan klasik PERT ve CPM ile bulanık proje yönetiminde kullanılan bulanık PERT (FPERT) ve bulanık CPM (FCPM) teknikleri kullanılacak ve sonuçlar incelenecektir.

Proje olarak yeni bir online internet şube yapılması seçilmiş ve X, Y ile Z danışmanlık firmalarının proje ekiplerinden, proje faaliyetleri ve süreleri ile ilgili kesin ve bulanık değerler alınmıştır. Faaliyet tanımları ve kodları Çizelge 6.1’de yer almaktadır.

Çizelge 6.1 Faaliyet Tanımları ve Kodları

Faaliyet Kodu	Önceki Faaliyet	Faaliyet Tanımı
A	-	Proje planı ve ekibinin oluşturulması
B	A	Kullanıcı ihtiyaçlarının belirlenmesi / Anket, focus grup
C	B	Benchmark incelemeleri ve uygun layoutların belirlenmesi
D	C	Teklif alınacak şirketlerin belirlenmesi
E	D	Tekliflerin değerlendirilmesi
F	C	Sözleşme ve bakım koşullarının değerlendirilmesi
G	C	Danışmanlık Hizmeti alma kararı
H	C	Yeni içeriklerin oluşturulması ve onaylanması
I	G,H	Görsel ve şablon tasarımları hazırlanması
J	I	Testler
K	F	Lansman

6.1 CPM ile Proje Süresinin Hesaplanması

I. aşamada, bu faaliyet süreleri ve faaliyetler arası mantıksal ilişkiler WINQSB programına girilmiş ve analiz başlatılmıştır.

Activity Name	Immediate Predecessor (list number/name, separated by ',')	Normal Time
A		7
B	A	90
C	B	15
D	C	7
E	D	7
F	C	15
G	C	7
H	C	3
I	G,H	3
J	I	7
K	F	7

Şekil 6.1 Kesin Faaliyet Sürelerinin WINQSB Ekranında Gösterimi

Şekil 6.1’de birinci sütun (activity name) ilgili faaliyeti, ikinci sütun ise (immediate predecessor) ilgili faaliyetten önce gerçekleşmesi gereken faaliyeti, üçüncü sütun ise faaliyetin gerçekleşeceği kesin süreyi (normal şartlarda) göstermektedir.

Faaliyetlerin kesin zamanları kullanılarak WinQSB programında aktivite analizi yapılmış ve şekildeki sonuçlar elde edilmiştir.

Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)
<u>A</u>	Yes	7	0	7	0	7	<u>0</u>
<u>B</u>	Yes	90	7	97	7	97	<u>0</u>
<u>C</u>	Yes	15	97	112	97	112	<u>0</u>
D	no	7	112	119	120	127	8
E	no	7	119	126	127	134	8
<u>F</u>	Yes	15	112	127	112	127	<u>0</u>
G	no	7	112	119	117	124	5
H	no	3	112	115	121	124	9
I	no	3	119	122	124	127	5
J	no	7	122	129	127	134	5
<u>K</u>	Yes	7	127	134	127	134	<u>0</u>
Project Completion Time			=	134	days		
Number of Critical Path(s)			=	1			

Proje tamamlanma süresi

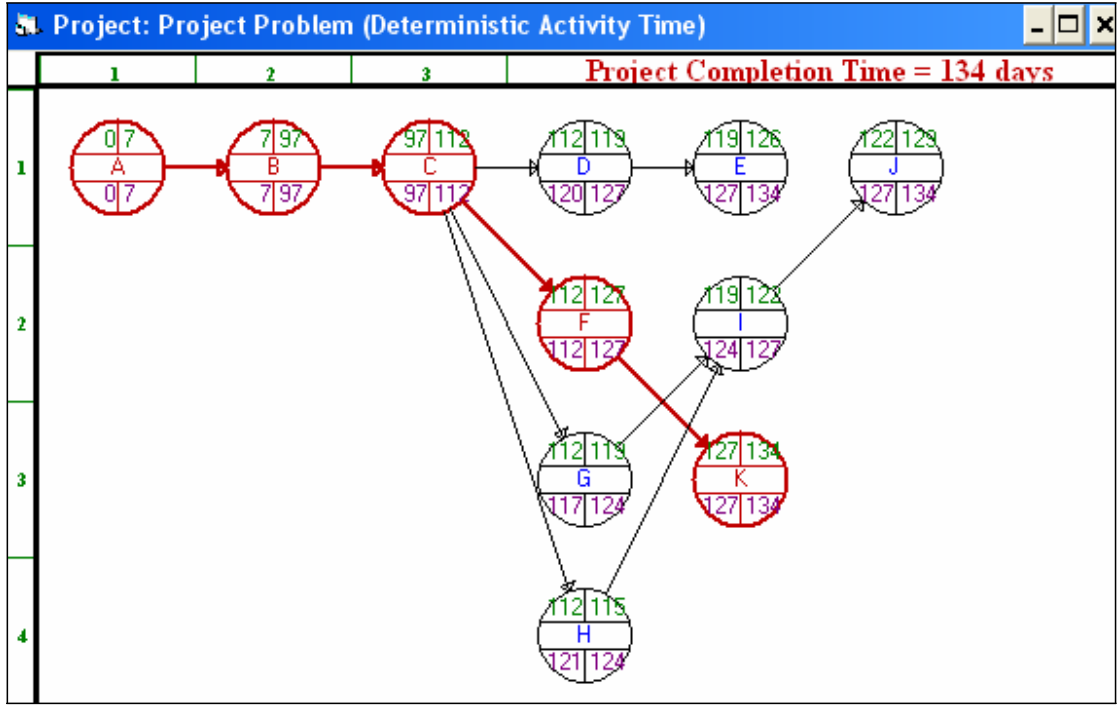
Şekil 6.2 Kesin Faaliyet Zamanları İçin WINQSB İle Proje Tamamlanma Zamanının Hesaplanması

WinQSB programı ile bu problemin tamamlanma süresi 134 gün olarak hesaplanmış ve kritik yol A-B-C-F-K olarak belirlenmiştir. Bu durum Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’ de gösterilmiştir.

05-10-2014	Critical Path 1
1	A
2	B
3	C
4	F
5	K
Completion Time	134

Şekil 6.3 Projenin Kritik Yolunun Beklenen Tamamlanma Süresinin Gösterimi

Problemin WinQSB programı ile grafiksel CPM çözümü Şekil 6.4’te gösterilmiştir.



