

**BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ
VE UYGULAMA**

Nilsen KARAKAŞOĞLU

**Haziran 2008
DENİZLİ**

**BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ
VE UYGULAMA**

**Pamukkale Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İşletme Anabilim Dalı
Sayısal Yöntemler Bilim Dalı**

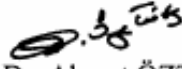
Nilsen KARAKAŞOĞLU

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İrfan ERTUĞRUL

**Haziran 2008
DENİZLİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

İşletme Anabilim Dalı, Sayısal Yöntemler Bilim Dalı öğrencisi Nilsen KARAKAŞOĞLU tarafından Yrd. Doç. Dr. İrfan ERTUĞRUL yönetiminde hazırlanan "Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama" başlıklı tez aşağıdaki jüri üyeleri tarafından 02/06/2008 tarihinde yapılan tez savunma sınavında başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Ahmet ÖZTÜRK

Jüri Başkanı



Yrd. Doç. Dr. İrfan ERTUĞRUL

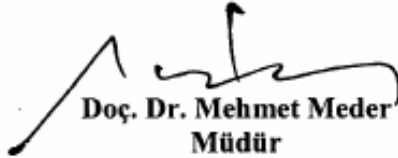
Jüri Üyesi (Danışman)



Yrd. Doç. Dr. Özcan MUTLU

Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 02/07/2008 tarih ve .10/01.. sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Doç. Dr. Mehmet Meder
Müdür

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırılmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza

:



Öğrenci Adı Soyadı :

Nilsen KARAKAŞOĞLU

TEŞEKKÜR

Akademik hayata başladığım günden beri fikirleri ile bana ışık tutan, üzerimde sonsuz emeği olan ve bu tez çalışmamın tamamlanmasında katkı sağlayan çok değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İrfan ERTUĞRUL'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca, tanıdığım ilk günden beri pozitif enerjisi ile bana destek olan İngilizce Okutmanı Hülya ERTUĞRUL' a çok teşekkür ederim. Okul hayatımda beni yalnız bırakmayan Araş. Gör. Esra AYTAÇ ve Araş. Gör. Ayşegül TUŞ IŞIK'a da teşekkürü bir borç bilirim. Son olarak, beni bugünlere getiren ve hep yanımda olan aileme de sonsuz teşekkürler.

ÖZET

BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ VE UYGULAMA

Karakaşoğlu, Nilsen
Yüksek Lisans Tezi, İşletme ABD
Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. İrfan ERTUĞRUL

Haziran 2008, 247 Sayfa

Her gün daha da artan rekabet ortamında işletmeler varlıklarını sürdürebilmek için, en iyi kalitedeki ürünü en uygun fiyata ve en kısa sürede müşterilerine sunmak durumundadırlar. Bu durumda ürünlerin müşterilere zamanında teslim edilebilmesi için güvenilir nakliye firmalarına ihtiyaç vardır. Özellikle işletmelerin hizmet kalitesinin geliştirilmesi ve müşteri memnuniyetinin sağlanması gerekliliği doğru nakliye firması ile çalışmayı zorunlu kılmaktadır.

İşletmeler doğru nakliye firmasını belirlemek için birbiri ile çelişen kriterler altında çeşitli alternatifler arasından seçim yapmak durumundadırlar. Klasik karar verme yöntemleri, belirsiz ve kesin olmayan durumları ele almada yetersiz kaldığından bu gibi durumlarda bulanık karar verme yöntemlerini kullanmak uygun olmaktadır. Bu tez çalışmasında, işletmelerin karar problemlerinde karar vericiler tarafından yapılan sözel değerlendirmelerde yer alan belirsizliği ele alabilmek için Bulanık Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri önerilmiştir.

Tez çalışmasının uygulama bölümünde Denizli Makine İmalat Sanayinde faaliyet gösteren bir işletmenin nakliye firması seçim problemine Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ile çözüm aranmıştır. İşletmenin Kazakistan'da faaliyet gösteren müşterisine ürünlerin teslimatı için beş nakliye firması alternatifi arasından belirlenen kriterler altında en uygun nakliye firmasının belirlenmesinde işletmeye yardımcı olunmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Çok Kriterli Karar Verme, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi, Bulanık TOPSIS, Nakliye Firması Seçimi.

ABSTRACT

FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS AND APPLICATION

Karakaşoğlu, Nilsen
M. Sc. Thesis in Business Administration
Supervisor: Assist. Prof. Dr. İrfan ERTUĞRUL

June 2008, 247 Pages

In a competitive environment in order to survive, companies should supply high quality products with compatible prices and smaller lead times to their customers. In such a case, companies need reliable transportation firms to deliver their products to the customers on time. Especially companies have to work with the right transportation firms for improving service quality and providing customer satisfaction.

In order to determine the right transportation firm, companies should make a selection among various alternatives under conflicting criteria. Classical decision making methods are inadequate to deal with ambiguous and imprecise situations so using fuzzy decision making methods will be appropriate. In this thesis, in order to take vague nature of the linguistic assessment into consideration, fuzzy multi criteria decision making methods are proposed.

At the application part of this thesis, transportation firm selection problem of a company which operates in Denizli Machinery Manufacturing Industry is tried to be solved with fuzzy Analytical Hierarchy Process and fuzzy TOPSIS methods. It is aimed to guide the company to select the most suitable transportation firm among five alternatives under the determined criteria for delivering their products to the customer located in Kazakhstan.

Keywords: Fuzzy Logic, Multi-Criteria Decision Making, Fuzzy Analytical Hierarchy Process, Fuzzy TOPSIS, Transportation Firm Selection

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

KARAR TEORİSİ

1.1. KARAR VERME.....	4
1.2. KARAR VERME SÜRECİ	7
1.3. KARAR MODELLERİ.....	9
1.3.1. Belirlilik Altında Karar Verme	9
1.3.2. Belirsizlik Altında Karar Verme	10
1.3.3. Risk Altında Karar Verme	14
1.3.4. Ek Bilgi Altında Karar Verme	16
1.3.5. Rekabet Altında Karar Verme.....	17
1.4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME	17
1.4.1. Ağırlıklı Toplam Yöntemi	21
1.4.2. Ağırlıklı Çarpım Yöntemi	21
1.4.3. Analitik Hiyerarşi Prosesi	22
1.4.4. TOPSIS	33
1.4.5. PROMETHEE.....	37
1.4.6. ELECTRE	49

İKİNCİ BÖLÜM

BULANIK MANTIK

2.1. BULANIK MANTIK KAVRAMI.....	56
2.2. BULANIK MANTIĞIN TARİHÇESİ VE UYGULAMA ALANLARI	61

2.3. BULANIK KÜME TEORİSİ.....	63
2.3.1. Üyelik Fonksiyonu	66
2.3.2. Sözel (Dilsel) Değişkenler	77
2.3.3. Genişleme Prensipleri	83
2.4. BULANIK SAYILAR	85
2.4.1. Üçgen Bulanık Sayılar	86
2.4.2. Yamuk Bulanık Sayılar	88
2.5. BULANIK MANTIK YAKLAŞIMININ AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI	90

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK KARAR TEORİSİ

3.1. BULANIK KARAR VERME.....	92
3.2. BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME	94
3.3. BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ.....	95
3.3.1. Bulanık Ağırlıklı Toplam Yöntemi	95
3.3.2. Bulanık Ağırlıklı Çarpım Yöntemi	96
3.3.3. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi	96
3.3.4. Bulanık TOPSIS	111
3.3.5. Bulanık PROMETHEE	125

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BAHP VE BULANIK TOPSIS YÖNTEMLERİNİN NAKLİYE FİRMASI SEÇİM PROBLEMİNE UYGULANMASI

4.1. UYGULAMA ALANI OLAN İŞLETMENİN TANITIMI.....	131
4.2. NAKLİYE FİRMASI SEÇİM PROBLEMİ	134
4.3. PROBLEMİN BAHP YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMÜ	141
4.4. PROBLEMİN BULANIK TOPSIS YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMÜ	169
SONUÇ VE ÖNERİLER	183
KAYNAKLAR	188
EKLER.....	201
ÖZGEÇMİŞ	247

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Basit hiyerarşi modeli	25
Şekil 1.2. İki boyutlu uzayda pozitif ve negatif ideal çözümler kümesi	34
Şekil 1.3. Tercih fonksiyonu $\mathcal{P}(d)$	39
Şekil 1.4. $H(d)$ fonksiyonu	40
Şekil 1.5. Olağan kriter	40
Şekil 1.6. U şeklinde kriter	41
Şekil 1.7. V şeklinde kriter	41
Şekil 1.8. Seviye kriteri	42
Şekil 1.9. Doğrusal kriter	43
Şekil 1.10. Gaussian kriter	43
Şekil 1.11. Üstünlük sıralamasını gösteren şema.....	46
Şekil 1.12. Çıkış akışlarını gösteren şema.....	46
Şekil 1.13. Giriş akışlarını gösteren şema	47
Şekil 1.14. Altı alternatif için üstünlük ilişkisi diyagramı	50
Şekil 1.15. Kernel.....	51
Şekil 2.1. Bulanık mantık ve uygulamaları için bir sınıflama önerisi.....	63
Şekil 2.2. Klasik ve bulanık kümenin grafik gösterimi.....	65
Şekil 2.3. Boy sözel değişkeni için klasik kümede karakteristik fonksiyon	68
Şekil.2.4. Boy sözel değişkeni için bulanık kümede üyelik fonksiyonu.....	68
Şekil 2.5. Sıcaklık sözel değişkeni için klasik kümede karakteristik fonksiyon.....	69
Şekil 2.6. Sıcaklık sözel değişkeni için bulanık kümede üyelik fonksiyonu	70
Şekil 2.7. Bulanık kümede örtüşüm	70
Şekil 2.8. Hız sözel değişkeni için üyelik fonksiyonları	71
Şekil 2.9. Üçgen üyelik fonksiyonu	71
Şekil 2.10. Yamuk üyelik fonksiyonu	72
Şekil 2.11. Gaussian üyelik fonksiyonu	73
Şekil 2.12. Çan şekilli üyelik fonksiyonu	73
Şekil 2.13. Sigmoidal üyelik fonksiyonu	74
Şekil 2.14. S üyelik fonksiyonu.....	75

Şekil 2.15. Π_1 üyelik fonksiyonu	75
Şekil 2.16. Π_2 üyelik fonksiyonu.....	76
Şekil 2.17. Üyelik fonksiyonunun kısımları.....	77
Şekil 2.18. Yaş sözel değişkeni.....	78
Şekil 2.19. Normal bulanık küme.....	79
Şekil 2.20. Normal altı bulanık küme	79
Şekil 2.21. Dış bükey ve dış bükey olmayan bulanık kümeler	80
Şekil 2.22. α kesimi	82
Şekil 2.23. Genişleme prensibi.....	83
Şekil 2.24. Üçgen bulanık sayı, \tilde{A}	86
Şekil 2.25. Yamuk bulanık sayı, \tilde{A}	88
Şekil 3.1. \tilde{M}_1 ve \tilde{M}_2 sayılarının büyüklüklerinin karşılaştırılması.....	101
Şekil 3.2. Bulanık TOPSIS yönteminde izlenecek adımlar	117
Şekil 3.3. Üçgen bulanık sayı için ağırlık merkezi yöntemi	126
Şekil 3.4. Ağırlık merkezi yöntemi ile iki bulanık sayının karşılaştırılması.....	126
Şekil 3.5. Bulanık PROMETHEE yönteminde doğrusal kriter.....	128
Şekil 4.1. Nakliye firması seçim probleminin hiyerarşik yapısı	140
Şekil 4.2. Kriterlerin değerlendirilmesinde kullanılan sözel değişkenler	169
Şekil 4.3. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan sözel değişkenler ...	170

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. İkili karşılaştırmalar matrisi	27
Tablo 1.2. Karşılaştırma ölçeği	28
Tablo 1.3. Rassal indeks	31
Tablo 1.4. Genel kriterlerin altı çeşidi	44
Tablo 2.1. Bulanık mantığın bazı uygulama alanları	62
Tablo 2.2. Boy sözel değişkeni için klasik kümenin karakteristik fonksiyonu ...	68
Tablo 2.3. Boy sözel değişkeni için bulanık kümenin üyelik fonksiyonu	69
Tablo 3.1. BAHF yöntemlerinin karşılaştırılması	98
Tablo 3.2. Bulanık TOPSIS yöntemlerinin karşılaştırılması	112
Tablo 3.3. Kabul koşulları	116
Tablo 4.1. Değerlendirmede kullanılan sözel değişkenlerin üçgen bulanık sayı cinsinden karşılıkları	141
Tablo 4.2. Üç karar vericinin birleştirilmiş ikili karşılaştırmalar matrisi	143
Tablo 4.3. Kriterlerin ağırlıkları	146
Tablo 4.4. Maliyet kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları	147
Tablo 4.5. Dokümantasyon yeterliliği kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları	150
Tablo 4.6. Zamanında teslimat kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları	152
Tablo 4.7. Firma güvenilirliği kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları	154
Tablo 4.8. Araç filosu kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları	156
Tablo 4.9. Satış sonrası takip kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları	159
Tablo 4.10. Bölgeye hakimiyet kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları	161

Tablo 4.11. Esneklik kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları	163
Tablo 4.12. Servis kalitesi kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları	165
Tablo 4.13. Kriterlere göre önem ağırlıklarının özeti	168
Tablo 4.14. Kriterlerin değerlendirilmesinde kullanılan sözel değişkenler	169
Tablo 4.15. Kriterlerin karar vericiler tarafından değerlendirme sonuçları	170
Tablo 4.16. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan sözel değişkenler	171
Tablo 4.17. Alternatiflerin kriterler altında değerlendirme sonuçları	172
Tablo 4.18. Kriterlerin üç karar verici tarafından değerlendirme sonuçlarının üçgen bulanık sayılar şeklinde ifadesi.....	173
Tablo 4.19. Alternatiflerin üç karar verici tarafından değerlendirme sonuçlarının üçgen bulanık sayılar şeklinde ifadesi.....	174
Tablo 4.20. Kriterlerin önem ağırlıkları	175
Tablo 4.21. Bulanık karar matrisi.....	176
Tablo 4.22. Normalize bulanık karar matrisi	177
Tablo 4.23. Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi	178
Tablo 4.24. Her kritere göre $A_i (i = 1,2,3,4,5)$ ve A^* arasındaki uzaklık	180
Tablo 4.25. Her kritere göre $A_i (i = 1,2,3,4,5)$ ve A^- arasındaki uzaklık	180
Tablo 4.26. d_i^*, d_i^- ve CC_i 'nin hesaplanması.....	181
Tablo 4.27. BAHP yöntemi ile edilen alternatif ağırlıkları.....	182
Tablo 4.28. Bulanık TOPSIS yöntemi ile elde edilen alternatiflerin yakınlık katsayısı değerleri.....	182

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

a_{ij}	i . Alternatifin j . Kriter Bazında Performans Değeri
w_j	j . Kriterin Önem Ağırlığı
λ_{\max}	En Büyük Özdeğer
C_i^*	Pozitif İdeal Çözüme Benzerlik
A^*	Pozitif İdeal Çözüm
A^-	Negatif İdeal Çözüm
S_i^*	Pozitif İdeal Çözüme Uzaklık
S_i^-	Negatif İdeal Çözüme Uzaklık
$\Pi(\alpha, \beta)$	Tercih İndeksi
φ^-	Giriş Akışı
φ^+	Çıkış Akışı
φ	Net Akış
$\mathcal{P}(d)$	Tercih Fonksiyonu
p	Tercih Eşiği
q	Farksızlık Eşiği
$C(p, q)$	Uyum Kümesi
$D(p, q)$	Uyumsuzluk Kümesi
C_p	Net Uyum İndeksi
D_p	Net Uyumsuzluk İndeksi
$\mu(x)$	Üyelik Fonksiyonu
α	Bulanık Kümelerde Kesim Seviyesi
\oplus	Bulanık Toplama İşlemi
\ominus	Bulanık Çıkarma İşlemi
\otimes	Bulanık Çarpma İşlemi
\oslash	Bulanık Bölme İşlemi

$M_{g_i}^m$	<i>i.</i> Amaca Yönelik <i>m.</i> Genişletilmiş Analiz Değeri
S_i	<i>i.</i> Amacın Sentez Değeri
$d_v(.,.)$	İki Bulanık Sayı Arası Uzaklık
CC_i	Yakınlık Katsayısı

Kısaltmalar

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
BAÇY	Bulanık Ağırlıklı Çarpım Yöntemi
BAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
BATY	Bulanık Ağırlıklı Toplam Yöntemi
CI	Tutarlılık İndeksi
CMR	Convention Merchandise Routier
CR	Tutarlılık Oranı
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant la Realité
FNIS	Bulanık Negatif İdeal Çözüm
FPIS	Bulanık Pozitif İdeal Çözüm
IFSA	International Fuzzy Systems Association
NIS	Negatif İdeal Çözüm
PIS	Pozitif İdeal Çözüm
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
RI	Rassal İndeks Oranı
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
VIKOR	Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
WV	Ağırlıklı değer

GİRİŞ

Günümüzün rekabetçi ortamında doğru ve etkin kararlar alabilen işletmeler rakiplerine üstünlük sağlayabilmektedir. İşletmelerde alınan kararların isabet derecesi işletmenin başarısını doğrudan etkileyecektir. Doğru ve tutarlı kararların alınabilmesi doğru bilgilerin etkili ve zamanında değerlendirilmesine bağlıdır. Günümüzde hayat şartlarının zorluğu, çok sayıda alternatifin olması gibi birçok sebepten dolayı özellikle iş hayatında doğru kararlar alabilmek ve bu doğru kararlar ışığında başarılı olmak önemlidir. Karar vericiler karar verme aşamasında genelde içgüdüsel hareket etmektedirler. Endüstride pek çok işlem sürecinde etkin karar verme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kararlar, işletme için personel, tedarikçi, kuruluş yeri, nakliye firması gibi seçimleri kapsamaktadır.

Artan rekabet ortamında işletmeler ayakta kalabilmek ve rakiplerine göre fark yaratabilmek için daha çok çaba sarf etmektedir. Zamanında teslimat, işletmeler için müşteri memnuniyetini sağlamada önemli faktörlerden biridir. Zamanında teslim edilemeyen siparişler, müşterinin güvenini kaybetmeye neden olmanın yanında işletmeye maddi kayıplar da getirmektedir. İşletmelerin birçoğu, siparişlerini anlaşılmaya uygun olarak zamanında müşterilerine teslim edemediklerinden büyük miktarlarda ceza ödemekte ve uzun vadede müşterilerini kaybetmektedir. Bu yüzden doğru nakliye firmasını seçmek işletme açısından kritik öneme sahiptir. İyi bir değerlendirme yapılırsa birden fazla nakliye firması ile çalışılmak zorunda kalınmaz ve bu durum uzun vadeli ortaklıkların gelişmesine yardımcı olur.

Nakliye firması seçim problemi, işletmeler için önemli karar verme problemlerinden biridir. Nakliye firması seçim işleminin zaman alıcı ve zor bir süreç olup deneyim ve bilgi birikimi gerektirmesinden dolayı karar vericiler için birçok soruna neden olmaktadır. Uygun ve etkili bir karara ulaşmak için, karar verici birçok

veriyi analiz etmek ve birçok faktörü dikkate almak zorundadır. İşletmeler en uygun nakliye firmasını belirlerken zaman kaybetmeden karar vermek durumundadırlar. Aksi takdirde ürünler zamanında müşteriye teslim edilemeyecektir. Bu durumda çok kriterli karar verme yöntemleri yardımıyla karara ulaşmak uygun olacaktır.

Karar verme sürecinde eksik ve sayısal olmayan bilgiler olması durumunda bulanık küme teorisi, karar verme sürecine dâhil edilerek daha etkin kararlara ulaşılabilir. Ayrıca karar verme subjektif bir süreçtir ve belirsizlikler içermektedir. Klasik karar verme yöntemleri, belirsiz ve kesin olmayan durumları ele almada yetersiz kaldığından bu gibi durumlarda bulanık karar verme yöntemlerini kullanmak uygun olmaktadır. Bu çalışmada, karar sürecinde yer alan belirsizliği ele alabilmek için nakliye firması seçim problemine Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ile çözüm aranmıştır. Problem ele alınırken insan faktöründen kaynaklanan subjektifliğin üstesinden gelebilmek için tek bir karar verici yerine üç karar verici belirlenmiş ve kriterler ile alternatifler ayrı ayrı bu üç karar verici tarafından değerlendirilmiştir.

Literatür incelendiğinde BAHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinin en çok işletmelerin tedarikçi, makine, kuruluş yeri, yazılım ve işletim sistemi seçimi gibi problemlerine uygulandığı görülmektedir. Bu çalışmada ise bu iki yöntem yardımıyla makine imalat sanayinde faaliyet gösteren bir işletmenin nakliye firması seçim problemine çözüm aranmıştır. Sektörde faaliyet gösteren işletmelere bakıldığında nakliye firması seçiminde geçmiş tecrübelerden ve sezgilerinden yararlandığı görülmektedir. Bu açığı kapatarak nakliye firması seçim problemi için bilimsel bir yöntem önerilmeye çalışılmıştır. Uygulamada BAHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ele alınmasına rağmen, tezin teori bölümünde çok kriterli karar verme yöntemlerine ve bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerine ayrıntılı bir şekilde değinilmiş olup içerdiği bilgiler ve konuların ele alış tarzı bakımından, bu konuda bundan sonra yapılacak olan çalışmalara kaynak oluşturmak amaçlanmıştır.

Tez çalışmasının *ilk bölümünde* karar teorisi ele alınmıştır. Bu bölümde öncelikle karar verme kavramı tanımlanmış ve karar verme süreci açıklanmaya çalışılmıştır. Ayrıca karar modellerinden kısaca bahsedilerek çok kriterli karar verme yöntemlerine değinilmiştir. *İkinci bölümde* bulanık mantık kavramı üzerinde durulmuş,

bulanık mantığın tarihçesi ve uygulama alanlarından bahsedilmiştir. Bu bölüm içinde bulanık küme teorisi ve bulanık sayılar açıklanmıştır. Ayrıca, bulanık mantık kavramının avantaj ve dezavantajlarına değinilmiştir. Çalışmanın *üçüncü bölümünde* bulanık karar teorisi açıklanarak bulanık çok kriterli karar verme ele alınmıştır. Bu bölümde bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ayrıntılı bir şekilde açıklanarak bu yöntemlere ilişkin literatür taramasına yer verilmiştir. *Dördüncü bölümde* ise Denizli Makina İmalat Sanayinde faaliyet gösteren bir işletmede nakliye firması seçim problemi ele alınmıştır. Öncelikle işletme hakkında kısaca bilgi verilmiş daha sonra nakliye firması seçim problemi tanımlanmıştır. Daha sonra probleme BAHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ile çözüm aranmıştır. *Sonuç ve öneriler* kısmında ise çalışma sonunda elde edilen sonuçlar tartışılmış ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

KARAR TEORİSİ

İnsanlar, kişisel gereksinimlerini ve toplumsal ihtiyaçlarını karşılamak için sürekli karar verme kavramı ile karşı karşıya kalırlar. Karar, bir iş ya da sorun hakkında düşünülerek verilen kesin yargıdır. Karar verme ise, genel anlamda, karar vericinin değişik alternatifler arasından, kendi amaçlarına uygun, kendisince önceden belirlenmiş belirli kriterlere göre en uygun alternatifi seçebilmesidir (Karakaya, 2003: 12). Ayrıca, karar verme; bir değişikliği, bir seçimi, bir kanaatin oluşmasını, bazen de belirsiz bir durumu gösteren bir terim olup, kişinin hayata başlamasıyla birlikte ortaya çıkmakta ve yaşamı boyunca değişik şekillerde devam etmektedir (Lorcu, 2000: 1).

Karar teorisi, karar verme işlemini analitik ve sistematik bir yaklaşımla incelemektedir. Karar teorisinde kullanılan matematiksel modeller, işletme yöneticilerine en iyi kararın verilmesinde yardımcı olmaktadır. Karar teorisine göre verilecek iyi bir karar, mantıksal bir esasa dayanan sayısal bir yaklaşımla seçenekler arasından en iyi olanı seçilerek verilmektedir. İyi bir karar, bazı durumlarda hemen beklenen ve istenilen sonuçları veremeyebilmektedir. Fakat bu durum, uzun dönemde kararın iyi olma özelliğini değiştirmez. Karar teorisine göre kötü bir karar, mantıksal bir esasa dayanmayan, sayısal yaklaşım yerine subjektif bir yaklaşımla, bütün seçenekleri göz önüne almadan verilen bir karardır (Tekin, 2004: 18).

1.1. KARAR VERME

Karar verme, insanın yaşamı boyunca hemen hemen her dönemde karşılaştığı bir olgudur. İnsan, hayatı boyunca çeşitli alternatifler arasından seçim yapmak zorunda kalır (Tekeş, 2002: 2). Karar verme, bir amaca ulaşabilmek için eldeki olanak ve koşullara göre mümkün olabilecek çeşitli faaliyetlerden en uygun olanını seçmektir

(Öztürk, 2004: 14). Başka bir tanıma göre karar verme, hedef ve amaçların gerçekleştirilmesi yönünde alternatif eylem planlarından birini seçme sürecidir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001: 84). Bu süreç içinde mevcut tüm alternatifler, faaliyetler, seçenekler, olasılıklar, stratejiler içinden amaç veya amaçlara uygun ve mümkün bir veya bir kaç seçilir (Tekeş, 2002: 3).

Bir problemin karar problemi olabilmesi için şu şartları birlikte taşıması gerekmektedir:

- Birden çok davranış yolunun bulunması,
- Her bir davranışın sonuçlarının birbirinden farklı olması,
- Gerçekleştirilmek istenen birtakım amaçların olması (Tekeş, 2002: 4).

Tek bir davranış yolunun bulunması durumunda, karar vermeden söz edilemez. Çünkü böyle bir durumda çözüm yoktur ve mutlaka uygulanacaktır. Tüm bu koşulların var olması durumunda karar verici, problemin yapısını bir model biçiminde ortaya koyabilir (Tütek ve Gümüšoğlu, 2000: 65).

İnsanlar günlük yaşantılarında ne zaman kalkacaklarına, ne yiyeceklerine, giyeceklerine ve ne zaman uyuyacaklarına dair karar vermek zorundadırlar. Bunun yanında işletme yöneticileri de, karşılaştıkları problemleri çözümlenmek ve amaçları gerçekleştirmek için sürekli olarak karar vermek durumundadır (Tütek ve Gümüšoğlu, 2000: 65). Yöneticiler, sadece kişisel yaşantıları üzerine karar vermezler. Onlar aynı zamanda çalıştıkları kuruluşlarla ilgili kararlar da verirler (Öztürk, 2004: 13). Zamanlarının büyük bir bölümünü; işletmenin kurulması üretim, pazarlama, finansman, işletmenin organizasyonu ve yönetimi gibi başlıca konularda karar verme eylemine ayırırlar (Doğan, 1985: 1). Günümüz piyasalarında rekabet şartlarındaki artışa bağlı olarak bu piyasalarda faaliyet gösteren işletmelerin başarısı, büyük ölçüde yöneticilerin alacakları kararların isabet derecesine bağlı olacaktır. İşletmelerin ellerindeki sınırlı kaynakların verimli bir şekilde kullanılabilmesi, alternatif çözüm yolları arasında iyi bir seçim yapılarak alınacak olan kararların optimal olmasına bağlıdır (Tekin, 2004: 18).

İyi bir karar; mantığa dayanan, var olan tüm verileri ve olası alternatifleri dikkate alan ve nicel yaklaşıma başvurarak elde edilen karardır. Bazen iyi bir karar ile beklenmedik veya uygun olmayan bir sonuç elde edilebilir. Fakat bu o kararın iyi olma özelliğini değiştirmez. Öte yandan, kötü bir karar ise mantığa dayanmayan, mevcut

bilgileri kullanmayan, tüm alternatifleri dikkate almayan ve sayısal tekniklere başvurmadan alınan karardır. Eğer kötü bir karar alınmasına rağmen şans faktörü sayesinde iyi bir sonuca ulaşıldıysa, bu durum kişinin kötü bir karar verdiği gerçeğini değiştirmez (Render ve Stair, 1991: 154).

Karar verme sorunu, bazen oldukça basit olmasına karşılık, bazen de oldukça karmaşık ve içinden çıkılmaz bir durum arz etmektedir. Aralarında seçim ve tercih yapılacak olan alternatiflerin, karar verici tarafından göz önüne alınacak amaçlar çerçevesinde değerlendirilmesi sonucunda oluşan olgu, optimum seçeneğin belirlenmesidir. Çözüm, amaçların kesişim noktası olan seçeneğin saptanmasıdır (Karakaya, 2003: 8).

Matematiksel modeller, yöneticilere karar verme sürecinde destek sağlamakla birlikte nihai kararın verilmesi, kolay bir süreç değildir. Bunun birinci nedeni, verilen kararın alınacağı geleceğin sonuçlarının belirsizlik içermesidir. Modele dâhil edilemeyen faktörler ve modele dâhil edilen faktörlerdeki beklenmedik değişiklikler modeli gelecek için geçersiz kılabilir. İkinci nedeni ise karar sürecinde ulaşılmaya çalışılan ve birbiri ile çelişen birden fazla hedefin olmasıdır (Ulucan, 2004: 305).

