

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI
VE
TEDARİKÇİ SEÇİMİ PROBLEMİNE UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS

Endüstri Müh. Belgin ERANIL

**Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği
Danışman : Prof. Dr. Zerrin ALADAĞ**

KOCAELİ, 2008

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI
VE
TEDARİKÇİ SEÇİMİ PROBLEMİNE UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Müh. Belgin ERANIL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Mayıs 2008

Tezin Savunulduğu Tarih: 22 Temmuz 2008

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Zerrin ALADAĞ

(.....)


Üye

Yrd. Doç. Dr. Semra BORAN

(.....)


Üye

Prof. Dr. Alpaslan FIĞLALI

(.....)


KOCAELİ, 2008

ÖNSÖZ

Tedarikçi seçimi bir tedarik zincirindeki en önemli unsurlardan birisidir, çünkü bir tedarik zincirinin hedeflerine ulaşılmasındaki maliyet, kalite, teslimat ve hizmet gibi kriterlerde tedarikçilerin performansları kilit role sahiptir. Doğru bir tedarikçinin seçimi satın alma ve lojistik maliyetlerinin düşürülmesini ve rekabet gücünün artırılmasını önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

Gerçek hayatta tedarikçi seçimi sürecinde birçok bilgi kesin olarak bilinmemekte, kararlar daha çok belirsizlik ve bir anlamda bulanıklık içinde alınmaktadır. Hızlı ve doğru karar verebilmenin yolu seçenekleri arttıran ve belirsizlikleri azaltan bilimsel yöntemlerden yararlanmaktır. Bu duruma bağlı olarak, bulanıklık altında en iyi karar vermeyi sağlayan yöneylem araştırması modellerinden biri olan bulanık hedef programlarının önemi günden güne artmaktadır.

Bulanık bir ortamda tedarikçi seçimi probleminin, bulanık hedef programlama modeli ile çözülmesi üzerine yaptığım yüksek lisans tez çalışmasında fikirleri ile beni yönlendiren ve teşvik eden KOÜ Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanı Yardımcısı Sn. Prof. Dr. Zerrin ALADAĞ 'a ve yardımlarını esirgemeyen KOÜ Endüstri Mühendisliği Araştırma Görevlisi Sn. Ümit Terzi 'ye teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca hayatımın her aşamasında yanımda olan ve beni destekleyen aileme sonsuz minnet duygularımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SİMGELER.....	vii
ÖZET.....	viii
İNGİLİZCE ÖZET.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. BULANIK MANTIK.....	2
2.1 Tarihçe.....	6
2.2 Belirsizlik ve Kesin Olmayış.....	8
2.3 Bulanık Sistem Yapısı.....	9
2.3.1 Bulanıklaştırma.....	14
2.3.2 Bulanık çıkarım.....	15
2.3.3 Durulaştırma.....	20
2.4 Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları.....	25
2.4.1 Bulanık ve geleneksel kümeler.....	26
2.4.2 Üyelik fonksiyonları.....	28
2.4.2.1 Üyelik fonksiyonlarının kısımları.....	32
2.4.2.2 Üyelik fonksiyonlarının formları ve sınırları.....	34
2.4.2.3 Üyelik derecesinin belirlenmesi.....	35
2.5 Bulanık Küme İşlemleri.....	37
2.6 Bulanık Sayılar.....	40
2.6.1 Aralık analizi ve α - kesimleri.....	40
2.6.2 Bulanık sayılarda dört işlem.....	43
2.6.2.1 Bulanık sayıların toplanması ve çıkarılması.....	43
2.6.2.2 Bulanık sayıların çarpılması ve bölünmesi.....	43
2.6.2.3 Genelleme ilkesi.....	44
2.7 Bulanık Mantığın Avantajları ve Dezavantajları.....	45
3. BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA.....	47
3.1 Çok Kriterli Karar Verme.....	47
3.2 Bulanık Ortamda Karar Verme.....	48
3.3 Bulanık Doğrusal Programlama Modeli.....	51
3.4 Hedef Programlama Modeli.....	58
3.4.1 Hedef programlama modelinin formülasyonu.....	59
3.4.2 Hedef programlamanın ilkeleri.....	63
3.4.3 Hedef programlamanın uygulama alanları.....	64
3.4.4 Hedef programlamanın avantajları ve dezavantajları.....	64
3.5 Bulanık Hedef Programlama Modeli.....	65
3.5.1 Bulanık hedef programlama modelleri için çözüm yaklaşımları.....	67
3.5.2 Hedef programlama ile bulanık hedef programlama arasındaki ilişki.....	71

4. TEDARİKÇİ SEÇİMİ PROBLEMİ.....	73
4.1 Tedarik Zinciri Yönetimi ve Tedarikçi Seçiminin Önemi.....	73
4.1.1 Tedarik zinciri (TZ) kavramı.....	74
4.1.2 Tedarik zinciri yönetimi (TZY).....	76
4.1.3 Tedarik zincirinde tedarikçi seçiminin önemi.....	77
4.2 Tedarikçi Seçimi Problemi.....	79
4.2.1 Satın alma ve tedarikçi seçimi.....	81
4.2.2 Tedarikçi seçim prosedürü.....	83
4.2.3 Tedarikçilerin değerlendirilmesi.....	87
4.3 Literatür Araştırması.....	88
5. OTOMOTİV FİRMASINDA TEDARİKÇİ SEÇİMİ İÇİN BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA MODELİ GELİŞTİRİLMESİ.....	93
5.1 Şirket Tanıtımı.....	93
5.2 Problemin Tanımı ve Çalışmanın Amacı.....	94
5.3 Bulanık Hedef Programlama Modelinin Geliştirilmesi ve Problemin Çözümü..	97
5.4 Mevcut Durum ile Elde Edilen Çözümün Kıyaslanması.....	106
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	109
KAYNAKLAR.....	112
EKLER.....	114
ÖZGEÇMİŞ.....	118

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 : Bulanık mantığın uygulama sahaları.....	6
Şekil 2.2 : Klasik sistem.....	10
Şekil 2.3 : Genel bulanık sistem.....	10
Şekil 2.4 : TSK bulanık sistemi.....	12
Şekil 2.5 : Bulanıklaştırma-durulaştırma birimli bulanık sistem.....	13
Şekil 2.6 : Keskin ve keskin olmayan giriş büyüklüğünde bulanıklaştırma.....	15
Şekil 2.7 : Bulanık kireç miktarı kümesi.....	16
Şekil 2.8 : Bulanık ağırlık kümesi.....	16
Şekil 2.9 : Yumuşatıcı miktarı bulanık kümesi.....	16
Şekil 2.10 : $x = a$ ve $y = b$ giriş keskin değeri için çıkartım olayı.....	18
Şekil 2.11 : Üyelik fonksiyonunun en yüksek noktası metodu.....	21
Şekil 2.12 : Merkez yöntemi.....	21
Şekil 2.13 : Ağırlıklı ortalama yöntemi.....	22
Şekil 2.14 : En yüksek noktaların ortalaması.....	22
Şekil 2.15 : Toplamların ortalaması yöntemi.....	23
Şekil 2.16 : Geniş alan merkezi yöntemi.....	23
Şekil 2.17 : İlk yükselti(ve son yükselti) metodu.....	24
Şekil 2.18 : Geleneksel küme.....	27
Şekil 2.19 : Bulanık küme.....	27
Şekil 2.20 : Bitişik dikdörtgen gösterim.....	29
Şekil 2.21 : Bitişik üçgen gösterim.....	29
Şekil 2.22 : Örtüşmeli üçgen gösterim.....	30
Şekil 2.23 : Bulanık küme.....	31
Şekil 2.24 : Üyelik fonksiyonu şekilleri.....	32
Şekil 2.25 : Üyelik fonksiyonu kısımları.....	33
Şekil 2.26 : Normal bulanık küme.....	33
Şekil 2.27 : Normal olmayan bulanık küme.....	33
Şekil 2.28 : Normal dışbükey bulanık küme.....	34
Şekil 2.29 : Normal dışbükey olmayan bulanık küme.....	34
Şekil 2.30 : Sıcaklık bulanık alt kümeleri.....	35
Şekil 2.31 : Bulanık kümelerde temel işlemler.....	38
Şekil 2.32 : A bulanık kümesi ve tümleri arası ilişkiler.....	39
Şekil 2.33 : Üçgensel bulanık sayı.....	41
Şekil 2.34 : Yamuksal bulanık sayı.....	42
Şekil 2.35 : Bulanık sayı kesim seviyeleri.....	42
Şekil 4.1 : Geleneksel tedarik zinciri.....	75
Şekil 4.2 : Etkileşimli tedarik zinciri.....	75
Şekil 4.3 : Tedarikçi seçim süreci.....	78
Şekil 4.4 : Üretim yapan firmalarda maliyetlerin dağılımı.....	81
Şekil 4.5 : Basit bir tek aşamalı tedarikçi seçim kararı.....	83

Şekil 5.1 : Fabrika yerleşim planı.....	94
Şekil 5.2 : Ret oranı ve esneklik amaçlarının üyelik fonksiyonu grafikleri.....	102

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1 : Örnek kural tabanı.....	17
Tablo 2.2 : İki değerli mantıkta mantıksal temel bağlantılar için operatörlerin doğruluk tablosu.....	18
Tablo 2.3 : T ve S normları.....	19
Tablo 2.4 : Alternatif bulanık çıkartım yöntemleri.....	20
Tablo 3.1 : Amaç fonksiyonunda yer alacak sapma değişkenleri.....	61
Tablo 4.1 : Tedarikçi seçimi kararlarının sınıflandırılması.....	82
Tablo 4.2 : Dickson 'un tedarikçi seçim kriterleri.....	88
Tablo 5.1 : Seçim kriterleri ve alternatif tedarikçilerin performansları.....	95
Tablo 5.2 : Bulanık erişim düzeyleri ve toleransların belirlenmesi.....	101
Tablo 5.3 : Mevcut durumdaki veriler.....	106
Tablo 5.4 : Kurulan modelim çözümü ile elde edilen veriler.....	107
Tablo 5.5 : Mevcut durum ile optimum çözümün kıyaslanması.....	107

SİMGELER

μ	: üyelik derecesi
α	: bulanık kümelerde kesim seviyesi
\sim	: eşitlik veya eşitsizliklerin bulanık olduğunu ifade eder
λ	: erişim derecesi
p_i	: pozitif sapma değişkeni
n_i	: negatif sapma değişkeni
T_i	: hedeflerin öncelik sırası
w_i	: hedeflerin ağırlıkları
d_i^-	: hedefin altında kaldığını gösterir
d_i^+	: hedefin aşıldığını gösterir
T	: yıllık talep miktarı, (adet/yıl)
F_i	: parça birim fiyatı, (Euro/adet)
R_i	: ret oranı, (yüzde)
G_i	: geç teslimat oranı, (yüzde)
E_i	: esneklik oranı, (yüzde)
S_i	: stok günü, (gün)
K_i	: tedarikçilerin üretim kapasiteleri, (adet/ay)
b_i	: erişim düzeyi
$(Ax)_i$: amaç fonksiyonu

Kısaltmalar

TSK	: Takagi-Sugeno-Kank
EK	: en küçük
EB	: en büyük
MAX	: en büyük (maksimum)
MIN	: en küçük (minimum)
TZY	: tedarik zinciri yönetimi
TZ	: tedarik zinciri
Ar-Ge	: araştırma – geliştirme
FST	: bulanık küme teorisi (fuzzy set theory)
AHP	: analitik hiyerarşi prosesi
QFD	: kalite fonksiyon açılımı

**BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI
VE
TEDARİKÇİ SEÇİMİ PROBLEMİNE UYGULANMASI**

Belgin ERANIL

Anahtar Kelimeler : Bulanık Mantık, Hedef Programlama, Bulanık Hedef Programlama, Tedarikçi Seçimi Problemi.

Özet : Tedarikçi seçimi günümüz dünyasında firmalar için kritik öneme sahip olan tedarik zinciri yönetiminin önemli bir unsurudur. Tedarikçi seçimi problemi, birbiri ile çelişen birden fazla hedefin bulunması yönünden çok amaçlı bir karar problemi olarak incelenmektedir. Bu hedefler için erişim düzeyleri çoğu zaman kesin olarak bilinmemekte ve kesin olmayan (bulanık olan) ifadeler ile belirtilmektedir. İfadelerdeki bu belirsizlikler, bulanık kümelerde üyelik fonksiyonları ile ele alınabilmektedir. Yapılan çalışmada, farklı önem derecelerine ve bulanık erişim değerlerine sahip hedefler ile bulanık olmayan kısıtların yer aldığı bir bulanık hedef programlama modeli geliştirilerek, incelenen tedarikçi seçim problemine en uygun çözüm araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar mevcut durum ile karşılaştırıldığında, sadece bir hedef haricinde iyileşme sağlanmıştır. İyileşme sağlanamayan hedefin tercih önceliği yüksek olmadığı için tolere edilebilmektedir. Bu konu ile ilgili olarak farklı sayıdaki tedarikçinin, farklı sayıdaki ve çeşitteki kriterlere göre, birden fazla referans için değerlendirildiği çalışmaların yapılması ile farklı sonuçların yorumlanması mümkün olacaktır.

**FUZZY GOAL PROGRAMMING APPROACH
AND
APPLICATION IN SUPPLIER SELECTION PROBLEM**

Belgin ERANIL

Keywords : Fuzzy Logic, Goal Programming, Fuzzy Goal Programming, Supplier Selection Problem.

Abstract : Supplier selection is an important item of supply chain management which has a critical important for companies in todays business world. Supplier selection problem is called a multi-objective decision problem due to the plural goals that conflict each other. Access levels of that goals are not known exactly most of the time and they usually specified in fuzzy expressions. These fuzzy expressions can be evaluated in fuzzy sets by membership functions. In this study, a fuzzy goal programming model that has fuzzy goals with different importance degrees and certain constraints is developed and the most appropriate solution is approached for the problem. When the results of the model are compaired with the present stuation, there is only one goal that does not have an improvement. But it can be tolerated because the importance of this goal is not high-level. Concerning this subject, different results can be obtained by changing the number of suppliers, number of evaluation criteria, number of part referances .

1. GİRİŞ

Günümüz müşteri odaklı pazarlama anlayışı, pazarda arzu edilen nitelikteki ürünün, istedikleri yer, zaman ve miktarda müşterilere ulaştırılmasını öngörmektedir. Bunun için uygun nitelikteki girdilerin tedarik edilmesi ve üretilen ürünlerin uygun bir dağıtım kanalı ile pazara ulaştırılması gerekir. Tedarikçiden son kullanıcıya kadar sürekli hareket eden ürünlerin hareketlerinin doğru ve verimli yönetilebilmesi, etkin bir tedarik zinciri yönetimi ile mümkün olmaktadır.

Tedarikçi seçimi bir tedarik zincirindeki en önemli unsurlardan biridir, çünkü bir tedarik zincirinin hedeflerine ulaşılmasındaki maliyet, kalite, teslimat ve hizmet kriterlerinde tedarikçilerin performansları kilit role sahiptir. Belirlenen performans kriterlerini en iyi sağlayan tedarikçinin seçimi tedarik zincirinin etkinliğini ve verimliliğini artıracak, etkin tedarik zinciri yönetimi uygulamaları da malzeme akışının etkinliğini sağlayacaktır.

Tedarikçi seçimi, birçok çelişen faktörden etkilenen çok kriterli bir karar verme problemidir. Tedarikçi seçim problemlerinde, çelişen hedefler genellikle kalite, temin süresi ve maliyettir. En iyi kalite ve en kısa teslim süresini sağlayan bir tedarikçi, en yüksek maliyetlere sahip olabilmektedir. Ek olarak, daha kısa teslim süresi olan bir tedarikçi daha düşük malzeme kalitesine sahip olabilmektedir. Bu durumlarda, hangi tedarikçinin seçileceğine karar vermeden önce, tüm tedarikçiler şirketin ihtiyaçları ve stratejilerine göre dikkatli bir şekilde analiz edilmelidir.

Gerçek bir durumda, bir tedarikçi seçimi için birçok girdi bilgisi kesin olarak bilinmemektedir. Belirsiz ve kesin olmayan bir yapı göstermesinden dolayı gerçek dünya problemlerinde kararlar almak çoğu zaman zordur. Karar vermede, özellikle yüksek derecede bulanıklık ve belirsizlik yer aldığı anda, karar parametrelerindeki belirsizliğin sistematik olarak ele alınabilmesindeki en iyi araçlardan birisi bulanık küme teorisi dir. Bulanık küme teorileri kesinsizlik ve belirsizliğe bağlı olarak, amaç

ve kısıtlardaki bulanık ve kesin olmayan bilgileri, bulanık hedef, bulanık kısıtlara dönüştürmek için tedarikçi seçimi problemlerinde kullanılmaktadır.

Çalışmanın ilk bölümünde bulanık mantık kavramı ve bulanık sistemler anlatılmış, bulanık kümeler, üyelik fonksiyonları ve bulanık sayılar üzerinde durulmuştur. Sonraki bölümde bulanık doğrusal programlama, hedef programlama ve bulanık hedef programlama modelleri açıklanmıştır. Ardından tedarik zinciri yönetimi ve tedarikçi seçimi problemi anlatılmış ve konunun daha iyi anlaşılması amacı ile otomotiv sektöründe bulanıklık ve çelişen hedefler içeren bir tedarikçi seçimi problemi örneğinin bulanık hedef programlama modeli ile çözümü incelenmiştir. Son bölümde ise sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

2. BULANIK MANTIK

Gerçek dünya karmaşıktır. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik, kesin düşünceden yoksunluluk ve karar verilemeyişten kaynaklanır. Birçok sosyal, iktisadi ve teknik konularda insan düşüncesinin tam anlamı ile olgunlaşmamış oluşundan dolayı belirsizlikler her zaman bulunur (Şen,2004).

Yüzyılımız içinde bilim ve matematik dalındaki değişmeler, belirsizlik kavramına bakış açısını değiştirmiştir. Geleneksel görüşe göre, belirsizlik bilim içinde istenmeyen bir durumdur ve bütün imkânlar kullanılarak yok edilmelidir. Bu düşünce bilim adamlarını bu yönde araştırmalar yapmaya itmştir.

1900'lü yılların başında kesinlik esasına dayanan Newton fiziğinin birçok durumda yetersiz kalması, belirsizliğin bilimin içerisine girmesine olanak sağlamıştır. Moleküler düzeydeki fizik çalışmalarında ortaya çıkan ve çözüm için farklı bir yaklaşım gerektiren bu ihtiyaç, birbirinden bağımsız istatistik metotlarının gelişimine yol açmıştır. Newton fiziğinde, belirsizliğe yer vermeyen matematiksel analizin rolü istatistiksel mekanikte, olasılık teorisi tarafından karşılanmıştır ve bu teori aslında belirli bir tipteki belirsizliklerin giderilmesini amaçlamaktaydı.

Klasik mantığa dayanan analitik yöntemler ile olasılık teorisine dayanan istatistiksel yöntemler birbirini tamamlar nitelikte görünmektedirler. Biri tam belirlilik kabulüyle, diğeri ise rastsallık kabulü ile kendi alanlarındaki problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bu tamamlayıcılığa rağmen, bu metotlar sadece içinde komplekslik veya rastsallıktan birini bulunduran problemlerin çözümü için işe yararlar. Waren Weaver bu iki tür problem yapısı için organize edilmiş basitlik ve organize edilmemiş karmaşıklık kavramlarını kullanmış ve bütün sistem problemleri içerisinde bu kavramsallaştırmalara ait problemlerin çok küçük bir yer tuttuğunu ifade etmiştir. Çoğu problem, aslında bu iki uç arasında yer almaktadır. Bu tür sistemler deterministik olamayan, zengin ilişkilere sahip, doğrusal olmayan

sistemlerdir. Weaver bu tür problemleri organize edilmiş karmaşıklık olarak kavramlaştırır. Bu sistemler, yaşamda, sosyal bilimler ve çevre bilimlerinde yaygın olduğu kadar tıp ve modern teknoloji uygulamalarında da yaygınca görülürler (Terzi, 2004).

Trafikte araç kullanma, hastalık teşhisi, endüstriyel süreçlerin kontrolü, alışveriş yapma gibi günlük hayatta ve çeşitli alanlarda görülen birçok faaliyette belirsiz veri girişleri bulunan ya da karar verme süreci klasik matematikle modellenemeyen durumlar söz konusudur. Organize edilmiş karmaşıklık sınıfına giren bu tip faaliyetlerin bilgisayarlar tarafından gerçekleştirilmesi çok zor iken, insanlar tarafından basit dilsel mantık süreçleri ile, kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedirler.

İnsanoğlunun mantık süreçlerinin daha etkin ve hızlı çalışmasının nedeni bulanık bir yapıya sahip olmasıdır. Biraz kısa, uzun, ılık, hafif gibi sınırları tam olarak belirli olmayan kavramlar, diğer insanlarla anlaşmak için başarılı bir şekilde kullanılmasının yanında; mantık süreçlerinin bilgisayarlara göre başarılı bir şekilde yürütmesini de sağlamaktadır.

Geleneksel mantık sisteminde yalnızca doğru (1) ve yanlış (0) bulunur. Dolayısıyla belirsiz, kesin olmayan ya da karmaşık bir problemin çözümünde bu yöntem yetersiz kalır, hatta bazen bu yöntemle çözümler olanaksız olabilir. Gerçek dünya dilini kullanan bulanık mantık, bir takım dilsel niteleyiciler yardımıyla biraz sıcak, çok uzak, hafif soğuk, yüksek, çok fazla yüksek gibi günlük yaşamımızda kullandığımız kelimeler yardımıyla insan mantığına en yakın doğrulukta denetimi gerçekleştirebilir (Terzi, 2004).

Temeli “Bulanık Küme Kuramı”na dayanan bulanık mantıkta da yine geleneksel mantıkta olduğu gibi doğru (1) ve yanlış (0) değerleri vardır. Ancak bulanık mantık yalnızca bu değerlerle yetinmeyip bunların ara değerlerini de kullanarak, bir önermenin yalnızca doğru ya da yanlış olduğunu belirtmekle kalmayıp ne kadar doğru ya da ne kadar yanlış olduğunu da söyler.

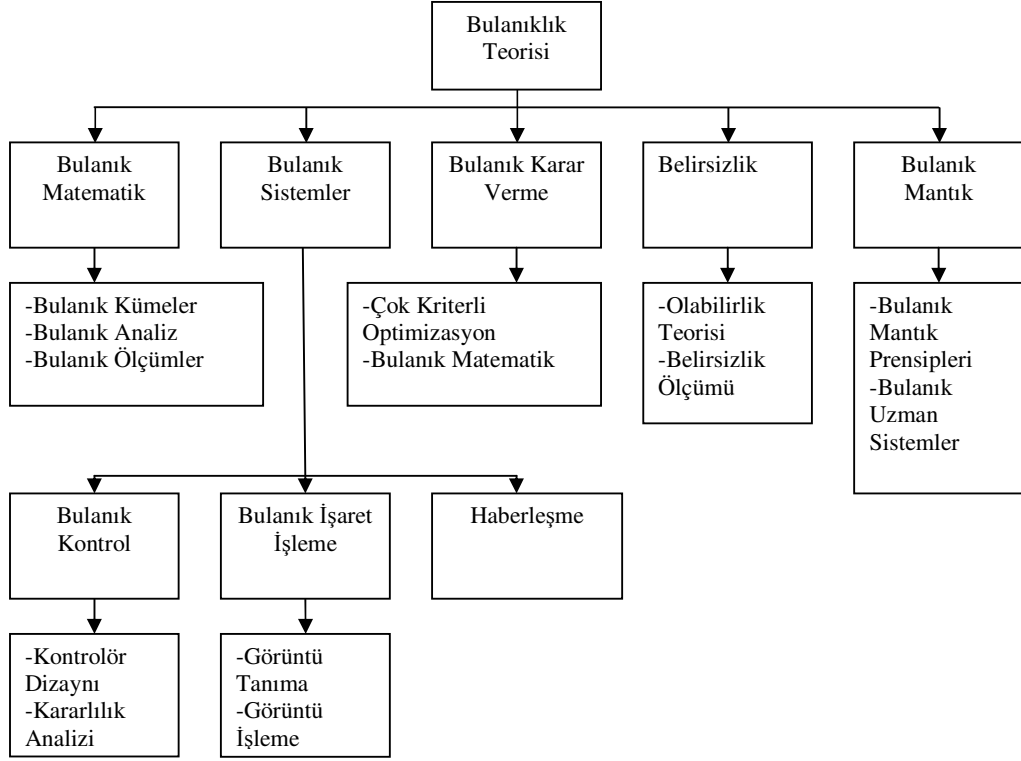
Bulanık mantığın temelde sağladığı avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003):

- İnsan düşünce sistemine ve tarzına yakındır.
- Uygulamasında mutlaka matematiksel bir modele gereksinim duymaz.
- Yazılımın basit olması nedeniyle, sistem daha ekonomik olarak kurulabilir.
- Bulanık mantık kavramını anlamak kolaydır.
- Üyelik değerlerinin kullanımı sayesinde, diğer kontrol tekniklerine göre daha esneklerdir.
- Kesinlik arz etmeyen bilgilerin kullanılması söz konusudur.
- Doğrusal olmayan fonksiyonların modellenmesine izin verebilir.
- Sadece uzman kişilerin tecrübelerinden faydalanılarak, kolaylıkla bulanık mantığa dayalı bir modelleme ya da sistem tasarlanabilir.
- Geleneksel kontrol teknikleriyle uyum halindedir.
- İnsanların iletişimde kullandıkları sözel ifadelerin bulanık mantıkta kullanımı ile daha olumlu sonuçlar çıkmaktadır.

Bulanık mantığın uygulama alanları çok geniştir. Sağladığı en büyük fayda ise insana özgü tecrübe ile öğrenme olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanımasıdır. Ayrıca bulanık mantık makinelerine insanların özel verilerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve öngörülerinden yararlanarak çalışabilme yeteneği verir. Bu yeteneği kazanırken de sayısal ifadeler yerine sözel ifadeler kullanır (Elmas, 2003).

Bulanık mantığın tıpkı matematik gibi uygulamasının olmadığı bir alandan bahsetmek çok zordur. Endüstriyel sistem modellemelerinden, yazılım geliştirmeye; otomatik kontrol sistemlerinden, veri analizine; yöneylem araştırma tekniklerinden, sosyolojik değişim kurallarını izleme gibi birçok alanda bulanık mantık uygulamalarını başarılı bir şekilde görmek mümkündür. Özellikle modern kontrol sistemleri, bulanık mantık bilimini üstlenmiş durumdadır. Bu beraberlikten en çok yarar gören ise başarılı uygulamalarıyla otomatik kontrol sistemleri bilimi gibi görünmektedir. Bunun yanında bulanık mantık önüne çıkan daha karmaşık problemlerle kendini ispatlama fırsatını yakalamaktadır. Örneğin, günümüzde

robotik hareket sistemlerinin karmaşık kontrol problemleriyle çoğunlukla bulanık mantık ilgilenmektedir. Şekil 2.1 'de bulanık mantığın uygulama alanları gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : Bulanık mantığın uygulama sahaları (DaRuan, 1996)

2.1 Tarihçe

Çok değerli mantığın tarihi çok eskilere dayanır. Heraklitus ve Anaksimender gibi eski Yunan filozofları, iki değerli mantığın kurucusu olan Aristo'dan 200 yıl evvel çok durumlu mantıksal sistemler geliştirmişlerdi.

1920'li yıllarda Polonya'lı mantıkçı Jan Lukasiewicz, önermelerin sadece bir veya sıfır doğruluk değeri alabildiği klasik mantıktan farklı olarak önermelerin bir ve sıfır arasında da kesirli doğruluk değeri alabildiği "çok değerli" mantık ilkelerini oluşturmuştur. 1937'de ise kuantum felsefecisi Max Black yayımlanan bir makalesinde liste ya da nesnelere oluşan kümelerle "çok değerli mantığı" uygulayarak ilk bulanık küme eğrilerini çizmiştir.

1965 Yılında California Üniversitesinden Prof. Lotfi A. Zadeh ilk defa bulanık küme kuramının temel taşı olan “yumuşak” yaklaşım ile sistem tanım ve tasarımını gerçekleştirmiştir.

Zadeh'in bu çalışmasında, insanların bazı sistemleri makinelerden daha iyi kontrol edebilmelerinin nedeni olarak, insanların belirsiz, yani kesinlik ifade etmeyen bir takım bilgiler kullanarak karar verebilme özelliğine sahip olmaları gösterilmektedir.

1966'da bulanık küme kuramının bulanık mantık üzerine uygulanması Bell Laboratuvarlarında, Dr. Peter Marinos tarafından gerçekleştirilmiştir. 1972 yılında Londra Üniversitesinden Prof. E.H. Mamdani bulanık mantık temelli uzman sistemle bir buhar türbininin hızının ve performansının çok başarılı bir şekilde denetlenebileceğini göstermiştir. Bulanık mantık kuramının ilk önemli endüstriyel uygulaması 1980 yılında Danimarka'da bir çimento fabrikasında gerçekleştirilmiş, değirmen içinde çok hassas bir denge ile oranlanması gereken sıcaklık ve oksijen ayarı en uygun biçimde yapılmıştır. Bundan sonra bir başka çarpıcı uygulama ise Hitachi firmasının dahil olduğu konsorsiyum tarafından 1987 yılında Sendai Metrosunda gerçekleştirilmiştir. Bu sayede trenin istenen konumda durması 3 kat iyileşmiş, kullanılan enerji ise %10 azalmıştır. Bunun üzerine Hitachi firmasına, benzeri bir sistemin Tokyo metrosuna da kurulması için istek gelmiştir. 1988'de ise Yamaichi Securities firmasının geliştirdiği bulanık mantık temelli uzman sistem yine 1988 yılının Ekim ayında Kara Pazar adı verilen büyük çöküşü 18 gün önceden haber verebilmiştir. 1988 yılından beri portföyündeki hisse senetlerinin değerleri Nikkei ortalamasından sürekli olarak %20 ve genelde ise %40 fazla olmuştur. Bu kadar başarılı uygulamanın ardından bulanık mantığa olan ilgi artmış, uluslararası bir çalışma zemini oluşturabilmek amacıyla 1989 yılında aralarında SGS-Thomson, Omron, Hitachi, NCR, IBM, Toshiba ve Matsushita gibi Dünya devlerinin de bulunduğu 51 firma tarafından LIFE laboratuvarları kurulmuştur (Terzi, 2004).

Bulanık küme teorisi, Zadeh'in yayınladığı tarihten bu yana, başta yöneylem araştırması, yönetim bilimi, kontrol teorisi, yapay zeka/akıllı sistemler, insan davranışları olmak üzere pek çok uygulama sahası bulmuştur ve uygulamalar artan bir çeşitlilikte dünya ölçeğinde yaygınlaşmaktadır.

2.2 Belirsizlik ve Kesin Olmayış

Mantık, sistem, küme vb. için bulanıklık, belirsizliğin bir ifadesi olarak karşımıza çıkar. Geçmişte, belirsizliklerin işlenmesi ve anlamlı sonuçlara varılabilmesi için ihtimaller teorisi kullanılmıştır. Matematik ve mühendislikte bu teori belirsizlik durumlarında istatistik yöntemlerle beraber kullanılır. Bu nedenle de, bütün belirsizliklerin rasgele karakterde olduğu kavramı yaygınlaşmıştır. Rasgeleliğin en önemli özelliği, sonuçların ortaya çıkmasında tamamen şans olayının rol oynaması ve gerekli öngörülerin ve tahminlerin kesin bir doğrulukta önceden yapılamamasıdır. Ancak, bilinen belirsizliklerin hepsi rasgele karakterde değildir. Günlük hayatta karşılaşılan belirsizliklerin çoğunun rasgele olmadığı kolayca anlaşılabilir. Rasgele karakterde olmayan olaylar için örneğin, sözel belirsizlikler halinde inceleme ve sonuç çıkarma işlemlerinde ihtimaller hesabı ve istatistik gibi sayısal belirsizlikleri gerektiren yöntemler kullanılmaz.

Etrafımızda ilgimizi çeken birçok sorunu, sayısal bilgilerden ziyade, çok kere görüş, değer yargısı, takdir ve düşüncelerimizi sözel olarak ifade ederek inceler ve yorumlarız. Bu ifadelerin anlamlı olmaları ve başkalarına iletilebilmesi için mutlaka her insanın en az bir tane dile ihtiyacı vardır. Dil ne kadar kesin olmayan kelime ve cümleleri ihtiva etse de, insanın iletişim kurmasında ve bilgi akışında en etkin olan vasıta. Dildeki belirsizliklere rağmen, insanoğlu onunla birbirini kolayca anlayabilmektedir. Örneğin “hava sıcak” denildiğinde herkes, kesin olarak hava kelimesinin anlamını anlamaktadır. Ancak, “sıcak” kelimesinin ifade ettiği anlam izafi olarak birbirinden farklı olabilir. Kutuplarda bulunan bir kişinin sıcak için 15 dereceyi anlamasına karşılık, ekvator civarındaki bir kişi için bu 35 dereceyi bulabilir. Arada birçok kişinin görüşü olarak başka dereceler de bulunur. Böylece sıcak kelimesinin altında insanların da ima ettiği sayısal anlayışın bir sonucu olarak belirsiz bir durum vardır. Bu rasgele değildir, ancak belirsizdir ve bu şekilde kelimelerin ima ettikleri belirsizliklere bulanıklık (fuzzy) denir. Burada dikkat edilmesi gereken sıcak kelimesinin ne kadar fazla bir sayısal dereceler topluluğunu temsil ettiği, bu topluluklara bulanık küme adı verilir. Bazı insanların sıcaklığı 15 derece bazıları ise 35 derece gibi oldukça farklı sayısal biçimde algılamasına karşılık bu insanlar arasında ihtilaf bulunmaz. Ancak Aristo mantığında kesin olarak sıcak

veya soğuktan biri vardır. Böylece, bulanık mantığın sayılardan ziyade sözel kelimeleri esas aldığı anlaşılmıştır.

Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer verilmesidir. İkincisi ise insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine ihtiyaç gösteren hallerdir. Bulanık mantıktan karmaşık da olsa, karşılaşılan her türlü sorunun çözülebileceği anlamı çıkarılmamalıdır. Ancak, en azından insan düşüncelerinin incelenen olay ile ilgili olarak bazı sözel çıkarımlarda bulunması, dolayısı ile en azından daha iyi anlaşılabilen sonucuna varılabilmektedir.

Mühendislik modellemelerinde, kesinliğin kazanılmasına uğraşılması durumunda maliyetlerin artması ve zamanın uzaması söz konusudur. Ancak olayın bulanık mantık ile incelenmesinde araştırmacı veya mühendisin her şeyden önce yapacağı çıkarımların belirli tolerans sınırları içinde kalmasına önceden karar vermesi gerekir. Yüksek kesinlik sadece yüksek maliyetleri değil, aynı zamanda sorunun çözülmesinin çok karmaşıklaşmasına da sebep olmaktadır (Şen, 2004).

