

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BULANIK PROJE YÖNETİMİ VE UYGULAMASI

Endüstri Mühendisi Fatih SAĞLAM

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Nihan ÇETİN DEMİREL

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	i
KISALTMA LİSTESİ.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ÖNSÖZ	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ	1
2. PROJE YÖNETİMİ.....	3
2.1 Proje Kavramı	3
2.2 Projelerin Özellikleri	4
2.3 Proje Yönetimi Kavramı	5
2.4 Proje Yönetiminin Bileşenleri.....	8
2.5 Proje Yöneticisi ve Proje Ekibi Kavramları.....	8
2.6 Proje Yönetiminin Önemi	10
2.7 Proje Yönetiminin Evreleri	11
2.7.1 Projenin tanımlanması	11
2.7.2 Projenin planlanması ve organizasyonu	12
2.7.3 Projenin uygulanması ve kontrolü.....	14
2.7.4 Proje içinde proje kavramı	14
2.8 Projenin Dönüm Noktaları	15
2.9 Projenin Sona Ermesi	15
2.10 Proje Gecikme Nedenleri	16
2.10.1 Kontrol edilemeyen nedenler	16
2.10.2 Kontrol edilebilen nedenler.....	17
3. PROJE PLANLAMA TEKNİKLERİ.....	18
3.1 Proje Yöntemlerinin Tarihsel Gelişimi.....	18
3.2 Projelere İlişkin Genel Kurallar	19
3.3 Gantt Şeması	19
3.4 Ağ Yaklaşımı.....	21
3.4.1 Ağ yaklaşımının yararları.....	21
3.4.2 Ağ şemasının çizimi.....	21
3.4.2.1 Kukla (yapay) faaliyet	23
3.5 Faaliyetler ve Bağımlılıklar	23
3.6 Ara Hedef (Milestone) Çizelgeleri	24
3.7 Değerlendirme Toplantıları	25
3.8 İş Dağılım Yapısı-WBS (Work Breakdown Schedule).....	25

3.9	CPM (Kritik Yol Metodu).....	26
3.10	PERT (Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği)	27
4.	PROJE PLANLAMA TEKNİKLERİNDEN PERT ve CPM.....	28
4.1	Ağ Yöntemleri: PERT ve CPM.....	28
4.2	Projenin Adımları	28
4.2.1	Faaliyet Zamanları.....	29
4.3	Ağ Şemasının Hazırlanması.....	29
4.3.1	Kritik yol ve proje süresi.....	30
4.3.2	Olayların en erken ve en geç zamanı.....	30
4.3.3	Faaliyetlerin en erken ve en geç zamanı	31
4.4	Bolluk Kavramı	32
4.4.1	Bolluk Türleri.....	32
4.4.1.1	Toplam bolluk	33
4.4.1.2	Serbest bolluk.....	33
4.4.1.3	Bağımsız bolluk.....	34
4.4.1.4	Ara bolluk	34
4.5	Projeyi Güncelleştirme	34
4.6	PERT Yöntemi	35
4.6.1	Faaliyet zamanları	36
4.6.2	Beta dağılımı	36
4.6.3	Beklenen (ortalama) zaman.....	37
4.6.4	PERT yönteminde olasılık hesabı	38
4.6.5	PERT diyagramının avantajları.....	39
4.6.6	PERT diyagramının dezavantajları.....	39
4.7	Proje Algoritması.....	39
5.	BULANIK MANTIK	41
5.1	Bulanık Kümeler ve Bulanık Sayılar.....	44
5.1.1	Bulanık Kümeler	44
5.1.2	Bulanık sayılar.....	46
5.1.2.1	Üçgensel Bulanık Sayılar.....	47
5.1.3	Bulanık Sayılarda İşlemler.....	48
5.1.3.1	Bulanık Sayılarda Yaklaşık İşlemler	48
5.1.4	Üyelik Fonksiyonları	49
5.1.5	Birleşme Özelliği.....	55
5.1.6	Kesişme Özelliği	56
5.1.7	Evrik Alma Özelliği.....	57
5.1.8	Standart Formlar ve Sınırlar.....	57
5.1.9	Üyelik Derecesinin Belirlenmesi.....	58
5.1.10	Bulanık Kümelerde Kural Tabanı ve Çıkarım Süreci	59
5.1.11	Bulanıklaştırma (Fuzzification).....	61
5.1.12	Çıkarım (Inference)	62
5.1.13	Durulaştırma (Defuzzification)	63
5.1.13.1	Ağırlık Merkezi (Centroid) Yöntemi.....	63
5.1.13.2	Ağırlıklı Ortalama Yöntemi	64
5.1.13.3	En Büyük Üyelik Derecesi.....	64
6.	BULANIK PERT ve CPM.....	65

6.1	Bulanık PERT (FPERT) Yöntemi.....	65
6.2	Bulanık CPM (FCPM) Yöntemi.....	66
7.	PROJE YÖNETİMİ ve BULANIK PROJE YÖNETİMİ UYGULAMASI.....	68
7.1	Klasik ve Bulanık CPM ile Proje Süresinin Hesaplanması	68
7.1.1	Klasik CPM ile Proje Süresinin Hesaplanması	68
7.1.2	Bulanık CPM ile Proje Süresinin Hesaplanması	71
7.2	Klasik ve Bulanık PERT ile Proje Süresinin Hesaplanması	75
7.1.1	Klasik PERT ile Proje Süresinin Hesaplanması.....	75
7.2.2	Bulanık PERT ile Proje Süresinin Hesaplanması.....	77
8.	SONUÇ	82
	KAYNAKLAR.....	83
	ÖZGEÇMİŞ.....	86

SİMGE

(Te)i	Faaliyet i'nin en erken gerçekleşebileceği zaman
(Tg)i	Faaliyet i'nin en geç gerçekleşebileceği zaman
ES	Faaliyetin en erken başlama zamanı
LF	Faaliyet için en geç bitirme zamanı
LS	Faaliyetin en geç başlama zamanı
EF	Faaliyetin en erken bitirme zamanı
TB	Toplam bolluk
tij	Faaliyet süresini
te	Beklenen ortalama zaman
a	En küçük değer
m	Optimal değer
b	En büyük değer
σ	Standart Sapma
T	Arzu edilen proje tamamlanma zamanını
Te	Beklenen proje tamamlanma zamanını
σ_T	Kritik yol üzerindeki standart sapma
μ	Üyelik derecesi
$\mu_A(x)$	x değerinin A kümesindeki üyelik derecesi
a_1	Büyükliğin alt sınırlarının kabul edilebilir değeri
a_2	Büyükliğin kesinlikle gösteren sayı
a_3	Büyükliğin üst sınırlarının kabul edilebilir değeri
U	Elemanları "x" ile gösterilen bir evrensel küme
A	Bulanık kümesi
$\mu_{A \cup B}(x)$	$A \cup B$ kümesinin üyelik fonksiyonu
$\mu_{A \cap B}(x)$	$A \cap B$ kesişimin üyelik fonksiyonu
$(E\tilde{S}_i - E\tilde{F}_i)$	İleriye doğru geçişte bulanık en erken başlama-bitiş zamanları
$(L\tilde{S}_i - L\tilde{F}_i)$	Geriye doğru geçişte, bulanık en geç başlama-bitiş zamanları
$\tilde{A}_j$	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 seti
$\tilde{A}_{i_i}$	en erken başlama zamanları
$a_{(x,y,z)}$	X, Y ve Z firmalarının iyimser 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
Cp_i	Bir i yolunun kritiklik derecesi
Tp_i	i. yolun bulanık yol uzunluğu
$\wedge$	iki kümenin kesişimi
sup	bir kümenin en büyük değeridir

KISALTMA

ISO	Uluslar arası Standardizasyon Organizasyonu
TPM	Toplam Üretken Bakım
MIS	Yönetim Bilgi Sistemi projesi
MRP	Malzeme İhtiyaç Planlaması
PERT	Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği
CPM	Kritik Yol Metodu
LOB	Denge Çizgisi
WBS	İş Dağılım Yapısı
PMI	Proje Yönetimi Enstitüsü
FPERT	Bulanık PERT
FCPM	Bulanık CPM

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Proje yönetim metodolojisi	7
Şekil 2.2	Ağ şeması.....	13
Şekil 3.1	Gantt şeması	20
Şekil 3.2	Olay-faaliyet ilişkisi	21
Şekil 3.3	Faaliyetler arası ilişki.....	22
Şekil 3.4	İ-j faaliyeti.....	22
Şekil 3.5	Bir olay-birden fazla faaliyet ilişkisi	22
Şekil 3.6	İki ardışık olay.....	22
Şekil 3.7	Kukla faaliyet	23
Şekil 3.8	Projenin ağ şeması	24
Şekil 3.9	Bir projenin iş dağılım yapısının ağaç görünümü	26
Şekil 4.1	Faaliyetlerin en erken ve en geç zamanı	31
Şekil 4.2	Takvim üzerindeki örnek	32
Şekil 4.3	Beta dağılımı: sola çarpık ve sağa çarpık	36
Şekil 4.4	Normal eğri altındaki alan.....	38
Şekil 5.1	Bulanık mantık modeli.....	47
Şekil 5.2	Klasik mantık modeli.....	47
Şekil 5.3	Bitişik dikdörtgen gösterim.....	50
Şekil 5.4	Bitişik üçgen gösterim	50
Şekil 5.5	Örtüşmeli üçgen gösterim	51
Şekil 5.6	Bulanık küme	52
Şekil 5.7	Bir bulanık kümenin çekirdek, destek ve sınır kısımları	53
Şekil 5.8	Normal bulanık küme	53
Şekil 5.9	Subnormal bulanık küme	54
Şekil 5.10	Konveks normal bulanık küme	54
Şekil 5.11	Nonkonveks normal bulanık küme.....	55
Şekil 5.12	Bulanık kümelerin birleşme özelliği	56
Şekil 5.13	Bulanık kümelerin kesişme özelliği	56
Şekil 5.14	Bulanık kümelerin evrik alma özelliği	57
Şekil 5.15	Mesafe bulanık alt kümeleri.....	58
Şekil 5.16	Bir girdi altkümesinin bir çıktı altkümesine gitmesi	60
Şekil 5.17	Servis kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu	61
Şekil 5.18	Yemek kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu	61
Şekil 5.19	İki girdi değişkeninin bulanıklaştırılması	62
Şekil 5.20	Bahşiş miktarı değişkeninin üyelik fonksiyonu	62
Şekil 5.21	Bulanık çıkarım kümesi	63
Şekil 5.22	Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma	64
Şekil 5.23	Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma.....	64
Şekil 7.1	Kesin faaliyet sürelerinin WINQSB ekranında gösterimi	69
Şekil 7.2	Kesin faaliyet zamanları için WINQSB ile proje tamamlanma zamanının hesaplanması	70
Şekil 7.3	Projenin kritik yolunun, beklenen tamamlanma süresinin gösterimi	70
Şekil 7.4	Grafiksel CPM çözümü.....	71
Şekil 7.5	Her bir faaliyet için kötümser temsilci değeri ve WINQSB’de çözümü	73
Şekil 7.6	Her bir faaliyet için iyimser temsilci değeri ve WINQSB’de çözümü	74
Şekil 7.7	Her faaliyet için zaman tahminlerinin WINQSB ekranında gösterimi.....	75
Şekil 7.8	Klasik pert için aktivite analizi ve elde edilen sonuçlar	76

Şekil 7.9	Projenin kritik yolunun, beklenen tamamlanma süresinin ve varyansının gösterimi.....	76
Şekil 7.10	Yolların kritiklik derecelerinin hesaplanması	80

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	Proje öncül faaliyet ve süreleri	24
Çizelge 4.1	Proje için belirlenen faaliyetler ve süreleri	44
Çizelge 4.2	Proje faaliyetleri, öncelik ilişkileri ve zaman değerleri	50
Çizelge 7.1	Faaliyet tanımları ve kodları.....	68
Çizelge 7.2	Kesin faaliyet süreleri	69
Çizelge 7.3	Elektrik motorunun prototipi için gerekli olan faaliyetler, faaliyetlerin öncelik ilişkileri ve her bir faaliyet firmaların verdiği üçgensel bulanık sayılar ile temsilci değerleri	72
Çizelge 7.4	Herbir faaliyet için kötümser ve iyimser üçgensel bulanık sayılar ve temsilci değerleri.....	73
Çizelge 7.5	X,Y ve Z firmalarından alınan bulanık faaliyet süreleri ve ortalama değerleri	78
Çizelge 7.6	ES (erken başlama), EF (erken bitirme) zamanları	78
Çizelge 7.7	LS (son başlama) ve LF (son bitme) zamanları.....	79
Çizelge 7.8	Yolların kritiklik dereceleri.....	80

ÖNSÖZ

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 amaçlamaktadırlar. 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 Yrd. Doç. Dr. Nihan Çetin Demirel'e ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

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 elektrik motoru geliştirme düşüncesi ile prototip motor yapımı 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

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 tecniques are utilized to provide these necessities.

In this study, classic Pert andCPM 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 new electric motor and to plan the project of a prototip motor production. 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 anaylzed 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

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji, işletmeleri kendilerini yenileyerek rakiplerinden farklı olmaya itmektedir. Günümüzde işletmelerin en önemli hedefi, kaynaklarını en verimli şekilde kullanarak, en kısa zamanda ve en az maliyetle projelerini tamamlamaya çalışmalarıdır. Proje yönetiminin en temel unsuru zamandır. Büyük ve kompleks projelerin yönetimini ve kontrolünü sağlayacak etkili yöntemlere olan ihtiyaç bu alanda iki temel tekniğin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bunlar; Kritik yol yöntemi (CPM-Critical Path Method) ile Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT-Project Evaluation and Review Technique) olarak adlandırılırlar. Her iki tekniğin temelinde şebeke diyagramları kullanılmaktadır.

Her iki teknik de aynı dönemde (1956 – 1958) birbirinden bağımsız iki farklı araştırma grubu tarafından geliştirilmiştir. E. I . Dupont De Nemours şirketi bünyesinde çalışan araştırma grubu tarafından, çok büyük bir kimya fabrikasının inşaat projesinin uygulaması sürecinde yapılan çalışmalar sonucu CPM ortaya çıkmıştır. PERT ise A.B.D donanmasının yürüttüğü Polaris Güdümlü Füze Projesinin uygulaması sürecinde geliştirilmiş ve projenin beklenenden 2 yıl daha erken bitirilebilmesine olanak tanımıştır. CPM ve PERT teknikleri sayesinde, projenin tamamlanma süresini etkileyen kritik faaliyetler ve kritik yollar bulunarak, kritik olmayan hangi faaliyetlerden kaynak aktarımı yapılabileceği ve projenin tamamlanma süresi tespit edilebilir. Basit ve yalıtılmış doğal çevrelerde çok iyi sonuçlar veren klasik yöntemler, karmaşık, etkileşimli ve subjektif özellikler taşıyan çağdaş problemlerin çözümünde her zaman o derece iyi sonuçlar vermeyebilmektedir. Nitekim bilim ve teknolojiadaki gelişmeler, günümüzün modern toplumunu öylesine karmaşık bir hale getirmiştir ki, karar süreçleri belirsiz ve incelenmesi zor bir özellik kazanmıştır. Belirsizliği incelemek için genellikle olasılık kuramının kavram ve yöntemleri kullanılır. Fakat 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 (Ertugrul, 2006).

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 aşarak, 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.

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 sekiz bölümden oluşmaktadır çalışmanın ilk bölümünde konuya genel bir giriş yapılmış, ikinci bölümünde proje yönetimi kavramı incelenmiş, üçüncü bölümünde ise proje planlama teknikleri genel olarak değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde proje planlama tekniklerinden PERT ve CPM incelenmiş, beşinci bölümde bulanık mantığa değinilmiş ve altıncı bölümde bu iki kavramın entegrasyonu olan Bulanık PERT ve CPM'den bahsedilmiştir. Çalışmanın yedinci bölümünde proje planlama tekniklerinden klasik PERT ve CPM ile bulanık proje yönetiminde kullanılan bulanık PERT (FPERT) ve bulanık CPM (FCPM) tekniklerinin, yeni bir elektrik motoru geliştirme düşüncesi ile prototip motor yapımı projesinin planlanması için kullanılması uygulamasına yer verilmiş ve sekizinci bölümde sonuçlara değinilmiştir.

2.PROJE YÖNETİMİ

2.1 Proje Kavramı

Projeler bir değişim ihtiyacı sonunda ortaya çıkarlar. Değişim tabiri, yenilik getirmeyi anlatmak için kullanılmaktadır. Yenilik, herhangi bir sistemin daha ileri bir düzeye gelmesi için gerçekleştirilmesi tasarlanan ürün, işlem veya faaliyettir.

Örneğin; otobüste, trende ve metroda kullanılan biletlerin yerine, akıllı bilet adı verilen mıknatıslı sayaçların kullanılması bir yeniliktir. Banka hesap cüzdanlarının yerine bankamatik kartlarının kullanılması, kimlik belgesi yerine barkodlu bir kimlik kullanılması da bir yeniliktir. Her yeniliğin arkasında çoğunlukla bir teknolojik ilerleme vardır. Ancak, her yenilik mutlak surette bir teknolojik gelişmenin sonucudur demek, her zaman için geçerli değildir.

Projeler bir yenilik getirirler, bu bir ürün geliştirme projesi olabileceği gibi, süreç iyileştirme, yeni kalite standartlarının belirlenmesi gibi projeler de olabilir. Projelerin getirmesi amaçlanan yenilikler; genellikle büyük ölçekli, çok yaygın etkisi olan, kapsamlı, karmaşık düzenlemelerdir. Günlük olağan değişiklikler sonucu yapılan küçük düzenlemeler yenilikten sayılmayıp, kurumun doğal gelişmesi sonucu oluşan küçük ilerlemelerdir.

Kurulan hiç bir sistem sürekli dengede kalmaz. Burada denge, o sistem için belli koşullarda, zaman içinde bir noktada oluşmuş en iyi durumdur. Değişim sürekli ve mutlaka bu oluşmuş dengeyi bozacaktır. Bu nedenle, projeler dengesiz sistemi yeniden dengeye getirmek için yapılır. Dengeli sistem, belirlenen çıktıların ekonomik olarak verebilen sistemdir. Bu anlamda, projeler; yaşayan organizasyonlar için var olmanın neredeyse birinci koşulunu oluştururlar.

Proje kapsamında kabul edilen faaliyetler, klasik yaklaşımla ele alınamazlar. Alınsalar da, yönetiminden beklenen sonuçların hızlı ve tam olarak elde edilmesi güçtür.

Proje;

- ❖ Bir yenilik getirmek üzere, belli bir amacı gerçekleştirmek için, belirli bir sürede ve bir arada yapılması gereken, birbirine bağlı veya birbiriyle ilişkili faaliyetler grubuna verilen ad,

- ❖ Bir sonuca ulaştırılması gereken, özgül, dinamik, süreli bir değişim süreci olarak farklı şekillerde tanımlanabilir.

Bu tanımların hepsi, proje kavramının farklı bir boyutuna ağırlık vermekte olup, projenin tam olarak tanımı, hepsinin bir sentezi olarak algılanmalıdır. Bu tanımlara uyan projeleri çok geniş bir spektrum içinde sınıflandırma olanağı vardır (Yamak, 1998).

2.2 Projelerin Özellikleri

Projeler, bazı özellikleri yardımıyla diğer süreçlerden ayırt edilirler.

- ❖ 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 amacın açık 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 dönerler veya başka projelere geçerler.
- ❖ 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 olasıdır.
- ❖ Projede söz konusu olan iş veya ürün belli bir ölçeğin üstünde büyüklükte ve/veya karmaşık yapıdır. 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.

- ❖ Projeler dinamik süreçlerdir, koşullarda oluşabilecek değişikliklere son derece duyarlı süreçlerdir. Projeler devam ederken, önceden öngörülemeyen durumlar her an ortaya çıkabilir. Bu yüzden, gelişebilecek olası durumlar için, alternatif yollar düşünülmeli, geliştirilmelidir.
- ❖ Projeler; alışılmış hiyerarşik, çok kademeli ve dikey örgütlenme yapısından farklı olarak, ekip anlayışı esasına göre kurulmuş bir örgütlenme yapısı içinde yürütülürler. Proje ekipleri, çeşitli fonksiyonlardan gelen kişilerden kurulmuştur.
- ❖ Projeler, bir ihtiyaçtan doğarlar. Bu ihtiyacın doğurduğu amacı yerine getiren, misyonunu başarıyla tamamlayan bir proje mutlaka bir şeyleri değiştirir. Projeler; bir işi, bir prosedürü veya bir olguyu değiştiren, başka türlü yapmayı sağlayan, kısaca yenilik getiren çalışmalardır (Yamak, 1998).