İncelenen konunun kapsamına, basit veya karmaşık oluşuna ve önem derecesine göre, karar verme eylemleri farklılık gösterir. Fakat temelde karar verme eylemleri şu ortak özellikleri taşır (Doğan, 1985: 2):

- Tüm kararlar, çeşitli alternatifler veya seçenekler arasından seçim yapmayı gerektirir.
- Her karar verme eylemi, bir amaca yöneliktir ve kararlar genellikle amacın gerçekleşmesi için verilir.
- Karar verme eylemi, bir zaman sürecini gerektirir. Çünkü karar verme işlemi çeşitli zamanlarda gerçekleşen bir süreçtir.
- Kararlar geleceğe yöneliktir ve geleceği tahminlemeye dayanırlar.
- Karar verici, geleceğin belirsizliği nedeniyle şimdiden hedeflenen amacın gerçekleşmemesi olasılığını göz önünde bulundurmak veya bazı riskleri üstlenmek durumundadır.

1.2. KARAR VERME SÜRECİ

Karar, bir anda ortaya çıkan bir olgu değil; çeşitli aşamalardan geçerek oluşan bir süreçtir. Genel anlamda süreç, belirli bir sona ulaştıran bir dizi eylem ve çalışmaların tümüdür. Bundan dolayı, etkin bir karara ulaşmak için karar verme sürecinin hangi aşamalardan oluştuğunu bilmek gerekmektedir (Karakaya, 2003: 9). Karar verme, karar vericinin değişik alternatifler ile karşılaşması durumunda bu alternatifler arasından kendi amaçlarına en uygun olanını seçme işlemi iken; karar süreci ise bu işlemlerin sırasıyla yapılmasını içerir (Tekin, 2004: 20). Karar verme sürecinin aşamaları şu şekilde sıralanabilir:

- Problemin farkına varma
- Problemin belirlenmesi ve tanımlanması
- Alternatiflerin belirlenmesi
- Alternatiflerin değerlendirilmesi
- En iyi alternatifin belirlenmesi
- Kararın değerlendirilmesi

Yukarıda belirtilen karar verme süreci aşamalarında bir standart söz konusu değildir. Karşılaşılan karar probleminin yapısına, boyutuna ve karar ortamına göre bu aşamalardan bir veya birkaçı ihmal edilebilir.

Bir dizi zihinsel faaliyeti içeren karar verme süreci, karar vermek için kullanılan yöntemlerin eylem düzeni ve izlenen yolu ifade ettiği için karmaşık yapıdaki karar problemleri sistematik bir şekilde irdelenmekte ve en iyi karara ulaşabilmek için uygun yöntemler kullanılarak karar kalitesi arttırılmaktadır (Tekeş, 2002: 4).

Karar verme sürecinde izlenebilecek yaklaşımlardan biri olan kalitatif yaklaşım, temel bilgi ve deneyime dayalı olarak sezgi, yargı ve deneme aşamalarından oluşur. Karar vericinin sezgi gücüne bağlı olduğundan bir bilim olmaktan çok sanat özelliği taşır. Eğer karar verici, geçmişte benzer bir problemle karşılaşmışsa ya da problemi basit nitelikte ise kalitatif yaklaşımın izlenmesi yerinde olacaktır. Fakat karar vericinin benzer durumlara ilişkin deneyimleri yoksa ve karmaşık bir problemle karşılaşmışsa sezgi ve deneyimler yeterli olmayacaktır. Bu durumda kantitatif yaklaşıma başvurmak yerinde bir durum olacaktır. Kantitatif yaklaşımda olaylar tanımlanabilir ve ölçülebilir

niteliktedir. Ayrıca bu yaklaşım, sayısal olgu ve verilerden hareketle çalışma konusu sistem ve probleme ilişkin modeller kurulmasını içerir. Bu modeller, genellikle problemin amaçlarını, kısıtlarını ve amaçlar arası ilişkileri ortaya koyar. Modellerin analizi yoluyla da problemin en iyi çözümüne ulaşılmaya çalışılır. Kalitatif karar verme, karar vericilerin sezgisel becerilerine bağlı olmasına karşılık, kantitatif karar verme yaklaşımında yöneylem araştırması kapsamındaki yaklaşım ve tekniklerin bilinmesi gerekir (Karakaya, 2003: 10).

Genel anlamda, bir karar sürecinde ele alınan karar problemi aşağıda belirtilen öğeleri içerir (Doğan, 1985: 6):

- Karar verici: Belirli bir konuda karar verme durumunda olan kişi veya kişilerdir.
- Amaç: Karar vericinin ulaşmak istediği hedef veya durumdur.
- Karar kriteri (ölçütü): Karar vericinin seçim yaparken göz önünde bulundurduğu ölçüt veya değer yargısıdır.
- Alternatifler (seçenekler): Karar vericinin amacına ulaşması için kontrolünde olan ve izlemesi gereken değişik hareket tarzları veya stratejilerdir.
- Olaylar (karar ortamı): Karar vericinin kontrolü dışında olan fakat alternatifler arasında seçimini etkileyen faktörlerdir. Diğer bir deyişle, karar vericinin içinde bulunduğu karar ortamıdır.
- Sonuçlar (ödemeler): Her bir alternatif ve olay bileşimi sonucu ortaya çıkan sonuç veya değerdir.

Karar verme sürecini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler arasında; doğa koşulları, karar verici, ulaşılacak istenen amaçlar, seçenekler, seçeneklerin sonuçları ve seçenekler arasında seçim yapılması sayılabilmektedir (Tekin, 2004: 33). Karar vermede en önemli etkenlerden biri de karar vericinin özellikleridir. Karar veren kişi, bütün tarafsızlıkların yanında psikolojik ve biyolojik özelliklerin etkisi altındadır. Bu kişinin, aktif bir kişiliğe sahip olması gerekir. Böyle olduğu sürece işletmelerin büyümesini sağlayan kararlar verilebilir.

Karar verme sürecinde etkin olan karar verici olsa da bu süreçten dış çevrede yer alan diğer insanlar da etkilenir. Herhangi bir karar probleminin çözümü, aşağıda belirtilen kişilerin karar verme sürecine katılmalarını gerektirir:

- Karar vericiler: Alınacak karar üzerinde kontrolü olan kişi veya kişilerdir.
- Çözüm kullanıcı: Karar verici tarafından oluşturulan çözümü kullanan ve/veya kararı uygulayan fakat çözüm üzerinde herhangi bir değişiklik yetkisi olmayan kişi veya kişilerdir.
- Karardan etkilenenler: Çözümün veya kararın sonuçlarından faydalanan ya da zarar gören kişilerdir.
- Karar analisti / Problem çözücü: Problemi analiz eden ve karar verici için çözüm geliştiren ya da karar vericiye çözüm sürecinde yardımcı olan analisttir (Tekeş, 2002: 8).

1.3. KARAR MODELLERİ

Karar verme eylemi, kararı etkileyen faktörlerin gerçekleşme olasılıklarından, seçeneklerin sonuçlarının tam olarak bilinip bilinmemesinden ve hangi seçeneğin en iyi olduğunun belirlenmesi için elde yeterli bilginin olup olmamasından önemli ölçüde etkilenir. Bazı olaylar, kontrol edilemeyen türden olabilecekleri gibi bazıları da kısmen rassallık özelliği taşır. Değişkenlerin niteliklerine, seçeneklerin ve sonuçların ortaya çıkış biçimlerine bağlı olarak kullanılacak karar verme modelleri değişiklik gösterecektir (Sezen, 2004: 4). Kısacası, karar vermede kullanılan modeller arasındaki farklılık karar vericinin bilgi derecesinden kaynaklanır. Bu anlamda, karar verme modelleri şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Belirlilik altında karar verme
- Belirsizlik altında karar verme
- Risk altında karar verme
- Kısmi bilgi altında karar verme
- Rekabet altında karar verme

1.3.1. Belirlilik Altında Karar Verme

Belirlilik altında karar vermede, seçeneklerin hangi koşullar altında gerçekleşeceği kesin olarak bilinmektedir. Yani ortaya çıkacağı beklenen olayın olasılığı 1'dir (Öztürk, 2004: 16). Belirlilik altında karar verme, en basit karar verme

modellerinden biridir. Çünkü karar sorununun hiçbir ögesi şansa bırakılmamıştır (Tütek ve Gümüšođlu, 2000: 66).

Belirlilik altında karar problemlerinde her bir seçime ilişkin tam bilgi vardır ve karar veren kişi gelecek konusunda güvenceli bilgiye sahiptir (Halaç, 1991: 29). Başka bir ifadeyle, belirlilik altında karar vermede herhangi bir karar alma sürecine ilişkin davranışların doğuracağı sonuçlar önceden kesinlikle bilinmektedir (Tekin, 2004: 21). Belirlilik, karar verenin haberdar olma durumunu yansıtır. Karar veren amacına en uygun seçeneği kolayca seçebilir. Dolayısıyla en büyük kazanç değeri amacın en iyi başarıma derecesi olur ve karar kriteri en büyük kazancın seçimidir (Halaç, 1991: 29).

Doğrusal programlama modelleri, belirlilik altında karar vermenin bir örneğidir. Bu modeller yalnızca alternatiflerin kendi aralarında iyi tanımlanmış matematiksel doğrusal fonksiyonlarla ilişkilendirilebileceği durumlarda uygundur (Taha, 2000: 511). Devlet tahviline yapılan bir yatırım sonucunda elde edilecek gelir tutarı kesin olarak bilindiği için tahvillere yapılacak yatırım kararı da belirlilik altında karar vermeye örnek olarak verilebilir (Tekin, 2004: 21).

1.3.2. Belirsizlik Altında Karar Verme

Ortaya çıkacağı umulan olayların veya gerçekteşme olasılıklarının belirlenemediği karar problemleri belirsizlik altında karar verme problemi olarak adlandırılmaktadır. Belirsizlik altında karar veren kişinin, sonuçlara verebileceği olasılıklar söz konusu değildir. Elinde geçmişe ilişkin tecrübe ve kayıtlar olmadığından bir olasılık hesaplaması yapılmamaktadır (Engelkırın, 2001: 28).

Belirsizlik altında karar verme, en zor ve en yaygın karar verme durumudur. Belirsizlik altında karar verme durumunda probleme ilişkin az veya eksik bilgi vardır. İşletme yöneticileri genellikle belirsizlik ortamında karar verirler (Tekin, 2004: 23). Bu durumda doğa durumlarının olasılıkları hakkında hiçbir bilgi olmadığından, kullanılan teknikler karar vericinin iyimser ve kötümser olmasına göre değişiklik gösterecektir (Ulucan, 2004: 306). Karar vericilerin belirsizlik altında karar vermelerine yardımcı olan başlıca kriterler şunlardır:

- Eşit olasılık (Laplace) kriteri

- Kötümserlik (Maksimin) kriteri
- İyimserlik (Maksimaks) kriteri
- Pişmanlık (Minimaks) kriteri
- Gerçekçilik (Hurwicz) kriteri

Eşit olasılık (Laplace) kriteri

Eşit olasılık kriteri, bütün doğa koşullarının eşit ihtimallerle meydana geldiğini kabul etmektedir. Bu karar kriterini ilk kez Laplace ortaya attığı için, bu kriter Laplace kriteri de denilmektedir.

Eşit olasılık kriterinde, karar verici için doğa durumları olasılıklarının birbirinden farklı olabilecekleri konusunda hiçbir belirti olmadığından doğa durumlarının ortaya çıkmalarının eşit şansa sahip olduğu kabul edilerek, her doğa durumuna eşit olasılık verilmektedir. Daha sonra her strateji için beklenen değer hesaplanarak, en büyük beklenen değere sahip strateji seçilmektedir (Tütek ve Gümüsoğlu, 2000: 72).

Kötümserlik (Maksimin) kriteri

Kötümserlik kriteri en kötü olası senaryonun gerçekleşeceği varsayımına göre verilecek kararı belirleyen bir yaklaşımdır. Bu kriter göre en iyi kararı vermek için:

- Her bir karar alternatifinin minimum getirisi bulunur.
- Bu minimum getiriler arasından en büyük getirisi olan, karar olarak seçilir (Ulucan, 2004: 310).

Kötümserlik kriteri, *maksimin* olarak da adlandırılmaktadır. Maksimin kriteri, kötünün en iyisini çıkarma şeklindeki muhafazakâr bir davranışa dayanır (Taha, 2000: 540). Maksimin yaklaşımı, her alternatif için olası en kötü sonucu dikkate alan kötümser bir yaklaşımdır. Gerçek sonuç, maksimin yaklaşımıyla elde edilen sonuç kadar kötü olmayabilir (Stevenson, 1993: 75).

Wald tarafından önerilen kötümserlik kriterinde, her bir seçenek için en kötü olayın gerçekleşeceği ve en kötü sonuçlar arasından en iyi kazancın belirlenmesi esas alınır (Tütek ve Gümüšođlu, 2000: 53). Kötümserlik kriterinde, karar verici hangi seçeneği seçerse seçsin, mücadele ettiği çevre kazancını minimuma indirecektir, dolayısıyla en büyük kazancı verecek olan seçenek tercih edilmelidir. O halde maksimum kazancı veren seçenek de işletme için benimsenecek davranıştır (Engelkırán, 2001: 28). Bu kriteri benimseyen karar vericilerin, gereğinden fazla ihtiyatlı davranan kişiler olduğu iddia edilir. Karar verici girişimcilerin, aşırı ihtiyatlı veya kötümser bir davranış içinde karar vermeleri önerilmez (Dođan, 1985: 164).

İyimserlik (Maksimaks) kriteri

İyimserlik kriteri, en iyi olası senaryonun gerçekleşeceği varsayımına göre verilecek kararı belirleyen bir yaklaşımdır. İyimser bir karar verici, hangi karar verilirse o karara göre en iyi sonucu verecek doğa durumunun gerçekleşeceğini varsayar. Bu kriter gere:

- Her bir karar alternatifinin maksimum getirisi bulunur.
- Bu maksimum gelirler arasından en büyük getirisi olan, karar olarak seçilir (Ulucan, 2004: 309).

İyimserlik kriteri *maksimaks* olarak da adlandırılmaktadır. Bu durumda karar verici tabiatın şansını desteklediğini düşünerek seçtiği strateji için mümkün olayların en fazla kazancı sağlamasını bekler (Halaç, 1991: 58). İyimserlik kriteri, maliyet şeklindeki karar durumlarında maliyeti en düşük yapan kriterdir. (Tekin, 2004: 25)

Pişmanlık (Minimaks) kriteri

Bir istatistikçi olan Savage, karar verilip dođa durumu gerçekleştikten sonra, karar vericinin pişmanlık duyabileceğini ve başka bir stratejiyi seçmiş olabilmeyi isteyebileceğini vurgulayarak, karar vericinin en büyük pişmanlığını en küçükleme gerektiği fikrini ortaya atmıştır (Tütek ve Gümüšođlu, 2000: 71).

Pişmanlık kriteri de en kötü olası senaryonun gerçekleşeceği varsayımına göre verilecek kararı belirleyen, kötümser bir yaklaşımdır. Kötümser bir karar verici en kötü

olası senaryonun her zaman oluşacağına inanır. Karar verici, kazanç kayıp tablosunu “fırsat kaybı” ya da başka bir ifade ile “pişmanlığı” gösterecek şekilde düzenler. Pişmanlık kriteri, sonuç matrisinin yerine pişmanlık matrisini koyarak minimaks ve maksimin kriterindeki muhafazakârlığı orta düzeye getirmeyi hedefler (Taha, 2000: 540). Pişmanlık matrisi, fırsat kaybı anlamına gelmekte ve en iyi alternatifin seçilmesi sonucu ortaya çıkan kayıp ve kaçırılan fırsatı ifade etmektedir (Tekin, 2004: 27). Bu kritere göre en iyi kararı vermek için:

- Her bir doğa durumu için en iyi getiri değeri belirlenir.
- Her bir doğa durumunun en iyi getiri değeri, o doğa durumunun sütunundaki her değerden çıkarılarak pişmanlık matrisi oluşturulur.
- Pişmanlık matrisinde her bir karar alternatifi için maksimum pişmanlık değeri belirlenir.
- Bu maksimum pişmanlık değerleri arasından minimumu karar olarak seçilir (Ulucan, 2004: 311). Böylece en az pişmanlık duyulacak seçenek seçilerek karar verilir.

Maksimaks, maksimin ve minimaks kriterlerinin dezavantajı, bu yaklaşımların sadece en kötü ya da en iyi üzerine odaklanarak bilgi kaybına yol açmalarıdır. Eşit olasılık kriterinin zayıf yönü ise tüm olayların eş olasılıklar ile gerçekleşeceğini varsaymasıdır (Stevenson, 1993: 76).

Gerçekçilik (Hurwicz) kriteri

Hurwicz’e göre kişi, kendini şanslı hissettiği veya iyimser olduğu ölçüde rasyonel hareket edecektir. İyimserlik katsayısı, karar vericinin karar matrisinde en büyük veya en küçük değerleri düşünmesi gerektiğini, ayrıca bu değerlere birer ağırlık faktörü ile önem derecesi vermesini yansıtır. Dolayısıyla, en büyük ve en küçük sonuç elemanlarına olasılıklar verilmektedir ve verilen bu iki olasılık toplamı bire eşittir (Halaç, 1991: 59).

Karar matrisinde her bir seçenek için en büyük ve en küçük elemanlar sırası ile α ve $1-\alpha$ ile çarpılarak bulunan değerler toplanırsa seçeneklerin beklenen değeri bulunur. Beklenen değeri en yüksek olan seçenek benimsenir (Halaç,1991: 59). Burada

α parametresi, iyimserlik indeksi olarak bilinmektedir. $\alpha = 0$ ise kriter muhafazakardır, çünkü minimaks kriterinin uygulaması ile aynıdır. $\alpha = 1$ ise kriter iyimser sonuçlar verir, çünkü koşulların en iyisinin en iyisine uygulanmasına eşittir. İyimserliğin (kötümserliğin) derecesi, α 'nın belirli (0,1) aralığındaki değerinin uygun seçimi yoluyla ayarlanabilir. İyimserlik ve kötümserlikle ilgili güçlü duygular hissedilmediğinde $\alpha = 0.5$ uygun bir seçim olacaktır (Taha, 2000: 541).

Karar vericilerin çoğu ne tam olarak iyimser ne de tam olarak kötümserdir. Bu durumda karar verme, Hurwicz kriteri ile mümkün olabilmektedir. Bu kritere göre her bir alternatif durum için ağırlıklı değerler (WV);

$$\text{Ağırlıklı değer (WV)} = \alpha \text{ Max } u + (1 - \alpha) \text{ Min } u \quad (1.1)$$

formülü ile hesaplanır. Bu formülde yer alan $\text{Max } u$ satırdaki en yüksek değer ve $\text{Min } u$ satırdaki en düşük değer anlamına gelmektedir (Tekin, 2004: 26).

1.3.3. Risk Altında Karar Verme

Risk altında karar vermede alınacak belirli bir karara ilişkin değişik sayıda koşullar söz konusudur. Her seçeneğin her koşul altında varacağı sonuçlar belirli bir olasılıkla oluşur. Karar verme, yani seçeneklerin seçimi belirli olasılıklara dayanarak yapılır ki bu duruma risk altında karar verme denir (Öztürk, 2004: 16). Risk altında seçeneklerin ne gibi sonuçlar doğuracağı bilinmez. Bu durumda karar verici, doğa koşullarının belirli bir olasılıkla meydana geldiğini kabul ederek, beklenen parasal değerleri hesaplayıp en iyi alternatifi seçmektedir (Tekin, 2004: 28–29).

Risk altında ve belirsizlik altında karar verme arasındaki fark; belirsizlik durumunda durumlara bağlı olasılık dağılımının ya bilinmiyor ya da belirlenemiyor olmasıdır. Başka bir deyişle, karar verici doğa durumlarına objektif veya subjektif olasılık atayabildiğinde risk ortamında; herhangi bir biçimde olasılık atayamadığında ise belirsizlik ortamında çalışmaktadır (Tütek ve Gümüšoğlu, 2000: 66).

Karar verici tutarlı kararlar verebilmek için probleminde bir takım iyileştirmeler yapmak zorundadır. Bunun en akılcı yolu, doğa durumlarının gerçekleşme olasılıklarını

tahmin ederek problemi çözmeden önce karar problemini daha çok verisi olan, daha açık bir hale getirmektedir. Özellikle verilecek karar geçmişte defalarca tekrarlamışsa, doğa durumlarının gerçekleşme olasılıkları tarihi veri kullanarak tahmin edilebilir (Ulucan, 2004: 313). Risk koşullarında, her bir karar alternatifine ilişkin maliyetler genellikle olasılık dağılımlarıyla tanımlanır. Bu nedenle, risk altında karar verme, genellikle, alternatiflerin beklenen karın maksimizasyonu veya beklenen maliyetin minimizasyonuna göre karşılaştırıldığı beklenen değer kriterine dayanarak yapılır (Taha, 2000: 522).

Risk altında karar verme durumunda başlıca üç yöntemden bahsedilebilir. Bunlar:

- Beklenen değer kriteri
- Beklenen kayıp (zarar) kriteri
- Fırsat kaybı kriteri

Beklenen değer kriteri

Beklenen değer kriteri, beklenen (ortalama) karın maksimizasyonu veya beklenen maliyetin minimizasyonunu inceler. Problemin verisi her bir alternatifle ilgili maliyetin olasılıklı olduğunu varsayar (Taha, 2000: 522). Beklenen değer kriterini dikkate alan karar verici, meydana gelme olasılıkları bilinen seçenekler arasından, beklenen değeri en yüksek olanı seçmektedir. Başka bir ifadeyle seçenekler arasından beklenen değeri en yüksek olan seçenek karar vericinin seçtiği optimum (en iyi) seçenek olacaktır. Bu kritere göre seçeneklere ilişkin olasılıklar çarpılarak her seçenek için beklenen değerler hesaplanır ve beklenen değeri en yüksek olan seçenek seçilir (Tekin, 2004: 29).

Ancak unutulmaması gereken önemli bir nokta, beklenen değerlerin ortalama getiriyi hesapladığıdır. Bu yaklaşım, aynı kararın yinelenerek verilmesi durumunda, sürekli en iyi beklenen değere sahip seçeneği seçerek elde edilecek getirinin ortalamasını vermektedir (Ulucan, 2004: 313).

Beklenen kayıp kriteri

Beklenen kayıp (zarar) kriterine göre, karar matrisinde yer alan kâr değerleri zarar, zarar değerleri ise kâr olarak düşünülür. Başka bir ifadeyle, karar verici kâr ve kazançları negatif değerler ile, zarar veya maliyetleri de pozitif değerler ile değerlendirmektedir. Bu duruma göre elde edilen karar matrisinde beklenen değer kavramı uygulanır. Beklenen değerler, beklenen kaybı göstereceği için bunlar içerisinde minimum olanı dikkate alınır. Böylece beklenen kayıp minimum olacağından, beklenen kazanç da maksimum olacaktır (Tekin, 2004: 30).

Fırsat kaybı kriteri

Beklenen değeri maksimize etmek için alternatif bir yaklaşım da beklenen fırsat kaybını minimize etmektir (Render ve Stair, 1991: 159). Fırsat kaybı kriteri, pişmanlık kriteri olarak da adlandırılır. Bu kritere göre önce karar matrisinin sütunundaki en yüksek değer seçilir. Bu sayıdan sütunda yer alan diğer değerler ayrı ayrı çıkarılarak yeni bir sütun oluşturulur. Bu işlem bütün sütunlar için tekrarlanarak pişmanlık matrisi elde edilir. Pişmanlık matrisi, o karar seçilmediğinde karşı karşıya kalınabilecek fırsat kaybını gösterir. Pişmanlık matrisinde yer alan değerler, olasılık değerleri ile çarpılarak beklenen değer hesaplanır (Tekin, 2004: 31).

1.3.4. Ek Bilgi Altında Karar Verme

Karar vericiler, gelecekteki doğa durumları hakkında tam bilgiye sahip olmasalar da ek kaynaklardan yararlanarak doğa durumlarının gerçekleşme olasılıkları hakkındaki tahminlerini iyileştirme şansına sahiplerdir. Bu ek kaynaklar; pazar araştırmaları, anketler, ürün testleri, uzman görüşleri, örneklemeler, simülasyon çalışmaları olabilir. Çoğu zaman bu ek bilginin bir maliyeti vardır. Karar verici öncelikle, bu maliyete katlanmasının uygun olup olmayacağına karar vermelidir. Farklı kaynaklardan sağlanan ek bilginin doğa durumlarının olasılıklarında yapacağı değişiklikleri hesaplamada Bayes istatistiklerinden faydalanılır (Ulucan, 2004: 323).

1.3.5. Rekabet Altında Karar Verme

Rekabet altında karar verme, birden fazla karar vericinin söz konusu olduğu karar problemini içerir. Bu tip problemleri içeren karar durumu “oyun” olarak nitelendirilir ve “oyun kuramı” çerçevesinde ele alınır (Doğan, 1985: 9). Bu tip problemler, iki ya da daha çok tarafın çatışma ya da işbirliğine bağlı faydanın optimizasyonuna ilişkin karar problemleridir (Sezen, 2004: 5).

Rekabete dayalı, çatışmalarla dolu ekonomik hayatta rasyonel bir karar vericinin karar verme işlemi, büyük ölçüde diğer karar vericilerin veya rakiplerin eylemine bağlıdır. Rekabet durumunda karar vermeyi gerektiren birçok işletmecilik ve ekonomi problemleri mevcuttur. Rakip firmaların reklâm ve pazarlama planlarının saptanması, yeni ürünler arasında seçim yapma, satın alma ve teklif politikalarının belirlenmesi, talebin belirsizliği altında üretimin programlanması, sermaye bütçelemesi, rekabet altında karar vermeye örnek olarak verilebilir. Tüm bu durumlarda belli bir rakibin benimseyeceği optimum alternatif ve bunun sonuçları, diğer rakiplerin izleyeceği alternatiflere ve bunlardan elde edilecek sonuçlara bağlıdır (Doğan, 1985: 197).

1.4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

İşletmeler ayakta kalabilmek ve hayatlarını sürdürebilmek için birçok seviyede farklı kararlar almak zorundadırlar. Bu kararları alırken, karar vericiler doğru ve güvenilir verilere ve değerlendirme süreçlerine ihtiyaç duyarlar. Bu yüzden karar verme süreçlerine bilimsel tekniklerin dâhil edilmesi sonuçların daha güvenilir olmasına ve subjektif kararlardan uzaklaşılmasına yardımcı olur. Çeşitli karar problemleri ile karşı karşıya kalan yöneticiler için zor problemlerden biri de, alternatifler kümesinden uygun alternatifin seçilmesidir. Bu seçim prosedürüne çelişen ve fazla sayıda kriter dâhil olduğundan geleneksel seçim prosedürlerinin kullanılması gerçekçi bir çözüm sunmaz. Bu nedenle, ÇKKV yöntemleri günümüzde birçok çalışmada kullanılmaktadır (Soner ve Önüt, 2006: 111).

Bu bölüme kadar incelenen karar modellerinde, karar vericinin sadece bir kriteri göz önünde bulundurması söz konusuydu. Ancak karar problemleri çoğu zaman birbiri

ile çelişen birden fazla kriteri içermektedir. Örneğin yatırım yapacak bir yatırımcı, yatırım enstrümanlarının getirisinin yanı sıra riskini de karar sürecine dâhil etmek isteyecektir. Aynı şekilde bir ürün almayı düşünen müşteri, çoğu zaman sadece fiyata göre karar vermeyecek, teknoloji, garanti, tasarım, kullanım kolaylığı gibi kriterleri de göz önünde bulunduracaktır. Ayrıca bir işveren yeni personel alımında kararını verirken, başvuran adayları sadece deneyimlerine göre değil, eğitimine, istediği ücrete kişisel özelliklerine göre de değerlendirmeye çalışacaktır (Ulucan, 2004: 331). Yani, tek bir kriterle göre karar verilebiliyorsa klasik karar analizi tekniklerini kullanmak uygunken, birden çok kriteri eş anlamlı içeren karar problemleri için çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmalıdır (Ulucan, 2004: 306). ÇKKV, bir karar vericinin birden fazla alternatif arasından genellikle birbiri ile çelişen kriterler altında yaptığı seçim işlemidir. ÇKKV yönteminde izlenen adımlar şu şekilde sıralanabilir:

- Konu ile ilgili kriter ve alternatifler belirlenir.
- Kriterlerin nispi önem dereceleri belirlenir.
- Her bir alternatif tüm kriterler bazında değerlendirilir ve alternatifler sıralanır (Ballı, 2005: 12).

ÇKKV yöntemleri, 1960'lı yıllarda karar vermeye yardımcı olacak bir takım araçların gerekli görülmesiyle geliştirilmeye başlanmıştır. ÇKKV yöntemlerini kullanmaktaki amaç alternatif ve kriter sayılarının fazla olduğu durumlarda karar verme mekanizmasını kontrol altında tutabilmek ve karar sonucunu mümkün olduğu kadar kolay ve çabuk elde etmektir (Ballı, 2005: 12).