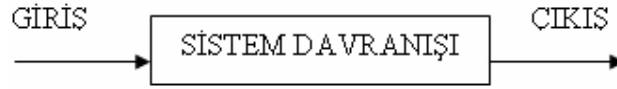
2.3 Bulanık Sistem Yapısı

Bulanık sistem yapısı ile ilgili örneklerden yaygın olarak bilineni bir kişinin araba kullanmasını öğrenmesinde ortaya çıkan sözel bilgilerdir. Sürücü adayına hız şu kadar km 'ye varınca gazı şu kadar miktar bas denileceği yerde, eğitim esnasında “EĞER hız düşük İSE gazı fazlaca bas” veya “EĞER hız yüksek İSE gazı az bas” gibi kurallar söylenir. Bu kurallardaki düşük, fazlaca, yüksek ve az kelimeleri kişilerde ister istemez belirli bir aralıkta sayısal değerleri ima eder. İşte bu ima edilen değerler topluluğuna o kelimeyi temsil eden küme denir. Bu kümenin her ögesi aynı derecede önemli değildir. Ancak bazı değerler vardır ki bunlar diğerlerine göre çok önceliklidir.

EĞER-İSE şeklindeki kuralların EĞER ile İSE kelimeleri arasında kalan kısımlarına öncül kısım ve İSE kelimesinden sonra olan kısımlarına da soncul kısım veya kural

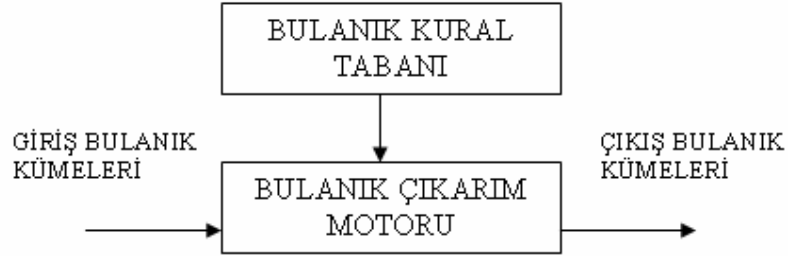
çıkarmı adı verilir. Genel olarak, öncül kısımlarda olayla ilgili koşulları içeren değişler vardır. Soncul kısım ise daha ziyade kontrol ile ilgilidir.

Bilinen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 2.2 'de verilen üç ayrı birimden ibarettir. Bu birimler giriş, girişi çıkışa dönüştüren ve sistem davranışı denilen bir kutu ve buradan oluşan çıkış kısımlarıdır. Buradaki birimlerin hepsinde sayısal veri, çıkış veya işlemler yapılmaktadır.



Şekil 2.2 : Klasik sistem (Şen,2004)

Bulanık sistemlerin bu klasik tasarımdan farkı, sistem davranışı kısmının ikiye ayrılarak Şekil 2.3 'te gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır. Burada bulunan birimlerin her birinin farklı fakat birbiri ile ilişkili olabilen görevleri vardır.



Şekil 2.3 : Genel bulanık sistem (Şen,2004)

Bu görevler aşağıdaki gibi belirtilebilir:

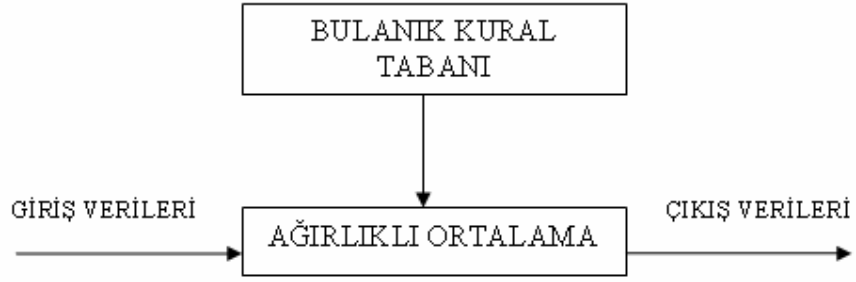
- Genel bilgi tabanı birimi: İncelenecek olayın maruz kaldığı girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca giriş adı verilir. Genel veri tabanı denmesinin sebebi buradaki bilgilerin sayısal ve/ veya sözel olabilmesidir.
- Bulanık kural tabanı birimi: Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal EĞER - İSE türünde yazılabilen bütün kuralları içerir. Bu

kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm aralık (bulanık küme) bağlantıları düşünülür.

- Bulanık çıkarım motoru birimi: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan ilişkilerin hepsini bir araya toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor, her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.
- Çıktı birimi: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerinin topluluğunu belirtir.

Genel bulanık sistemde, girdi yani veritabanındaki bilgilerin ve çıktıların bulanık değerleri olduğuna dikkat edilmelidir. Yani her birim tamamen bulanık kümelerden oluşmaktadır. Temel bulanık sistemin en önemli mahzuru, sayısal olan veri tabanının böyle bir genel bulanık sisteme girememesi ve çıktıların sayısal olmaması dolayısı ile mühendislik tasarımlarında doğrudan kullanılamamasıdır.

Bu durumu bir dereceye kadar ortadan kaldırabilmek için Takagi ve Sugeno (1985) ve Sugeno ve Kank (1988) tarafından teklif edilen ve Takagi-Sugeno-Kank (TSK) bulanık sistemi denilen sistem kullanılır. Burada veri tabanındaki girdiler birer sayı, bulanık kural ve çıkarım motorunun çalışması sonunda elde edilen çıktılar ise girdilerin bir fonksiyonu şeklindedir. Yani kural tabanındaki öncü kısımların değişkenleri olduğu gibi, İSE kelimesinden sonraki kural soncul kısmına bu değişkenlerin birer doğrusal fonksiyonu olarak yansıtıldığı düşünülmüştür. Buna göre kural “EĞER arabanın x hızı yüksek İSE gaza basma kuvveti y, $y=ax$ ” şekline gelir. Mesela 3 tene öncül değişkenin (x_1, x_2, x_3) bulunması halinde soncul değişken olan y genel olarak bulanık sistemin kurallarından birinde “EĞER x_1 az ve x_2 yüksek ve x_3 geniş İSE $y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3$ ” şeklini alır. Böyle bir yapıya sahip olan bulanık sistemde soncular bulanık küme şeklinde olmadıklarından Şekil 2.3’ deki bulanık çıkarım motoru birimi yerine her bir kuralın öncül kısmından hesaplanan üyelik dereceleri ağırlık olmak üzere ağırlıklı çıkarım hesaplaması birimi gelir (Şekil 2.4).

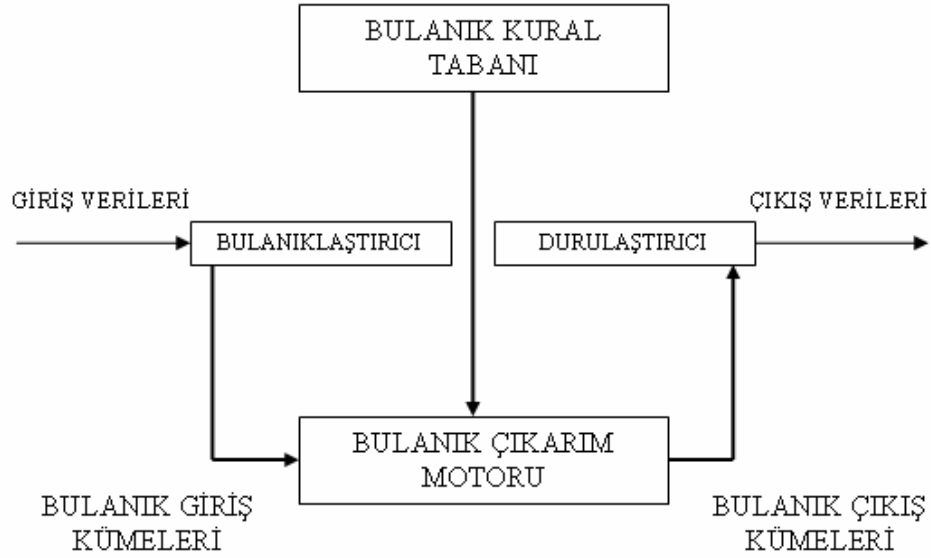


Şekil 2.4 : TSK bulanık sistemi (Şen, 2004)

TSK bulanık sisteminin mahzurları İSE kısmından sonra matematiksel bir ilişki bulunduğundan, kuralların soncul kısımlarının insan tarafından verilecek sözel bilgileri modelleyememesi ve giriş-çıkış değişkenleri arasında yazılması mümkün olan tüm kuralların soncul kısımlarının bulanık olmaması dolayısı ile yazılamamasıdır. İşte bu mahzurları ortadan kaldırabilmek için Şekil 2.5' te verilen, girdi ve çıktı birimlerinde sırası ile bulanıklaştırma ve durulaştırma işlemleri yapıldığından bu birimlerin de kutu şeklinde gösterildiği bir bulanık sistem karşımıza çıkar.

Burada genel bir bulanık sistemdeki bulanık kural tabanı ve çıkarım motoru aynen kalmaktadır. Girişlerin sayısal olmaları durumunda bir işleme tabi tutularak bulanıklaştırılmasına yarayan bulanıklaştırıcı birim ile yine bulanık olan çıktıların sayısallaştırılmasına yarayan durulaştırıcı birim ilave edilmiştir. Bulanık sistem çıkışlarının mühendislik tasarımlarında kullanılması amacı ile sayısallaştırılması için durulaştırma birimi ilave edilmiştir. Bu bulanıklaştırıcı-durulaştırıcı sistem, genel ve TSK bulanık sistemlerinde bulunan tüm mahzurları ortadan kaldırmaktadır.

Bulanık sistemlerin başlıca özellikleri arasında en önemli konu olarak çoklu girdileri, kural tabanı ve çıkarım motoru ile işleyerek tek çıktı haline dönüştürmesi gelir. Bazı özel durumlarda çıktı sayısı birden fazla olabilir (Şen, 2004).



Şekil 2.5 : Bulanıklaştırma-durulaştırma birimli bulanık sistem (Şen, 2004)

Araştırmacıların bulanık sistemleri kullanması için genel olarak iki sebep vardır. Bunlar şöyle ifade edilebilir:

1) Gerçek dünya olaylarının çok karmaşık olması dolayısı ile bu olayların belirgin denklemlerle tanımlanarak, kesin bir şekilde kontrol altına alınması mümkün olmaz. Bunun doğal sonucu olarak araştırmacı, kesin olmasa bile yaklaşık fakat çözülebilirliği olan yöntemlere baş vurmaya her zaman tercih eder. O halde, yapılan bütün çalışmalarda çözümler bir dereceye kadar yaklaşıktır. Aksi takdirde, çok sayıda doğrusal olmayan denklemlerin aynı zamanlı olarak çözülmesi gerekir ki, bunun günümüz bilgilerine göre belirgin olmayan kaotik çözümlere yol açacağı bilinmektedir.

2) Mühendislikte bütün teori ve denklemler gerçek dünyayı yaklaşık bir şekilde ifade eder. Birçok gerçek sistem doğrusal olmamasına, non-lineer olmasına rağmen bunların klasik yöntemlerle incelenmesinde doğrusallığı kabul etmek için her türlü gayret sarf edilir. Örneğin, mukavemet hesaplarında malzemenin gerilme altında şekil değiştirmesinin doğal olduğu, Hooke kanunu ile kesin bir ifadeyle kavuşturulmuştur. Halbuki, malzemenin her zaman bu şekilde davranması

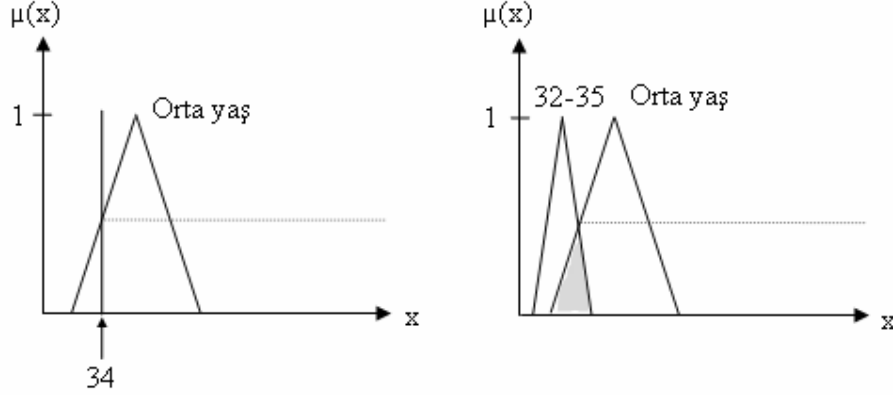
beklenemez ve bu sebeple küçük de olsa bazı sapmaların olması muhtemeldir. Zaten bunun doğal sonucu olarak, mukavemet boyutlandırmalarında emniyet katsayısı gibi bir büyüklük hesaplara ithal edilerek, olabilecek belirsizlikler yine belirgin bir şekilde göz önünde tutulmuştur. Emniyet katsayısının kullanılması, bir bakıma, belirsizliklerin arka kapıdan çözümün içine katı bir şekilde sokulmasıdır. Halbuki, gerçek malzemenin davranışlarında emniyet katsayısı gibi bir büyüklüğe gerek kalmadan boyutlandırma yapılması için belirsizlik ilkelerine gerek duyulur.

Günümüzde bilgi ve bunun getirdiği sözel verilere önem verilmektedir. Bunun sebebi, insanların bir cihaz gibi sayısal değil de yaklaşık sözel verilerle konuşarak anlaşmasıdır. Sözel insan verilerini, bir sistem içinde formüle ederek, cihazların verdiği sayısal bilgilerle beraber mühendislik sistemlerinde göz önünde tutmak gerekmektedir. Bulanık sistemlerin asıl işleyeceği konu bu tür bilgilerin bulunması halinde, çözümlenmelere gitmek için nasıl düşünüleceğidir. Aslında bulanık yöntemlerle bir sistemin modellenmesinde de yaklaşık ve oldukça kolay çözümlülük bulunur. Bu bakımdan bulanık sistemler teorik ve matematik aksiyumlu yaklaşımlardan bağımsız bir çözüm algoritmasını temsil eder. Bu bakımdan bulanık küme, mantık ve sistem ilkeleri, uzman kişilerin de vereceği sözel bilgileri işleyerek toptan çözüme gitmeye yarar (Şen, 2004).

2.3.1 Bulanıklaştırma

Fiziksel giriş bilgilerinin, dilsel niteleyicilerle ifade edebileceğimiz bulanık mantık bilgileri şekline çevirme işlemine “bulanıklaştırma” adı verilir. Bulanıklaştırma birimine gelen veri girişlerinin destek sınırları içine girdikleri bulanık alt kümelerde karşılık gelen üyelik dereceleri bulunur. Bu üyelik dereceleri çıkarım birimi için girdi olarak kullanılır. Ancak bu bilgilerin tamamının mutlaka kesin bilgiler olması söz konusu değildir. Bulanıklaştırma işlemi önemli ölçüde kesin olmayan bilgiyi de içine alır ve bulanıklaştırır. Bulanıklaştırma sonucu elde edilen değişkenlere dilsel değişkenler denir ve işlemle birlikte tüm giriş değişkenlerinin değerleri, üyelik derecesi olarak buraya atanır. Örneğin, 34 yaş giriş bilgisi, dilsel niteleyici olarak “orta yaşlı” olarak ifade edilebilir. Bununla beraber yine 32-35 yaş arası bulanık

kümesi, tam kesin olmayan bir bilgi olarak yine “orta yaşlı” olarak ifade edilebilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : Keskin ve keskin olmayan giriş büyüklüğünde bulanıklaştırma

Her iki giriş veri girişi için de bulanıklaştırma yapmak mümkündür. Dolayısı ile bulanık mantık sistemleri sadece keskin veri girişleriyle değil bulanık girişlerle de çalışabilir (Terzi, 2004).

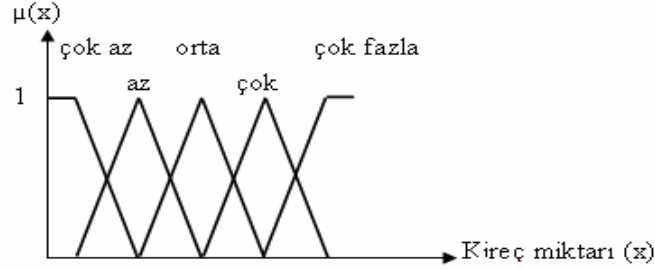
2.3.2 Bulanık çıkarım

Bulanık mantıkta da geleneksel mantıkta olduğu gibi bazı mantık işlemleri yer almaktadır. Ancak bu işlemin komutları VE, VEYA, DEĞİL, EĞER, ÖYLE İSE (AND, OR, NOT ve IF, THEN) ile sınırlı çok basit ve aynı zamanda da kullanışlıdır. Bu kurallar bütününe kurallar ya da bulanık mantık denetleyicisi üzerinde kural tabanı denir.

Bunu daha iyi açıklayabilmek için bir örnek ele alalım. Bulanık mantık kontrollü bir çamaşır makinesinin kullanacağı yumuşatıcı miktarını ayarlamak için nasıl çalışacağını inceleyelim. Buradaki girdilerimiz, kullanılan sudaki kireç miktarı ve yıkanan çamaşır ağırlığı; buna bağlı olarak elde edeceğimiz çıktımız ise yumuşatıcı miktarı olsun.

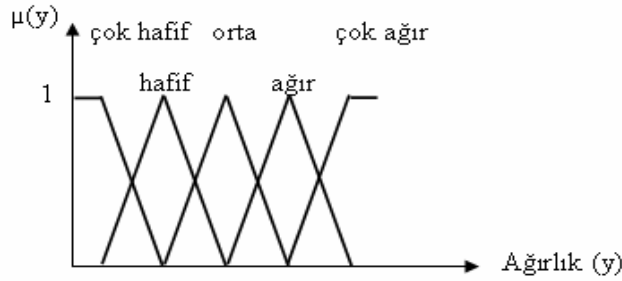
Bulanık kümeler genellikle üç, beş ya da yedi üyelik fonksiyonundan oluşabilirler. Örneğimize göre; çok az, az, orta, çok, çok fazla şeklinde beş üyelik fonksiyonuna

sahip bir bulanık kireç miktarı kümesi oluşturulabilir (Şekil 2.7). Burada da görüldüğü gibi tanımlar tamamıyla insanların söylemlerine göre geliştirilmiştir ve “dilsel niteleyiciler” olarak anılırlar. Bunların fonksiyonel olarak elde edilmeleri ve uygulama aşamasına getirilmeleri büyük ölçüde sistemde daha önce elde edilmiş deneyimlere bağlıdır.

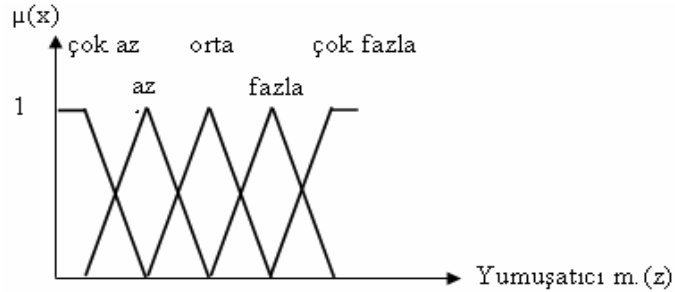


Şekil 2.7 : Bulanık kireç miktarı kümesi

Aynı şekilde çamaşır ağırlığı kavramına ilişkin kümeyi, çok hafif, hafif, orta, ağır, çok ağır ve kullanılacak yumuşatıcı miktarını çok az, az, orta, çok, çok fazla dilsel niteleyicileriyle anlatmak mümkündür (Şekil 2.8 ve 2.9).



Şekil 2.8 : Bulanık ağırlık kümesi



Şekil 2.9 : Yumuşatıcı miktarı bulanık kümesi

Şimdi bulanık mantık ile girdilere göre çıktı değerlerini inceleyelim:

EĞER Kireç Çok_Az VE Çamaşır Hafif ÖYLE İSE Çok_Az Yumuşatıcı_kullan

EĞER Kireç Orta VE Çamaşır Ağır ÖYLE İSE Orta Yumuşatıcı_kullan

EĞER Kireç Çok_fazla VE Çamaşır Orta ÖYLE İSE Çok Yumuşatıcı_kullan

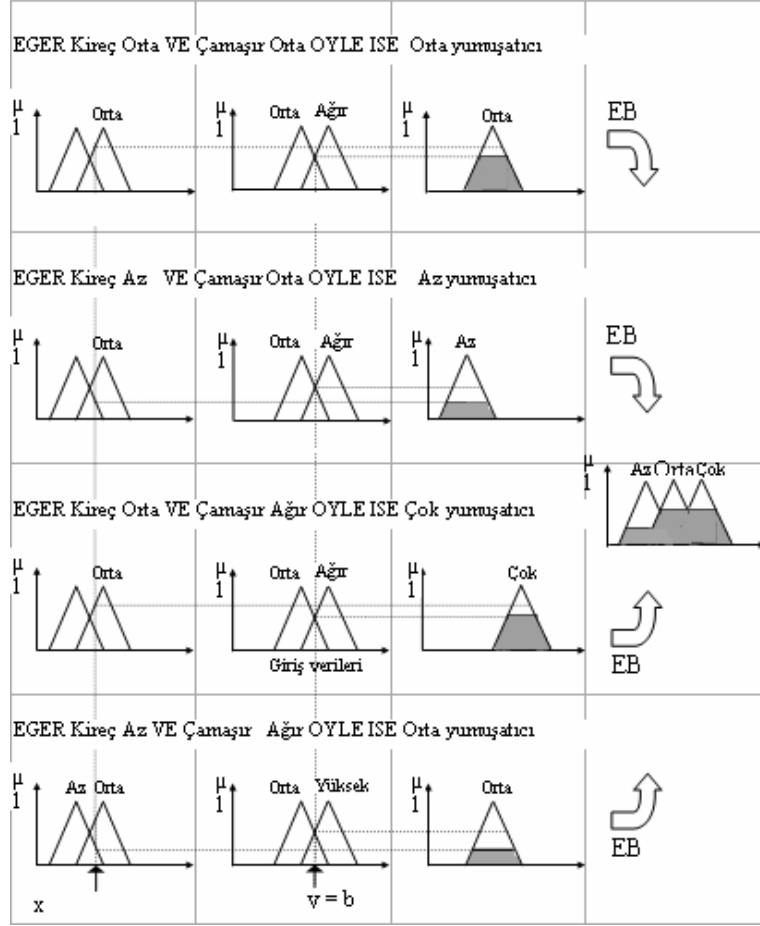
Giriş çıkış verileri arasında yukarıda görüldüğü gibi kurallar vasıtasıyla ilişki kurulacaktır. Verilen örneğe ait kural tabanı aşağıda görüldüğü gibi olacaktır.

Tablo 2.1 : Örnek kural tabanı

Yumuşatıcı Miktarı		Çamaşır Ağırlığı				
		Çok Hafif	Hafif	Orta	Ağır	Çok Ağır
Kireç Miktarı	Çok Az	Çok Az	Çok Az	Az	Az	Orta
	Az	Çok Az	Az	Az	Orta	Çok
	Orta	Az	Az	Orta	Çok	Çok
	Çok	Az	Orta	Çok	Çok	Çok Fazla
	Çok Fazla	Orta	Çok	Çok	Çok Fazla	Çok Fazla

Kireci kısaca “K”, çamaşır ağırlığını kısaca “A” ve yumuşatıcıyı kısaca “Y” ile gösterelim. Eğer değişkenler arasında VE kullanılmış ise buna bağlı olarak ortaya çıkacak fonksiyon En Küçük (EK) değer alacaktır. Yani, $\mu_Y(z) = EK(\mu_K(x), \mu_A(y))$ olur. Değişkenler arasında kullanılan bağlaç VEYA ise yumuşatıcı miktarı üyelik fonksiyonu, $\mu_Y(z) = EK(\mu_K(x), \mu_A(y))$ olacaktır. Fonksiyonda kullanılan DEĞİL işlemi ise, $\mu_{\bar{Y}}(z) = 1 - \mu_Y(z)$ anlamına gelmektedir. Burada μ değerleri, $0 \leq \mu \leq 1$ dir.

Örneğimize uygun olarak çamaşır makinesinin giriş bilgileri kireç için “az” ile “orta” arasında bir “a” değeri ve ağırlık için “orta” ile “ağır” arasında bir “b” değeri verilmiş olsun. Bu girdilere göre kullanılması gereken yumuşatıcı miktarı için gerekli bulanık çıkış kümesi Şekil 2.10 ‘da olduğu gibi belirlenir ve çıkan bulanık kümeye, durulma yöntemlerinden istenen bir tanesi uygulanarak sonuç elde edilir.



Şekil 2.10 : $x = a$ ve $y = b$ giriş keskin değeri için çıkartım olayı

Keskin olmayan ifadelerin VE bağlantısı için EK operatörü, VEYA bağlantısı için EB operatörünün seçilmesi en kolay ve bulanık denetimde aynı zamanda temel bağlantıların en çok rastlanan gerçekleştirme şeklidir. Tablo 2.2 'den de görüleceği gibi her iki operatör klasik halde iki değerli mantığın keskin olan dengine \vee ve \wedge geçiş yapar.

Tablo 2.2 : İki değerli mantıkta mantıksal temel bağlantılar için operatörlerin doğruluk tablosu (Terzi, 2004)

\wedge	0	1	MIN	0	1
0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1
\vee	0	1	MAX	0	1
0	0	1	0	0	1
1	1	1	1	1	1

EK ve EB operatörü yanında birçok sayıda bu özelliği gösteren değişik operatör çifti vardır. Fakat bu operatörler bulanık denetimde çok fazla önem arz etmezler. İkili bulanık kümenin kesişiminin oluşmasını ya da ikili keskin olmayan ifadenin VE bağlantısını gerçekleştirmek için operatörler T-norm olarak ifade edilir. Birleşim kümesi ya da VEYA bağlantısının gerçekleşmesi için operatörler S-norm veya T-conorm olarak ifade edilir.

Tablo 2.3 : T ve S normları (Terzi, 2004)

"VE"	"VEYA"
T-norm $T(\mu_A(x), \mu_B(x))$	S-norm $S(\mu_A(x), \mu_B(x))$
En Küçük	En Büyük
$EK(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$EB(\mu_A(x), \mu_B(x))$
Drastik(etkili) Çarpım	Drastik(etkili) Toplam
$EK(\mu_A(x), \mu_B(x))$ Eğer $MAX(\mu_A(x), \mu_B(x))=1$ ise 0 aksi halde	$EB(\mu_A(x), \mu_B(x))$ Eğer $EK(\mu_A(x), \mu_B(x))=0$ ise 1 aksi halde
Sınırlı Fark (Lukasiewicz-VE)	Sınırlı Toplam (Lukasiewicz-OR)
$EB(0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1)$	$EK(1, \mu_A(x) + \mu_B(x))$
Einstein- Çarpımı	Einstein-Toplamı
$(\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)) / (2 - (\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)))$	$(\mu_A(x) + \mu_B(x)) / (1 + \mu_A(x) \cdot \mu_B(x))$
Hamacher-Çarpımı	Hamacher-Toplam
$(\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)) / ((\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)))$	$(\mu_A(x) + \mu_B(x) - 2(\mu_A(x) \cdot \mu_B(x))) / (1 - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x))$
Cebirsel-Çarpım	Cebirsel-Toplam
$\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$	$(\mu_A(x) + \mu_B(x) - (\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)))$
Yager-Operatörü	Yager-Operatörü
$1 - EK((1 - \mu_A(x))^p + (1 - \mu_B(x))^p)^{1/p}, 1) \quad p \in R_+$	$EK((\mu_A(x)^p + \mu_B(x)^p)^{1/p}, 1) \quad p \in R_+$

Bu çalışmada ÖYLE İSE bağlantısının yapılmasında Mamdani çıkartımı adı verilen çıkartım kullanılmıştır. Bu çıkartımda sonuç çıkartımın doğruluk değerinin şartından daha büyük olmamalı temel düşüncesi yatmaktadır. Şartlar güncel bir durum için, örneğin sadece 0,5 değerinde üyelik derecesini karşılırsa böylece sonuç çıkartımın üyelik fonksiyonunun derecesi en fazla 0,5 değerini göstermelidir. Buna göre kuralın $A \Rightarrow B$ üyelik fonksiyonu basitçe, her iki üyelik fonksiyonun en küçük değerinin mantıksal VE bağlantısında seçildiği gibi oluşturulur.

$$\mu_{A \Rightarrow B}(x, y) = EK(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (2.1)$$

Keskin olmayan EĞER... İSE.... kuralının modellenmesi için bütün gerçekleştirme şekillerinden en basiti olan bu uygulama (operatör), bulanık denetimde en çok kullanılandır. Çıkartım mekanizması Mandani çıkartımı esasına dayanıyorsa

EB-EK (MAX-MIN) çıkartımından söz edilir. Buradaki EB operatörü Şekil 2.10 'daki örnekte de görüldüğü gibi birden fazla kuralın bulunması durumunda, kural sonuçlarının bir araya getirilmesinde anlam kazanır.

EK operatörü yerine üyelik fonksiyonlarının cebirsel çarpımını seçmek sadece anlam bakımından değişik bir kullanımdır. Cebirsel çarpım kullanımında ise, EB-ÇARPIM (MAX-PROD) çıkartımı telaffuz edilir (Terzi, 2004).

Bulanık çıkartım için diğer bir kaç operatörlerin bazıları Tablo 2.4' te verilmiştir. Bu operatörlerin bir kısmı çok özel bulanık mantık uygulamaları için ilgili olabilir.

Tablo 2.4 : Alternatif bulanık çıkartım yöntemleri (Terzi, 2004)

Bulanık-çıkartım $\mu_A \Rightarrow_B(x,y)$	
Zadeh-çıkartım	$\text{MAX}(\text{MIN}(\mu_A(x), \mu_B(y)), 1 - \mu_A(x))$
Lukasiewicz-çıkartım	$\text{MIN}(1, 1 - \mu_A(x) + \mu_B(y))$
Kleene-Dienes-çıkartım	$\text{MAX}(1 - \mu_A(x), \mu_B(y))$
Gödel- çıkartım	1 Eğer $\mu_A(x) < \mu_B(y)$ $\mu_B(y)$ aksi halde
Sharp- çıkartım	1 eğer $\mu_A(x) < \mu_B(y)$ 0 aksi halde

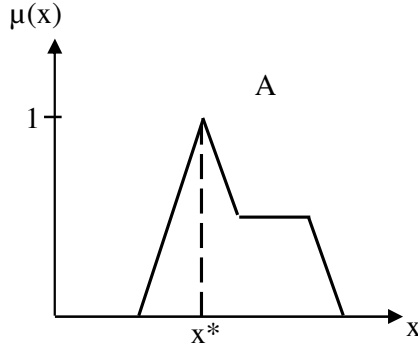
2.3.3 Durulaştırma

Bulanık küme çıkarımlarının, sistem üzerinde uygulanabilmesi için yeniden fiziksel ve kesin sayılara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işleme durulaştırma adı verilir. Bunun için çeşitli durumlara göre durulaştırma yöntemleri geliştirilmiştir.

Bulanık işlemciden elde edilen mantıksal çıkarımların üyelik fonksiyonları bir ya da birden fazla olabilirler. Örneğin, bulanık çıkarımımız iki parçadan oluşsun: Bunlardan ilki bir yamuk ve adı A_1 , diğeri de bir üçgen ve adı da A_2 olsun. Buna göre elde edeceğimiz bulanık çıkarım bu kümelerin bileşkesi olacaktır. Yani, $A_1 \cup A_2 = A_3$ 'tür. Doğaldır ki, bulanık işlemcilerden elde edilen bulanık çıkarımlar, aslında ikiden çok daha fazladır ve üyelik fonksiyonlarının biçimleri bizim bilmediğimiz şekillerde de olabilir. Ancak bulanık çıkarım sonucu her şekilde bu kümelerin bileşkesi alınarak hesaplanacaktır (Terzi, 2004).

Literatürde en çok kullanılan yedi çeşit durulama yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan kısaca aşağıda söz edilmiştir (Terzi, 2004).

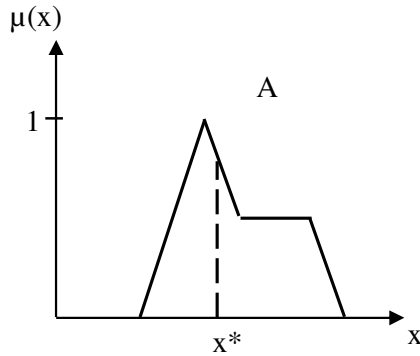
1. Üyelik fonksiyonunun en yüksek noktası: Bu yöntemden, “yükseklik yöntemi” olarak da söz edilmektedir (Şekil 2.11).



$$\mu_A(x^*) \geq \mu_A(x), \text{ tüm } x \in X \text{ için (2.2)}$$

Şekil 2.11 : Üyelik fonksiyonunun en yüksek noktası metodu

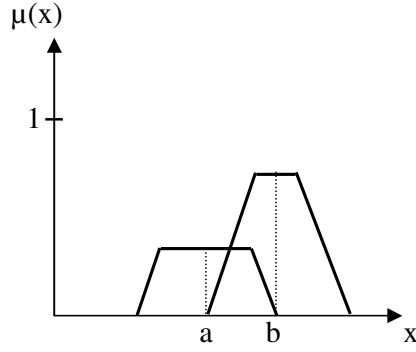
2. Merkez yöntemi: Alan merkezi ya da ağırlık merkezi de denilen bu yöntem, durulama yöntemi olarak en çok kullanılan yöntemlerden birisidir ve ağırlık merkezi hesaplanarak yapılır (Şekil 2.12).



$$x^* = \frac{\int \mu(x)x}{\int \mu(x)dx} dx \quad (2.3)$$

Şekil 2.12 : Merkez yöntemi

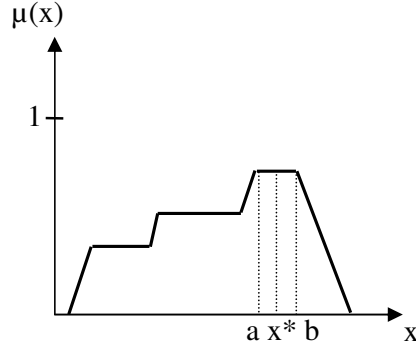
3. Ağırlıklı ortalama yöntemi: Bu yöntem yalnızca simetrik çıkışlı üyelik fonksiyonları için kullanılabilir ve her bir simetrik üyelik değerinin tepe noktası değeri belirlenerek, ortalamalarının alınmasıyla yapılmaktadır (Şekil 2.13).



$$x^* = \frac{\sum \mu(\bar{x})\bar{x}}{\sum \mu(\bar{x})} \quad (2.4)$$

Şekil 2.13 : Ağırlıklı ortalama yöntemi

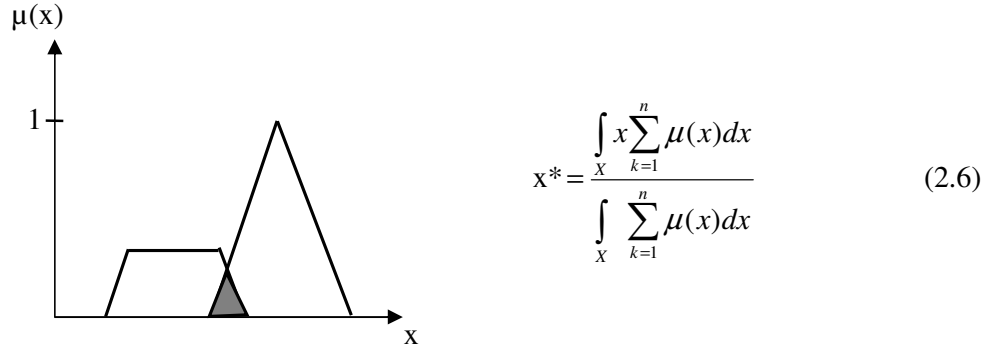
4. Üyelik fonksiyonunun en yüksek noktalarının ortalaması: Yüksek noktaların ortası da denilen bu yöntem, ilk yöntemle aşağı yukarı benzerdir ancak üyelik fonksiyonunun en yüksek noktası burada tek değildir. Yani Şekil 2.14' te de görüldüğü gibi bu bir dörtgen olabilir.



$$x^* = \frac{a + b}{2} \quad (2.5)$$

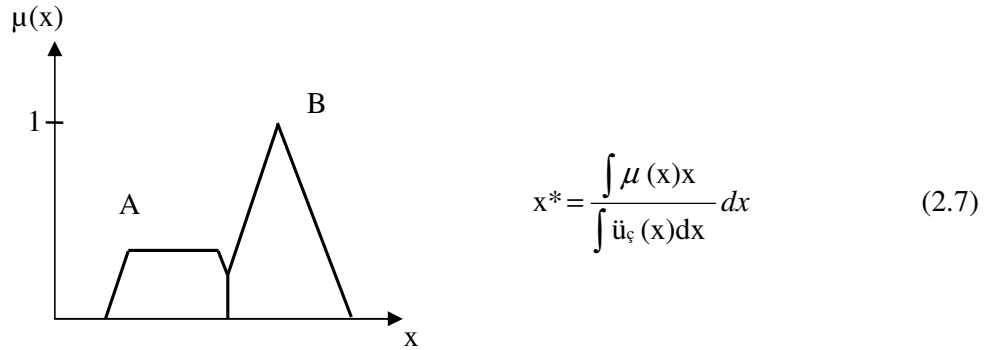
Şekil 2.14 : En yüksek noktaların ortalaması

5. Toplamların merkezi: Yukarıda söz edilen yöntemlerin çoğundan daha hızlı bir yöntemdir. Çünkü burada kümelerin bileşkeleri yerine doğrudan toplamları alınarak durulama işlemi yapılır. Ancak, buradaki tek çekince kesişim kümelerinin iki defa hesaba katılmasıdır. Bundan sonrası ise ağırlıklı ortalama yöntemiyle aynıdır (Şekil 2.15).