Şekil 6.4 Grafiksel CPM Çözümü

6.2 Bulanık CPM ile Proje Süresinin Hesaplanması

Çizelge 6.2' de X, Y ve Z firmalarından alınan faaliyet süreleri üçgensel bulanık sayı olarak kabul edilmiş ve bu sayıların temsilci değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 6.2 online internet şube için gerekli olan faaliyetler, faaliyetlerin öncelik ilişkileri ve her faaliyet için firmaların verdiği üçgensel bulanık sayılar ile temsilci değerleri

Faaliyet	Öncelikli Faaliyet	Firmalardan Alınan Süreler	Temsilci Değer (a+2b+c)/4
A	-	(5,7,9) (5,8,9) (5,7,9)	7 7.5 7
B	A	(75,90,95) (90,95,100) (75,95,105)	87.5 93.75 92.5
C	B	(13,15,18) (15,15,15) (15,15,17)	15.25 15 15.5
D	C	(6,7,8) (7,8,9) (6,8,9)	7 8 7.75
E	D	(5,7,9)	7
F	C	(13,15,18) (15,16,17) (15,17,18)	15.25 16 16.75

G	C	(6,7,8)	7
H	C	(3,3,3)	3
I	G,H	(1,3,5) (1,1,3) (1,1,1)	3 1,5 1
J	I	(7,7,7)	7
K	F	(6,7,8) (7,8,9) (6,7,10)	7 8 7.5

Üçgensel bulanık sayıların hesaplanan temsilci değerlerinden en küçüğü iyimser değer, en büyüğü ise kötümser değer olarak kabul edilmiş (Ertuğrul ve Tuş, 2006) ve WinQSB programında bu değerler kullanılarak iyimser ve kötümser çözümler elde edilmiştir.

Çizelge 6.3 Herbir Faaliyet İçin Kötümser Ve İyimser Üçgensel Bulanık Sayılar Ve Temsilci Değerleri

Faaliyet	Öncelikli faaliyet	A* (Üçgensel Bulanık Sayılar) Kötümser	Temsilci Değeri	A* (Üçgensel Bulanık Sayılar) İyimser	Temsilci Değeri
A	-	(5,8,9)	7.5	(5,7,9)	7
B	A	(90,95,100)	93.75	(75,90,95)	87.5
C	B	(15,15,17)	15.5	(15,15,15)	15
D	C	(7,8,9)	8	(6,7,8)	7
E	D	(5,7,9)	7	(5,7,9)	7
F	C	(15,17,18)	16.75	(13,15,18)	15.25
G	C	(6,7,8)	7	(6,7,8)	7
H	C	(3,3,3)	3	(3,3,3)	3
I	G,H	(1,3,5)	3	(1,1,1)	1
J	I	(7,7,7)	7	(7,7,7)	7
K	F	(7,8,9)	8	(6,7,8)	7

İlk aşamada faaliyetlerin kötümser temsilci değerleri WinQSB ekranına girilmiş ve analiz başlatılmıştır.

Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)
A	Yes	7,5	0	7,5	0	7,5	0
B	Yes	93,75	7,5	101,25	7,5	101,25	0
C	Yes	15,5	101,25	116,75	101,25	116,75	0
D	no	8	116,75	124,75	126,5	134,5	9,75
E	no	7	124,75	131,75	134,5	141,5	9,75
F	Yes	16,75	116,75	133,5	116,75	133,5	0
G	no	7	116,75	123,75	124,5	131,5	7,75
H	no	3	116,75	119,75	128,5	131,5	11,75
I	no	3	123,75	126,75	131,5	134,5	7,75
J	no	7	126,75	133,75	134,5	141,5	7,75
K	Yes	8	133,5	141,5	133,5	141,5	0
Project Completion Time		=		141,50	days		
Number of Critical Path(s)		=		1			

kötümser optimal çözümü

Şekil 6.5 Her Bir Faaliyet İçin Kötümser Temsilci Değeri Ve WINQSB’de Çözümü

Analiz sonucunda bu modelin kötümser optimal çözümü 141.5 gün olarak hesaplanmıştır. Kötümser üçgensel bulanık sayılarla proje süresi (132, 143, 153) olarak bulunmuş ve kritik yol A-B-C-F-K olarak tespit edilmiştir.

İkinci aşamada faaliyetlerin iyimser temsilci değerleri WinQSB ekranına girilmiş ve analiz başlatılmıştır.

Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)
A	Yes	7	0	7	0	7	0
B	Yes	87,5	7	94,5	7	94,5	0
C	Yes	15	94,5	109,5	94,5	109,5	0
D	no	7	109,5	116,5	117,75	124,75	8,25
E	no	7	116,5	123,5	124,75	131,75	8,25
F	Yes	15,25	109,5	124,75	109,5	124,75	0
G	no	7	109,5	116,5	116,75	123,75	7,25
H	no	3	109,5	112,5	120,75	123,75	11,25
I	no	1	116,5	117,5	123,75	124,75	7,25
J	no	7	117,5	124,5	124,75	131,75	7,25
K	Yes	7	124,75	131,75	124,75	131,75	0
Project Completion Time		=		131,75	days		
Number of Critical Path(s)		=		1			

iyimser optimal çözümü

Şekil 6.6 Her Bir Faaliyet İçin İyimser Temsilci Değeri Ve WINQSB’de Çözümü

WinQSB programı ile bu modelin iyimser optimal çözümü 131.75 gün olarak hesaplanmıştır. İyimser üçgensel bulanık sayılarla proje süresi (114, 134, 145) olarak bulunmuş ve kritik yol A-B-C-F-K olarak tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar göz önüne alındığında bulanık CPM’in, klasik yöntem nazaran karar vericiye daha fazla bilgi sağladığı görülmektedir. Bulanık CPM ile modellenen uygulamanın çözümünde, FCPM’in klasik CPM’den daha esnek ve daha uygun matematiksel bir tanım çerçevesi sunduğu gözlenmiştir.