Günümüzde, çok sayıda ÇKKV yöntemleri geliştirilmesine rağmen, karar verici karar verme aşamasında bu yöntemlerden hangisini kullanacağını belirlerlerken zorlanır. Duruma uygun olarak seçeceği yöntem, en iyi karar verme yöntemi olmayabilir. Karar verici hangi yöntemi kullanacağına karar verirken şu adımları izlemelidir:

- Karar probleminin oluşturulması
- Önceliklerin sıralanması
- Alternatif değerlendirmelerinin toplanması
- Önerilerin yapılması

Gerçek hayatta bir karar verici ya da analist, karar verme durumunda, önce problemi anlamaya ya da ortaya koymaya çalışır. Burada durumun ortaya koyulması en önemli aşama olarak değerlendirilebilir. Bu aşama çeşitli alternatifler, neticeler ve önemli kriterler, bilginin nitelik ve niceliği gibi konularda karar verilmesini kapsar. Daha sonra duruma en uygun ÇKKV yöntemi seçilir ve uygulanır (Polat, 2000: 7-9). Uygulamada bulunurken ÇKKV sürecinde sıkça kullanılan kavramlar kısaca şu şekilde açıklanabilir:

Alternatifler: Bir problemdeki tercih seçenekleridir. Ele alınan problemlerde yerine göre birkaç, yerine göre çok daha fazla sayıda alternatif olabilir. Bu alternatifler elenerek amaca en uygun olanı seçilir.

Kriter ve öznitelik: Kriter ve öznitelik kavramları bazı farklar içerse de literatürde sıklıkla birbirlerinin yerine kullanılmaktadır. Öz nitelikler kriterlerin temel alt gruplarıdır. Kriterler, alternatiflerin temel özellikleri, kaliteleri veya verimlilik parametreleri olarak tanımlanır ve karar vericinin değer yargılarına bağlı olarak tanımlanıp ölçümlenirler.

Amaçlar: Kriterlerin, karar vericilerin arzuları doğrultusunda yönlendirilmiş şekli olarak tanımlanabilir.

Hedefler: Amaçların daha da somutlaşarak belirli değerlere dönüşmüş şeklidir (Menteş, 2000: 3).

Karar matrisi: ÇKKV problemlerinde genellikle değişik alternatifler, olaylar ve bunların sonuçları bir matris biçiminde gösterilir (Doğan, 1985: 9). ÇKKV, çoklu ve genellikle birbiri ile çelişen kriterler olması durumunda alternatifler arasından seçim yapmayı içerir ve karar problemi matris şeklinde şu şekilde ifade edilir:

$$D = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & \dots & K_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Burada A_i , $i = 1, \dots, m$ olası alternatifleri, K_j , $j = 1, \dots, n$ alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterleri ve a_{ij} 'ler A_i alternatifinin K_j kriteri bazında değerlendirme sonuçlarını gösterir (Lai ve Hwang, 1996: 401). Bir başka deyişle karar matrisindeki satırlar, birbiri ile rekabet halinde olan alternatifleri, sütunlar ise alternatiflerin değerlendirileceği kriterleri ifade eder.

Literatürde ÇKKV problemlerinin çözümü için kullanılan farklı yöntemler olup bu yöntemlerin hiç birisi diğerlerine göre tam üstünlük sağlayamamaktadır. Bu yöntemlerin en önemli avantajı nicel ve nitel kriterleri bir arada değerlendirmeye imkân sağlamalarıdır (Dağdeviren vd, 2007: 563).

Uygulamalarda sıklıkla kullanılan ÇKKV yöntemleri şu şekilde sıralanabilir:

- Ağırlıklı Toplam Yöntemi (ATY)
- Ağırlıklı Çarpım Yöntemi (AÇY)
- Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)
- TOPSIS
- PROMETHEE
- ELECTRE

Ayrıca son yıllarda, Opricovic ve Tzeng (2004) tarafından VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemi önerilmiştir. VIKOR, uzlaşık bir sıralama belirlemeyi ve belirtilen ağırlıklar altında uzlaşık çözüme ulaşmayı sağlayan bir yöntemdir. Birbiri ile çelişen kriterler altında alternatiflerin sıralamasını belirleyerek en uygununun seçilmesini içerir ve ideal çözüme yakınlığa dayanan çok kriterli sıralama indeksini ele alır. Literatürde, VIKOR yöntemini ele alan çeşitli çalışmalar mevcuttur. Chu vd (2007), basit ağırlıklı ortalama yöntemi, TOPSIS ve VIKOR olmak üzere üç yöntemi kıyaslamışlar ve bu yöntemlerin bilgi toplumlarında grup karar analizinde uygulanabilirliklerini ele almışlardır. Opricovic ve Tzeng (2007), genişletilmiş VIKOR yöntemini TOPSIS, PROMETHEE ve ELECTRE yöntemleri ile karşılaştırmıştır. Tong vd (2007), çok yanıtli süreçlerin optimizasyonu için kalite kayıplarına ilişkin değişimi dikkate alabilen VIKOR yöntemini önermiştir. Liu ve Yan (2007), inşaat projesi tekliflerini değerlendirmek için VIKOR yöntemini ele almışlardır. Büyüközkan ve Ruan (2008), bulanık ortamda daha kapsamlı değerlendirme

yapabilmek için VIKOR yöntemini genişletmişlerdir. Önerdikleri yöntem ile kurumsal kaynak planlaması yazılımlarının performanslarını değerlendirmişlerdir.

1.4.1. Ağırlıklı Toplam Yöntemi

Ağırlıklı toplam yöntemi, en çok bilinen ve en yaygın olarak kullanılan karar verme yöntemlerinden bir tanesidir (Triantaphyllou ve Lin, 1996: 282). Bu yöntemde, her bir kritere göre alternatifin değeri, gerçek sayısal değerdir ve o kriterin ağırlığı ile çarpılarak tüm kriterler için bu değerlerin toplamları alınır ve sonuç değerleri bulunur. Bu değerler arasından maksimum değeri sağlayan alternatif, en iyi alternatif olarak seçilir (Ballı, 2005: 15). Eğer karar verme probleminde m tane alternatif ve n tane kriter varsa, en iyi alternatif aşağıdaki eşitliği sağlayacaktır:

$$P^* = \max_{m \geq i \geq 1} \sum_{i=1}^n a_{ij} w_j \quad (1.2)$$

Burada, a_{ij} , i . alternatifin j . kriter bazında performans değerini, w_j de j . kriterin önem ağırlığını göstermek üzere P^* en iyi alternatifin öncelik değerine eşittir. Ağırlıklı toplam yöntemi, benzer birimlere sahip tek boyutlu problemlerde kolaylıkla uygulanabilir (Triantaphyllou ve Lin, 1996: 282). Farklı boyut ve birimlere sahip problemlere uyarlanamaması, bu yöntemin dezavantajıdır.

1.4.2. Ağırlıklı Çarpım Yöntemi

Ağırlıklı çarpım yönteminde, alternatifleri sıralamak için çarpma işlemi kullanılmaktadır. Her bir alternatif, diğer alternatiflerle, her bir kriter için belirlenen oranla çarpılarak karşılaştırılır (Triantaphyllou ve Lin, 1996: 283). Genel olarak; a_k ve a_p alternatiflerinin karşılaştırılması şu şekilde ifade edilir:

$$R(a_k / a_p) = \prod_{j=1}^n (a_{kj} / a_{pj})^{w_j} \quad (1.3)$$

Burada görüldüğü gibi her bir alternatifin, başka bir alternatifle tüm kriterlere göre oranı alınır ve değerler üstel olarak ağırlıklandırılıp tüm kriterler için çarpılarak sonuç değerleri bulunur. Eğer $R(a_k / a_p)$ değeri, $R(a_p / a_k)$ değerinden büyükse, tercih yapılırken a_k , a_p 'den önce gelir (Ballı, 2005: 15).

Ağırlıklı çarpım yöntemi, ağırlıklı toplam yöntemine oldukça benzemektedir. Ağırlıklı çarpım yöntemine “boyutsuz analiz” de denilmektedir. Bunun nedeni bu yöntemin yapısının, ölçü birimlerinin elimine edilmesine izin vermesidir. Bu yüzden ağırlıklı çarpım yöntemi, tek ve çok boyutlu karar problemlerinde kullanılabilir (Triantaphyllou ve Lin, 1996:283).

1.4.3. Analitik Hiyerarşi Prosesi

Thomas L. Saaty (1980) tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), yaygın olarak kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden bir tanesidir. AHP yöntemi karmaşık karar problemlerinde, alternatif ve kriterlere göreceli önem değerleri verilmek suretiyle, yönetsel karar mekanizmasının çalıştırılması esasına dayanır.

AHP yöntemi karar vericilerin karmaşık problemleri; problemin ana hedefi, kriterleri, alt kriterler ve alternatifleri arasındaki ilişkiyi gösteren hiyerarşik bir yapıda modellemelerine olanak verir. AHP yönteminin en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de sübjektif düşüncelerini karar sürecine dâhil edebilmesidir. Bir başka ifade ile AHP, bilginin, deneyimin, bireyin düşüncelerinin ve önsezilerinin mantıksal bir şekilde birleştirildiği bir yöntemdir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001: 84). Buna ilave olarak AHP yönteminin bir diğer önemli özelliği de hiyerarşik yapı oluşturulması esnasında problemin detaylı bir şekilde ortaya koyulması ve ayrıştırılmasıdır (Polat, 2000: 13).

AHP yöntemi karar verme sürecini sistematik hale getirir ve doğru kararlara ulaşmayı sağlar. Karar vericinin amaca ilişkin tercihlerini doğru bir şekilde belirlemesine olanak sağlayarak uygulamaları kolaylaştırır. Ayrıca, karar vericinin karar probleminin tanımını ve unsurlarına ilişkin anlayış ve bilgilerini artırır (Güner, 2005: 45). AHP yönteminin diğer bir avantajı da nitel ve nicel faktörler arasında ilişki kurularak en iyi sonucun elde edilmesine imkân vermesidir (İç, 2000: 56).

AHP yöntemi, karmaşık problemlerin çözümünde pratik bir araç olarak kullanılmaktadır. AHP hakkında yayınlanmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Bunlar AHP yönteminin, planlama, en iyi alternatifin seçilmesi, kaynak dağıtımı gibi çeşitli alanlarda uygulamalarını içermektedir (Omkarprasad vd, 2006: 1).

İnsanların doğuştan gelen ikili karşılaştırma yapabilme yeteneği ile paralellik gösteren hem biyolojik hem de matematiksel olarak doğru olan AHP yöntemi, bilimsel karar vermek için oldukça pratik bir yöntemdir (Erikan, 2002: 62). AHP ile karşılaşılan her problem için, amaç, kriter, olası alt kriter seviyeleri ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik bir yapı kurulur. Hiyerarşinin tüm parçaları birbiri ile ilgilidir ve bir öğedeki değişimin diğer öğeleri nasıl etkilediği kolayca görülebilir (Tekeş, 2002: 62). Hiyerarşik yapı kurulduktan sonra karar alternatiflerinin değerlendirilmesi için hiyerarşinin her seviyesindeki elemanların ikili karşılaştırmaları yapılır (Ertuğrul, 2003: 12). AHP yönteminde karar verici her seviyedeki n tane kriter veya alternatif için $\frac{n(n-1)}{2}$ tane ikili karşılaştırma yapmak zorundadır. Elde edilen sonuçlara göre alternatiflerin puanları hesaplanır.

AHP'nin aksiyomları:

Aksiyom 1. Karşılıklı Kıyaslama (İkili Karşılaştırma) : Bir karar probleminde karar verici karşılaştırma yapmalı ve tercihlerin kuvvetini belirtmelidir. Karar verici, herhangi bir kritere göre i . ve j . alternatifler arasındaki karşılaştırmalarını; $a_{ij} = 1/a_{ji}$ şeklinde yapmalıdır. Başka bir deyişle eğer A , x kez B 'ye tercih ediliyorsa; B , A 'ya $1/x$ kez tercih edilmektedir (Lorcu, 2000: 7). Karşılaştırma yapılırken, bu durum sağlandığı sürece tutarlılıktan bahsedilebilir.

Aksiyom 2. Homojenlik (Bağdaşlık): Homojenlik, benzer öğelerin karşılaştırılması gerektiği anlamındadır. Bu aksiyom ile karşılaştırılan elemanların birbirinden çok farklı olmaması gerektiği, farklı olmaları durumunda ise yargılarda hataların ortaya çıkabileceği ifade edilmektedir (Güner, 2005: 35). Tercihler, bir ölçek vasıtasıyla temsil edilmektedir. Bu koşul sağlanamamışsa karşılaştırılan elemanlar homojen değildir. Karar verici, herhangi bir kriter altında i . alternatif ile j . alternatifi karşılaştırırken birini diğerine göre sonsuz iyi olarak değerlendiremez (Lorcu, 2000: 7). Başka bir deyişle, ikili karşılaştırmalarda a ve b kriteri için biri diğerine göre sonsuz kez üstün kabul edilemez. Yani $a_{ij} \neq \infty$ ($\forall i$ ve j 'ler için) 'dur. Öncelikler sınırlandırılmış ölçek yardımıyla gösterilir. Yani öğelerin karşılaştırmaları bu ölçeğe göre yapılacaktır.

Kullanılan ölçek 1–9 aralığında olduğu için a_{ij} değerleri de $1/9, 1/8, \dots, 1, \dots, 7, 8, 9$ aralığında bir değer olacaktır.

Aksiyom 3. Bağımsızlık: Tercihler belirlenirken; kriterlerin, seçeneklerin özelliklerinin bağımsız oldukları varsayılır. Kriterlerin ağırlıkları, düşünülen seçeneklerden bağımsız olmalıdır (Lorcu, 2000: 7). Yani, kriterler kendi aralarında ve alternatiflerden bağımsızdır. Bu ifade, üst kademe kriterlerin önceliklerinin yeni bir alternatif eklendiğinde veya çıkarıldığında değişmeyeceği anlamına gelmektedir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001: 85).

Aksiyom 4. Beklentiler: Karar verme işleminin yapılabilmesi için, problemi etkileyen tüm kriterler ve alternatifler hiyerarşik bir yapı içerisinde gösterilir (Erikan, 2002: 64). Bir karara varmak için, hiyerarşik yapının tam olduğu varsayılmaktadır (Lorcu, 2000: 7). Eğer bu aksiyoma uyulmaz ise karar verici, tüm kriterleri veya tüm uygun seçenekleri kullanmamış demektir. Bu durumda verilecek karar, yetersiz olacaktır.

AHP yönteminde izlenecek adımlar

Karar problemlerini AHP yöntemi ile çözerken izlenecek adımlar problemin tanımlanması, sistemin gözlenmesi, hiyerarşik yapının oluşturulması, ikili karşılaştırmaların yapılması, tutarlılığın kontrol edilmesi, öncelik değerlerinin belirlenmesi, değerlendirme ve sonuç olarak sıralanabilir.

Problemin tanımlanması:

Tüm karar problemlerinde olduğu gibi öncelikle problem iyi bir şekilde tanımlanmalıdır ve problemin yapısının AHP yöntemine uygun olup olmadığı belirlenmelidir (Erikan, 2002: 64).

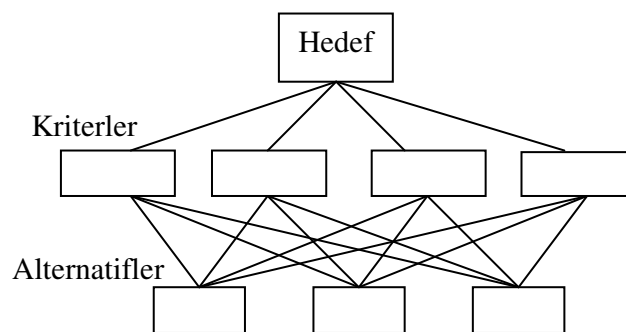
Sistemin gözlenmesi:

AHP çok kriterli karmaşık bir problemi, belirli kriterler ve alt kriterlerden oluşan hiyerarşik bir yapı şeklinde ifade eder. Hiyerarşide en alt düzeyde, değerlendirilecek olan alternatifler yer alır. Bu şekilde hiyerarşik bir yapının oluşturulması sistemin bütününe ve elemanlarının iyi bir şekilde gözlenmesine bağlıdır.

Hiyerarşik yapının oluşturulması:

Hiyerarşik yapı, sistemi oluşturan tüm seviye veya bileşenler arasındaki fonksiyonel bağımlılığın, sistem geneli üzerindeki etkisini en iyi anlatan yapıdır (Lorcu, 2000: 4). Hiyerarşi, genel ve az kontrol edilebilen faktörlerden, daha belirli ve kontrol edilebilen faktörlere doğru yapılmalıdır. Ayrıca bir hiyerarşi, problemi temsil edebilecek kadar büyük, öğeler üzerindeki değişikliklere tepki verecek kadar küçük olmalıdır. Hiyerarşi oluşturulurken aynı seviyedeki öğelerin birbirinden bağımsız oldukları varsayılır. Hiyerarşik yapının oluşturulması, problemin daha küçük parçalara ayrılarak incelenmesi için sistematik bir prosedürün oluşturulabilmesine imkân verir (Erikan, 2002: 67).

Bir karar probleminin yapısını oluşturmada en basit yöntem, üç basamaklı hiyerarşik yapıdır. Bu hiyerarşik yapının en üstünde ana hedef yer alır. Bir alt seviye, kararın kalitesini etkileyecek kriterlerden oluşur. Bu kriterlerin ana hedefi etkileyebilecek özellikleri varsa hiyerarşiye başka kademeler de eklenebilir. Hiyerarşinin en altında alternatifler yer alır. Hiyerarşinin oluşturulmasında seviye sayısı, problemin karmaşıklığına bağlıdır (Hacıköylü, 2006: 21). Şekil 1.1’de basit bir hiyerarşi modeli görülmektedir.



Şekil 1.1. Basit hiyerarşi modeli

Hiyerarşik yapının oluşturulması problemle ilgili bilgi ve tecrübenin olmasını gerektirmektedir. İki farklı karar verici aynı problem için iki farklı hiyerarşik yapı oluşturabilir. Aynı hiyerarşik yapıyı oluşturmuş olsalar bile, ögelere verecekleri öncelikler farklı olabilecektir (Erikan, 2002: 53). Genel olarak hiyerarşi oluşturulurken şu hususlara dikkat edilmelidir:

- Hiyerarşik yapı problemi en iyi şekilde temsil etmelidir.
- Problemi etkileyen tüm yan faktörler göz önüne alınmalıdır.
- Çözüme ışık tutabilecek tüm yayın ve belgeler dikkate alınmalıdır.
- Problemin içerisinde rol oynayacak katılımcılar belirlenmelidir (Lorcu, 2000: 4).

İkili karşılaştırmaların yapılması:

Hiyerarşik yapının belirlenmesinden sonra, tüm elemanların birbiri üzerindeki göreceli önemlerinin belirlenmesi için ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması gerekir. Bu matrisler, karar vericinin kriterleri ya da seçenekleri ikili olarak karşılaştırmasıyla oluşturulur (Özgül, 2006: 52). Bu adımda temel amaç, faktörlerin göreceli önemlerinin genel hedefe olan etkisinin belirlenmesidir. İkili karşılaştırmaların yapılması için ilgili kişilere anket yapılması gerekmektedir. Bu ilgili kişi veya kişiler konunun uzmanı olmasalar dahi, en azından konuyu bilen ve konuya aşina olan kişiler olmalıdır. Aksi takdirde ikili karşılaştırmalarda tutarsızlıkların çıkması kaçınılmazdır.

Eğer karar, tek kişi değil de bir grup ilgilinin katılımı sonucu alınabiliyorsa, söz konusu kişilerin her biri, hem doğrudan kendi ilgi alanına giren konuya ilişkin yargılarını ortaya koyup birbirlerini tamamlayabilir hem de diğerlerinin yargılarını oluşturmaları aşamasında olaya dâhil olup yargıların netleşmesini sağlayabilirler. Grubun, karar aşamasında bir uzlaşmaya varması halinde, herhangi bir sorun ortaya çıkmayacaktır. Uzlaşma sağlanamadığı takdirde (örneğin sistemdeki bazı öğeler gruptaki bazı kişiler için çok önemli iken diğerleri için önemsiz olabilir) üçüncü şahıslardan yararlanıp farklı sonuçların bir sentezi yapılabilir (Erikan, 2002: 69).

İkili Karşılaştırmalar Matrisi

İkili karşılaştırmalar AHP'nin en önemli aşamasıdır. İkili karşılaştırmaları elde etmek için göreceli veya mutlak ölçümler kullanılır. Bunlardan elde edilen bilgilere göre yargılar bir matrise dönüştürülür (Dağdeviren, 2002: 57). Elde mevcut n adet taş olduğu (A_1, A_2, \dots, A_n) ve her birinin ağırlığının da sırası ile W_1, W_2, \dots, W_n olduğu varsayılınsın. Her taşın diğerlerine göre göreceli ağırlıkları bir matrisin satırları cinsinden yazılıp her ikiliden daha hafif olan birim olarak alınarak, diğerinin onun kaç katı ağırlıkta olduğunu ölçülebilir ve böylece göreceli ağırlıkları belirlenebilir. AHP yöntemi, herhangi bir alt düzeydeki tüm öğelerin ilgili üst düzey öğesi temel alınarak, bu öğe üzerindeki göreceli etkileri açısından ikişerli olarak karşılaştırılıp ikili karşılaştırmalar matrisinin oluşturulmasına ve bu matrisin en büyük öz değere sahip öz vektörünün bulunması esasına dayanır. Burada bahsedilen öz vektör öncelik sıralarının belirlenmesine, öz değer ise yargının tutarlılığının ölçülmesine yarar (Erikan, 2002: 69–70). Tablo 1.1'de ikili karşılaştırmalar matrisi görülmektedir.

Tablo 1.1. İkili karşılaştırmalar matrisi

	A_1	A_2	...	A_n
A_1	W_1 / W_1	W_1 / W_2	...	W_1 / W_n
A_2	W_2 / W_1	W_2 / W_2	...	W_2 / W_n
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
A_n	W_n / W_1	W_n / W_2	...	W_n / W_n

İkili karşılaştırmalar matrisinin genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir: (Dağdeviren, 2002: 57):

- AHP'de temel ölçek olarak 1–9 ölçeği kullanıldığı için A matrisinin öğeleri daima pozitif olacaktır ve A matrisi kare matristir. Yani ikili karşılaştırmalar matrisi pozitif değerlerden oluşmaktadır. $a_{ij} > 0, \quad i, j = 1, 2, \dots, n$.
- İkili karşılaştırma matrisi eğer tam tutarlı ise aşağıdaki eşitliği sağlamalıdır:

$$a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}, \quad i, j, k = 1, 2, \dots, n$$

- Eğer A matrisi tam tutarlı ise herhangi bir satırdan matrisin diğer tüm öğeleri kolaylıkla elde edilebilir.
- Bu matrisin en büyük özdeğerine karşılık gelen öz vektör matrisi AHP’de ağırlık veya öncelik vektörü olarak adlandırılır.
- A matrisinin köşegen değeri 1’e eşittir.

Karar vericiler, ikili karşılaştırma sırasında yargıda bulunurken Tablo 1.2’de görülen karşılaştırma ölçeğini kullanırlar. Bu 1–9 ölçeği Saaty tarafından geliştirilmiş ve çalışmalarda kullanılmıştır.

Tablo 1.2. Karşılaştırma ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
3	Orta derecede önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor.
5	Kuvvetli derecede önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettiriyor.
7	Çok kuvvetli derecede önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor.
9	Mutlak derecede önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar büyük güvenilirliğe sahip.
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler.

Karşılaştırma ölçeğinde üst sınır 9 ile sınırlandırılmıştır. Bunun nedeni şu şekilde açıklanabilir (Dağdeviren, 2002: 55):

- Nitelik bakımından farklılıklar pratikte anlamlı olup, karşılaştırılan sayıların aynı büyüklük sırasından gelmesi ya da karşılaştırmayı yapmak için kullanılan

özellikler ile ilgili olarak birbirine yakın olması, yapılan çalışmanın doğruluğunu arttırmaktadır.

- Bilindiği üzere, niteleyici ayrımlar yapma imkânı beş sıfatla sağlanmıştır; eşit, zayıf, güçlü, çok güçlü, tam. Daha büyük kesinlik, doğruluk istendiğinde komşu davranışlar arasında uzlaşma sağlanabilir. Bütünlük 9 gerektirir ve bu değerler ardı ardına olabilir. Sonuç olarak, bulunan ölçek pratik olarak doğrulanabilir.
- Rakamları değerlendirmek için çoğu kez kullanılan pratik bir yöntem, hislerimizi üç kategoride sınıflandırmaktır. Bunlar, yüksek, orta ve düşük seviyeleridir. Daha detaylı bir sınıflandırma için ise bu kategorilerin her biri tekrar kendi içinde yüksek, orta ve düşük sınıflamasına tabi tutulur. Bunlardan da anlaşılır ki anlam farklılıkları her zaman 9 değişik türde ifade edilmektedir. Bu nedenle 9 rakamının üzerine çıkılmaması gerekmektedir.
- Anında yapılan karşılaştırmalarda 7 ± 2 tane maddenin psikolojik limiti şunu önerir; eğer birinci sebepte verilen tarife uygun 7 ± 2 tane madde ele alınır ve bunların hepsi birbirinden çok az farklı ise, bu farklılıkların gösterilebilmesi için dokuz noktaya ihtiyaç vardır. Bir kişi aynı anda 7 ± 2 durumu değerlendirebilir.

İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığının kontrol edilmesi

Probleme ilişkin, ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra bu matrislerin tutarlılıkları kontrol edilir. Tutarlılık oranının 0,10 ve daha yüksek çıkması durumunda, değerlendirmelerin tutarsız olduğu sonucuna ulaşılır. Dolayısıyla, elde edilen sonuçlar ile sağlıklı bir seçim yapılamayacağından sistemin daha kararlı hale getirilmesi için geri beslemeye ihtiyaç vardır. Hiyerarşinin yapısında değişikliğe gitmeden önce, ikili karşılaştırmalar kontrol edilmelidir. İkili karşılaştırmalarda yapılabilecek bazı düzeltmeler sonucunda, problemin tutarlılık oranı 0,10'un altına düşürülebilir.

Tutarlılık

Tutarlı olmak, rasyonel düşüncesinin bir önkoşulu olarak kabul edilir. Ancak uygulamada tam anlamıyla tutarlı olmak neredeyse imkânsızdır. Yeni bilgileri

öğrenmek ancak bir miktar tutarsızlığa izin vermekle mümkün olabilir. AHP, mükemmel tutarlılık talep etmemektedir. Tutarsızlığa izin vermekte ancak her yargılamada tutarsızlığın ölçümünü sağlamaktadır (Kuruüzüm ve Atsan, 2001: 85).

İkili karşılaştırmalarda verilen taş örneğindeki taşların ağırlıklarının tam olarak bilindiği varsayalım. Örneğin, A_1 ile A_2 'nin ağırlıklarını karşılaştırmak için önce A_1 tartılır (Örneğin $W_1 = 305$ gr. olsun). Sonra A_2 tartılır ($W_2 = 244$ gr.). Bu durumda $W_1 / W_2 = 1,25$ olacağından, " A_1 , A_2 'den 1,25 kat daha ağırdır" sonucuna varılır ($a_{12} = 1,25$). Bu işlem tam ve doğru ölçümün ideal durumudur ve A matrisi, W_i ağırlıkları ile a_{ij} yargısı arasında aşağıdaki basit ilişki kullanılarak elde edilmiştir (Erikan, 2002: 70).

$$W_i / W_j = a_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (1.4)$$

A matrisinin tüm a değerleri; W_i / W_j değerlerine eşit, pozitif ve $a_{ij} = 1 / a_{ji}$ özelliğine sahip değerler olacaktır. Diğer bir deyişle, taş ağırlıkları örneği ele alındığında $a_{12} = 1,25$ olarak bulunduğu anda $a_{21} = 1 / 1,25$ değerini alacaktır. Çünkü eğer A_1 taşı A_2 'den 1,25 kez daha ağır ise, A_2 taşı da A_1 taşının ağırlığının $1 / 1,25$ 'i kadar bir ağırlığa sahip olacaktır (Erikan, 2002: 70). Bu durumda eşitlik (1.5)'te görülen ifade sağlanmış olacağından, A matrisi aynı zamanda tutarlı da olacaktır.

$$a_{jk} = a_{ik} / a_{ij} \quad i, j, k = 1, \dots, n \quad (1.5)$$

Diğer bir deyişle A_1 taşı A_2 'den 1,25 kez; A_2 ise A_3 'ten 2,5 kez daha ağır ise A_1 taşı A_3 'ten $1,25 \times 2,5$ kez daha ağır olacaktır.