2.3 Proje Yönetimi Kavramı

Proje yönetimi, belirlenen bir amaca ulaşmak üzere bir araya getirilen maddi ve beşeri kaynakların faaliyetlerini planlama, yürütme, düzenleme ve denetleme fonksiyonları topluluğudur. Proje yönetimi; işgücü, malzeme, zaman, para, teknoloji kaynaklarını kullanarak, yapılması gereken işlemleri tanımlama, liderlik, izleme ve tamamlama işlevlerini yerine getirerek, belirlenen performans ölçütlerine uygun, belirlenen maliyet çerçevesinde, belirlenen süre içerisinde, organizasyonun ana çalışma sistemin bozmadan gerçekleştirilmesi sürecidir.

Proje yönetimi, ürün ve hizmetin sağlanmasını yönetmek için; bilgi bazlı uygulamaları, araçları ve teknikleri içermesiyle, endüstriyel sektörde yüksek ölçüde kabul görmüş bir tekniktir (Jugdev vd., 2007).

Giderek karmaşık hale gelen ürünlerin, çok disiplinli birikimin biraraya getirilerek, hedeflenen özelliklerde, maliyette ve zamanda gerçekleştirilmesinde proje yönetimi teknikleri kullanmak zorunlu hale gelmiştir. Ayrıca;

- Ürün geliştirilmesine, giderek çok farklı disiplinlere aynı anda ihtiyaç duyulması
- Ürün geliştirmede kullanılan bilgi birikiminin iç içe ve entegre bir biçimde çalışması gerekliliği

- Küresel pazarda rekabet edebilmek için neyi, ne zaman, nerede ve nasıl sunmak gerektiğinin belirlenmesinde kültürel ve çevresel faktörlerin dikkate alınması gerekliliği

gibi sebeplerle proje yönetimine ihtiyaç vardır.

Proje yönetiminin temel amacı; projenin tam anlamıyla denetimini sağlamaktır. Bu amaca ulaşmada iki önemli unsur bulunmaktadır. Bunlardan ilki tüm sorumluluğun tek bir noktada toplanması ve bu amaçla atanacak proje yöneticisinin çeşitli çabaları bütünleştirici bir rolü üstlenmesidir. İkincisi ise bütünsel bir planlama ve denetim sisteminin uygulanması ve bu amaçla geliştirilen yöntem ve tekniklerden etkin bir biçimde yararlanılmasıdır.

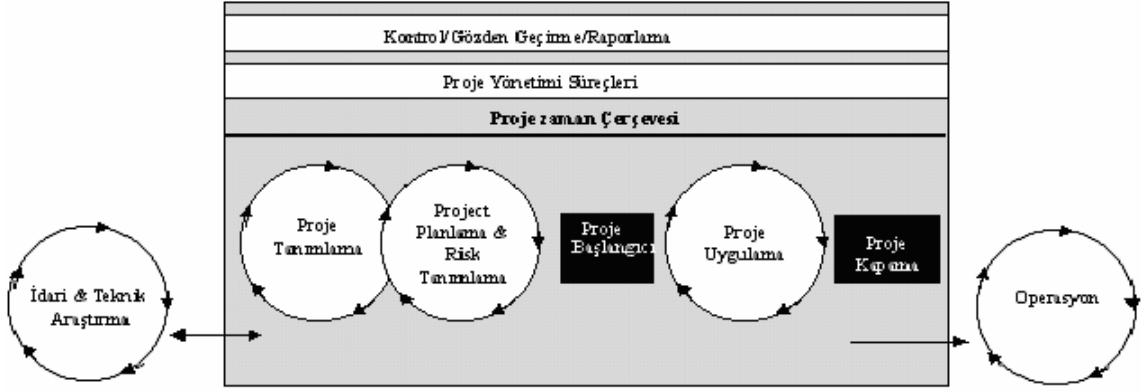
Bir proje devresi, yeni bir iş, ürün veya hizmet için muhtemel pazar talebinin tahmini ile başlar. Bu aşamada geçmiş projelerden devreden kayıtlar ve deneyimler ile yeni olanakları ortaya koyan araştırma sonuçlarından hareket edilir. Nitelik, güvenilirlik ve kaynak itibarıyla farklı bu üç bilgi birikimi yeni bir projenin etüt aşaması için bir araya getirilirler. Bu üç bilgi kaynağının nispi önemleri önerim içerdiği yenilik derecesine ve tasarımda ne kadar yenilik veya uyarılama gerektireceğine bağlı olarak değişir.

Proje devresinde, daha sonrada önerileri, değerlendirme aşamasına geçilir, tahmin edilen fayda ile öngörülen maliyet karşılaştırılır.

Yapılabilirlik çalışması olarak bilinen bu aşamanın sonunda proje önerisinin kabul veya red edilmesine ilişkin kesin bir karara varılır. Devam kararının alınması durumunda tasarım aşamasına ve bağlı olarak yeni sorunların incelendiği, maliyet ve fayda tahminlerinin yeniden gözden geçirildiği geliştirme aşamalarına geçilir. Tasarım ve geliştirme, aslında bir projenin gerçek maliyetini ve faydalarını belirleyici çalışmalardır.

Proje devresi üzerinde gösterilen sözleşme aşaması, izleyen aşamalara bir bakımdan biçimsel yetkinin verildiği aşamadır. Bunu faaliyetlerin en büyük ölçeğe ulaştığı ve fiziksel çabanın en geniş çeşitlilik kazandığı proje aşaması olan yapım-inşa aşaması izler. Daha sonra teslim ve kullanım aşamalarına gelinir. Burada projede belirlenen amaçlar elde edilmiştir.

İşletmede proje yönetimi, projenin hazırlanmasından önce gerekli bilgilerin elde edilmesi için bir durum analizinin yapılması, sorunların çözümlenmesi ve önerilen işlerin hedeflerinin tanımlanması için gerekli işlemleri oluşturur.



Şekil 2.1 Proje Yönetim Metodolojisi

Proje yönetiminin yararları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Amaç ve hedeflere ne zaman ve nasıl ulaşılabileceğini önceden belirler.
- Sürekli raporlama ihtiyacı minimuma iner.
- Zaman baştan belirlenir.
- Maliyet önceden belirlenir.
- Gerekli kaynakları ortaya koyar.
- Teknoloji açıklanır.
- Kontrol sisteminin kurulmasını sağlar.
- Görevlerin organizasyon şemasını gösterir.
- Ekip üyelerinin proje geliştirme, uygulama ve tahmin yeteneklerinin gelişmesini sağlar.

2.4 Proje Yönetiminin Bileşenleri

Bir projenin başarı ile sonuçlandırılabilmesi için proje yönetimi çok önemlidir. Bu da çeşitli yönetim alanlarının bir karimasından oluşur. Bu alanlar; bütünleştirme yönetimi, kapsam yönetimi, zaman yönetimi, maliyet yönetimi, kalite yönetimi, insan kaynakları yönetimi, iletişim yönetimi, risk yönetimi, satın alma yönetimidir.

Bütünleştirme yönetiminde, proje öğelerinin koordinasyonu sağlayan süreçler tanımlanır. Proje planlama, planın yürütülmesi, değişim denetimi yöntemleri uygulanır.

Kapsam yönetiminde, kapsamın tanımı, kapsamın planlanması, kapsamın doğrulanması, kapsam değişikliği denetimi yöntemleri uygulanır.

Zaman yönetiminde, projenin zamanında bitirilmesini sağlayacak süreçler tanımlanır. İşlerin tanımı, süre tahminleri, zaman çizelgelerinin geliştirilmesi ve denetiminden oluşur.

Maliyet yönetiminde, projenin onaylanma bütçesi ile projenin bitirilmesini sağlayacak süreçler tanımlanır. Maliyet planlama, maliyet tahmini, bütçe ve maliyet denetimi yöntemleri uygulanır.

Kalite yönetiminde, projenin ihtiyaçlarının karşılanmasını sağlayacak süreçler tanımlanır. Kalite planlama, kalite güvence ve kalite denetimi yöntemleri uygulanır.

İnsan kaynakları yönetiminde, proje ile ilgili işgücünün daha etkin kullanımına yönelik süreçler tanımlanır. Örgütsel planlama, kadro kurma, takım oluşturma yöntemleri uygulanır.

İletişim yönetiminde, proje bilgilerinin zamanında ve uygun biçimde üretilmesi, derlenmesi, dağıtılması, saklanması, düzenlenmesi süreçlerini tanımlar. İletişim planlama, bilgi dağıtımı, performans raporlama yöntemleri uygulanır.

Risk yönetiminde, proje risklerinin belirlenmesi, analiz edilmesi, çözümlerin uygulanmasına yönelik süreçler tanımlanır. Risk tanımlama, risk boyutu belirleme, riske karşı planlama ve risk azaltıcı denetim yöntemleri uygulanır.

Satın alma yönetiminde, proje için gereken ürün ve hizmetlerin dışardan alınması süreçleri tanımlanır. Satın almanın planlanması, talep planlama, firma seçimi, sözleşme yönetimi, sözleşmenin imzalanmasından oluşur (Yamak, 1998).

2.5 Proje Yöneticisi ve Proje Ekibi Kavramları

Proje yöneticisi, bir projeyi yönetmek üzere görevlendirilen ve projeyi, mümkün olan en yüksek üretkenlik, en düşük belirsizlik ve risk ile yürütmekten sorumlu kişidir. Proje

yöneticisi, hem proje ekibini kurmak, hem de projeyi gerçekleştirirken yönlendirmekten sorumludur.

Proje uygulamalarında genel kabul, proje yöneticisinin projenin tüm ilerleyişinden, kılavuzluğundan, kaynakların motivasyonundan ve kontrolünden tek başına sorumlu olduğu yönündedir. Bu durumda aşağıdaki roller Proje Yöneticisine yüklenmektedir.

- Liderlik
- Projenin Teknik Direktörlüğü
- Proje – Sistem Entegrasyon Sorumluluğu
- Proje Planlayıcısı
- Proje Yürütücüsü
- Takım içi İletişim Sorumlusu

Bu rolleri üstlenmek bir proje yöneticisinin insan üstü güçleri olması gerektiğini düşündürebilir. Fakat bir projeye başlandığında projeye katılımcı olan kaynaklar kendi sorumluluklarını ve rollerini belirleme arayışına girerler. Bu noktada proje yöneticisinin kararlı ve tutarlı davranış sergilemesi çok önemlidir. Ancak bu sayede proje yöneticisi yukarıda başlıklar halinde belirlenen rolleri doğal olarak üstlenmiş olacaktır.

Proje takım üyeleri, proje yöneticisinin performansını sürekli takip ederler. Çoğu zaman, proje yöneticisi güvenilir olduğunu ispatlayana kadar takımın bazı üyelerinden tepkiler alabilir.

Proje Yöneticisi proje takımını kurarken dikkat etmesi gereken bazı noktalar şu şekilde sıralanabilir:

- ✓ Takım kurmanın planlanması gerekir; proje yöneticisi projede yapılacak faaliyetlere göre hangi birimlerden ne kadar kaynağa ve ne zaman ihtiyacı olacağını belirlemelidir.
- ✓ Proje yöneticisi, projeye dahil edeceği kişilerle önceden mülakat yapması önemli bir uygulamadır.
- ✓ Proje takımı üyelerinin projenin zaman planına göre programlanması gereklidir

- ✓ Proje takımı üyelerinin birbirlerini daha iyi tanımaları ve ortak hedefleri anlayabilmeleri için proje başlangıcında Kick-off meeting düzenlenmesi projenin başarısı için hayati önem taşır.
- ✓ Gerek iş ortamında gerek iş dışı eğitimlerle veya sosyal faaliyetlerle takımın geliştirilmesi için zaman ve kaynak ayrılmalıdır. Takım geliştirme çalışmaları proje ekibinin motivasyonunu yükseltmeyi, stresin azalmasını, bireyler arasındaki iletişimin artmasına yönelik olmalıdır.

Projenin uygulanmasından sorumlu olan yöneticiler, yönetim fonksiyonu kapsamında yatırım projesinin uygulanması işini de yürütürler. Projenin uygulanması ile sorumlu olan kişi, proje yöneticisi, proje müdürü ya da yatırım yöneticisi olarak isimlendirilir.

Proje yöneticisinin temel sorumluluğu, projelendirilen yatırımın projeye uygun olarak gerçekleştirmektir. Yatırımın gerçekleştirilmesinde beş nokta üzerinde durulması gerekir. Bunlar;

- Projeyi öngörülen standartlarda ve teknik koşullarda gerçekleştirmek
- Projenin öngörülen maliyet ile öngörülen sürede gerçekleşmesini sağlamak
- Projenin tamamlanıp işletmeye alınmasına kadar üretim aşaması için gerekli olan insan gücünü tedarik etmek
- Projenin gerçekleşmesiyle üretilcek ürünlerin pazarlamasını gerçekleştirmek amacıyla pazarlama ve dağıtım sisteminin kurulması
- Standart kaliteye ulaşmaya kadar deneme üretimini gerçekleştirmektir.

2.6 Proje Yönetiminin Önemi

Projelerin başarılı olması; istenilen çıktıları sağlaması, proje amacının gerçekleştirilmesidir. İyi bir proje yönetiminden anlaşılması gereken; kaynaklarını uygun zamanlarda, ekonomik olarak ve istenilen kalite gereklerine uygun olarak sağlaması ve kullanmasıdır.

Projeler için başlangıçta yapılan fizibilite çalışmalarının ve ön hazırlıkların sonucunda tahmin edilen bir proje bedeli kadar kaynak ayrılır. Proje ilerledikçe projeye ayrılmış olan parasal kaynaklar azalacaktır. Bu azalış başlangıçta yavaştır, sonra hızlanır ve bitime doğru yine yavaşlar.

Proje yönetimi, yalnızca hedeflenen sonucu sağlamaya değil, aynı zamanda verimli çalışmaya

ve proje bütçesi içinde kalmaya da özen göstermek durumundadır. Proje yönetiminde, geriye dönüp hataları yok etmek olanağı bulunmadığından, işe girişmeden önce çok detaylı bir planlama çalışması yapmak zorunludur. Proje yönetimi zamana karşı bir yarışır. Başlangıçta gevşek davranılırsa, işin sonuna doğru çok sıkışık koşullarla çalışılır (Yamak, 1998).

2.7 Proje Yönetiminin Evreleri

Proje yönetimi, projenin kapsamı içindeki planlama, organize etme, icra etme, koordine etme ve kontrol faaliyetlerinin bütünüdür. Proje yönetiminde başlıca üç aşama bulunur: projenin tanımlanması, projenin planlanması ile organizasyonu, projenin uygulanması ve izlenmesi. Bu aşamalardan önce projenin ön değerlendirmesi olarak adlandırılabilir bir aşama daha vardır. Projenin ön değerlendirmesi aşamasında, proje teklifleri görüşülür, projenin teknik ve mali açıdan yapılabilirlikleri analiz edilir. Projeden olumlu bir sonuç alınabileceği görülürse, projeyi başlatma kararı verilir.

2.7.1 Projenin tanımlanması

Proje yönetiminde ilk aşama; projenin tanımlanmasıdır. Bu aşamada projenin, amacı tanımlanır, hedefler ortaya konur. Proje kapsamının ne olduğu belirlenir ve kapsamın sınırları çizilir. Proje çıktısı hakkında tanımlayıcı ve ayrıntılı bilgi verilir.

Proje ihtiyacı çeşitli nedenlerden doğar. Bunlar;

- ❖ Müşteri İhtiyaç ve istekleri,

Müşterinin ürünle ilgili olarak şikayetleri, önemli bir değişiklik isteği veya yeni bir ürün talebi, ilgili proje çalışmasını başlatabilir. Proje kararı için ayrıntılı bir pazar araştırması yapılmasına gerek duyulur. Ürünü satın alacak veya değişiklik isteyen kitlenin büyüklüğü, yapılacak yatırımın oluru olup olmadığı gibi faktörler bu kararın verilmesinde rol oynarlar.

- ❖ Teknolojik ilerlemeler,

Günümüzün sürekli değişen koşulları, kuruluşları zorlayıcı bir etkidir. Rakiplerden önce pazara ürünü sunmak, bir yeniliği getirebilmek cesaret isteyen, zor bir karardır.

- ❖ Süreçlerde sorun,

Süreçlerde ortaya çıkan sorunlar veya kalite ile ilgili yetersizlikler nedeniyle süreçlerin etkinliği azalabilir, verimliliğinde düşme görülebilir. Hemen çözülemeyen, zaman isteyen önemli sorunlar için proje başlatmak gerekebilir.

Sonuç olarak, bu gibi ihtiyaçlar nedeniyle proje başlatma kararı alınır. Projenin başlatılması, çeşitli taraflardan gelen öneriler doğrultusunda yapılır. Müşteriler, çalışanlar, tedarikçiler veya satıcılardan üst yönetime gelen çeşitli öneriler incelenir, çeşitli kriterlere göre değerlendirilir, öncelikleri tespit edilir ve bir projenin başlatılıp başlatılmayacağına karar verilir.

Projenin tanımlanması aşamasında cevaplanması gereken temel sorular aşağıda sıralanmıştır:

- Projenin amacı nedir, hedefleri nelerdir?
- Projenin sponsoru kimdir, projeyi kim yönetecektir?
- Projenin müşterisi kimdir?
- Projenin kapsamı nedir?
- Projenin kısıtları, parametreleri nelerdir?
- Projenin bütçesi ve süresi nedir?

Projenin müşterisi proje çalışmalarının sonucunu kullanan veya kullanmaya talip olan kişiler yanında, bu sonuçtan etkilenen kişiler olarak tanımlanır. Örneğin, metro projesinin müşterisi taşınacak insanlar, şirket içindeki bir kalite iyileştirme projesinin dış müşterisi pazardaki alıcılar, iç müşterisi ise, projenin çıktısını kullanan süreçtir. Dolayısıyla, çıktının niteliklerini bu kitlelerin istekleri tayin edecektir.

Sponsor, projeyi finanse eden veya proje için gerekli kaynakları sağlayan kişi veya kurumdur. Bu kurum bir metro projesinde belediye olurken, şirket içi bir kalite projesinin sponsoru bu projenin doğal sahibi olan kalite güvence bölümü yöneticisi olabilir.

Stakeholder (paydaş), müşteri kavramından daha farklı bir kavramdır. Söz konusu projeden etkilenen çevre veya kişiler, o projenin paydaşlarıdır. Onların görüşleri projenin nihai başarısı bakımından önem taşır.

2.7.2 Projenin planlanması ve organizasyonu

Projenin bu aşaması çok yoğun bir çalışma gerektirir. Önceki aşamada belirlenen sınırlamalar çerçevesinde izlenecek faaliyet planlarının oluşturulması gerekir. Bir sonraki aşamada işler; bu planlarda gösterilen zamanlarda ve sırada yapılacağından, planlama aşamasında işin

proje süresi ortaya çıkar. Faaliyetlerde mevcut olan boşluklar (serbestlikler) görülür. Projenin dönüm noktaları saptanır.

2.7.3 Projenin uygulanması ve kontrolü

Proje planlarının üst yönetime sunulup onaylanması ve başla onayının verilmesiyle proje faaliyetlerine başlanır. Kuşkusuz, faaliyetler başlamadan proje ekibinin seçimi yapılır, proje organizasyonu ile ilgili eksikler tamamlanır.

Faaliyetler başladıktan sonra projenin gidişini sürekli olarak izlemek gerekir. Projenin izlenmesinde bilgisayar desteğine planlamada olduğu gibi ihtiyaç duyulur. Proje, günü gününe takip edilir.

İzlemek; yapılan işlerin planlara uygun yürüyüp yürümediğini kontrol etmektir. Herhangi bir sapma varsa, nedenleri araştırılır, çözüm seçenekleri incelenir. Planlardaki tarihlerde sürekli güncelleştirmeler yapılarak, projenin planların ilerisinde mi, gerisinde mi olduğuna bakılır, ilerdeki olası darboğazlar saptanır. Bunlar için çözümler geliştirilir, önlemler alınır.