6.3 Klasik PERT ile Proje Süresinin Hesaplanması

Klasik PERT yönteminde, firmalardan alınan değerler arasındaki en büyük, optimal ve en küçük değerler kullanılmıştır. Burada a= en küçük değer, m= optimal değer ve b= en büyük değer olarak kabul edilmiştir. Her üç zaman tahmininden yararlanılarak ağırlıklı ortalama hesabına göre her faaliyet için beklenen zaman hesaplanır. Beklenen zaman (te) aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$Te=(a+4m+b)/6$$

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

Activity Name	Immediate Predecessor (list number/name, separated by ',')	Optimistic time (a)	Most likely time (m)	Pessimistic time (b)
A		5	7	9
B	A	75	90	105
C	B	13	15	18
D	C	6	7	9
E	D	5	7	9
F	C	13	15	18
G	C	6	7	8
H	C	3	3	3
I	G,H	1	3	5
J	I	7	7	7
K	F	6	7	10

Şekil 6.7 Her Faaliyet İçin Zaman Tahminlerinin WINQSB Ekranında Gösterimi

Şekil 6.7’de birinci sütun (activity name) ilgili faaliyeti, ikinci sütun ise (immediate predecessor) ilgili faaliyetten önce gerçekleşmesi gereken faaliyeti göstermektedir. Üçüncü, dördüncü ve besinci sütunlara ise ilgili faaliyetin PERT tekniği uyarınca yapılmış olan 3’lü zaman tahminleri girilmiştir.

Faaliyetler için yapılan zaman tahminleri kullanılarak WinQSB programında aktivite analizi yapılmış ve şekildeki sonuçlar elde edilmiştir.

05-10-2014 23:23:25	Activity Name	On Critical Path	Activity Mean Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)	Activity Time Distribution	Standard Deviation
1	A	Yes	7	0	7	0	7	0	3-Time estimate	0,6667
2	B	Yes	90	7	97	7	97	0	3-Time estimate	5
3	C	Yes	15,1667	97	112,1667	97	112,1667	0	3-Time estimate	0,8333
4	D	no	7,1667	112,1667	119,3333	120,5	127,6667	8,3333	3-Time estimate	0,5
5	E	no	7	119,3333	126,3333	127,6667	134,6667	8,3333	3-Time estimate	0,6667
6	F	Yes	15,1667	112,1667	127,3333	112,1667	127,3333	0	3-Time estimate	0,8333
7	G	no	7	112,1667	119,1667	117,6667	124,6667	5,5	3-Time estimate	0,3333
8	H	no	3	112,1667	115,1667	121,6667	124,6667	9,5	3-Time estimate	0
9	I	no	3	119,1667	122,1667	124,6667	127,6667	5,5	3-Time estimate	0,6667
10	J	no	7	122,1667	129,1667	127,6667	134,6667	5,5	3-Time estimate	0
11	K	Yes	7,3333	127,3333	134,6667	127,3333	134,6667	0	3-Time estimate	0,6667
	Project	Completion	Time	=	134,67	weeks				
	Number of	Critical	Path(s)	=	1					

Şekil 6.8 Klasik PERT için Aktivite Analizi Ve Elde Edilen Sonuçlar

Şekil 6.8’de görüldüğü gibi, tüm faaliyetlerin ortalama tamamlanma süreleri (Activity Mean Time), en erken başlama (Earliest Start), en geç başlama (Latest Start), en erken bitirme (Earliest Finish) ve en geç bitirme (Lastest Finish) zamanları, boşluk değerleri (Slack), standart sapmaları (Standart Deviation) ve projenin beklenen tamamlanma süresi (Project Completion Time) ilgili sütunlarda gösterilmiştir. Aynı zamanda hangi faaliyetlerin kritik yol üzerinde bulunduğu da belirlenmiştir. Tablonun ikinci sütunu (On Critical Path) ile kesişen satırların bazılarında belirtilmiş olan “yes” ibaresi, ilgili faaliyetin kritik yol üzerinde bulunduğunu ifade eder ve 8. sütunda da (Slack ; LS - ES) görülebileceği üzere, kritik faaliyetlerin boşluk değeri sıfırdır.

Aynı sütunda kritik olmayan faaliyetlerin toplam boşluk değerleri de ilgili satırlarda gösterilmiştir. Buna göre kritik yolu oluşturan faaliyetler ve uygulama sıraları,

projenin beklenen tamamlanma süresi ve standart sapması Şekil 6.9’ da belirtilmiştir.

05-10-2014	Critical Path 1
1	A
2	B
3	C
4	F
5	K
Completion Time	134,67
Std. Dev.	5,22

Şekil 6.9 Projenin Kritik Yolunun Beklenen Tamamlanma Süresinin Ve Varyansının Gösterimi

Analizin II. aşamasında, ilgili modellerin verilen değerler ışığında WINQSB programı vasıtasıyla çözümü sonucu, proje şebekesi programlanmış, projenin beklenen tamamlanma süresi 134,67 gün, kritik yol A-B-C-F-K ve varyansı 5,22 gün olarak belirlenmiştir.

6.4 Bulanık PERT ile Proje Süresinin Hesaplanması

Çizelge 6.4’te X, Y ve Z firmalarından alınan üçgensel bulanık sayı olarak kabul edilmiş faaliyet süreleri yer almaktadır. Bu faaliyet sürelerinden yola çıkılarak bulanık PERT için ortalama değerler hesaplanmıştır. Ortalama değerlerin hesaplanmasında her bir firmanın ağırlığının 1/3 oranında olduğu varsayılmış ve değerler toplanarak ortalama değerler elde edilmiştir.

$$\text{Ortalama değer} = (a(x, y, z), m(x, y, z), b(x, y, z))$$

$a(x, y, z)$ = X, Y ve Z firmalarının iyimser faaliyet sürelerinin ortalama değeri olarak kabul edilmiş ve

$$a(x, y, z) = a_x + a_y + a_z$$

formülü ile hesaplanmıştır. Burada,

$a_x=X1/3$, $a_y=Y1/3$, $a_z= Z1/3$ olarak hesaplanmıştır.

$X1= X$ firmasının iyimser faaliyet süresini, $Y1= Y$ firmasının iyimser faaliyet süresini ve $Z1= Z$ Firmasının iyimser faaliyet süresini ifade etmektedir.

$m(x, y, z)= X, Y$ ve Z firmalarının optimal faaliyet sürelerinin ortalama değeri olarak kabul edilmiş ve aynı şekilde hesaplanmıştır.