Karar matrisi A 'nın tutarlı olabilmesi için en büyük özdeğerin (λ_{\max}) matris boyutuna (n) eşit olması gerekmektedir.

$$\text{Tutarlılık İndeksi (CI)} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1.6)$$

Bazen yapılan hesaplamalarda $\lambda_{\max} = n$ eşitliğinin sağlanamadığı ancak, λ_{\max} değerinin n sayısına çok yakın olduğu durumlarda, sonuç sıfırdan farklı olacaktır. Bu

durumda karar vericinin fikri alınarak oluşturulan matrisin tutarlılığını ölçebilmek için, Oak Ridge Ulusal Laboratuvarlarında 1–9 arasında rasgele değerler verilerek oluşturulan çeşitli boyuttaki matrislerin (1–15 boyutlu) tutarlılık indeksleri hesaplanmış ve Tablo 1.3 oluşturulmuştur (Polat, 2000: 19).

Tablo 1.3. Rassal indeks

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

λ_{\max} değerinin n sayısına çok yakın olduğu durumlarda, karar vericinin fikri alınarak oluşturulan matrisin tutarlılığının kontrolünün yapılabilmesi için, sıfırdan farklı olarak elde edilen tutarlılık indeksi (CI), oluşturulan matrisin boyutuna göre tablodan alınacak değere bölünerek tutarlılık oranı elde edilir.

$$\text{Tutarlılık Oranı (CR)} = \frac{CI}{RI} \quad (1.7)$$

Karar matrisinin tutarlı olabilmesi için $CR < 0,10$ olması istenir. CR sıfıra yaklaştıkça karşılaştırma sonuçları daha tutarlı olacaktır.

Öncelik değerlerinin belirlenmesi

İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan ve matrislerin tutarlılıkları kontrol edildikten sonra karşılaştırılan elemanların öncelik değerleri bulunur. AHP yönteminde çözüm algoritması öncelik (öz değer) vektörünün bulunmasına dayanır. Hiyerarşideki tüm elemanların öncelik vektörleri hesaplandıktan sonra bu değerlerin birleştirilmesi yani sentezi gerçekleştirilir. Sentez aşamasında birleştirilecek öncelik vektörlerinin elde edilmesi için dört yöntem mevcuttur:

- **En basit yöntem:** İkili karşılaştırma matrisindeki her satırın toplamı bulunur ve her toplam, tüm satırların toplamına bölünür yani normalize edilir. Negatif kriterler için normalisasyon işleminde yapılan değerlendirmelerin çarpmaya göre tersleri alınarak hesaplama yapılır.

- Daha iyi yöntem: İkili karşılaştırma matrisindeki her sütundaki elemanların toplamı alınır ve bu toplamın eşlenikleri (1/sütun toplamı) bulunur. Normalisasyon işlemi ise her eşlenik bu eşleniklerin toplamına bölünür.
- İyi yöntem: Bu yöntem aşağıdaki adımlardan oluşur;
 1. *Adım:* İkili karşılaştırma matrisinin her bir sütununun toplamı hesaplanır.
 2. *Adım:* Her bir matris elemanı bu toplama bölünür ve elde edilen sonuç matrisi normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisidir.
 3. *Adım:* Normalize edilmiş matrisin satır elemanlarının ortalaması hesaplanır. Bu ortalamalar, birbiri ile karşılaştırılan seçeneklerin öncelikleri konusunda bir tahmin sağlar.
- En iyi yöntem: İkili karşılaştırma matrisindeki her satırdaki n eleman birbirleriyle çarpılır ve n. kökü bulunur. Elde edilen değerler normalize edilir.

Değerlendirme ve sonuç

İkili karşılaştırmalar sonucunda elde edilen öncelik değerleri birleştirilerek amaca ilişkin alternatiflerin öncelikleri elde edilir. Daha sonra, değerlendirilen kriterlerin öncelik değerleri ile alternatiflerin öncelik değerleri çarpılıp toplanarak birleştirme işlemi yapılır. Elde edilen sonuçlardan en yüksek değere sahip alternatif seçilir.

AHP yönteminde izlenecek adımlar şu şekilde özetlenebilir:

- Öncelikle problem tanımlanır.
- Sistem gözlemlendikten sonra, probleme uygun hiyerarşik yapı oluşturulur. Oluşturulan hiyerarşide en üst düzeyde ana hedef, orta seviyede kriter ve alt kriterler, en alt seviyede ise alternatifler yer almaktadır.
- Hiyerarşinin en üst düzeyinden başlanarak tüm kriter ve alt kriterler için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur.
- Oluşturulan karşılaştırma matrisleri normalize edilir.

- Normalize edilmiş matrisin tüm satırlarının ortalamaları alınarak öncelikler vektörü elde edilir.
- Öncelikler vektörü ile karşılaştırma matrisi çarpılarak bütün öncelikler matrisi elde edilir.
- $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ formülü ile tutarlılık indeksi hesaplanır.
- Tutarlılık oranının hesaplanabilmesi için karar alternatiflerinin sayısına karşılık gelen *RI* değeri tespit edilir.
- $CR = \frac{CI}{RI}$ formülü ile tutarlılık oranı hesaplanır. Eğer $CR < 0,10$ ise karar matrisi tutarlıdır. $CR > 0,10$ olması durumunda karşılaştırma matrisi tekrar gözden geçirilir ve matrisin tutarlı şekle getirilmesi için gerekli düzenlemeler yapılır.
- Tutarlılıkları kontrol edilen ikili karşılaştırmalardan elde edilen öncelik değerleri birleştirilerek amaca ilişkin alternatiflerin öncelikleri elde edilir.
- Değerlendirilen kriterlerin öncelik değerleri ile alternatiflerin öncelik değerleri çarpılıp toplanarak birleştirme işlemi yapılır. Elde edilen sonuçlardan en yüksek değere sahip alternatif seçilir.

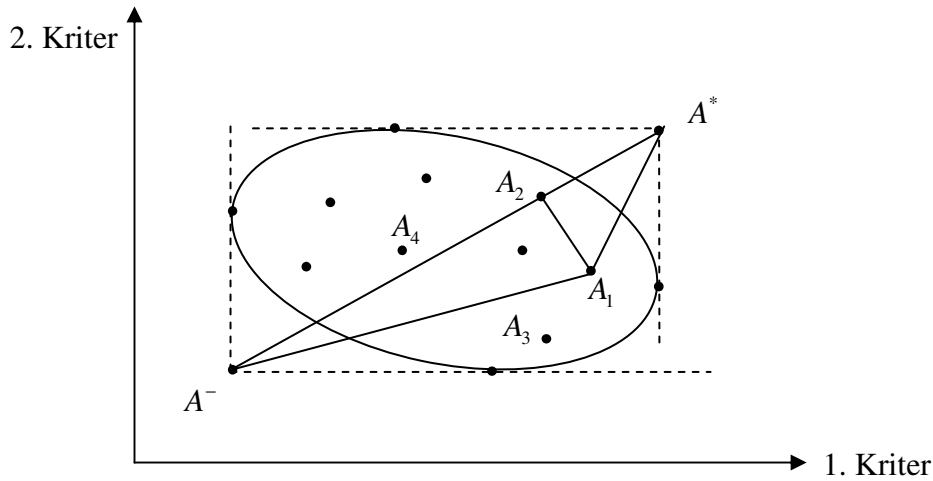
1.4.4. TOPSIS

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ilk kez Hwang ve Yoon (1981) tarafından çok kriterli karar verme problemlerini çözmek için geliştirilmiştir. Bu yöntem, seçilen alternatifin, pozitif ideal çözüme en yakın (PIS), negatif ideal çözüme (NIS) en uzak mesafede olması esasına dayanır. Tek bir kriterin verilen amaca ya da PIS'a en yakın uzaklıkta olması karar vericileri tatmin etmek için yeterli değildir. Uygulamada, mümkün olduğunca çok kâr sağlayan ve aynı zamanda riskten en fazla kaçınan kararı vermeye çalışırız. Ayrıca, pozitif ve negatif ideal çözümlerin referans noktası olarak seçilmesi uzun zamandır kabul görmektedir (Lai vd, 1994: 487).

TOPSIS yöntemi, sağlam temelli mantık yapısı, ideal ve ideal karşıtı çözümleri aynı zamanda dikkate alması ve kolay hesaplama prosedürü ile yaygın bir kullanım alanı olan bir yöntemdir (Karsak, 2002: 3172). Hedef programlama, bulanık programlama ve etkileşimli yöntemler pozitif ideal çözüme en yakın tek bir kriteri

dikkate alırken, TOPSIS yöntemi çok kriterli karar problemlerini çözmek için daha geniş uzlaştırıcı bir yol sağlar (Lai vd,1994: 498).

Bazen seçilen alternatif ya da karar PIS'a en yakın olmasına rağmen NIS'a diğer bazı alternatiflere göre daha yakın olabilir. PIS'a dayanan uzlaştırıcı çözüm, NIS'a dayanan çözüm ile aynı olmayabilir. Bu gibi durumlarda iki uzaklığı aynı anda dikkate almak gerekir (Lai vd, 1994: 489). Bu yüzden, ideal çözüme benzerlik hesaplanır. İdeal çözüme benzerlik, bu uzaklıkların ikisini de göz önünde bulundurmaktadır. Bu tanıma göre en büyük ideal çözüme benzerliğe sahip olan alternatif, en iyi alternatif olarak seçilecektir (Gürbüz vd, 2006: 428).



Şekil 1.2. İki boyutlu uzayda pozitif ve negatif ideal çözümler kümesi

Pozitif ideal çözüme en yakın çözüm, negatif ideal çözüme en uzak çözüm ile genellikle aynı olmasına rağmen bazen bu iki noktanın aynı nokta olmadığı durumlarda karşılaşılır. Örneğin Şekil 1.2'deki gibi A_1 ve A_2 gibi iki alternatif göz önüne alınırsa A_2 , A^* 'ya en yakın noktadır fakat A_1 de aynı zamanda A^- 'den en uzak noktadır.

Pozitif ve negatif ideal çözüm

Yatırımcıların kâr ve riske sahip olmaları gibi TOPSIS yönteminde de PIS ve NIS yer almaktadır. En iyi alternatifler ya da kararlar PIS'a en yakın ve NIS'dan en

uzak mesafede olanlardır. En iyi yatırımlar, en fazla kârı sağlayan ve en çok riskten kaçınanlardır (Lai vd, 1994: 489).

İdeal çözüm, tüm kriterler göz önüne alındığında seçilen alternatifin bu kriterleri ideal seviyelerde yerine getirmesidir. Bununla birlikte ideal çözüm uygulanamaz veya ulaşılamaz olabilir. Bu durumda yapılması gereken ideale en yakın noktanın seçilmesidir. İdeal nokta o andaki limitlere, teknolojik veya mali sınırlılıklara göre değişebilmektedir (Kim vd, 1997: 31).

TOPSIS yönteminde çözüme ulaşırken, alternatifler arasından pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme ise en uzak olan alternatif ön plana çıkartılır.

Pozitif ideal çözüm,

$$A^* = (v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*) \quad (1.8)$$

Burada v_j^* tüm mevcut alternatifler arasında en iyi olanıdır.

Negatif ideal çözüm,

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) \quad (1.9)$$

Burada v_j^- tüm mevcut alternatifler arasında en kötü olanıdır.

TOPSIS yöntemi ile karar problemimin ele alınmasında izlenecek adımlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Adım: Karar matrisinin normalize edilmesi

TOPSIS yönteminde, karar matrisinin normalizasyonunda vektör normalizasyonu kullanılır. Vektör normalizasyonu aşağıdaki eşitlik yardımıyla yapılır:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n \quad (1.10)$$

2. Adım: Ağırlıklı karar matrisinin oluşturulması

Alternatifin her kriterden aldığı değer, o kriterin ağırlığı ile çarpılır.

$$v_{ij} = w_{ij} \cdot r_{ij} \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (1.11)$$

3. Adım: Pozitif ve negatif ideal çözümlerin bulunması

A^* ve A^- ağırlıklı normalize matrisin elemanları arasından seçilir. J_1 fayda kriterleri kümesini, J_2 ise maliyet kriterleri kümesini göstermek üzere, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm aşağıdaki gibi bulunur:

$$\begin{aligned} A^* &= \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_j^*, \dots, v_n^*\} \\ &= \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J_2 \right) \mid i \in 1, \dots, m \right\} \end{aligned} \quad (1.12)$$

$$\begin{aligned} A^- &= \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} \\ &= \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J_2 \right) \mid i \in 1, \dots, m \right\} \end{aligned} \quad (1.13)$$

4. Adım: Ayrım ölçümlerinin hesaplanması

Ayrım ölçüsü, pozitif ideal çözüme ya da negatif ideal çözüme olan uzaklığı ifade eder. Alternatifler arasındaki uzaklık Öklit bağıntısı ile hesaplanabilir.

Pozitif ideal çözüme uzaklık:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad i = 1, \dots, m \quad (1.14)$$

Negatif ideal çözüme uzaklık:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, \dots, m \quad (1.15)$$

5. Adım: Pozitif ideal çözüme benzerliğin hesaplanması

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad i = 1, \dots, m \quad (1.16)$$

6. Adım: Tercih sıralamasının belirlenmesi

En yüksek C_i^* değerine sahip alternatif seçilir. Ya da C_i^* değerinin büyüklüğüne göre alternatifler arasında sıralama yapılır.

1.4.5. PROMETHEE

PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations) yöntemi Brans vd (1986) tarafından geliştirilmiş çok kriterli karar verme yöntemlerinden bir tanesidir. Çok kriterli analizler için önerilen diğer yöntemler ile kıyaslandığında, kavram ve uygulama bakımından daha kolay bir sıralama yöntemidir. Bu yöntem, birbiri ile çelişen birkaç kriterin göz önünde tutularak, sınırlı sayıda alternatifin sıralanmasının söz konusu olduğu problemlerde daha çok uygulanmaktadır (Goumas ve Lygerou, 2000: 607). PROMETHEE yöntemi, alternatifleri farklı tercih fonksiyonları temelinde değerlendirerek alternatiflere ilişkin kısmi önceliklerin ve tam önceliklerin elde edilmesini sağlayarak ayrıntılı analizlerin yapılmasını sağlamaktadır (Dağdeviren ve Eraslan, 2008: 70) PROMETHEE yönteminde izlenecek adımlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Adım: Her kriter için, alternatifler ikişerli kıyaslanır. Tercih düzeyi $[0,1]$ aralığında bir sayı ile ifade edilir. (0, fark olmaması durumunda ya da tercih olmaması durumunda kullanılırken, 1 kesin tercih için kullanılır) Performans farkına ilişkin tercihi belirten fonksiyona “genel kriter” denir ve karar verici tarafından belirlenir.

2. Adım: Her kriter için birinci adımda hesaplanan ilgili tercihlerin ağırlıklı ortalaması alınarak, her bir alternatifin çok kriterli tercih indeksi oluşturulur. $[0,1]$ aralığında yer alan tercih indeksi $\Pi(\alpha,\beta)$, tüm kriterler göz önüne tutularak α alternatifinin β alternatifine tercih durumunu ifade eder. Ağırlık faktörleri her kriterin göreceli önemini ifade eder ve karar verici tarafından belirlenir.

3. Adım: Alternatifler arasındaki sıralamaya, şu değerler dikkate alınarak ulaşılır:

- $\Pi(\alpha,i)$ indekslerin toplamı α alternatifinin diğer tüm alternatifler üzerindeki tercih durumunu ifade eder. ϕ^+ çıkış akışı olarak adlandırılır ve α alternatifinin

diğer alternatiflere göre ne kadar üstün olduğunu gösterir. Alternatiflerin daha yüksek çıkış akışına sahip olmaları daha üstün olduklarının göstergesidir.

- $\Pi(i, \alpha)$ indekslerinin toplamı tüm alternatiflerin α ile kıyaslandıklarında tercih edilme düzeylerini gösterir. φ^- giriş akışı olarak adlandırılır ve diğer alternatiflerin α alternatifine ne kadar üstün olduğunu gösterir. Daha az giriş akışına sahip alternatif daha üstündür (Goumas ve Lygerou, 2000: 607).

Özetlenecek olursa PROMETHEE yöntemi şu aşamalardan oluşmaktadır:

- Genel kriterin seçilmesi
 - Üstünlük ilişkilerinin belirlenmesi
 - Tercihlerin değerlendirilerek alternatifler arasındaki sıralamaların belirlenmesi
- PROMETHEE yönteminde çok kriterli karar problemi şu şekilde tanımlanır:

$$\text{Max}\{f_1(a), \dots, f_k(a) \mid a \in K\} \quad (1.17)$$

burada K alternatiflerin sonlu kümesini ve $f_i, i = 1, \dots, k$ maksimize edilecek k tane kriteri göstermektedir (Brans vd, 1986: 228).

f gerçek değerli kriter olmak üzere; $f : K \rightarrow R$ 'nin maksimize edilmesi gerektiği varsayılarak; her $a \in K$ alternatif için $f(a)$ bu alternatifin değerlendirme sonucunu gösterir. İki alternatifin $a, b \in K$ karşılaştırılmasıyla elde edilen sonuçlar, tercih edilme bakımından kıyaslamayı ifade etmelidir. Bu yüzden tercih fonksiyonu \mathcal{P} şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\mathcal{P} = K \times K \rightarrow (0,1)$$

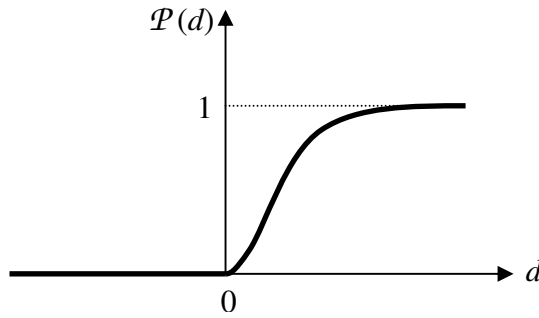
Tercih fonksiyonu, a alternatifinin b alternatifine karşı tercih edilme düzeyini gösterir:

- $\mathcal{P}(a, b) = 0$ a ve b arasında fark olmadığını gösterir.
- $\mathcal{P}(a, b) \approx 0$ a 'nın b 'ye zayıf tercih edildiğini gösterir.
- $\mathcal{P}(a, b) \approx 1$ a 'nın b 'ye güçlü tercih edildiğini gösterir.
- $\mathcal{P}(a, b) = 1$ a 'nın b 'ye tam (mutlak) tercih edildiğini gösterir.

Uygulamada, bu tercih fonksiyonları iki değerlendirme arasındaki farkın fonksiyonudur. Bu yüzden, bu durum şu şekilde ifade edilebilir:

$$\mathcal{P}(a,b) = \mathcal{P}(f(a) - f(b)) \quad (1.18)$$

Bu fonksiyonun grafiği Şekil 1.3’de görülmektedir. Tercih fonksiyonu azalmayan bir fonksiyondur ve $d = f(a) - f(b)$ eşitliğinin negatif değerleri için sifıra eşittir. Her kriter “ f ” için f ile tanımlanmış genel bir kriter ve ilgili bir tercih fonksiyonu “ \mathcal{P} ” dikkate alınır (Brans vd, 1986: 229).



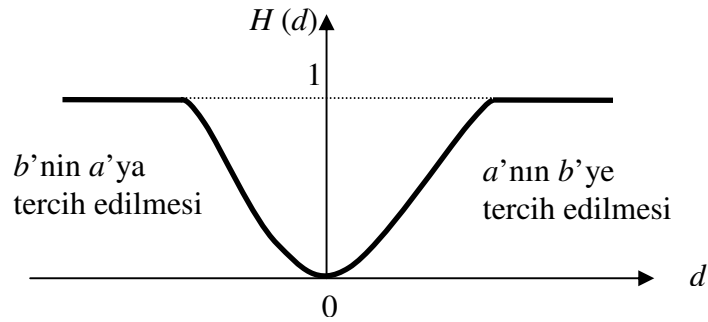
Şekil 1.3. Tercih fonksiyonu $\mathcal{P}(d)$

Uygulamalar için önerilmiş genel kriterler

Bu bölümde altı çeşit genel kriter ele alınmıştır. Bu kriterler, çok geniş kapsamlı olmasa da birçok durum için yeterli olmaktadır. Tercih fonksiyonu ile doğrudan ilgili $H(d)$ fonksiyonu şu şekilde tanımlanmıştır:

$$H(d) = \begin{cases} P(a,b), & d \geq 0 \\ P(b,a), & d \leq 0 \end{cases} \quad (1.19)$$

Bu fonksiyon Şekil 1.4’de görülmektedir.

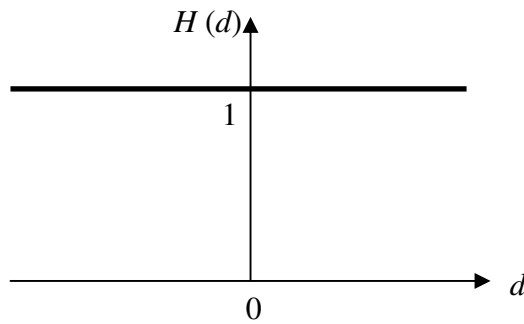


Şekil 1.4. $H(d)$ fonksiyonu

- *Olağan kriter*

$$H(d) = \begin{cases} d = 0 & \text{ise, } 0 \\ d \neq 0 & \text{ise, } 1 \end{cases} \quad (1.20)$$

Bu kriterde $f(a) = f(b)$ olması durumunda “ a ve b alternatifleri farksızdır” denilebilir. İki alternatifin farklı olması durumunda ise karar verici alternatiflerden birini diğerine mutlak tercih etmektedir. H fonksiyonu, Şekil 1.5’te görülmektedir. Bu durumda parametre tanımlamaya gerek yoktur.



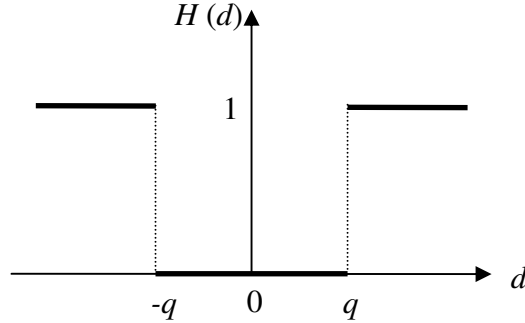
Şekil 1.5. Olağan kriter

- *U şeklinde kriter*

$$H(d) = \begin{cases} -q \leq d \leq q & \text{ise, } 0 \\ d < -q \text{ veya } d > q & \text{ise, } 1 \end{cases} \quad (1.21)$$

Şekil 1.6’da görüldüğü gibi, iki altanetif farksızlık eşiğini (q) aşmadığı sürece karar verici için farksızdır. Farksızlık eşiğini aşması durumunda tam tercih söz

konusudur. Eğer karar verici bu kriteri kullanmak isterse, q değerini belirlemek durumundadır. q , iki değerlendirme arasında bir değerdir ve karar verici bu değer altındaki alternatifleri farksız olarak ele alır.

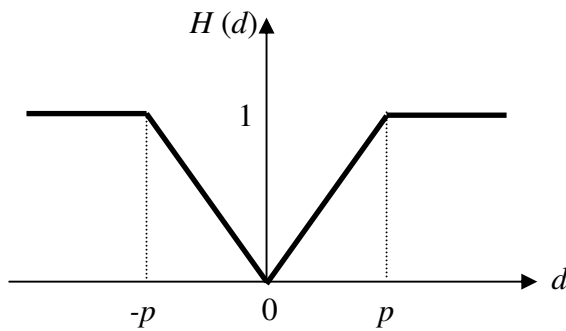


Şekil 1.6. U şeklinde kriter

- *V şeklinde kriter (Doğrusal tercihli kriter)*

$$H(d) = \begin{cases} -p \leq d \leq p & \text{ise, } d/p \\ d < -p \text{ veya } d > p & \text{ise, } 1 \end{cases} \quad (1.22)$$

Bu kriter için, d değeri p değerinden küçük olduğu sürece karar vericinin tercihi d ile doğru orantılı olarak artacaktır. Eğer d , p değerinden daha büyük bir değer alırsa, alternatifler arasında tam tercih söz konusu olacaktır. Bu durum Şekil 1.7'de görölmektedir.



Şekil 1.7. V şeklinde kriter

Bu kriterde, karar verici tercih eşiğini (p) belirlemelidir. Tercih eşiğinin üzerindeki değerler için ilgili alternatiflerden birinin tam tercihi söz konusudur.

Kriterlerin özelliklerine göre dikkate alınan iki çeşit eşik söz konudur:

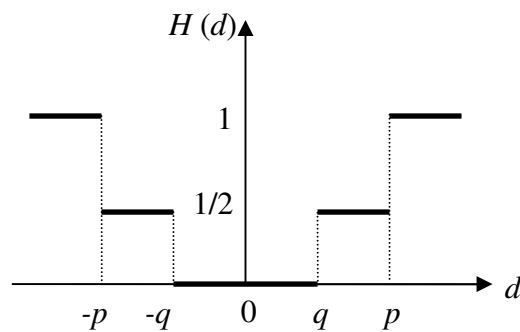
- Farksızlık eşiği (q): Farksızlık eşiğinin altındaki değerler için alternatiflerin birbirinden farksız olduğu kabul edilir.
- Tercih eşiği (p): Tercih eşiği üzerindeki değerler için alternatiflerden biri diğerine tam (mutlak) tercih edilmektedir.

Pratikte bu iki eşik değeri eşit değildir. Bu yüzden aşağıda belirtilen seviye kriteri ile doğrusal kriter tanımlanmıştır.

- *Seviye kriteri*

$$H(d) = \begin{cases} |d| \leq q & \text{ise, } 0 \\ q < |d| \leq p & \text{ise, } 1/2 \\ p < |d| & \text{ise, } 1 \end{cases} \quad (1.23)$$

Bu kriter için farksızlık eşiği (q) ve tercih eşiği (p) tanımlanmalıdır. d , p ve q değerleri arasında yer alırsa, zayıf tercih söz konusudur. ($H(d) = 1/2$). Bu fonksiyon Şekil 1.8'de görülmektedir ve bu durumda karar vericinin tanımlaması gereken iki eşik bulunmaktadır (Brans, 1986: 230).

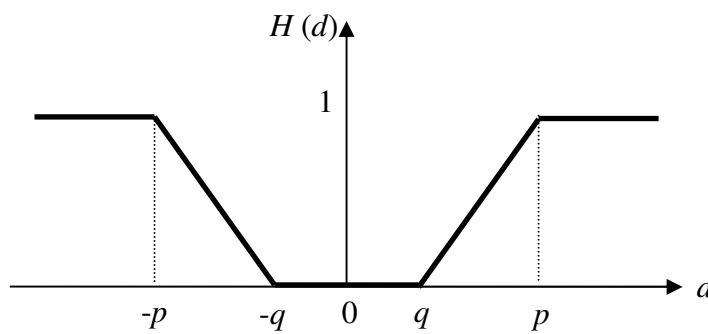


Şekil 1.8. Seviye kriteri

- **Doğrusal kriter**

$$H(d) = \begin{cases} |d| \leq q & \text{ise,} & 0 \\ q < |d| \leq p & \text{ise,} & (|d| - q)/(p - q) \\ p < |d| & \text{ise,} & p < |d| \end{cases} \quad (1.24)$$

Doğrusal kriterde karar verici, q ve p eşikleri arasındaki alanda farksızlıktan mutlak tercihe kadar tercihin doğrusal olarak arttığını düşünür. Burada karar verici tarafından p ve q olmak üzere iki parametre tanımlanmalıdır. H fonksiyonu Şekil 1.9'da görülmektedir.

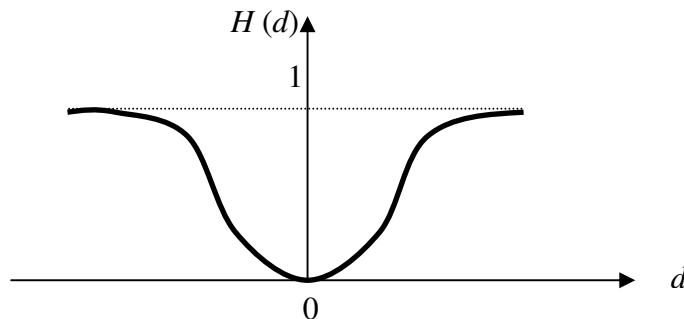


Şekil 1.9. Doğrusal kriter

- **Gaussian kriter**

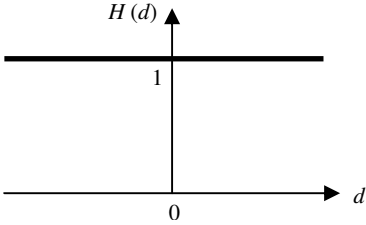
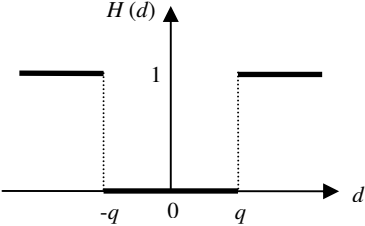
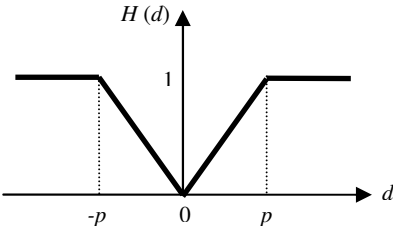
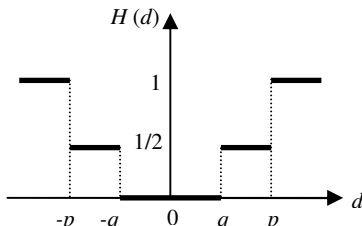
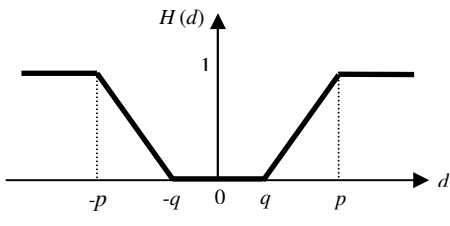
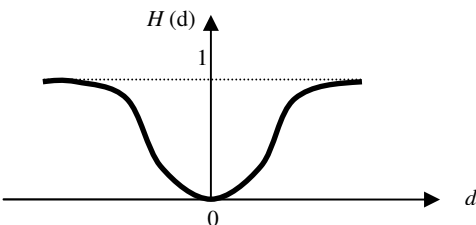
$$H(d) = 1 - \exp\{-d^2/2\sigma^2\} \quad (1.25)$$

Gaussian kriter Şekil 1.10'da görüldüğü gibidir. Bu kriter için sadece σ değerinin tanımlanması gereklidir. Bu da istatistikteki normal dağılım yardımıyla kolaylıkla belirlenebilir.