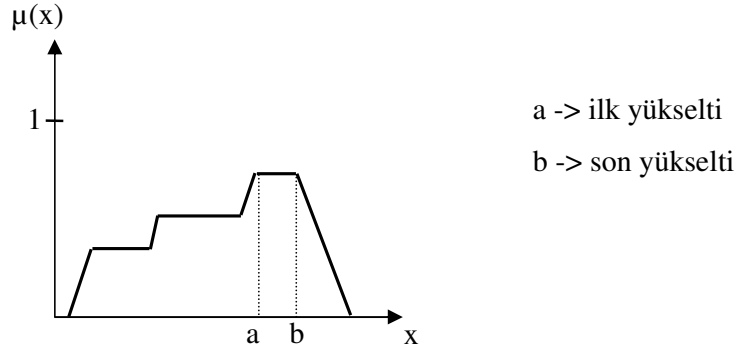
Şekil 2.15 : Toplamların ortalaması yöntemi

6. En büyük alan merkezi: Eğer bulanık çıkarımlar en az iki tane dışbükey üyelik elemanından oluşuyor ise bu yöntem kullanılabilir. Bu yöntemde dışbükey bulanık kümelerin en büyük alanlısının ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılır. Görüldüğü gibi A ve B dışbükey bulanık kümeleri bir araya geldiklerinde içbükey bir sonuç bulanık kümesi ortaya çıkmaktadır. Bu durumda en büyük alana sahip B kümesinin ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 : Geniş alan merkezi yöntemi

7. İlk (ya da son) yükselti: Bu yöntem bütün bulanık çıkışlarda uygulanabilecek bir yöntemdir. Bileşik sonuç bulanık fonksiyonunda, en yüksek üyelik değerine sahip fonksiyon yamuk şeklinde ise yamuğa ait göbek bölgesinin ilk yükseltisi (Şekil 2.17 'de a ile gösterilmiştir) ya da son yükseltisi (Şekil 2.17 'de b ile gösterilmiştir) bulanık çıkarım için kullanılabilir. Eğer en yüksek üyelik derecesine sahip fonksiyon üçgen şeklinde olursa, bu iki seçenek de aynı sonucu verecektir.



Şekil 2.17 : İlk yükselti(ve son yükselti) metodu

Burada yedi ayrı çeşit durulama yönteminden söz edilmiştir. Ancak, akla “acaba bunlardan hangisi daha iyi?” ya da “hangisini kullanmalıyım?” şeklinde bir soru gelecektir. Bunun cevabı, probleme en uygun olanının seçilmesidir. Hellendorn ve Thomas tarafından, 1993 yılında uygun olanın seçilmesi için beş dayanak ortaya atılmıştır.

Bu kriterler şunlardır:

- 1) Süreklilik kriteri : Bir bulanık sürecin girdisindeki ufak bir değişiklik çıktıda önemli bir değişikliğe sebep olmamalıdır.
- 2) Tek anlamlılık kriteri : Durulaştırma Kriteri sonucunda tek bir z^* değeri elde edilmelidir. Yani çok anlamlılık olmamalıdır. Yukarıdaki durulaştırma yöntemlerinden en büyük alan merkezi yöntemine bakarsak, burada birden fazla aynı büyüklükteki alan için, birden çok z^* değeri bulunduğunu fark ederiz ve bu da çok anlamlılığı doğurur ve sonuçta bu durulaştırma yöntemi bu kriteri aykırıdır.
- 3) Akla yakın olma yöntemi : z^* değeri yüksek bir üyelik derecesine sahip olmalı ve destek bölgesinin ortası civarında olmalıdır. (Ağırlık merkezi ve toplamların merkezi yöntemi bunu sağlamamaktadır.)
- 4) Hesaplama kolaylığı kriteri : Burada yöntemler arasındaki sonucu elde etmenin kolaylığına bakılır. (Örneğin maksimum yükseklik yönteminde hesaplamalar ağırlık merkezi yöntemine göre daha kolaydır.)

5) Ağırlık yöntemi kriteri : Burada kişisel yargıları incelediğimiz probleme göre göz önüne alırız (Terzi, 2004).

2.4 Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları

Belirsizlik durumlarında en uygun metodoloji esasının küme elemanlarına değişik üyelik derecelerinin verilmesi ile olacağı Lotfi Zadeh tarafından 1965 yılında belirtilmiştir. Aristo mantığına göre insanlar boy bakımından uzundur veya 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 bulunduğunu söyleyebiliriz. 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 bulunduğunu söyleyebiliriz.

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. 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 edebiliriz. Aslında Zadeh’in küme öğelerinin üyelik derecelerinin 0 ile 1 arasında değişebileceğini ileriye sürdüğü kümeler teorisinde geniş uygulamaya sahip ve doğal hayatla uyumlu olan bulanık kümeler kavramının özellikle 1980 yılı sonrasındaki teknoloji ve bilimsel çalışmalarda etkisi büyük olmuştur (Şen, 2004).

2.4.1 Bulanık ve geleneksel kümeler

İyi tanımlı nesnelere topluluğuna veya sınıfına küme, bir kümeyi oluşturan nesnelere her birine kümenin elemanları (öge, üye) ve üzerinde çalıştığımız kümelerin her birini alt küme olarak kabul eden en geniş kümeye evrensel küme denir. Geleneksel bir küme, evrensel kümedeki nesnelere ortak özelliklerine göre bir araya getirilme işlemi olarak da tanımlanabilir. Geleneksel bir kümenin elemanları mantıkta yer alan ikiye bölünme kuralına (1 veya 0, doğru veya yanlış, evet veya hayır vb.) dayanarak belirlenir.

Geleneksel kümelere, kümeye üye olanlar ve olmayanlar arasındaki ayrım esnek olmayan ve sert bir yapıdadır. Diğer bir ifadeyle, geleneksel kümelere küme üyeliği arasındaki geçiş, 0'dan 1'e ve 1'den 0'a kesikli bir durumdur. Çünkü, geleneksel küme teorisinde evrensel kümede yer alan nesnelere, bu evrensel kümenin herhangi bir alt kümesinde üyeliğini belirleyen ifade veya sınır koşulu net bir şekilde tanımlanır. Yani bir eleman, bir kümeye aittir veya ait değildir, ya da her iki kümeye de eşit derecede aittir. Geleneksel kümelere üyelik fonksiyonu,

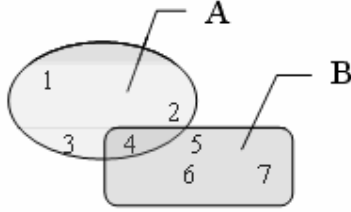
$$\mu_A(x) \rightarrow \{0,1\} \quad (2.8)$$

olarak tanımlanır ve evrensel kümenin her bir elemanı (x), üyelik fonksiyonu $\mu_A(x)$ 'in 0 veya 1 değeriyle eşlenir.

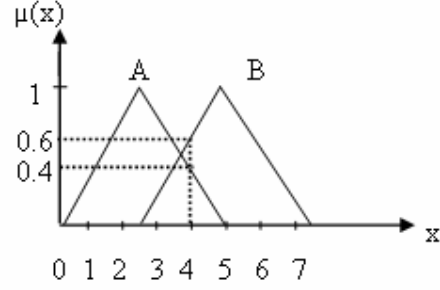
Geleneksel ve bulanık kümeler sınır koşulu ve üyelik derecesi anlamında karşılaştırılır. Bulanık bir küme, sınır koşulları esnek olarak tanımlanan bir kümedir. Bulanık küme teorisi, kısmi üyeliğe izin vererek geleneksel küme teorisini genelleştirir ve küme üyeliği için [0,1] aralığındaki herhangi bir değeri kabul eder. Bulanık bir küme, evrensel kümedeki her bir elemanın [0,1] aralığındaki bir sayı ile eşlendiği bir üyelik fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\mu_A(x) \rightarrow [0,1] \quad (2.9)$$

Burada, 0 sayısı ilgili nesnenin kümenin üyesi olmadığını, 1 sayısı ilgili nesnenin kümenin tam üyesi olduğunu ve bu iki değer arasındaki herhangi bir sayı ise ilgili nesnenin kümeye üyelik derecesini veya kısmi üyeliğini gösterir. Buna göre, bulanık küme teorisinde kümenin elemanı olmayan nesnelere, kümenin tam elemanı olan nesnelere doğru esnek ve dereceli bir geçişe izin verilir (Özkan, 2003).



Şekil 2.18 : Geleneksel küme



Şekil 2.19 : Bulanık küme

Bulanık bir küme, bir nesne ve bu nesnenin üyelik derecesini gösteren sıralı çiftlerle ifade edilir.

$$\tilde{A} = (x, \mu_{\tilde{A}}(x)), \forall x \in U \quad (2.10)$$

Burada her bir $(x, \mu_{\tilde{A}}(x))$ çiftine bir bulanık teklik denir. Bir bulanık teklik,

$$\frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x} \quad (2.11)$$

olarak tanımlanabilir. Bulanık kümelerde üyelik derecesi 0 olan bulanık teklikler genellikle gösterilmez. Buna göre, evrensel kümenin sonlu olması halinde bulanık bir küme aşağıda verildiği gibi ifade edilir.

$$\tilde{A} = \sum_i^n \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} = \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_n)}{x_n} \quad (2.12)$$

Evrensel kümenin sonsuz olması halinde ise, bulanık bir küme aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$A = \int \frac{\mu_A(x_i)}{x_i}, \forall x_i \in U \quad (2.13)$$

Yukarıdaki ifadelerde, Σ ve \int işaretleri, bulanık tekliklerin sırasıyla kesikli ve sürekli evrenlerde bir araya getirilmesini ifade eder. / simgesi, matematiksel olarak $(x, \mu_A(x))$ tekliğini ifade etmek için kullanılan bir ayraçtır. + işareti ise, bulanık tekliklerin birleşimini gösteren bir simgedir (Özkan, 2003).

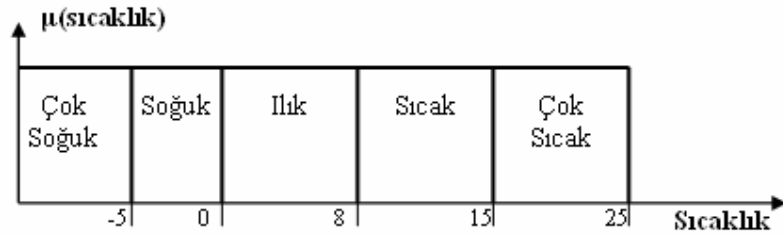
Geleneksel kümeler ile bulanık kümeler arasındaki en temel fark üyelik fonksiyonlarıdır. Geleneksel bir küme sadece bir üyelik fonksiyonu ile nitelenebilirken, bulanık bir küme teorik olarak sonsuz sayıda üyelik fonksiyonu ile nitelenebilir. Bir sistemin işleyişi veya bir nesne için, ne kadar veya hangi noktadan sonra gibi soruların yanıtları ile bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları oluşturulmaya çalışılır. Bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonunu belirleme süreci, kavramların uygulamadaki anlamına dayanarak sezgisel olarak da yapılır.

Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarındaki çeşitlilik, yöneticilerin karar almadaki belirsizliklerini azaltır. Yöneylem araştırmasının karar almada sıkça kullanılan doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama, tamsayılı programlama, hedef programlama, çok amaçlı karar verme, dinamik programlama, bekleme hattı modelleri, ulaştırma modelleri, oyun teorisi ve şebeke analizi gibi bir çok alanına, bulanık küme teorisi uygulanabilmektedir.

2.4.2 Üyelik fonksiyonları

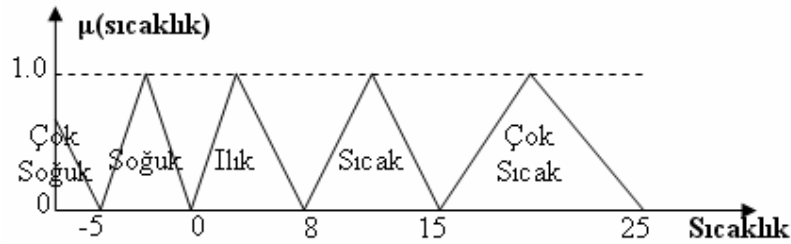
Üyelik fonksiyonu sayısal bir aralığın, bir kelime ile ifade edilen bir küme olan üyeliğini tarif eder. Göz önünde tutulan bir bulanık kelime veya ifadenin temsil ettiği sayısal aralık, o ifade hakkında bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenebilir. Mesela, İstanbul’da sıcaklık derecesinin değişim 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 bir takım alt aralıklardan oluştuğu düşünülür. Mesela, “çok soğuk”, “soğuk”, “ılık”, “sıcak”, “aşırı sıcak” gibi. Mesela çok soğukun -5 derece ile 0 derece, soğukun 0 derece ile 8 derece, ılığın 8 derece ile 15 derece, sıcakın 15 derece ile 25 derece, çok sıcakın 25 dereceden başladığı söylenebilir. Burada dikkat edilirse aralık tahminlerinde bulunmuş ve her bir alt aralıktan biri bitince diğeri başlamıştır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 : Bitişik dikdörtgen gösterim (Şen, 2004)

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.

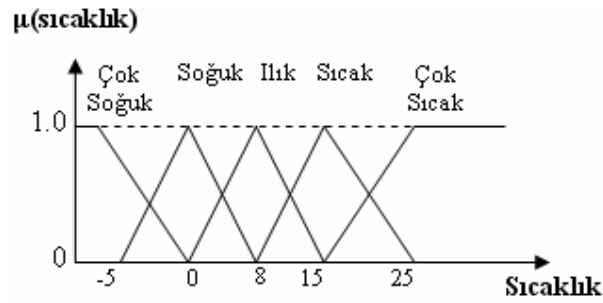


Şekil 2.21 : Bitişik üçgen gösterim (Şen, 2004)

Şekil 2.21 '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 2.20 '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 uzlaştırıcı çözümlere gitmiş olur. Çünkü herkesin ılık sınırlarının +5 ile 15 derecede sıfır üyelik derecelerine sahip olacağını kabul etmesini savunmak mümkün değildir. Halbuki, günlük hayatta sınıra yakın olan değerlerin hangi aralığa düşeceği oldukça müphem ve şüpheli, yani bulanıktır. Böylece, sıcaklık alt aralıklarının birbiri ile örtüşmeli geçişlere sahip olmasının gerekliliği ile sonuçta Şekil 2.22 'de verilen üyelik fonksiyonlarına varılır.

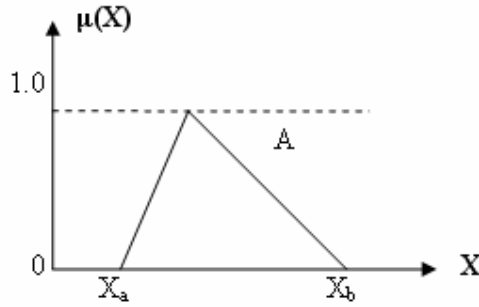


Şekil 2.22 : Örtüşmeli üçgen gösterim (Şen, 2004)

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. Bu düşünceler bizi Şekil 2.23 'te gösterilen bir geometrik gösterime sürükler. 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 2.23 : Bulanık küme (Şen, 2004)

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

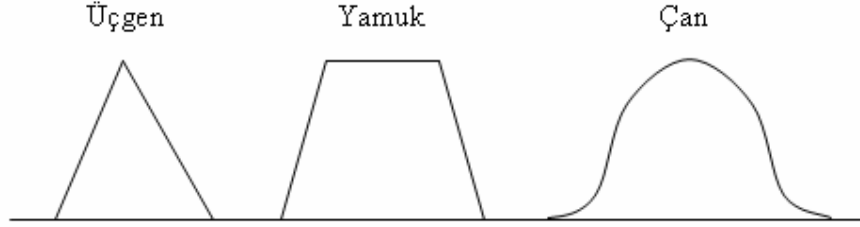
$$\mu_A : x \rightarrow [0,1] \quad (2.14)$$

şeklinde tanımlanır. Buna bağlı olarak da bulanık A kümesinin tanımı

$$A = \{(x, \mu_A(x) | x \in X)\} \quad (2.15)$$

şeklindedir.

Matematik kurallarına uygun olarak düzgün şekilli üyelik fonksiyonları Şekil 2.23 'te gösterilen üçgenden başka, yamuk veya çan eğrisi şeklinde de olabilir (Şekil 2.24). Ancak pratik uygulamalarda bunlardan en fazla üçgen olanı kullanılır (Terzi, 2004).

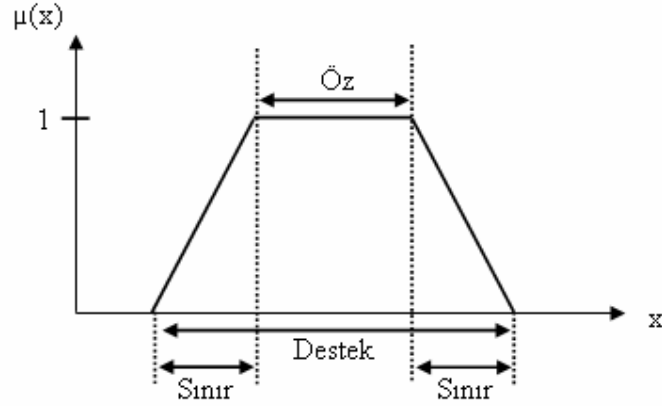


Şekil 2.24 : Üyelik fonksiyonu şekilleri

Üyelik fonksiyonlarını kesikli-süreklili, parametrik-parametrik olmayan ve simetrik-asimetrik şekilde sınıflandırmak mümkündür. Bulanık bir değişkene ilişkin üyelik fonksiyonunun belirlenmesi, rastsal bir değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonunun belirlenmesine benzetilebilir. Bu nedenle bulanık bir değişkene üyelik fonksiyonu atama süreci, kavramların uygulamadaki anlamına dayanarak sezgisel olarak yapılabilir. Üyelik fonksiyonlarının doğru ve uygulama ile örtüşen bir şekilde belirlenmesi, bulanık küme teorisinde önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü, üyelik fonksiyonları bulanık küme teorisinin esasını teşkil etmektedir. Bu nedenle, üyelik fonksiyonları bir kez belirlendikten sonra, bulanık küme teorisinde bulanık olan herhangi bir şey kalmadığı söylenir (Özkan, 2003).

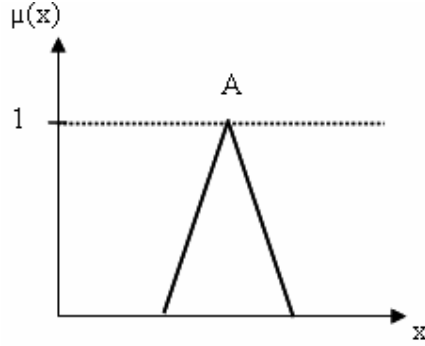
2.4.2.1 Üyelik fonksiyonlarının kısımları

Bulanık kümenin grafik olarak gösteriminden de kolayca görebileceğimiz gibi bazı üyelik fonksiyon tanımları bulunmaktadır. Bunlar öz, sınır ve destek'tir (Şekil 2.25). Bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonunun $\mu_A(x)=1$ olan bütün x elemanlarını kapsayan bölgesi, öz olarak adlandırılır. Yine bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonunun $0<\mu_A(x)<1$ olan bütün x elemanlarını kapsayan bölgesi, sınır olarak adlandırılır. Bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonunun $\mu_A(x)>0$ olduğu bütün bölgeler ise destek bölgesidir.

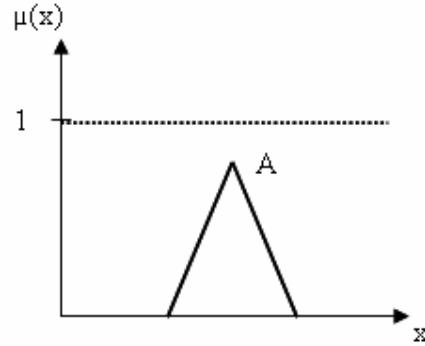


Şekil 2.25 : Üyelik fonksiyonu kısımları (Şen, 2004)

Normal bulanık küme, üyelik değerinin en az bir elemanı için 1 değerini aldığı bulanık kümelerdir (Şekil 2.26). Eğer bulanık kümede bir ve yalnızca bir elemanın üyelik değeri 1 ise bu eleman, kümenin özel tipli elemanı olarak adlandırılır. Bunun dışındaki bulanık kümelere ise normal olmayan bulanık kümeler denir (Şekil 2.27).

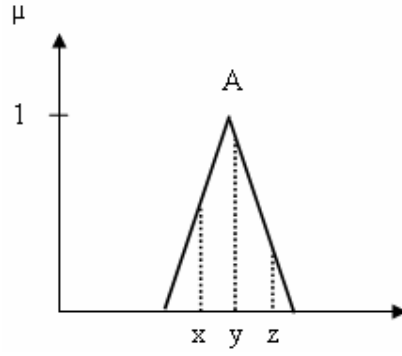


Şekil 2.26 : Normal bulanık küme

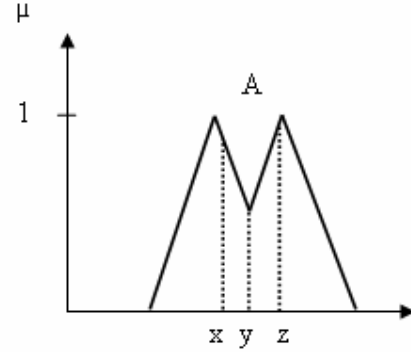


Şekil 2.27 : Normal olmayan bulanık küme

Bulanık kümenin, üyelik fonksiyonunun üyelik değerleri monoton artan ve daha sonra monoton azalan bir durumda ise ya da belli üyelik değerlerinde 1 olduktan sonra monoton azalan ise böyle kümelere bulanık dışbükey kümeler adı verilir. Başka bir deyişle x, y, z elemanları A bulanık kümesinin içinde olsun ve $x < y < z$ olmak şartı ile $\mu_A(y) > EB(\mu_A(x), \mu_A(z))$ denklemini sağlayan bulanık kümeler dışbükeydir. Bu klasik matematiksel dışbükey biçim tanımından farklıdır (Şekil 2.28).



Şekil 2.28 : Normal dışbükey bulanık küme



Şekil 2.29 : Normal dışbükey olmayan bulanık küme

Bulanık sistemlerde kullanılan dilsel niteleyicilerin, hesaplamaların doğru şekilde yapılabilmesi için normal dışbükey kümelerden oluşması gerekir (Şen, 2004).

2.4.2.2 Üyelik fonksiyonlarının formları ve sınırları

Yaygın olan üyelik fonksiyonu formları normal ve konveks olanlardır. Bununla birlikte bulanık kümeler üzerindeki bazı işlemler ve üyelik fonksiyonu üzerindeki işlemler normal olmayan ve konveks olmayan fonksiyonlar ile sonuçlanır. Birleşim operatörünün hem normal olmayan hem de konveks olmayan bulanık kümeler üretmesi gibi.

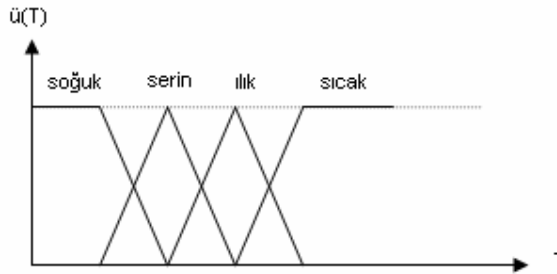
Üyelik fonksiyonları simetrik veya asimetrik olabilirler. Bu fonksiyonlar tek boyutlu kümelerde tanımlandığı gibi çoklu-boyut kümelerde de tanımlanabilirler. Burada gösterilen fonksiyonlarda tek boyutlu eğriler gösterilmektedir. İki boyutlu durumlarda da bu eğriler yüzeyleri, üç ve daha fazlası için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

2.4.2.3 Üyelik derecesinin belirlenmesi

İhtimaller hesabından bilineceği gibi rasgele bir değişkene değişik ihtimal yoğunluk fonksiyonları uydurabileceği 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 aşağıda listelenmiştir (Şen, 2004):

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

Herkesin, hemen her gün karşı karşıya kalarak görüş ileri sürdüğü sıcaklık kelimesinin belirttiği belirsizlik alt kümeleri düşünüldüğünde; en azından soğuk, serin, ılık ve sıcak gibi dört alt küme belirlenebilir. Bu alt kümelerin her biri belirli bir geometrik şekil ile Şekil 2.30 'da gösterildiği gibi temsil edilebilir.



Şekil 2.30 : Sıcaklık bulanık alt kümeleri

Bu geometrik şekillerin konuları doğal olarak, o yörede yaşayan kişilere bağlı olarak değişiklik gösterecektir. Örneğin, kutuplarda yaşayan insanların soğuk kavramı ile tropikal bölgelerde yaşayan insanlarınki birbirinden oldukça farklıdır (Şen, 2004).

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. Üçgenler yaklaşıklıkla eşkenar (E), ikizkenar (İ), dik açılı (D), dik açılı eşkenar (DE) ve diğerleri (Dİ) gibi alt kümelerine 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

$$\mu_i(A,B,C)=1-(1/60) \text{Min}(A-B,B-C) \quad (2.16)$$

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

$$\mu_D(A,B,C)=1-(1/90)|A - 90^\circ| \quad (2.17)$$

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

$$\mu_{i \cup D}(A,B,C)=\text{Min} [\mu_i(A, B, C), \mu_D(A, B, C)] \quad (2.18)$$

şeklinde ifade edilebilir (Şen, 2004).

2.5 Bulanık Küme İşlemleri

X evrensel kümesinde A ve B bulanık alt kümelerini tanımlayalım ve x yine bu kümelere ait bir eleman olsun, A ve B bulanık kümeleri arasında yapılacak küme işlemleri için bazı kuralların tanımlanması gerekmektedir.

Bulanık kümelerde birleşim işlemi yapılırken klasik kümelerde kullanılan ‘ \cup ’ işareti yerine veya ‘ \vee ’ işareti kullanılır. ‘Veya’ operatörünün kullanıldığı durumlarda bulanık mantıkta yapılan işlem iki üyenin ortak olan ve olmayan bütün üyelerini alınmasıdır. Bu durumda ortak olmayan üyelerin üyelik dereceleri aynı kalırken, ortak üyeler için En Büyük (EB) operatörü kullanılarak üyelik derecelerinden en büyük olanı alınır. Yani yeni birleşim bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu EB operatörü kullanılarak belirlenir.

Bulanık kümelerde kesişim işlemi yapılırken klasik kümelerde kullanılan ‘ \cap ’ işareti yerine ve ‘ \wedge ’ işareti kullanılır. ‘Ve’ işaretinin kullanıldığı durumlarda bulanık mantıkta yapılan işlem iki üyenin ortak olan bütün üyelerini alınmasıdır. Bu durumda ortak üyeler için En Küçük (EK) operatörü kullanılarak üyelik derecelerinden en küçük olanı alınır. Yani yeni kesişim bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu EK operatörü kullanılarak belirlenir (Terzi, 2004).

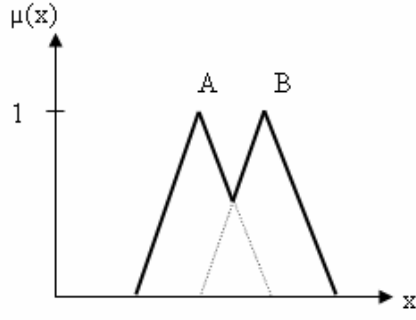
Bulanık kümenin tümleyeni ise küme elemanlarını üyelik derecelerinin birden çıkarılması ile bulunur.

$$\mu_{A\vee B}(x) = EK(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.19)$$

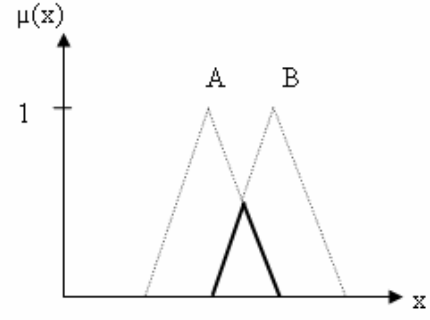
$$\mu_{A\wedge B}(x) = EB(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.20)$$

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.21)$$

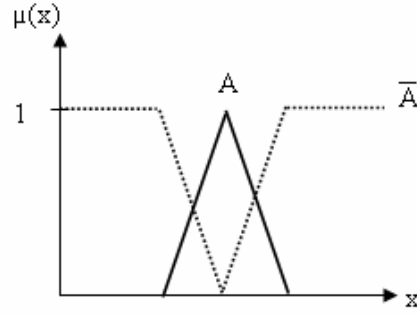
Bu ifadelere ait grafikler Şekil 2.31 ‘de gösterilmiştir.



(a) A ve B kümelerinin birleşimi



(b) A ve B kümelerinin kesişimi



(c) A kümesinin tümleri

Şekil 2.31 : Bulanık kümelerde temel işlemler

Örneğin, evrensel kümemiz $X=\{3,4,5,6,7,8,9\}$ olarak alınsın. A ve B bulanık

kümeleri, $A = \left\{ \frac{0.1}{5} + \frac{0.5}{6} + \frac{1}{7} + \frac{0.7}{8} + \frac{0.3}{9} \right\}$ ve $B = \left\{ \frac{1}{4} + \frac{0.8}{5} + \frac{0.4}{6} + \frac{0.2}{7} \right\}$ olsun.

A'nın evriği $\bar{A} = \left\{ \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{0.9}{5} + \frac{0.5}{6} + \frac{0}{7} + \frac{0.3}{8} + \frac{0.7}{9} \right\}$

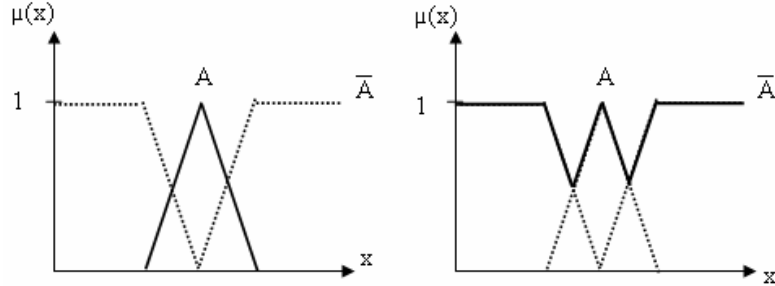
B'nin evriği $\bar{B} = \left\{ \frac{1}{3} + \frac{0}{4} + \frac{0.2}{5} + \frac{0.6}{6} + \frac{0.8}{7} + \frac{1}{8} + \frac{1}{9} \right\}$

A ve B kümelerinin bileşimi, $A \vee B = \left\{ \frac{1}{4} + \frac{0.8}{5} + \frac{0.5}{6} + \frac{1}{7} + \frac{0.7}{8} + \frac{0.3}{9} \right\}$

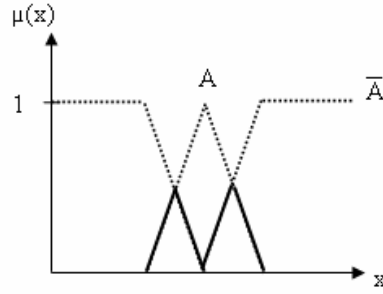
A ve B kümelerinin kesişimi, $A \wedge B = \left\{ \frac{0.1}{5} + \frac{0.4}{6} + \frac{0.2}{7} \right\}$

Görüldüğü gibi bulanık kümelerdeki işlemler geleneksel kümelerdeki işlemlerle benzeşmektedir. A bulanık kümesinin evriği ile birleşimi evrensel küme değildir. Ve A bulanık kümesinin evriği ile kesişimi boş küme değildir. Matematiksel olarak,

$A \vee \bar{A} \neq X$ ve $A \wedge \bar{A} \neq \emptyset$ ' dir. Bu işlemlere ait grafikler Şekil 2.32 'de görülmektedir (Terzi, 2004).