Projede ileriye dönük olarak çeşitli analizler yaparak gecikme beklenip beklenmediği ve bunların nasıl giderileceğine ilişkin çözümler geliştirilir. Bir faaliyetten diğerine kaynak aktarmak, dışarıdan ilave kaynak temin etmek, bir faaliyeti ertelemek, birini yavaşlatıp diğerini hızlandırmak gibi çeşitli çözümler düşünülebilir.

2.7.4 Proje içinde proje kavramı

Projeler kendi başlarına bir bütünlük oluşturmalarına karşın, kendilerinden büyük başka bir projenin de parçası olabilirler. Bir projede yer alan küçük projeler bulunabilir. Örnek olarak, ABD'nin aya insan indirme projesi gösterilebilir. Bu proje içinde, her birisi değişik amaçlar içeren projeler yer almıştır.

Aya insan indirmeyi amaçlayan Apollo projesi, daha önceki Mercury ve Gemini projelerinin başarılarının üzerine inşa edilmiş bir devam projesiydi. 1958 yılında başlatılan Mercury projesi, uzaya insanlı uçuşların yapılmasını amaç edinmişti. Gemini projesi, Mercury projesinin devamı idi.

Sistemsal yaklaşım ilkelerine göre, aynı büyük proje içinde yer alan alt projelerin birbirleriyle, üst projenin amaç ve hedefleriyle uyum içinde olması gerekir. Bunun sağlanması için, aynı üst projeye hizmet eden projeler arasında eşgüdümlü çalışma gereklidir.

Proje ve içinde yer alan küçük projeler; hiyerarşik bir silsile oluştururlar, bir projeler sistemini vücuda getirirler. Bu şekilde ele alınırsa, büyük projeler yönetilebilir hale gelirler.

Sistemli yönetildiğinde, tepede yer alan dev proje yapısı içinde, yüzlerce proje bir düzen içinde yürütülür. Şirketlerde yapılan küçük projeler sayesinde ana proje hedefine ulaşır.

2.8 Projenin Dönüm Noktaları

Bir proje içinde, projenin gidişatına göre bir karar vermek gerekebilir. Bu karar projenin askıya alınması veya iptali kararı bile olabilir. Bu tür noktalar; projenin dönüm noktaları veya kilometre taşları olarak adlandırılır.

Dönüm noktası, proje içinde bir ara çıktının alındığı, çeşitli paralel faaliyetlerin aynı düğüm noktasında sonuçlandığı merhalelerdir. Dönüm noktalarına ulaşıldığında, proje yöneticisi elde edilen sonuçları üst yönetimle birlikte gözden geçirir ve projenin gidişatı hakkında bir karara varılır. Burada alınacak bir olumlu kararla projeye devam edilir veya proje askıya alınır.

Projenin askıya alınması ile o ana kadar harcanmış kaynaklar boşa gitmiş olacak, fakat devamı halinde ise proje daha büyük kayıplara neden olabilecektir. Bu bakımdan, bu tür kararlar proje için yaşamsal önem taşır.

Örneğin, bir yeni ürün geliştirme projesi çerçevesinde prototip yapımı söz konusu ise, prototipin ortaya çıktığı an bir dönüm noktasıdır. Bu noktada devam kararı gereklidir.

Projelerde muhtelif safhalar bulunur. Her safha, birbirleriyle yakından ilişkili faaliyetlerden oluşur. Dönüm noktaları genellikle bu safhaların bitiminde bulunur. Örneğin, bir ürün geliştirme projesinde yer alan ürün planlama, ön tasarım, kesin tasarım gibi bölümlerin sonuçlandığı noktalarda dönüm noktaları bulunur.

2.9 Projenin Sona Ermesi

Projenin bitiş tarihleri çeşitli nedenlerle öne alınabilir. Bazı projelerde erken bitirmek, işin sahibi tarafından ödüllendirme nedeni olabilir. Kuşkusuz bu yapılırken, sağlanacak yararın, işi erken bitirmenin getireceği külfete değer olmasına dikkat etmek gerekir. Sağlanacak yararın sadece parasal ödül gibi maddi yararlar olması söz konusu değildir. Bazı hallerde, prestij nedeniyle projeyi erken bitirmek gerekebilir.

Enka şirketinin Rusya'da daha önceki işlerinde göstermiş olduğu başarı, 1994 darbe girişiminde büyük ölçüde yanan parlamento binası onarım projesinin, yine bu şirkete

verilmesine yardımcı olmuş ve şirket projeyi planlanan bitiş tarihinden bir kaç ay önce bitirerek prestij kazanmıştır.

Stratejik, ekonomik veya siyasi konjonktür gibi nedenlerle, bir projeyi öngörülen tarihten, kabul edilebilir bir süre kadar önce bitirmek düşünülebilir. Şirket içi projelerde ise, şirketin kaynaklarını daha etkin ve verimli kullanmak amacıyla, projelerin bitiş tarihleri öne çekilebilir.

Bir projenin bitişi, diğer projenin başlatılması düşünülen zamana denk geliyorsa, o projenin bitişi ile başka projeler tarafından kullanılacak kaynakların bir an önce serbest kalmasını sağlamak için, proje öngörülen zamandan önce bitirilebilir.

2.10 Proje Gecikme Nedenleri

Projelerde, çeşitli nedenlerden ötürü gecikmeler görülür. Bu gecikmelerin bir kısmı, sistemin dışındaki kontrol edilemeyen nedenlerden ortaya çıkar. Fakat asıl büyük bölümü, sistemin içindeki kontrol edebilen nedenlerden oluşur. Önemli olan projeyi geciktirebilecek nedenleri önceden görüp bunlara karşı önlemini zamanında almaktır.

Günümüzde geçerli yönetim anlayışında, bu davranış tarzı, önleyici yaklaşım olarak bilinmektedir. Faaliyetlerdeki her gecikme mutlaka projeyi geciktirir, denilemez. Faaliyet, ancak kritik yol üzerinde ise veya uzayarak kritik hale gelmişse, faaliyetteki gecikme, o zaman projeye yansır. Bu durumda da alınacak önlemler vardır, ancak bu önlemler projenin maliyetini artırır.

Faaliyetlerdeki gecikmeler genellikle kontrol edilemeyen ve kontrol edilebilen nedenler olarak iki başlık altında incelenebilir.

2.10.1 Kontrol edilemeyen nedenler

Sel, yangın, deprem, kasırga gibi doğal afetler, çoğunlukla önceden kestirilemeyen ve önlenemeyen nedenlerin başında gelir. Genellikle doğadan kaynaklanan nedenler, projeleri üstlenen yapımcı şirketler için mucbir sebep (act of God, force majeure) sayılırlar. Başka bir ifadeyle, yüklenici firma, bu gelişme nedeniyle ek süre alabilir. Şirket içi projelerde ise, böyle bir durum geçerli değildir.

Grev, toplu iş bırakma veya yavaşlatma, direniş gibi sendikal kaynaklı işçi hareketleri, projelerde gecikmelere neden olabilir. Bu kısmen kontrol edilebilir veya kestirilebilir (toplu görüşmeler veya uzlaşma yolu ile) olsa da, tamamen kontrol altında değildir.

Alt yapı (elektrik, su, doğal gaz, telefon vb. iletişim şebekeleri, ulaşım ağı ve ulaşım sistemleri) eksiklikleri nedeniyle oluşabilecek gecikmelere kısa dönemde hiç bir şey yapılamayacağı için, seçenekler geliştirilmelidir. Orta ve uzun dönemde, hükümetler ve belediyeler nezdinde yapılabilecek temaslar, lobi faaliyetleri çözüm yolunda yarar sağlayabilir.

2.10.2 Kontrol edilebilen nedenler

Değişik nedenlerle planlama iyi yapılamazsa, projelerde gecikme olur. Planlama aceleye getirilmiş olabilir, işinin ehli kişiler, uzmanlar planlamada görev almamış olabilir, planlama yetersiz ya da eksik yapılmış olabilir.

Yeterli ekipman, malzeme veya insan gücü zamanında temin edilmemişse, kaynak yetersizliğinden proje uzar.

Projelerin bir bütçesi vardır ve harcamalar bu bütçe dahilinde yapılır. Zamanla, türlü nedenlerle bütçe dışına çıkılma gereği ortaya çıkmıştır veya harcamalar için kullanılması düşünülen fonların kullanımında, çeşitli nedenlerle aksamalar meydana gelmiştir. Bu durumda, faaliyetlerin yapılmasında gecikmeler oluşması olasıdır.

Süreçlerdeki yetersizlikler nedeniyle, projede yer alan faaliyetlerde gecikmeler olur. En mükemmel denilen sistemlerde bile, bazı süreçlerde zaman içinde sorunlar çıkar. Önemli olan, sistemin kendi içerisindeki sorunları algılayabilme, kontrol altına alma ve çözebilme kabiliyetidir.

Personel yetersizliği, eğitim eksikliği, işe devamsızlık, iletişim eksikliği, yazılı kuralların olmaması, makinelerde bakım sorunu, arızaların çokluğu veya kestirilemezliği, ayar/hazırlık/kurma zamanlarının (setup time) uzunluğu, üretim sürelerinin (lead time) uzunluğu, fire vb. gibi süreçlerdeki sorunlar da projelerin gecikmesine neden olur.

3. PROJE PLANLAMA TEKNİKLERİ

3.1 Proje Yöntemlerinin Tarihsel Gelişimi

Proje yönetiminde kullanılan bir çok yöntem olmakla beraber, en çok yaygınlık kazanan yöntemler PERT (Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği) ve CPM (Kritik Yol Metodu) yöntemleridir. Her iki yöntem de 1950'lerin sonuna doğru ortaya çıkmıştır.

Bu yüzyılın başından beri kullanılan bazı araçlar her iki yöntemin bulunuşunu kolaylaştırmıştır. Bunların başında GANTT şeması olarak anılan ve günümüzde hala yaygın biçimde kullanılan bir gösterim şekli gelir. İlk kez 1910'larda üretimin kontrolü amacıyla ortaya çıkartılan bu şema yaratıcısı Henry L. Gantt'ın adını almıştır. Gantt şeması, birbirine bağımlı çubuklardan oluşur.

1950'de ABD Savunma Bakanlığı'nda geliştirilen ve Denge Çizgisi (Line of Balance) adıyla kısaca LOB olarak anılan bir yöntem de, ağ şemalarının geliştirilmesine öncülük etmiştir.

1958 yılında Birleşik Devletler Donanması Özel Projeler Dairesi ile Booz, Allen & Hamilton müşavirlik firması tarafından ortaklaşa yürütülen Polaris projesinin yönetimi için daha ileri bir yöntem geliştirilmesi düşünülmüştür (Stevenson, 1993). Bu proje, ilk kez güdümlü füze atabilen nükleer başlıklı denizaltı yapımını içeriyordu. Denizaltının çeşitli kısımlarını yapan 3000 kadar taşeron firma bulunması projenin idaresini zorlaştıran etkenlerden biriydi. PERT yönteminin ilk kez kullanıldığı bu projede yöntemi geliştiren kişi Dr. C.E. Clark isimli bir matematikçidir.

Aynı yıllarda geliştirilen diğer bir yöntem de, PERT'e çok benzeyen, fakat bazı özellikleri nedeniyle ondan ayrılan CPM (Critical Path Method) veya Kritik Yol Yöntemidir.

Kritik Yol Yöntemi (CPM), 1958'da ilk kez kimyasal fabrikaların kurulması ve bakımı projelerinde kullanılmıştır. Yöntemi ilk kullanan, kimya alanında tanınmış E.I. du Pont de Nemours firmasıdır. Remington Rand şirketiyle birlikte yapılan çalışmalar, CPM yöntemini ortaya çıkarmıştır. Remington Rand şirketinde James Kelly ve du Pont'tan Morgan Walker bulunmaktadır (Star,1971). Yöntemin geliştirilmesine emeği geçen bilim adamı ise, Dr. Mauchly'dir (Çetmeli, 1982).

PERT ve CPM yöntemleri dışında sayısız proje yönetim teknikleri geliştirilmiştir. PRISM, LESS, PEP, SCANS, PACC, IMPACT bu tekniklerden önde gelenleridir (Erişkon vd., 1973).

Fakat zaman içerisindekilerden hiçbir PERT veya CPM' in kullanım yaygınlığına ulaşamamıştır.

3.2 Projelere İlişkin Genel Kurallar

Proje yönetim teknikleri bazı kurallar üzerine oturmuştur. Bunlar her proje için geçerlidir. Bu kurallar;

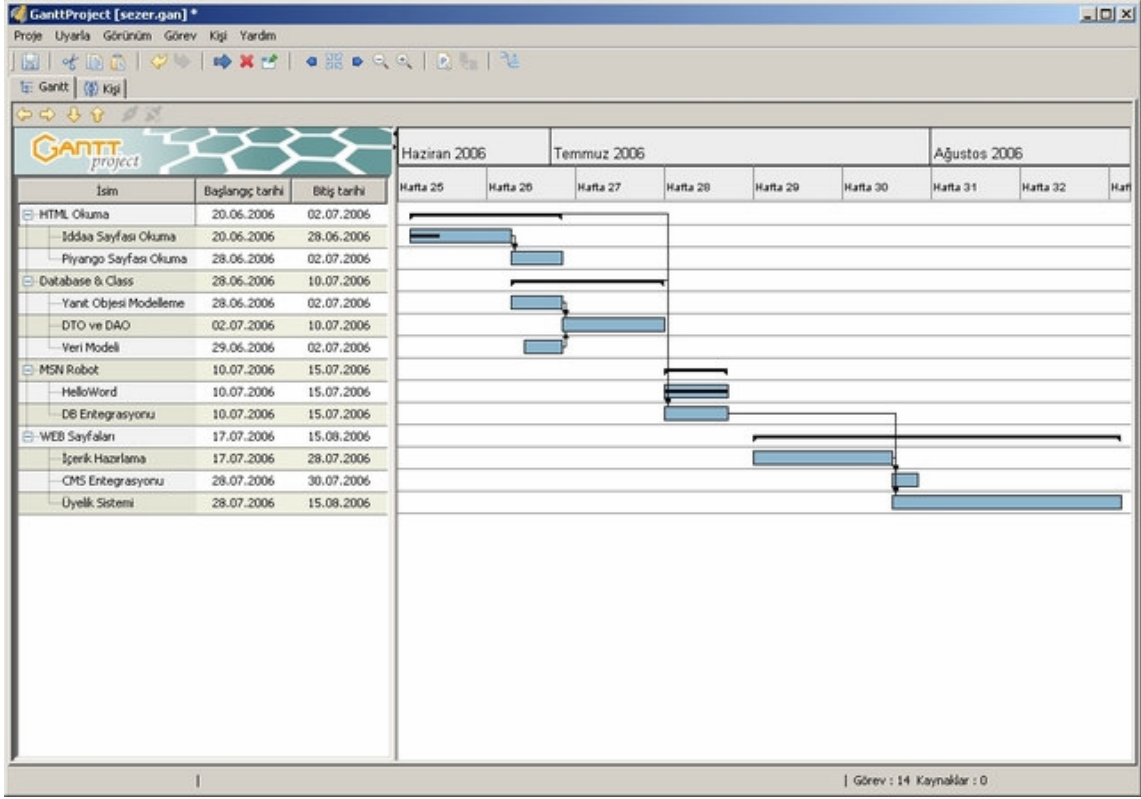
- ❖ Proje, bir grup seri (ardışık) veya paralel faaliyetten oluşur.
- ❖ Proje, bu faaliyetlerin tümünün tamamlanması ile sona erer.
- ❖ Faaliyetlerin belli bir yapılaş sırası vardır ve bu sırayı teknik öncelikler belirler.
- ❖ Faaliyet süreleri, önceden bilinir veya tahmin edilir.
- ❖ Bir faaliyet başladıktan sonra bitene dek kesintisiz sürdürülür.
- ❖ Bir faaliyet kendinden önceki faaliyetlerin tümü sona ermeden başlayamaz. Faaliyet kritik yol üzerinde bulunmuyorsa, hemen başlama zorunluluğu yoktur, başlaması bir süre ertelenebilir.
- ❖ Her projenin mutlaka bir başlangıcı ve bir sonu bulunur.

Bu kurallar dizisi, proje yönetim tekniklerinin dayandığı temel esasları belirler. Gerek Gantt şemasında ve gerekse ağ yaklaşımında, bu kurallara genelde uyulur.

3.3 Gantt Şeması

Gantt şeması, çubuk diyagram (bar chart) olarak da anılır. Bunun nedeni, şemada faaliyetlerin çubuklar şeklinde gösterilmesidir. Şekil 3.1'de bir Gantt şeması gösterilmiştir.

Gantt şemasında, yatay eksen zaman, dikey eksen ise faaliyetler, her biri ayrı satırda olmak üzere gösterilirler. Şema faaliyetlerin öncelik sıralamasını gösterir. Fakat, bir proje iş programının hazırlanması sadece bu işlemi içermez. Daha önemlisi, aynı anda birden çok faaliyeti birlikte yürütebilmektir.



Şekil 3.1 GANTT şeması [1]

Son derece basit ve kullanışlı olmasının yanı sıra, Gantt diyagramının bir takım eksiklikleri bulunmaktadır. Bu yöntemin en büyük eksikliklerinden biri, faaliyetler arasındaki tüm mantıksal bağlantıların gösterilememesidir. Dolayısıyla bu diyagramlar; bir safhadaki gecikmenin diğer safhalara nasıl bir etki yapacağını göstermez (Albayrak, 2001).

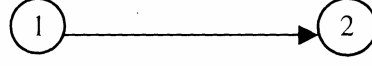
Ayrıca bu yöntem ile planlama dışında, sadece kısıtlı miktarda kontrol faaliyetleri yürütülebilmektedir. Bu da sadece projedeki faaliyetlerin tamamlanma yüzdelerinden ibarettir. Bunun dışında hangi faaliyetlerin zamanında tamamlanması gerektiği, her bir faaliyetin proje süresindeki ağırlığı gibi rapor bilgilere ulaşmak mümkün değildir. Herhangi bir işin uygulama süresinde bir değişiklik olması halinde, tüm şemanın yeniden çizilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak çubuk diyagramları yine de, sınırlı sayıda faaliyetten oluşan projeler için kullanımı son derece basit; etkili bir planlama, programlama, kontrol ve raporlama aracıdır. (Goodman ve Love, 1980)

Projelerin karmaşıklığı arttıkça Gantt diyagramı detayları göstermede yetersiz kaldığından dolayı daha detaylı gösterim ve işlem olanağına imkan veren yöntemlere ihtiyaç duyulmuş ve yapılan çalışmalar sonucunda da şebeke yöntemleri geliştirilmiştir.

3.4 Ağ Yaklaşımı

Ağ yaklaşımı, projelerin ağ şemalarıyla temsil edildiği yaklaşımdır. Ağ şeması, olay ve faaliyet ilişkilerinin bütünüdür gösterildiği şemadır. Ağ şemasının temeli, olay-faaliyet ilişkisidir.



Şekil 3.2 Olay-faaliyet ilişkisi

Faaliyet, tamamlanması zaman ve kaynak harcanmasını gerektiren proje elemanıdır. Faaliyet, projenin ilerleyen yönünü gösteren oklarla temsil edilir. Olay, zaman içinde belli bir anda meydana gelen, buna karşın oluşumu zaman ve kaynak gerektirmeyen proje ögesidir. Olay, faaliyetlerin başlangıç ve bitiş noktalarında yer alır. Olayın gerçekleşme anı, faaliyetlerin bittiği andır. Örneğin, rapor yazma faaliyeti bitince, söz konusu olay (yazılmış rapor) gerçekleşmiştir.

3.4.1 Ağ yaklaşımının yararları

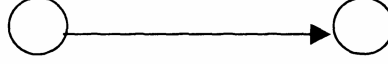
- ❖ Birden fazla projenin aynı anda planlanmasına ve kontrolüne olanak verir.
- ❖ Faaliyetler arasındaki ilişkileri basit ve anlaşılır bir biçimde gösterir.
- ❖ İşlemler basit olduğu için rahatlıkla bilgisayara aktarılarak hız sağlanır.
- ❖ Kritik faaliyetlerin belirlenmesi sayesinde etkin planlama ve kontrol işlemi yürütülür.
- ❖ Bazı faaliyetlerin ertelenmesi veya yavaşlatılması sonucu oluşacak yeni darboğazlar kolayca saptanabilir.
- ❖ Farklı proje bitiş (termin) tarihlerine göre toplam proje maliyetleri hesaplanarak aralarından en düşük olanı seçilebilir.
- ❖ Aynı kaynağı kullanan faaliyetler arasında, en düşük toplam maliyeti verecek şekilde kaynaklar bölüştürülebilir.
- ❖ Proje uygulaması sırasında sürekli güncelleştirme yapılarak, projenin günü gününe takibi sağlanır. Bu şekilde, aksayan noktalara süratle müdahale olanağı verir.