Şekil 1.10. Gaussian kriter

Tablo 1.4. Genel kriterlerin altı çeşidi (Brans vd, 1986: 231)

<i>Genel Kriterin Tipi</i>	<i>Parametreler</i>
Olağan Kriter	-
	
U Şeklinde Kriter	q
	
V Şeklinde Kriter	p
	
Seviye Kriteri	q, p
	
Doğrusal Kriter	q, p
	
Gaussian Kriter	σ
	

Tablo 1.4’de genel kriter çeşitleri ve karar vericinin bu kriterleri kullanacağı zaman belirlemesi gereken parametreler görülmektedir. Bu tablo yardımıyla karar verici tercihlerine uygun $H(d)$ fonksiyonunu kolaylıkla seçebilir ve hangi parametreleri belirlemesi gerektiğini görebilir.

Çok kriterli tercih indeksi

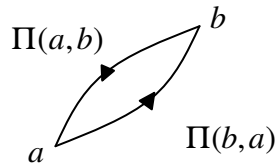
Karar vericinin, $Max\{f_1(a), \dots, f_k(a) | a \in K\}$ problemi için tercih fonksiyonu (P_i) ve problemin her kriteri ($f_i (i = 1, \dots, k)$) için ağırlıkları (π_i) belirlediği varsayalım. Burada ağırlık π_i , kriter f_i ’nin göreceli öneminin ölçüsüdür. Eğer karar verici için tüm kriterler eşit öneme sahipse, ağırlıklar da eşit olacaktır. Daha sonra, tercih fonksiyonlarının (P_i) ağırlıklı ortalaması alınarak çok kriterli tercih indeksi (Π) şu şekilde tanımlanır:

$$\Pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^k \pi_i P_i(a, b)}{\sum_{i=1}^k \pi_i} \quad (1.26)$$

$\Pi(a, b)$ değeri karar verici için a alternatifinin b alternatifi üzerindeki tercihinin şiddetini gösterir. $\Pi(a, b)$, 0 ile 1 arasında değer alır.

- $\Pi(a, b) \approx 0$ tüm kriterler için a ’nın b ’ye zayıf tercih edildiğini gösterir.
- $\Pi(a, b) \approx 1$ tüm kriterler için a ’nın b ’ye güçlü tercih edildiğini gösterir.

Bu tercih indeksi, alternatiflerin K kümesi üzerinde değerlendirilmiş bir sıralamasını belirler. Bu ilişki, değerlendirilmiş üstünlük sıralaması şeması ile temsil edilebilir. Bu şemanın düğümleri K kümesinin alternatiflerini gösterir. a ve b gibi iki düğüm arasında Şekil 1.11’de görüldüğü gibi $\Pi(a, b)$ ve $\Pi(b, a)$ değerli iki tane ok yer alır.



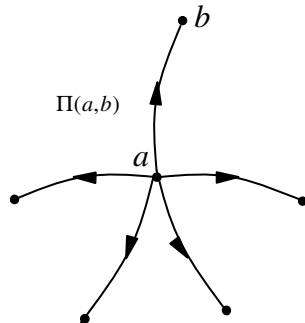
Şekil 1.11. Üstünlük sıralamasını gösteren şema

PROMETHEE yöntemine göre sıralamalar

Üstünlük sıralaması şemasında her a düğümü için çıkış akışı şu şekilde tanımlanır:

$$\varphi^+(a) = \sum_{b \in k} \Pi(a,b) \quad (1.27)$$

Çıkış akışı a düğümünden çıkan okların değerlerinin toplamına eşittir. Bu yüzden a 'nın üstünlük niteliği hakkında bir ölçü sağlar. Bu durum Şekil 1.12'de görülmektedir (Brans vd, 1986: 232).

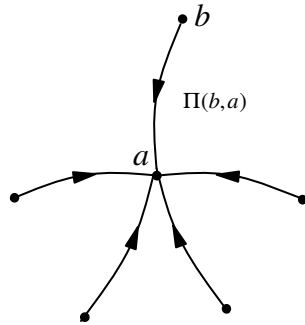


Şekil 1.12. Çıkış akışlarını gösteren şema

Simetrik olarak giriş akışı şu şekilde tanımlanır:

$$\varphi^-(a) = \sum_{b \in k} \Pi(b,a) \quad (1.28)$$

Giriş akışı a 'nın üstünlük sıralamasının niteliğini ölçer. Bu durum Şekil 1.13'de görülmektedir.



Şekil 1.13. Giriş akışlarını gösteren şema

Daha sonra net akış şu şekilde hesaplanır:

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a) \quad (1.29)$$

PROMETHEE I

Çıkış akışının daha yüksek ve giriş akışının daha düşük olması, alternatifin daha iyi olduğunun göstergesidir. PROMETHEE I yönteminde giriş ve çıkış akışları dikkate alınarak alternatifler arasında kısmi sıralama belirlenebilmektedir. a alternatifi, b alternatifine şu durumlarda tercih edilmektedir (aP_1b):

$$\begin{aligned} \varphi^+(a) > \varphi^+(b) \quad \text{ve} \quad \varphi^-(a) < \varphi^-(b); \text{ veya} \\ \varphi^+(a) > \varphi^+(b) \quad \text{ve} \quad \varphi^-(a) = \varphi^-(b); \text{ veya} \\ \varphi^+(a) = \varphi^+(b) \quad \text{ve} \quad \varphi^-(a) < \varphi^-(b). \end{aligned} \quad (1.30)$$

PROMETHEE I yönteminde, alternatifler farksız ya da kıyaslanamaz olarak değerlendirilebilmektedir. Eşitlik (1.31)'in sağlanması durumunda a ve b alternatifleri farksızdır (aI_1b).

$$\varphi^+(a) = \varphi^+(b) \quad \text{ve} \quad \varphi^-(a) = \varphi^-(b) \quad (1.31)$$

Ayrıca eşitlik (1.32)'in sağlanması durumunda, a ve b alternatifleri kıyaslanamazdır.

$$\begin{aligned} \varphi^+(a) > \varphi^+(b) \quad \text{ve} \quad \varphi^-(a) > \varphi^-(b) \\ \varphi^+(a) < \varphi^+(b) \quad \text{ve} \quad \varphi^-(a) < \varphi^-(b) \end{aligned} \quad (1.32)$$

PROMETHEE II

PROMETHEE II yönteminde net akışlar kullanılarak alternatifler arasında tam bir sıralamaya ulaşılabilmektedir. Daha yüksek net akışa sahip alternatif, diğer alternatiflerden üstün olacaktır. a alternatifi, b alternatifine şu durumda tercih edilmektedir ($aP_{II}b$):

$$\varphi(a) > \varphi(b) \quad (1.33)$$

Ayrıca eşitlik (1.34)'ün sağlanması durumunda a ve b alternatifleri ($aI_{II}b$) farksızdır.

$$\varphi(a) = \varphi(b) \quad (1.34)$$

Karar verici açısından tam bir sıralama yapmak daha kolay olmasına rağmen, kısmi sıralama daha gerçekçi bilgiler içerir. Özellikle iki alternatif kıyaslanamaz ise net akışları dikkate alarak sıralama yapmak tam olarak doğru sonucu vermez (Brans vd, 1986: 233).

PROMETHEE III

PROMETHEE III yönteminde, her bir olay $[x_a, y_a]$ aralığına ilişkilendirilir ve tam bir aralık sıralaması elde edilir (Cavalcante ve Almeida, 2007: 391). PROMETHEE III yöntemine göre, a alternatifi, b alternatifine şu durumda tercih edilmektedir ($aP_{III}b$):

$$x_a > y_b \quad (1.35)$$

Ayrıca eşitlik (1.36)'nın sağlanması durumunda a ve b alternatifleri ($aI_{III}b$) farksızdır.

$$x_a \leq y_b \quad \text{ve} \quad x_b \leq y_a \quad (1.36)$$

$[x_a, y_a]$ aralığı şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\begin{cases} x_a = \bar{\varphi}(a) - \alpha\sigma_a \\ y_a = \bar{\varphi}(a) + \alpha\sigma_a \end{cases} \quad (1.37)$$

Burada n olay sayısını göstermek üzere;

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\varphi}(a) = \frac{1}{n} \sum_{b \in A} (\Pi(a,b) - \Pi(b,a)) = \frac{1}{n} \varphi(a) \\ \sigma_a^2 = \frac{1}{n} \sum_{b \in A} (\Pi(a,b) - \Pi(b,a) - \bar{\varphi}(a))^2 \\ \alpha > 0 \end{array} \right. \quad (1.38)$$

PROMETHEE yönteminin diğer yöntemlere göre bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Bu üstünlükler şu şekilde açıklanabilir:

- PROMETHEE yöntemi her kriterin karar vericiler tarafından belirlenmiş tercih fonksiyonunu dikkate alır. Böylece her kriter farklı bir şekilde değerlendirilebilir. Bu da daha iyi bir karara ulaşmayı sağlar.
- PROMETHEE I yöntemi ile birbiri ile kıyaslanması mümkün olmayan alternatifler belirlenerek kısmi sıralama belirlenebilir (Dağdeviren, 2008: 9).
- Decision Lab¹ paket programı yardımıyla alternatifler arasındaki kısmi ve tam sıralamaya kolaylıkla ulaşılabilir.
- Ayrıca PROMETHEE I, PROMETHEE II ve PROMETHEE III yöntemlerine ek olarak PROMETHEE IV ve PROMETHEE V yöntemleri de geliştirilmiştir. PROMETHEE IV yöntemi çok amaçlı karar verme problemleri ile ilgilidir ve sınırsız sayıda olayı değerlendirebilmektedir. PROMETHEE V yöntemi ise kümelerde gruplanmış sınırlı sayıda alternatifini değerlendirmede kullanılmaktadır.

1.4.6. ELECTRE

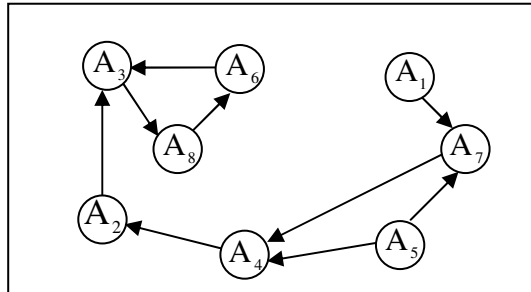
ELECTRE (**EL**imination **Et** Choix Traduisant la **RE**alité) yöntemi ilk kez Roy (1971) tarafından ortaya atılmıştır. Daha sonra bu yöntem, Nijkamp ve Van Delft (1977) ve Voogd (1983) tarafından geliştirilmiştir. ELECTRE yöntemi seçim gerektiren sorunların çözümü için tasarlanmıştır. ELECTRE yönteminin esası, tercih edilen ve edilmeyen alternatifler arasında üstünlük ilişkisi kurulmasına dayanır. Yöntemin temelini, üstünlük ilişkisi ve Kernel (çekirdek) oluşturur. ELECTRE yönteminde üstünlük ilişkisinin kurulabilmesi için uyum ve uyumsuzluk indeksleri oluşturulur. Bu indeksler, hangi alternatifin daha baskın olduğunun seçilmesini sağlayan tatmin veya tatminsizliğin ölçüsünü gösterir (Menteş, 2000: 18).

¹ <http://www.visualdecision.com>

ELECTRE, öne geçme veya baskınlık ilişkisine dayanan bir yöntemdir, her bir ölçüt için bir verimlilik bir de önem ölçüsü tespit edilir. Tayin edilen verimlilik ölçüleri üzerinden her bir seçeneğe not verilir (Karacasu ve Yayla, 2004: 64).

Üstünlük ilişkisi

A_p ve A_q gibi iki alternatif için, üstünlük ilişkisi şu şekilde gösterilir: Eğer A_p , A_q 'ye üstünlük sağlamışsa $A_p \rightarrow A_q$ olarak ifade edilir. Alternatiflerin birbirlerine üstünlük sağlayabilmeleri için mutlaka baskın olmaları gerekmez. $A_p \rightarrow A_q$ ifadesi, ne A_p ne de A_q diğerine baskındır ama A_p 'nin, A_q 'den daima iyi olduğu kabul edilerek belirli bir risk alınabilir anlamında kullanılabilir. Tercih edilen ve edilmeyen alternatiflerin belirlenmesi için tüm alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır. Tüm karşılaştırmalar yapıldıktan sonra baskınlık diyagramı çizilir. Şekil 1.14'de altı alternatif için üstünlük ilişkisi görülmektedir (Menteş, 2000: 19).



Şekil 1.14. Altı alternatif için üstünlük ilişkisi diyagramı

Şekil 1.14'de görüldüğü gibi her düğüm bir alternatifi, kullanılan ok işaretleri ise alternatiflerin ikili karşılaştırmalarını gösterir. Okun başlangıcında bulunan alternatif, okun işaret ettiği alternatife üstünlük sağlamaktadır. Buna göre, $(A_1 \rightarrow A_7)$, $(A_2 \rightarrow A_3)$, $(A_3 \rightarrow A_8)$, $(A_4 \rightarrow A_2)$, $(A_5 \rightarrow A_4)$, $(A_5 \rightarrow A_7)$, $(A_6 \rightarrow A_3)$, $(A_7 \rightarrow A_4)$, $(A_8 \rightarrow A_6)$ dir.

Kernel

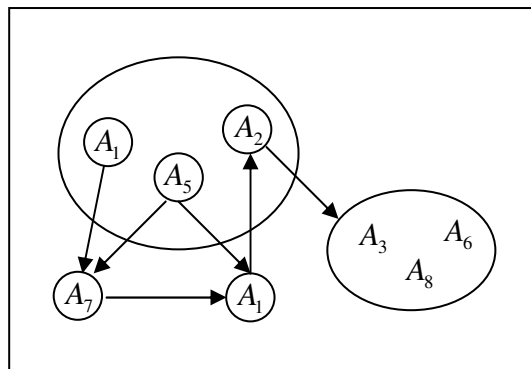
Kernel, ELECTRE tarafından belirlenen tercih edilen alternatifler kümesidir. Bu kümelerin oluşturulabilmesi için üstünlük ilişkisi diyagramında, Kernel içindeki her

hangi bir düğüme Kernel içindeki hiçbir düğüm birbirine üstünlük sağlamamalıdır. Kernel dışındaki her düğüme, Kernel içindeki en az bir düğüm üstünlük sağlamalıdır (Menteş, 2000: 20).

ELECTRE yöntemi ile seçilen alternatifler bir kernel oluşturmaktadır. Kernel K aşağıdaki iki duruma göre oluşturulur:

- Kernelin içindeki bir nokta (alternatif) Kernelin içinde bulunan diğer noktaya (alternatife) göre daha baskın değildir. Yani tercih edilmemiş olması gerekir.
- K 'nın dışında bulunan bir nokta (alternatif) tercih sıralamasında K 'nın içindeki en az bir noktanın daha gerisindedir.

Bu koşulları sağlayan Kernel Şekil 1.15'de görülmektedir.



Şekil 1.15. Kernel

ELECTRE yönteminin adımları şu şekilde özetlenebilir:

1. Adım: Karar matrisinin (A) oluşturulması

Karar matrisinin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen alternatifler, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme faktörleri yer alır. A matrisi karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir. Karar matrisi şu şekilde gösterilir:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1.39)$$

A_{ij} matrisinde m alternatif sayısını, n değerlendirme faktörü sayısını verir.

2. Adım: Normalize karar matrisinin (X) oluşturulması

Normalize karar matrisi, A matrisinin elemanlarından yararlanarak hesaplanır. Maliyet ve fayda kriteri için farklı normalizasyon formülleri kullanılır. Maliyet kriterlerinin normalizasyonunda eşitlik (1.40) kullanılırken, fayda kriterlerinin normalizasyonunda eşitlik (1.41)'den yararlanır.

$$x_{ij} = \frac{1/a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m \left(\frac{1}{a_{kj}}\right)^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.40)$$

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.41)$$

Hesaplamalar sonunda X matrisi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1.42)$$

3. Adım : Ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması

Değerlendirme faktörlerinin karar verici açısından önemleri farklı olabilir. Bu önem farklılıklarını ELECTRE yönteminin çözümüne yansıtılabilmek için Y matrisi hesaplanır. Karar verici öncelikle değerlendirme faktörlerinin ağırlıklarını (w_i) belirlemelidir. Ağırlıklar toplamı bire eşit olmalıdır ($\sum_{i=1}^n w_i = 1$).

Daha sonra normalize edilmiş X matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılarak ağırlıklı normalize matris (Y) oluşturulur. Y matrisi aşağıda gösterilmiştir:

$$Y_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 x_{11} & w_2 x_{12} & \dots & w_n x_{1n} \\ w_1 x_{21} & w_2 x_{22} & \dots & w_n x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_1 x_{m1} & w_2 x_{m2} & \dots & w_n x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1.43)$$

4. Adım: Uyum ve uyumsuzluk kümelerinin belirlenmesi

Uyum ve uyumsuzluk kümeleri, karar vericinin iki alternatif arasında seçim yaparken hissettiği hoşnut ve hoşnutsuzluk ölçüsü olarak ele alınır. Uyum kümelerinin

belirlenebilmesi için Y matrisinden yararlanılır ve karar noktaları birbirleriyle değerlendirme faktörleri açısından kıyaslanır. Her ikili kıyaslama için kriterler iki ayrı kümeye ayrılır. A_p ve A_q ($1,2,\dots,m$ ve $p \neq q$) uyum kümesinde A_p , A_q 'ya tercih edilir. Bir başka deyişle; $C(p,q)$, A_p alternatifinin, A_q alternatifinden daha iyi veya aynı değere sahip olduğu ölçütlerin birleşimidir.

$$C(p,q) = \{ j, v_{pj} \geq v_{qj} \} \quad (1.44)$$

A_p , A_q 'dan daha kötü bir alternatif ise uyumsuzluk kümesi $D(p,q)$ oluşturulur.

$$D(p,q) = \{ j, v_{pj} < v_{qj} \} \quad (1.45)$$

ELECTRE yönteminde her uyum kümesine, bir uyumsuzluk kümesi karşılık gelir. Diğer bir deyişle uyum kümesi sayısı kadar uyumsuzluk kümesi sayısı vardır.

5. **Adım:** Uyum ve uyumsuzluk indekslerinin hesaplanması

Uyum matrisinin (C) oluşturulması için uyum kümelerinden yararlanılır. C matrisinin elemanları aşağıdaki formülde gösterilen ilişki yardımıyla hesaplanır.

$$C_{pq} = \sum_j w_{j^*} \quad (1.46)$$

j^* uyum kümesi $C(p,q)$ da yer alan faktörlerdir. Örneğin $C_{12} = \{1,3\}$ ise C matrisinin c_{12} elemanının değeri, $c_{12} = w_1 + w_3$ olacaktır. C matrisi eşitlik (1.47)'deki gibidir:

$$C = \begin{bmatrix} - & c_{12} & c_{13} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & - & c_{23} & \dots & c_{2m} \\ \vdots & & & & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (1.47)$$

Uyumsuzluk matrisinin (D) elemanları ise aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır:

$$D_{pq} = \frac{\left(\sum_{j=0} |v_{pj^0} - v_{qj^0}| \right)}{\left(\sum_j |v_{pj} - v_{qj}| \right)} \quad (1.48)$$

j^0 uyumsuzluk kümesi $D(p, q)$ da yer alan faktörlerdir.

D matrisi eşitlik (1.45)'te görülmektedir:

$$D = \begin{bmatrix} - & d_{12} & d_{13} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & - & d_{23} & \dots & d_{2m} \\ \vdots & & & & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & d_{m3} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (1.49)$$

6. Adım: Üstünlük karşılaştırmasının yapılması

C ve D değerlerinin ortalamaları alınarak \bar{C} ve \bar{D} değerleri hesaplanır. Eğer $C_{pq} \geq \bar{C}$ ve $D_{pq} \leq \bar{D}$ ise $A_p \rightarrow A_q$ dir. Yani p . birim q . birime göre üstündür. ELECTRE yöntemi ile seçilen alternatiflerin Kernel (çekirdek) oluşturma durumları incelenir.

7. Adım: Net uyum ve net uyumsuzluk indekslerinin hesaplanması.

Net uyum (C_p) ve net uyumsuzluk (D_p) indeksleri hesaplandıktan sonra, C_p değerleri büyükten küçüğe, D_p değerleri küçükten büyüğe sıralanır ve böylece nihai sıralama elde edilmiş olur.

$$C_p = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq p}}^m C_{pk} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq p}}^m C_{kp} \quad (1.50)$$

$$D_p = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq p}}^m D_{pk} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq p}}^m D_{kp} \quad (1.51)$$

ELECTRE yönteminde, ortalama C ve D değerlerinin kullanılması ve çekirdeğin içinde birden fazla alternatif olması durumunda seçimin nasıl yapılacağı sorun yaratmaktadır. Bu sorunu çözmek için ise *net uyum indeksi* ve *net uyumsuzluk indeksi* hesaplanır. Bu indeksler ile hangi alternatifin diğerine daha baskın olduğu bulunmaktadır. Net uyum indeks değeri en büyük, net uyumsuzluk indeksi ise en küçük olan alternatif çözüm kümesini oluşturmaktadır. Net uyum ve net uyumsuzluk indeksleri eşitlik (1.50) ve (1.51)'deki gibi hesaplanır. Daha sonra en büyük C ve en küçük D değeri seçilir.

İKİNCİ BÖLÜM

BULANIK MANTIK

Gerçek dünya karmaşıktır ve bu karmaşıklık, genel olarak belirsizlik ve kesin karar verilemeyeşten kaynaklanır. Birçok sosyal, iktisadi ve teknik konularda insan düşüncelerinin tam anlamı ile olgunlaşmamış olmasından dolayı belirsizlikler her zaman bulunur. İnsan tarafından geliştirilmiş olan bilgisayarlar, bu tür belirsizlikleri işleyemezler ve bilgisayarların çalışmaları için sayısal bilgiler gereklidir. Gerçek bir olayın tam olarak kavranılması insan bilgisinin yetersizliği nedeniyle tam anlamı ile mümkün olamayacağı için insan düşünce sisteminde ve zihninde bu gibi olayları yaklaşık düşünme ve eksiklik ya da belirsizlik içeren veri ile işlem yapabilme yeteneği vardır. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık kaynaklar adı verilir (Şen, 2004: 7). Bu tür tam ve kesin olmayan bilgilere dayanarak tutarlı ve doğru kararlar vermeyi sağlayan düşünme ve karar verme mekanizması bulanık mantık olarak adlandırılır (Allahverdi, 2002: 157). Bulanık mantık, modelleme ve hesap yaparken günlük konuşma dilinde geçen sözel belirsizlikleri işin içine katma imkânı sağlar. Gerçekte insan kararları belirsiz ve bulanıktır ve kesin sayısal değerlerle belirtmeye uygun değildir. Bu nedenle insan kararlarını modellemede sözel değişkenler kullanmak daha gerçekçi olacaktır. Bulanık mantığın diğer mantık sistemlerinden önemli bir farklılığı sözel değişkenlerin kullanılmasına izin vermesidir (Li ve Yang, 2004: 264). Bulanık mantığı diğer mantık sistemlerinden ayıran diğer bir özellik ise üçüncünün olmazlığı ilkesi ve çelişmezlik ilkesi olarak adlandırılan ve diğer mantık sistemleri için oldukça önemli olan, hatta temel kural denilebilecek iki özelliğin bulanık mantık için geçerli olamamasıdır. Bulanık mantıkta bir önerme aynı zamanda hem doğru hem yanlış olamaz denilemez. Bu durum, doğruluğun çok değerli oluşundan ve bu çerçevede “ve” bağlaçlarına

yüklenen anlamdan kaynaklanmaktadır. Bulanıklık bir önermeyle, değili arasındaki belirsizlikten kaynaklanır (Baykal ve Beyan, 2004a: 39).

Bir sistem hakkında ne kadar fazla öğrenerek bilgi sahibi olunursa, sistem daha iyi anlaşılabilir ve onun hakkındaki karmaşıklıklar da o derece azalır, fakat tamamen yok olmaz. İncelenen sistemlerin karmaşıklığı, az veya yeterli miktarda veri bulunmazsa bulanıklık o kadar etkili olacaktır. Bu sistemlerin çözümünün araştırılmasında bulanık olan girdi ve çıktı bilgilerinden, bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve yararlı çözüm çıkarımlarının yapılması yoluna gidilebilir (Şen, 2004: 8).

Bulanık mantık iki anlamda kullanılmaktadır. Dar anlamda bulanık mantık, klasik iki değerli mantığın genelleştirilmiş şeklidir. Geniş anlamda ise bulanık kümeleri kullanan bütün teorileri ve teknolojileri ifade etmektedir. Dar anlamda bulanık mantık, geniş anlamda bulanık mantığın bir dalını oluşturur. Diğer alanlar; bulanık kontrol, bulanık model tanımlama, bulanık aritmetik, bulanık matematiksel programlama, bulanık karar analizi, bulanık sinir ağları olarak sayılabilir. Tüm bu alanlarda, geleneksel siyah ve beyaz ikili üyelik kavramı, kısmi üyelik kavramına genelleştirilmiştir. Böylece, belirsiz kavramlar içeren insan bilgisini açıklamak kolaylaşmış ve gerçek hayat problemlerine daha etkin çözümler getirilebilmiştir (Yen ve Langari, 1999: 3–4).

2.1. BULANIK MANTIK KAVRAMI

Bulanık mantık kavramı, ilk kez 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından “Information and Control” dergisinde yayınlanan “Bulanık Kümeler” adlı makale ile ortaya atılmıştır. Bu makalede bulanık kümelerin tanımı, temel işlemleri, kavramları ve özellikleri verilmiştir. Zadeh (1965), gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelenmeye alınırsa, çözümün daha da bulanık hale geleceğini ifade etmiştir. Çünkü bilgi kaynaklarının tümünü insan aynı anda ve etkileşimli olarak kavrayamaz ve bunlardan kesin sonuçlar çıkaramaz. Burada bilgi kaynaklarının temel ve kesin bilgilere ilave olarak, özellikle sözel olan bilgileri de içerdiği vurgulanmalıdır. İnsan sözel düşünebildiğine ve bildiklerini başkalarına sözel ifadelerle aktarabildiğine göre bu ifadelerin kesin olması beklenemez (Şen, 2004: 7–8). Bulanık sistemlerin asıl

değerlendireceği alan, bu tür bilgilerin bulunması halinde çözüme ulaşmak için nasıl düşünüleceğidir. Bulanık mantıkta, herhangi bir problemin yaklaşık olarak modellenmesine ve matematiksel olarak karmaşık olmayacak çözümlerle denetim altına alınmasına çalışılmaktadır (Baykal ve Beyan, 2004a: 40).

Bulanık mantık yaklaşımı, makinalara insanların özel verilerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve önsözlerinden yararlanarak çalışabilme yeteneği verir. Bu yeteneği kazandırırken sayısal ifadeler yerine sembolik ifadeler kullanır. İşte bu sembolik ifadelerin makinalara aktarılması matematiksel bir temele dayanır. Bu matematiksel temel, bulanık kümeler kuramı ve bulanık mantıktır (Elmas, 2003a: 25). Bulanık mantık ilişki olarak makinaları ve ürünleri insanların yaptığı şekle benzeyen süreç bilgisi vasıtasıyla, bağımsız ve daha etkili bir şekilde işletmeyi mümkün kılar. Bulanık mantık, uzman tahminlerini ya da yaklaşımlarını kullanır, ayrıca hızlı, geniş, biraz ya da yeşile bakan mavi gibi öznel ya da bulanık kavramları içermeye kapasitesine sahiptir (Ertuğrul, 1996: 4). İnsan mantığı; açık, kapalı, sıcak, soğuk, 0 ve 1 gibi değişkenlerden oluşan kesin ifadelerin yanı sıra az açık, az kapalı, serin, ılık gibi ara değerleri de göz önüne almaktadır. Bulanık mantık klasik mantığın aksine iki seviyeli değil, çok seviyeli işlemleri kullanmaktadır (Elmas, 2003a: 26). Bir başka deyişle; bulanık mantık, doğruluğun veya yanlışlığın derecesini konu aldığı için iki seviyeli mantığın oldukça genişletilmiş hali olarak da düşünülebilir. Öyle ki, doğru ve yanlış arasında kısmen doğru ve kısmen yanlış kavramları da sokularak spektrum genişletilmiştir (Ertuğrul, 1996: 6).