$b(x, y, z)= X, Y$ ve Z firmalarının kötümser faaliyet sürelerinin ortalama değeri olarak kabul edilmiş ve aynı şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 6.4 X, Y ve Z Firmalarından Alınan Bulanık Faaliyet Süreleri Ve Ortalama Değerleri

Faaliyet	Öncelikli Faaliyet	Faaliyet Süresi	Ortalama Değer ($a(x,y,z)$, $m(x,y,z)$, $b(x,y,z)$)
A	-	(5,7,9) (5,8,9) (5,7,9)	(5,7.3,9)
B	A	(75,90,95) (90,95,100) (75,95,105)	(80,93.3,100)
C	B	(13,15,18) (15,15,15) (15,15,15)	(14.3,15,16)
D	C	(6,7,8) (7,8,9) (6,8,9)	(6.3,7.6,8.6)
E	D	(5,7,9)	(5,7,9)
F	C	(13,15,18) (15,16,17) (15,17,18)	(14.3,16,17.6)
G	C	(6,7,8)	(6,7,8)
H	C	(3,3,3)	(3,3,3)
I	G,H	(1,3,5) (1,1,3) (1,1,1)	(1,1.6,3)
J	I	(7,7,7)	(7,7,7)

K	F	(6,7,8) (7,8,9) (6,7,10)	(6.3,7.3,9)
---	---	--------------------------------	-------------

Bulanık faaliyet sürelerinin ortalama değerlerinden yola çıkılarak ES (erken başlama), EF (erken bitirme) zamanları Çizelge 6.5’de, LS (son başlama) ve LF (son bitme) Çizelge 6.6’da hesaplanmış ve gösterilmiştir.

Çizelge 6.5 ES (erken başlama), EF (erken bitirme) Zamanları

Faaliyet	ES	EF
A	(0,0,0)	(5,7.3,9)
B	(5,7.3,9)	(85,100.6,109)
C	(85,100.6,109)	(99.3,115.6,125)
D	(99.3,115.6,125)	(105.6,123.6,133.6)
E	(105.6,123.6,133.6)	(110.6,130.6,142.6)
F	(99.3,115.6,125)	(113.6,131.6,142.6)
G	(99.3,115.6,125)	(105.3,122.6,133)
H	(99.3,115.6,125)	(102.3,118.6,128)
I	Max [EF _G ,EF _H]= EF _G = (105.3,122.6,133)	(106.3,124.2,136)
J	(106.3,124.2,136)	(113.3,131.2,143)
K	(113.6,131.6,142.6)	(119.9,138.9,151.6)

Çizelge 6.6 LS (son başlama), LF (son bitme) Zamanları

Faaliyet	LS	LF
A	(0,0,0)	(5,7.3,9)
B	(5,7.3,9)	(85,100.6,109)
C	(85,100.6,109)	Min [LS _D ,LS _F ,LS _G , LS _H]= LS _F =(99.3,115.6,125)
D	(106.6,124.3,134)	(112.9,131.9,142.6)
E	(112.9,131.9,142.6)	(119.9,138.9,151.6)
F	(99.3,115.6,125)	(113.6,131.6,142.6)
G	(105.9,123.3,133.6)	(111.9,130.3,141.6)
H	108.9,127.3,138.6)	(111.9,130.3,141.6)
I	111.9,130.3,141.6	(112.9,131.9,144.6)
J	112.9,131.9,144.6	(119.9,138.9,151.6)
K	113.6,131.6,142.6	(119.9,138.9,151.6)

Bu durumda, bulanık proje tamamlanma zamanı T, K işinin EF zamanıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$(x-119.9)/(138.9-119.9), 119.9 \leq x \leq 138.9$$

$$\mu T(x) = \begin{cases} (151.6-x)/(151.6-138.9), & 138.9 < x \\ \leq 151.6 & 0, & 151.6 < x \end{cases}$$

İş zamanları bulanık iken kritik yolu belirlemek zordur. Bu nedenle şebeke üzerinde yer alan her bir yolun kritiklik derecesi hesaplanmalı ve buna göre karar verilmelidir. Bir i yolunun kritiklik derecesi Cpi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir (Gencer vd., 2001).

$$Cpi = \sup [Tpi \wedge T]$$

Burada Tpi, i. yolun bulanık yol uzunluğu, $\wedge$ iki kümenin kesişimi, sup ise bir kümenin en büyük değeridir ve $Tpi = \bigvee_{j=P}^i \tilde{A}_j$ şeklinde hesaplanabilir (Gencer vd., 2001).

$$\begin{matrix} j=P \\ i \end{matrix}$$

Online internet şube için, proje başlangıcı ile bitiş arasında 4 adet alternatif yol bulunmaktadır.

Bu yollar; (A-B-C-D-E), (A-B-C-F-K), (A-B-C-G-I-J) ve (A-B-C-H-I-J) olarak belirlenmiştir.

Tüm faaliyet süreleri 3 köşeli bulanık sayı olarak ifade edildiği için, bulanık yol uzunluğu aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

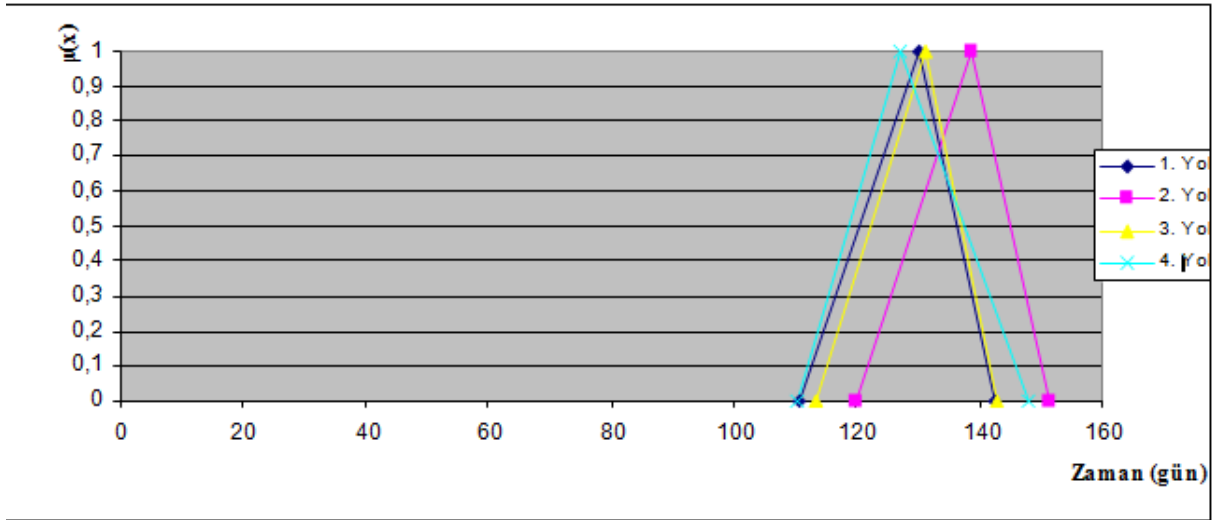
1. Yol (A-B-C-D-E): (5,7.3,9) + (80,93.3,100) + (14.3,15,16) + (6.3,7.6,8.6) + (5,7,9) = **(110.6,130.2,142.6)**