3.4.2 Ağ şemasının çizimi

Ağ şemasının çizilebilmesi için, projede yer alan tüm faaliyetlerin ve önceliklerinin, faaliyetler arası bağımlılıklarının belirlenmiş olması gerekir.

Ağ şemasının çiziminde dikkat edilmesi gereken bazı kurallar:

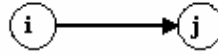
- ❖ Faaliyetler ok (düz çizgi) ile olaylar çember veya daire şeklinde gösterilir. Okun yönü, faaliyetin ve zamanın ilerleyen yönünü gösterir.



Şekil 3.3 Faaliyetler arası ilişki

Faaliyetlerin süresi ile okun uzunluğu arasında bir ilgi yoktur. Ok, yalnızca faaliyetler arasındaki ilişkiyi doğru yansıtmak amacıyla çizilir.

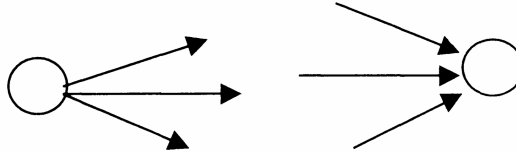
- ❖ Her olaya ayrı bir numara verilir. Faaliyetler genellikle bir kod (A, ML, BK101 gibi) veya faaliyetin başlangıç ve bitiş olay numaraları ile belirtilir. Örneğin bir k faaliyeti veya i-j faaliyeti, şekildeki gibi gösterilir.



Şekil 3.4 İ-j Faaliyeti

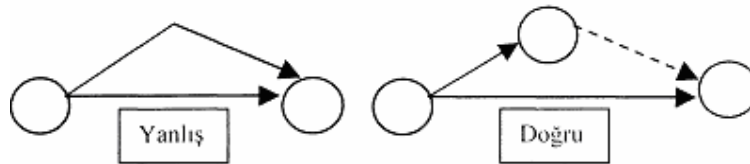
Projeyi daha kolay izleyebilmek bakımından, her faaliyet için; başlangıç olayının numarası bitiş olayının numarasından küçük olmalıdır ($i < j$).

- ❖ Bir olay birden çok faaliyetin başlangıç veya bitiş noktalarında bulunabilir.



Şekil 3.5 Bir olay-birden fazla faaliyet ilişkisi

- ❖ İki ardışık olay en fazla bir faaliyet ile doğrudan doğruya bağlanabilir. Başka bir deyişle, her hangi iki faaliyetin başlangıç ve bitiş olayları aynı olamaz. Böyle bir durum ortaya çıkarsa, kukla faaliyete gerek duyulur.

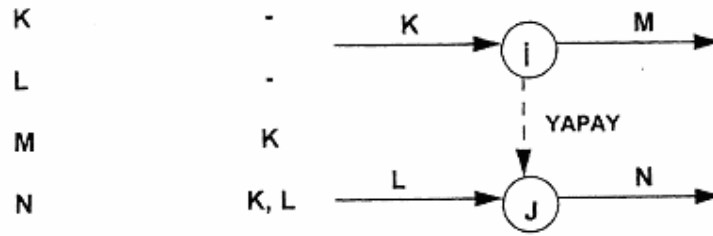


Şekil 3.6 İki ardışık olay

3.4.2.1 Kukla (yapay) faaliyet

Projedeki faaliyet ilişkileri açısından gerekli olan, buna karşın gerçekleşmesi, zaman ve kaynak harcanmasını gerektirmeyen gerçek olmayan, sanal faaliyettir.

Kukla faaliyet; sıfır süreli faaliyet olup, kesik çizgi ile gösterilir. Projedeki diğer faaliyetler gerçek oldukları halde kukla faaliyet, faaliyetler arasındaki ilişkiyi tam olarak yansıtabilmek amacıyla ağ şemasında yer alan, gerçek bir işlemi temsil etmeyen, fakat faaliyetler arasındaki ilişkiler açısından önem taşıyan hayali bir faaliyettir.



Şekil 3.7 Kukla faaliyet

3.5 Faaliyetler ve Bağımlılık

Her faaliyetin proje içindeki yeri ve bağımlı olduğu faaliyetler saptanırken bazı soruların sorulması gerekir. Bu sorular:

- ❖ Hangi faaliyetler bu faaliyet tamamlanmadan başlayamaz?
- ❖ Faaliyetin başlayabilmesi için hangi faaliyetlerin tamamlanması gereklidir?
- ❖ Hangi faaliyetler bu faaliyet ile birlikte yapılabilir?

Bu sorular; faaliyetler arasındaki bağıntıların doğruluğunun sınanması bakımından yararlı sorulardır. İlk iki soru, söz konusu faaliyete öncül veya ardıl olarak bağımlı olan faaliyetleri ortaya koyarken, sonuncusu bağımsız olan, paralel gidebilen faaliyetleri araştırmaktadır.

Ardıl faaliyet, söz konusu faaliyete seri olarak bağlı olan ve sonra gelen faaliyet iken, öncül faaliyet, söz konusu faaliyetten önce gelen faaliyettir. Bir ağ şeması, tamamlandıktan sonra aşağıdaki soruların cevaplanmasına yardımcı olur:

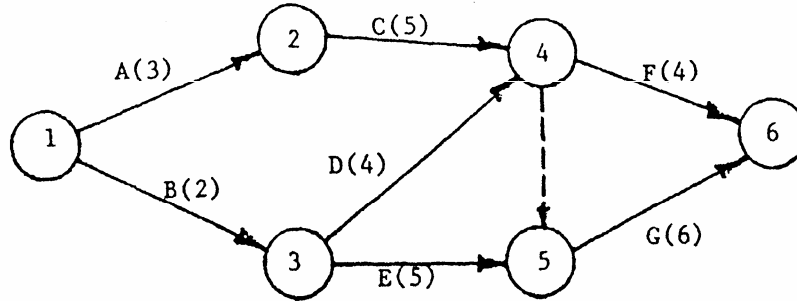
- ❖ Projenin süresi nedir?
- ❖ Hangi faaliyetler proje süresine doğrudan tesir ederler?
- ❖ Hangi faaliyetler belli bir terimde haşlayıp bitmek zorunluluğundadır?
- ❖ Hangi faaliyetler belli bir zaman aralığı içinde olmak kaydıyla, istenilen bir tarihte başlayıp bitirilebilirler?

❖ Faaliyetlerin programın müsaade ettiği zaman aralıkları ne kadardır?

Öncelik ve bağımlılık ilişkileri verilen proje, örnekte mevcuttur. Önce gelen faaliyet; söz konusu faaliyetin başladığı düğüm noktasında sonuçlanan faaliyetlerdir.

Çizelge 3.1 Proje öncül faaliyet ve süreleri

Faaliyet	Süre (gün)	Önce Gelen Faaliyet(ler)
A	3	-
B	2	-
C	5	A
D	4	B
E	5	B
F	4	C,D
G	6	C,D,E



Şekil 3.8 Projenin ağ şeması

Şekil 3.8’de projenin ağ şeması çizilmiş, faaliyetlerin kodları yanında süreler parantez içinde gösterilmiştir. Faaliyetler arası ilişkiler gereği, 4 ve 5 numaralı düğüm noktaları arasına bir kukla faaliyet yerleştirilmiştir.

3.6 Ara Hedef (Milestone) Çizelgeleri

Bu çizelgelerin Gantt’tan tek farkı bilginin gösterim şeklidir. Ara hedefler proje içindeki özel noktaları ve aşılmış işleri gösterir işarettir. (♦) Bu işaretler süre ve kaynak göstermez. Ara hedeflerdir. Bir GANNT çizelgesinde, birkaç ara hedef tanımlanarak projenin izlenmesine yarar sağlanması önerilir.

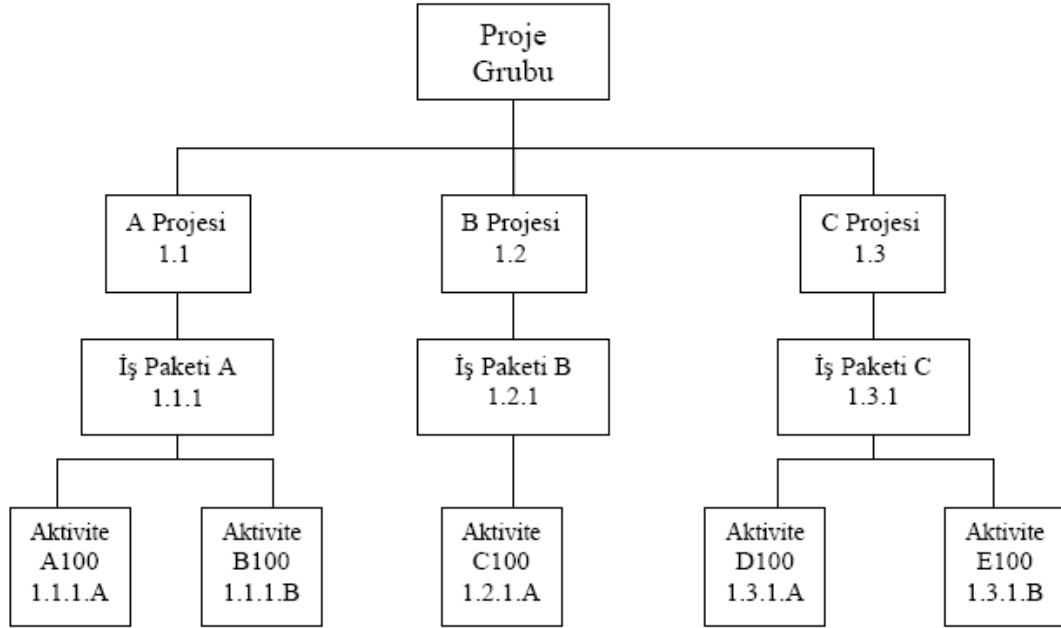
3.7 Değerlendirme Toplantıları

Bu toplantılar Projenin belirli aşamalarında yapılır. Proje seyrini gözden geçirmek, proje hedeflerini gözardı edilmemesini sağlayacak önlemler almak amacıyla yapılır. Proje ile ilgili tüm kilit personel bir araya gelir. Proje geniş bir bakış açısı ile ele alınır. Projede değişiklik yapılması ya da yaptırımlar uygulanması gerekebilir.

3.8 İş Dağılım Yapısı-WBS (Work Breakdown Schedule)

PERT serimi oluşturmanın ilk aşaması; başarılabacak asıl amaç ile onu destekleyen tüm tali amaçların belirlenmesidir. Planlamacının projeyi doğru açıdan görebilmesi ve tüm safhalar arasındaki ilişkileri belirleyebilmesi için, tali olarak belirlenen hedefler birbirleriyle ilişkilendirilmelidir.

Projenin ana kapsamı tanımlanır tanımlanmaz projenin ilk aşamalarında yer alan en önemli kısım, WBS' i oluşturmaktır (PMI, 2001). WBS, bir projede odaklanılması gereken önemli iş kalemlerini gösterir. Büyük ve karmaşık yapıdaki projeleri tek seferde bir bütün olarak planlamak ve yönetmek imkansızdır. Proje kapsamı belirlendikten sonra kolaylık olması açısından projeyi birden fazla ayrık (bağımsız) faaliyet grupları olacak şekilde daha küçük yönetilebilir parçalara bölmek gerekir. Böylece alt kırılımlar yani faaliyet grupları, kendi içinde planlanarak zorluk derecesi azaltılmış olur. Ayrıca bu alt kırılımlar, projeyi ve detaylarını daha derli toplu ve kolay anlaşılabilir bir düzende resmeder. Yani, projenin doğasından gelen karmaşıklığı ortadan kaldırarak, kolaylıkla anlaşılacak bir özet yapıya indirger. Şekil 3.9'da olduğu gibi, bir projenin iş dağılım yapısı ağaç görünümünde ifade edilebilir (PMI, 2001).



Şekil 3.9 Bir projenin iş dağılım yapısının ağaç görünümü (Primavera 3.1 Project Planner, Primavera Project Planner Help, Overview: Work Breakdown Structure Codes)

WBS oluştururken ilk olarak, projenin önemli iş kalemlerinin belirlenmesi gerekir. Sonra projenin amacına uygun olarak bu işler (ana aşamalar), bileşenlerine yani daha küçük iş paketlerine bölünür. İş paketleri, bir bütçe ve süreye sahip olan bir veya daha fazla faaliyetin bir araya gelmesiyle oluşan yapılardır. WBS'in detay seviyesi, projenin büyüklüğüne ve karmaşıklığına bağlı olarak farklılık gösterebilir. Projenin ne kadar detaylandırılacağı, proje müdürü ya da planlama personelinin kararına bağlı olarak değişse de, genellikle üç seviye olarak tasarlanır. Artan seviye sayısı projenin daha da detayına inilmiş olduğu anlamına gelir. WBS'i detaylandırma süreci, en alt seviyedeki faaliyetlere kaynak atanması, maliyetlendirmelerinin yapılması ve programlanmasının mümkün olduğu noktaya kadar devam eder (Pyzdek,2003).

3.9 CPM (Kritik Yol Metodu)

CPM (critical path method-1957), J. E. Kelly ve M. R. Walker tarafından Dupont'daki kimya fabrikasının inşa ve bakımına yardımcı olmak amacıyla geliştirildi. CPM aktivitelerin sürelerinin belirli olduğunu ve kesinlikle bilindiğini varsayar. CPM metodunda (genel olarak ok diyagramlarında) her işlem bir ok ile gösterilir. Her işlem bir düğüm noktası ile başlar ve diğer bir düğüm noktasında biter.

Esasında CPM, faaliyetler arasında tanımlanmış olan öncelik ilişkileri aracılığıyla, işlerin ne zaman yapılacağını belirleyen bir süreçtir (Levine, 2002). Zamanla CPM mantığı, bir takım yeni seçeneklerle donatılmış ve kullanıcıların farklı isteklerine cevap verecek fonksiyonlar sunan kompleks yapıdaki bilgisayar yazılımlarını meydana getirmiştir. Günümüzde şebeke planlama ve kontrol aracı olarak kullanılan yazılımların bir çoğu hesaplamalarını CPM ilkelerine göre yapmaktadır.

Kritik Yol Yöntemi, inşaat sektöründe oldukça sık kullanılan bir proje planlama yöntemidir. İnşaat projeleri, çok sayıda faaliyeti bünyesinde barındıran kompleks yapıları çalışmaları olup zamana karşı yapılan bir yarıştıdır. İnşaat sektöründe, projelerin bütçesini aşmadan, zamanında, öngörülen kalitede ve kazasız tamamlanması amaçlanır. Herhangi bir faaliyetteki gecikme, ilişkili olduğu diğer faaliyetleri ve belki de projenin tamamlanma süresini etkileyeceği için faaliyetler arasındaki etkileşimin sürekli kontrol altında tutulması gerekir. Bunun dışında hedef tarih veya ara termin (milestone) olarak adlandırılan, bir projenin önemli dönüm noktalarını belirtmek için kullanılan ve genelde bir grup faaliyetin tamamlanma zamanını temsil eden faaliyetler vardır (Westland, 2006). Projenin aksamadan yürütülmesi için, bu hedef tarihlerin de gerçekleşme zamanlarının yakından takip edilmesi gerekir.

3.10 PERT (Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği)

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

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

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

4.PROJE PLANLAMA TEKNİKLERİNDEN PERT ve CPM

4.1 Ağ Yöntemleri: PERT ve CPM

PERT ve CPM yöntemleri bir çok yönden birbirlerine benzerler, tamamen aynı ilkeler üzerine otururlar. Ancak, bazı noktalarda birbirinden ayrılırlar. İki yöntem arasındaki en önemli farklılık; faaliyet sürelerinin hesaplanmasında ortaya çıkar. PERT yönteminde benzer projelerin yapılmamış veya az yapılmış olmasından kaynaklanan bir belirsizlik mevcuttur. CPM' de ise, yeterli deneyim sayesinde faaliyet zamanları gerçeğe yakın bir doğrulukta bilinir.

PERT yöntemi, genellikle ilk kez yapılan veya çok az yapılmış olan projelerde kullanılır. Bu nedenle, faaliyet süreleri %100 belirli olmayıp, olasılıklara bağlıdır. Faaliyet süreleri; iyimser, kötümser ve en olası düşünüşle kestirilmeye çalışılır.

CPM' de ise faaliyet süreleri bilinir, çünkü benzer projeler daha önce bir çok kez yapılmıştır. Yeterli deneyim ve bilgi birikimi bulunduğundan, faaliyet süreleri belirli olarak kabul edilir. Beklenmedik bazı nedenlerle, bu sürelerden sapmaların olması doğaldır, fakat çoğunlukla faaliyet zamanları, beklenen zamanlara uygun olarak gerçekleşir.

4.2 Projenin Adımları

Proje planlama aşamasında yer alan adımlar aşağıda gösterilmektedir:

- ❖ Amaçların ortaya konması: Projeyi zorunlu kılan nedenlerden yola çıkarak projenin ana amacı veya amaçları belirlenir. Ana amaçlara varabilmek için gerçekleştirilmesi gereken hedefler ve dönüm noktaları belirlenir.
- ❖ Proje planlarının oluşturulması: Projeyi oluşturan tüm faaliyetleri sistematik olarak listeleyerek faaliyetler arasındaki ilişkileri ortaya çıkarabilmek için, hangi faaliyetin diğerlerinden önce veya sonra yapılması gerektiği belirlenir. İlişkiler ve öncelikler şematik olarak gösterilir.

Proje programlama aşamasında yer alan adımlar; proje ağ şemasının zaman bakımından donatılması, proje süresinin değerlendirilmesi ve proje takviminin hazırlanması olarak sıralanabilir.

Proje ağ şemasının zaman bakımından donatılmasında; her faaliyet için gerekli zamanın belirlenmesi, proje süresinin bulunması, kritik faaliyetler belirlenmesi ve kritik olmayan

faaliyetlerin en geç ve en erken başlama zamanları ve bolluklarının hesaplanması adımları gerçekleştirilir.

Proje süresinin değerlendirilmesinde; başlangıçta hesaplanan proje tamamlanma zamanı uygun değilse, kabul edilen zamana göre ayarlamalar yapılır.

Proje takviminin hazırlanmasında faaliyetlerin başlama ve sonuçlanma tarihleri oluşturulur.

4.2.1 Faaliyet zamanları

Ağ şeması oluşturulmasından önce veya oluşturulduktan sonra faaliyet sürelerinin belirlenmesi gerekir. Ancak, süreler belirlendikten sonra proje süresi belirlenir ve kritik yol ortaya çıkar.

Faaliyetlerin belirlenmesinde dikkat edilecek hususlar aşağıda sıralanmıştır;

- ❖ Zaman tahminleri en iyi kaynaktan temin edilmelidir. Geçmiş yıllara ait rakamlar, işi yapacak olan personel, malzeme teslimi için satın alma bölümü tahminlerin en iyi şekilde elde edilebileceği belli başlı kaynaklardır.
- ❖ Her faaliyet hakkındaki zaman tahminleri, faaliyetler tek tek ve birbirinden ayrı bir şekilde ele alınarak yapılırlar. Bir faaliyet hakkında zaman tahmini yapılırken diğer faaliyetlerin o faaliyet üzerindeki etkisi kesinlikle göz önüne alınmaz.
- ❖ Her bir faaliyetin zaman tahmini; normal ve uygulamada kullanılan miktarda işçi, makine ve malzeme kullanıldığı düşünülerek yapılır. Bir firmanın elinde çukur kazma faaliyeti için ayırabileceği 12 işçisi olsa ve çukurun hacmi ancak 3 kişinin çalışabileceği kadar ise, o takdirde normal işçi sayısının 3 olduğu kabul edilecek ve zaman tahminleri buna göre yapılacaktır. Uygulamada kullanılan miktarın ne olduğu konusunda tereddüde düşüldüğünde, normale yakın bir zaman tahmini kabul edilir. Programlama gerçekleştirildikten sonra düzeltmeler yapılabilir (Erişken vd, 1973).