(a) A bulanık kümesi ve tümleri (b) A bulanık kümesi ve tümlerinin birleşimi



(c) A bulanık kümesi ve tümlerinin kesişimi

Şekil 2.32 : A bulanık kümesi ve tümleri arası ilişkiler

Buların dışındaki diğer küme işlem özellikleri, klasik küme işlem özellikleriyle benzeşirler:

$$A \vee B = B \vee A \quad (2.22)$$

$$A \wedge B = B \wedge A \quad (2.23)$$

$$A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge C \quad (2.24)$$

$$A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee C \quad (2.25)$$

$$A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C) \quad (2.26)$$

$$A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C) \quad (2.27)$$

$$A \vee A = A \text{ ve } A \wedge A = A \quad (2.28)$$

$$A \vee \emptyset = A \text{ ve } A \wedge X = A \quad (2.29)$$

$$A \wedge \emptyset = \emptyset \text{ ve } A \vee X = X \quad (2.30)$$

$$\overline{A \wedge B} = \bar{A} \vee \bar{B} \quad (2.31)$$

$$\overline{A \vee B} = \overline{A} \wedge \overline{B} \quad (2.32)$$

$$\text{Eğer } A \subseteq B \subseteq C \text{ ise } A \subseteq C \text{ 'dir.} \quad (2.33)$$

2.6 Bulanık Sayılar

Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel bir alt kümesidir. Bulanık kümelerde geçerli olan birleşim, kesişim, α -kesimi, genişleme kuralı gibi işlemler bulanık sayılara da kolayca uygulanabilir. 5 civarı, hemen hemen 10, yaklaşık olarak 15.200 'den küçük vb. gibi kesin olmayan veya yaklaşık miktarların nitelenmesinde bulanık sayılar oldukça yararlıdır. Bulanık sayıların kullanım alanları arasında bulanık regresyon, bulanık programlama ve bulanık karar verme ön plana çıkmaktadır (Özkan, 2003).

2.6.1 Aralık analizi ve α -kesimleri

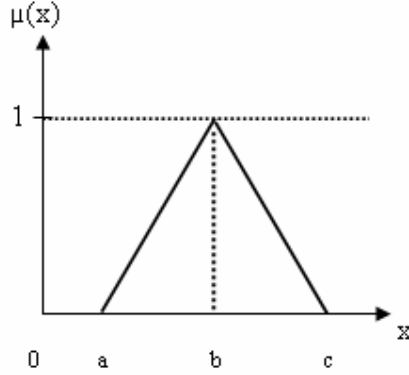
Bulanık sayıların tanımlı olduğu evrensel küme, gerçel sayılar kümesi, tam sayılar kümesi veya doğal sayılar kümesidir. Her bulanık sayı bir bulanık küme olmasına rağmen, her bulanık küme bir bulanık sayı değildir. Bulanık bir kümenin bulanık bir sayı olabilmesi için, aşağıda verilen özelliklerin karşılanması gerekmektedir;

- Bulanık küme, normal bir bulanık küme olmalıdır,
- Bulanık küme, dışbükey bir bulanık küme olmalıdır,
- Bulanık kümenin destek kümesi sınırlı olmalıdır,
- Bulanık kümenin her bir α -kesimi, gerçel sayı doğrusunun kapalı bir aralığında tanımlı olmalıdır (Özkan, 2003).

Bulanık sayıların iki özel türü olan üçgensel ve yamuksal bulanık sayılar uygulamada sıkça kullanılmaktadır. Bu sayılar, isimlerini üyelik fonksiyonlarının biçimlerinden alır. Gerçel sayı doğrusunda tanımlı olan üçgensel bir bulanık sayı, aşağıdaki üyelik fonksiyonu ile parametrik olarak ifade edilir.

$$\mu_A(x) = \mu_A(x; a, b, c) = \begin{cases} (x - a)/(b - a) & \text{eğer } a \leq x \leq b \text{ ise} \\ (c - x)/(c - b) & \text{eğer } b \leq x \leq c \text{ ise} \\ 0 & \text{eğer } x \geq c \text{ veya } x \leq a \end{cases} \quad (2.34)$$

Burada, b parametresi üyelik derecesinin 1' e eşit olduğu noktayı verir ve mod değeri olarak yorumlanır. a ve c parametreleri ise, üçgensel bulanık bir sayının kanat açıklıklarını veya üyelik derecesinin 0 olduğu noktaları gösterir. Üçgensel bulanık bir sayı Şekil 2.33 'te grafik olarak gösterilmiştir.

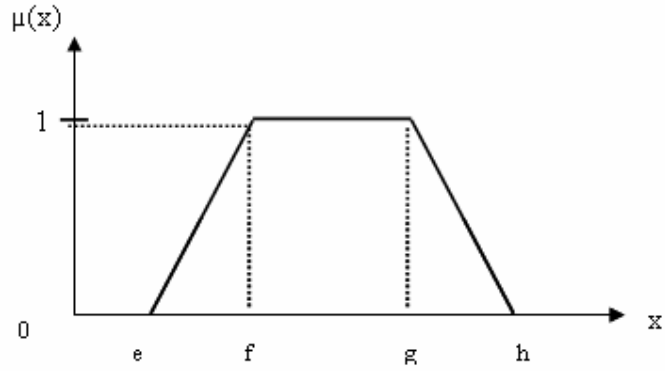


Şekil 2.33 : Üçgensel bulanık sayı (Özkan, 2003)

Gerçel sayı doğrusu üzerinde tanımlı olan yamuksal bir bulanık sayı aşağıda verilen üyelik fonksiyonu ile parametrik olarak ifade edilebilir.

$$\mu_A(x) = \mu_A(x;e,f,g,h) = \begin{cases} (x - e)/(f - e) & \text{eğer } e \leq x \leq f \text{ ise} \\ 1 & \text{eğer } f \leq x \leq g \text{ ise} \\ (h - x)/(h - g) & \text{eğer } g \leq x \leq h \text{ ise} \\ 0 & \text{eğer } x \geq h \text{ veya } x \leq e \text{ ise} \end{cases} \quad (2.35)$$

Burada, e ve h parametreleri yamuksal bir bulanık sayının kanat açıklıklarını veya üyelik derecesinin sıfır olduğu elemanları gösterir. f ve g parametreleri ise, bu sayının kernel kümesini gösterir. Kernel kümesi, üyelik fonksiyonunda üyelik dereceleri 1 olan elemanların bir araya getirildiği bir kümedir. Dolayısıyla, yamuksal bir bulanık sayının kernel kümesinin alt sınırı f parametresi ile, üst sınırı ise g parametresi ile gösterilir. Yamuksal bir bulanık sayı Şekil 2.34 'te grafik olarak gösterilmiştir.



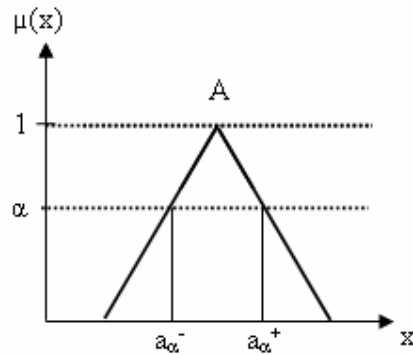
Şekil 2.34 : Yamuksal bulanık sayı (Özkan, 2003)

Sürekli veya kesikli bir evrensel kümede tanımlı olan bulanık sayıların α -kesim kümeleri, aslında geleneksel veya bulanık olmayan nitelikteki bir aralığı ifade eder. Bu nedenle, bulanık sayıların gerçel sayı doğrusu üzerindeki bulanık olmayan aralıkları, α -kesimlerine göre belirlenebilir. Bulanık bir sayının α -kesimi aşağıda verildiği gibi bulunur.

$$A_\alpha = \{x \in U \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \text{ ve } \alpha \in (0,1] \quad (2.36)$$

Şekil 2.35 'te bir bulanık alt kümenin, α seviyesinde kesilmesi ile ortaya çıkan kesilmiş bulanık kümenin a_α^- ve a_α^+ gibi, bir alt bir de üst sınır küme değerleri elde edilir. Notasyon olarak, A gibi bulanık bir alt kümenin α seviyesindeki kesim sınırları cinsinden gösterilişi aşağıdaki gibidir:

$$A_\alpha = \{ a_\alpha^-, a_\alpha^+ \} \quad (2.37)$$



Şekil 2.35 : Bulanık sayı kesim seviyeleri

Bulanık bir sayının α -kesim kümesi hesaplanırken, bulanık sayıya ilişkin üyelik fonksiyonunun verilen α değerine eşitlenmesi yeterlidir. Buradan oluşturulan denklemin çözülmesi ile bir üst dilimde (α -kesim kümesinde) yer almayan elemanlar belirlenir. Diğer bir ifadeyle, söz konusu α -kesim kümesinin alt ve üst sınırı belirlenir. Bulanık bir sayı aynı zamanda dışbükey bulanık bir küme olduğu için, verilen α değerinden daha büyük olan elemanlar, söz konusu çözüm değerlerinin arasında yer alacaktır (Özkan, 2003).

2.6.2 Bulanık sayılarda dört işlem

Geleneksel sayılarda olduğu gibi, bulanık sayılarda da toplama, çıkarma, çarpma ve bölme gibi temel cebirsel işlemler kolaylıkla uygulanabilir.

2.6.2.1 Bulanık sayıların toplanması ve çıkarılması

A ve B bulanık alt kümelerinin α seviyesinde kesimleri $A_\alpha = [a_\alpha^-, a_\alpha^+]$ ve $B_\alpha = [b_\alpha^-, b_\alpha^+]$ olsun. Bu iki bulanık alt kümenin $A + B$ toplamı α kesim seviyesi cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$(A + B)_\alpha = [a_\alpha^- + b_\alpha^-, a_\alpha^+ + b_\alpha^+] \quad (2.38)$$

Benzer olarak iki bulanık alt kümenin birbirinden çıkarılması aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$(A - B)_\alpha = [EK (a_\alpha^- - b_\alpha^-, a_\alpha^+ - b_\alpha^+), EB (a_\alpha^- - b_\alpha^-, a_\alpha^+ - b_\alpha^+)] \quad (2.39)$$

Bu işlemler her α seviyesi için geçerlidir. $\alpha = 1$ ve $\alpha = 0$ olması durumunda kesim kümeleri aralık sayılarına dönüşür. Bu değerlerin sonuçlarda yerine koyulması durumunda sonuç bulanık kümelerinin sınırları belirlenebilir.

2.6.2.2 Bulanık sayıların çarpılması ve bölünmesi

İki bulanık sayının çarpım ve bölüm işlemleri α kesim seviyesi cinsinden aşağıda görülebileceği gibi gerçekleştirilir.

$$(A.B)_\alpha = [EK (a_\alpha^-.b_\alpha^-, a_\alpha^-.b_\alpha^+, a_\alpha^+.b_\alpha^-, a_\alpha^+.b_\alpha^+), EB (a_\alpha^-.b_\alpha^-, a_\alpha^-.b_\alpha^+, a_\alpha^+.b_\alpha^-, a_\alpha^+.b_\alpha^+)] \quad (2.40)$$

$$(A/B)_\alpha = [EK (a_\alpha^-/b_\alpha^-, a_\alpha^-/b_\alpha^+, a_\alpha^+/b_\alpha^-, a_\alpha^+/b_\alpha^+), EB (a_\alpha^-/b_\alpha^-, a_\alpha^-/b_\alpha^+, a_\alpha^+/b_\alpha^-, a_\alpha^+/b_\alpha^+)] \quad (2.41)$$

2.6.2.3 Genelleme ilkesi

Genelleme ilkesinin kullanılması ile A ve B gibi iki bulanık alt kümenin toplamını aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz.

$$\mu_{A+B}(z) = \underset{x+y=z}{EB} \{EK[\mu_A(x) + \mu_B(y)]\} \quad (2.42)$$

Sağ taraftaki EB (En Büyük) işaretinin altındaki $x+y=z$ eşitliği A ve B bulanık kümelerinde değişkenlerden x ve y'nin toplamının, z ettiği tüm durumların bulunması demektir. EK yani en küçükleme de, iki bulanık kümede x ve y değerlerinin üyelik derecelerinden küçük olanının alınması anlamına gelir. Bunu bir uygulama ile açıklarsak daha iyi anlaşılacaktır. A ve B bulanık kümelerinin öğeleri aşağıdaki şekilde verilmiş olsun:

$$A = \{0.9/1 + 0.7/2 + 0.5/4 + 0.2/6 + 0.1/9\}$$

$$B = \{1.0/2 - 0.6/3 + 0.3/4\}$$

Bunların toplanması için önce her bir kümedeki öğeler kartezyen çarpımdaki gibi eşleştirilerek, eşleşen elemanların toplamları alınır. Böylece, önce çarpım kümesinin öğeleri elde edilir. Bunlar $\{(1,2), (1,3), (1,4), (2,2), (2,3), (2,4), (4,2), (4,3), (4,4), (6,2), (6,3), (6,4), (9,2), (9,3), (9,4)\}$ gibi $5 \times 3 = 15$ adet öge olarak bulunur. İkinci aşamada bu eşleşmiş değerlerin toplamı alınarak 15 birleşik öğeli küme elde edilir. Bu küme $\{3, 4, 5, 4, 5, 6, 6, 7, 8, 8, 9, 10, 11, 12, 13\}$ öğelerine sahiptir. Böylece, yukarıdaki genelleştirme işlemindeki $x+y=z$ işlemi yapılarak toplam bulanık kümesinin z öğeleri elde edilmiştir. Şimdi soru bu öğelerin tek olanına toplamdaki $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(y)$ üyelerinden küçük olanının tayinidir. Mesela, en son kümede 3 ögesi 1 tanedir ve bunun A bulanık kümesinden $\tilde{U}_A(1) = 0.9$ üyelik dereceli 1 ögesi ve B bulanık kümesinden de $\mu_B(y) = 1.0$ üyelik dereceli 2 ögesi alındığından bu üyelik derecelerinin en küçüğü olan 0.9, toplam kümenin 3 ögesinin üyelik derecesini

verir, yani $\mu_{A+B}(3) = EK [0.9, 1.0] = 0.9$ elde edilir. O halde, toplam bulanık kümenin ilk bulanık ögesi $0.9/3$ 'tür.

Diğer taraftan, toplam kümede 4 ögesi 2 tane bulunmaktadır. Bunların önceki tek öğeye benzer olarak üyelik derecelerinin hesaplanması ile birinci 4 ögesinin üyelik derecesi için $EK [0.9, 0.6] = 0.6$, diğerinin ise $EK [0.7, 1.0] = 0.7$ elde edilir. Bu iki aynı miktardaki ögenin, yani 4 veya 4'ün olması için önceden elde edilen EK üyelik derecelerinin EB' lenmesi ile $\mu_{A+B}(Z) = EB [0.6, 0.7] = 0.7$ elde edilir. Toplam bulanık kümesinin teke indirilmiş 4 ögesinin üyelik derecesi 0.7 olduğundan, bu kümenin 4 ögesinin üyelik derecesi $\mu_{A+B}(4) = 0.7$ olarak gösterilir. Yani, 4 bulanık ögesi $0.7/4$ şeklindedir. Diğer ögelerin üyeliklerinin genelleştirme teoremine göre hesaplanması ile sonuç toplam bulanık küme bulunur:

$$\mu_{A+B}(z) = \{ 0.9/3 + 0.7/4 + 0.5/5 + 0.5/6 + 0.5/7 + 0.3/8 + 0.2/9 + 0.2/10 + 0.1/11 + 0.1/12 + 0.1/13 \}$$

Benzer olarak çıkarma işlemi de aşağıdaki notasyonla tanımlanarak hesaplanabilir.

$$\mu_{A-B}(z) = \bigwedge_{x-y=z} EB \{ EK[\mu_A(x), \mu_B(y)] \} \quad (2.43)$$

2.7 Bulanık Mantığın Avantajları ve Dezavantajları

Bulanık mantığın avantajı, sınıflandırılmış olan nitelikli bilginin kullanılabilir olmasında yatmaktadır. Bulanık mantıklı denetim uygulamalarının diğer yöntemlere göre avantajları şöyle sıralanabilir (Terzi, 2004):

- Detaylı bir matematiksel model gerektirmezler,
- Pek çok giriş-çıkış değişkenleri eş zamanlı olarak ele alınabilir,
- Bulanık denetimdeki tüm kurallar eş zamanlı olarak uygulanır ve sonuçlandırılır, uyuşmayan kurallar biçimsel olarak uydurulabilir,
- Giriş-çıkış değişkenlerinin tüm birleşimleri için çıkış belirleme zorunluluğu yoktur. Değişkenlerin dikkatli bir seçimi kuralların sayısını önemli ölçüde indirgeyecektir.

- Bulanık denetleyici içerisine yerleştirilen denetim kuralları sistem girişlerinin belirli birleşimlerinde istenilen çıkış elde edilmezse diğer girişlere dokunulmadan denetim işlemini gerçekleştiren aktif kurallar yeniden düzenlenebilir. Bulanık denetleyiciye kurallar rahatlıkla eklenebilir veya istenen belirli bir özellikteki denetim kurallarının özelliği rahatlıkla sistem davranışını bozmayacak şekilde etkin hale getirilebilir.
- Bulanık mantık denetleyicilerle klasik mantık denetleyicileri birbirine bağlamak suretiyle denetim performansını artırmak mümkündür.
- Karmaşık sistemlerde istenen kalite, nitelik ve hıza göre birden fazla bulanık denetleyici kullanılabilir,
- Gerçek zaman uygulamalarının denetim altına alınabildiği sistemlerde yeterli zaman sağlanabiliyorsa donanımdan ziyade yazılımın verdiği esneklikten dolayı bulanık denetim kullanılmaktadır,
- Farklı sistemlerde bulanık denetleyici adaptasyonu kolay bir şekilde yapılabilmektedir.

Bulanık mantık kullanımının dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Terzi, 2004):

- Uygulamada kullanılan kuralların oluşturulması uzmana bağlıdır. Kullanılan kural tabanı karar mekanizmasının temelinde yer alması nedeniyle uzman tecrübelerine dayanması gerekmektedir.
- Kullanılacak üyelik fonksiyonlarının bulunması için kullanılacak genel bir kural bulunmamaktadır. Belirleme işlemi deneme yanılma yolu ile bulunmasından dolayı uzun zaman alabilmektedir.
- Bulanık Mantık Sistemleri kendi başlarına öğrenme yeteneğine sahi değildir. Bu özelliği sağlamak için sinir ağı kullanımı, endüktif öğrenme gibi yöntemler kullanılmaktadır.
- Bulanık mantık sistemlerinde kullanılan bulanık alt kümelerin normal ve konveks olması gerekmektedir. Bu şartlara uymayan durumlar için mevcut kuralların kullanılması mümkün değildir.

3. BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA

Karar verme problemleri yapı itibarı ile çok amaçlı olup, belirsiz bir çevre içerisinde meydana gelmektedir. Birçok matematiksel programlama problemi, karar verici tarafından kısıtlara bağlı kalarak birden fazla amaç fonksiyonun bir araya getirilmesinden oluşmaktadır. Matematiksel programlama yapısı, problemin formülasyonu safhasında amaçların açık ve kesin olarak ifade edilmesini gerektirir.

Karar verme süreci içerisinde problemlerin tanımları yapılırken dört farklı durumla karşılaşılabılır (Güneş ve Umarusman, 2003).

- Açıkça tanımlanmış ve belirlenmiş alternatiflerin tek kritere göre değerlendirilmesi,
- Tanımı açıkça yapılmamış ve belirsiz alternatiflerin tek kritere göre değerlendirilmesi,
- Açıkça tanımlanmış ve belirlenmiş alternatiflerin çoklu kriterlere göre değerlendirilmesi,
- Tanımı açıkça yapılmamış ve belirsiz alternatiflerin çoklu kriterlere göre değerlendirilmesi.

3.1 Çok Kriterli Karar Verme

Anlam olarak çok kriterli karar verme, birden fazla ve aynı anda uygulanan kriterlerin içerisinde en iyi tercihin seçilmesine imkan sağlayan bir araçtır. Rasyonel bir karar verme çevresinden iyi tercih edilmiş seçim, genellikle kısıtlar ve yönetimin amacı doğrultusunda sınırlandırılır. Pratik uygulamaları olduğu kadar teorik gelişimi açısından karar analizi alanında çok hızlı bir gelişme sahip ve güçlü mantık yapısı ile karar tespitlerindeki başarısıyla kendini kabul ettirmiş olan çok kriterli karar verme geniş uygulama alanı olan bir yapı sunmaktadır (Tamiz, 1996).

Çok kriterli karar verme problemleri, “çok nitelikli karar verme” ve “çok amaçlı karar verme” olarak iki kategori içerisinde sınıflandırılabilir. Çok nitelikli karar verme metotları belirlenen kesin alternatifler içerisinde bir alternatifin seçilmesi için kullanılır. Seçim süreci iki aşamadan oluşur:

- 1) İlk olarak bütün hedeflere ve karar alternatiflerine göre verilen hükümler bir araya getirilir.
- 2) İkinci olarak ise bir araya getirilen hükümler içerisinde karar alternatiflerinin derecelendirilmesi yapılır (Zimmermann, 1996).

Çok amaçlı karar verme metotları matematiksel kısıtlar yardımı ile tanımlanan sınırsız sayıdaki alternatifleri içeren amaç problemleri için kullanılır. Çok amaçlı karar verme metotlarının ortak özelliği amaçların ölçülebilmesi ve iyi tanımlanmış kısıtların olması, en göze çarpan özelliği ise bir amaca ait hedefin bütünü ile başarılabilmesi için bir veya birden fazla amacın hedeflerinin başarısını göz ardı edebilme yeteneğidir.

Belirsiz ve kesin olmayan bir yapı göstermesinden dolayı gerçek dünya problemlerinde kararlar almak çoğu zaman zordur. Bu sebep ile problemlerin çözümlenmesi için de geliştirilen modeller kesin bir sonuç vermeyebilir. 1960’lı yılların ortalarında bulanık küme teorisinin gelişimi ile birçok alanda özellikle yöneylem araştırması alanında üyelik fonksiyonu kullanılmak sureti ile problemlerin modelleri içerisinde insan düşünce yapısı eklenerek problem ile ilgili sonuçlar alternatifleri ile birlikte incelenme imkanı doğmuştur. 1970 yılında bulanık ortamda karar vermek için bir çatı geliştirilmiştir (Güneş ve Umarusman, 2003).

3.2 Bulanık Ortamda Karar Verme

Geleneksel bir karar verme problemi altı bileşenden oluşur. Bu bileşenler sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

- 1) Karar verici,
- 2) Amaç,

- 3) Karar ölçütü,
- 4) Seçenekler,
- 5) Olaylar,
- 6) Sonuç.

Burada, amaç bileşeni bir maksimizasyon veya minimizasyon işlemi olarak yorumlanabilir. Fayda, kar, gelir veya maliyet fonksiyonları ise karar ölçütlerini oluşturur. Evrensel bir küme, seçenekler kümesi olarak kabul edilebilir. Evrensel kümenin hangi elemanlarının karar probleminin çözümü olarak kabul edilip edilemeyeceğini ifade eden kısıtlayıcı koşulları ise olayları belirler. Bu bakış açısından, mevcut durumu veya kısıtlayıcı koşullarını dikkate alarak, karar vericinin belirlediği amaç veya hedef doğrultusunda ilerleme çabası, karar problemlerinin özünü oluşturur.

Bulanık bir ortamda karar verme problemi de yukarıda ele alınan bileşenlerle açıklanabilir. Burada, söz konusu bileşenlerden karar verici ve seçenekler kümesinde (evrensel küme) herhangi bir bulanıklık olmadığı kabul edilmiştir. Amaç ve karar ölçütü bileşenleri ise aşağıda açıklanan anlamda bulanıklık içerebilir. Karar verici amaç fonksiyonu için ulaşmak istediği erişim düzeyini bulanık olarak belirleyebilir. Ayrıca, karar ölçütünü gösteren fonksiyonun (kar, maliyet, vb.) parametre değerleri bulanık sayılarla tanımlanabilir. Birbirini tamamlayan amaç ve karar ölçütü bileşenleri, bulanık bir hedef olarak ele alınabilir. Bulanık bir hedef, evrensel kümenin bir alt kümesi olan \underline{G} bulanık kümesi veya $\mu_{\underline{G}}(x)$ üyelik fonksiyonu ile ifade edilebilir. $\mu_{\underline{G}}(x)$ üyelik fonksiyonu, $\mu_{\underline{G}}(x) \in [0,1]$ koşulu ile belirli bir x vektörünün bulanık hedefe olan üyelik derecesini gösterir. $\mu_{\underline{G}}(x) = 1$ iken ilgili hedefe tamamen ulaşıldığı, $\mu_{\underline{G}}(x) = 0$ iken ilgili hedefe tamamen ulaşılmadığı ve $0 < \mu_{\underline{G}}(x) < 1$ iken ilgili hedefe kısmen ulaşıldığı düşünülür.

Diğer taraftan, olayları niteleyen kısıtlayıcıların parametre değerleri ve/veya sağ taraf sabitleri bulanık olabilir. Ayrıca, kısıtlayıcılarda yer alan \leq , $=$ ve \geq ilişkilerinde bazı toleranslara izin verilebilir. Dolayısıyla, bulanık ortamdaki olaylar bileşeni bulanık

kısıtlayıcılar olarak ele alınabilir. Bulanık bir kısıtlayıcı, evrensel kümede yer alan C bulanık kümesi veya $\mu_C(x)$ üyelik fonksiyonu ile ifade edilebilir. Bulanık kısıtlayıcı kümesinin üyelik fonksiyonu, $\mu_C(x) \in [0,1]$ koşulu ile belirli bir x vektörünün bulanık kısıtlayıcıdaki üyelik derecesini gösterir. Burada, ilgili kısıtlayıcının tamamen doyurulduğu durum $\mu_C(x)=1$ ile, ilgili kısıtlayıcının tamamen doyurulmadığı durum $\mu_C(x)=0$ ile ve ilgili kısıtlayıcının kısmen doyurulduğu durum ise $0 < \mu_C(x) < 1$ ile ifade edilir (Özkan, 2003b).

Bulanık hedefler ve/veya bulanık kısıtlayıcılarla verilen bir kararın (sonuç bileşeninin) bulanık olması kaçınılmazdır. Bulanık bir karar, verilen hedefler ve kısıtlayıcıların uzlaştırılmasından belirlenen bulanık bir küme olarak tanımlanır. Bulanık hedef ve bulanık kısıtlayıcıların bir alt kümesi olan bulanık karar kümesi, D kümesi veya $\mu_D(x)$ üyelik fonksiyonu ile ifade edilebilir. Bulanık karar kümesi, bulanık kısıtlayıcı doyumunun ve bulanık hedef başarımının eş zamanlı olarak karşılanma derecesini gösterir. Bulanık karar kümesi, genellikle “G hedefine ulaşmak ve C kısıtlayıcısını doyumak” şeklinde ifade edilen bir kurala göre belirlenir. Bu kural, bulanık karar kümesinin, hedef ve kısıtlayıcıların bir kesişim kümesi olarak tanımlanmasını gerektirir. Dolayısıyla, bulanık karar kümesi matematiksel olarak $D = G \cap C$ şeklinde ifade edilebilir. Burada, kesişim kümesi genellikle minimum işlemcisi ile belirlenir. N adet bulanık hedef ve m adet bulanık kısıtlayıcı olduğunda, bulanık karar kümesi aşağıdaki gibi tanımlanır (Özkan, 2003b);

$$\mu_D(x) = \min[\mu_{G_i}(x), \mu_{C_j}(x)] ; \forall x \in U ; i = 1, 2, \dots, n ; j = 1, 2, \dots, m \quad (3.1)$$

Karar vericiler, bulanık karar kümesinin bulanıklıktan arındırılmasını veya $\mu_D(x)$ kümesinden geleneksel bir kararın verilmesini isteyebilirler. Böyle bir durum, bulanık karar kümesinin en yüksek üyelik dereceli elemanının belirlenmesi anlamına gelir. Bu ise, matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir (Özkan, 2003b);

$$\mu_{\tilde{D}}(x^M) = \max_{x \in U} \mu_{\tilde{D}}(x) = \max_{x \in U} \{ \min[\mu_{\tilde{G}_i}(x), \mu_{\tilde{C}_j}(x)] \mid i = 1, 2, \dots, n ; j = 1, 2, \dots, m \} \quad (3.2)$$

Burada, x^M eniyileme yönündeki bir kararı ifade eder. Bulanık hedef ve/ veya kısıtlayıcıların kesişim kümesinde en yüksek üyelik dereceli tek bir eleman olması için, bulanık karar kümesinin aşağıda verilen dışbükeylik tanımını karşılaması gerekir (Özkan, 2003b).

$$\mu_{\tilde{D}}[\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2] \geq \min[\mu_{\tilde{D}}(x_1), \mu_{\tilde{D}}(x_2)] ; \lambda \in [0, 1] \quad (3.3)$$

Bulanık hedef ve bulanık kısıtlayıcıların sırasıyla W ve U evrensel kümelerinde tanımlı olduklarını kabul edelim. Ayrıca bulanık hedef ve bulanık kısıtlayıcı kümesindeki elemanları sırasıyla y ve x değişkenleri ile gösterelim. Eğer y ve x değişkenleri arasında $y = f(x)$ şeklinde fonksiyonel bir ilişki varsa, bulanık karar kümesi genişleme kuralıyla belirlenebilir. W evrensel kümesinde tanımlı olan $G(y)$ kümesinin U evrensel kümesindeki görüntüsünün $\{\mu_{\tilde{G}_i}[f(x)]\}$ olduğunu düşünelim. Bu durumda, bulanık karar kümesi aşağıda verildiği gibi ifade edilir (Özkan, 2003b);

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \min\{\mu_{\tilde{G}_i}[f(x)], \mu_{\tilde{C}_j}(x)\} \mid i = 1, 2, \dots, m ; j = 1, 2, \dots, n \quad (3.4)$$

3.3 Bulanık Doğrusal Programlama Modeli

Geleneksel bir doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} \text{Max} Z &= c^T x \\ \text{Kısıtlayıcılar} & \\ Ax &\leq b \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Burada $c^T x$ terimi $\sum_{j=1}^n c_j x_j$ ifadesini, $Ax \leq b$ denklemi ise $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i$ ($i = 1, 2, \dots, m$)

ifadesini gösterir. Bu modelde, c_j, a_{ij} ve b_i parametreleri kesin olarak bilinir. Ayrıca, kısıt kümesindeki \leq işareti karşılanması gereken matematiksel bir zorunluluktur. Geleneksel bir doğrusal programlama modeli, amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcılar kümesi olmak üzere iki kısımda incelenir. Geleneksel doğrusal programlama modelinde, kısıtlayıcılardan hareketle uygun çözüm alanı veya olası çözümler kümesi oluşturulur. Uygun çözüm alanı oluşturulurken temel olarak yapılan işlem, kısıtlayıcıların kesişim kümesinin belirlenmesidir. Belirlenen bu kesişim kümesinde yer alan olası seçenekler amaç fonksiyonunda değerlendirilir. Bu süreçte amaç fonksiyonlarının olabildiğinde en iyi değerler alması istenir.

Geleneksel doğrusal programlama modellerinde, deterministik olarak ifade edilen problemler için en iyi çözüm araştırılır. Bu çözümün karar vericiyi tatmin edip etmediği doğrusal programlama modellerinde ele alınmaz. Geleneksel doğrusal programlama modellerinde doğrusallık, toplanabilirlik, sınırlılık ve negatif olmama varsayımlarına ek olarak kapalı bir şekilde geçerli olan bazı varsayımlar da vardır. Bunlar, her bir kısıtlayıcının önem derecesinin eşit olması, kısıtlayıcılarda matematiksel anlamda hiçbir ihlale izin verilmemesi, sağ taraf sabitleri, teknoloji katsayıları ve amaç fonksiyonu katsayılarının kesin olarak bilinmesi, maksimizasyonun veya minimizasyonun tam zorunluluk olması şeklinde ifade edilebilir.

Doğrusal programlama modellerindeki bulanıklık, amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı katsayılarının tam olarak bilinmediği ve modeldeki bazı eşitsizlikler (ve eşitlikler) için net olmayan sınırların tanımlanabileceği anlamına gelir. Bu durumda c_j, a_{ij} ve b_i katsayıları bulanık sayılarla veya bulanıklığı niteleyen tolerans aralıkları ile ifade edilir.

Bulanık doğrusal programlama problemleri, bulanıklık kavramının ele alınış şekline göre birçok sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflandırmalardan ilki, Zimmermann tarafından yapılmıştır. Zimmermann, bulanık doğrusal programlama problemlerini simetrik

modeller ve simetrik olmayan modeller şeklinde bir ayrıma tabi tutmuştur. Zimmermann 'a göre amaç ve kısıtlayıcıların bulanık olması halinde simetrik bir model söz konusudur. Lai-Hwang, bulanık doğrusal programlama modellerini üyelik fonksiyonlarına dayanarak bulanık doğrusal programlama ve olabilirlik doğrusal programlama modelleri şeklinde ki sınıfta incelemiştir. Lai-Hwang 'a göre bulanık doğrusal programlama modellerinde sübjektif tercihe dayalı üyelik fonksiyonlarıyla nitelenen bulanık girdiler ile ilgilenilirken, olabilirlik doğrusal programlama modellerinde olabilirlik dağılımları ile nitelendirilmesi gereken kesin olmayan veriler ile ilgilenilir. Bulanık doğrusal programlama modellerinin sınıflandırılmasının birçok yolu olmasına rağmen, bu modelleri genellikle esnek programlama, olabilirlik programlama ve robust (gürbüz) programlama olarak üç sınıfta ele alınır (Özkan, 2003a).

Esnek programlama modellerinde temel olarak, bulanık hedef ve bulanık kısıtlayıcılar altında karar verme problemi ele alınmıştır. Burada bulanık hedef ve bulanık kısıtlayıcılar sırasıyla amaç fonksiyonun ve kısıtlayıcıların esnekliğini gösterir.

Olabilirlik doğrusal programlama modellerinde, amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcılara ilişkin parametrelerin kesin olmaması durumu incelenir. Ayrıca bu modellerde bulanık katsayılar, katsayı değerlerindeki olabilirlik dağılımları olarak görülür. Esnek programlamanın aksine, bu modellerde bulanık hedefler ve bulanık kısıtlayıcılar durumu ele alınmaz.

Robust (gürbüz) programlama modelleri ise, hem belirsiz katsayıları hem de karar vericinin tercihinin belirsiz olduğu durumları ele alır.

Yukarıda açılanmaya çalışıldığı gibi, bulanık doğrusal programlama problemlerinin, bulanıklığın ilgili modele nasıl ve nerede girileceği bilgisine göre oluşturulan birçok türü vardır. Bulanık doğrusal programlama problemlerini karar verici ile etkileşime girilip girilemeyeceğine bağlı olarak farklı bir ayrıma tabii tutmak da mümkündür. Bulanık doğrusal programlama modelleri elde edilen çözümün bulanık olup olmamasına göre de sınıflandırılabilir. Bununla birlikte, diğer bir sınıflandırma şekli

bulanık kısıtlayıcı doğrusal programlama, bulanık amaç fonksiyonlu ve bulanık kısıtlayıcı doğrusal programlama, bulanık amaç katsayılı doğrusal programlama ve bulanık parametrelili doğrusal programlama problemleridir (Özkan, 2003a).