2. Yol (A-B-C-F-K): (5,7.3,9) + (80,93.3,100) + (14.3,15,16) + (14.3,16,17.6) + (6.3,7.3,9) = **(119.9,138.9,151.6)**

3. Yol (A-B-C-G-I-J): (5,7.3,9) + (80,93.3,100) + (14.3,15,16) + (6,7,8) + (1,1.6,3) + (7,7,7) = **(113.3,131.2,143)**

4. Yol (A-B-C-H-I-J): (5,7.3,9) + (80,93.3,100) + (14.3,15,16) + (3,3,3) + (1,1.6,3) + (7,7,7) = **(110.3,127.2,148)**

Alternatif yollar hesaplandıktan sonra her bir yolun kritiklik derecesi hesaplanabilir (Gencer vd., 2001). Şekil 6.9’da her bir yolun kritiklik derecesi hesaplanmış ve Çizelge 6.7’de gösterilmiştir.



Şekil 6.10 Yolların Kritiklik Derecelerinin Hesaplanması

Çizelge 6.7 Yolların Kritiklik Dereceleri

Yol	Cp_i
1	0.72
2	1.00
3	0.75
4	0.71

Çizelgedeki sonuçlara göre projenin kritik yolu 2. Yol olan (A-B-C-F-K) olarak belirlenmiş ve projenin tamamlanma süresi (119.9,138.9,151.6) olarak hesaplanmıştır.

6.5 CPM, PERT, FCPM ve FPert İle Elde Edilen Proje Sürelerin Gösterilmesi

Bu kısımda daha iyi gözlemlenebilmesi için CPM, PERT, FCPM ve FPert çözümlerinden elde edilen sonuçlar çizelge 6.8’de gösterilmiştir.

Bulanık Pert (FPert) yönteminde elde edilen çözüm bir üçgensel bulanık sayıdır (119.9,138.9,151.6) işlem kolaylığı ve karşılaştırmada daha anlamlı olması sebebiyle bu üçgensel sayılar kesin sayılara dönüştürülmüştür. Bu dönüştürme için literatürde bir çok yöntem bulunmaktadır bu çalışmada Lee ve Li (1988) tarafından önerilen ve daha sonra Bortolan ve Degani (1989) tarafından ispat edilen ortalama değer yöntemi kullanılmıştır. Ortalama değer yönetiminde üçgensel bulanık sayılarının aritmetik ortalaması alınarak bir kesin sayı çıkarımı yapılır bu örnekte $(119.9+138.9+151.6)/3 = 136.8$ olarak kesin sayıya çevrilmiştir.

Çizelge 6.8 CPM, PERT, FCPM ve FPert İle Elde Edilen Proje Sürelerin Gösterilmesi

Kullanılan Yöntem	Proje Süresi	Kritik Yol	Standart Sapma
CPM	134	A-B-C-F-K	-
PERT	134.67	A-B-C-F-K	5.22
FCPM (İyimser Çözüm)	131.75	A-B-C-F-K	-
FCPM (Kötümser Çözüm)	141.5	A-B-C-F-K	-
FPert	136.8	A-B-C-F-K	-

6.6 Proje Maliyetlerinin İncelenmesi

Maliyetlerin incelenmesi ve kontrolü, proje maliyetlerinin güncellenmesi için proje durumunun izlenmesi ve maliyet temel çizelgesine göre oluşan değişikliklerin yönetilmesi sürecidir. Bu sürecin ana faydası düzeltici önlem almak ve riski en aza indirmek için plandan sapmayı fark etmesidir.

Kazanılmış değer yöntemi (KDY) proje performansını ve gelişimini değerlendirmek için kapsam, zaman çizelgesi ve kaynak ölçümlerini birleştiren bir metodolojidir. Bu yöntem, projeler için yaygın olarak kullanılan bir performans ölçüm yöntemidir (PMBOK 5th edition, 2013).

Kazanılmış değer yöntemine göre hesaplamaların yapılması için aşağıdaki tanımların bilinmesi gerekmektedir.

Planlanmış Değer (PD) : Çizelgenen çalışmaya tahsis edilen onaylanmış bütçedir.

Kazanılmış Değer (KD) : Gerçekleştirilmiş işin, o iş için ayrılmış bütçe açısından ifade edilen ölçümüdür.

Gerçekleşen Maliyet (GM) : Belli bir dönem sırasındaki bir aktivitede gerçekleştirilen iş için meydana gelen maliyettir.

Zaman Çizelgesi Varyansı (ZÇV) : Kazanılan değer ve planlanan değer arasındaki fark olarak ifade edilen bir zaman çizelgesi performansı ölçümüdür. Projenin belirli bir noktada, planlanan teslimat tarihinden ne kadar ileride veya ne kadar geride olduğunu gösterir.

$$ZÇV = KD - PD$$

Maliyet Varyansı (MV) : Belli bir zamanda, kazanılan değer ve gerçekleşen maliyet arasındaki fark olarak ifade edilen bütçe açığı veya fazlalığı miktarıdır.

$$MV = KD - GM$$

Zaman Çizelgesi Performans Endeksi (ZÇPE) : Kazanılan değeri planlanan değere oranı olarak ifade edilen zaman çizelgesi verimliliğinin ölçümüdür. Bu endeks proje ekibinin zamanını ne kadar verimli kullandığını ölçer.

$$ZÇPE = KD/PD$$

Maliyet Performans Endeksi (MPE) : Bütçedeki kaynaklarının maliyet verimliliğinin ölçüsüdür ve kazanılmış değerlerin gerçekleşen maliyete oranı şeklinde ifade edilir.