4.3 Ağ Şemasının Hazırlanması

Başlangıç noktasından başlanarak, bir faaliyet zinciri gidebildiği yere kadar çizilir. Bu işlemler yapılırken öyle bir noktaya gelinir ki, birden fazla faaliyetin aynı düğümde sonuçlandığı görülür. Bu durumda, diğer yolların da aynı düğüme getirilmesi gerekir. Daha sonra, bu noktadan şemanın çizimine devam edilir. Proje sonuna doğru, tüm yolların aynı düğümde sonuçlandığı görülür. Genel olarak kabul görmüş, yaygınlık kazanmış görüş

yukarıda özetlenen görüştür. Bununla beraber, özellikle ilk kez yapılan işler için daha farklı bir yol izlenmesi gerektiği öne sürülür. Bu görüşe göre, projede sonuç bilindiğinden işe son noktadan başlanır ve geriye doğru gidilir. Bu şekilde, sondan başa tüm faaliyetler ağı ortaya çıkarılır.

4.3.1 Kritik yol ve proje süresi

Proje ağ şeması çizildikten sonra faaliyetlerin süreleri yerleştirilerek projedeki alternatif yolların zaman bakımından analizi yapılır. Burada alternatif yoldan kasıt; projenin başlangıç noktasından bitim noktasına birbirinden farklı şekilde gidilebilen birbirinden farklı tüm güzergahlardır. Bu yollar; projenin kritik yolunun hesaplanmasında mümkün yollar olarak anılır.

Mümkün yollar arasında en uzun süreye sahip olan yol, kritik yol olarak seçilir. Kritik yolun özelliği, bu yolun hiç bir gecikmeye tahammülü olmamasıdır. Bu yoldaki en küçük bir gecikme, Dolayısıyla, projeyi oluşturan faaliyetler bu aşamada kritik ve kritik olmayan faaliyetler olarak iki ana grupta toplanabilir.

- ❖ Kritik faaliyetler, bir proje sırasında en çok dikkat edilmesi gereken faaliyetlerdir. Yukarıda da belirtildiği gibi, bunların herhangi birinde meydana gelebilecek bir aksama projeyi doğrudan etkileyerek projenin uzamasına neden olur.
- ❖ Kritik olmayan faaliyetler için bu durum, ancak belli bir zaman aralığının ötesinde söz konusudur. Bolluk adı verilen bu zaman aralıkları aşılmadığı sürece proje süresi bakımından bir problem ortaya çıkmaz. Bolluğu bulunan faaliyetler arasında, bulundukları yol dolayısıyla kritik yola yakın olanlar kritik olmaya aday faaliyetlerdir. Bu faaliyetler de proje yürürken ikinci derecede öneme sahip faaliyetler olarak dikkatle izlenir. Proje sırasında oluşabilecek öngörülemeyen gecikmeler sonucu kritik yol sık sık değişebilir. Bu nedenle projenin yürütülmesi aşamasında, kontrol işlemleri önem kazanır.

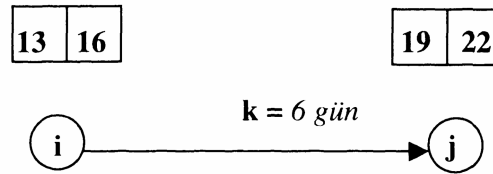
4.3.2 Olayların en erken ve en geç zamanı

Ağ şemasının düğüm noktalarında yer alan olayların, en erken gerçekleşebileceği zaman (Te) ve en geç gerçekleşebileceği zaman (Tg); aynı zamanda o düğümden çıkan faaliyetlerin mümkün olan en erken ve müsaade edilen en geç başlama zamanlarını belirtir. Dolayısıyla, Te ve Tg' yi, hem olaylar (düğüm noktası) hem de faaliyetler bakımından yorumlama olanağı

bulunduğuna dikkat etmek gerekir. T_e ve T_g arasındaki fark; o düğüm noktasının serbestliği, o noktadaki olayın gerçekleşmesindeki gecikme payı veya o noktadan çıkan faaliyetin bolluğudur. Bir düğüm noktası eğer kritik yol üzerinde ise, en erken ve en geç zamanları birbirine eşittir. Bu durumda, düğüm noktasının serbestliği bulunmaz.

4.3.3 Faaliyetlerin en erken ve en geç zamanı

Düğüm noktaları için belirtilen en erken ve en geç zamanlar ile faaliyetler için söz konusu olan en erken ve en geç zamanlar aynı değildir. Faaliyet için en erken başlama veya en geç bitirme zamanından söz edilebilir. Bunlar, kısaca ES ve LF olarak kodlanabilir. Bunlara ilaveten, en geç başlama ve en erken bitirme zamanları da vardır, fakat bu ikisinin pratikte fazla değeri yoktur.



Şekil 4.1 Faaliyetlerin en erken ve en geç zamanı

Bir faaliyetin en erken başlama zamanı veya ES, faaliyetin başladığı düğüm noktasının T_e değeridir. Şekil 4.1’de bu değer 13 olduğuna göre, faaliyet ancak 13. gün başlayabilir, daha önce başlayamaz.

Bir faaliyetin en geç başlama zamanı veya LS, faaliyetin başladığı düğüm noktasının T_g değeridir. Şekil 4.1’de bu değer 16 olduğuna göre, faaliyet en geç 16. gün başlayabilir, daha geç başlarsa projede gecikmeye neden olur.

Bir faaliyetin en erken bitirme zamanı veya EF, faaliyetin sonuçlandığı düğüm noktasının T_e değeridir. Şekil 4.1’de bu değer 19 olduğuna göre, faaliyet ancak 19. gün bitebilir, daha önce bitmesi mümkün değildir.

EF, başlangıç düğümünden yararlanarak,

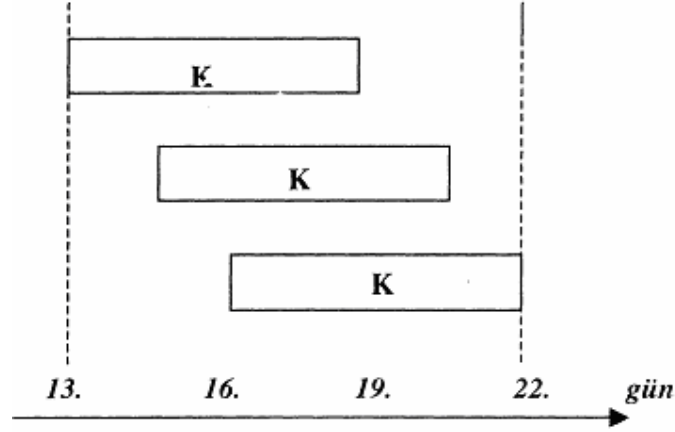
$$EF = (T_e)_i + \text{Faaliyet süresi} = 13 + 6 = 19 \text{ olarak bulunur.}$$

Bir faaliyetin en geç bitirme zamanı veya LF, faaliyetin sonuçlandığı düğüm noktasının T_g değeridir. Şekil 4.1’de bu değer 22 olduğuna göre, faaliyet en geç 22. gün bitmelidir, daha geç biterse proje uzar.

LF, başlangıç düğümünden yararlanarak,

$LF = (Tg)_i + \text{Faaliyet süresi} = 16+6 = 22$ şeklinde bulunur.

Aynı örnek takvim üzerinde ele alınırsa, k faaliyeti üç şekilde yapılabilir:



Şekil 4.2 Takvim üzerindeki örnek

K faaliyeti; ya 13. günde başlar veya 13. gün ile 16. gün arasında başlar ya da 16. günde başlar.

4.4 Bolluk Kavramı

Bolluk veya boş zaman bir faaliyetin, proje süresini etkilemeden gecikebileceği maksimum süredir. Bolluk kavramı hem düğüm noktalan, hem de faaliyetler için geçerli olur. Bununla birlikte daha çok faaliyetler için yorum yapmakta kullanılır.

Bazı hallerde, düğüm noktası birden çok yol üzerinde bulunabilir. Bu durumda, düğüm noktasının bolluğu sıfır (en erken ve en geç gerçekleşme zamanı birbirine eşit) iken, bu noktadan çıkan faaliyetlerden kritik olmayanların bolluğu bulunur. Kritik olanın bolluğu bulunmamaktadır.

Eğer bir faaliyetin süresi, toplam boş zaman miktarı kadar uzatılır veya zamanından geç başlatılırsa projenin nihai süresinde bir değişiklik olmaz. Bu özellik, proje yöneticilerinin projeyi yürütürken işine çok yarar. Bir faaliyette toplam bolluğun hepsi kullanılırsa, ondan sonra gelen faaliyetlerin kritik faaliyet konumuna geçerler.

4.4.1 Bolluk türleri

Ağ yaklaşımında 4 bolluktan söz edilebilir :

- ❖ Toplam bolluk

- ❖ Serbest bolluk
- ❖ Bağımsız bolluk
- ❖ Ara bolluk

Bolluk türleri arasından, toplam bolluk ve serbest bolluk uygulamalarda çok yoğun kullanılırken, diğer ikisi ise daha az kullanılır ve literatürde daha az yer alırlar.

4.4.1.5 Toplam bolluk

Faaliyetin başlayabileceği en erken zamanda başladığını ve faaliyet süresi kadar devam ettiği varsayılır. Faaliyetin bittiği zaman ile faaliyetin en geç tamamlanma zamanı arasındaki fark toplam bolluğu verir. Burada tij faaliyet süresini belirtmektedir.

$$TB = (Tg)_j - ((Te)_i + tij) \quad (4.1)$$

Düğüm noktasına giren veya düğüm noktasından çıkan tüm faaliyetler için projeyi etkilemeden gecikebilecekleri maksimum süreyi gösterir. Faaliyet toplam bolluk miktarı kadar geç başlayabilir veya toplam bolluk miktarı kadar yavaşlatılabilir. Toplam bolluğu küçük olan faaliyetler kritik olmaya aday faaliyetlerdir. Toplam bolluk, tüm bollukların süre bakımından en uzunudur.

4.4.1.6 Serbest bolluk

Faaliyetin başlayabileceği en erken zamanda başladığını ve faaliyet süresi kadar devam ettiği varsayılır. Faaliyetin bittiği zaman ile faaliyetin en erken tamamlanma zamanı arasındaki fark serbest bolluğu verir.

$$SB = (Te)_j - ((Te)_i + tij) \quad (4.2)$$

Serbest bolluk yalnızca o faaliyete aittir, başka faaliyetlere aktarılamaz. Kullanılacaksa, mutlaka, o faaliyette kullanılmalıdır, faaliyet bittikten sonra kullanılamaz. Bu tür faaliyetler, gereksiz yere daha çabuk tamamlanan, kapasite fazlası bulunan faaliyetlerdir. Kaynak dengelenmesinde ve proje süresinin kısaltılmasında kullanılır. Serbest bolluğu olan faaliyet, serbest bolluk miktarı kadar geç başlatılabilir veya kaynakların bir kısmı başka işlere aktararak faaliyet süresi uzatılabilir.

4.4.1.7 Bağımsız bolluk

Faaliyet, olayın en geç gerçekleşme zamanında başlar ve faaliyet süresi kadar devam eder. Faaliyetin bittiği zaman ile faaliyetin en erken tamamlanma zamanı arasındaki fark, bağımsız bolluğa eşittir.

$$BB = (Te)_j - ((Tg)_i + t_{ij}) \quad (4.3)$$

Serbest bolluk gibi, yalnızca ait olduğu faaliyeti ilgilendiren bolluktur. Projede en çabuk tamamlanan işlerde bulunur, bu yüzden kapasite fazlası bulunan faaliyetlerde yer alır.

Süresi en küçük olan bolluk türüdür, bu nedenle, bağımsız bolluğu olan faaliyet, kritik olma olasılığı en az olan faaliyettir.

4.4.1.8 Ara bolluk

Faaliyet, olayın en geç gerçekleşme zamanında başlar ve faaliyet süresi kadar devam eder. Faaliyetin bittiği zaman ile faaliyetin en geç tamamlanma zamanı arasındaki fark, bağımsız bolluğa eşittir.

$$AB = (Tg)_j - ((Tg)_i + t_{ij}) \quad (4.4)$$

Faaliyetlerin en geç başlama zamanlarını saptamada yardımcı olur. Bir faaliyet işleri aksatmamak için, başlangıç düğüm noktasının en geç gerçekleşme zamanından ara bolluk miktarı kadar geç başlayabilir.

Ara bolluğu büyük olan faaliyetlerin kritik olma olasılığı, ara bolluğu küçük olan veya olmayanlara nispeten daha azdır.

4.5 Projeyi Güncelleştirme

Proje başlatıldıktan sonra, proje ağ şeması ve Gantt çizelgesi yardımıyla, projenin plan ve programlara uygun yürüyüp yürümediği denetlenir. Bununla beraber, hiç bir projenin planlandığı şekilde yürümesi beklenemez. Gerçekleşen zamanların programlanmış zamanlara % 100 uyduğu bir proje ile karşılaştırılması olası değildir.

Gerçek faaliyet süreleri ve kaynak maliyetleri çeşitli nedenlerle öngörülen süre ve maliyetlerden farklı olabilir. Böyle durumlarda, yeni bilgileri kullanarak kritik yolu yeniden hesaplamak gerekecektir. Bu hesap sonucunda kritik yol, faaliyetlerin başlangıç ve bitiş zamanları değişebilir.

Gerçekleşen süreler ve maliyetler, öngörülenlerle aynı olsa bile, güncelleştirmeyi yapmak; projenin izlenmesi bakımından önem taşır. Böylece, Gantt çizelgesine veya proje ağ şemasına bakarak, projenin o anki durumu hemen algılanabilir.

Projenin yürütülmesi sırasında ortaya çıkan aksamalar, hatalar, öngörülmemiş gecikmeler veya kaynak kısıtlamaları; faaliyetler arasındaki ilişkileri bir anda değiştirebileceği gibi, kritik yolu da değiştirebilir, proje veya faaliyet başlamadan önce yapılan çalışmaları geçersiz kılabilir. Bu gibi durumlarda, projenin güncelleştirilmesi gerekir. Değişen duruma ve koşullara göre, planlar yenilenecektir. Yeni verilerin mevcut duruma uygulanması ile, son ve geçerli durum elde edilir. Bu çalışmanın en az zahmetle, hızlı ve doğru yapılabilmesi için bilgisayar desteğine gerek duyulur.

Güncelleştirme sırasında yapılması gereken işlemler:

- Sonuçlanmış faaliyetleri gerçekleşen başlangıç ve bitiş tarihleri ile işlemek,
- Tamamlanmamış faaliyetlerin sürelerini yeniden kestirmek,
- Yeni zamanları hesaplayıp kritik yolu işaretlemektir.

4.6 PERT Yöntemi

PERT yönteminin bir çok bakımdan CPM yöntemiyle tamamen aynıdır. Bu bölüme kadar olan bilgiler PERT için de geçerli olmakla beraber, PERT' in kendine özgü bazı özellikleri bulunmaktadır.

Bunların başında, faaliyet sürelerinin hesaplanması gelmektedir. Projeler uygulamaya geçildiğinde, planlanan faaliyetler için öngörülen süreler, çeşitli nedenlerle beklenenden farklı gerçekleşir. PERT yönteminde projenin belirsizlik ortamında yürütüldüğü ve faaliyet sürelerinin adına kısaca şans denilebilecek çeşitli nedenlerden ötürü, değişkenlik gösterdiği kabul edilir. Bu sürelerin belirli bir olasılık dağılımından geldiği varsayılır. Başka bir deyişle, sürelerin birer rassal değişken oldukları ve belirli olasılıklarla değişik değerler alabilecekleri kabul edilir.

Faaliyet sürelerinin olasılıklara bağlı olması nedeniyle, projenin çeşitli bitiş tarihlerine göre, gerçekleşse olasılıklarının hesaplanması mümkündür (Kavrakoğlu vd., 1985).

4.6.1 Faaliyet zamanları

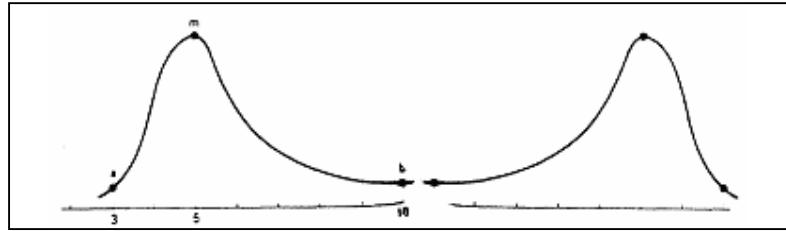
PERT' te her faaliyet için üç farklı zaman belirtilir, bunlar; iyimser zaman, en olası zaman ve kötümser zamandır.

- ❖ İyimser zaman: faaliyetin en erken tamamlanabileceği zamandır ve a ile gösterilir. En olumlu düşünüş ile faaliyetin tamamlanması beklenen zamanı gösterir. Bu süre, üç zaman içinde en kısa süreli olanıdır. Her şeyin uygun gittiği durum için geçerlidir.
- ❖ Kötümser zaman: faaliyetin en geç tamamlanabileceği zaman olup, b ile gösterilir. En olumsuz şartların gerçekleşeceği varsayılır. Üç zaman arasında, en uzun süreli olanıdır.
- ❖ En olası zaman: büyük olasılıkla faaliyetin tamamlanması beklenen zamandır. Kötümser zaman ile iyimser zaman arasında yer alır ve m ile gösterilir.

Her üç zamanın tahmininin proje ile yakından ilgili kişiler tarafından yapılması uygun olur. Üç zaman kullanılması, genellikle böyle bir tahminde oluşabilecek taraflılığı yok etmek içindir. İyimser ve kötümser zaman tahminleri arasındaki farkın genişliği; faaliyetin beklenen zamanda tamamlanmasında yatan riske işaret eder.

4.6.2 Beta dağılımı

Her üç zaman da beta dağılımına uygundur. Zaman ekseninde her üç tahminin yerleştirilmesi sonucu, dağılımın tipi ortaya çıkar. Örneğin, en olası zaman iyimser zamana daha yakın ise, sola çarpık, kötümser zamana daha yakın ise sağa çarpık beta dağılımından söz etmek mümkündür. En olası zaman, her iki zaman değerinin tam ortasında yer alıyorsa, normal dağılım söz konusu olur.



Şekil 4.3 Beta dağılımı: sola çarpık ve sağa çarpık (Yamak, 1998)

İyimser tahmin olarak, faaliyet 20 kez yinelendiğinde ancak bir kez bu veya daha iyi bir süre, kötümser tahmin olarak t_a , yine 20 kez tekrarlandığında ancak bir kez bu veya daha kötü bir

süre oluşabileceği anlaşılmaktadır. Bu değerler, % 5 ve % 95 olasılıklara karşılıktır. En olası zaman ise, olasılık yoğunluk fonksiyonunun üst noktasında x'in aldığı değere karşı gelir.

4.6.3 Beklenen (ortalama) zaman

Her üç zaman tahmininden yararlanarak ağırlıklı ortalama hesabına göre, her faaliyet için beklenen zaman hesaplanır. Beklenen zaman (t_e) aşağıdaki formül yardımıyla bulunur:

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (4.5)$$

Burada a = en küçük değer, m = optimal değer ve b = en büyük değer olarak kabul edilmiştir. Birbirinden bağımsız, belli bir sıradaki faaliyetlerin tümünün beklenen zamanı, her faaliyetin beklenen zamanlarının toplanmasıyla bulunur. Buna göre, örneğin kritik yol üzerindeki faaliyetlerin beklenen zamanları toplanarak kritik yolun ve de projenin beklenen zamanı bulunmuş olur.

Aynı durum, kritik yolun standart sapması hesaplanırken de geçerli olur. Kritik yol üzerindeki faaliyetlerin standart sapmaları toplamı, kritik yolun standart sapmasını verir. PERT yönteminde, her faaliyet için varyans ve standart sapma hesabı yapılabilir.