Bulanık kısıtlayıcı bir doğrusal programlama problemi,

$$\begin{aligned} & \text{Max}(Z = c^T x) \\ & \text{Kısıtlayıcılar} \\ & (Ax)_i \leq b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & x \geq 0 \end{aligned} \tag{3.6}$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu modellerde amaç fonksiyonunun bulanıklık içermediği dikkate alınmalıdır.

Bulanık amaç fonksiyonlu ve bulanık kısıtlayıcı doğrusal programlama problemleri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} & \text{Max}(Z = c^T x) \\ & \text{Kısıtlayıcılar} \\ & (Ax)_i \leq b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & x \geq 0 \end{aligned} \tag{3.7}$$

Bu modelde, amaç fonksiyonundaki bulanıklık, karar vericinin ulaşmak istediği en iyi erişim düzeyinin bulanık olması ile ifade edilir. Ayrıca bu modellerde amaç fonksiyonu parametreleri ve teknoloji katsayıları bulanık olmayan bir şekilde belirlenir. Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcı doğrusal programlama problemlerinin çözülebilmesi için, bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılara ilişkin en iyi erişim düzeyleri ile bu erişim düzeylerine tanınan maksimum toleransların belirlenmesi gerekir.

Amaç fonksiyonu parametrelerinin bulanık olduğu bir doğrusal programlama problemi,

$$\begin{aligned}
& \text{Max} Z = \underline{c}^T x \\
& \text{Kısıtlayıcılar} \\
& (Ax)_i \leq \underline{b}_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\
& x \geq 0
\end{aligned} \tag{3.8}$$

şeklinde ifade edilir. Bu modelde, amaç fonksiyonu katsayıları bulanık sayılarla veya bulanıklığı niteleyen tolerans aralıkları ile tanımlanır.

Bulanık parametrelili doğrusal programlama problemleri ise,

$$\begin{aligned}
& \text{Max} Z = \sum_{j=1}^n \underline{c}_j x_j \\
& \text{Kısıtlayıcılar} \\
& \sum_{j=1}^n \underline{a}_{ij} x_j \leq \underline{b}_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\
& x \geq 0
\end{aligned} \tag{3.9}$$

şeklinde ifade edilebilir (Özkan, 2003a).

Zimmermann, bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcı doğrusal programlama problemleri için simetrik bir yaklaşım önermiştir. Zimmermann 'a göre bulanık amaç fonksiyonu karar vericiden sağlanan bulanık bir erişim düzeyi ile bulanık bir kısıtlayıcı olarak ifade edilebilir. Bu durumda bulanık karar kümesi belirlenirken bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılar birbirinden farksız olarak ele alınır. Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcı bir doğrusal programlama problemi aşağıda verilen kısıtlayıcı kümesinden çözüm vektörü x 'in bulunması şeklinde ifade edilir.

$$\begin{aligned}
& \underline{c}^T x \geq \underline{b}_0 \\
& (Ax)_i \leq \underline{b}_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\
& x \geq 0
\end{aligned} \tag{3.10}$$

Bulanık amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtlayıcıların parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları sırasıyla aşağıda verildiği gibi tanımlanır.

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 0 & ;eger \quad c^T x \leq b_0 - d_0 \quad ise \\ 1 - \frac{b_0 - c^T x}{d_0} & ;eger \quad b_0 - d_0 \leq c^T x \leq b_0 \quad ise \\ 1 & ;eger \quad c^T x \geq b_0 \quad ise \end{cases} \quad (3.11)$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0 & ;eger \quad (Ax)_i \geq b_i + d_i \quad ise \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} & ;eger \quad b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \quad ise \\ 1 & ;eger \quad (Ax)_i \leq b_i \quad ise \end{cases} \quad (3.12)$$

Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıların üyelik fonksiyonları belirlendiği için bulanık karar kümesi aşağıda verilen ifadeden oluşturulabilir.

$$\mu_{\underline{D}}(x) = \min[\mu_0(x), \mu_i(x)] \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.13)$$

Bulanık karar kümesinin en yüksek üyelik dereceli elemanı ise,

$$\mu_{\underline{D}}(x^M) = \max_{x \geq 0}(\min[\mu_0(x), \mu_i(x)]) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.14)$$

veya

$$\mu_{\underline{D}}(x^M) = \max_{x \geq 0}(\min[(1 - \frac{b_0 - c^T x}{d_0}), (1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i})]) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.15)$$

eşitliklerinden belirlenir.

Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılar için tolerans betimlemesi kullanıldığı zaman, bir maksimizasyon kararı olan $\mu_{\underline{D}}(x^M)$ geleneksel bir doğrusal programlama modelinin kurulması ile belirlenebilir. Diğer bir ifadeyle, simetrik bulanık doğrusal programlama modelleri, ek bir değişken olan λ 'nın kullanılması ile geleneksel bir doğrusal programlama modeli olarak ifade edilebilir. Bunun için bulanık karar kümesinin λ değişkeni ile gösterilmesi gerekir.

$$\min_i [\mu_0(x), \mu_i(x)] = \mu_0(x) \wedge \mu_i(x) = \lambda \quad (3.16)$$

Burada λ değişkeni, bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıların çözüm vektörü x tarafından eşanlı olarak doyurulma derecesini gösterir. λ değişkeni $\lambda \in [0,1]$ aralığında tanımlanır. Bu durumda bulanık karar kümesinin verilen tanımı aşağıda verilen ifadeye denktir.

$$\mu_0(x) \geq \lambda \quad (3.17)$$

$$\mu_i(x) \geq \lambda \quad (3.18)$$

Buradan, $\mu_D(x^M)$ 'i belirleme problemi geleneksel bir doğrusal programlama problemi olarak aşağıda verildiği gibi ifade edilir.

Max λ

Kısıtlayıcılar

$$1 - \frac{b_0 - c^T x}{d_0} \geq \lambda \quad (3.19)$$

$$1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} \geq \lambda \quad ; \forall i$$

$$\lambda \in [0,1]$$

$$x \geq 0$$

Bu model, $c^T x$ ve $(Ax)_i$ terimlerine göre düzenlendiğinde,

$$\left. \begin{array}{l} \text{Max } \lambda \\ \text{Kısıtlayıcılar} \\ c^T x \geq b_0 - (1 - \lambda)d_0 \\ (Ax)_i \leq b_i + (1 - \lambda)d_i \\ \lambda \in [0,1] \\ x \geq 0 \end{array} \right\} \equiv \left\{ \begin{array}{l} \text{Max } \lambda \\ \text{Kısıtlayıcılar} \\ c^T x - \lambda d_0 \geq b_0 - d_0 \\ (Ax)_i + \lambda d_i \leq b_i + d_i \quad ; \forall i \\ \lambda \in [0,1] \\ x \geq 0 \end{array} \right. \quad (3.20)$$

modeli elde edilir. Bulanık olmayan kısıtlayıcılar herhangi bir dönüşüm işlemi yapılmadan modele ilave edilir (Özkan, 2003a).

Bulanık doğrusal programlama modellerinin çözümü için Zimmermann 'ın sunduğu yöntemin az sayıda varsayım ve işlemsel kolaylık sağlama gibi avantajları vardır. Bununla birlikte bu yöntem iki açıdan eleştirilmektedir. Bunlardan ilki, amaç fonksiyonunun en iyi erişim düzeyi ile maksimum tolerans miktarının karar vericiden başlangıçta istenmesidir. Diğeri ise bulanık doğrusal programlama modellerinden geleneksel bir çözümün araştırılmasıdır.

3.4 Hedef Programlama Modeli

Hedef programlama modeli çok amaçlı programlama modellerinin bir türüdür. İlk defa 1950'li yıllarda Charnes, Cooper ve Ferguson tarafından "sınırlandırılmış regresyon" tahmincilerini elde etmek için kullanmıştır. Her ne kadar 50'li yıllarda Charnes, Cooper ve Ferguson tarafından ortaya atılsa da ilk olarak 1960'lı yılların başlarında Charnes ve Cooper tarafından tanımlanmış ve çalışılmıştır. Bu teknik 1960'lı yılların ortasında Ijiri tarafından genişletilmiş, 1970'li yıllarda Ignizio ve Lee ayrıntıları ile birlikte tanımlayarak birçok sayıda uygulama yapmışlardır (Güneş ve Umarusman, 2003).

Optimizasyon düşüncesine dayanan çok amaçlı programlama modellerinde, birbiriyle çelişen amaçları kısıtlayıcı kümesine göre eş zamanlı doyuran bir çözüm vektörünün belirlenmesi amaçlanır. Hedef programlama modelinde ise karar vericinin doyurucu bulduğu bir çözüm belirlenmeye çalışılır. Bu nedenle, hedef programlama modelinin optimizasyon düşüncesinden daha çok bir doyum düşüncesine dayandığı söylenebilir (Özkan, 2003b).

Hedef programlamada her bir amaç, göz önünde bulundurulmuş şartlar altında verilen değer veya hedef değer başarılmak istenir. Hedef programlama, doğrusal programlamada olduğu gibi amaç kriterini doğrudan maksimize veya minimize etmek yerine, hedefler arasındaki sapmaları minimize yapmaktadır.

Hedef programlama modeli makul çözümler bulmak amacı ile karar vericinin birden fazla amacı aynı anda göz önünde bulundurması için faydalıdır. Bununla birlikte, yalnızca kısmi bilgi elde edilmesi sebebi ile her amacın hedeflenen değerinin kesin hesaplanması karar verici için zordur. Hedef programlamanın en önemli özelliği birbiri ile zıt yönetsel problemleri içeren birden fazla hedefi, hedeflerin önemine göre atama yapabilesidir (Güneş ve Umarusman, 2003).

3.4.1 Hedef programlama modelinin formülasyonu

Hedef programlama modelini, “kısıtlayıcı kümesi” ve “amaç fonksiyonu” şeklinde iki bölümde inceleyebiliriz. Bir doğrusal programlama modelinde yer alan bütün fonksiyonlar (kısıtlayıcılar ve amaç fonksiyonları) hedef programlama modelinin sadece kısıtlayıcılar kümesini oluşturur. Hedef programlama modelinde, amaç fonksiyonları için ulaşılmak istenen en iyi erişim değerini karar vericinin belirlemesi gerekir. Bunun doğal bir sonucu olarak, erişim değerli amaç fonksiyonları bir eşitlik halinde kısıtlayıcı kümesine eklenir. Bu işlem her bir hedef fonksiyonu için sapma değişkenlerinin tanımlanmasını gerektirir. Sapma değişkenleri, hedef fonksiyonlarının en iyi erişim düzeyinden ne kadar uzaklaştığının ölçülmesini sağlar. Sapma değişkenleri, negatif ve pozitif sapma olarak iki kısımda ele alınır. “ n_i ” değişkeni ile ifade edilen negatif sapma değişkeninin değeri pozitif ise, ilgili hedefin belirlenen en iyi erişim düzeyinin altında bir değere ulaşıldığını söyleriz, “ p_i ” ile gösterilen pozitif sapma değişkeninin değeri sıfırdan büyükse, ilgili hedef ile belirlenen en iyi erişim düzeyinin aşıldığını söyleriz. Eğer ilgili hedef için pozitif ve negatif sapma değişkenleri sıfıra eşitse, belirlenen en iyi erişim düzeyine tam olarak ulaşıldığı açıktır. Bir hedeften eş zamanlı olarak tek bir sapma söz konusu olduğu için, sapma değişkenlerinin negatif olmaması gerekir (Özkan, 2003a).

Hedef programlama modelini aşağıda verilen çok amaçlı doğrusal programlama modeline dayanarak açıklamaya çalışalım.

$$\text{Maximum } Z_1 = f_1(x)$$

$$\text{Minimum } Z_2 = f_2(x)$$

Kısıtlayıcılar

$$\sum_{j=1}^n a_{1j}x_{1j} \leq b_1 \quad (3.21)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{2j}x_{2j} \geq b_2$$

$$\sum_{j=1}^n a_{3j}x_{3j} = b_3$$

$$\text{ve } x \geq 0$$

Bu modeli bir hedef programlama modeli olarak ifade etmek istediğimizde, ilk olarak hedef programlama modelinin kısıtlayıcı kümesini oluşturmamız gerekir. Bunun için, $f_1(x)$ ve $f_2(x)$ ile gösterilen fonksiyonlara ilişkin en iyi erişim düzeylerinin b_4 ve b_5 olarak belirlendiğini kabul edelim. Bu durumda, çok amaçlı programlama modelinin amaç fonksiyonlarına sapma değişkenlerini katarak aşağıda verilen kısıtlayıcılar kümesine ulaşırız.

$$\sum_{j=1}^n a_{1j}x_{1j} \leq b_1$$

$$\sum_{j=1}^n a_{2j}x_{2j} \geq b_2$$

$$\sum_{j=1}^n a_{3j}x_{3j} = b_3$$

$$f_1(x) + n_1 - p_1 = b_4$$

$$f_2(x) + n_2 - p_2 = b_5$$

ve

$$x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, 3 ; j = 1, 2, \dots, n$$

$$\left. \begin{array}{l} n_i, p_i \geq 0 \\ n_i \times p_i = 0 \end{array} \right\} \quad i = 1, 2$$

Burada yer alan son kısıtlayıcı, belirlenen bir erişim düzeyinden aynı anda hem pozitif hem de negatif sapma olamayacağını belirtir. Dolayısıyla, i 'ninci sapma değişkenlerinden biri pozitifse, diğeri mutlaka 0 olmalıdır. Eğer i 'ninci hedef fonksiyonu için pozitif ve negatif sapma değişkeni 0 'a eşitse, ilgili erişim düzeyinin

tamamen doyurulduğunu söyleriz. Bu, hedef programlama için arzulanan bir durum olmasına karşın, hedeflerin birbiriyle çelişen bir yapıda olduğunu görürüz. Dolayısıyla, pozitif ve negatif sapma değişkenlerinin tümünün 0 değeri aldığı bir çözümle, uygulamada nadiren karşılaşıldığını söyleyebiliriz.

Şimdi, hedef programlama modeline ilişkin amaç fonksiyonunun nasıl oluşturulduğunu açıklamaya çalışalım. Yukarıda verilen kısıtlayıcı kümesinde, maksimizasyon amaçlı $f_1(x)$ fonksiyonunun, belirlenen en iyi erişim düzeyinden daha yüksek değerler almasını bekleriz. Diğer bir ifadeyle, $f_1(x)$ 'in b_4 'ten büyük değerler alması arzulanan bir durum olmasına rağmen, $f_1(x)$ 'in b_4 'ten küçük değerler alması istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle, pozitif sapma değişkeni olan p_1 'in olabildiğince 0'dan büyük olmasını, negatif sapma değişkeni olan n_1 'in ise 0'a yaklaşmasını ve hatta 0 değerini almasını isteriz. Diğer taraftan, $f_2(x)$ fonksiyonu minimizasyon amaçlı olduğu için, bu fonksiyonun belirlenen en iyi erişim düzeyinden daha düşük değerler almasını hedefleriz. Burada, negatif sapma değişkeni n_2 'nin sıfırdan olabildiğince büyük olması ve pozitif sapma değişkeni p_2 'nin 0 değerini alması istenir. Ayrıca, karar vericiler hedef fonksiyonun belirlenen erişim düzeyine tam olarak eşit olmasını da isteyebilirler. Bu durumda, pozitif ve negatif sapma değişkenlerinin 0'a olabildiğince yakın olması amaçlanır. Hedef programlama modelinde, hedefler için belirlenen en iyi erişim düzeylerinden oluşabilecek sapmalar minimize edilir. Buna göre, olası hedef yönleri ve bunların hedef programlama modelinin amaç fonksiyonunda yer alacak sapma değişkenleri aşağıdaki tabloda verildiği gibidir.

Tablo 3.1 : Amaç fonksiyonunda yer alacak sapma değişkenleri

Hedef yönü	Sapma değişkeni
\leq	p_i
\geq	n_i
$=$	$n_i + p_i$

Hedef programlama modelini, hedeflerin önceliğine göre iki türde düşünebiliriz. Bunlardan ilki, bütün hedeflerin aynı tercih önceliğini içeren hedef programlama modelidir. Burada, hedeflerin görelî önemi birbirine eşittir ve bütün hedefler eş zamanlı olarak doyurulmaya çalışılır. İkincisi ise, hedeflerin farklı tercih önceliklerini içeren tercih öncelikli hedef programlama modelidir. Burada, hedeflere ilişkin hiyerarşik bir yapının karar verici tarafından ortaya konması ve söz konusu hedeflerin en önemliden daha az önemliye doğru sıralanması gerekir. Bu sıralama işlemi sözel olarak yapılabileceği gibi, ağırlık kavramının kullanılmasıyla, sayısal olarak da yapılabilir. Sözel durumda, karar verici kendisi için “birinci derecede önemli olan hedef(ler)i, ikinci derecede önemli olan hedef(ler)i, ... n ‘inci derecede önemli olan hedef(ler)i” belirler. i ‘ninci hedefin öncelik sıralamasını T_i ile gösterirsek, T_i önceliğini T_{i+1} önceliğine eşitleyecek herhangi bir değer olmadığını söyleyebiliriz. Diğer bir deyişle, T_i önceliğindeki hedef(ler) doyurulmadan, bir sonraki öncelikte yer alan hedef(ler)in doyurulması mümkün değildir. Bu durum, $T_1 > T_2 > \dots > T_{n-1} > T_n$ şeklinde ifade edilir. Hedeflerin sıralanma işlemi w_i ile gösterilen ağırlıklarla sayısal olarak yapıldığında, her bir hedefe $w_i \in [0,1]$ ağırlığında değerler alabilen bir önem katsayısı (ağırlık) atanır. Burada, w_i ile gösterilen ağırlıkların toplam olarak 1 ‘e eşit olması gerekir. Hedeflerin sıralanma işleminde, sözel ve sayısal durum birleştirilerek daha genel bir duruma ulaşılır. Yani, T_i önceliğindeki hedeflere farklı ağırlıklar atanabilir (Özkan, 2003a).

Bu bilgiler aşığında bir hedef programlama modelinin amaç fonksiyonu aşığdaki gibi ifade edilir.

Aynı tercih önceliği:

$$\text{Minimum} \sum_{i=1}^n [h_i(n_i, p_i)] \quad (3.23)$$

Farklı tercih öncelikleri (sözel durum)

$$\text{Minimum} \sum_{i=1}^n [T_i h_i(n_i, p_i)] \quad (3.24)$$

Farklı tercih öncelikleri (sayısal durum)

$$\text{Minimum} \sum_{i=1}^n [w_i h_i(n_i, p_i)] \quad (3.25)$$

Farklı tercih öncelikleri (sözel ve sayısal durum)

$$\text{Minimum} \left\{ \sum_{i=0}^L T_i \left(\sum_{i=1}^n [w_i h_i(n_i, p_i)] \right) \right\} \quad (3.26)$$

Burada kapalı olarak verilen $[h_i(n_i, p_i)]$ fonksiyonu Tablo 3.1 'den oluşturulur.

Bütün hedeflerin aynı tercih önceliğinde yer aldığı hedef programlama problemleri ve ağırlıklı hedef programlama problemleri simpleks yöntemi ile çözülebilir. Tercih öncelikli hedef programlama modellerinin çözümüne ise uyarlamalı simpleks yöntemleri veya ardışık optimizasyon yöntemiyle ulaşılır. Ardışık optimizasyon yöntemi, T_i önceliğinde yer alan hedeflerin T_{i+1} önceliğinde kısıtlayıcı olarak işlem gördürülmesine dayanır. Süreç en son önceliğin doyurulmasına kadar tekrarlanır (Özkan, 2003a).

3.4.2 Hedef programlamanın ilkeleri

Hedef programlama modelinin ilkeleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Hedef programlamada her bir amaç bir hedef olarak kabul edilir.
- Hedef programlamada hedeflerin gerçekleştirilmesinde öncelikler dikkate alınır. Önce birinci öncelik düzeyindeki hedefler daha sonra ikinci öncelik düzeyindeki hedefler gerçekleştirilir. Sıra atlamadan bütün hedefler tamamlanana kadar devam edilir.
- d_i^- i. hedefin altında kalınması durumunu, d_i^+ i. hedefin aşılması durumunu gösterir.
- Hedef düzeyleri dikkate alınarak hedeflerden toplam sapma minimize edilmeye çalışılır. Öncelikle birinci öncelikli hedefler için problemin çözümü belirlenir. Daha sonra bu çözümü ihmal etmeyen ikinci düzey hedeflere ait çözüm belirlenir. Aynı şekilde diğer hedefleri olabildiğince sağlayan ve önceki hedefleri ihmal etmeyen çözümler belirlenir.

3.4.3 Hedef programlamanın uygulama alanları

Bu sahada son zamanlarda ilginin artması, çok değişik alanlarda ve çok sayıda aktüel uygulamalara yol açmıştır. Bu sahalardan küçük bir kısmı aşağıda sıralanmıştır:

- Reklam medyası planlaması,
- İşgücü planlaması,
- Program seçimi,
- Hastane yönetimi,
- Akademik kaynak ataması,
- Belediyelerin ekonomik planlaması,
- Nakliye problemleri,
- Enerji/ su kaynakları,
- Radar sistemi ve deniz radarı sistemi projeleri,
- Orman ürünleri planlaması,
- Zaman standartlarının belirlenmesi,
- Maliyet tahmin tekniklerinin geliştirilmesi,
- Şehir abonelerinin (elektrik, su gibi) yenileme planları,
- İşletme birleşmeleri (merger) stratejisi,
- Çok amaçlı tesislerin yerleştirilmesi,
- Güneş enerjisiyle ısıtma/soğutma.

3.4.4 Hedef programlamanın avantajları ve dezavantajları

Hedef programlama modelinin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi belirtilebilir;

Avantajları

- Bu yöntemle iki ve daha çok amaca sahip karar problemlerinin çözümü yapılabilir.
- Gevşek kısıtlara izin verir.

- Hedef programlama, doğrusal programlamada “uygun çözümü mevcut olmayan” (infeasible) problemlere uygun bir çözüm geliştirmede yardımcı teknik olarak da kullanılmaktadır.

Dezavantajları

- Başarma fonksiyonu çok sayıda amaç fonksiyonunun birleştirilmesiyle oluşturulur. Bu nedenle karmaşık bir yapıya sahip olabilirler.
- Hedef değerleri karar verici tarafından tespit edilmelidir.
- Karar verici, hedeflerin ağırlıklarını ve öncelik seviyelerini belirlemelidir.
- Bu değerleri bağdaşık hale getirecek bir yol bulunmalıdır.

3.5 Bulanık Hedef Programlama Modeli

Hedef programlama modelinde, amaç fonksiyonları, bunların en iyi erişim değerleri ve kısıtlayıcılar deterministik olarak ifade edilir. Hedeflere ilişkin en iyi erişim değerlerinin, hedeflerin tercih öncelikli sıralamasının ve ağırlıkların kesin olarak belirlenmesi aslında oldukça zor bir iştir. Erişim değerleri, hedeflerin tercih öncelikli sıralaması ve göreceli ağırlıklar çoğu kez karar vericinin sübjektif yargılarına dayanarak belirlenir. Hedef programlama modelindeki bu sübjektiflik olgusu, bulanık küme teorisi ile ele alınabilir. Bulanık küme teorisi hedef programlama modeline uygulandığı zaman, hedeflerin en iyi erişim düzeyleri ve tercih öncelikleri kesin olmayan ifadelerle (bulanık olarak) nitelenebilir. Bulanık küme teorisi, karar vericilerin sübjektif yargılara dayanan hedefleri için, “yaklaşık olarak ...’e eşit” ve “...’den oldukça küçük” gibi bir dilin doğal yapısına göre ifade edilebilen erişim düzeylerinin tanımlanmasına izin verilir. Hedeflere ilişkin bu tür tanımlamalar, bulanık kümelerde üyelik fonksiyonları ile ele alınır. Bu sayede, hedef programlama modelinin bir optimizasyon düşüncesinden daha çok bir doyum düşüncesine dayanma özelliği ön plana çıkarılmış olur.

Bulanık hedef programlama modeli, hedeflerin öncelik yapısına göre iki türde ele alınabilir. Bunlardan ilki, bütün hedeflerin aynı tercih önceliğinde yer aldığı bulanık hedef programlama modelidir. Bu modelde hedeflerin göreceli önemi birbirine eşit

olduğu için bütün hedefler eşanlı olarak doyurulmaya çalışılır. İkincisi ise, hedeflerin farklı tercih önceliklerini içeren tercih öncelikli hedef programlama modelidir. Bu modelde, karar vericinin hedeflere ilişkin tercih yapısını dikkate alan bir çözümün belirlenmesi amaçlanır. Burada, hedeflere ilişkin hiyerarşik bir yapının karar verici tarafından ortaya konması ve bir anlamda da söz konusu hedeflerin en önemliden daha az önemliye doğru sıralanması gerekir. Bu sıralama işlemi sözel olarak yapılabileceği gibi ağırlık kavramının kullanılmasıyla sayısal olarak da yapılabilir (Özkan, 2003b).

Sözel durumda, karar verici kendisi için “birinci derecede önemli olan hedef(ler)ini, ikinci derece önemli olan hedef (ler) ini, n’inci derecede önemli olan hedef(ler)ini” belirler. i’nci hedefin öncelik sıralaması T_i ile gösterilirse, T_i önceliğini T_{i+1} önceliğine eşitleyecek herhangi bir değer olmadığı söylenir. Diğer bir deyişle, T_i önceliğindeki hedef (ler) doyurulmadan bir sonraki öncelikte yer alan hedef (ler) in doyurulması mümkün değildir. Bu durum, $T_1 \succ T_2 \succ \dots \succ T_{n-1} \succ T_n$ şeklinde ifade edilir.

Hedeflerin sıralanma işlemi w_i ile gösterilen ağırlıklarla sayısal olarak yapıldığında, her bir hedefe $w_i \in [0,1]$ aralığında değerler alabilen bir önem katsayısı (ağırlık) atanır. Burada, w_i ile gösterilen ağırlıkların toplam olarak 1’e eşit olması gerekir. Hedeflerin sıralanma işleminde, sözel ve sayısal durum birleştirilerek, T_i önceliğindeki hedeflere farklı ağırlıklar da atanabilir.

Hedefler için belirlenen en iyi erişim düzeylerinin bulanık olduğu varsayımı ile, genelleştirilmiş bir bulanık hedef programlama modeli aşağıdaki gibi ifade edilir (Özkan, 2003b) .

$$\begin{aligned}
& \left. \begin{aligned}
(Ax)_{\tilde{b}_i} &= b_i ; i = 1, 2, \dots, m_1 \\
(Ax)_{\tilde{b}_i} &\leq b_i ; i = m_1 + 1, \dots, m_2 \\
(Ax)_{\tilde{b}_i} &\geq b_i ; i = m_2 + 1, \dots, m_3
\end{aligned} \right\} \text{Bulanık hedefler} \\
& \left. \begin{aligned}
(Ax) & l \{ =, \leq, \geq \} b_l ; l = 1, 2, \dots, p \\
x_j & \geq 0 ; j = 1, 2, \dots, n
\end{aligned} \right\} \text{Bulanık olmayan kısıtlayıcılar}
\end{aligned} \tag{3.27}$$

Burada $\tilde{=}, \tilde{\leq}, \tilde{\geq}$ simgeleri sırasıyla $=, \leq, \geq$ simgelerinin bulanıklaştırılmış halidir. Bu modelde, i'ninci hedef için karar vericinin belirlediği bulanık erişim düzeyi b_i ile gösterilmiştir. Bulanık hedef programlama için geliştirilen çözüm yaklaşımlarının bir çoğunda, bulanık hedefler işlemsel kolaylık sağlaması nedeniyle Zimmermann tipi üyelik fonksiyonları ile nitelenmiştir.

$$(Ax)_{\tilde{b}_i} = b_i \Rightarrow \mu_i(x) = \begin{cases} 0 ; \text{eğer } (Ax)_i \leq b_i - d_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} ; \text{eğer } b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} ; \text{eğer } b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \text{ ise} \\ 0 ; \text{eğer } (Ax)_i \geq b_i + d_i \text{ ise} \end{cases} \tag{3.28}$$

$$(Ax)_{\tilde{b}_i} \leq b_i \Rightarrow \mu_i(x) = \begin{cases} 0 ; \text{eğer } (Ax)_i \geq b_i + d_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} ; \text{eğer } b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \text{ ise} \\ 1 ; \text{eğer } (Ax)_i \leq b_i \text{ ise} \end{cases} \tag{3.29}$$

$$(Ax)_{\tilde{b}_i} \geq b_i \Rightarrow \mu_i(x) = \begin{cases} 0 ; \text{eğer } (Ax)_i \leq b_i - d_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} ; \text{eğer } b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \text{ ise} \\ 1 ; \text{eğer } (Ax)_i \geq b_i \text{ ise} \end{cases} \tag{3.30}$$

3.5.1 Bulanık hedef programlama modelleri için çözüm yaklaşımları

Bulanık erişim değerli hedef programlama modeli ilk olarak Narasimhan tarafından ele alınmıştır. Narasimhan, bulanık hedefleri bulanık eşitlikler olarak kabul ederek,

onları üçgensel üyelik fonksiyonları ile nitelemiştir. Zimmermann'ın bulanık doğrusal programlama modeli için geliştirdiği çözüm yaklaşımından esinlenen Narasimhan, bulanık hedef programlama modelinin çözümünü Bellman ve Zadeh'in bulanık karar kümesi kavramına dayanarak belirlemeye çalışmıştır. Bir doğrusal programlama dizisinin çözümünden oluşan Narasimhan yaklaşımında, oluşturulan alt problemlerden en yüksek λ değerini (üyelik derecesini) veren problemin çözümü, bulanık hedef programlama modelinin çözümü olarak kabul edilir. Bulanık hedeflerinin simetrik üçgensel üyelik fonksiyonlarıyla nitelenmesi halinde, Narasimhan yaklaşımına özdeş sonuçlar veren bir çözüm yöntemi Hannan tarafından geliştirilmiş ve $\lambda^* = \max \lambda_j; j = 1, 2, \dots, 2^m$ şeklindeki bir teoremle, bulanık hedef programlama modeli tek bir problem olarak formüle edilmiştir. Üçgensel bir üyelik fonksiyonunun tamamen iç bükey bir hat oluşturduğu düşüncesinden hareketle, bulanık doğrusal programlama modeli için Zimmermann'ın sunduğu çözüm yönteminin Narasimhan ve Hannan yaklaşımlarına özdeş sonuçlar verdiği Yang, Ignizio ve Kim tarafından ispatlanmıştır. Bulanık eşitliklerden oluşan hedef programlama problemleri için Hannan'ın sunduğu çözüm yöntemi, Kim ve Whang tarafından bulanık eşitsizlikleri de içeren tercih öncelikli hedef programlama problemlerinin çözümüne genişletilmiştir. Bütün hedeflerin aynı tercih önceliğinde yer aldığı bulanık hedef programlama problemleri için Narasimhan'ın sunduğu çözüm yöntemi, Tiwari, Dharmar ve Rao tarafından tercih öncelikli bulanık hedef programlama problemlerine uygulanmıştır. Bulanık hedeflerin üçgensel üyelik fonksiyonlarıyla nitelendiği tercih öncelikli bulanık hedef programlama problemlerinin Tiwari, Dharmar ve Rao yaklaşımıyla çözülmesinin getirdiği işlemsel yük, hedef ve/veya öncelik sayısına paralel olarak artmaktadır. Söz konusu işlemsel yükün azaltılmasını amaçlayan alternatif bir çözüm yaklaşımı Chen tarafından önerilmiştir. Chen, Ti tercih önceliğindeki bulanık hedef programlama problemini tek bir doğrusal programlama problemine indirgemeyi başarmıştır.

Bir hedef programlama modelinde karar vericinin hedefleri arasındaki tercih önceliğinin bulanık olduğu durum da ilk olarak Narasimhan tarafından ele alınmıştır. Narasimhan bulanık öncelikler durumunu ele almak için, bulanık mantığın diğer mantık sistemlerinden önemli bir farklılığı olan sözel değişkenler kavramını kullanmıştır. Daha sonra, hedef programlama probleminde iç içe geçmiş bulanık

öncelikler durumu Rubin ve Narasimhan tarafından formüle edilmiştir. Bu yaklaşımda bir hedefin üyelik fonksiyonunun “önemli, çok önemli, daha önemli,…” gibi ifadelerle nitelendiği bölgelerin alt ve üst sınırlarının ardışık olarak tanımlanması gerekir. Bulanık bir hedef için bir karar vericinin belirlediği en iyi erişim düzeyinin diğer bir karar verici tarafından farklı olarak tanımlanabileceği ise Rao, Tiwari ve Mohanty tarafından ifade edilmiştir. Bu düşünceden hareketle Rao, Tiwari ve Mohanty, erişim düzeylerine ilişkin farklı kümeleri birbiriyle karşılaştıran ve göreceli esneklik kavramına dayanan bir çözüm yaklaşımı sunmuşlardır.

Hedeflerin aynı tercih önceliğinde yer aldığı bulanık hedef programlama modelleri için geliştirilen çözüm yaklaşımlarının bir çoğunda, bulanık hedeflerin ortak bir doyum derecesine ulaşılmaya çalışılır. Bu durum, optimal çözümde bulanık hedeflerin her birinin aynı üyelik derecesini alması ile sonuçlanır. Tercih öncelikli bulanık hedef programlama problemlerinde karar vericinin hedefleri arasındaki tercih önceliğini belirlemesi, bulanık hedeflerin farklı düzeylerde doyurulabilmesini olanaklı kılar. Bulanık hedeflerin ortak doyum derecesini belirlemek yerine, bireysel hedeflerin doyum derecelerinin toplamını en çoklamaya çalışan bir çözüm yaklaşımı Tiwari, Dharmar ve Rao tarafından geliştirilmiştir. Tiwari, Dharmar ve Rao'nun toplamsal modeli bulanık hedeflere farklı önem katsayılarının iliştilmesine ve hedefler arasındaki tercih önceliğinin sözel olarak ifade edilmesine de olanak sağlar. Tercih öncelikli hedef programlama problemlerini çözmek için geliştirilen yaklaşımların bir çoğu, ardışık optimizasyon yöntemine dayanmaktadır. Bulanık hedeflerin tanımlı olduğu öncelik düzey sayısının artması halinde, bu durum işlemsel olarak etkinlik kaybına yol açmaktadır. Tercih öncelikli bulanık hedef programlama problemlerinin çözümünde karşılaşılan işlemsel yükün azaltılması, öncelikli tercih yapısının tek bir doğrusal programlama problemiyle ifade edilebilmesine bağlıdır. En önemli hedefin en yüksek üyelik derecesine ulaşmasını temin eden ve tercih öncelikli bulanık hedef programlama modelinin çözümünü tek bir problemin çözümüne indirgeyen bir yaklaşım Chen ve Tsai tarafından geliştirilmiştir.

Bulanık hedef programlama problemlerinde, karar vericilerin yeterince doyurulabilmesi amaçlanır. Karar vericilerin yeterince doyurulabilmesi, bulanık hedeflerin erişim düzeylerine 0 ve 1 aralığındaki üyelik derecelerinin iliştilmesi

anlamına gelir. Bulanık hedefler Zimmermann tipi üyelik fonksiyonları ile nitelendiği zaman, karar vericinin sadece 0 ve 1 üyelik dereceli erişim değerlerini belirleyebileceği kabul edilir. Diğer bir deyişle, Zimmermann tipi üyelik fonksiyonlarında karar vericinin tamamen doyurucu bulduğu erişim düzeyi ile doyurucu bulmadığı erişim düzey(ler)inin doğrusal fonksiyon(lar)la birleştirilebileceği varsayılır.