İnsan beyninin muhakeme etme yeteneği bilgisayarlarınkinden farklıdır. Bilgisayarlar, muhakemede bulunurken siyah veya beyaz şeklinde ifadelere dayanan belirgin adımlar izlerler ve 0-1’li sistemi kullanırlar. İnsanlar ise sağduyularına dayanarak belirsizlik ve bulanıklık içeren ifadeler ile muhakemede bulunurlar. Bulanık veya gri durumlar, 0 ile 1 arasında değerler alır. İnsan beyni, bu bulanık modeller ile rahatlıkla çalışırken, bilgisayarlar için aynı durum geçerli değildir. Bulanık mantık yardımıyla, bu eksikliğin üstesinden gelinmeye çalışılmaktadır (Kosko, 1997: 3–4). Yalnız, bulanık mantığın da yapabilecekleri sınırlıdır. İnsan düşüncesinin ve yaratıcılığının bulanık mantık ile tümüyle taklit edilmesi imkânsızdır. Bununla birlikte bulanık mantık, bir durum için çözüm üretirken aynı durumlar için önceden tanımlanmış kuralları kullanır. Yani, teknik bir sistemin, belirli, kesin durumlarda

istenilen performansa ulaşması için gerekli kurallar tanımlanabilirse, bulanık mantık etkin bir biçimde bu bilgiyi çözüme çevirecektir (Öztürk, 1999: 37). Bulanık mantık özellikle anlaşılması güç ve yoruma dayanan çok karmaşık sistemlerde ve insan muhakemesine, algılamasına veya karar verme olgusuna dayanan süreçlerde çok faydalı olmaktadır (Tekeş, 2002: 86).

Bulanık mantığın en geçerli olduğu durumlardan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve yargılarına yer verilmesi, ikincisi ise insan kavrayış ve yargısına gerek duyan hallerdir (Ertuğrul ve Pelitli, 2008: 94). Bulanık mantıkta karşılaşılan her türlü sorunun karmaşık da olsa çözülebileceği anlamı çıkarılmamalıdır. Ancak en azından insan düşüncelerinin incelenen olayla ilgili olarak bazı sözel çıkarımlarda bulunması dolayısıyla en azından daha iyi anlaşılabilmesi sonucuna varılabilir (Şen, 2004: 10–11). Araştırmacıların bulanık sistemleri kullanması için genel olarak iki sebep sıralanabilir:

- Gerçek dünya olaylarının çok karmaşık olması nedeniyle bu olayların belirgin denklemler ile tanımlanarak kesinlikle kontrol altına alınması mümkün olmaz. Bunun sonucu olarak araştırmacı, kesin olmasa bile yaklaşık fakat çözülebilirliği olan yöntemlere başvurmayı tercih eder.
- Mühendislikte bütün teori ve denklemler gerçek dünyayı yaklaşık bir şekilde ifade eder. Birçok gerçek sistem doğrusal olmamasına rağmen bunların klasik yöntemlerle incelenmesinde doğrusallık kabulünü işin içine koymak için her türlü gayret sarf edilir (Şen, 2004: 17).

Bulanık mantığın ardındaki temel fikir, bir önermenin doğruluğunun, önermelerde kesin yanlış ve kesin doğru arasındaki sonsuz sayıda doğruluk değerlerini içeren bir kümedeki değerler, ya da sayısal olarak $[0,1]$ gerçel sayı aralığında ilişkilendirilen bir fonksiyon olarak kabulüdür (Baykal ve Beyan, 2004a: 39). Bulanık mantığın genel özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

- Bulanık mantıkta kesin nedenlere dayalı düşünme yerine yaklaşık değerlere dayanan düşünme kullanılır.

- Bulanık mantıkta her şey $[0,1]$ aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
- Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi sözel ifadeler şeklindedir.
- Bulanık çıkarım işlemi sözel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır.
- Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir.
- Bulanık mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur (Baykal ve Beyan, 2004a: 41).

Belirsizlik kavramı ve bulanık mantık

Günümüzde, belirsizliği istenilmeyen bir durum olarak gören ve karşılaşılan tüm durumlarda kaçınılması gerektiğini savunan geleneksel anlayıştan, belirsizlikle yaşamayı kabul eden ve bilimde bu durumdan kaçınılmasının mümkün olmadığını iddia eden alternatif bir bakış açısına doğru geçiş yaşanmaktadır. Belirsizlik sadece kaçınılması mümkün olmayan bir durum değil, aynı zamanda büyük bir yarar sağlayan ve üzerinde çalışılması gereken bir alandır. Belirsizlik iki başlık altında incelenebilir. Bunlar *rasgelelik* ve *bulanıklık*tır.

Rasgelelik; genel olarak olayın meydana gelmesindeki belirsizliğin sayısal ölçüsüdür. Rasgeleliğin en önemli özelliği, sonuçların ortaya çıkmasında tamamen şans olayının rol oynaması ve gerekli öngörülerin ve tahminlerin kesin bir doğrulukla önceden yapılamamasıdır. Ancak bilinen belirsizliklerin hepsi rasgele karakterde değildir. Sözel belirsizlikler *bulanıklık* adını alır. Bulanıklık belirsiz anlamlılık, değişik anlamlara gelebilme olarak tanımlanır. Ne kadar çok yetersiz veri varsa bulanıklık o kadar fazla olur. Rasgelelik, olayın oluşundaki kesin olmayışlığı ifade eder. Bulanıklık ise olayın olup olmadığını değil, hangi dereceye kadar olduğunu ölçer (Baykal ve Beyan, 2004a: 310-311). Bir başka deyişle; bulanıklık, bir olayın belirsizliğini tanımlarken, rasgelelik bir olayın meydana gelme olasılığını tanımlar (Ross vd, 2002: 31). Örneğin “yarın yağmur yağacak” ifadesinde olasılıklı bir durum söz konusu iken, “yaşlı insan” ifadesinde ise, “yaşlı” ifadesinden kaynaklanan bir bulanıklık söz konusudur. Ama her iki durumda da bir belirsizlik vardır (Aytaç, 2006: 52).

Zadeh 1965 yılında bulanık küme teorisini ortaya attığından beri, olasılık teorisi ile bulanık teori arasındaki ilişki tartışılmaktadır (Zimmermann, 1992: 109). Geçmişte,

belirsizliklerin işlenmesi ve anlamlı sonuçlara varılabilmesi için olasılık teorisi kullanılmıştır (Şen, 2004: 9). Fakat günlük hayatta karşılaşılan belirsizliklerin çoğu rasgele nitelikte değildir. Dildeki belirsizlik gibi rasgele olmayan belirsizlik içeren süreçler hakkında karar verirken, klasik teoriler yeterli olmamaktadır (Ross vd, 2002: 29). Rasgele karakterde olmayan olayların, örneğin sözel belirsizlikler halinde inceleme ve sonuç çıkarma işlemlerinde, olasılık teorisi ve istatistik gibi sayısal belirsizlikleri gerektiren metodolojiler kullanılamaz (Şen, 2004: 10). Bundan dolayı belirsizliği ele almada olasılık yöntemlerinin yanı sıra bulanık mantık, yapay sinir ağları gibi yaklaşık karar verme yöntemleri de kullanılmaya başlanmıştır.

Bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık teori belirsiz kavramların matematiksel olarak ifade edilmesidir. Bulanık teorideki başka bir yenilik ise kullanılan bilginin niteliğidir. Bulanık teori ölçmeye dayalı bilgi yerine algıya dayalı bilgiyi kullanır. Oysa olasılık teorisi algıya dayalı bilgiyi işleyememektedir. Çünkü olasılık teorisinde alguların anlamını gösterecek ve hesaba katacak bir mekanizma bulunmamaktadır. Buna karşılık bulanık teoride sayılarla yapılan hesaplama yerine kelimelerle yapılan hesaplama mümkündür. Bulanık teori ile olaylar daha gerçekçi ve sözel değişkenlerle açıklanabilir hale getirilebilir (Baykal ve Beyan, 2004a: 313).

Bulanık değerlendirme için bir ölçüm olan olasılık ile bulanık mantık arasındaki farklardan bazıları şu şekilde özetlenebilir (Nabiyev, 2003: 642):

- Sonlu bir evrensel kümede olasılıklar toplamı bire eşit olmakta, bulanık üyelik derecelerinde ise böyle bir durumun gerekliliği olmamaktadır.
- Olasılık, ayrık değerlere sahip olmakta, bulanık kümenin bireye ilişkin üyelik dereceleri süreklilik taşımaktadır. Örneğin bulanık kümelerde 70 kg birisi %100 normal ağırlıkta ise 71 kg için normalliğin derecesi kolaylıkla belirlenmektedir.
- Klasik olasılık hesapları, bireylerin tamamının temeline dayalıdır. Bulanık küme teorisinde ise bireyin üyelik derecesi, diğer bireylerin tamamının temeline ilişkin olmamakta, üyelikler bakımından farklar görülmektedir.

2.2. BULANIK MANTIĞIN TARİHÇESİ VE UYGULAMA ALANLARI

Bulanık mantık kavramı ilk kez Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya atıldıktan sonra, bu fikir batı dünyasında şüphe ile karşılanmış ve yoğun tenkit almıştır. Ancak, 1970 yılından sonra doğu dünyasında özellikle Japonya’da bulanık mantık ve sistem kavramlarına önem verilmiştir. Bunların teknolojik cihaz yapım ve işleyişinde kullanılması günümüzde tüm dünyada yaygın bir şekilde tanınmıştır (Şen, 2004: 8).

Bulanık mantığın ilk uygulaması, Mamdani tarafından 1974 yılında bir buhar makinasının bulanık denetiminin gerçekleştirilmesi olmuştur. 1980 yılında Hollandalı bir şirket çimento fırınlarının denetiminde bulanık mantık denetimini uygulamıştır. Daha sonra Fuji elektrik şirketi su arıtma alanları için kimyasal püskürtme aleti üzerine çalışmalar yapmıştır. 1987’de ikinci IFSA kongresinde ilk bulanık mantık denetleyicileri sergilenmiştir. Bu denetimler 1984 yılında araştırmalara başlayan Omron şirketinin yaptığı yedi yüzden fazla uygulamayı içermektedir. 1987 yılında ise Hitachi takımının tasarladığı Japon Sendai metrosu denetleyicisi çalışmaya başlamıştır. Bu bulanık mantık denetimi metroda daha rahat bir seyahat, düzgün bir yavaşlama ve hızlanma sağlamıştır (Elmas, 2003a: 27). 1988 yılında, Yamaichi menkul kıymetler firmasının geliştirdiği bulanık mantık temelli uzman sistem yardımıyla “Kara Pazar” adı verilen büyük çöküş on sekiz gün önceden tahmin edilebilmiştir. Portföyündeki hisse senetlerinin değerleri Nikkei ortalamasından genelde %40 fazla olmuştur. 1989 yılında Omron şirketi Japonya’nın Harumi şehrinde bulunan çalışma merkezinde yapmış olduğu depolama, tekrar etme ve bulanık sonuçlarını elde etmek için kullanılan bulanık mantığa dayanan bilgisayar çalışmalarını tanıtmıştır. Bu kadar başarılı uygulamanın sonucunda bulanık mantığa olan ilgi artmış ve 1989 yılında aralarında dünya devlerinin de bulunduğu elli bir firma tarafından LIFE laboratuvarları kurulmuştur.

Bulanık teori uygulamalarının ürünleri Japonya’da 1990 yılında tüketicilere sunulmuştur. Örneğin, bulanık denetimli çamaşır makinesi, bu makina çamaşırın cinsine miktarına, kirliliğine göre en etkili çamaşır yıkama ve su kullanım programını seçebilmektedir (Elmas, 2003a: 27). Bulanık mantığın uygulama alanlarına bazı örnekler Tablo 2.1’de görülmektedir (Menteş, 2000: 28).

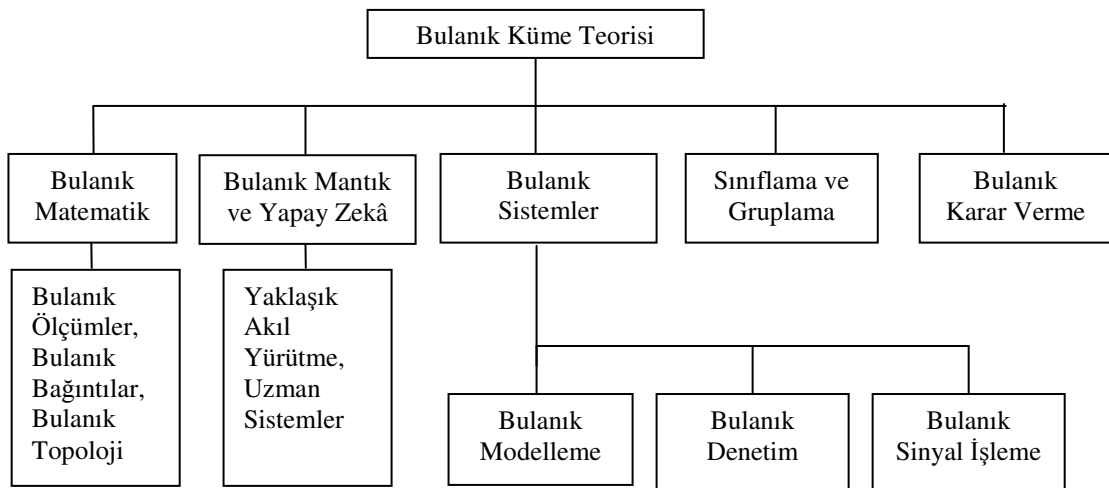
Tablo 2.1. Bulanık mantığın bazı uygulama alanları

Uygulama Alanı	Firma	Sonuç
Asansör Denetimi	Fujitec/ Toshiba	Yolcu trafiğini değerlendirir, böylece bekleme zamanı azalır.
Video Kayıt Cihazı	Panosonic	Cihazın elle tutulması nedeni ile çekim sırasında oluşan sarsıntılar ortadan kalkar.
Çamaşır Makinesi	Matsushita	Çamaşırın kirliliğini, ağırlığını, kumaş cinsini sezer ona göre yıkama programı seçer.
Elektrikli Süpürge	Matsushita	Yerin durumunu ve kirliliğini sezer, motor gücünü uygun bir şekilde ayarlar.
Su Isıtıcısı	Matsushita	Isıtmada kullanılan suyun miktar ve sıcaklığına göre ayarlar.
Klima Cihazı	Mitsubishi	Ortam koşullarını sezerek en iyi çalışma durumunu saptar.
ABS Fren Sistemi	Nissan	Tekerleklerin kilitlenmeden frenlenmesini sağlar.
Sendai Metro Sistemi	Hitachi	Hızlanma ve yavaşlamayı ayarlayarak rahat bir yolculuk sağlar. Durma pozisyonunu iyi ayarlayıp güçten tasarruf sağlar.
Çimento Sanayi	Mitsubishi Chem.	Değirmende ısı ve oksijen oranları için denetim yapar.
Televizyon	Sony	Ekran kontrastını, parlaklığını ve rengini ayarlar.

Bazı mühendislik projelerinde bulanık mantık güncel olarak kullanılmaktadır ve mühendisler, bulanık mantık değişkenleri ve terimlerini bir sistemin çalışmasını tanımlamakta kullanmaktadır. Örneğin, ‘hızlı’ terimi bir arabanın hızını belirtmek için bir bulanık mantık değişkeni olarak kullanılabilir. ‘Çok yavaş’, ‘yavaş’, ‘orta hızlı’ da bu değişkenlerin diğer terimleri olabilir. Güncel uygulamalardan birisi de bir sistemden bulanık mantığa uyarlamaktır. Kurallar sisteminin çalışmasını tanımlar ve bulanık mantık (veya sözel) terimleri ile ifade edilir. Örneğin eğer hız ‘fazla’ ve durulması gereken mesafe ‘orta uzun’ ise hızlanmayı ‘sıfıra yaklaştır’ ve ‘hafif’ fren yap gibi.

Buraya gelen bu türden kurallar sistem akışlarını, girişlerinin birer fonksiyonu olacak şekilde tanımlar (Ertuğrul, 1996: 6-7).

Bulanık mantıkla ilgili yöntem ve tekniklerin yaygın olarak kullanıldığı temel konular; görüntü işleme, sinyal işleme, denetleyici sistemler, uzman sistemler, veritabanları ve veri madenciliği olarak sıralanabilir (Baykal ve Beyan, 2004b: 132). Şekil 2.1’de bulanık mantık ve uygulamaları için bir sınıflama önerisi görülmektedir.



Şekil 2.1. Bulanık mantık ve uygulamaları için bir sınıflama önerisi (Baykal ve Beyan, 2004b: 132)

2.3. BULANIK KÜME TEORİSİ

Zadeh’e göre klasik sistem kuramının matematiksel yöntemleri, gerçek dünyadaki özellikle insanları içeren karmaşık sistemlerle uğraşırken yetersiz kalmaktadır. Bu durumun üstesinden gelebilmek için Zadeh (1965), niteliklerin üyelik fonksiyonlarıyla ifade edildiği bulanık kümeler tanımlamasını önermiştir. Bulanık küme, devamlı üyelik derecesine sahip nesnelere kümesidir. Bulanık küme, her nesneyi 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesine sahip üyelik fonksiyonu ile nitelendirmektedir (Zadeh, 1965: 338). Başka bir deyişle; bulanık küme, değişik üyelik derecesinde öğeleri olan bir topluluktur. Klasik küme teorisindeki siyah-beyaz ikili üyelik kavramını kısmi üyelik kavramına genelleştirir. Burada “0” değeri üye olmamayı, “1” değeri de tam üye olmayı belirtirken (0,1) arası değerler de kısmi üyelik kavramına karşılık gelir.

Klasik küme teorisinde kesin sınırlı küme kavramı kullanılır. Bu kavram bir nesnenin bir kümenin elemanı olması ya da olmaması gibi iki seçenekli bir mantığa dayanmaktadır (Baykal ve Beyan, 2004a: 74). Örneğin 6 gerçel sayısından büyük sayılardan oluşan A klasik kümesi şu şekilde ifade edilir:

$$A = \{ x \mid x > 6 \}$$

Burada, sınır net bir şekilde belirlidir. Eğer x sayısı 6'dan büyük ise x , A kümesine aittir. Aksi takdirde x bu kümeye ait değildir (Jang vd, 1997: 13).

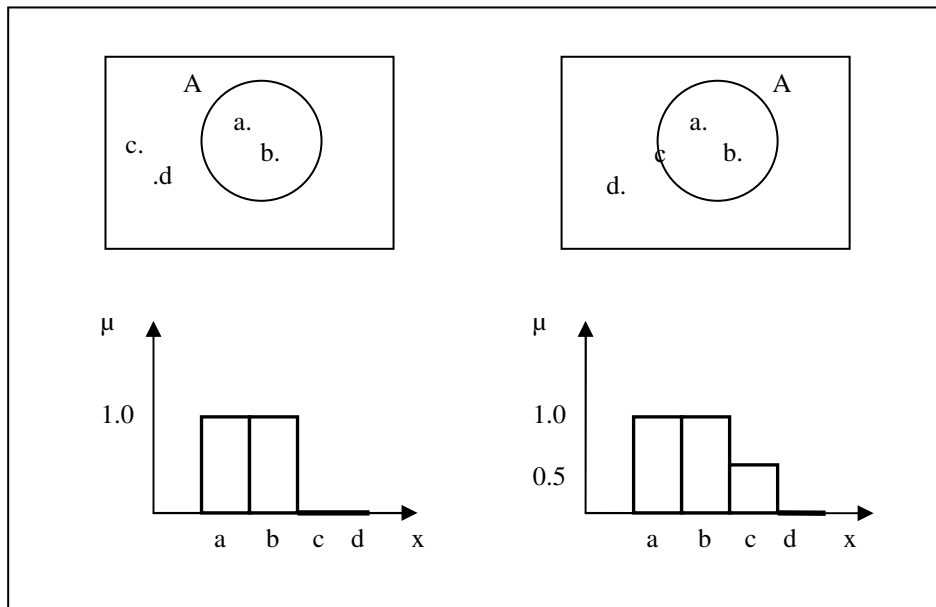
Klasik kümede nesnenin üyelik değeri 1 ise kümenin tam elemanı, 0 ise elemanı değildir. Başka bir deyişle klasik kümelerde, elemanların üyelikleri $\{0,1\}$ değerlerini alır (Elmas, 2003b: 29). Klasik küme A için üyelik fonksiyonu şu şekilde tanımlanır (Mendel, 2001: 19):

$$A \Rightarrow \mu = \begin{cases} x \in A \text{ ise,} & 1 \\ x \notin A \text{ ise,} & 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

Klasik küme teorisi, bir elemanın kümenin elemanı olma ya da olmaması temel kavramı üzerine kuruludur. Bu teoride, üye olma ile olmama arasında keskin, açıkça belirtilen bir ayırım söz konusudur. Diğer bir deyişle, bir nesnenin bir kümenin elemanı olup olmadığı sorulduğunda cevap “evet” ya da “hayır” olacaktır. Bu hem deterministik hem de stokastik durumlar için de geçerlidir. Olasılık teorisinde ve istatistikte, bir nesnenin bir kümeye üye olma olasılığının ne olduğu sorulduğunda cevap “Bu nesnenin bu kümeye üye olma olasılığı % 90'dır” şeklinde olabilmektedir. Bu durumda da sonuç “elemanıdır” ya da “elemanı değildir” şeklinde olacaktır. Klasik küme teorisinde, bir elemanın hem üye hem de üye olmama durumu söz konusu olamaz. Bu yüzden gerçek hayattan birçok uygulama problemi klasik küme teorisi ile açıklanıp ele alınamaz. Bu durumun tersine, bulanık küme teorisi kısmi üyeliği kabul etmektedir. Bu yüzden bulanık küme teorisi, klasik küme teorisinin genelleştirilmiş şeklidir (Chen ve Pham, 2001: 1). Bulanık küme, klasik kümelerin aksine kesin sınırlara sahip değildir. Kümeye ait olmadan ait olmamaya kademeli bir geçiş vardır ve bu geçiş üyelik fonksiyonları ile nitelendirilmiştir. Bu da bulanık kümelere “su sıcak”, “sıcaklık yüksek” gibi sözel ifadeleri modellemede esneklik sağlamaktadır.

Klasik kümeler, matematik ve bilgisayar bilimi için önemli bir araç ve çeşitli uygulamalar için uygun olmasına rağmen, insani düşünce tarzını ve kavramları yansıtamamaktadır (Jang vd, 1997: 14). Bulanık kümeler, insan bilgisini veya insan anlayışını ve dünya ile ilgili kavramları modellemek için önemli bir araçtır (Kecman, 2001: 368). Bulanık küme teorisi az, sık, orta, düşük, çok, birçok gibi dilbilimsel yapıları kullanarak dereceli veri modellemesini gerçekleştirmektedir. Böylece olayların modellenmesinde daha gerçekçi ve doğala yakın sonuçların elde edilmesini sağlar (Nabiyev, 2003: 640). Başka bir deyişle, belirsiz bilgileri işleyebilme ve kesin rakamlar ile ifade edilemeyen durumlarda karar vermeyi kolaylaştırmaktadır (Öztemel, 2003: 27)

“1’den çok büyük gerçel sayılar kümesi”, “güzel kadınlar kümesi”, “uzun erkekler kümesi” matematiksel anlamda küme oluşturmazlar. Fakat bu tür belirsiz şekilde tanımlanmış kümeler insani düşünce tarzında önemli yere sahiplerdir (Zadeh, 1965: 338). Bazı kümeler keskin sınırlara sahipken, birçoğunun sınırları keskin değildir. Örneğin “evli çiftler kümesi” sınırları keskin olarak belirlenmiş klasik bir küme iken, “mutlu evli çiftler kümesi” sınırları keskin olmayan bir bulanık küme olacaktır (Yen ve Langari, 1999: 23). Klasik küme ve bulanık küme arasındaki farklılık Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2. Klasik ve bulanık kümenin grafik gösterimi (Baykal ve Beyan, 2004a: 77)

Gerçek hayatta karşılaşılan problemlerde ortaya çıkan belirsizliği modellemek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Nesne sınıflarının sınırlarının keskin bir şekilde

tanımlanamamasından kaynaklanan belirsizlik durumunda, bulanık kümelerden yararlanır (Nguyen ve Walker, 2000: 12). Bulanık küme, mantık ve sistem ilkeleri uzman kişilerin de vereceği sözel bilgileri işleyerek toptan çözüme gitmeye yarar. Her sözel bilgi bir bulanık kümeye karşılık gelir. Bulanık kümelerde üyelik derecesi fonksiyonlarına, öznel tercihler yaparak karar verilebilir. Bulanık kümeler böylelikle kişiler arası diyaloga yardımcı olur (Baykal ve Beyan, 2004a: 41). Bulanık küme teorisi, tam olarak tanımlanması zor olan sistemleri modellemede kullanılmaktadır. Metodoloji olarak, bulanık küme teorisi; belirsizlik ve sübjektiviteyi model oluşturma ve çözüm sürecine dâhil eder (Guiffrida ve Nagi, 1998: 39).

2.3.1. Üyelik Fonksiyonu

Genel olarak, küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren eğriye *üyelik fonksiyonu* adı verilmektedir. Başka bir deyişle, bulanık küme tarafından tanımlanan ve 0 ile 1 arasında değer alabilen ilgili karakteristik fonksiyona üyelik fonksiyonu denilmektedir (Zadeh ve Kacprzyk, 1992: 214).

Bulanık kümelerde, söz konusu evrenin elemanlarının bir A bulanık kümesine ait olma derecelerini temsil etmek amacıyla üyelik fonksiyonları belirlenir. Bu fonksiyonlar, elemanlara $[0,1]$ kapalı aralığında gerçel değerler atayarak elemanların A bulanık kümesi ile temsil edilen kavrama ne derece uygun olduklarını veya A bulanık kümesi ile temsil edilen özellikleri ne derece taşıdıklarını gösterir (Allahverdi, 2002: 158). E evrensel kümesinde tanımlanan, bulanık küme A için $\mu_{\tilde{A}}$ üyelik fonksiyonu

$$\mu_{\tilde{A}} : E \rightarrow [0,1] \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir. Yine bulanık A kümesindeki x elemanı için üyelik derecesi şu şekilde gösterilir (Zimmermann, 1992: 12):

$$\tilde{A} = \{ (x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in E \} \quad (2.3)$$

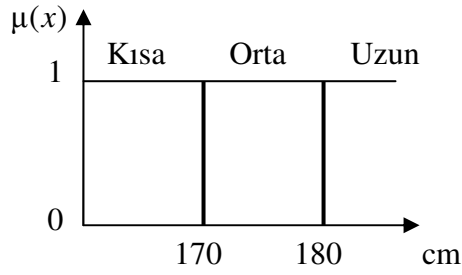
$\mu_{\tilde{A}}$ üyelik fonksiyonu, $[0,1]$ kapalı aralığında gerçel bir sayıyı göstermektedir (Zadeh, 1975: 222). Burada 0 sayısı ilgili nesnenin kümenin üyesi olmadığını, 1 sayısı

ilgili nesnenin kümenin tam üyesi olduğunu ve bu iki değer arasındaki herhangi bir sayı ise ilgili nesnenin kümeye kısmi üyeliğini gösterir.

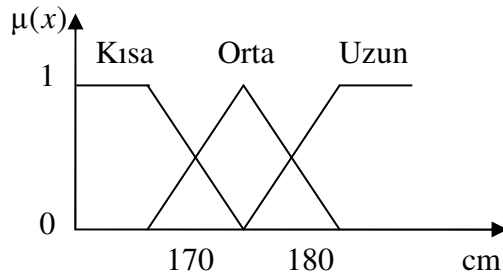
Üyelik fonksiyonlarını oluşturmada birçok yöntem bulunmaktadır. En gelişmiş yöntemler uzman tecrübelerinden faydalanarak küme değerlerini noktalı olarak belirlemek ve analitik fonksiyon biçiminde ifade etmektir (Nabiyev, 2003: 641). Üyelik fonksiyonunu oluşturmak için üç yol izlenebilir. Bunlardan ilki, kavram hakkında bilgi sahibi olan kişiler ile görüşmek ve daha sonra gerekli düzenlemeleri yapmaktır. İkinci yol, verilerden yararlanarak oluşturmaktır. Üçüncü yol ise sistem performansından gelen geri bildirimlerden yararlanarak belirlemektir. İlk yaklaşım 80'li yılların sonundan beri bulanık mantık araştırmacıları ve uygulamacıları tarafından izlenen temel yaklaşımdır. Sistematik düzenleme stratejilerinin eksikliğinden dolayı günümüzde birçok bulanık sistem deneme yanılma süreci şekline dönüşmüştür (Yen ve Langari, 1999: 24).