Varyans (değişim) faaliyetin tamamlanacağı süreye ilişkin belirsizliğin miktarı hakkında fikir verir. Faaliyetin iyimser ve kötümser tahminleri arasındaki fark ne kadar fazla ise, varyansı da o oranda büyüktür.

$$\text{Varyans} = \left[\frac{(b-a)}{6} \right]^2 \quad (4.6)$$

Standart sapma, bir dağılımın yayılma ölçüsüdür. Bir faaliyetin standart sapması,

$$\sigma = \frac{(b-a)}{6} \quad (4.7)$$

ile bulunur.

Standart sapma ve varyans, projenin tamamlanma süresindeki belirsizliklerin birer ölçüsüdürler. Bunların yardımıyla, projenin bitiş süresi hakkında bazı varsayımlar yapma olanağı bulunur.

4.6.4 PERT yönteminde olasılık hesabı

PERT yöntemine göre oluşturulmuş bir ağ şemasında çeşitli olasılık hesapları yapmak mümkündür. Bu yöntemde, faaliyet zamanları üç ayrı değerle temsil edildiğinden, bu tür olasılık hesaplamaları yapmak zor değildir.

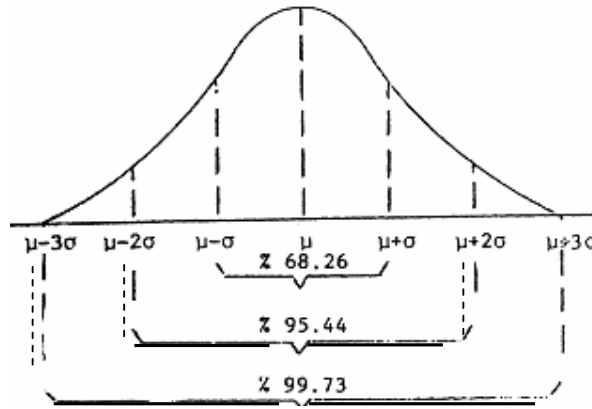
Proje süresiyle ilgili olasılık değerlerinin hesaplanırken, önce normal rassal değişken; z

$$z = (T - T_e) / \sigma_T \quad (4.8)$$

dönüşümüyle standartlaştırmakta ve ondan sonra normal dağılıma ilişkin istatistik tablolarına başvurulmaktadır.

Bu formülde yer alan T ; arzu edilen proje tamamlanma zamanını, T_e ise, beklenen proje tamamlanma zamanını ve σ_T ise, kritik yol üzerindeki standart sapmayı temsil eder.

Örneğin, bu proje için en çok 31 günde bitirilme olasılığı; $z = (31 - 29) / \sigma_{71.5} = 1.33$ ve $P\{z = 1.33\} = 0.909$ olarak bulunur. Projemiz % 91 olasılıkla, en çok 31 günde tamamlanacaktır.



Şekil 4.4 Normal eğri altındaki alan

Şekil 4.8'den görüldüğü gibi; ortalama değer etrafında standart sapmayı kullanarak da olasılık hesabı yapmak mümkündür. Örneğin, $\mu + \sigma$ ile $\mu - \sigma$ değerleri arasında kalan alanın olasılık olarak yüzdesi 68.26'dır. Bunun anlamı; proje yaklaşık % 70 olasılıkla 27.5 ila 30.5 gün arasında tamamlanacaktır. Bir başka sonuç; % 95 olasılıkla proje 26 gün ila 32 gün içerisinde tamamlanacaktır.

4.6.5 PERT diyagramının avantajları

- Hangi görevin önce başlayacağı ve hangi göreve sonra yer verileceği gibi hususları içeren bir görev listesinin yapılması, proje başlamadan büyük avantaj sağlar.
- Network bizi karmaşıklıklardan kurtararak organize olmamızı sağlar. Ve bu gemi ve misil yapımı gibi karmaşık projelerde bize büyük kolaylık sağlar.
- Bir kere kurulan network diyagramını onarmak, üstüne eklemeler yapmak ve proje kontrolü şebekeler yardımıyla daha kolay olur.
- Yöneticilerin proje hakkındaki tereddütlerini ortadan kaldırır. Ne kadar gecikecek, nasıl tamamlanacak, bileşenler arasındaki gevşekliği ortadan kaldırma, hangi elementteki problem projenin tamamlanma süresini geciktirecek gibi kaygıları önler.
- Projenin önünü görmemize yardımcı olur. Kendi içinde tekrar eden aşamalara tek bir elden mücadele ile karşı koyar (Andrews, 2000).

4.6.6 PERT diyagramının dezavantajları

- Şebeke çizimi bize yarar sağlar fakat süre tahminlerinin doğru yapıldığı sürece, aksi halde karmaşık bir organizasyon söz konusu olur.
- Şebeke diyagramlarını izlemek bazen zorlaşır. İçinde eğer pek çok bölüm ve görev içeriyorsa, karmaşık yapısına göre büyük dikkat ister ve hatta problemin köküne inmek gerekebilir ki diyagramlardan bunu yapmak mümkün değildir (Andrews,2000).

4.7 Proje Algoritması

Aşağıda incelenecek örnekte bir projenin başından sonuna kadar yapılması gerekenler özetlenmiştir.

Bir projede izlenecek adımlar;

- ❖ Projenin tarifi
- ❖ Proje elemanlarının belirlenmesi
- ❖ Faaliyetler arasındaki ilişkilerin tanımlanması (öncelikler)
- ❖ Faaliyet sürelerinin belirlenmesi (kaynak kullanımı ve maliyetler)
- ❖ Ağ şemasının çizimi
- ❖ Mümkün yolların belirlenmesi
- ❖ Kritik yol tespiti ve proje süresi
- ❖ Düğüm noktalarına ilişkin serbestliklerin hesaplanması (en erken, en geç zamanlar)
- ❖ Kritik olmayan faaliyetlerde serbestlik hesabı
- ❖ Analiz: Proje süresi kısalabilir mi? (Kaynak aktarımı veya ilave kaynak temini)

❖ Analiz: Kaynaklar dengeli mi?

Bu adımlar aşağıdaki örnek geliştirme projesi proje üzerinde gösterilecektir. Söz konusu proje, yeni ürün geliştirme projesidir. Şirket, ürünü bir imalatçıya yaptıracak, ambalajlayarak dağıtıcıları kanalıyla satacaktır. Pazar araştırması yeterli talebi belirlemeye yardımcı olmuş ve buna göre satış gücünü tespit etmiştir.

Projedeki adımlara kısaca bakılırsa:

❖ Projenin amacı

Üst yönetimi, şirketin ürünü en kısa zamanda pazara sunmasına karar vermiştir.

❖ Proje faaliyetlerinin belirlenmesi

Projede yapılması gereken işler aşağıda gibi belirlenmiştir:

- Satış bölümünün örgütlenmesi
- Satış gücünün temini
- Satış gücünün eğitilmesi
- Reklam şirketinin belirlenmesi
- Reklam kampanyasının planlanması
- Reklam kampanyasının yürütülmesi
- Ambalaj tasarımı
- Ambalaj biriminin kurulması
- Üreticiden gelen ürünlerin ambalajlanması
- Üreticiye siparişin verilmesi
- Dağıtıcıların seçilmesi
- Dağıtıcılara satış
- Dağıtıcılara ürün sevkıyatı

❖ Faaliyetler arası ilişkiler

Faaliyetler arasındaki ilişkileri saptamak, ağ şemasının çizimi için gereklidir. Bu maksatla, işi önemli bölümlerine ayırmak ve faaliyetleri bu şekilde gruplandırmada yarar vardır. Bu şekilde, ağ şemasının çizimi için önemli bir adım atılmış olur.

İşin bölümleri arasındaki ilişkileri saptamak ilk adımdır. Daha sonra, her grubu kendi içinde ilişkilendirmek yararlı olur. Bunu yaparken kullanılan bir yöntem de, İş Dağılım Yapısı (work break down analysis) diye adlandırabilecek bir tekniktir (Yamak, 1998).

5. BULANIK MANTIK

İngilizce “fuzzy logic” kelimelerinin sözlük anlamı olan bulanık mantık, çok net olmayan mantığa dayalı önermelerin, mantık süzgecinden geçirilerek incelenmesinin yapıldığı bir metot olarak adlandırılabilir. Bu metot 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 için ideal 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 metotlar 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 varoluşuna gereken önemi vermediği tartışılmıştır. Bununla beraber, bütün bu yapıların geleneksel metotlar içerisinde birleştirilmesiyle, mantıklı bir matematiksel modelin tanımlanması hemen hemen imkânsızlaşır.

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 metotlara 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 birçok 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 sözelleştirilmesinde ve bir çok 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 bilgi indirgenmesi 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 tanınmasıdır. Bu nedenle lineer olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için özellikle uygundur. Bulanık mantık yaklaşımı, makineler insanlara özel verilerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve örneşilerinden yararlanarak çalışabilme yeteneğı verir (Elmas, 2003).

Bulanık mantık konusunda yapılan araştırmalar Japonya'da oldukça fazladır. Özellikle fuzzy process controller olarak isimlendirilen özel amaçlı bulanık mantık mikroişlemci çipinin üretilmesine çalışılmaktadır. Bu teknoloji fotoğraf makineleri, çamaşır makineleri, klimalar ve

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 görölür. Kesin sınırlar söz konusu olmadığı için kavram matematiksel olarak da kolayca formüle edilemez. Ama genel olarak 35 ile 55 yaşları orta yaşlılık sınırları olarak düşünölebilir. 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 anlaşılabileceği 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 ya da karmaşıklıktan uzak olmasıdır.
- ✓ Bulanık mantık esnektir.

- ✓ Eksik ya da yetersiz verilerle işlemler yapılabilir.
- ✓ Bulanık mantık karmaşık lineer olmayan fonksiyonları modelleyebilir. ANFIS gibi uyarlanabilir teknikler yardımı ile herhangi bir girdi ve 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)

5.1 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).

5.1.1 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 kavramı, 'belirsizlik' in bir tür biçimlenişi, formüllendirilmesidir. Bir çeşit çok-değerli küme kavramıdır. Fakat işlemleri, diğer küme kavramlarınınkinden farklılıklar gösterir. Kümedeki her bir birey, çift-değerli küme kavramlarında olduğu gibi 'üye' ya da 'üye değil' olarak değil de, bir dereceye kadar üye olarak görülür.

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

Aristo mantığına göre insanlar boy bakımından ya uzundur ya değildir. Halbuki, Zadeh yaklaşımına göre uzun boyluluğun değişik dereceleri vardır. Uzun boylulardan bir tanesi

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 alışlagelen klasik küme kavramında, bir kümeye giren öğelerin oraya ait oluşları durumunda üyelik dereceleri 1’e, ait olmamaları durumunda ise 0’a eşit var sayılmıştır. 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 derecelerinin de 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 biçimde 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 dışbükey bir bulanık küme olmalıdır.

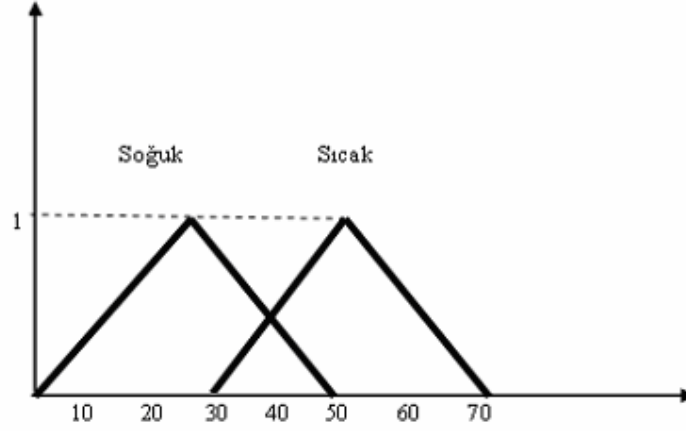
A 'nın desteği, ${}^{0+}A$, sınırlı olmalıdır (Klir ve Yuan, 1995).

5.1.2 Bulanık sayılar

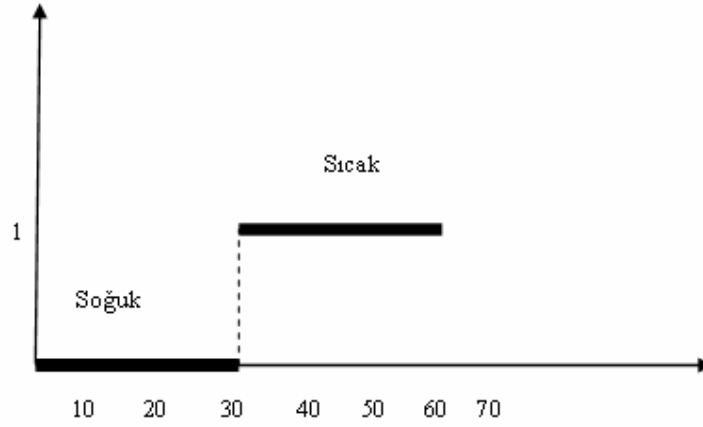
Bulanık sayılar, orijinal olarak ölçülen değişkenlerin genel bir ölçeğe dönüştürülmesi için kullanılır. Bir bulanık sayı, bulanık kümeler arasında ve gerçel sayıların bulunduğu yer içerisinde tanımlıdır (Klir ve Yuan, 1995).

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 5.1 Bulanık mantık modeli



Şekil 5.2 Klasik mantık modeli

5.1.2.1 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 üst sınırlarının 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.

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

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

5.1.3 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 sırlanabilir.

5.1.3.1 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.

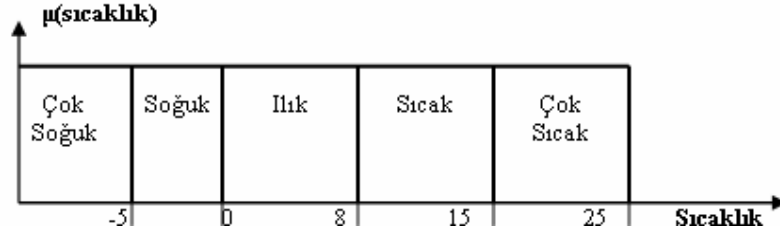
- Toplama: $A(+)B = (x_1 + y_1, x_2 + y_2, x_3 + y_3)$ şeklinde ifade edilmektedir.
- Çıkarma: $A(-)B = (x_1 - y_3, x_2 - y_2, x_3 - y_1)$ şeklinde gösterilmektedir. Sonuç yeniden üçgensel bir bulanık sayı olmaktadır.
- Üçgensel Bulanık Sayının Simetriği: $A = (x_1, x_2, x_3)$ üçgensel bulanık sayı olarak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

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

- Çarpma: $A \otimes B = (x_1 \cdot y_1, x_2 \cdot y_2, x_3 \cdot y_3)$ 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 sayı da bir üçgensel bulanık sayı olmaktadır.

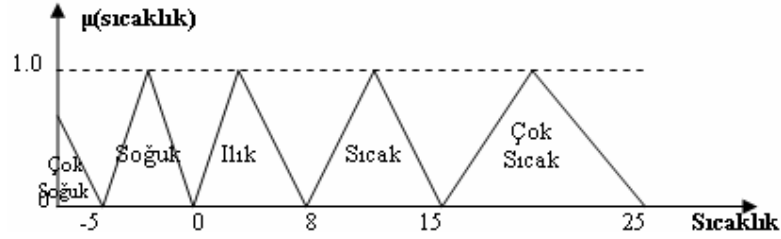
5.1.4 Üyelik fonksiyonları

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 uzayının da “çok soğuk”, “soğuk”, “ılık”, “sıcak”, “aşırı sıcak” gibi bir takım alt aralıklardan oluştuğu düşünülür. Çok soğuğun -5 derece ile 0 derece, soğuğun 0 derece ile 8 derece, ılığın 8 derece ile 15 derece, sıcaklığın 15 derece ile 25 derece, çok sıcaklığın 25 dereceden başladığı söylenebilir. Burada dikkat edilirse aralık tahminlerinde bulunmuş ve her bir alt aralıktan biri bitince diğeri başlamıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 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 kelimesinin üyelik fonksiyonu yüksekliği 1'e eşit olan bir dikdörtgen şeklindedir.

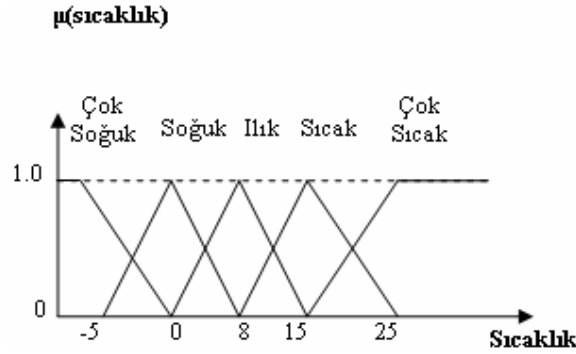


Şekil 5.4 Bitişik üçgen gösterim

Şekil 5.4'de yukarıdaki tartışmanın bir doğal sonucu olarak en basit üçgen üyelik fonksiyonları bitişik olarak alınmıştır. Bu üçgenlerin de sıcaklık alt kümelerini tam yansıtmadığı açıktır. Çünkü burada da sınırlardaki sıcaklık değerlerinin üyelik dereceleri sıfır olarak düşünülmüştür. Ayrıca, bu sınır değerleri ne alttaki ne de 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 5.3'den farklı olarak üyelik derecesi 1'e eşit değildir.

Biraz daha makul düşünen birisi, bu aralıkların arasındaki geçiş kısımlarının böyle birbirinin devamı olmayacağını ve bir örtüşmenin söz konusu olabileceğini söylerse, daha mantıklı, günlük hayatta geçerli ve uzlaştırmacı 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

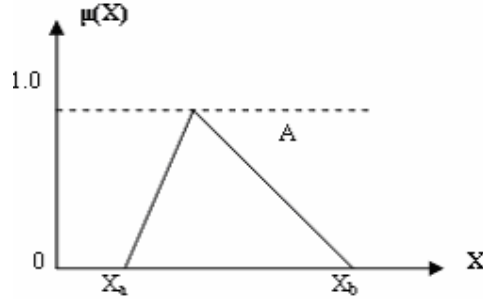
şüpheli, yani bulanıktır (Ross,1995). Böylece, sıcaklık alt aralıklarının birbiri ile örtüşmeli geçişlere sahip olmasının gerekliliği ile sonuçta Şekil 5.5’de verilen üyelik fonksiyonlarına varılır.



Şekil 5.5 Örtüşmeli üçgen gösterim

Yukarıda söylenenlerden sonra 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 değil de 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 değerlerin ise 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 5.6 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

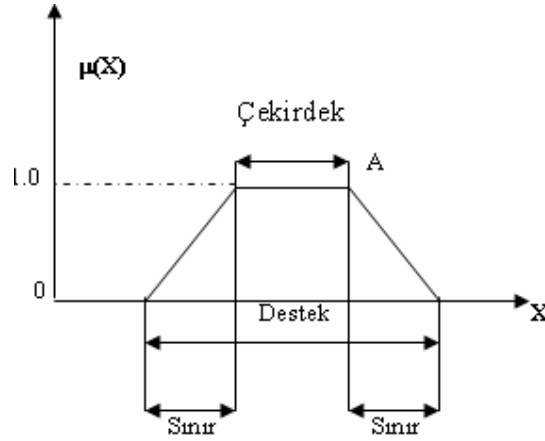
$$\mu_A : x \rightarrow [0,1] \quad (5.1)$$

şeklinde tanımlanır. Buna bağlı olarak da bulanık A kümesinin tanımı

$$A = \{(x, \mu_A(x) | x \in X)\} \quad (5.2)$$

şeklinde dir. Matematik kurallarına uygun olarak düzgün şekilli üyelik fonksiyonlarını şekil 5.7’de gösterilen üçgenden başka, yamuk veya çan eğrisi şeklinde de olabilir. Ancak pratik uygulamalarda bunlardan en fazla üçgen olanı kullanılır.

Her hangi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunun çekirdeği (Şekil 5.5), A kümesi içinde üyelik derecesi “1” eşit olan elemanların kümesidir.