Bununla birlikte, üyelik derecesinin 0'dan 1'e doğru çıktığı veya 1'den 0'a doğru azaldığı aralıkta, üyelik fonksiyonunun sırasıyla artan veya azalan bir doğru parçası ile nitelendiğinin kabul edilmesi, karar verici tercihini tam olarak yansıtmayabilir. Çünkü, karar vericiler bulanık hedefleri için kısmen doyurucu bulduğu erişim düzeylerini de tanımlayabilir. Karar vericiden sağlanan böyle bir bilginin Zimmermann tipi üyelik fonksiyonlarıyla nitelenemeyeceği açıktır. Bu düşünceden hareketle Hannan, farklı erişim düzeylerinin 0 ve 1 arasındaki bir üyelik derecesi ekseninde birleştirilebileceğini öne sürmüştü ve karar vericinin bulanık bir hedef için ulaşmak istediği erişim düzeylerinin üyelik derecelerini belirleyebilmesi halinde, bu üyelik derecelerinden bulanık hedefin üyelik fonksiyonunun türetilebileceğini ispatlamıştır. Hannan yaklaşımı temel olarak, karar vericinin ulaşmak istediği erişim düzeyleri ile bu erişim düzeylerine ilişkin üyelik derecelerinin doğru parçalarıyla birleştirilmesine dayanır. Bulanık bir hedefe ilişkin üyelik fonksiyonunun iç bükey bir hat oluşturması halinde, doğru parçalarının tek bir üyelik fonksiyonu olarak ifade edilmesine gerek olmadığı ve bu durumda Zimmermann'ın çözüm yaklaşımı ile bulanık hedef programlama probleminin çözümünün belirlenebileceği Inuiguchi, Ichihashi ve Kume tarafından ispatlanmıştır. Karar vericinin ulaşmak istediği erişim düzeyleri ile bu erişim düzeylerinin üyelik dereceleri doğrusal fonksiyonlarla birleştirildiği zaman, iç bükey olmayan bir üyelik fonksiyonu da elde edilebilir. Diğer bir ifadeyle, bulanık hedeflere ilişkin parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları dış bükey veya s-biçimli (kısmen dış bükey, kısmen iç bükey) bir özellik gösterebilir. Bu durumda, dış bükey üyelik fonksiyonlarının iç bükey üyelik fonksiyonlarına dönüştürülmesine dayanan oldukça karmaşık bir çözüm yöntemi Inuiguchi, Ichihashi ve Kume tarafından sunulmuştur.

Nakamura, tamamen dış bükey bir hat oluşturan üyelik fonksiyonuna doğru parçalarının birleşim kümesinin belirlenmesi ile, tamamen iç bükey bir hat oluşturan üyelik fonksiyonuna ise doğru parçalarının kesişim kümesinin belirlenmesi ile ulaşılabileceğini ispatlamıştır. Bulanık bir hedefin dış bükey bir üyelik fonksiyonu ile nitelenmesi halinde, 0-1 tamsayı programlama modeline dayanan bir çözüm yöntemi geliştiren Yang, Ignizio ve Kim, iç bükey ve dış bükey doğru parçalarının kombinasyonundan oluşan s-biçimli parçalı doğrusal bir üyelik fonksiyonunun birleşim ve kesişim işlemiyle belirlenebileceğini de ispatlamıştır.

Yang, Ignizio ve Kim tarafından incelenmeyen s-biçimli parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları ile nitelenen bulanık hedef programlama modellerine ilişkin bir çözüm yaklaşımı Li ve Yu tarafından sunulmuştur. “Böl ve yönet” ilişkisinden hareketle, Yang, Ignizio ve Kim’in sunduğu çözüm yöntemi Lin ve Chen tarafından oldukça genel bir hale getirilmiştir (Özkan, 2003b).

3.5.2 Hedef programlama ile bulanık hedef programlama arasındaki ilişki

Hedef programlama ve bulanık hedef programlama çok amaçlı problemleri çözmek için kullanılan yaklaşımlardan ikisidir. Her iki yaklaşımda da her bir hedef için ulaşılmak istenen bir değer bulunmaktadır. Ulaşılmak istenen bu değerler karar verici ya da karar analisti tarafından belirlenir. Ayrıca bulanık hedef programlamada her bir hedeften izin verilen sapma miktarları da gereklidir. Sapma miktarının büyük belirlenmesi, amacın az önemli olduğunun göstergesidir.

Genel olarak hedef programlama ile bulanık hedef programlama arasındaki en önemli farklardan birisi bulanık hedef programlamanın hedef programlamaya göre daha esnek olmasıdır. Ayrıca önemli bir farklılık da hedef programlamada hedeflere karar verici tarafından belirli değerler verilme zorunluluğudur. Günümüzde karar vericileri en fazla zorlayan konulardan birisi de bu değerlerin ne olacağının belirlenmesidir. Hedef değerlerdeki belirsizlik karar vericileri zor duruma düşürmektedir. Hedef programlamadaki hedef değerlerin kesin olarak modele yerleştirilme zorunluluğu bulanık hedef programlama yaklaşımı ile esnetilebilmekte ve bu durumda karar vericiye esneklik sağlamaktadır.

Hedef programlama ile yapılan çözümlerde hedeflere belirli değerler verilmekte ve hedeflerin eşitlik ya da eşitsizlik olmasına göre sapma değişkenlerinin aldığı değerler bu hedeflere ne kadar ulaşıp ulaşılmadığını göstermektedir. Amaç fonksiyonunda yer alan sapma değişkenleri sıfır ya da sıfıra yakın değer alırsa hedeflere o kadar ulaşılmaktadır. Bulanık hedef programlama da ise hedefler tam belirgin değildir ve bu değerler üyelik fonksiyonuna bağlı olarak tolerans limitleri ile belirlenmeye çalışılmaktadır. Tolerans değerlerinin hedefin değerine göre göreceli büyüklüğü belirsizliğin ne kadar çok ya da az olduğunu göstergesidir. Üyelik fonksiyonunun değeri ile belirsiz olan hedef değerlere verilen tolerans değerlerine ne kadar ulaşıp ulaşılmadığı anlaşılmaktadır. Üyelik fonksiyonunun değeri bire ne kadar yakınsa üyelik fonksiyonunun başarıma derecesi o kadar yüksek olmaktadır. Başka bir deyişle, belirlenen değerler o kadar doğru olmaktadır (Kağnıcıoğlu, 2006).

4. TEDARİKÇİ SEÇİMİ PROBLEMİ

Firmalar pek çok malzeme için dış tedarikçilere başvururlar. Rekabetçi piyasa koşullarında her malzeme için birden fazla tedarikçi bulunabilir. Hangi tedarikçiden ve ne kadar alınacağı sorusu kısaca tüm firmaların karşılaştığı tedarikçi seçimi problemidir. Bu problemde karar vericinin karşısına birden fazla sorun çıkar. Bulardan bazıları satın alınacak malzemelerin kalitesi, fiyatları ve ulaştırma süresidir. Bunların dışında firma stratejilerine göre başka amaçlar da olabilir. Görüldüğü gibi, tedarikçi seçimi projesi çok hedefli bir problemdir ve dikkatli analiz edilmesi gerekir (Mızrak, 2003).

4.1 Tedarik Zinciri Yönetimi ve Tedarikçi Seçiminin Önemi

Günümüz müşteri odaklı pazarlama anlayışı, pazarda arzu edilen nitelikteki ürünün, istedikleri yer, zaman ve miktarda müşterilere ulaştırılmasını öngörmektedir. Bunun için uygun nitelikteki girdilerin tedarik edilmesi ve üretilen ürünlerin uygun bir dağıtım kanalı ile pazara ulaştırılması gerekir. Tedarikçiden son kullanıcıya kadar sürekli hareket eden ürünlerin hareketlerinin doğru ve verimli yönetilebilmesi, etkin bir tedarik zinciri yönetimi ile mümkün olmaktadır.

Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY), hammadde ve malzemelerin satın alınması, ürünlerin üretim, dağıtım ve son kullanıcı tarafından tüketimini sağlayan prosedür, aktivite ve fonksiyonlarının kombinasyonudur. Her sektör ve şirkete göre farklı uygulamaları olmasına rağmen tedarikçilerden temin edilen materyallerin ürüne dönüşümü ve müşteriye ulaştırılması sürecinde temel kavramlar benzerlik göstermektedir. Günümüz koşulları rekabet avantajı elde edebilmek için başarılı tedarik zinciri yönetimini zorunlu kılmaktadır.

Tedarik zinciri yönetimi değişikliklere hızlı adapte olunmasını, yatırımların doğru zamanda ve doğru kaynaklara yapılmasını, kişisel düzeyde kurulan iletişimlere yerine kurumsal bilgi paylaşımı mekanizmalarının hayata geçirilmesini ve ortak işlerden kaynaklanan maliyet avantajlarının ve operasyonel sinerjilerin etkin şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır (Demirdöğen ve Küçük, 2007).

4.1.1 Tedarik zinciri (TZ) kavramı

Tedarik zinciri, tedarikçi ile başlayıp müşterilere kadar uzanan, hammaddenin temin edilmesi, üretim sürecinde ürüne dönüştürülmesi ve müşterilere ulaştırılması faaliyetlerinin bütününe kapsayan bir organizasyondur, bir faaliyetler bütünüdür. Bir başka tanımla tedarik zinciri, hammaddelerin işlenmesi veya yarı mamule dönüştürülmesi, ana sanayide ürün haline getirilerek müşterilere ulaştırılması sürecine değer katan bütün uygulamalardır (Demirdöğen ve Küçük, 2007).

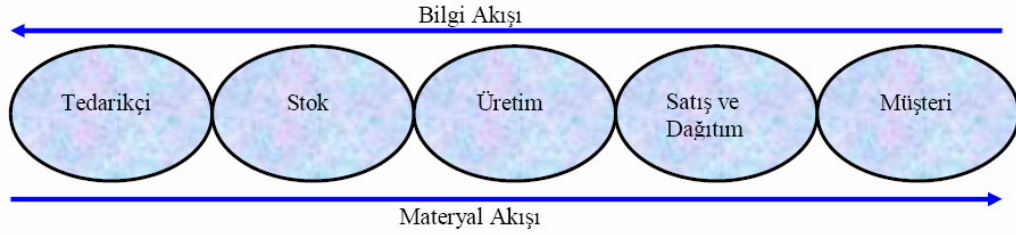
Tedarik zincirinin dört temel elemanı vardır. Bunlar;

- Tedarikçiler,
- Ana sanayi,
- Distribütörler,
- Tüketicilerdir.

Tedarik zincirinin her bir elemanı, diğerleri ile bilgi paylaşmayla ve uyumlu çalışmayla (senkronizasyon) yükümlüdür. Müşteri talep ve beklentilerinde meydana gelen değişmeler, özellikle teknolojidaki iyileşmeler sonucu ürünlerin çok hızlı demode olması, stok maliyetlerinin her zaman işletmeye ciddi yük getirmesi ile beraber düşünüldüğünde tedarik zincirinin önemi artmaktadır. Bu işleyiş, malın tamamının üretilmesi yerine bir kısmının yarı mamul olarak tedarik edilmesini, stok bulundurmak yerine tam zamanında üretim anlayışına da uygun olarak etkin bir tedarik zinciri oluşturulmasını öne çıkarmaktadır.

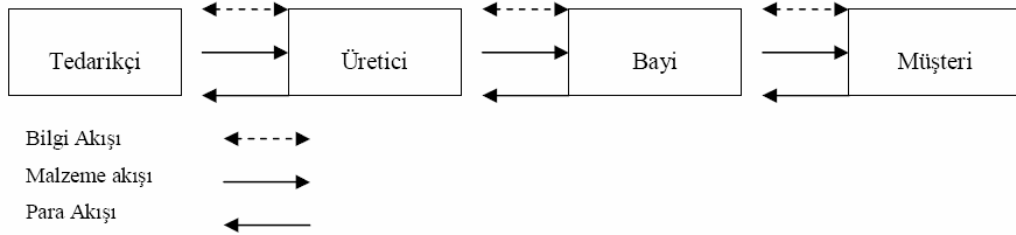
Tedarik zinciri, üretim öncesi ve sonrası süreci, üretim süreci ile birlikte ele alan, bunları da üretim sürecinin parçası gibi değerlendirerek üretim etkinliğini artıran bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır.

Şekil 4.1 tedarikçiden müşteriye doğru materyal akışının, müşteriden de tedarikçiye doğru da bilgi akışının gerçekleştiği geleneksel tedarikçi zincirini göstermektedir. Tedarik zincirinde, ürün, fatura, teslimat, sipariş, ödeme gibi bilgileri kapsayan bilgi akışı, fiziksel ürün akışı ve finansal akış veya ödeme akışı gibi üç farklı akış gerçekleşmektedir.



Şekil 4.1 : Geleneksel tedarik zinciri (Demirdöğen ve Küçük, 2007)

Şekil 4.2 ise modern para akışını da gösteren tedarik zinciri metotlarından birini göstermektedir.



Şekil 4.2 : Etkileşimli tedarik zinciri (Demirdöğen ve Küçük, 2007)

Ürünlerin tüketicilere, müşteri memnuniyeti sağlayacak bir biçimde ulaştırılabilmesi için, etkin bir tedarik zincirinin tasarlanması gerekir. Tedarik zinciri tasarımının temel amaçları aşağıdaki gibidir;

- Stok seviyesinin minimizasyonu,
- Kalitenin iyileştirilmesi,

- Teslim sürelerinin iyileştirilmesi,
- Esneklik,
- Tedarik zinciri boyunca tüm birimler arasında koordinasyonun sağlanması ve kapasitenin dengelenmesidir.

4.1.2 Tedarik zinciri yönetimi (TZY)

Müşterilerin istedikleri kalitedeki ürünleri, istedikleri sürede, zamanda ve yerde hazır etme anlayışı üzerine kurulu tedarik zinciri organizasyonunu oluşturan tüm süreçlerin etkin bir biçimde koordine edilmesi Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY) olarak bilinmektedir.

TZY müşteriye, doğru ürünün, doğru zamanda, doğru yerde, doğru fiyata tüm tedarik zinciri için mümkün olan en düşük maliyetle ulaşmasını sağlayan malzeme, bilgi ve para akışının entegre yönetimidir. Bir başka deyişle zincir içinde yer alan temel iş süreçlerinin entegrasyonunu sağlayarak müşteri memnuniyetini artıracak stratejilerin ve iş modellerinin oluşturulmasıdır (Şen, 2006).

Tedarik zinciri yönetimi, tedarikçiden üreticiye, üreticiden müşteriye uzanan süreçler boyunca iş yapma şekillerinde radikal değişiklikler yaratmıştır. Bu tür değişimler sonucunda süreçlerde aşağıdaki iyileşmeler gerçekleşmektedir (Demirdöğen ve Küçük, 2007):

- Araştırma ve geliştirme fonksiyonları pazarlama grubuyla sürekli koordinasyon içerisinde çalışabilmektedir. Dolayısıyla ürünlerin pazara sunumu hızlanmakta, müşteri ihtiyaçlarının daha iyi anlaşılmasına bağlı olarak performansta iyileşme sağlanmaktadır.
- Tedarikçi ve müşteri, bilgi teknolojilerinin bir arada çalıştığı bir ortamda iletişim kurmanın, veri aktarımı ve paylaşımının etkin yollarını geliştirebilmektedir. Paylaşılan ortak aktivitelerle katma değeri olmayan işler ortadan kaldırılmaktadır. Destek faaliyetler hızlanırken bunlardan kaynaklanan maliyetler düşmekte, ihtiyaçlara cevap verme süresi kısalmaktadır.

- Tedarik zinciri kaynakları çok daha verimli paylaşabilmektedir. Organizasyonlar ihtiyaç ve taleplerini birbirlerine daha iyi anlatabilmektedir. Böylece daha ucuz ve kaliteli ürün-hizmet sunulmaktadır.
- Satış ve satın alma fonksiyonları birbiriyle çatışan yapılar olmaktan çıkıp değer katan ve ortak çalışan yapılara dönüşmektedir.

4.1.3 Tedarik zincirinde tedarikçi seçiminin önemi

Tedarikçi seçimi bir tedarik zincirindeki en önemli unsurlardan biridir, çünkü bir tedarik zincirinin hedeflerine ulaşılmasındaki maliyet, kalite, teslimat ve hizmet kriterlerinde tedarikçilerin performansları kilit role sahiptir (Amid ve diğ., 2006). Yanlış bir tedarikçinin seçimi firmanın finansal ve operasyonel durumunu alt üst etmeye yeter iken, uygun bir tedarikçinin seçimi satın alma maliyetlerinin düşürülmesini ve rekabet gücünün artırılmasını önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Faez ve diğ., 2006).

Tedarikçiler, değer zincirinde müşteri memnuniyetini geliştirmektedirler. Bu nedenle, fireleri elimine ederek maliyetlerin düşürülmesi, sıfır hataya ulaşmak için sürekli gelişen kalite, son müşterilerin ihtiyaçlarının karşılanması için esnekliğin geliştirilmesi, tedarik zincirinin değişik aşamalarında tedarik süresinin azaltılması vb. gibi birçok yönde performansın iyileştirilmesi için, tedarik zincirinde daha iyi performans gösteren tedarikçiler ile stratejik işbirliği geliştirilmelidir (Kumar ve diğ., 2004).

Bir firmanın lojistik kararlarında, tedarikçilerin lokasyonu, tedarik zinciri dizaynında taşıma ve dağıtım planlaması olarak büyük öneme sahiptir. Benzer şekilde, güvenilir tedarikçiler bir tedarik zincirinde daha az sayıda tedarikçi ile çalışılmasına olanak sağlar. Oysa satın alma ile ilgili risklerin azaltılması daha çok sayıda tedarikçi ile çalışılma yoluna gidilebilir, ancak ilgili maliyetler de bu yaklaşım nedeni ile artacaktır. Bu nedenle, tedarikçi tabanlı optimizasyon, tedarik zincirinde daha iyi performans sergileyen tedarikçilerin belirlenmesi için gerekli olacaktır (Kumar ve diğ., 2006).

Tedarikçi seçme süreci yedi aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; iş planı, süreç planı, veri toplama, değerlendirme, tedarikçi seçimi, uyarlama, performans ölçümü ve geliştirilmesidir. Bu süreç Şekil 4.3 'te gösterilmiştir.

1. Aşama	2. Aşama	3. Aşama	4. Aşama	5. Aşama	6. Aşama	7. Aşama
İş planı	Süreç planı	Veri toplama	Değerlendirme	Tedarikçi seçimi	Uyarlama	Performans ölçümü ve geliştirilmesi

Şekil 4.3 : Tedarikçi seçim süreci (Demirdöğen ve Küçük, 2007)

Tedarikçi seçimi iki şekilde yapılmaktadır:

- 1) Alternatifli ortamda tedarikçi seçimi : Bu seçimde kalite, maliyet, esneklik, fiyat, dağıtım ve temin süresi gibi performans kriterleri belirlenerek, her bir alternatif için bu kriterlerin ağırlıkları hesaplanır ve en yüksek değere sahip olan tedarikçi ile çalışılır.
- 2) Performansa göre tedarikçi seçimi : Bu yöntemde fiyattan çok tedarikçilerin işletme içi ve dağıtıma ilişkin performans göstergeleri esas alınmaktadır. Burada işletme içi performans göstergeleri derken rekabet gücü, hata analizleri, teknoloji ve bilgi erişimi, ekipman, garantiler, esneklik, uzmanlık, eğitim, organizasyon yapısı, Ar-Ge, mühendislik ve tasarım yeteneği, programlar, coğrafi yakınlık ve referanslar akla gelmektedir. Dağıtım kriterleri ise kalite, maliyet ve teslimat performans kriterlerinden oluşmaktadır.

Kalite performans kriterleri; malzeme, üretim ve servis iadelerinden oluşmaktadır. Maliyet performans kriteri; maliyetlerin azaltılmasına ilişkin, etkinlik ve verimlilik değerlerini kapsamaktadır. Teslimat performans kriterleri ise; teslimat zamanında, miktarında, koşullarında ve sevkiyat ambalajında uygunluğa ilişkin kriterlerden oluşmaktadır (Demirdöğen ve Küçük, 2007).

Alternatif her bir tedarikçi seçim uygulamasında belirlenecek performans kriterlerini en iyi sağlayan tedarikçinin seçimi tedarik zincirinin etkinliğini ve verimliliğini artıracak, etkin tedarik zinciri yönetimi uygulamaları da malzeme akışının etkinliğini sağlayacaktır.

4.2 Tedarikçi Seçimi Problemi

Karar verme çoğu zaman düz ilerleyen bir yaklaşım değildir. Birçok durumda alternatifler birbirleri ile çeliştiği için, karar verme daha çok karmaşık bir süreçtir. Alternatifler arasında değerlendirmeler yapılmaktadır. Bir alternatifin seçilmesi karar vericiye bir alanda fayda sağlar iken, seçilmeyen diğer alternatifler de başka alanlarda fayda sağlamaktadır. Başka bir deyişle, karar vericinin birden fazla amacı vardır ve bu amaçların çoğu çelişmektedir. Bu problem genel olarak çok amaçlı karar verme problemi olarak adlandırılır. Bu tür problemlere bir örnek tedarikçi seçimi problemidir.

Bir şirketin satın alma aktiviteleri, genel operasyonları içerisinde oldukça büyük bir öneme sahiptir. Herhangi bir üretim firmasının kalite ve teslimat yeteneği, ağırlıklı olarak tedarikçilerinin performansına dayanmaktadır. Ek olarak, ürünlerin toplam maliyetinin büyük bir miktarı ham malzeme ve detay malzemelerinin satın alma maliyetlerinden oluşmaktadır. Bu yüzden etkin satın almanın büyük bir önemi vardır ve firmaya rekabet avantajı getirebilir.

Tedarikçi seçim problemlerinde, çelişen hedefler genellikle kalite, temin süresi ve maliyettir. En iyi kalite ve en kısa teslim süresini sağlayan bir tedarikçi, en yüksek maliyetlere sahip olabilmektedir. Ek olarak, daha kısa teslim süresi olan bir tedarikçi daha düşük malzeme kalitesine sahip olabilmektedir. Bu durumlarda, hangi tedarikçinin seçileceğine karar vermeden önce, tüm tedarikçiler şirketin ihtiyaçları ve stratejilerine göre dikkatli bir şekilde analiz edilmelidir. Bu her bir tedarikçi seçim probleminin neden benzersiz olduğunu göstermektedir (Mızrak, 2003).

Tedarikçi seçimi, birçok çelişen faktörden etkilenen çok kriterli bir karar verme problemidir. Bir satın alma yöneticisinin birçok kriter arasındaki dengeyi analiz etmesi gerekmektedir. Çok kriterli karar verme teknikleri, bir alternatifler kümesinin değerlendirilmesinde karar vericilere destek olmaktadır (Amid ve diğ., 2006).

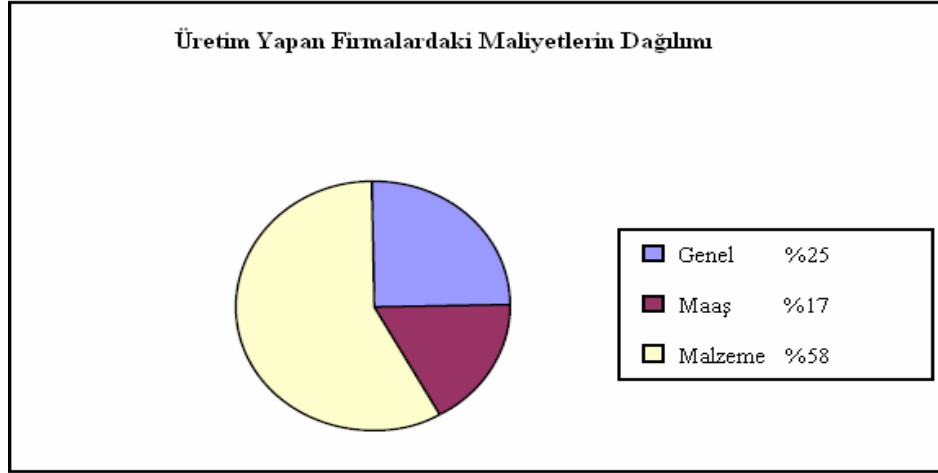
Tedarikçi seçimi problemi aşağıdaki nedenlerden dolayı kompleks bir problem olarak değerlendirilir (Kumar ve diğ., 2006);

- i. Seçilen tedarikçilerin birden fazla kriter üzerinde değerlendirilmeleri gerekmektedir. Dickson (1966) tedarikçi seçimi için 23 kriter belirlemiştir, buna karşın Dempsey (1978) 18 kriter tanımlamıştır. 74 araştırma üzerinde yapılan bir çalışmada, Weber et al. (1991) tedarikçi seçim kriterlerinin çok amaçlı bir problem olduğunu söylemiştir.
- ii. Farklı tedarikçilerin, farklı kriterler için farklı performans karakteristikleri olabilecektir.
- iii. Tedarikçilerin iç politikalarındaki kısıtlar ve tedarik zincirinin harici olarak empoze edilen kısıtları, tedarikçilerin kota dağılımlarına, çalışılacak tedarikçi sayısına, minimum ve maksimum sipariş miktarlarına, azınlık tedarikçilerinin kullanılmasına vs. kısıtlar getirmektedir.
- iv. Tedarikçiler, üretim kapasitelerine bağlı olarak kendi minimum veya maksimum sipariş miktarlarını karşılamak için tedarik prosesleri üzerinde kısıtlamalar düzenleyebilirler.
- v. Ürünlerin teslimatında zaman kısıtlaması olabilir. Bu zaman kısıtlarına göre ürünlerin tedariki için bazı kriterler baskın olamaz iken, bazı kriterler önemli hale gelebilir.

Gerçek bir durumda, bir tedarikçi seçimi için birçok girdi bilgisi kesin olarak bilinmemektedir. Karar verme noktasında, birçok kriterin ve kısıtların değerleri “kalitede oldukça yüksek” veya “fiyatta düşük” gibi belirsiz ifadeler ile belirtilir. Deterministik modeller bu belirsizlikleri kolayca hesaba dahil edemez. Karar vermede, özellikle yüksek derecede bulanıklık ve belirsizlik yer aldığı anda, karar parametrelerindeki belirsizliğin sistematik olarak ele alınabilmesindeki en iyi araçlardan birisi bulanık küme teorisidir. Bulanık küme teorileri kesinsizlik ve belirsizliğe bağlı olarak, amaç ve kısıtlardaki bulanık ve kesin olmayan bilgileri, bulanık hedef, bulanık kısıtlara dönüştürmek için tedarikçi seçimi problemlerinde kullanılmaktadır (Amid ve diğ., 2006).

4.2.1 Satın alma ve tedarikçi seçimi

Bir üretim prosesinin kalite ve maliyet durumları satın alma ile başlar. Bu nedenle firmalar önemli derecede maliyet ve zaman harcarlar. Firmalar genellikle birçok girdileri için dış tedarikçilere bel bağlarlar. Bu nedenle satın alma paranın büyük kısmını tedarikçilere harcar. Üretim organizasyonlarında, gelirin yaklaşık olarak %30 ile %60 'ı arası satın alma ürünlerine harcadığı için tedarikçilerin bir organizasyonda büyük etkisi bulunmaktadır. Şekil 4.4 büyük üretim firmalarındaki maliyetlerin dağılımını göstermektedir (Genel giderler enerji, amortisman, yönetimin maaş bordrosu vb. içermektedir). Ancak, bu yüzde normal muhasebe disiplinine göre belirlenmiştir. Eğer sadece direkt üretim maliyetleri değerlendirilse idi, bu yüzde %80 'lere ulaşacaktı (Mızrak, 2003).



Şekil 4.4 : Üretim yapan firmalarda maliyetlerin dağılımı (Mızrak, 2003)

Tedarikçi seçiminden bahsedilirken, bir nokta açıklığa kavuşturulmalıdır. Bu da satın alınacak malzeme pazarının tekel olmamasıdır. Tekel olması durumunda, herhangi bir seçim olamayacaktır. Bu nedenle, malzemelerin her biri için en az iki farklı tedarikçinin olduğu kabul edilir.

Satın alma sorumlusu tedarikçilerinden belirlenen kalite, miktar, teslimat gereksinimlerini uygun bir fiyat ve kabul edilebilir hizmet seviyesi ile karşılmasını talep eder. Firmaların hedefleri ile ilgili önemli hususlardan bazıları tedarikçinin geçmişi, olanakları, teknik gücü, finansal durumu, organizasyon ve yönetimi, ünü,

sistemleri, prosedürlere uyumu,iletişimi, çalışan iletişimi ve coğrafi konumudur. Bir satın alma kararına uygulanan tekniklerin çoğu birçok kriter kullanır. Mevcut tedarikçilerin her biri bu kriterlere göre değerlendirilir ve sıralanır. Karar bu sıralamaya göre yapılır.

Alternatif tedarikçiler değerlendirildiğinde, aralarında üç farklı durum oluşabilir;

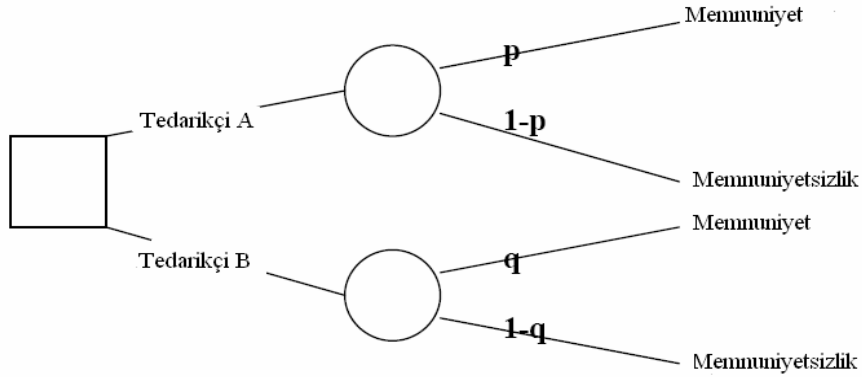
1. Tedarikçiler her açıdan benzerdir. Küçük farklılıklar mevcuttur.
2. Tedarikçiler birbirlerinden oldukça farklıdır. Fakat bir tanesi tüm açılardan diğerlerine göre üstündür.
3. Tedarikçiler birbirlerinden oldukça farklıdır. Bazıları bazı şartlarda daha iyi performans sergilerken, diğerleri diğer şartlarda daha iyi performans göstermektedir (Mızrak, 2003).

İlk iki durumda, tedarikçi seçimi kolay bir karardır ve çok çaba harcanmasını gerektirmez. Ancak, üçüncü durumda doğru kararı vermek için dikkatli bir analiz ve çalışma gerekmektedir. Bu durum Tablo 4.1 'de özetlenmektedir. İlk durum için yapılan çalışma boyunca, tedarikçilerin analiz edilmesinde yapılacak hatalar tüm tedarikçiler yaklaşık olarak aynı performansı sergiledikleri için sonucu çok değiştirmeyecektir. Oysa ikinci durumda, kötü tedarikçilerden birinin seçimi feci bir performansla sonuçlanacaktır. Son olarak üçüncü durumda, belirsizlik olduğu için hata olasılığı yüksektir ve sonuç tahmin edilememektedir.

Tablo 4.1 : Tedarikçi seçimi kararlarının sınıflandırılması (Mızrak, 2003)

Durum	Hata olasılığı	Hatanın Sonuçları	Karar tarzı
Tedarikçiler tüm şartlarda benzerdir.	Yüksek	Oldukça küçük	Rutin
Tedarikçiler büyük ölçüde farklıdır, bir tedarikçi tüm şartlarda diğerlerine göre en iyidir.	Düşük	Yüksek	Rutin
Tedarikçiler büyük ölçüde farklıdır, en iyi tedarikçi şartlara göre değişmektedir.	Yüksek	Bilinmiyor	Kompleks

Genellikle, gerçek hayattaki organizasyonlarda, üçüncü durum ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle tedarikçi seçimi kararları belirsizlik altında karar verme olarak değerlendirilebilir. Şekil 4.5 'teki karar ağacı bir aşamalı iki tedarikçili seçim kararını göstermektedir.



Şekil 4.5 : Basit bir tek aşamalı tedarikçi seçim kararı (Mızrak, 2003)

4.2.2 Tedarikçi seçim prosedürü

Kimden ve ne kadar satın alınacağı sorusu basitçe tedarikçi seçimi problemidir. Bu noktada bir firma için iki durum ile karşılaşılabilir. İlkinde, bir tedarikçi bir firmanın tüm ihtiyaçlarını karşılayabilir. Bu durumda yöneticiler sadece hangi tedarikçinin en iyi olduğuna karar verirler ve ondan siparişlerini karşılarlar. Bu durum tekli satın alma olarak adlandırılır. İkinci durumda yani gerçek hayatta daha çok karşılaşılan durumda, firmanın ihtiyaçlarını karşılamak için birden fazla tedarikçiye gereksinim duyulur. Bu çoklu satın alma olarak adlandırılır ve bu durumda yöneticilerin yapacak daha çok işi vardır. Hangi tedarikçilerin seçileceğine ve seçilen tedarikçilerden ne kadar malzeme alınacağına karar verilmelidir. Firmaların satın alma stratejilerine göre, hem tekli hem de çoklu satın alma durumlarına günümüzün iş dünyasında yer verilmektedir. Her bir stratejinin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bunları aşağıda görebiliriz (Mızrak, 2003):

Tekli satın almanın avantajları:

- Sipariş çok küçük olduğunda, bölmeye değmeyecektir. Siparişi bölmek sabit satın alma maliyetlerini arttırabilecektir.
- Satın alışların birleştirilmesi, başka türlü sağlanamayacak olası indirimleri veya düşük navlun masraflarını sağlayabilir.
- Tedarikçi firmanın tüm işine sahip olursa, memnun etmek için daha işbirlikçi, daha ilgili ve daha istekli olacaktır.
- Teslimatlar daha kolay bir şekilde çizelgelenebilir.
- Etkili tedarikçi ilişkileri önemli kaynakları ve zamanı gerektirmektedir. Bu nedenle daha az tedarikçi daha iyidir.

Çoklu satın almanın avantajları:

- Adayların bazılarının işi alacağıının bilinmesi, tedarikçilerin ürün fiyatlarında ve hizmetlerinde daha gözü açık bulunmalarını sağlayacaktır.
- Tedarik güvencesi artacaktır. Yangın, kaza, arıza gibi durumlarda teslimatlar hala sağlanabilecektir.
- Tedarikçiye bağımlı olma durumu önlenecektir.
- Tüm tedarikçilerde kullanılmayan kapasiteler olduğu için daha fazla esneklik sağlanacaktır.
- Askeri hazırlık ve tedarik güvenliği gibi stratejik sonuçlar çoklu satın almayı gerektirmektedir.
- Tek bir tedarikçinin kapasitesi firmanın mevcut veya gelecekteki ihtiyaçlarını karşılamaya yeterli olmayabilir.