$$MPE = KD/GM$$

Çizelge 6.9 Proje Maliyetlerinin Gösterilmesi

Faaliyet Kodu	Önceki Faaliyet	Faaliyet Tanımı	Gerçekleşen Maliyet	Planlanlanmış Değer	Kazanılmış Değer
A	-	Proje planı ve ekibinin oluşturulması	30000	320000	29250
B	A	Kullanıcı ihtiyaçlarının belirlenmesi / Anket, focus grup çalışmaları	1000	1500	2500
C	B	Benchmark incelemeleri ve uygun layoutların belirlenmesi	2500	3250	3200
D	C	Teklif alınacak şirketlerin belirlenmesi	1000	1750	1000
E	D	Tekliflerin değerlendirilmesi	1500	2750	1950
F	C	Sözleşme ve bakım koşullarının değerlendirilmesi	1000	1000	1500
G	C	Danışmanlık Hizmeti alma kararı	500	500	500
H	C	Yeni içeriklerin oluşturulması ve onaylanması	20700	25800	27000
I	G,H	Görsel ve şablon tasarımları hazırlanması	15000	25750	22000
J	I	Testler	30000	28000	29750
K	F	Lansman	20250	22000	26500

Projede ;

Gerçekleşen Maliyet (GM) : 123.450 TL

Planlanmış Değer (PD) : 144.300 TL

Kazanılmış Değer (KD) : 145.150 TL

Maliyet bilgileri ışığında Zaman Çizelgesi Varyansı (ZÇV), Maliyet Varyansı (MV), Zaman Çizelgesi Performans Endeksi (ZÇPE) ve Maliyet Performans Endeksini (MPE) hesaplırsak aşağıdaki sonuçlara ulaşırız.

$$ZÇV : 145.150 - 144.300 = 850$$

$$MV : 145.150 - 123.450 = 21.700$$

$$ZÇPE : 145.150 / 144.300 = 1,006$$

$$MPE : 145.150 / 123.450 = 1,17$$

Varyansların pozitif değerde olması ve endekslerin 1'den büyük olması projenin **bütçenin altında** ve **planlanandan daha fazla çalışmanın tamamlandığını** gösterir (Soltani ve Haji, 2007) .

6.7 Proje Üzerindeki Olası Senaryoların Analizi ve Klasik Pert ile Proje Süresinin

Hesaplanması

Projede, üst yönetimin projeyi erken bitirebilmek için; lansman faaliyetinin (K Faaliyet kodlu) süresini, ajans ile görüşerek, yarıya indirmesi senaryosunun analizi klasik pert yöntemi ile yapılmıştır.

Activity Number	Activity Name	Immediate Predecessor (list number/name, separated by ',')	Optimistic time (a)	Most likely time (m)	Pessimistic time (b)
1	A		5	7	9
2	B	A	75	90	105
3	C	B	13	15	18
4	D	C	6	7	9
5	E	D	5	7	9
6	F	C	13	15	18
7	G	C	6	7	8
8	H	C	3	3	3
9	I	G,H	1	3	5
10	J	I	7	7	7
11	K	F	3	3.5	5

Şekil 6.11 Senaryo Analizinde Her Faaliyet İçin Zaman Tahminlerinin WINQSB

Ekranında Gösterimi

Faaliyetler için yapılan zaman tahminleri kullanılarak WinQSB programında aktivite analizi yapılmış ve şekildeki sonuçlar elde edilmiştir.

07-13-2014 16:58:57	Activity Name	On Critical Path	Activity Mean Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)	Activity Time Distribution	Standard Deviation
1	A	Yes	7	0	7	0	7	0	3-Time estimate	0,6667
2	B	Yes	90	7	97	7	97	0	3-Time estimate	5
3	C	Yes	15,1667	97	112,1667	97	112,1667	0	3-Time estimate	0,8333
4	D	no	7,1667	112,1667	119,3333	116,8333	124	4,6667	3-Time estimate	0,5
5	E	no	7	119,3333	126,3333	124	131	4,6667	3-Time estimate	0,6667
6	F	Yes	15,1667	112,1667	127,3333	112,1667	127,3333	0	3-Time estimate	0,8333
7	G	no	7	112,1667	119,1667	114	121	1,8333	3-Time estimate	0,3333
8	H	no	3	112,1667	115,1667	118	121	5,8333	3-Time estimate	0
9	I	no	3	119,1667	122,1667	121	124	1,8333	3-Time estimate	0,6667
10	J	no	7	122,1667	129,1667	124	131	1,8333	3-Time estimate	0
11	K	Yes	3,6667	127,3333	131	127,3333	131	0	3-Time estimate	0,3333
	Project	Completion	Time	=	131	weeks				
	Number of	Critical	Path(s)	=	1					

Şekil 6.12 Senaryo Analizinde Klasik PERT İçin Aktivite Analizi ve Elde Edilen Sonuçlar

Şekil 6.12’de görüldüğü gibi, tüm faaliyetlerin ortalama tamamlanma süreleri (Activity Mean Time), en erken başlama (Earliest Start), en geç başlama (Latest Start), en erken bitirme (Earliest Finish) ve en geç bitirme (Lastest Finish) zamanları, boşluk değerleri (Slack), standart sapmaları (Standart Deviation) ve projenin beklenen tamamlanma süresi (Project Completion Time) ilgili sütunlarda gösterilmiştir. Aynı zamanda hangi faaliyetlerin kritik yol üzerinde bulunduğu da belirlenmiştir. Tablonun ikinci sütunu (On Critical Path) ile kesişen satırların bazılarında belirtilmiş olan “yes” ibaresi, ilgili faaliyetin kritik yol üzerinde bulunduğunu ifade eder ve 8. sütunda da (Slack ; LS - ES) görülebileceği üzere, kritik faaliyetlerin boşluk değeri sıfırdır.

Aynı sütunda kritik olmayan faaliyetlerin toplam boşluk değerleri de ilgili satırlarda gösterilmiştir. Buna göre kritik yolu oluşturan faaliyetler ve uygulama sıraları, projenin beklenen tamamlanma süresi ve standart sapması Şekil 6.13’ de belirtilmiştir.