Şekil 5.7 Bir bulanık kümenin çekirdek, destek ve sınır kısımları (Şen, 2001)

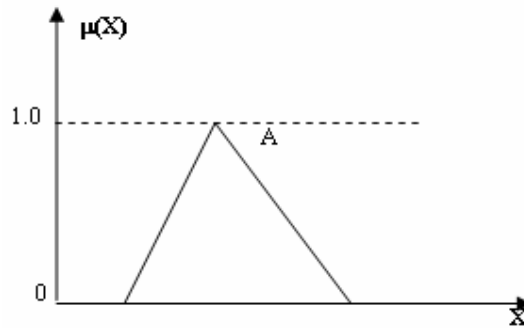
Her hangi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunun destek kısmı (Şekil 5.7), A kümesi içindeki sıfır olmayan üyelik değerlerini karakterize eden evrensel küme olarak tanımlanır ve

$$\text{Supp } A = \{x \in X | \mu_A(x) > 0\} \quad (5.3)$$

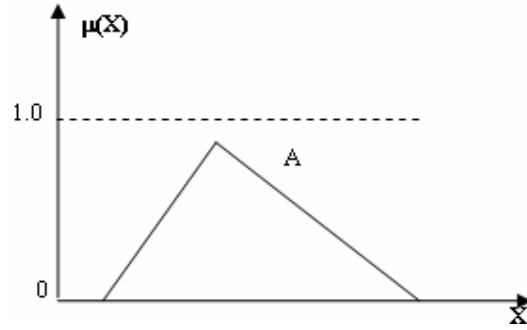
ile gösterilir.

Her hangi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunun sınırları (Şekil 5.10), 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 x elemanına sahiptir (Şekil 5.8).

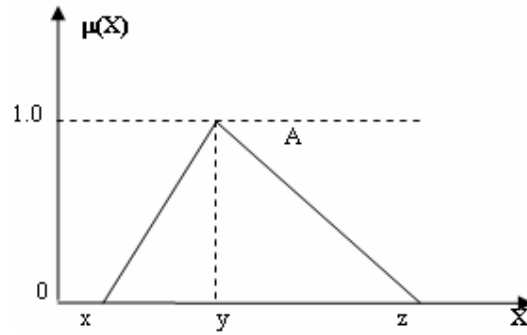


Şekil 5.8 Normal bulanık küme (Ross, 1995)



Şekil 5.9 Subnormal bulanık küme (Ross, 1995)

A bulanık kümesinin yüksekliği üyelik fonksiyonunun maksimum değeridir. $\max\{\mu_A(x)\}$ ile gösterilir. Eğer bu değer 1'den küçük ise bu bulanık küme subnormal bulanık kümedir (Şekil 5.9).

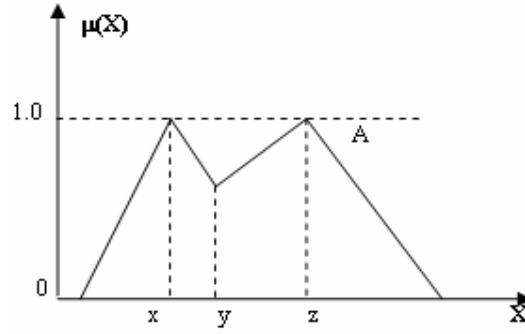


Şekil 5.10 Konveks normal bulanık küme (Ross, 1995)

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;

$$\mu_A(y) \geq \min [\mu_A(x), \mu_A(z)] \quad (5.4)$$

denklemini sağlanıyorsa bu bulanık küme, A, konveks bulanık kümedir (Şekil 5.10). Her hangi iki konveks kümenin kesişimi de konveks bulanık kümedir. Üyelik fonksiyonunda üyelik değerleri 0,5 olan noktalar fonksiyonun cros-over noktaları olarak tanımlanır.



Şekil 5.11 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 önce de 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, her hangi 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.

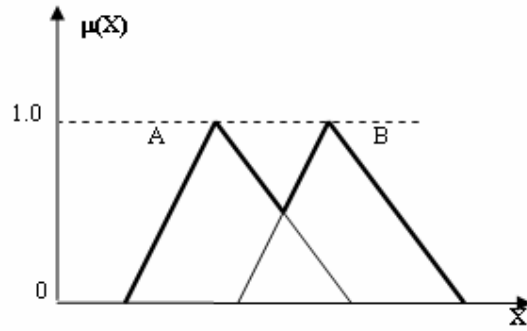
Bulanık kümelerin de, klasik kümelerdekine benzer özellikleri vardır. Bu özellikler genel olarak grafik gösterimleriyle açıklanmıştır. Bunun sebebi, uygulama çalışmasının da grafik yöntemle çözülecek olmasıdır.

5.1.5 Birleşme özelliği

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

$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max}\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (5.5)$$

Birleşme özelliği şekil 5.12’de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.12 Bulanık kümelerin birleşme özelliği

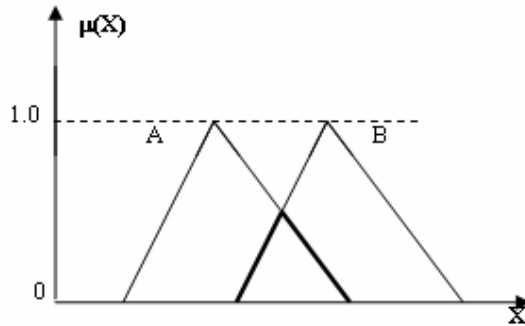
Örneğin; “uzun boylular” kümesine 0.5 üyelik derecesiyle, “şişmanlar” kümesine de 0.3 üyelik derecesiyle üye olan bir kişi, bu kümelerin birleşimi olan “uzun boylular VEYA şişmanlar” kümesine 0.5 üyelik derecesiyle üyedir.

5.1.6 Kesişme özelliği

$A \cap B$ kesişimin üyelik fonksiyonu $\mu_{A \cap B}(x)$ üyelik fonksiyonu, $x \in X$ ’in her değeri için aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min}\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (5.6)$$

Şekil 5.13’de (5.6) eşitliğinin grafik ifadesi gösterilmiştir.



Şekil 5.13 Bulanık kümelerin kesişme özelliği

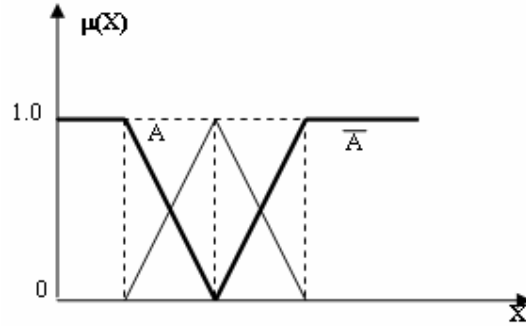
Birleşme özelliği için verilen örnek kesişme özelliği için şu şekilde düzenlenebilir; “uzun boylular” kümesine 0.5 üyelik derecesiyle, “şişmanlar” kümesine de 0.3 üyelik derecesiyle üye olan bir kişi, bu kümelerin kesişimi olan “uzun boylular VE şişmanlar” kümesine 0.3 üyelik derecesiyle üyedir.

5.1.7 Evrik alma özelliği

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

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (5.7)$$

İfadenin grafiksel gösterimi şekil 5.14'de görülmektedir.



Şekil 5.14 Bulanık kümelerin evrik alma özelliği

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

5.1.8 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.

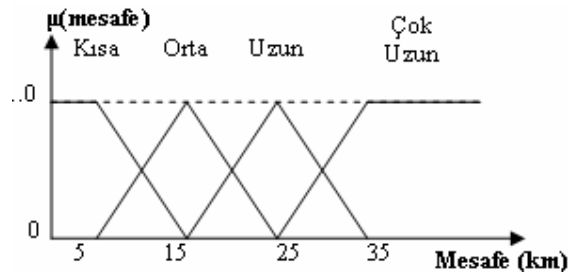
Üyelik fonksiyonları simetrik veya asimetrik olabilirler. Bu fonksiyonlar tek boyutlu kümelerde tanımlandığı gibi çoklu-boyut kümelerde de tanımlanabilirler. Burada gösterilen fonksiyonlarda tek boyutlu eğriler gösterilmektedir. İki boyutlu durumlarda da bu eğriler yüzeyleri, üç ve daha fazlası için 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 değeri n-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, tabi ki, üyelik fonksiyonunun çizimi belli bir kümedeki üyelik içindir, frekansla veya olasılık yoğunluk fonksiyonu ile ilişkili değildir (Ross,1995).

5.1.9 Üyelik derecesinin belirlenmesi

İhtimaller hesabından bilineceği gibi rastgele bir değişkene değişik ihtimal yoğunluk fonksiyonları uydurulabileceği düşüncesine benzer olarak, bulanık kümeler 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 birçok 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,
- Mertebelendirme,
- 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 görüş ileriye 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 5.15’de görüldüğü gibi belirli bir geometrik şekil ile temsil edilebilir.



Şekil 5.15 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 yaşayanlarınki 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 iç açıları toplamı 180° 'dir. İşte bu bilgiden hareketle bir çıkarıma gidilebilir. Üçgenlerin yaklaşıklıkla eşkenar (E), ikizkenar (İ), dik açılı (D), dik açılı eşkenar (DE) ve diğerleri (Dİ) 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 ikizkenar 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

$$\mu_I(A,B,C)=1-(1/60) \text{ Min}(A-B,B-C) \quad (5.8)$$

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

$$\mu_D(A,B,C)=1-(1/90)|A-90^\circ| \quad (5.9)$$

Şeklinde ifade edilir. Mesela $A=90^\circ$ için dik üçgenin üyelik derecesi $\mu_D(X)=1$ ve $A=180^\circ$ için ise $\mu_D(X)=0$ '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) işlemleri ile

$$\mu_{I \cup D}(A,B,C)=\text{Min} [\mu_I(A,B,C), \mu_D(A,B,C)] \quad (5.10)$$

şeklinde ifade edilebilir (Ross, 1995).

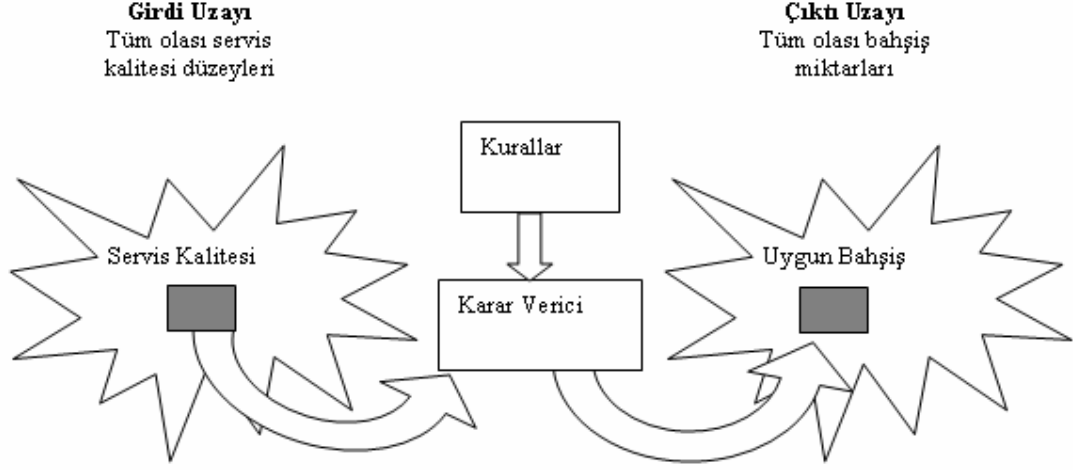
Üyelik fonksiyonu tayininde mertebelendirme yöntemi de kullanılır. Burada bir bulanık değişken hakkında anketler, soruşturmalar veya seçimler yapılarak üyelik derecelerinin tayinine çalışılır. Her zaman, verilen iki seçenek arasındaki tercihler sayılır ve bu tercihlere verilen puanlandırmalarla işlemler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

5.1.10 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 bahşış miktarı” kararı alınması verilebilir (Şekil 5.16). İnsanlar bahşış verecekleri zaman servisi çeşitli kriterlere göre ölçüp, bir bahşış fonksiyonuna sokmazlar. Yapılan şey çok basittir. “EĞER servis kalitesi ‘çok iyi’ İSE ‘çok’ bahşış ver” gibi birkaç tane kuralla konu açıklığa kavuşmuş olur.



Şekil 5.16 Bir girdi altkümесinin bir çıktı altkümесine 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, her hangi 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 kabul de çıktı uzayı için yapılmalıdır. Bahşış miktarının en küçük değeri %0 ve en büyük değeri de %25 olsun.

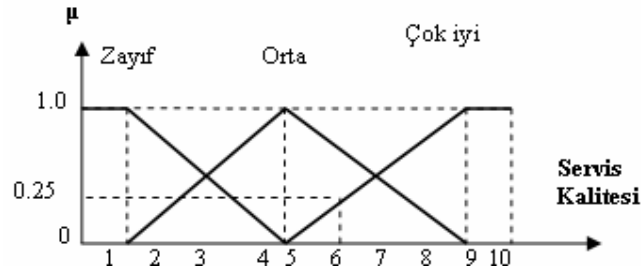
Yukarıdaki kabuller ışığında çıktı (bahşış miktarı) şu adımlar izlenerek oluşturulur.

- ❖ Kesin (crisp) girdinin bulanıklaştırılması (Fuzzification)
- ❖ Kural tabanı vasıtasıyla çıkarım (Inference)
- ❖ Çıktının durulaştırılması (Defuzzification)

5.1.11 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 5.17).

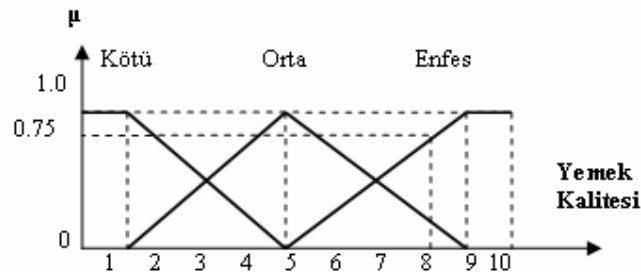


Şekil 5.17 Servis kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu

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

Bahşış örneğine, üyelik fonksiyonu şekil 5.18’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.



Şekil 5.18 Yemek kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu

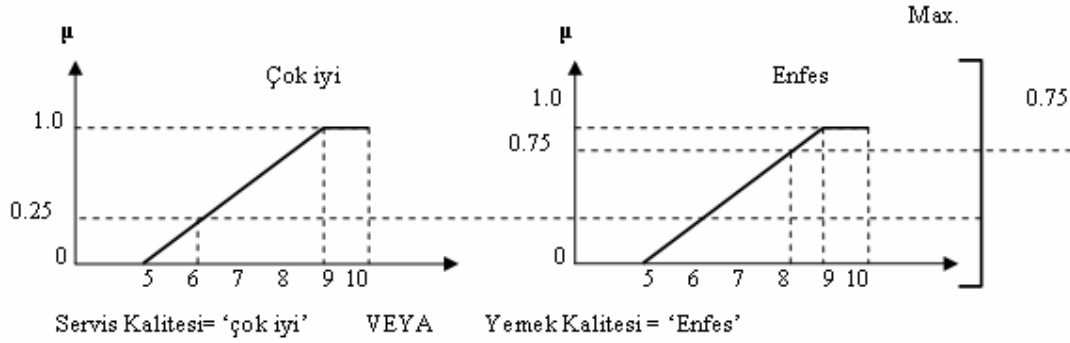
Yemek kalitesine verilen 8 puanı, 0.75 üyelik derecesi ile “Enfes” kümesine üyedir (Şekil 5.18).

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.

$$\mu_{\text{Çİ} \cap \text{EN}} = \text{Max}\{\mu_{\text{Çİ}}(6), \mu_{\text{EN}}(8)\} = \text{Max}\{0.25, 0.75\} = 0.75 \quad (5.11)$$

Bu ifade şekil 5.19’da grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.19 İki girdi değişkeninin bulanıklaştırılması

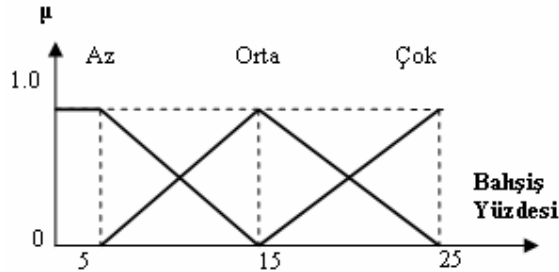
Bu işlem sonucunda elde edilen 0.75 değeri, kural tabanının soncul (İSE'den sonraki) kısmında verilen uzayı daraltan bir çıkarımda rol oynar.

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.

5.1.12 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.

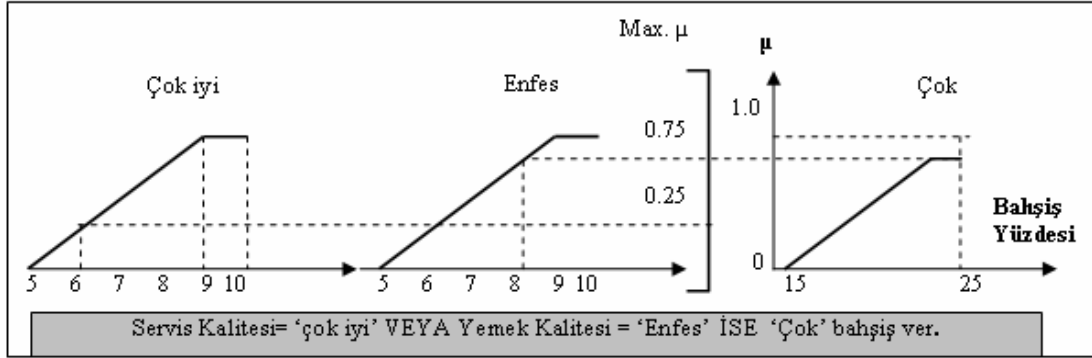
Çıkarım kısmında bahşiş miktarının da üyelik fonksiyonuna ihtiyaç vardır. Bahşiş miktarının üyelik fonksiyonu şekil 5.20’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20 Bahşiş miktarı değişkeninin üyelik fonksiyonu

Aynı örnek devam ettirilirse, bulanıklaştırma sonucunda elde edilen 0.75 değerinin, kural tabanında belirtilen “çok” bahşiş kümesine uygulanması gerekir. Değerin kümeye uygulanmasıyla, bahşiş uzayı daralmaya uğrayacak ve uygun bahşiş miktarının bulanık

kümesini verecektir (Şekil 5.21). Kural sayısının birden fazla olması durumunda, her bir kuraldan elde edilen çıktıların bileşkesi, çıktı bulanık kümesini verir. Kesin bir çıktı değeri (Uygun bahşiş oranı) ise durulaştırma işleminden sonra elde edilir.



Şekil 5.21 Bulanık çıkarım kümesi

5.1.13 Durulaştırma (Defuzzification)

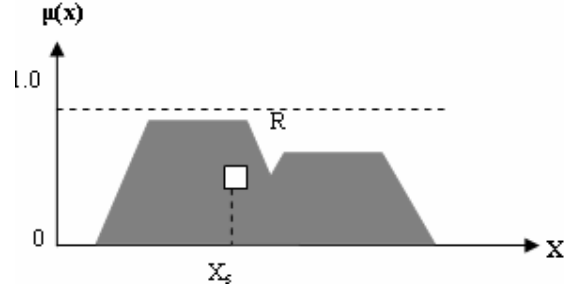
Bulanık çıkarım kümesinden yola çıkarak kesin bir sayı elde etme işlemine durulaştırma denir. Durulaştırma işlemi için birçok metot mevcuttur. Ancak bu metotlardan yedi tanesi son yıllarda araştırmacılar tarafından sıklıkla önerilmektedir (Ross, 1995). Bu çalışmada, uygulamalarda sıkça kullanılan bu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

5.1.13.1 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 iz düşümünde bulunan x_s değeri, kuralın kesin (crisp) çıktısı olarak kabul edilir. Anlatılanların matematiksel olarak ifadesi şöyledir (Ross,1995):

$$x_s = \frac{\int \mu_R(x) x dx}{\int \mu_R(x) dx} \quad (5.12)$$

Şekil 5.22'de durulaştırmanın grafiksel gösterimi verilmiştir.



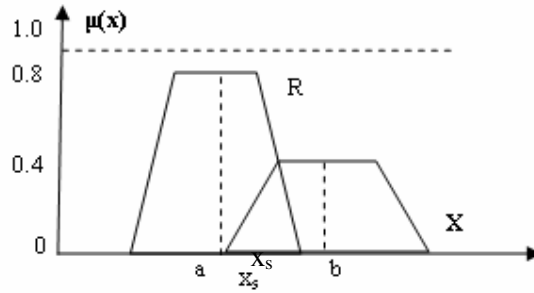
Şekil 5.22 Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma

5.1.13.2 Ağırlıklı ortalama yöntemi

Bu yöntem üyelik fonksiyonlarının simetrik olduğu durumlarda kullanılır.

$$x_s = \frac{\sum \mu_R(\bar{x}) \cdot \bar{x}}{\sum \mu_R(\bar{x})} \quad (5.13)$$

Matematiksel ifadesi ile işlem (5.13) eşitliği şeklindedir (Ross,1995). Grafikselle gösterim şekil 5.23’de verilmiştir.