Her iki durumda da, çoğu zaman satın almacılar bu soru üzerinde çok fazla zaman harcamazlar ve düşünmezler. Genel düşünce, 'Bende üç tedarikçinin listesi var ve ben bu üç tedarikçiden herhangi birisinin işi yapabileceğinden eminim, neden bunun hakkında düşünüyüm?' şeklindedir. Ancak, seçim düşük maliyetler için ve kaynakların etkin kontrolü için büyük bir potansiyel sağlamaktadır. Bu konu üzerinde önemli ölçüde zaman harcayan birçok kişi, tedarik kaynaklarının seçiminin satın alma departmanının en önemli fonksiyonu olduğunu düşünmektedir.

Bugünün teknoloji ve rekabet dünyasında, maliyet üstünlüğünden daha önemli olan şeyler kalite ve zamanında teslimattır. Bu yüzden, bugünün iş dünyasında kalabilmek için, firmaların doğru tedarikçileri seçebilmeleri ve üretimi onlarla birlikte çevirebilmeleri zorunludur.

Doğru tedarikçileri seçebilmek için, izlenmesi gereken prosedür aşağıdaki gibidir (Mızrak, 2003):

- Tutarlı bir tedarikçi temeli geliştirmek ve sürdürmek,
- Uygun stratejik ve taktiksel konulara hitap etmek,
- Potansiyel tedarikçilerin dikkatli bir şekilde değerlendirildiğinden ve bu tedarikçilerin tatmin edici tedarik partnerleri olma potansiyellerine sahip olduklarından emin olmak,
- Kaynak seçiminin temeli olarak rekabetçi teklifin mi yoksa müzakerenin mi kullanılacağına karar vermek,
- Uygun kaynağı seçmek,
- Seçilen tedarikçileri, uygun fiyatta, gerekli kalitede ve zamanında teslimat yapmalarını sağlamak için tedarikçileri yönetmek.

Tutarlı bir tedarikçi temeli geliştirmek ve sürdürmek : Olağan bir üretim sisteminin birçok girdisi bulunmaktadır. Bu girdiler yüzlerce farklı yarı mamulleri ve/veya detay malzemeleri içermektedir. Her bir yarı mamul/detay malzeme tek bir kaynaktan veya iki ya da daha fazla kaynaktan tedarik edilebilir. Bu durum her bir üretim organizasyonunda büyük miktarda tedarikçilerin değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu yüzden her bir tedarikçiye ait bilgiler saklanmalı ve organizasyonda düzenli bir tedarikçi veri tabanı oluşturulmalıdır.

Uygun stratejik ve taktiksel konulara hitap etmek : Bazı organizasyonlarda teknoloji ve kalite en büyük öneme sahip iken bazılarında zamanında teslimat en büyük öneme sahip olabilmektedir. Organizasyonun ihtiyaçların, müşteri taleplerine ve içinde bulunulan pazarın şartlarına göre her bir firma kendi stratejik ve taktiksel kararlarını belirlemelidir.

Potansiyel tedarikçilerin dikkatli bir şekilde değerlendirildiğinden ve bu tedarikçilerin tatmin edici tedarik partnerleri olma potansiyellerine sahip olduklarından emin olmak : Firmanın ihtiyaçları belirlendikten sonra, belirlenen kriterleri karşılayamayan tedarikçiler elenir. Aday tedarikçiler bu yol ile seçilir.

Kaynak seçiminin temeli olarak rekabetçi teklifin mi yoksa müzakerenin mi kullanılacağına karar vermek : Rekabetçi teklifte, her bir potansiyel tedarikçiden bir teklif alınır. Tedarikçiler diğerlerinin tekliflerini bilirler ve kendi tekliflerinde değişiklikler yaparlar. Sonunda en iyi teklifi yapan tedarikçi veya tedarikçiler anlaşmayı kazanırlar. Müzakerede ise ilk olarak çalışılacak tedarikçiler seçilir. Daha sonra tedarikçiler ve firma fiyatlarında ve diğer şartlarda müzakere yaparlar. Firmanın başlangıçta bu prosedürlerden birini seçmesi ve daha sonra bu karara göre hareket etmesi gerekmektedir.

Uygun kaynağı seçmek : Firmanın rekabetçi teklif ya da müzakereden birini kullanması ile, en uygun tedarikçiler seçilebilir. Bu adımda, birçok farklı metot uygulanabilir. Tedarikçileri listelemek ve sıralamak, doğrusal programlama, hedef programlama, bulanık hedef programlama bu metotlardan bazılarıdır.

Seçilen tedarikçileri, uygun fiyatta, gerekli kalitede ve zamanında teslimat yapmalarını sağlamak için tedarikçileri yönetmek : Tedarikçiler seçildiğinde ve anlaşma yapıldığında, tedarikçiler ile yapılan anlaşma sipariş süresinden malzemelerin teslimine kadarki süreci kapsmalıdır. Satın almacı ile tedarikçiler arasında doğru ve zamanında bilgi akışının sağlanması gerekmektedir. Bu yüzden, herhangi bir beklenmeyen talep veya durum tedarikçiler tarafından telafi edilebilir. Bu sayede malzemeler doğru miktarlarda, doğru zamanda, ihtiyaç duyulan kalitede ve fiyatta temin edilebilir.

Yukarıda görüldüğü gibi, tedarikçi seçimi tek adımlı bir prosedür değildir. Kimden satın alınacağı kararı stratejik bir karar olduğu ve firmanın genel performansını etkilediği için, objektif ve ölçülebilir kriterlere dayanmalıdır. Aynı zamanda, değerlendirme ve seçim için bir örnek konusu değildir. Zaman çerçevesinin (geçmiş, bugün, gelecek) de hesaba katılması karara daha fazla karmaşıklık getirmektedir. Bu

yüzden tedarikçi seçimi öznel bir konu olmamalıdır. Kararın arkasındaki sebepler mantıklı ve şirketteki herkes tarafından kabul edilebilir olmalıdır. Ancak, bu kararlar objektif bir prosedüre dayanırsa, hiçbir kişisel hata ile karşılaşılmayacak ve böylece firmanın satın alma performansında herhangi bir kötüleşme riski yaşanması minimize edilecektir.

4.2.3 Tedarikçilerin değerlendirilmesi

Birçok organizasyon için, satın alma hedefleri aşağıdaki gibidir (Mızrak, 2003):

- Satın alma malzemelerinin ve nakliye maliyetlerinin azaltılması,
- Envanter seviyesinin mümkün olduğunca düşük tutulması ve böylece envanter için daha az ana paranın bağlanması,
- Zamanında teslimatların sağlanması ve böylece tedarikin ve mevcut üretimin bozulmaması,
- İyi kalitenin sağlanması. Düşük kalitedeki ürünler daha sonraları üretim prosesinde beklenmeyen maliyetlere sebep olacaktır.
- İyi tedarikçi ilişkilerine sahip olunması. Bu sayede, taleplerdeki herhangi bir ani değişiklik tedarikçiler tarafından karşılanabilecektir.

Bu amaçları gerçekleştirmek için tedarik partnerleri dikkatli bir şekilde seçilmelidir. Bu yüzden tedarikçileri belirlemek için değerlendirme kriterleri kararlaştırılmalıdır. Birçok araştırmacı bu kriterler üzerinde çalışmıştır. G. W. Dickson tedarikçileri değerlendirmek için 23 kriter bulmuştur. Tablo 4.2 bu kriterlerin bir listesini göstermektedir. Ortalama dereceler kriterlerin önemini göstermektedir. Sıra arttıkça önem de aynı zamanda artmaktadır.

Tablo 4.2 : Dickson 'un tedarikçi seçim kriterleri (Mızrak, 2003)

Sıra	Faktör	Ortalama Derece	Sıra	Faktör	Ortalama Derece
1	Kalite	3.508	13	Yönetim ve Organizasyon	2.216
2	Teslimat	3.417	14	Operasyonel Maliyetler	2.211
3	Performans Geçmişi	2.998	15	Onarım Hizmeti	2.187
4	Teminatlar ve İstihkak Prosesi	2.849	16	Tutum / Davranış	2.120
5	Üretim Olanakları & Kapasite	2.775	17	İzlenim	2.054
6	Fiyat	2.758	18	Paketleme Kabiliyeti	2.009
7	Teknik Yeterlilik	2.545	19	Çalışan İlişkileri Sicili	2.003
8	Finansal Pozisyon	2.514	20	Coğrafi Konum	1.872
9	Prosedürel Uyum	2.488	21	Geçmiş İşlerin Miktarı	1.597
10	İletişim Sistemleri	2.426	22	Eğitim Hedefleri	1.537
11	Endüstrideki Pozisyonu	2.412	23	Karşılıklı Anlaşmalar	0.610
12	İş İçin İsteği	2.256			

Tablodan görüleceği gibi, kalite ve zamanında teslimat en büyük öneme sahiptir. Aynı zamanda, performans geçmişi, teminatlar ve üretim olanakları da oldukça önemlidir. Şaşırtıcı bir şekilde, fiyat faktörü listede altıncı sırada yer almaktadır ve bu durum günümüz dünyasında kalite ve zamanında teslimatın düşük fiyattan daha büyük bir öneme sahip olduğunu göstermektedir.

4.3 Literatür Araştırması

Tedarikçi seçimi ve tedarikçi değerlendirmesi için kriterler, 1960 'lardan bu yana araştırmaların odak noktasıdır. Dickson (1966), satın alma yöneticilerinin araştırmalarına dayanan, tedarikçi seçimi için 23 kriterin önemini belirtmiş ve analiz etmiştir. Kalitenin en önemli kriter olduğunu ve bunu teslimat ve performans geçmişinin takip ettiğini göstermiştir. Weber et al. (1991), tedarikçi seçim kriterlerini inceleyen 74 çalışmayı incelemiş ve tedarikçi seçimi için net fiyatın en önemli kriter olduğunu göstermiştir. Bunlar aynı zamanda, tedarikçi seçiminin çok kriterli bir problem olduğu ve kriterlerin önceliklerinin her bir satın alma durumuna göre değiştiği sonucuna varmışlardır. Roa ve Kiser (1980) ve Bache et al. (1978) sırasıyla, tedarikçi seçimi için 60 ve 51 kriter belirlemişlerdir. Tedarikçi seçimi için

karşılaştırmalı bir araştırma Ghodsypour ve O'Brien (1996) tarafından sunulmuştur. Kriterlerin sayılarının ve ağırlıklarının satın alma stratejilerine dayandığı sonucuna varmışlardır. Tedarikçi seçimi çok amaçlı bir karar verme problemidir, kriterler farklı ağırlıklara sahip olabilir.

Tedarikçi seçiminde farklı metotlar kullanılmıştır (Kumar ve diğ., 2006):

- i. Lineer ağırlıklandırma metotları
- ii. Matematiksel programlama modelleri
- iii. İstatistiksel metotlar

Tedarikçi seçimi probleminde lineer ağırlıklandırma metotları en yaygın kullanılan metotlardır. Tedarikçi seçimi kararı için Wind ve Robinson (1968) tarafından sunulan lineer ağırlıklandırma metodu, kota dağılımları için farklı tedarikçilerin performans kriterleri üzerindeki performanslarını belirlemede kullanılan en yaygın yoldur. Gregory (1986), bu yaklaşımı verilerin matris gösterimi ile ilişkilendirmiş ve ardından kota dağılımları için farklı tedarikçileri değerlendirmiştir. Monozka ve Trecha (1988), çok kriterli tedarikçi hizmet etken alanları ve genel tedarikçi performans indeksini sunmuşlardır.

Matematiksel programlama modelleri, tedarikçi seçimi problemi için açıkça belirlenmiş amaçlarının optimize edilmesindeki başarısına bağlı olarak, doğrusal ağırlıklandırma modelinden daha verimli olarak değerlendirilmektedir. Literatür araştırmaları, matematiksel programlama modellerinde, doğrusal programlama (LP), karma tamsayılı programlama (MIP) ve hedef programlamanın (GP) çok kullanılan teknikler olduğunu göstermektedir (Moore & Fearon. 1972; Oliveria & Lourenco, 2002; Sharma, Benton & Srivastava, 1989).

Gaballa (1974), gerçek bir durumda, tedarikçi seçimi için matematiksel programlamayı kullanan ilk araştırmacıdır. Karma tamsayılı programlamayı, tedarikçilere dağıtılan siparişlerin toplam iskonto edilmiş fiyatlarını minimize etmek için kullanmıştır. Tek amaçlı karma tamsayılı bir programlamayı, çoklu ürün, çoklu zaman periyotları, tedarikçilerin kaliteleri, teslimatları ve kapasitelerini göz önünde

bulundurarak toplam satın alma, taşıma ve envanter maliyetlerini minimize etmek için formüle etmiştir. Weber ve Current (1993) tedarikçi seçimi problemlerindeki birbirleriyle çelişen kriterler arasındaki dengeyi sistematik olarak analiz etmek için çok amaçlı bir yaklaşım kullanmışlardır.

Anthony ve Buffa (1977), tedarikçi seçimi kararını toplam satın alma ve envanter maliyetini minimize eden bir LP problemi olarak formüle etmişlerdir. Pan (1989), kalite, hizmet seviyesi ve tedarik süresi kısıtları altında toplam fiyatı minimize eden tek öğeli LP modeli geliştirmiştir. Bendor, Brown, Isac ve Shapiro(1985), özel bir matematiksel MIP formülasyonu olmayan, satın alma, envanter ve taşıma ile ilgili maliyetlerin minimize edilmesi amacıyla sahip bir yaklaşım geliştirmiştir ve bunu IBM 'de tedarikçi seçiminde uygulamıştır.

Sharma et al. (1989), talep ve bütçe kısıtları altında fiyat, kalite ve tedarik sürelerine ilişkin hedeflere ulaşılması için bir GP formülasyonu sunmuştur. Buffa ve Jackson (1983) da aynı zamanda fiyat, kalite ve teslimat hedefleri için GP kullanımını önermişlerdir. Karpak et al. (1999), sipariş miktarlarını her bir tedarikçi için belirlerken, tedarikçi seçiminde maliyetleri minimize etmek ve teslimat ve kalite şartlarını maksimize etmek için bir hedef programlama modeli kullanmıştır. Degraeve ve Roodhofs (2000), aktivite tabanlı maliyet bilgisini kullanarak tedarikçi seçimini işlemek için, matematiksel programlama ile bir toplam maliyet yaklaşımı geliştirmiştir. Ghodsypour ve O'Brien (2001), tedarikçi seçiminde net fiyat, stoklama, sipariş maliyetleri ve taşıma konularını içeren toplam lojistik maliyetlerini minimize etmek için bir karma tamsayılı lineer olmayan programlama yaklaşımı geliştirmişlerdir. Liu, Ding ve Lall (2000) ve Weber, Current & Desai (2000), çok amaçlı bir VSP için ver toplama analiz metodu sunmuşlardır. Handfield, Walton, Sroufe ve Melnyk (2002) ve Narasimhan (1983) tedarikçi seçimi problemi için ağırlıkların türetilmesinde analitik hiyerarşi prosesini (AHP) kullanmışlardır. Ghodsypour ve O'Brien (1998) AHP ve LP proseslerini entegre ederek bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Ronen ve Trietsch (1988), belirsizliği de entegre etmiş ve tedarikçi seçimi problemi için istatistiksel bir model sunmuştur. Kumar, Vrat ve Shankar (2002), VSP 'deki bilginin belirsizliğinin etkisini hedeflerin katsayı aralığı ile analiz etmiştir. Feng, Wang ve Wang (2001) kalite kayıp fonksiyonu ve

proses kapasite indeksine dayanarak eşanlı olarak toleransların ve tedarikçilerin seçimi için bir stokastik tamsayılı programlama modeli sunmuşlardır.

Literatürde yer alan deterministik modeller, bir karar vericinin farklı kriterler ile ilgili olarak yeterli bilgiye sahip olmamasına bağlı olarak, gerçek bir tedarikçi seçimi problemindeki kısıtlamadan olumsuz etkilenmektedir. Bu veriler gerçek yaşamda tipik olarak bulanıktır. Bir tedarikçi seçimi problemi için, birçok kriterin değeri “geç teslimatlarda çok düşük olması”, “neredeyse hiç reddin olmaması” gibi belirli olmayan terimler ile ifade edilir. Yukarıda bahsedilen deterministik metotlar, bulanık türde sözel belirsizliklerin işlenmesi açısından yetersizdir. Bu deterministik formülasyonlardan elde edilen optimal sonuçlar, problemi modellemenin gerçek amacına hizmet vermeyecektir.

Literatürde, tedarikçi seçimi problemlerinde yetersiz bilgi ve belirsizliği işleyebilmek için birkaç çalışma yer almaktadır (Narasimhan 1983, Soukup 1987, Nydick ve Hill 1992). Bu çalışmalarda, en iyi performansa sahip olan tedarikçinin bulunması için, yapılanmış satın alma durumlarındaki yetersiz ve kalitatif verilerin yol açtığı belirsizliği ele alabilmek için basit lineer ağırlıklandırma modelleri uyarlanmıştır.

Bulanık mantık yaklaşımlarına dayanarak, Morlacchi (1997), bulanık küme teorisini (FST) AHP ile kombine eden bir model kullanmış ve bunu mühendislik ve makine sektörlerindeki küçük ölçekli tedarikçilerin değerlendirilmesi için uygulamıştır. Li et al. (1997), tedarikçi performans değerlendirmesi için bir ölçüt önermiştir. Bunlar, Holt (1998), sözleşme yapan kişilerin değerlendirmelerini ve FST metodunu içeren seçim metodu metodolojilerini incelemiştir. Bu metotlarda, ikili kararlar (örneğin sözleşmecinin yaptığı veya yapmadığı, formal bir güvenlik politikasının olup olmadığı), dilsel değişkenlere (örneğin hiç, minimum, güçlü ve maksimum) dönüşebilir. Erol ve Ferrel (2003), karar vericileri kalitatif ve kantitatif verileri, çok amaçlı bir matematiksel programlama modelinde kullanmaya yönlendiren bir metodoloji önermişlerdir. Onların metodunda, ilk olarak kalitatif bilgi kantitatif formata bulanık kalite fonksiyon açılımı (QFD) kullanılarak dönüştürülür ve daha sonra bu veri çok amaçlı bir modeli parametrize etmek için diğer kantitatif veriler ile kombine edilir. Onlar, problemi kapasite kısıdını dikkate almadan incelemiştir.

Başka bir deyişle problemi tek kaynaklı tedarikçi seçimi olarak değerlendirmişlerdir yani tek bir tedarikçinin tüm talebi karşılayabileceğini düşünmüşleridir. Ghodsypour ve O'Brien (1998) ise modeli çok kaynaklı olarak değerlendirmişlerdir.

5. OTOMOTİV FİRMASINDA TEDARİKÇİ SEÇİMİ İÇİN BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

5.1 Şirket Tanıtımı

Ford Otosan A.Ş. otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firma olup, Ford Motor Company ve Koç Holding ortaklığı ile yönetilmektedir. Kocaeli ve İnönü Fabrikaları 'nda ticari araç ve kamyon / motor üretimi gerçekleştirilir iken, Kartal Parça Dağıtım Merkezi 'nde yedek parça dağıtımını sağlanmaktadır.

Uygulama Ford Otosan Kocaeli Fabrikası 'nda gerçekleştirilmiştir. Kocaeli Fabrikası bünyesinde Transit ve Connect olmak üzere iki ayrı üretim hattında ticari araç üretimi gerçekleştirilmektedir. Firmanın 2008 yılı üretim hedefi 320.000 araç / yıl olup, 2007 yılını 250.000 araç / yıl ile kapatmıştır. Fabrikada 5.400 mavi yaka ve 1.000 beyaz yaka çalışmaktadır. 340.000 m² kapalı alan olmak üzere, toplam 1.600.000 m² alana sahiptir.

Ford Otosan Kocaeli Fabrikası 'nda Transit ve Connect olmak üzere iki tip aracın müşteri siparişlerine göre çok sayıda farklı modelleri üretilmektedir. Üretilen araçların büyük bir kısmı yurtdışına ihraç edilmekte olup, yerli piyasaya da üretim gerçekleştirilmektedir. Üretim prosesi sırası ile pres, kaynak, boyahane, montaj, son kontrol aşamalarından oluşmaktadır. Üretim birimlerinin yanı sıra satın alma, kalite, muhasebe, takım kalıp, ürün geliştirme, malzeme planlama, üretim planlama, ikmal, lojistik, satış ve pazarlama, bakım gibi hizmet birimleri de firmanın bünyesinde yer almaktadır. Fabrika yerleşim planı ve birimler Şekil 5.1 'de gösterilmiştir.

Pres atölyesinde, toplam 6 pres hattı ve 2 tam otomatik açınım hattı yer almaktadır. Kaynak atölyesi 3 ayrı üretim hattından oluşmaktadır. Tüm alt modellerin üretimi için çevrim zamanı içinde otomatik ayar yapabilme özelliği; kalite, çevrim süresi ve ergonominin gerekli kıldığı tüm yerlerde robot veya konveyör kullanımı; IT tipi

kısıtlar ve talepler doğrultusunda yerli veya yabancı olmak üzere birden fazla tedarikçiden temin edilebilmektedir.

Genel olarak düşük kalitede parçalar üretim kayıplarının ve hurda maliyetlerinin artmasına, müşteri şikayetlerinin oluşmasına, pazar payının ve rekabet gücünün düşmesine neden olabilecektir. Benzer şekilde sevkıyatların gecikmesi üretim kayıpları yaşanmasına, müşteri taleplerinin gecikmesine ve firmanın itibarının zedelenmesine sebebiyet verebilecektir. Konumu fabrikaya uzak olan firmalardan yapılan sevkıyatlar ise lojistik maliyetlerinin artmasına, verimsizliğe, üretim riski yaşamamak adına daha fazla stok ile çalışılmasına ve akabinde envanter maliyetlerinin artmasına neden olabilecektir. Ya da tüm performansları yüksek ve konumu itibarıyla uygun olan bir firma kapasitesinin yetersizliği nedeni ile talepleri karşılayamayabilecektir. Tedarikçilerin belirlediği bu gibi durumlar, özellikle üretim adetlerinin ve maliyetlerinin yüksek olduğu bu tür üretim tesislerinde kritik önem taşımaktadır.

Çalışmada belirli ürün modelleri için kullanılan bir lastik referansının temin edileceği tedarikçiler ve bu tedarikçilerden temin edilecek adetlerin belirlenmesi için optimum çözüm araştırılacaktır. Referansın temin edileceği potansiyel tedarikçilerin değerlendirilmesinde, tedarikçilerin kapasiteleri, parça fiyatları, kalite performansları, teslimat performansları, esneklik, konumlarına (yerli/ ithal) bağlı stok seviyeleri gibi faktörler etkili olmaktadır. Tablo 5.1 'de değerlendirme kriterleri ve potansiyel tedarikçilerin bu kriterlere göre performansları yer almaktadır.

Tablo 5.1 : Seçim kriterleri ve alternatif tedarikçilerin performansları

Lastik Referans Numarası	Alternatif Tedarikçiler			
	Tedarikçi 1	Tedarikçi 2	Tedarikçi 3	Tedarikçi 4
1C15-1508-AA				
Parça fiyatı	34,80 €	34,98 €	32,94 €	34,90 €
Ret oranı	4%	0%	0%	1%
Geç teslimat oranı	1%	7%	2%	1%
Esneklik oranı	10%	15%	15%	10%
Emniyet stoğu	2 gün	5 gün	5 gün	2 gün
Üretim kapasitesi	9.500 adet/ay	2.670 adet/ay	3.000 adet/ay	7.000 adet/ay
Toplam Parça İhtiyacı	205.000 adet/yıl			

Tablo 5.1 'de belirtilen alternatif tedarikçilerin isimleri şirketin gizlilik politikası nedeni ile açıkça belirtilmemiş olup, her bir tedarikçiye numara verilmiştir. Tedarikçi 1 ve Tedarikçi 4 yurtiçi firmaları olup, Tedarikçi 2 ve Tedarikçi 3 yurtdışında üretim ve sevkiyat yapan firmalardır.

Tabloda belirtilen parça fiyatları içerisinde nakliye bedelleri de yer almaktadır, bu nedenle problemde ayrıca nakliye maliyetleri değerlendirilmeyecektir. Satın alma maliyetleri kurulacak olan modelde minimize edilmesi beklenen bir amaç olarak yer alacaktır.

Ret oranı firmaların geçmiş 1 yıllık verilerine göre belirlenmiş olup, reddedilen ürün adetlerinin toplam sevk edilen ürün adetlerine bölünmesi ile hesaplanmıştır. Geç teslimat oranı da aynı şekilde geçmiş 1 yıllık verilere göre, geç teslim edilen sevkiyat adetlerinin toplam sevkiyat adetlerine bölünmesi ile hesaplanmıştır. Hem ret oranları hem de geç teslimat oranları modelde minimize edilmeye çalışılacak birer amaç olacaktır.

Esneklik oranı firmaların haftalık değişen sipariş miktarlarını karşılayabilme yeteneklerine göre belirlenmiştir. Yurtiçi firmalarının şirkete ayırdıkları üretim kapasiteleri yüksek olduğu için program artışlarını daha düşük bir oranda karşılayabilmektedirler. Yurtdışı firmaları ise daha şirkete düşük kapasitede üretim gerçekleştirdikleri için program artışlarını daha büyük bir oranda karşılayabilmektedirler. Esneklik, değişen üretim programlarının karşılanabilmesi ve üretim kayıpları yaşanmaması amacı ile maksimize edilmesi beklenen bir hedef olarak modelde yer alacaktır.

Yol süresi dikkate alındığında üretimi riske sokmamak adına şirket politikası olarak yerli parçalarda 2 günlük, yurtdışından temin edilen parçalarda 5 günlük stok ile çalışılmaktadır. Emniyet stokları yer açısından verimsizliğe ve envanter maliyetine sebep olduğu için modelde minimize edilmeye çalışılan bir hedef olarak yer alacaktır.

Firmaların aylık olarak verebilecekleri maksimum adetler problemde kısıt olarak değerlendirilecektir. Firmalar bu adetlerin üzerlerine çıkamamakta olup, esneklik

toplam adet değişmeyecek şekilde haftalık programlardaki değişiklikleri karşılayabilme yetenekleri olarak dikkate alınmıştır. Bu nedenle firmaların üretim kapasiteleri kesin olarak belirlenmiş ve bulanık olmayan kısıtlar olarak modelde yer alacaktır.

şirkette ret malzemelerin ve geç teslimatların minimize edilmesi birincil öncelikli amacı oluşturmaktadır. İkinci önemli amaç ise satın alma maliyeti olarak belirlenmiştir. Bu önceliklerin belirlenmesinde rekabet gücü sağlamak ağısından parça fiyatlarının firmalar arasında çok büyük farklılıklara sahip olmaması ve geç teslimatlar ya da reddedilen malzemeler nedeni ile yaşanılan üretim ve itibar kayıplarının satın alma maliyetinden daha büyük bir maliyete ve kayba sebep olacağının düşünülmesi rol oynamaktadır. Bu amaçları önem sırasına göre stok miktarı ve esneklik amaçları takip etmektedir.

Yukarıda bahsedildiği gibi karar vericinin birden fazla amacı vardır ve bu amaçlar birbirleri ile çelişmektedir. Bu nedenle tedarikçi seçimi problemi çok amaçlı bir karar verme problemi olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca birden fazla hedefin bulunması ve bu hedeflerin birbirleri ile çelişmeleri durumuna ek olarak problemde tedarikçilerin seçimi için birçok bilgi kesin olarak bilinmemektedir. Karar verme noktasında, birçok kriterin ve kısıtların değerleri “kalitede oldukça yüksek” veya “fiyatta düşük” gibi belirsiz ifadeler ile belirtilmektedir. Karar parametrelerindeki bu belirsizliğin sistematik olarak ele alınabilmesi için bulanık küme teorilerinden yararlanılacak ve çözüm için bulanık hedef programlama modeli geliştirilecektir.

5.3 Bulanık Hedef Programlama Modelinin Geliştirilmesi ve Problemin Çözümü

İncelenen tedarikçi seçimi problemi çok amaçlı bir karar verme problemi olup aşağıdaki kabulleri, karar değerkenlerini ve parametreleri içermektedir.

Kabuller;

- Parça fiyatları nakliye maliyetlerini de içerdği için nakliye maliyetleri ayrıca incelenmeyecektir,
- Tedarikçilerin kapasiteleri ve referansın yıllık talebi kesin olarak bilinmektedir.

Karar değişkenleri;

X_i : Tedarikçi i 'den temin edilecek olan yıllık lastik adeti, $i=1, 2, 3, 4$

Parametreler;

T : Yıllık talep miktarı (Adet/yıl)

F_i : Parça birim fiyatları (Euro) , $i=1, 2, 3, 4$

R_i : Ret oranı (Yüzde) , $i=1, 2, 3, 4$

G_i : Geç teslimat oranı (Yüzde) , $i=1, 2, 3, 4$

E_i : Esneklik oranı (Yüzde) , $i=1, 2, 3, 4$

S_i : Stok günü (Gün) , $i=1, 2, 3, 4$

K_i : Tedarikçilerin aylık üretim kapasiteleri (Adet/ay) , $i=1, 2, 3, 4$

Yukarıda belirtilen karar değişkenleri ve parametrelere göre hedefler aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

Ret oranlarının minimize edilmesi amacı;

$$\text{Minimum} Z_1 = \sum_{i=1}^4 R_i \cdot X_i \quad (5.1)$$

Geç teslimat oranlarının minimize edilmesi amacı;

$$\text{Minimum} Z_2 = \sum_{i=1}^4 G_i \cdot X_i \quad (5.2)$$

Satın alma maliyetlerinin minimize edilmesi amacı;

$$\text{Minimum}Z_3 = \sum_{i=1}^4 F_i \cdot X_i \quad (5.3)$$

Envanter miktarının (stok yerinin) minimize edilmesi amacı;

$$\text{Minimum}Z_4 = \sum_{i=1}^4 S_i \cdot X_i \quad (5.4)$$

Esnekliğin maksimize edilmesi amacı;

$$\text{Maksimum}Z_5 = \sum_{i=1}^4 E_i \cdot X_i \quad (5.5)$$

Üretim kapasitesi kısıdı;

$$X_i \leq K_i \cdot 12 \quad (5.6)$$

Toplam yıllık ihtiyacın karşılanması kısıdı;

$$\sum_{i=1}^4 X_i \geq T \quad (5.7)$$

Firmalardan temin edilecek olan adetlerin sıfırdan büyük ve eşit ve tamsayı olması kısıdı;

$$X_i \geq 0 \quad \text{ve} \quad \text{tamsayı} \quad (5.8)$$

Oluşturulan denklemlerde ilgili katsayıların yerine Tablo 5.1 'de belirtilen değerlerin yerleştirilmesi ile amaç fonksiyonları ve kısıtlar aşağıdaki şekilde düzenlenebilir.

Amaçlar;

$$\text{Minimum}Z_1 = 0,04 \cdot X_1 + 0 \cdot X_2 + 0 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_4$$

$$\text{Minimum}Z_2 = 0,01 \cdot X_1 + 0,07 \cdot X_2 + 0,02 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_4$$

$$\text{Minimum}Z_3 = 34,8 \cdot X_1 + 34,98 \cdot X_2 + 32,94 \cdot X_3 + 34,9 \cdot X_4$$

$$\text{Minimum}Z_4 = 2 \cdot X_1 + 5 \cdot X_2 + 5 \cdot X_3 + 2 \cdot X_4$$

$$\text{Maksimum}Z_5 = 0,10 \cdot X_1 + 0,15 \cdot X_2 + 0,15 \cdot X_3 + 0,10 \cdot X_4$$

Kısıtlar;

$$X_1 \leq 9500 \cdot 12$$

$$X_2 \leq 2670 \cdot 12$$

$$X_3 \leq 3000 \cdot 12$$

$$X_4 \leq 7000 \cdot 12$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \geq 205000$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4 \geq 0 \quad \text{ve} \quad \text{tamsayı}$$

Problemde birbiri ile çelişen birden fazla hedef olduğu için en uygun çözüm bir hedef programlama modeli kurularak elde edilebilecektir. Ancak problemde yer alan hedeflere baktığımızda ret malzemelerin, geç teslimatların, satın alma maliyetlerinin, tutulacak stok miktarlarının “olabildiğince düşük” ve esnekliğin “olabildiğince yüksek” olması istenmektedir. Bu ifadelerden anlaşılacağı gibi hedefler için en iyi erişim düzeyleri kesin olarak belirlenememektedir. Hedeflere ilişkin bu tür belirsizlik içeren tanımlamalar, bulanık kümelerde üyelik fonksiyonları ile ele alınabilmektedir. Bu nedenle kurulacak olan model bulanık amaçların yer aldığı bir hedef programlama modeli olacaktır.

Bulanık hedefler ve bulanık olmayan kısıtlar için bir bulanık hedef programlama modeli Bölüm 3.5 ‘te verilmiştir. Bu modelde her bir hedef için “yaklaşık olarak ...’e eşit”, “...’den oldukça büyük” gibi bulanık erişim düzeyleri tanımlanmıştır. Ancak problemimizde hedefler için “olabildiğince yüksek” ve “olabildiğince düşük” gibi ifadeler yer almaktadır yani en iyi erişim düzeyleri ve bu değerlerden izin verilen toleranslar başlangıçta belirtilememektedir. Bu açıdan bakıldığında model Bölüm 3.3 ‘te anlatılan bulanık doğrusal programlama modeli ile de benzerlik göstermektedir.

Hedeflerin en iyi erişim düzeylerinin ve kabul edilen maksimum toleransların belirlenebilmesi amacıyla LİNGO programı kullanılarak yukarıda belirtilen her bir amaç için optimum çözümler tespit edilmiştir. Her bir amaç için elde edilen çözümlere göre diğer amaçların da değerleri hesaplanarak Tablo 5.2 ‘de belirtilen kombinasyonlara ulaşılmıştır. Amaçların maksimizasyon ya da minimizasyon

oluşlarına göre, her bir amaç için elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak en iyi erişim düzeyleri ve toleranslar belirlenmiştir. Kullanılan denklemler ve çözüm verileri çalışmanın sonunda EK - 1 'de yer almaktadır.