07-13-2014	Critical Path 1
1	A
2	B
3	C
4	F
5	K
Completion Time	131
Std. Dev.	5,19

Şekil 6.13 Senaryo Analizi Sonucunda Oluşan Kritik Yolun Beklenen Tamamlanma Süresinin ve Varyansının Gösterimi

Senaryo analizinde, ilgili modelin verilen değerler ışığında WINQSB programı vasıtasıyla çözümü sonucu, proje şebekesi programlanmış, projenin beklenen tamamlanma süresi 3.67 gün **kısalarak** 131 güne **düşürülmüş** ve kritik yol değişmeyerek A-B-C-F-K ve varyans 5.19 gün olarak belirlenmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

CPM ve PERT çağdaş planlama ve programlama tekniklerinden olup inşaat, bilişim, üretim, savunma ve diğer birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulamada karşılaşılan birçok sorunun çözümüne uygulanabilen ve büyük projelerin programlamasında kullanılabilen bu teknikler, uygulamadaki kolaylığının yanı sıra, analitik olma özellikleri sayesinde, karar vericilere büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Çalışmada literatürde proje tamamlanma zamanının bulunmasında kullanılan 2 metodun (CPM ve PERT) bulanık ve klasik olarak uygulanışı karşılaştırılmıştır. Daha sonra proje yönetim enstitüsünün geliştirmiş olduğu kazanılmış değer yöntemine göre projenin ilerleyişine maliyetler perspektifinden bakılmış ve projenin kontrol altında olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmanın son kısmında ise olması muhtemel bir senaryo analizi çözümü yapılmıştır.

Bu çalışmada proje yönetimi başlığı altında, akademik literatürde en çok kullanılan proje yönetim tekniklerini bulanık mantık kavramı ile birleştirerek bir analiz yapılmış sonrasında proje yönetimi yapılırken pratikte kullanılan kazanılmış değer yöntemi gibi proje yönetim enstitüsünün belirlediği parametreler harmanlaştırılmıştır bu yönüyle çalışma bulanık kümeler teorisini esas alan teorik çalışmalar ile (Wang ve Huang, 2010) proje yönetim enstitüsünün belirlediği pratikte kullanılan yöntemlerinin bulunduğu, harmanlandığı ve projeye farklı kısıtlar altından bakan bir çalışma olmuştur.

Sonuçlara göre genel olarak metodlar arasında çok büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Ancak yöntemlerin işlem zorlukları göz önünde bulundurulabilir. Bulanık mantık ile çözümü yapılan metodunda ise her iş üç köşeli bulanık sayılarla ifade edildiğinden çalışmada görüldüğü gibi işlem kargaşası yaratmaktadır. Özellikle işler için bulanık öncüllük faktörlerinin kullanılması gerektiği durumlarda her zaman bu faktörler geçerli olamamakta ve bu durum projenin tamamlanma zamanının tanımlanmasında güçlük çıkarmaktadır. Bu faktörlerin geçerli olduğu durumlarda ise, özellikle büyük boyutlu ve fazla öncül işli şebekelerde işlem fazlasına ve kargaşasına sebep olmaktadır. Bu metodla da yine iş sayısı arttığında işlem kargaşası artacaktır.

Çalışmada PERT metodunda ise, işlerin zamanlarının ortalama zamanları bulunup tek değere indirgendiğinden işlemler akıcı ve basittir aynı zamanda pert yöntemi cpm yöntemine göre belirsizliklerin fazla olduğu ortamlarda daha optimal çözümler verdiği tartışılmaz bir gerçektir. Bu açılarından bakıldığında online internet şube projesinde klasik pert metodunu seçmek uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Steyn, J. ve Stoker, P., (2013), "Does measurement theory impact Project performance? ", *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 119:635-644
- [2] Aziz, R., (2013), "Optimizing strategy software for repetitive software projects within multi-mode resources ", *Alexandria Engineering Journal*, 52:373-385
- [3] Junior, R. ve Carvalho, M., (2013), "Understanding the Impact of Project Risk Management on Project Performance: an Empirical Study", *J.Technol.Manag.Innov.*, 8:64-79
- [4] Meyer, A., Loch, C. ve Pich, M. , (2014), "A Framework for Project Management under Uncertainty", *Management Science*, 43:1104 – 1120
- [5] Madhuri, U., Saradhi, P. ve Shankar, R.,(2014), "Fuzzy Linear Programming Model for Critical Path Analysis", *International Journal of Contemporary Mathematical Sciences*, 8:93-116
- [6] Kim, J., Kang , C. ve Hwang, I, (2013) ," A practical approach to project scheduling: considering the potential quality loss cost in the time–cost tradeoff problem",*International Journal of Project Management*,30:264-272
- [7] Yakhchali, S.(2012), "A path enumeration approach for the analysis of critical activities in fuzzy networks",*Information Sciences*, 204:23-55
- [8] Sadjadi, S.,J., Pourmoayed, R. ve Aryanezhad, M.B., (2012), " A robust critical path in an environment with hybrid uncertainty", *Applied Soft Computing Journal*, 12:1087 - 1100
- [9] Baykasoglu, A. ve Gokcen,T. , (2012) ," A direct solution approach to fuzzy mathematical programs with fuzzy decision variables", *Expert Sistem with Applications*, 39:1972-1978
- [10] Aksoy, H., (2004) "Dinamik Sistemlerde Bulanık Mantık Metodu ve Örnek Olarak Hisse Senedi Piyasasının Modellenmesi" *Koç Portföy Yönetimi Dergisi*, 25:72-91