Bulanık küme, evrende olası her mümkün bireye, bu bireyin bulanık küme içerisindeki üyelik derecesi değerini atayarak matematiksel olarak tanımlar. Örneğin, *genç* evrensel kümesinde 30 kg ağırlıklı birisi %100 zayıf olarak tanımlanırsa, 40 kg, 50 kg, 60 kg, uygun olarak %80, %50, %10 zayıf olarak tanımlanabilmektedir. Bu üyelik derecelerinin değerlerine uzman tarafından deneyler sonucunda ve tecrübelerle karar verilebilmektedir (Nabiyev, 2003: 642).

Klasik kümeler karakteristik fonksiyon ile tanımlanırken, bulanık kümeler üyelik fonksiyonları ile nitelendirilir. Klasik kümelerin karakteristik fonksiyonunda derece 0 veya 1 olabilirken, üyelik fonksiyonu 0 ile 1 arasında değerler alabilir. Bulanık kümelerin, klasik kümelerin genişletilmiş şekli olduğu varsayılır. Bu yüzden, üyelik fonksiyonları karakteristik fonksiyonların genişletilmiş şeklidir. Klasik kümenin karakteristik fonksiyonu ile bulanık kümenin üyelik fonksiyonunu bir örnek yardımıyla şu şekilde karşılaştırılabilir (Tanaka, 1997: 10-11):



Şekil 2.3. Boy sözel değişkeni için klasik kümede karakteristik fonksiyon



Şekil 2.4. Boy sözel değişkeni için bulanık kümede üyelik fonksiyonu

Üç kişinin boyları şu şekilde verilsin:

A: 179 cm

B: 171 cm

C: 168 cm

Bu üç kişinin boyları Şekil 2.3'teki gibi klasik küme ile tanımlanacak olursa, Tablo 2.2'deki gibi karakteristik fonksiyonlara ulaşırız. Karakteristik fonksiyonun değerine göre *A* ve *B* orta boy kümesine, *C* ise kısa boy kümesine aittir. *B* ile *C* arasındaki boy farkı 3 cm olmasına rağmen farklı gruptayken, *A* ile *B* arasındaki boy farkı 8 cm olmasına rağmen aynı gruptadırlar. Bu durum orta boy küme ayrımının 170 ile 180 cm arasında olmasından kaynaklanmaktadır (Tanaka, 1997: 11).

Tablo 2.2. Boy sözel değişkeni için klasik kümenin karakteristik fonksiyonu

	Boy	Kısa	Orta	Uzun
<i>A</i>	179 cm	0	1	0
<i>B</i>	171 cm	0	1	0
<i>C</i>	168 cm	1	0	0

Bulanık kümede boy kümesinin üyelik fonksiyonu Şekil 2.4'te görüldüğü gibi oluşturulur. A , B , C 'nin üyelik değerleri Tablo 2.3'teki gibidir (Tanaka, 1997: 12).

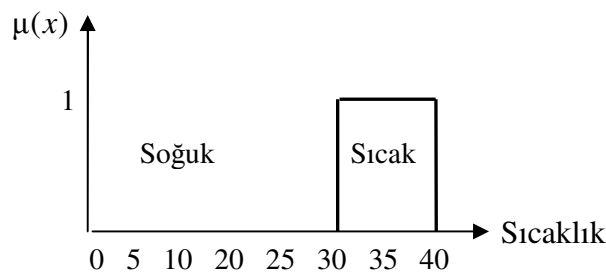
Tablo 2.3. Boy sözel değişkeni için bulanık kümenin üyelik fonksiyonu

	Boy	Kısa	Orta	Uzun
A	179 cm	0	0.4	0.6
B	171 cm	0.4	0.6	0
C	168 cm	0.7	0.3	0

Tablo 2.3'e göre A orta boylular kümesine 0.4 üyelik derecesi, uzun boylular kümesine 0.6 üyelik derecesi ile aittir. Benzer şekilde, B kısa boylular kümesine 0.4 üyelik derecesi, orta boylular kümesine 0.6 üyelik derecesi ile, C kısa boylular kümesine 0.7 üyelik derecesi, orta boylular kümesine 0.3 üyelik derecesi ile aittir.

Klasik kümelerdeki karakteristik fonksiyon ile bulanık kümlerde üyelik fonksiyonu arasındaki farkı gösterebilmek için sıcaklık sözel değişkeni ele alınacak olursa;

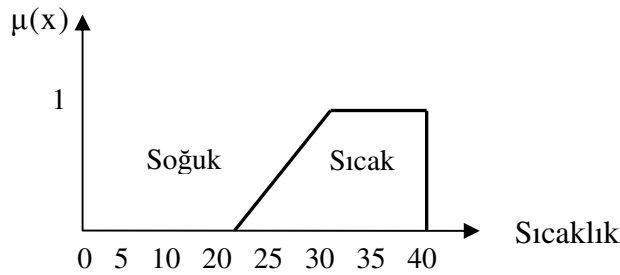
Sıcaklık sözel değişkeni için klasik kümelerde üyelik derecesi Şekil 2.5'de görüldüğü gibi tanımlanabilir. Burada, eğer sıcaklık 30 derecenin altına düşerse sıcak değildir. Yani klasik mantık teorisine göre 29.5 derece sıcak değildir. Doğal olarak bu mantığın hiçbir esnekliği yoktur. Gerçek dünyada ise sınırlar bu kadar keskin değildir.



Şekil 2.5. Sıcaklık sözel değişkeni için klasik kümede karakteristik fonksiyon

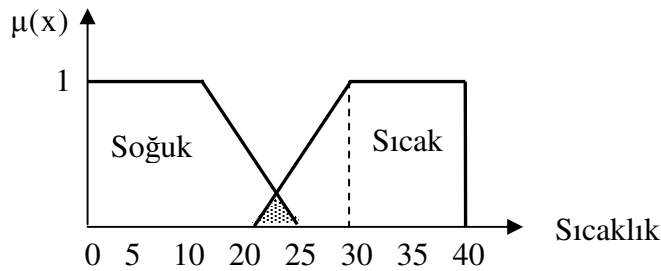
Şekil 2.6, sıcaklık gibi değişkenleri gerçekte gözlenen değerine daha yakın değer veren bulanık küme teorisini göstermektedir. Buna göre 20 derece ile 40 derece

arasındaki değerlerin, sıcak bulanık küme değerleri ortaya çıkmış olur. Burada sıcak bulanık küme üyelik derecesinde, 30 derece 1'e karşılık gelen maksimumdan, 20 derecede 0'a karşılık gelen minimuma doğru kademelendirilmiş bir azalma vardır. 25 derecelik sıcaklık "az sıcak" olarak nitelenirken 30 derecelik sıcaklık "çok sıcak" olarak nitelenecek ve 20 derecelik sıcaklık, "sıcak" olarak sayılmayacaktır (Ertuğrul, 1996: 10).



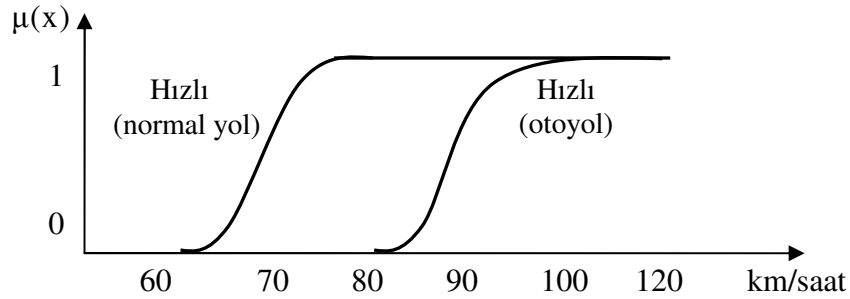
Şekil 2.6. Sıcaklık sözel değişkeni için bulanık kümede üyelik fonksiyonu

Şekil 2.7'de görüldüğü gibi, 20 ile 25 derece arasındaki değerler hem sıcak hem de soğuk kümesine aittir. Şekilde gösterilen taralı alan bulanık kümelerin kesişim bölgesidir ve bulanık kümelerin örtüşümü olarak adlandırılır.



Şekil 2.7. Bulanık kümede örtüşüm

Üyelik fonksiyonu için bir başka örnek verilecek olursa, bir arabanın "hızlı" olması normal yolda ya da otoyolda gitmesine bağlı olarak değişiklik gösterecektir. Şekil 2.8 "hızlı" bulanık kümesinin duruma bağlı olarak değişimini göstermektedir. 80 km/saat normal yolda hızlı olarak ele alınırken, otoyolda hızlı sayılmayacaktır (Tanaka, 1997: 12).



Şekil 2.8. Hız sözel değişkeni için üyelik fonksiyonları

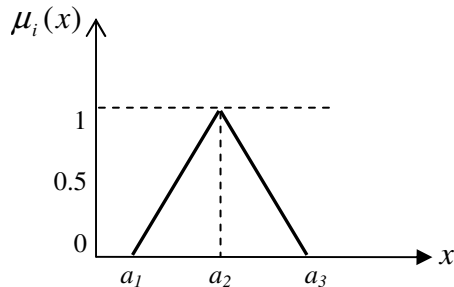
Üyelik fonksiyonu çeşitleri

Çok sayıda üyelik fonksiyonu çeşidi olmakla beraber pratikte en fazla kullanılanlar üçgen, yamuk, çan eğrisi, Gaussian ve sigmoidal fonksiyonlardır. Ayrıca, bu bölümde S ve Π üyelik fonksiyonlarına da değinilecektir.

Üçgen üyelik fonksiyonu

Bir üçgen üyelik fonksiyonu a_1 , a_2 , a_3 olarak üç parametre ile tanımlanır. Üçgen üyelik fonksiyonu Şekil 2.9'da görüldüğü gibidir. Üçgen üyelik fonksiyonun matematiksel olarak ifadesi ise şu şekildedir:

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise, } (x - a_1)/(a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 & \text{ise, } (a_3 - x)/(a_3 - a_2) \\ x > a_3 \text{ veya } x < a_1 & \text{ise, } 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

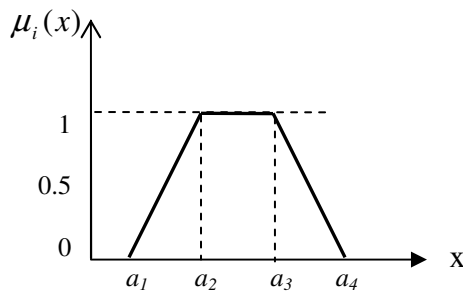


Şekil 2.9. Üçgen üyelik fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonu

Bir yamuk üyelik fonksiyonu a_1, a_2, a_3, a_4 olarak dört parametre ile tanımlanır. Yamuk üyelik fonksiyonu Şekil 2.10'da görüldüğü gibidir. Yamuk üyelik fonksiyonun matematiksel olarak ifadesi ise şu şekildedir:

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise, } (x - a_1)/(a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 & \text{ise, } 1 \\ a_3 \leq x \leq a_4 & \text{ise, } (a_4 - x)/(a_4 - a_3) \\ x > a_4 \text{ veya } x < a_1 & \text{ise, } 0 \end{cases} \quad (2.5)$$



Şekil 2.10. Yamuk üyelik fonksiyonu

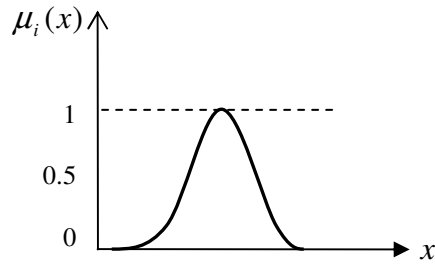
Üçgen üyelik fonksiyonu yamuk üyelik fonksiyonunun özel bir durumudur. Formüllerin basit oluşu ve bilgi işlemedeki etkinlikleri açısından hem üçgen hem de yamuk üyelik fonksiyonları çok sık kullanılmaktadır (Yen ve Langari, 1999: 64).

Gaussian üyelik fonksiyonu

Gaussian üyelik fonksiyonu m ve σ parametreleri ile tanımlanır:

$$\mu_A(x; m, \sigma) = \exp\left\{-\frac{(x - m)^2}{\sigma^2}\right\} \quad (2.6)$$

Gaussian üyelik fonksiyonu Şekil 2.11'de görüldüğü gibidir:



Şekil 2.11. Gaussian üyelik fonksiyonu

Bu fonksiyonda m fonksiyon merkezini ve σ da genişliği ifade eder. σ değerini değiştirerek, fonksiyon biçimi değiştirilebilir. Eğer σ , küçük olursa üyelik fonksiyonu daha ince olurken, bu değer büyüdükçe üyelik fonksiyonu gittikçe yayvanlaşacaktır (Baykal ve Beyan, 2004a: 79).

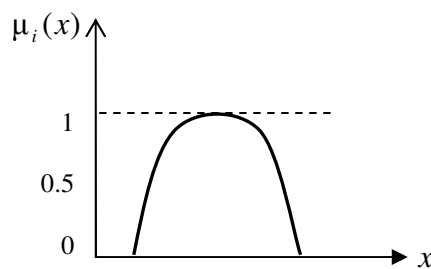
Çan şekilli üyelik fonksiyonu

Çan şekilli üyelik fonksiyonu, a_1 , a_2 ve a_3 olarak üç parametre ile tanımlanır.

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \left\{ \frac{1}{1 + \left| \frac{x - a_3}{a_1} \right|^{2a_2}} \right\} \quad (2.7)$$

burada a_2 parametresi genellikle pozitif değer almaktadır. a_1 ve a_3 değerlerinde değişiklik yapılarak fonksiyonun genişliği ve merkezi değiştirilebilmekte ve a_2 değeri geçiş noktalarındaki eğimi kontrol etmek için kullanılmaktadır.

Çan şekilli üyelik fonksiyonu Şekil 2.12'de görüldüğü gibidir:



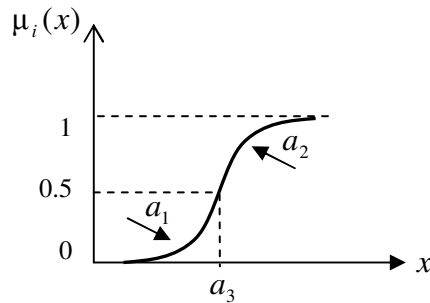
Şekil 2.12. Çan şekilli üyelik fonksiyonu

Sigmoidal üyelik fonksiyonu

Sigmoidal üyelik fonksiyonu, a_1 ve a_2 olmak üzere iki parametre ile tanımlanır.

$$\mu_A(x; a_1, a_2) = \left\{ \frac{1}{1 + e^{-a_1(x-a_2)}} \right\} \quad (2.8)$$

Sigmoidal üyelik fonksiyonu Şekil 2.13'teki gibidir.



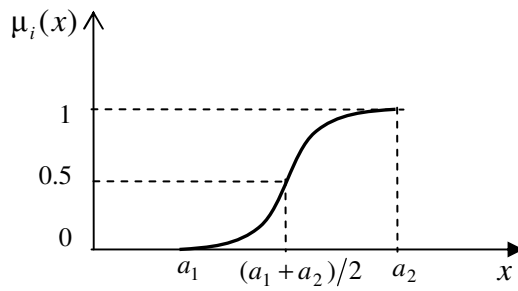
Şekil 2.13. Sigmoidal üyelik fonksiyonu

S üyelik fonksiyonu

S üyelik fonksiyonu a_1 ve a_2 parametreleri ile tanımlanan düzgün bir üyelik fonksiyonudur. Bu fonksiyonun adı, şeklinin S harfine benzemesinden gelmektedir (Yen ve Langari, 1999: 65).

$$\mu_A(x; a_1, a_2) = \begin{cases} x \leq a_1 & \text{ise,} & 0 \\ a_1 \leq x \leq [(a_1 + a_2)/2] & \text{ise,} & 2[(x - a_1)/(a_2 - a_1)]^2 \\ [(a_1 + a_2)/2] \leq x \leq a_2 & \text{ise,} & 1 - 2[(x - a_2)/(a_2 - a_1)]^2 \\ a_2 \leq x & \text{ise,} & 1 \end{cases} \quad (2.9)$$

S üyelik fonksiyonu Şekil 2.14'teki gibidir:



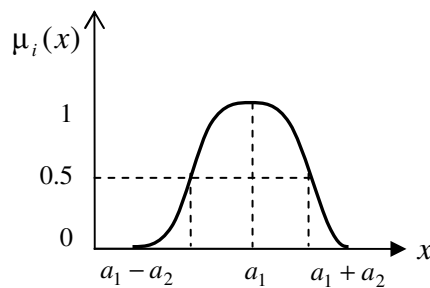
Şekil 2.14. S üyelik fonksiyonu

Π üyelik fonksiyonu

İki tip Π üyelik fonksiyonu vardır. İlki iki parametre ile, ikincisi ise dört parametre ile tanımlanır. S fonksiyonundan farklı olarak Π fonksiyonları iki taraflı olarak "0" değerine doğru asimptotik olarak azalır (Yen ve Langari, 1999: 67). Π₁ üyelik fonksiyonunun matematiksel olarak ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\Pi_1 = \mu_A(x; a_1, a_2) = \left\{ \frac{1}{1 + \left(\frac{x - a_1}{a_2} \right)^2} \right\} \quad (2.10)$$

Şekil 2.15'de birinci tip Π fonksiyonu görülmektedir:

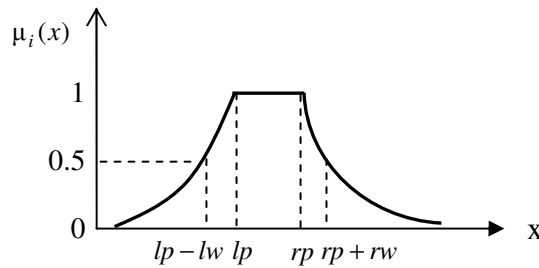


Şekil 2.15. Π₁ üyelik fonksiyonu

Π_2 üyelik fonksiyonunun matematiksel olarak ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\Pi_2 = \mu_A(x; lw, lp, rp, rw) = \begin{cases} x \leq lp & \text{ise, } lw/(lp + lw - x) \\ lp \leq x \leq rp & \text{ise, } 1 \\ x > rp & \text{ise, } rw/(x - rp + rw) \end{cases} \quad (2.11)$$

Şekil 2.16'da ikinci tip Π fonksiyonu görülmektedir:



Şekil 2.16. Π_2 üyelik fonksiyonu

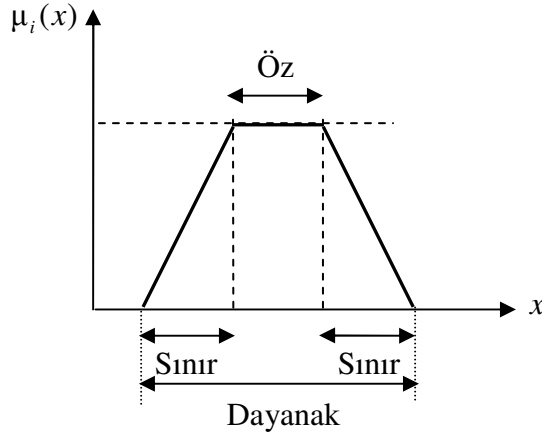
Üyelik fonksiyonunun kısımları

Bir bulanık alt kümede birden fazla elemanın üyelik derecesi 1'e eşit alınabilir. Sadece o alt kümeye ait olan ve üyelik dereceleri 1'e eşit olan elemanlara *öz*, bir alt kümenin tüm elemanlarını içeren aralığa *dayanak* ve üyelik dereceleri 1 veya 0'a eşit olmayanların oluşturduğu kısımlara ise üyelik fonksiyonun *sınırları* veya *geçiş bölgeleri* denir. Tüm elemanların derecesi 0'dan büyük olan küme, A 'nın dayanak kümesidir (Baykal ve Beyan, 2004a: 84). Bazı kaynaklarda dayanak kümesine *destek kümesi* de denilmektedir. Öz, dayanak ve sınırların matematiksel olarak ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} \mu_A = 1 &\Rightarrow \text{öz} \\ \mu_A > 0 &\rightarrow \text{dayanak} \\ 0 < \mu_A(x) < 1 &\rightarrow \text{sınırlar} \\ \text{Dayanak}(A) &= \{x \in E \mid \mu_A(x) > 0\} \end{aligned}$$

Yamuk üyelik fonksiyonunun öz, dayanak ve sınırları Şekil 2.17'de görüldüğü gibidir. Yamuk üyelik fonksiyonunda, bir alt kümede birden fazla ögenin üyelik

derecesi 1'e eşit olmaktadır. Üçgen üyelik fonksiyonunda ise bir tane ögenin üyelik derecesi 1'e eşittir bu yüzden üçgen üyelik fonksiyonun özü bir noktadan oluşur.



Şekil 2.17. Üyelik fonksiyonunun kısımları

2.3.2. Sözel (Dilsel) Değişkenler

Değişken değeri olarak bir dildeki kelimeleri alabilen değişkene “sözel değişken” denir (Zadeh, 1975: 199). Burada sözü edilen kelimeler, klasik küme teorisinde sınır koşulunu net olarak ifade edemeyen kelimelerdir. Bazı kelimelerin anlamı, bir karmaşıklık veya belirsizlik gösterebildiği için sözel değişkenin bulanık kümelerle dayanarak tanımlanması gerekir. Sözel değişkenler, net olarak ifade edilemeyen kavramların yaklaşık olarak nitelenmesini sağlar (Özkan, 2003: 126).

Genel olarak değişkenler sayısal değerler alır. Eğer bir değişkene sözel terim atanırsa *sözel değişken* adını alır.

x , değişken adı

$T(x)$, değişkene değer olabilecek sözel değerler kümesi

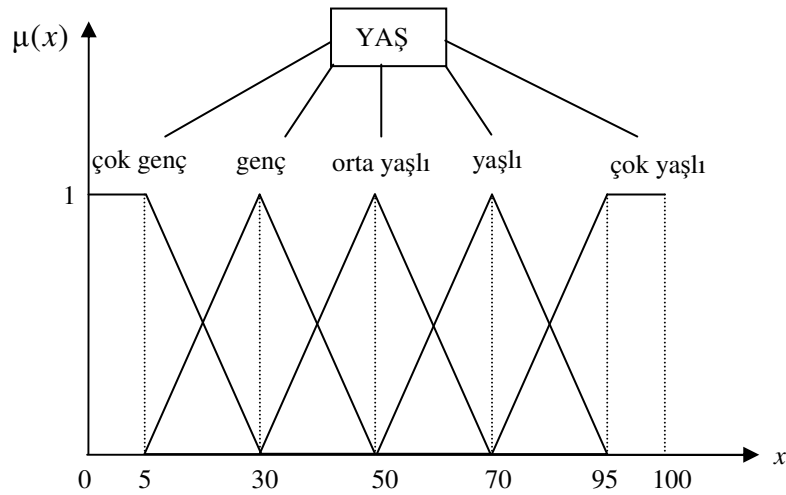
U , değişken karakteristiklerini tanımlayacak evrensel küme

$G, T(x)$ terimlerinin sentaks (söz dizimi) kuralları

M , sözel değer ile ilgili semantik (anlam bilimi) kurallarını göstermek üzere sözel değişken şu şekilde tanımlanabilir (Zadeh, 1965:199):

$$\text{Sözel değişken} = (x, T(x), U, G, M)$$

Örneğin yaş; çok genç, genç, orta yaşlı, yaşlı ve çok yaşlı gibi bulanık kümeleri içeren bir sözel değişkendir. Burada, her terim uygun bir üyelik fonksiyonu ile ifade edilir. Yaş sözel değişkenini evrensel küme $[0, 100]$ olmak üzere çok genç, genç, orta yaşlı, yaşlı ve çok yaşlı terimlerini üçgen bulanık sayılar yardımıyla tanımlayacak olursak üyelik fonksiyonu Şekil 2.18'de görüldüğü gibi tanımlanabilir (Bojadziev ve Bojadziev, 1998: 179):



Şekil 2.18. Yaş sözel değişkeni

Çok genç, genç, orta yaşlı, yaşlı ve çok yaşlı terimlerinin üyelik fonksiyonları şu şekilde ifade edilir (Bojadziev ve Bojadziev, 1998: 179):

$$\mu_{\text{çok genç}}(x) = \begin{cases} 1 & , 0 < x \leq 5 \\ \frac{30-x}{25} & , 5 \leq x \leq 30 \end{cases} , \quad \mu_{\text{genç}}(x) = \begin{cases} \frac{x-5}{25} & , 5 \leq x \leq 30 \\ \frac{50-x}{20} & , 30 \leq x \leq 50 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{orta yaşlı}}(x) = \begin{cases} \frac{x-30}{20} & , 30 \leq x \leq 50 \\ \frac{70-x}{20} & , 50 \leq x \leq 70 \end{cases} , \quad \mu_{\text{yaşlı}}(x) = \begin{cases} \frac{x-50}{20} & , 50 \leq x \leq 70 \\ \frac{95-x}{25} & , 70 \leq x \leq 95 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{çok yaşlı}}(x) = \begin{cases} \frac{x-70}{25} & , 70 \leq x \leq 95 \\ 1 & , 95 \leq x \leq 100 \end{cases}$$

Bulanık sözel değişkenler, bulanık yüklem ve bulanık sıfat olmak üzere iki parçadan oluşurlar. Bulanık yüklem birinci terimdir. Bulanık sıfatlar da bunu niteleyen çok, olası, hemen hemen imkânsız, aşırı, olası olmayan gibi kelimelerdir. (Baykal ve Beyan, 2004a: 44).

2.3.3. Bulanık Kümelerin Özellikleri

Yükseklik

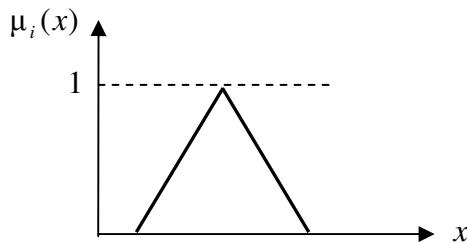
Bulanık bir kümenin *yüksekliği*, bu kümenin üyelik fonksiyonunun en büyük üyelik derecesine eşittir. Yükseklik şu şekilde tanımlanabilir:

$$\text{yükseklik}(\tilde{A}) = \sup\{\mu_{\tilde{A}(x)}\}; \forall x \in U \quad (2.12)$$

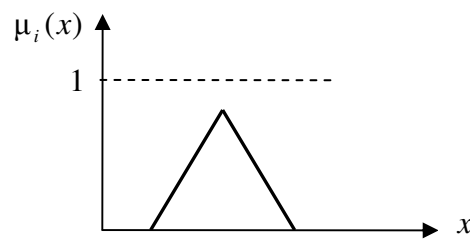
Burada, \tilde{A} kümesi sonlu bir evrensel kümede tanımlı ise en küçük üst sınırı gösteren sup (supremum) terimi yerine maksimum terimi kullanılır (Özkan, 2003: 39).

Normallik

Normal bulanık küme, en azından bir tane üyelik derecesi 1'e eşit olan kümedir. Başka bir deyişle; yüksekliği 1'e eşit olan bulanık kümeler, normal bulanık kümeler olarak adlandırılır. Aksi takdirde küme normal altı olarak tanımlanır (Bojadziew ve Bojadziew, 1998: 114). Yani, yüksekliği 1'den küçük olan bulanık kümelere *normal altı bulanık kümeler* denir. Şekil 2.19 ve 2.20'de sırasıyla normal ve normal altı bulanık kümeler görülmektedir.



Şekil 2.19. Normal bulanık küme



Şekil 2.20. Normal altı bulanık küme

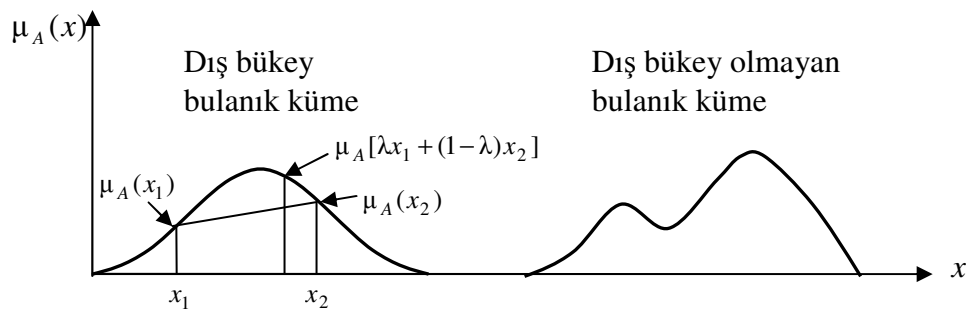
Normal bulanık küme matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$\text{yükseklik}(\tilde{A}) = \sup[\mu_{\tilde{A}(x)}] = 1; \exists x \in U \quad (2.13)$$

Normal olmayan bulanık kümeleri, normal hale dönüştürmek için (dış bükey olmaları şartı ile), kümenin üyelik derecesinin, en büyük üyelik derecesine bölünmesi gerekir (Baykal ve Beyan, 2004a: 84). Bir başka deyişle, \tilde{A} bulanık kümesi, maksimum üyelik derecesi $\mu_{\tilde{A}}(x) < 1$ olan normal altı bulanık küme olmak üzere \tilde{A} kümesini normalize etmek için $\frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{\max \mu_{\tilde{A}}(x)}$ işlemi uygulanır (Bojadziej ve Bojadziej, 1998: 114).