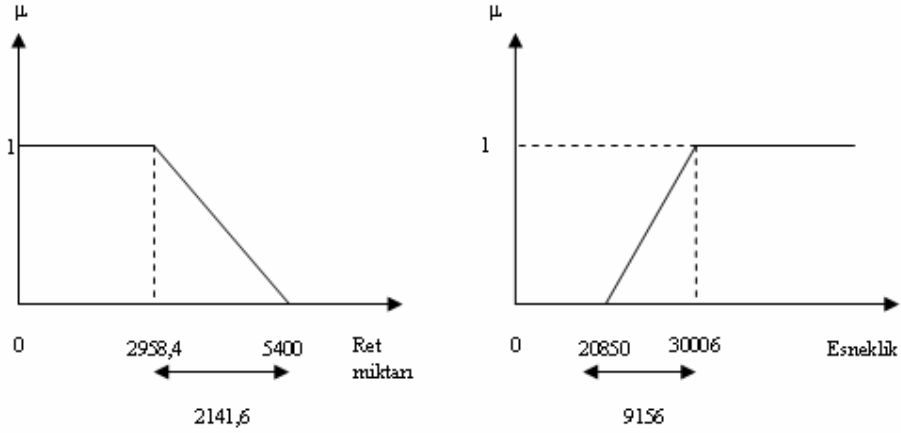
Tablo 5.2 : Bulanık erişim düzeyleri ve toleransların belirlenmesi

KATSAYILAR		Ret oranı	Geç teslimat oranı	Parça fiyatı	Stok günü	Esneklik oranı
		X_1	0,04	0,01	34,8	2
X_2	0	0,07	34,98	5	0,15	
X_3	0	0,02	32,94	5	0,15	
X_4	0,01	0,01	34,9	2	0,1	

AMAÇ	DEĞER	AMAÇ1	AMAÇ1	AMAÇ2	AMAÇ3	AMAÇ4
		Ret oranı	Geç teslimat oranı	Satın alma maliyeti	Stok miktarı	Esneklik
AMAÇ1 Ret oranı	X_1	52960				
	X_2	32040	2958,4	4332,4	7081207,2	614120
	X_3	36000				23902
	X_4	84000				
AMAÇ1 Geç teslimat oranı	X_1	114000				
	X_2	0	5400	2120	7129380	431000
	X_3	7000				20850
	X_4	84000				
AMAÇ2 Satın alma maliyeti	X_1	114000				
	X_2	0	5110	2410	7072540	518000
	X_3	36000				22300
	X_4	55000				
AMAÇ3 Stok miktarı	X_1	114000				
	X_2	0	5400	2120	7129380	431000
	X_3	7000				20850
	X_4	84000				
AMAÇ4 Esneklik	X_1	114000				
	X_2	32040	5400	4942,8	9205399,2	736200
	X_3	36000				30006
	X_4	84000				
MİNİMUM		2958,4	2120	7072540	431000	20850
MAKSİMUM		5400	4942,8	9205399,2	736200	30006
FARK		2441,6	2822,8	2132859,2	305200	9156
AMAÇ TÜRÜ		MİNİMİZASYON	MİNİMİZASYON	MİNİMİZASYON	MİNİMİZASYON	MAKSİMİZASYON

Örneğin ret oranı minimize edilmesi istenen bir hedef olduğu için yapılan kombinasyonlar sonucunda bulunan minimum değer, en iyi erişim düzeyini, maksimum değer ile arasındaki fark da bu hedeften pozitif yöndeki tolerans miktarını belirleyecektir. Bulunan minimum değer altındaki değerler için üyelik fonksiyonu 1 değerini alacaktır, tolerans dahilinde en iyi erişim düzeyinden uzaklaştıkça üyelik fonksiyonunun değeri azalacak ve maksimum değeri aşması durumunda 0 değerini alacaktır. Benzer şekilde esneklik maksimize edilmesi beklenen bir hedef olduğu için kombinasyonlar sonucunda elde edilen maksimum değer, en iyi erişim düzeyi, minimum değer ile arasındaki fark ise negatif yönde tolerans miktarı olarak değerlendirilecektir. Bulunan maksimum değer üzerindeki değerler için üyelik fonksiyonu 1 değerini alacaktır, tolerans dahilinde en iyi erişim düzeyinden uzaklaştıkça üyelik fonksiyonunun değeri azalacak ve minimum değer altına

düşmesi durumunda 0 değerini alacaktır. Hem konunun daha iyi anlaşılması hem de aşağıda belirtilecek olan üyelik fonksiyonlarının oluşturulma mantığını göstermesi açısından ret oranlarının minimize edilmesi ve esnekliğin maksimize edilmesi amaçlarının üyelik fonksiyonu grafikleri Şekil 5.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Ret oranı ve esneklik amaçlarının üyelik fonksiyonu grafikleri

Bu şekilde her bulanık hedefin parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Bu fonksiyonların belirlenmesinde Bölüm 3.3'te yer alan Zimmermann'ın kullandığı üyelik fonksiyonlarına benzer üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Her bir hedef için Tablo 5.2'de elde edilen verilere göre oluşturulan üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibidir.

Ret oranlarının minimize edilmesi amacı;

$$\mu_{[Z_1(X_i)]} = \begin{cases} 1 & , Z_1(X_i) \leq 2958,4 \text{ ise} \\ \left[\frac{5400 - Z_1(X_i)}{2441,6} \right] & , 2958,4 \leq Z_1(X_i) \leq 5400 \text{ ise} \\ 0 & , Z_1(X_i) \geq 5400 \text{ ise} \end{cases}$$

Geç teslimat oranlarının minimize edilmesi amacı;

$$\mu_{[Z_2(X_i)]} = \begin{cases} 1 & , Z_2(X_i) \leq 2120 \text{ ise} \\ \left[\frac{4942,8 - Z_2(X_i)}{2822,8} \right] & , 2120 \leq Z_2(X_i) \leq 4942,8 \text{ ise} \\ 0 & , Z_2(X_i) \geq 4942,8 \text{ ise} \end{cases}$$

Satın alma maliyetlerinin minimize edilmesi amacı;

$$\mu_{[Z_3(X_i)]} = \begin{cases} 1 & , Z_3(X_i) \leq 7072540 \text{ ise} \\ \left[\frac{9205399,2 - Z_3(X_i)}{2132859,2} \right] & , 7072540 \leq Z_3(X_i) \leq 9205399,2 \text{ ise} \\ 0 & , Z_3(X_i) \geq 9205399,2 \text{ ise} \end{cases}$$

Envanter miktarının (stok yerinin) minimize edilmesi amacı;

$$\mu_{[Z_4(X_i)]} = \begin{cases} 1 & , Z_4(X_i) \leq 431000 \text{ ise} \\ \left[\frac{736200 - Z_4(X_i)}{305200} \right] & , 431000 \leq Z_4(X_i) \leq 736200 \text{ ise} \\ 0 & , Z_4(X_i) \geq 736200 \text{ ise} \end{cases}$$

Esnekliğin maksimize edilmesi amacı;

$$\mu_{[Z_5(X_i)]} = \begin{cases} 0 & , Z_5(X_i) \leq 20850 \text{ ise} \\ \left[\frac{Z_5(X_i) - 20850}{9156} \right] & , 20850 \leq Z_5(X_i) \leq 30006 \text{ ise} \\ 1 & , Z_5(X_i) \geq 30006 \text{ ise} \end{cases}$$

Kısıtlar daha önce de belirtildiği gibi kesin olarak belirlendiği için bulanıklık içermemektedir ve bu nedenle sapmaları sıfır olarak değerlendirilmektedir. Başka bir ifadeyle, herhangi bir dönüşüm işlemi yapılmadan modele ilave edilecektir.

İncelenen problem için modelin kurulması ve çözümünde gerek Zimmermann 'ın bulanık doğrusal programlama modellerinde, gerekse Narasimhan 'ın bulanık hedef

programlama modellerinde kullandıkları çözüm yöntemlerinde olduğu gibi λ değişkeni kullanılacaktır. λ değişkeni bulanık hedeflere erişme derecesini göstermekte olup, $\lambda \in [0,1]$ aralığında tanımlanmaktadır ve $\mu_{[z_i(x_i)]} \geq \lambda$ olarak belirtilmektedir.

Zimmermann 'ın Bölüm 3.3 'te anlatılan bulanık doğrusal programlama için geliştirdiği çözüm yaklaşımından esinlenen Narasimhan, bulanık hedef programlama modelinin çözümünü bulanık karar kümesi kavramına dayanarak belirlemeye çalışmıştır. Bu yaklaşım, bulanık karar kümesinin en yüksek dereceli elemanının belirlenmesini amaçlamaktadır. Bulanık hedeflere erişme derecesini gösteren λ değişkeninin tanımlanmasının ardından problem aşağıdaki modelde görüleceği gibi doğrusal programlama problemine dönüştürülerek çözülebilecektir. Burada b_i en iyi erişim düzeyini, d_i tolerans miktarını, $(Ax)_i$ ise amaç fonksiyonunu belirtmektedir.

Maksimum λ

Kısıtlar

$$\begin{array}{l}
 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} \geq \lambda \\
 b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} \geq \lambda \\ b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \end{array}} \right\} \text{bazı } i \text{ 'ler için}$$

$$\begin{array}{l}
 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} \geq \lambda \\
 b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} \geq \lambda \\ b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \end{array}} \right\} \text{diğer } i \text{ 'ler için} \quad (5.9)$$

$$\lambda \in [0,1]$$

$$x \geq 0$$

Hedef programlama modellerinde olduğu gibi bulanık hedef programlama modellerinde de hedefler arasında öncelik sırası belirlenebilmektedir. Tablo 5.2 'de de belirtildiği gibi şirkette ret oranının ve geç teslimat oranının minimize edilmesi birincil öncelikli amacı (amaç 1) oluşturmaktadır. İkinci önemli amaç ise satın alma maliyeti olarak belirlenmiştir. Bu önceliklerin belirlenmesinde rekabet gücü sağlamak açısından parça fiyatlarının firmalar arasında çok büyük farklılıklara sahip olmaması ve geç teslimatlar ya da reddedilen malzemeler nedeni ile yaşanan üretim ve itibar kayıplarının satın alma maliyetinden daha büyük bir maliyete ve kayba

sebeplere olacağını düşünülmesi rol oynamaktadır. Bu amaçları önem sırasına göre stok miktarı ve esneklik amaçları takip etmektedir.

Hedeflerin önceliklerinin modele ilave edilebilmesi için öncelik sırasına göre λ değerleri numaralandırılarak ve amaç fonksiyonunda λ değişkenlerinin başlarına hedeflerin önceliğine göre oldukça farklı büyüklükte katsayılar yazılarak, hedef programlama modelinin doğrusal programlamaya çevrilerek çözülmesi mümkün olmaktadır. Bu işlem ile birlikte tüm hedeflerin aynı tercih önceliğinde yer aldığı Narasimhan yaklaşımı, bulanık hedefler arasındaki farklı tercih önceliklerinin de dikkate alındığı Tiwari, Dharmar ve Rao 'nun toplamsal model yaklaşımına benzemektedir.

Problemde yer alan verilerin, hedeflerin öncelikleri de dikkate alınarak düzenlenmesi ile elde edilen model aşağıdaki gibi yazılabilecektir.

$$\text{Maksimum } \lambda = 10000000 \cdot \lambda_1 + 10000 \cdot \lambda_2 + 10 \cdot \lambda_3 + 0,001 \cdot \lambda_4$$

$$-(0,04 \cdot X_1 + 0 \cdot X_2 + 0 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_4) + 5400 - 2441,6 \cdot \lambda_1 \geq 0$$

$$-(0,01 \cdot X_1 + 0,07 \cdot X_2 + 0,02 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_4) + 4942,8 - 2822,8 \cdot \lambda_1 \geq 0$$

$$-(34,8 \cdot X_1 + 34,98 \cdot X_2 + 32,94 \cdot X_3 + 34,9 \cdot X_4) + 9205399,2 - 2132859,2 \cdot \lambda_2 \geq 0$$

$$-(2 \cdot X_1 + 5 \cdot X_2 + 5 \cdot X_3 + 2 \cdot X_4) + 736200 - 305200 \cdot \lambda_3 \geq 0$$

$$(0,10 \cdot X_1 + 0,15 \cdot X_2 + 0,15 \cdot X_3 + 0,10 \cdot X_4) - 20850 - 9156 \cdot \lambda_4 \geq 0$$

Kısıtlayıcılar

$$X_1 \leq 9500 \cdot 12$$

$$X_2 \leq 2670 \cdot 12$$

$$X_3 \leq 3000 \cdot 12$$

$$X_4 \leq 7000 \cdot 12$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \geq 205000$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4 \geq 0 \quad \text{ve tamsayı}$$

Oluşturulan model birinci öncelikli hedef ret oranları ile geç teslimat oranlarının minimizasyonu, ikinci öncelikli hedef satın alma maliyetinin minimizasyonu, üçüncü

öncelikli hedef stok miktarının minimizasyonu ve dördüncü hedef esneklik oranının maksimizasyonu olacak şekilde LİNGO programı kullanılarak çözülmüştür. Program için kurulan model ve çözümün detaylı verileri EK - 2 'de yer almaktadır.

Elde edilen optimum çözüm aşağıdaki gibidir.

$$\lambda_1 = 0,6588467$$

$$\lambda_2 = 0,9976938$$

$$\lambda_3 = 0,6046920$$

$$\lambda_4 = 0,2196156$$

$$X_1 = 73784$$

$$X_2 = 11216$$

$$X_3 = 36000$$

$$X_4 = 84000$$

Elde edilen sonuçlara göre Tedarikçi 3 ve 4 'ten maksimum kapasiteleri olan 36000 ve 84000 adet lastik temin edilmelidir. Ancak bu adetlerin toplamı yıllık talep olan 205000 adeti karşılayamayacaktır. Bu nedenle kalan ihtiyaçlar Tedarikçi 1 'den 73784 ve Tedarikçi 2 'den 11216 adet lastik temin edilmesi ile karşılanabilecektir. Çözümde yer alan λ_i değerleri ise hedeflerin başarıma derecelerini göstermektedir.

5.4 Mevcut Durum ile Elde Edilen Çözümün Kıyaslanması

Parça ihtiyaçları mevcut durumda referans için tanımlanan imalatçı yüzdelerine göre belirlenmektedir. Mevcut durumda tedarikçilerin sahip oldukları yüzde değerleri ve yıllık ihtiyaca göre bu değerlere tekabül eden lastik adetleri Tablo 5.3 'te gösterilmektedir.

Tablo 5.3 : Mevcut durumdaki veriler

	Tedarikçi 1	Tedarikçi 2	Tedarikçi 3	Tedarikçi 4
Yüzde Dağılımı	51%	10%	2%	37%
Yıllık Satın Alınan Adetler	104.550	20.500	4.100	75.850

Kurulan bulanık hedef programlama modeline göre elde edilen veriler ise Tablo 5.4 'te görülmektedir. Mevcut duruma göre Tedarikçi 1 ve 2 'nin siparişlerinde azalma, Tedarikçi 3 ve 4 'ün siparişlerinde artma görülmektedir.

Tablo 5.4 : Kurulan modelin çözümü ile elde edilen veriler

	Tedarikçi 1	Tedarikçi 2	Tedarikçi 3	Tedarikçi 4
Yıllık Satın Alınan Adetler	73.784	11.216	36.000	84.000

Tablo 5.3 ve Tablo 5.4 'te yer alan mevcut duruma ve geliştirilen çözüme ait veriler amaç fonksiyonlarında yerlerine yazılarak Tablo 5.5 'te yer alan sonuçlara ulaşılmaktadır. Tabloda analiz açısından kolaylık sağlaması için hedeflerin öncelik sıraları ve hedef türleri de belirtilmiştir.

Tablo 5.5 : Mevcut durum ve optimum çözümün kıyaslanması

Hedefler	Öncelik Sırası	Hedef Türü	Mevcut Durum	Optimum Çözüm
Ret miktarı (adet/yıl)	1.	Min.	4.941	3.791
Geç teslimatlar (adet/yıl)	1.	Min.	3.321	3.083
Satın alma maliyeti (€)	2.	Min.	7.137.649	7.077.459
Stok miktarı (gün)	3.	Min.	2,36	2,69
Esneklik oranı (yüzde)	4.	Maks.	10,60%	11,15%

Tablo 5.5 'e göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi yorumlanabilmektedir;

- Birinci öncelikli hedeflerden biri olan ret miktarlarının minimize edilmesinde, mevcut durumda yıllık 4.941 adet ret malzemenin olacağı öngörülür iken, geliştirilen model sonucunda yıllık 3.791 adet ret malzeme olması beklenmektedir. Hedefimiz minimizasyon olduğu için bu hedefte iyileşme sağlanmıştır.
- Birinci önceliğe sahip diğer hedefimiz olan geç teslimatların minimize edilmesinde, mevcut duruma göre yıllık 3.321 adet geç teslim edilen malzeme olacağı öngörülür iken, geliştirilen model sonucunda yıllık 3.083 adet geç teslim edilen malzeme olması beklenmektedir. Hedef türü minimizasyon olan bu hedefte de iyileşme sağlanmıştır.
- İkinci öncelikli hedefimiz satın alma maliyetlerinin minimize edilmesi olup, mevcut duruma göre yıllık satın alma maliyeti 7.137.649 € olarak hesaplanmış iken,

geliştirilen model sonucunda bu değerin 7.077.459 € olması beklenmektedir. Hedef türü minimizasyon olan bu hedefte de iyileşme sağlanmıştır.

- Üçüncü öncelikli hedefimiz olan stok miktarı gün bazında değerlendirilmiştir. Bu değerler, amaç fonksiyonunda elde edilen stok adetlerinin toplam yıllık talebe bölünmesi ile hesaplanmıştır. Mevcut duruma göre 2,36 günlük stok ile çalışılırken, geliştirilen model sonucunda stok seviyesinin 2,69 güne çıkması beklenmektedir. Hedef türü minimizasyon olduğu için bu hedefte mevcut durum daha avantajlıdır ancak öncelikli olan diğer 3 hedefte iyileşme sağlandığı için bu durum tolere edilebilecektir.

- Son önceliğe sahip esneklik oranının maksimize edilmesi hedefinde mevcut durumda %10,60 gibi bir esneklik oranı ile çalışılırken, geliştirilen model sonucunda esneklik oranının %11,15 olması beklenmektedir. Bu oranlar hesaplanırken amaç fonksiyonunda elde edilen sonuçlar toplam yıllık talebe bölünmüştür. Hedef türü maksimizasyon olduğu için bu hedefte iyileşme sağlanmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hedef programlama modelinde, amaç fonksiyonları, bunların en iyi erişim değerleri ve kısıtlayıcılar deterministik olarak ifade edilir. Hedeflere ilişkin en iyi erişim değerlerinin, hedeflerin tercih öncelikli sıralamasının ve ağırlıkların kesin olarak belirlenmesi karar vericiler için aslında oldukça zor bir iştir. Erişim değerleri, hedeflerin tercih öncelikli sıralaması ve göreceli ağırlıklar çoğu kez karar vericinin subjektif yargılarına dayanarak belirlenir. Hedef programlama modelindeki bu subjektiflik olgusu, bulanık küme teorisi ile ele alınabilir. Bulanık küme teorisi hedef programlama modeline uygulandığı zaman, hedeflerin erişim düzeyleri ve/veya tercih öncelikleri kesin olmayan ifadelerle (bulanık olarak) nitelenebilir. Hedeflere ilişkin bu tür tanımlamalar, bulanık kümelerde üyelik fonksiyonları ile ele alınır.

Bulanık hedef programlama problemlerinde karar vericinin doyurucu bulduğu bir çözümün belirlenmesine odaklanılır. Bu bağlamda, bulanık hedeflere ilişkin en iyi erişim düzeyleri, erişim düzeylerine tanınan tolerans miktarları, hedefler arasındaki öncelik yapısı ve hedeflere ilişkin göreceli ağırlıklar karar verici tarafından belirlenebilir.

Çalışmada Ford Otosan fabrikasında kullanılan bir lastik referansının yıllık ihtiyacını karşılayabilmek adına dört farklı tedarikçi değerlendirilmiş ve toplam talep tedarikçileri arasında paylaştırılmıştır. Değerlendirme ve seçim süreci için bir bulanık hedef programlama modeli kurulmuştur. Modelde öncelik sıraları kesin olarak bilinen bulanık hedefler ve kesin olarak bilinen yani bulanık olmayan kısıtlar yer almaktadır. Bulanık hedefler için problemin başlangıcında en iyi erişim değerleri ve toleranslar bildirilmemiştir. Hedeflerin en iyi erişim düzeylerinin ve kabul edilen maksimum toleransların belirlenebilmesi amacıyla LINGO programı kullanılarak her bir amaç için optimum çözümler tespit edilmiştir. Her bir amaç için elde edilen çözümlere göre diğer amaçların da değerleri hesaplanarak kombinasyonlar belirlenmiştir. Amaçların maksimizasyon ya da minimizasyon oluşlarına göre, her bir

amaç için elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak en iyi erişim düzeyleri ve toleranslara ulaşılmıştır.

Bulanık hedef programlama modeline ilişkin çözüm yaklaşımlarından hangisinin seçileceği hedeflerdeki bulanıklığın nerede oluştuğuna, hedefler arasında tercih öncelikli bir yapının olup olmamasına, bulanık hedeflerin nitelendiği üyelik fonksiyonlarına ve karar vericinin problemin çözüm sürecindeki rolüne bağlıdır.

Yapılan çalışmada kurulan model birbiri ile çelişen birden fazla hedef olması açısından bir hedef programlama modelidir. Ancak hedeflerin en iyi erişim düzeyleri ve izin verilen toleranslar problemin başında belirtilmediği ve sadece mümkün olduğunca yüksek veya mümkün olduğunca düşük gibi ifade edildiği için bulanık hedef programlamanın yanı sıra bulanık doğrusal programlama modeline de benzerlik göstermektedir. Her bir hedefin ayrı ayrı çözülmesi sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek her bir hedefin en iyi erişim düzeyi ve toleransları belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra model Narasimhan yaklaşımı ile çözülebilir hale gelmiştir. Narasimhan, Zimmermann 'ın bulanık doğrusal programlama modeli için geliştirmiş olduğu çözüm yaklaşımından esinlenmiş ve bulanık hedef programlama modelinin çözümünü bulanık karar kümesi kavramına dayanarak belirlemeye çalışmıştır. Bu yaklaşım, bulanık karar kümesinin en yüksek dereceli elemanının belirlenmesini amaçlamaktadır. Ancak Narasimhan yaklaşımında tüm hedeflerin aynı öneme sahip olduğu kabul edilmektedir, bizim problemimizde hedefler arasında tercih öncelikleri bulunduğu için amaç fonksiyonunda hedeflerin önem sırasına göre λ değişkenlerinin katsayıları oldukça farklı büyüklüklerde belirlenmiştir. Bu işlem ile çözüm yaklaşımı Tiwari, Dharmar ve Rao 'nun toplamsal model yaklaşımına da benzerlik göstermektedir.

Oluşturulan model LINGO programı ile çözdürülmüş ve en uygun çözüm bulunmuştur. Elde edilen veriler ile mevcut durumdaki veriler kıyaslanmış ve üçüncü tercih önceliğinde bulunan hedef haricindeki tüm hedeflerde mevcut duruma göre iyileşme sağlanmıştır. Tercih önceliği bulunan hedeflerde sağlanan iyileşme ile mevcut durumun daha avantajlı olduğu tek hedef tolere edilebilecektir.

Sonuç olarak, bulanıklık altında en iyi karar vermeyi sağlayan modellerden birisi olan bulanık hedef programlama modeli, sistemin çıktılarının en iyilenmesinin yanında en iyi çıktıyı veren girdi bileşiminin belirlenmesine ve optimal bir sistemin tasarlanmasına yardımcı olabilmektedir.

Gelecekte bu konu ile ilgili yapılacak çalışmalarda, hedeflere ilişkin erişim düzeyleri ve toleransların karar verici tarafından belirlenmesi ile daha farklı sonuçların elde edilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca değerlendirme kriterleri, değerlendirilen tedarikçi sayısı, incelenen referans çeşidi arttırılarak da çalışmalar yapılması mümkündür. Yapılan çalışmada sadece hedeflerin erişim düzeyleri bulanık olarak incelenmiştir, hedeflerin katsayılarının veya kısıtların da bulanık olduğu durumların incelenmesi literatüre farklı uygulamalar kazandırılması açısından önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Amid, A., Ghodsypour, S. H. and O'Brien, C., "Fuzzy Multi-Objective Linear Model for Supplier Selection in a Supply Chain", *International Journal of Production Economics*, 104, 394-407, (2006).

Demirdöğen, O. ve Küçük, O., "Malzeme Akışının Etkinliğinde Tedarik Zinciri Yönetiminin Önemi", *8. Türkiye Ekonometri ve İstatistik Kongresi*, İnönü Üniversitesi, Malatya, (2007).

Elmas, Ç., "Bulanık Mantık Denetleyiciler", *Seçkin Yayıncılık*, 23-75, (2003).

El-Wahed, W. F. A. and Lee, S. M., "Interactive Fuzzy Goal Programming for Multi-Objective Transportation Problems", *Omega The International Journal of Management Science*, 34, 158-166, (2006).

Faez, F., Ghodsypour, S. H. and O'Brien, C., "Vendor Selection and Order Allocation Using an Integrated Fuzzy Case-Based Reasoning and Mathematical Programming Model", *International Journal of Production Economics*, 1-14, (2006).

Güneş, M. ve Umarusman, N., "Bir Karar Destek Aracı Bulanık Hedef Programlama ve Yerel Yönetim Uygulaması", *Review of Social, Economic & Business Studies*, Vol-2, 242-255, (2003).

Kağnıcıoğlu, C. H., "Hedef Programlama ve Bulanık Hedef Programlama Arasındaki İlişki", *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7/2, 17-38, (2006).

Karaman, E. ve Kale, S., Bulanık Hedef Programlama Yöntemi ile Süre-Maliyet-Kalite Eniyilemesi [online], <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/1552.pdf>, (Ziyaret Tarihi : 20.04.2008).

Karpak, B., Mumcu, E. and Kasuganti, R. R., "Purchasing Materials in the Supply Chain : Managing a Multi-Objective Task", *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7, 209-216, (2001).

Kıyak, E. ve Kahvecioğlu, A., "Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması", *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1/2, 63-72, (2003).

Kumar, M., Vrat, P. and Shankar, R., "A Fuzzy Goal Programming Approach for Vendor Selection Problem in a Supply Chain", *Computers & Industrial Engineering*, 46, 69-85, (2004).

Kumar, M., Vrat, P. and Shankar, R., “A Fuzzy Programming Approach for Vendor Selection Problem in a Supply Chain”, *International Journal of Production Economics*, 101, 273-285, (2006).

Mızrak, P., “Supplier Selection Problem – An Application of Goal Programming in a Firm”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 1-30, (2003).

Özfirat, P. M., Araz, C. and Özkarahan, İ., “Application of Fuzzy Goal Programming Approach to Supplier Selection Problem in Textile Industry”, *35th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, İstanbul Technical University Department of Industrial Engineering, İstanbul, 1469-1474, (2005).

Özkan, M. M., “Bulanık Hedef Programlama Modeli ve Bir Uygulama Denemesi”, *Review of Social, Economic & Business Studies*, Vol-2, 265-301, (2003b).

Özkan, M. M., “Bulanık Hedef Programlama”, *Ekin Kitapevi*, 1-183, (2003a).

Ross, T. J., “Fuzzy Logic with Engineering Applications”, *John Wiley and Sons*, 1-44, (1995).

Ruan, D., “Fuzzy Logic Foundations and Industrial Applications”, *Kluwer Academic Publishers*, (1996).

Selim, H., Araz, C. and Özkarahan, İ., “An Integrated Multi-Objective Supply Chain Model in a Fuzzy Environment”, *Makine Mühendisliği Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 15/3, 2-16, (2004).

Şen, E., “KOBİ’lerin Uluslararası Rekabet Güçlerini Arttırmada Tedarik Zinciri Yönetiminin Önemi, Gözden Geçirilmiş 2. Baskı”, *T.C. Başbakanlık DTM İGEME*, (2006).

Şen, Z., “Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri”, İkinci Baskı, *Su Vakfı Yayınları*, 7-98, (2004).

Tamiz, M., “Multi-Objective Programming and Goal Programming”, *Springer*, 432, (1996).

Terzi, Ü., “Taguchi Yöntemi ve Bulanık Mantık Kullanarak Çok Yanıtlı Kalite Karakteristiklerinin Eşzamanlı En İyilenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 1-50, (2004).

Zimmermann, H. J., “Fuzzy Sets Theory and Its Applications”, *Kluwer Academic Publishers*, (1996).

EK – 1 : LİNGO PROGRAMI İLE BULANIK OLMAYAN MODELİN ÇÖZÜMÜ

```

LINGO Model - tedsec1

!min = 0.04 * Xp + 0 * Xh + 0 * Xc + 0.01 * Xg; ! Red oranı;

!min = 0.01 * Xp + 0.07 * Xh + 0.02 * Xc + 0.01 * Xg; ! Geç teslimat oranı;

!min = 34.8 * Xp + 34.98 * Xh + 32.94 * Xc + 34.9 * Xg; ! Satın alma maliyeti;

!min = 2 * Xp + 5 * Xh + 5 * Xc + 2 * Xg; ! Stok miktarı;

!max = 0.10 * Xp + 0.15 * Xh + 0.15 * Xc + 0.10 * Xg; ! Esneklik oranı;

Xp <= 9500 * 12;
Xh <= 2670 * 12;
Xc <= 3000 * 12;
Xg <= 7000 * 12;

Xp + Xh + Xc + Xg >= 205000;

@gin(Xp);
@gin(Xh);
@gin(Xc);
@gin(Xg);

```

Ret oranının minimize edilmesi amacı için elde edilen çözüm;

Global optimal solution found.

Objective value:	2958.400
Objective bound:	2958.400
Infeasibilities:	0.000000
Extended solver steps:	0
Total solver iterations:	0

Variable	Value	Reduced Cost
XP	52960.00	0.4000000E-01
XH	32040.00	0.000000
XC	36000.00	0.000000
XG	84000.00	0.1000000E-01

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	2958.400	-1.000000
2	61040.00	0.000000
3	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000

Geç teslimat oranının minimize edilmesi amacı için elde edilen çözüm;

```

Global optimal solution found.
Objective value:                2120.000
Objective bound:                2120.000
Infeasibilities:                0.000000
Extended solver steps:         0
Total solver iterations:        0

```

Variable	Value	Reduced Cost
XP	114000.0	0.1000000E-01
XH	0.000000	0.7000000E-01
XC	7000.000	0.2000000E-01
XG	84000.00	0.1000000E-01

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	2120.000	-1.000000
2	0.000000	0.000000
3	32040.00	0.000000
4	29000.00	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000

Satın alma maliyetinin minimize edilmesi amacı için elde edilen çözüm;

```

Global optimal solution found.
Objective value:                7072540.
Objective bound:                7072540.
Infeasibilities:                0.000000
Extended solver steps:         0
Total solver iterations:        0

```

Variable	Value	Reduced Cost
XP	114000.0	34.80000
XH	0.000000	34.98000
XC	36000.00	32.94000
XG	55000.00	34.90000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	7072540.	-1.000000
2	0.000000	0.000000
3	32040.00	0.000000
4	0.000000	0.000000
5	29000.00	0.000000
6	0.000000	0.000000

Stok miktarının minimize edilmesi amacı için elde edilen çözüm;

```

Global optimal solution found.
Objective value:                431000.0
Objective bound:                431000.0
Infeasibilities:                0.000000
Extended solver steps:          0
Total solver iterations:        0
    
```

Variable	Value	Reduced Cost
XP	114000.0	2.000000
XH	0.000000	5.000000
XC	7000.000	5.000000
XG	84000.00	2.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	431000.0	-1.000000
2	0.000000	0.000000
3	32040.00	0.000000
4	29000.00	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000

Esneklik oranının maksimize edilmesi amacı için elde edilen çözüm;

```

Global optimal solution found.
Objective value:                30006.00
Objective bound:                30006.00
Infeasibilities:                0.000000
Extended solver steps:          0
Total solver iterations:        0
    
```

Variable	Value	Reduced Cost
XP	114000.0	-0.1000000
XH	32040.00	-0.1500000
XC	36000.00	-0.1500000
XG	84000.00	-0.1000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	30006.00	1.000000
2	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	61040.00	0.000000

EK - 2 : LİNGO PROGRAMI İLE BULANIK MODELİN ÇÖZÜMÜ

```

LINGO Model - tedsec1-bulanik

!min = 0.04 * Xp + 0 * Xh + 0 * Xc + 0.01 * Xg; ! Red oranı;

!min = 0.01 * Xp + 0.07 * Xh + 0.02 * Xc + 0.01 * Xg; ! Geç teslimat oranı;

!min = 34.8 * Xp + 34.98 * Xh + 32.94 * Xc + 34.9 * Xg; ! Satın alma maliyeti;

!min = 2 * Xp + 5 * Xh + 5 * Xc + 2 * Xg; ! Stok miktarı;

!max = 0.10 * Xp + 0.15 * Xh + 0.15 * Xc + 0.10 * Xg; ! Esneklik oranı;

max = 10000000*lambda1 + 10000*lambda2 + 10 * lambda3 + 0.001 * lambda4 ;

-(0.04 * Xp + 0 * Xh + 0 * Xc + 0.01 * Xg) + 5400 - 2441.6 * lambda1 >= 0;
-(0.01 * Xp + 0.07 * Xh + 0.02 * Xc + 0.01 * Xg) + 4942.8 - 2822.8 * lambda1 >= 0;
-(34.8 * Xp + 34.98 * Xh + 32.94 * Xc + 34.9 * Xg) + 9205399.2 - 2132859.2 * lambda2 >= 0;
-(2 * Xp + 5 * Xh + 5 * Xc + 2 * Xg) + 736200 - 305200 * lambda3 >= 0;
(0.10 * Xp + 0.15 * Xh + 0.15 * Xc + 0.10 * Xg) - 20850 - 9156*lambda4 >=0;

Xp <= 9500 * 12;
Xh <= 2670 * 12;
Xc <= 3000 * 12;
Xg <= 7000 * 12;

Xp + Xh + Xc + Xg >= 205000;

@gin(Xp); !gin değişkenlerin tamsayı olarak çözümlenmesini sağlamaktadır;
@gin(Xh);
@gin(Xc);
@gin(Xg);

```

Global optimal solution found.

Objective value: 6598450.
Objective bound: 6598454.
Infeasibilities: 0.4656613E-09
Extended solver steps: 0
Total solver iterations: 13

Variable	Value	Reduced Cost
LAMBDA1	0.6588467	0.000000
LAMBDA2	0.9976938	0.000000
LAMBDA3	0.6046920	0.000000
LAMBDA4	0.2196156	0.000000
XP	73784.00	163.9902
XH	11216.00	0.1641690
XC	36000.00	0.1546044
XG	84000.00	41.12045

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	6598450.	1.000000
2	0.000000	-4095.675
3	0.4765400E-01	0.000000
4	0.000000	-0.4688542E-02
5	0.000000	-0.3276540E-04
6	0.000000	-0.1092180E-06
7	40216.00	0.000000
8	20824.00	0.000000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Frankfurt / ALMANYA 'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kocaeli 'de, lise öğrenimini Antalya 'da tamamladı. 2001 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünden 2005 yılında Endüstri Mühendisliği Bölümü ve Makine Fakültesi ikincisi olarak mezun oldu. 2005-2008 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı 'nda yüksek lisansını tamamladı. 2005-2006 yılları arasında Pirelli Çelikord A.Ş. 'de kalite sistem mühendisi olarak çalışmış olup, 2006 yılından beri Ford Otosan A.Ş. 'de ikmal mühendisi olarak çalışmaktadır.