Şekil 5.23 Ağırlıklı ortalama yöntemiyle durulaştırma (Şen,2001)

5.1.13.3 En büyük üyelik derecesi

Bu yönteme göre çıktının kesin değeri, en büyük üyeliğin olduğu noktadır. Tepesi sivri olmayan kümelerde ise, en yüksek üyeliğe sahip olan düzlüğün orta noktasının iz düşümü çıktının kesin değerini verir.

6. BULANIK PERT ve CPM

6.1 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 metotlardan 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 çözüme 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 bulanık en erken başlama-bitiş ($\tilde{E}\tilde{S}_i - \tilde{E}\tilde{F}_i$) ve geriye doğru geçişte, bulanık en geç başlama-bitiş zamanları ($\tilde{L}\tilde{S}_i - \tilde{L}\tilde{F}_i$) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\tilde{E}\tilde{S}_i = \max_{v_j \in \tilde{P}_i} [\tilde{E}\tilde{S}_j (+) \tilde{A}_j] \quad (6.1)$$

$$\tilde{E}\tilde{F}_i = \tilde{E}\tilde{S}_i (+) \tilde{A}_i \quad (6.2)$$

$$\tilde{L}\tilde{F}_i = \min_{v_j \in \tilde{S}_i} [\tilde{L}\tilde{F}_j (-) \tilde{A}_j] \quad (6.3)$$

$$\tilde{L}\tilde{S}_i = \tilde{L}\tilde{F}_i (-) \tilde{A}_i \quad (6.4)$$

$\tilde{A}_j$ 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 durumlar da, 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

$$m(\tilde{A}) = 1/3(a + b + c) \quad \text{ve} \quad s(\tilde{A}) = 1/18(a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc) \quad (6.5)$$

olduğu kabul edilmiştir (Gencer ve Tükbey, 2001).

6.2 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 deterministik bir yöntemdir (Chanas ve Zielinski, 2001). Oysa gerçek dünya uygulamalarında, belirlilik, gerçeklik ve verilerin kesinliği sık sık aldatıcıdır. Projenin planlamasında işler 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.

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

$$\left(\frac{a + 2b + c}{4} \right) \quad (6.6)$$

formülü ile temsilci değerleri belirlenmiş ve kendi aralarında büyük olan değer kötümser, ortanca değer optimal, en küçük olan değer de 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 metottur. Çoğu karar sürecinin belirsiz olduğu düşünülürse, CPM'in etkin ve kullanışlı bir metot olduğu anlaşılır.

7. 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 elektrik motoru geliştirme düşüncesi ile prototip motor yapılması seçilmiş ve X, Y ile Z firmalarının proje ekiplerinden, proje faaliyetleri ve süreleri ile ilgili kesin ve bulanık değerler alınmıştır. Faaliyet tanımları ve kodları Çizelge 7.1’de yer almaktadır.

Çizelge 7.1 Faaliyet Tanımları ve Kodları

Faaliyet Kodu	Önceki Faaliyet	Faaliyet Tanımı
A	-	Motor Bilgileri
B	A	Motor Tasarımı
C	B	Analiz
D	C	Stator Lamba İmalatı
E	D	Stator Gruplaması
F	C	Kapak İmalatı
G	C	End. Lamba İmalatı
H	C	Mil İmalatı
I	G,H	End. Çekirdek Grubu
J	I	Motor Sargısı
K	F	Montaj

7.1 Klasik ve Bulanık CPM ile Proje Süresinin Hesaplanması

7.1.1 Klasik CPM ile proje süresinin hesaplanması

Klasik CPM için, 3 firmadan alınan ortalama kesin faaliyet süreleri gün olarak Çizelge 7.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2 Kesin Faaliyet Süreleri

Faaliyet Kodu	Önceki Faaliyet	Faaliyet Süresi (gün)
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

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 7.1 Kesin faaliyet sürelerinin WinQSB ekranında gösterimi

Şekil 7.1’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

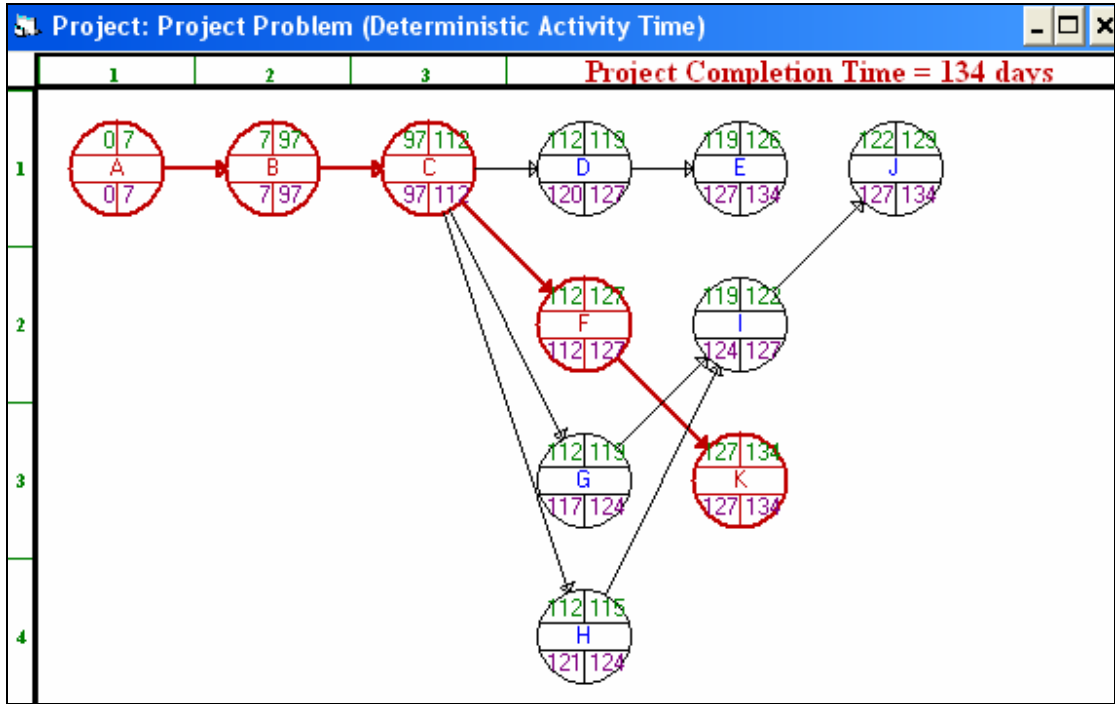
Şekil 7.2 Kesin faaliyet zamanları için WinQSB ile proje tamamlanma zamanının hesaplanması

WinQSB programı ile bu problemin tamamlanma süresi 134 gün olarak hesaplanmış ve kritik yol A-B-C-F-K olarak belirlenmiştir. Bu durum Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'te gösterilmiştir.

05-17-2008	Critical Path 1
1	A
2	B
3	C
4	F
5	K
Completion Time	134

Şekil 7.3 Projenin kritik yolunun, beklenen tamamlanma süresinin gösterimi

Problemin WinQSB programı ile grafiksel CPM çözümü Şekil 7.4'te gösterilmiştir.



Şekil 7.4 Grafiksel CPM çözümü

7.1.2 Bulanık CPM ile Proje Süresinin Hesaplanması

Çizelge 7.3'te X,Y ve Z firmalarından alınan faaliyet süreleri üçgensel bulanık sayı olarak kabul edilmiş ve bu sayıların temsilci değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 7.3 Elektrik motorunun prototipi 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 7.4 Herbir faaliyet için kötümser ve iyimser 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 7.5 Her bir faaliyet için 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 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	0	7	0	7	<u>0</u>
B	Yes	87,5	7	94,5	7	94,5	<u>0</u>
C	Yes	15	94,5	109,5	94,5	109,5	<u>0</u>
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	<u>0</u>
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	<u>0</u>
Project Completion Time		=		131,75	days		
Number of Critical Path[s]		=		1			

iyimser optimal
çözümü

Şekil 7.6 Her bir faaliyet için iyimser 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 yönteme 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.

7.2 Klasik ve Bulanık PERT ile Proje Süresinin Hesaplanması

7.2.1 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 7.7 Her faaliyet için zaman tahminlerinin WinQSB ekranında gösterimi

Şekil 7.7’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.

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

Şekil 7.8 Klasik PERT için aktivite analizi ve elde edilen sonuçlar

Şekil 7.8’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 7.9’da belirtilmiştir.

05-17-2008	Critical Path 1
1	A
2	B
3	C
4	F
5	K
Completion Time	134,67
Std. Dev.	5,22

Şekil 7.9 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.

7.2.2 Bulanık PERT ile Proje Süresinin Hesaplanması

Çizelge 7.5'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,

$$a_x = X_1/3, a_y = Y_1/3, a_z = Z_1/3 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

X_1 = X firmasının iyimser faaliyet süresini, Y_1 = Y firmasının iyimser faaliyet süresini ve

Z_1 = 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 7.5 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 7.6'da, LS (son başlama) ve LF (son bitme) Çizelge 7.7'de hesaplanmış ve gösterilmiştir.

Çizelge 7.6 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 7.7 LS (son başlama) ve 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.

$$\mu_T(x) = \begin{cases} (x-119.9)/(138.9-119.9), & 119.9 \leq x \leq 138.9 \\ (151.6-x)/(151.6-138.9), & 138.9 < x \leq 151.6 \\ 0, & 151.6 < x \end{cases}$$

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 Cp_i aşağıdaki şekilde hesaplanabilir (Gencer vd.,2001).

$$Cp_i = \sup [Tp_i \wedge T]$$

Burada Tp_i , i . yolun bulanık yol uzunluğu, $\wedge$ iki kümenin kesişimi, $\sup$ ise bir kümenin en büyük değeridir ve $Tp_i = (+)\tilde{A}_{j=1}^{P_i}$ şeklinde hesaplanabilir (Gencer vd.,2001).

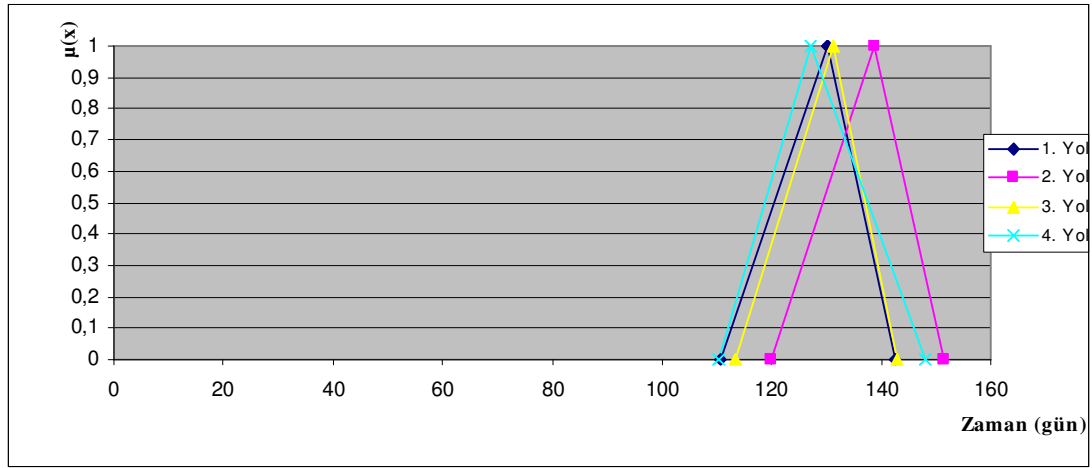
Prototip motor yapımı için, proje başlangıcı ile bitiş arasında 4 adet alternatif yol bulunmaktadır. Bu yollar; (A-B-C-D-E), (A-B-C-F-K), (A-B-C-G-I-J) ve (A-B-C-H-I-J) olarak belirlenmiştir.

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 7.9’da her bir yolun kritiklik derecesi hesaplanmış ve Çizelge 7.8’de gösterilmiştir.



Şekil 7.10 Yolların kritiklik derecelerinin hesaplanması

Çizelge 7.8 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.

Sonuçlara göre genel olarak metodlar arasında çok büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Ancak yöntemlerin işlem zorlukları göz önünde bulundurulabilir. FPERT metodunda, her iş üç köşeli bulanık sayılarla ifade edildiğinden, örnek problemdeki çözümünden de 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 metotla da yine iş sayısı attığında işlem kargaşası artacaktır. KPert metodunda ise, işlerin zamanlarının ortalama zamanları bulunup tek değere indirgendiğinden işlemler akıcı ve basittir.

8. SONUÇ

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 bulanık ve klasik olarak uygulanışı karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre genel olarak metotlar arasında çok büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Ancak yöntemlerin işlem zorlukları göz önünde bulundurulabilir.

Bu çalışma, proje yönetimi, bulanık küme teorisi, CPM ve bulanık CPM ile PERT ve bulanık PERT hakkında bazı teorik bilgilerden sonra klasik CPM/bulanık CPM ile klasik PERT/bulanık PERT uygulama örneğini içermektedir. Bulanık CPM, pek çok karar verme sürecinde görülen bulanıklık, klasik CPM kullanılarak çözülebilen problemlerle birleştğinde kullanılan bir metottur. Çoğu karar sürecinin belirsiz olduğu düşünülürse, CPM'in etkin ve kullanışlı bir metot olduğu anlaşılır. Yapılan uygulamada, bulanık küme teorisinin yalınlaştırılmış matematiksel tekniklerden pratik karar verme problemlerini çözmek için karar vericiye daha fazla bilgi sağladığı fark edilebilir. Bulanık CPM ile modellenen uygulama örneğinin çözümü; gerçek yaşam problemlerinde bulanık CPM'in klasik CPM'den daha esnek ve uygun matematiksel tanım çerçevesi yarattığını gösterir. Sonuç olarak, model çalışmalarında bulanık CPM'in klasik CPM'den daha anlamlı sonuçlar verdiğini söylemek mümkündür.

FPERT 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 metotla da yine iş sayısı arttığında işlem kargaşası artacaktır. Klasik PERT metodunda ise, işlerin zamanlarının ortalama zamanları bulunup tek değere indirgendiğinden işlemler akıcı ve basittir. Ancak, FPERT ve klasik PERT arasında çok büyük farklılık olmadığından, seçim kullanıcıya bırakılabilir.

KAYNAKLAR

- Aksoy, H., (2004) “Dinamik Sistemlerde Bulanık Mantık Metodu ve Örnek Olarak Hisse Senedi Piyasasının Modellenmesi” Koç Portföy Yönetimi,
- Albayrak, B., (2001), Proje Yönetimi ve Proje Danışmanlığı, Birinci Baskı, İstanbul: Beta Yayınevi, , s.306.
- Andrews, M.R.,(2000), The Application of IT for Competetive Advantage at Keane Inc, Hershey, PA, USA: Idea Group Inc., s 6
- Başlıgil, H., (2004), “Bulanık AHP ile Yazılım Seçimi”, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, İstanbul
- Klein, C. M., (1991), Fuzzy shortest paths, Fuzzy Sets and Systems 39,27-41
- Chanas, S.ve Zielinski, P., (2001), “Critical Path Analysis in the Network with Fuzzy Activity Times”, Fuzzy Sets and Systems , 122, 195-204.
- Chen, C. T. ve Huang, S. F., (2006), “Order Fulfillment ağabeylity analysis in the supply-chain system with fuzzy operation times, Int. J. Production Economics 101, 185-193
- Chen, C. T. ve Huang, S. F., (2007), “Applying fuzzy method for measuring criticality in Project network”, Information Sciences 177, 2448-2458
- Çetmeli, E., (1982), Yatırım Planlamasında Kritik Yörünge ve PERT Metotları, Teknik Kitaplar Yayınevi s.5
- Dubois D. ve Prade H., 1980, Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications,Academic Press
- Elmas, Ç., (2003), “Bulanık Mantık Denetleyiciler”, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Erişken, H., Alev, T., Yücel, E., (1973), Planlama ve Kontrol Modern Teknikleri PERT CPM, Aksu Ömer Lütfi Sungan Merkezi yayınları s.1-18
- 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
- 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, Cilt: 3 Sayı: 2 Sh. 29-39 Mayıs
- Goodman, L.J. ve Love R. N., 1980, Project Planning and Management: An Integrated Approach, New York:Pergamon Press, s.142.

J.J. Buckley, (1989), Fuzzy PERT, in Applications of Fuzzy Set Methodologies in Industrial Engineering, pp 115-125, Elsevier, Hollanda

Jugdev, K., Mathur, G., Fung T. S., (2007) "Project management assets and their relationship with the project management capability of the firm" , International Journal of Project Management 25 560–568

Karanfil, S., (1993) "Bulanık Kümeler ve Bulanık Mantığın Temelleri", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya – Metalürji Fakültesi, Y.T.Ü., İstanbul.

Kavrakoğlu İ. vd., (1985), Proje Yönetimi Seminer notları.

Klir, G.J., Yuan, B., (1995), "Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Application." Upper Saddle River, Prentice-Hall, New Jersey.

Levine, H. A., (2002), Practical Project Management: Tips, Tactics and Tools, New York: John Wiley & Sons, Inc., s.76.

Li R.J., Lee E.S. (1987): "Ranking fuzzy numbers-a comparison", Proceedings of NAFIPS, May. 5-7, West Lafayette, Indiana.

Makropoulos C.K., Butler D., (2005) "Spatial ordered weighted averaging: incorporating spatially variable attitude towards risk in spatial multi-criteria decision-making", Elsevier.

MathWorks, (1995), Fuzzy Logic Toolbox For Use With MATLAB: User's Guide Version 2, The MathWorks, inc., Natick.

McCahon C.S. ve Lee E.S. (1988) "Project network analysis with fuzzy activity times", Computers and Mathematics Applications, V.15 (10), pp.829-838.

Pillay, A. ve Wang, J., (2003), "Modified Failure Mode and Effect Analysis Using Approximate Reasoning", Reliability Engineering and System Safety, 79: 69-85.

Project Management Institute, Practice Standard for Work Breakdown Structure, 2001, s.1.
Primavera 3.1 Project Planner, Primavera Project Planner Help, Overview: Work Breakdown Structure Codes

Pyzdek T., (2003) The Six Sigma Project Planner, McGraw-Hill, , s.30.

Ross, T. J., (1995), Fuzzy Logic With Engineering Applications, McGraw-Hill, inc., New York.

Russel S. ve Norvig P., (2003), Artificial Intelligence, "A Modern Approach", 2nd Edition, Prentice Hall.

Chanas, S. ve Kamburowski, J., (1981), The use of fuzzy variables in PERT, Fuzzy Sets and Systems 5, 11-19

Star, M.K., (1971), Systems Management of Operations, Prentice Hall, s.184

Stevenson, W.J., (1993), Production/Operations Management, Richard D.Irwin, s.780

Şen, Z., (2000), Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Kültür Sanat, İstanbul.

Turan A., Khisty C. J., (2003) “A rational reasoning method from fuzzy perceptions in route choice”, Elsevier Science Limited

Weck M., Klocke F., Schell H., Riienuver E., (1997) “Evaluating alternative production cycles using the extended fuzzy AHP method” , Germany, Elsevier Science Limited.

Westland, J., (2006)The Project Management Life Cycle, Kogan Page, , s.60.

Yamak, O., (1998), Proje Yönetim Teknikleri, İstanbul

Yılmaz M., Arslan E., (2005), İTÜ, “Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması”, Harita Ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri Stb Komisyonu

[1] <http://sezer.yesiltas.googlepages.com/gantt.jpg> (27.04.08)

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	23.03.1983	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1997-2000	Bahçelievler Anadolu Lisesi
Lisans	2000-2005	Yıldız Üniversitesi Makine Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2005-2008	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Müh. Anabilim Dalı, Endüstri Müh. Programı

Çalıştığı kurumlar

2005-Devam ediyor Bakırcı Yapı İnşaat Elektronik San. ve Tic. Ltd. Şti.