- [11] Klein, C. M., (1991), Fuzzy shortest paths, Fuzzy Sets and Sitemes, 39:27-41
- [12] Chanas, S. ve Zielinski, P., (2001), "Critical Path Analysis in the Network with Fuzzy Activity Times", Fuzzy Sets and Sitemes , 122: 195-204.
- [13] Çetmeli, E., (1982), Yatırım Planlamasında Kritik Yörünge ve PERT Metodları, Teknik Kitaplar Yayınevi, 5-12, İstanbul
- [14] Dubois D. ve Prade H., 1980, Fuzzy Sets and Sitemes: Theory and Applications, Academic Press Co., Toulouse
- [15] Elmas, Ç., (2003), Bulanık Mantık Denetleyiciler, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [16] Erişken, H., Alev, T. ve Yücel, E., (1973), Planlama ve Kontrol Modern Teknikleri PERT CPM, Aksu Ömer Lütfi Sungan Merkezi yayınları, 1-18, İstanbul
- [17] Ertuğrul, İ. ve Tuş, A., (2006), "CPM Optimizasyonunda bulanık verilerin kullanılması", YA/EM 2006 – Yöneylem Araştırması / Endüstri Mühendisliği – XXVI. Ulusal Kongresi, 3 – 5 Temmuz 2006, Kocaeli, 364-367
- [18] Gencer, C. ve Türkbey, O., (2001) "Proje Tamamlanma Zamanının Bulunmasında İstatistiksel Analiz Yardımıyla Bulanık PERT, Klasik PERT ve Gerçek Dağılım Yöntemlerinin Karşılaştırılması, DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 3:29-39
- [19] J.J. Buckley, (1989), Fuzzy PERT, in Applications of Fuzzy Set Methodologies in Industrial Engineering, Elsevier, 115-125, Amsterdam
- [20] Karanfil, S., (1993), Bulanık Kümeler ve Bulanık Mantığın Temelleri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.T.Ü., İstanbul.
- [21] Klir, G.J. ve Yuan, B., (1995), Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Application. Upper Saddle River, Prentice-Hall, New Jersey.
- [22] Makropoulos C.K. ve Butler D., (2005) "Spatial ordered weighted averaging: incorporating spatially variable attitude towards risk in spatial multi-criteria decision-making", Enviromental Modelling and Software, 21:69-84
- [23] MathWorks, (1995), Fuzzy Logic Toolbox For Use With MATLAB: User's Guide Version 2, The MathWorks, inc., Natick
- [24] McCahon C.S. ve Lee E.S. (1988), "Project network analysis with fuzzy activity times", Computers and Mathematics Applications, 15 (10):829-838.
- [25] Pillay, A. ve Wang, J., (2003), "Modified Failure Mode and Effect Analysis Using Approximate Reasoning", Reliability Engineering and Sistem Safety, 79: 69-85.
- [26] Ross, T. J., (1995), Fuzzy Logic With Engineering Applications, McGraw-Hill, inc., New York.

- [27] Russel S. ve Norvig P., (2003), Artificial Intelligence, “A Modern Approach”, 2nd Edition, Prentice Hall, California
- [28] Chanas, S. ve Kamburowski, J., (1981), The use of fuzzy variables in PERT, Fuzzy Sets and Systems, 5:11-19
- [29] Şen, Z., (2000), Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Kültür Sanat, İstanbul.
- [30] Turan A. ve Khisty C. J., (2003) “A rational reasoning method from fuzzy perceptions in route choice”, Fuzzy Sets and Systems, 150(3):419-435
- [31] Weck M., Klocke F., Schell H. ve Riienauver E., (1997) “Evaluating alternative production cycles using the extended fuzzy AHP method”, Elsevier Science Limited, Berlin
- [32] Yamak, O., (1998), Proje Yönetim Teknikleri, Mavi Yayınevi, İstanbul
- [33] Yılmaz M. ve Arslan E., (2005), İTÜ, “Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması”, Harita Ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri Stb Komisyonu
- [34] Barutçugil Ismet S., (1984), Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri; Uludağ Üniversitesi Yayınları, Bursa
- [35] Copertari, L.F., (2002), “Time, Cost and Performance Tradeoffs in Project Management”, Doktora Tezi, McMaster Üniversitesi, Ontario
- [36] Gordon, G. ve Pressman; I. , (1978), Quantitive Decision Making for Business, Prentice Hall Inc., New Jersey
- [37] Gülerman A., PERT/Maliyet TEKNİĞİ (İşletmede Bir Yönetim Aracı Olarak Kullanılması), İ.T.İ.A. , 1970 Yayın No:37, Ankara
- [38] Halaç O., (1983), “Kantitatif Karar Verme Teknikleri”, 2.Baskı, İ.Ü.Yayın No:3078, İstanbul
- [39] Hill T., (1991), Production/Operations Management, 2nd Edition, Prentice – Hall Inc., New York
- [40] Christian A., (1994), Effective Project Planing Techniques, Civil Engineering.
- [41] Lockyer, K.G., (1979), An introduction to CPM , Pitman Publishing, California
- [42] Monks Joseph G., (1996), Schaum’s Outline of Theory and Problems of Operation Management; McGraw – Hill Inc
- [43] Naylor J., (1996), “Operation Management”, M&E Pitman Publishing, London
- [44] Öztürk A., (2005), Yöneylem Araştırması, Ekin Kitabevi Yay., Bursa
- [45] Thierauf R. ve Klekamp R., (1985), “Decision Making Through Operation Research” 2nd Edition- Wisley Series.

- [46] Sezen K.,(1994), "Tel Sepet Üretim Sürecinde PERT Uygulaması", Uludağ Univ. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 15: 1-2, Yayınlanmış makale,Bursa
- [47] Taha H.,(1976), "Operations Research", Department of Industrial Engineering, University of Arkansas, Macmillan publishing co. inc. ,New York
- [48] Haga W.,(1998), Crashing PERT Networks; University of N. Colorado ; Doktora tezi ,Colorado
- [49] Waters D.,(1994), "Quantitative Methods For Business", Addison-Wesley Publishing Co.
- [50] Winston W. L. ,(2004), "Operation Research –Applications and Algorithms", Brooks / Cole –Thomson Learning Inc.
- [51] Lee E. S. ve Li R. J., (1988), "Comparison Of Fuzzy Numbers Based On The Probability Measure Of Fuzzy Events", Computer and Mathematical Application, 15:887-896
- [52] Bortolan G. Ve Degani R., (1989), "A Review of Some Methods For Ranking Fuzzy Sets Subsets", Fuzzy Sets Systems, 15:1-19
- [53] Project Management Institute, (2013), Proje Yönetimi Bilgi Birikimi Kılavuzu , 5. Baskı, PMI TR, İstanbul.
- [54] Soltani A. ve Haji R., (2007), "A Project Scheduling Method Based On Fuzzy Theory " , Industrial and Systems Engineering Journal, 10:70-80
- [55] Wang X. ve Huang W., (2010), "Fuzzy resource- constrained project scheduling problem for software development" , Wuhan University Journal of Natural Sciences, 15:25-30
- [56] Ke H. ve Lui B., (2007), "Project scheduling problem with mixed uncertainty of randomness and fuzziness", European Journal of Operational Research, 183:135-147

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mete MAZLUM
Doğum Tarihi ve Yeri : 29.04.1986
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mete_mazlum@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Endüstri Mühendisliği	Y.T.Ü	
Lisans	Endüstri Mühendisliği	Y.T.Ü	2009
Lise	Fen Lisesi	G.K.V	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012-	T.S.K.B	İş Analisti & Proje Yöneticisi
2011-2013	Garanti Teknoloji	İş Analisti
2009-2010	Bayer Türk Kimya	İş Analisti