Dışbükeylik (Konvekslik)

Bulanık küme ile ilgili diğer bir kavram da *dışbükeylik*dir. Dışbükey olan bulanık kümelerde, üyelik fonksiyonu kümenin dayanağı üzerinde ya sürekli artar veya sürekli azalır ya da üçgen üyelik fonksiyonunda olduğu gibi önce sürekli olarak üyelik derecesi 1'e eşit oluncaya kadar artar ve ondan sonraki dayanağa düşen öğeler için sürekli azalır (Şen, 2004: 29). Diğer bir deyişle, bir kümedeki herhangi iki noktayı birleştiren çizgideki her nokta bu kümenin elemanı ise küme dışbükeydir (Baykal ve Beyan, 2004a: 84). Dışbükey ve dışbükey olmayan bulanık küme Şekil 2.21'de görüldüğü gibidir (Zadeh, 1965: 347).



Şekil 2.21. Dış bükey ve dış bükey olmayan bulanık kümeler

Bir bulanık A kümesi eğer Γ_α kümeleri şu şekilde tanımlanırsa dışbükeydir:

$$\Gamma_\alpha = \{ x \mid \mu_A(x) \geq \alpha \} \quad (2.14)$$

Burada $(0, 1]$ aralığında tüm α değerleri için dışbükeydir. Tüm $x_1, x_2 \in X$ ve $\lambda \in [0,1]$ olmak üzere, dışbükeylik için daha doğrudan bir tanım şu şekilde verilebilir (Zadeh, 1965: 347):

$$\mu_A[\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2] \geq \text{Min}[\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)] \quad (2.15)$$

Simetriklik

Simetriklik, üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa ve sola eşit mesafede hareket edildiği zaman öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olmasıdır (Şen, 2004: 15). Başka bir deyişle, bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonu belirli bir $x = c$ noktası için simetrik ise bulanık küme simetrik olarak tanımlanır ve bu durum matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$\forall x \in E$ için;

$$\mu_A(x + c) = \mu_A(c - x) \quad (2.16)$$

$$\mu_A(x) = 0.5 \rightarrow \text{geçiş noktası}$$

Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarında üyelik derecelerinin 0.5'e eşit olması durumundaki noktaya *geçiş noktası* adı verilir.

Monotonluk

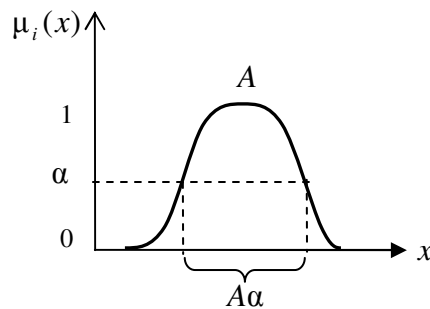
Bulanık kümenin *monoton* olması, üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye en yakın sağda ve soldaki öğelerin üyelik derecelerinin de 1'e yakın olmasıdır.

α kesim kümesi ve düzey kümesi

Bulanık bir kümenin α kesim kümesi, A_α , üyelik fonksiyonu değeri α 'dan az olmayan üyelerden kurulmuştur. Seçilen her bir α değeri ile farklı bir α kesim kümesi oluşturulur. α değeri, $\alpha \in (0,1]$ koşuluyla tanımlanan gerçel bir sayıdır. Her bir α düzeyi ile üyelik fonksiyonunun farklı bir dilimi belirlenir. α değeri arttıkça α kesimiyle oluşturulan geleneksel kümedeki eleman sayısı azalır (Özkan, 2003: 42). Bir başka deyişle, α kesimi bulanık bir kümeden bulanık olmayan kümeler üreten dilimlerdir (Buckley, 2003: 9). α kesim kümesi matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$A_\alpha = \{x \in E \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (2.17)$$

Burada \geq yerine $>$ olursa, buna *güçlü α kesim kümesi* denir. α kesim kümesi Şekil 2.22'de görülmektedir (Tanaka, 1997: 30).



Şekil 2.22. α kesimi

Bulanık kümeler α kesim kümesi kavramına dayanarak, çoklu klasik küme olarak, yani α düzey kümeleri olarak belirlenebilir. Her α düzeyi bir üyelik fonksiyonu kesitine karşılık gelir. Buradan özgün üyelik fonksiyonunun, bu kesitlerin sırayla kurgulanması ile oluşturulabileceği sezilebilir. Bulanık küme teorisinde bir üyelik fonksiyonun α kesimleri olarak kurgulanmasına *özdeş çözümleme* adı verilir (Baykal ve Beyan, 2004a: 86).

2.3.3. Genişleme Prensibi

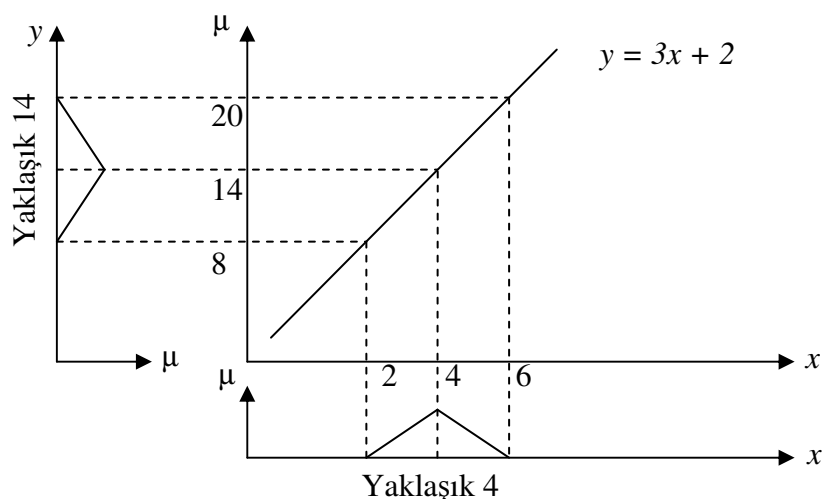
Genişleme prensibi, kesin matematiksel kavramları bulanık kümelerle genelleştiren bulanık küme teorisinin en temel kavramlarından bir tanesidir (Zimmermann, 1992: 53). Bulanık nicelikleri ele alırken bulanık olmayan matematiksel kavramları genişletmek için Zadeh (1965) genişleme prensibini ortaya çıkarmıştır. Genişleme prensibi, bulanık bir küme ve fonksiyonel bir ilişkinin yeni bir bulanık kümeyle sonuçlanacağını ifade eder (Özkan, 2003: 51). Genişleme prensibi bulanık sayılar ile yapılan işlemlere de sistematik bir şekilde uygulanabilir (Pal ve Madjumder, 1986: 46).

Genişleme prensibi yardımıyla bulanık kümelerde birçok işlem tanımlanabilir. (Tanaka, 1997: 34). Örneğin, x ile y arasında $y = 3x + 2$ şeklinde bir ilişki olduğunda $x = 4$ için y 'nin alacağı değer şu şekilde hesaplanır:

$$3 \cdot 4 + 2 = 14$$

x “yaklaşık 4” olarak verildiğinde y 'nin değeri genişleme prensibi yardımıyla bulunacaktır. Şekil 2.23 genişleme prensibi kavramını göstermektedir. Hesaplama süreci ise şu şekilde olacaktır:

$$3 \cdot \text{“yaklaşık 4”} + 2 = \text{“yaklaşık 12”} + 2 = \text{“yaklaşık 14”}$$



Şekil 2.23. Genişleme prensibi (Tanaka, 1997: 35)

2.3.5. Bulanık Kümeler Arası Uzaklık Kavramı

Bulanık kümelerde uzaklık, aradaki farkı açıklamak için ileri sürülmüş bir kavramdır. Fakat fark kavramından farklı bir ölçümdür (Baykal ve Beyan, 2004a: 108).

Hamming uzaklığı

Bu kavram şu şekilde gösterilir:

$$d(A, B) = \sum_{i=1, x_i \in E} |\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)| \quad (2.18)$$

Evrensel E kümesinde n eleman olsun, $|E| = n$, bağlı Hamming uzaklığı;

$$\delta(A, B) = \frac{1}{n} d(A, B) \quad (2.19)$$

olarak hesaplanır. Hamming uzaklığı simetrik uzaklık olarak adlandırılıp ∇ işlemi $\forall x \in E$ için;

$$\mu_{A \nabla B}(x) = |\mu_A(x) - \mu_B(x)| \quad (2.20)$$

şeklinde tanımlanabilir (Baykal ve Beyan, 2004a: 110).

Euclidean uzaklık

Bu kavram şu şekilde gösterilir;

$$e(A, B) = \left[\sum_{i=1}^n (\mu_A(x) - \mu_B(x))^2 \right]^{1/2} \quad (2.21)$$

Evrensel E kümesinde n eleman olsun, $|E| = n$, bağlı Euclidean uzaklık;

$$\varepsilon(A, B) = \frac{e(A, B)}{n^{1/2}} \quad (2.22)$$

olarak hesaplanır (Baykal ve Beyan, 2004a: 111).

Minkowski uzaklığı

Hamming uzaklığı ve Euclidean uzaklığının genelleştirilmesi Minkowski uzaklığını verir. $w \in [1, \infty]$ olmak üzere;

$$d_w(A, B) = \left[\sum_{x \in E} |\mu_A(x) - \mu_B(x)|^{1/w} \right]^{1/2} \quad (2.23)$$

olarak elde edilir. Bu denklem $w = 1$ için Hamming uzaklığını, $w = 2$ için ise Euclidean uzaklığı verir (Baykal ve Beyan, 2004a: 111).

2.4. BULANIK SAYILAR

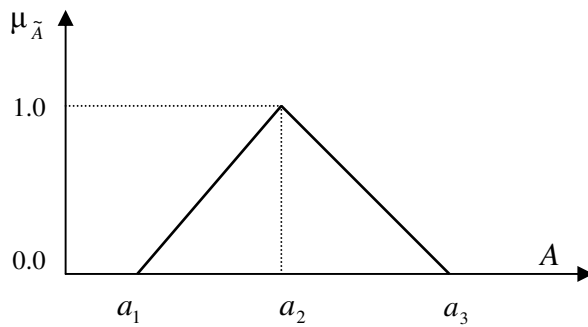
Bulanık sayılar dışbükey, normalleştirilmiş, sınırlı sürekli üyelik fonksiyonu olan ve gerçel sayılarda tanımlanmış bir bulanık küme olarak ifade edilir. Bulanık kümeler üyelik fonksiyonlarıyla tanımlandıkları için bulanık sayılar da kendi üyelik fonksiyonları ile aynı kavramlardır. Bu nedenle üyelik fonksiyonu çeşidi kadar bulanık sayı çeşidi vardır (Baykal ve Bayan, 2004b: 115).

Bulanık sayı, gerçel r sayısının genelleştirilmiş şekli olan bulanık bir A niceliğidir. Burada $A(x)$, $A(x)$ 'in r 'ye ne kadar yaklaşık değerler aldığıın bir ölçüsüdür. Bu durumda $A(r) = 1$ olacaktır (Nguyen ve Walker, 2000: 54).

Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel bir alt kümesidir. 5 civarı, hemen hemen 9, yaklaşık olarak 15, 200'den küçük vb. gibi kesin olmayan veya yaklaşık sayısal miktarların nitelenmesinde bulanık sayılar oldukça yararlıdır (Özkan, 2003: 59). Ele alınan konuya göre değişik bulanık sayılar kullanmak mümkündür. Genel olarak pratik uygulamalarda kullanılan üçgen ve yamuk olmak üzere iki tane bulanık sayı söz konusudur (Baykal ve Beyan, 2004a: 234).

2.4.1. Üçgen Bulanık Sayılar

Üçgen bulanık sayılar, üç tane gerçek sayılarla tanımlanmış bulanık sayıların özel bir çeşididir. (a_1, a_2, a_3) şeklinde ifade edilir. a_1 , a_2 , ve a_3 parametreleri sırasıyla en küçük olası değeri, en olası değeri ve en büyük olası değeri göstermektedir. Üçgen bulanık A sayısının gösterilişi Şekil 2.24'de verilmiştir (Kahraman vd, 2004: 174).



Şekil 2.24. Üçgen bulanık sayı, \tilde{A}

a_1 ve a_3 ; bulanık küme desteğinin alt ve üst sınır değerleri ve a_2 , tam üyelikli tek sayı olmak üzere üçgen bulanık sayının üyelik fonksiyonu şu şekilde tanımlanır:

$$\mu(x/\tilde{M}) = \begin{cases} 0, & x < a_1, \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \leq x \leq a_2, \\ (a_3 - x)/(a_3 - a_2), & a_2 \leq x \leq a_3, \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (2.24)$$

Üçgen bulanık sayılar; bulanık denetleyiciler, yönetsel karar verme, sosyal bilimler ve bunun gibi birçok alandaki uygulamalarda sıklıkla kullanılır. Ayrıca, az bilgi olması durumunda da kolaylıkla oluşturulabilir (Bojadziej ve Bojadziej 1998: 36–37).

Üçgen bulanık sayılarda işlemler

Üçgen bulanık sayılarda işlem yaparken dikkat edilmesi gereken bazı özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- İki üçgen bulanık sayının toplama ve çıkarma işlemlerinin sonucu yine bir üçgen bulanık sayıdır.

- Üçgen bulanık sayılarda çarpma, bölme ve ters işlem, sonuç olarak her zaman üçgen bulanık sayı vermez.
- Üçgen bulanık sayılarda maksimum veya minimum işlemleri de sonuç olarak her zaman üçgen bulanık sayı vermez.

Fakat bu işlemlerin sonuçları, yaklaşık üçgen bulanık sayı olarak kabul edilebilir (Kaufmann ve Gupta, 1988: 28).

İki pozitif bulanık sayı A ve B , $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$, $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ şeklinde tanımlanacak olursa:

- **Toplama işlemi:**

$$\begin{aligned}\tilde{A} \oplus \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3) \oplus (b_1, b_2, b_3) \\ &= (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3)\end{aligned}\quad (2.25)$$

- **Çıkarma işlemi:**

$$\begin{aligned}\tilde{A} \ominus \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3) \ominus (b_1, b_2, b_3) \\ &= (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1)\end{aligned}\quad (2.26)$$

- **Çarpma işlemi:**

$$\begin{aligned}\tilde{A} \otimes \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3) \otimes (b_1, b_2, b_3) \\ &= (a_1.b_1, a_2.b_2, a_3.b_3)\end{aligned}\quad (2.27)$$

- **Sabit sayıyla çarpma işlemi:**

$$\begin{aligned}\tilde{A} \otimes k &= (a_1, a_2, a_3) \otimes k \\ &= (a_1.k, a_2.k, a_3.k)\end{aligned}\quad (2.28)$$

- **Bölme işlemi:**

$$\begin{aligned}\tilde{A} \varphi \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3) \varphi (b_1, b_2, b_3) \\ &= (a_1 / b_3, a_2 / b_2, a_3 / b_1)\end{aligned}\quad (2.29)$$

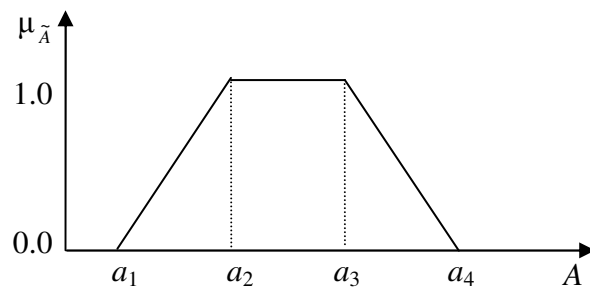
- **Ters işlem:**

$$\tilde{A}^{-1} = (a_1, a_2, a_3)^{-1} \approx (1/a_3, 1/a_2, 1/a_1) \quad (2.30)$$

Burada “ \oplus ” bulanık toplama işlemini, “ \ominus ” bulanık çıkarma işlemini, “ \otimes ” bulanık çarpma işlemini ve “ \oslash ” bulanık bölme işlemini göstermektedir.

2.4.2. Yamuk Bulanık Sayılar

Yamuk bulanık sayılar en sık kullanılan bulanık sayı çeşitlerinden biridir. Yamuk bulanık sayıların sık kullanılmasının nedenleri arasında, üçgen bulanık sayıların yamuk bulanık sayıların özel bir şekli olması ve sözel değişkenlerle kolay kavranabilmesi sayılabilir (Baykal ve Beyan, 2004a: 239).



Şekil 2.25. Yamuk bulanık sayı, \tilde{A}

Yamuk bulanık sayı dört parametre ile tanımlanır ve Şekil 2.25’te görüldüğü gibidir. a_1 ve a_4 , bulanık küme desteğinin alt ve üst sınır değerleri, a_2 ve a_3 tam üyelikli sayılar kümesinin sınırlarını göstermek üzere üyelik fonksiyonları şu şekilde tanımlanır:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{x - a_4}{a_3 - a_4}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (2.31)$$

Yamuk bulanık sayılarda işlemler

Üçgen bulanık sayılar, a_2 ve a_3 değerlerinin birbirine eşit olduğu, yamuk bulanık sayıların özel bir şeklidir. Üçgen bulanık sayılarda tanımlanan tüm işlemler yamuk bulanık sayılar için de tanımlanabilir. Yamuk bulanık sayılarda işlem yaparken dikkat edilmesi gereken bazı özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Yamuk bulanık sayılarla yapılan toplama ve çıkarma işlemlerinin sonucu yine bir yamuk bulanık sayıdır.
- Çarpma ve bölme ile tersine çevirme işlemleri sonuçları yamuk bulanık sayı olmak zorunda değildir.
- Yamuk bulanık sayılarda maksimum veya minimum işlemleri de sonuç olarak her zaman yamuk bulanık sayı vermez.

Fakat yine de bu işlemlerin sonuçları yaklaşık yamuk bulanık sayı olarak kabul edilebilir (Kaufmann ve Gupta, 1988: 33).

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ iki yamuk bulanık sayı ve k da pozitif bir gerçel sayı olmak üzere:

- **Toplama işlemi:**

$$\begin{aligned}\tilde{A} \oplus \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \oplus (b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4)\end{aligned}\quad (2.32)$$

- **Çıkarma işlemi:**

$$\begin{aligned}\tilde{A} \ominus \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \ominus (b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1)\end{aligned}\quad (2.33)$$

- **Çarpma işlemi:**

$$\begin{aligned}\tilde{A} \otimes \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \otimes (b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1 \cdot b_1, a_2 \cdot b_2, a_3 \cdot b_3, a_4 \cdot b_4)\end{aligned}\quad (2.34)$$

- **Sabit sayıyla çarpma işlemi:**

$$\begin{aligned}\tilde{A} \otimes k &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \otimes k \\ &= (a_1.k, a_2.k, a_3.k, a_4.k)\end{aligned}\quad (2.35)$$

- **Bölme işlemi:**

$$\begin{aligned}\tilde{A} \varphi \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \varphi (b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1 / b_4, a_2 / b_3, a_3 / b_2, a_4 / b_1)\end{aligned}\quad (2.36)$$

- **Ters işlem:**

$$\tilde{A}^{-1} = (a_1, a_2, a_3, a_4)^{-1} \approx (1/a_4, 1/a_3, 1/a_2, 1/a_1) \quad (2.37)$$

2.5. BULANIK MANTIK YAKLAŞIMININ AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Bulanık mantık yaklaşımının klasik yaklaşımlara göre bir takım avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bulanık mantık kavramının avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Bulanık mantığın insan düşünüş tarzına yakın olması, matematiksel modellere uyum sağlaması, uygulamalarının hızlı ve ucuz olması, insan davranışlarını formüle etmesi ve yeni olanaklara açık olması en önemli avantajlarından (Menteş, 2000: 28).
- Bulanık mantık yaklaşımı matematiksel modele ihtiyaç duymadığından, matematiksel modeli iyi tanımlanamamış, zamanla değişen ve doğrusal olmayan sistemler en başarılı uygulama alanlarıdır (Elmas, 2003a: 39). Ayrıca çok karmaşık, belirsizlik içeren sistemlerin oluşturulmasına olanak tanır.
- İnsan faktörünün içine girdiği, belirsizlik, kişisel önyargı, davranış ve amaçların kapsandığı durumlarda uygulama alanı bulduğundan gerçek hayat problemleri için klasik matematiksel modellemeden daha esnek ve güvenlidir (Tuş, 2006: 40).

Bulanık mantığın avantajlarının yanında bir takım dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Bulanık mantık uygulamalarında mutlaka kuralların uzman deneyimlerine dayanarak tanımlanması gerekir. Üyelik fonksiyonlarını ve bulanık mantık kurallarını tanımlamak her zaman kolay değildir.
- Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kesin sonuç veren belirli bir yöntem ve öğrenme yeteneği yoktur. En uygun yöntem deneme yanılma yöntemidir, bu da çok uzun zaman alabilir. Uzun testler yapmadan gerçekten ne kadar üyelik işlevi gerektiğini kestirmek çok güçtür.
- Sistemlerin kararlılık, gözlemlenebilirlik ve denetlenebilirlik analizlerinin yapılmasında ispatlanmış kesin bir yöntemin olmayışı bulanık mantığın temel sorunudur. Günümüzde bu sadece pahalı deneyimlerle mümkün olmaktadır (Elmas, 2003a: 39-40).
- Belirli formal tasarımının olmaması ve iyi metriklere sahip bulunmaması, geleneksel yöntemlere göre ne kadar iyi sonuç vereceğinin ve ne zaman kullanılması gerektiğinin kestirilememesi de dezavantajları arasında sayılabilir (Menteş, 2000: 28).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK KARAR TEORİSİ

3.1. BULANIK KARAR VERME

Gerçek hayatta karşımıza çıkan durumlarda, eksik ya da elde edilemeyen bilgi yüzünden veriler kolay belirlenemediğinden genellikle bulanıktır ve kesin değildir. Bu yüzden, karar vericiler bazen eksik ve sayısal olmayan bilgiler kullanarak karar vermek zorunda kalabilirler. Bu gibi durumlarda bulanık küme teorisi, karar verme sürecine dâhil edilerek daha etkin kararlara ulaşılabilir.

Karar verme, kişiden kişiye değiştiği için sübjektif bir süreçtir ve belirsizlikler içermektedir. Klasik karar verme yöntemleri, belirsiz ve kesin olmayan durumlarda kullanılmadığından bu gibi durumlarda bulanık karar verme yöntemleri kullanılmaktadır (Mete ve Manisalı, 2007: 1214). Bu bağlamda bulanık mantığın temel amacı, insanların tam ve kesin olmayan bilgiler ışığında tutarlı ve doğru kararlar vermelerini sağlayan düşünme ve karar verme mekanizmalarının modellenmesi olarak belirtilebilir (Türkbey, 2003: 64).

Genellikle, günlük hayatta karşılaşılan karar problemleri, amaç ve parametrelerinin kesin olarak bilinmemesinden dolayı iyi tanımlanamazlar. Bu yüzden karar vericiler, kesin olmamadan kaynaklanan engeller ile karşı karşıya kalırlar. Ayrıca, birçok gerçek hayat probleminin doğası gereği rasgele nitelikte olmayıp bulanıklık içermesinden dolayı bu tür problemleri ele almada olasılık uygulamaları tatmin edici sonuçlar vermemektedir. Diğer yandan gerçek hayatta karşılaşılan karar problemlerinde bulanık küme uygulamaları daha gerçekçi çözümler sunmaktadır. Bulanık karar vermenin temel özelliği, daha esnek bir yapı sağlayarak tam bilgiye ulaşamamaktan kaynaklanan engelleri ortadan kaldırmasıdır (Gu ve Zhu, 2006: 400). Karar vermede,

bulanık yaklaşımı kullanmanın avantajlarından bir tanesi de niteliklerin görelî önemlerinin kesin sayılar yerine bulanık sayılar ile ifade edilmesidir (Yang ve Hung, 2007: 131).

Karar vericiler genellikle sabit değeri yargılara varmaktan belirli aralıklar dâhilinde yargılara varmayı tercih ederler. Bunun sebebi karar vermede, alternatifleri karşılaştırma sürecinin bulanık doğası gereği kişinin kendi tercihlerini tam olarak belirtememesidir (Büyüközkan vd, 2004: 260–261). Ayrıca, karar vericiler değerlendirme yaparken çoğu zaman kesin yargılarda bulunamazlar. Bu durum analizlerde hataların oluşmasına neden olabilir. Bu yüzden bulanık küme teorisi karar verme sürecinin kapsamlılığını ve uygunluğunu güçlendiren önemli bir araçtır (Benitez vd, 2007: 546). Bulanık küme teorisi, belirsizliği ve kesin olmamayı matematiksel olarak ifade etmek üzere tasarlanmıştır (Kahraman vd, 2004: 172).

Bulanık kümelerden yararlanarak, bilginin daha doğal bir şekilde ifade edilebilmesi sayesinde birçok mühendislik ve karar problemi daha kolay modellenebilmektedir. Sınırları net tanımlanmamış veri sınıfları ya da gruplarını ifade etmekte bulanık küme teorisinden yararlanır (Kahraman vd, 2003a: 386). Çünkü bulanık küme teorisi, karar vermek için yaklaşık bilgiyi kullanması açısından insan mantığına benzemektedir (Kahraman vd, 2004: 172).

Bulanık karar vermenin ana çalışma alanı belirsizlik altında karar vermedir. Çünkü elimizde kriterlere, alternatiflere ve sonuçlara ilişkin sayısal değerler değil sözel değerler mevcuttur ve bu da belirsizliğe neden olur. Karar verici alternatifleri oluştururken kişisel görüşlerine dayanarak belirsizlik içeren sözel değerler de kullanır ve bunlar bulanık kümeler ile temsil edilebilir. Karar verici tarafından üretilen bu tipte alternatiflerin mevcut kriterlere göre subjektif değerlendirmesinden sonra kriterlerin tümünü tatmin etme derecesine göre sıralamaya konulur ve en yüksek değerlinin yani en uygununun bulunması ile optimal çözüm elde edilir (Eminov ve Ballı, 2004: 440).

3.2. BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

Bulanık küme teorisinin kullanımına en uygun alanlardan biri karar analizidir. Genellikle çok kriterli karar problemleri içerdikleri karmaşık, değerleri sözel olabilen ancak çok iyi tanımlanamayan kriterler nedeniyle bulanık küme teorisi kullanılarak modellenmeye çok uygundur (Gültaş ve Özok, 2007: 88). Son yıllarda bulanık kümelerin, çok kriterli karar verme sürecine dâhil edilmesiyle Çok Kriterli Karar Verme'nin (ÇKKV) alanı genişletilmiş ve büyük bir gelişme kat edilmiştir. Böylelikle bulanık ÇKKV ortaya çıkmıştır.

Klasik ÇKKV yöntemlerinde, kriterlerin ağırlıklarının ve önem derecelerinin kesin olarak bilindiği varsayılmaktadır. Fakat kesin veriler gerçekte karşılaşılan problemleri modellemede yetersiz kalmaktadır (Dursun ve Karsak, 2007: 1223). Bulanık ÇKKV yöntemleri ise kriterleri ve alternatifleri değerlendirmede sözel değişkenleri kullanma olanağı sunmanın yanında, kesin olmayan verileri sayısallaştırarak etkin sonuçlar vermektedir.

Bir karar verme sürecinde temel problem, birbiri ile çelişen kriterlere göre değerlendirilen seçenekler kümesinden en iyi seçeneği belirlemektir. Bu amaca yönelik olarak geliştirilmiş karar verme yöntemlerinin büyük bir bölümü sadece nicel kriterleri kapsamaktadır. Oysa gerçek hayatta karar verme süreci nicel ya da nitel kriterlerden önemli ölçüde etkilenmektedir (İnce ve Gültaş, 2006: 108). Klasik ÇKKV yöntemlerinde karar verme, alternatiflerin belirli bir kritere ilişkin değerlendirilmesi onların bu kriterlere ilişkin sahip olduğu gerçek sayılarla veya belirli bir olasılık değerine göre yapılır. Nicel olarak tanımlanan bu tür kriterlerden farklı olarak sadece sözel ifade edilebilen veya belirsizlik içeren, yani kesin olarak tanımlanamayan nitel kriterlerin söz konusu olduğu problemler de mevcuttur. Bu durumda alternatiflerin böyle kriterlere ilişkin aldığı değerler onların subjektif olarak değerlendirilmesi ile yapılır. Bunun için nitel kriterlerin önce bulanık kümelerle temsil edilmesi ve sonra alternatiflerin bu kümelere üyelik değerlerinin belirlenmesi ile belirsizlik ortamında karar vermeye imkân sağlanır (Ballı, 2005: 3).

3.3. BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Faklı durum ve ortamlarda, farklı alternatiflerin seçilmesi için karar verme, yönetim kademesinde bulunanların en önemli ve zor görevlerinden biridir. Günümüzün hızla değişen rekabetçi ortamı, bir işletmenin başarılı olması için, detaylı karar verme sürecine sahip olmasını gerektirir. Karar verme, sadece bilgiyi kullanarak değil, aynı zamanda gelişmiş karar verme tekniklerinin yardımıyla gerçekleştirilmelidir. Dolayısıyla doğru kararların alınması rekabetçi ortamda avantaj kazanmak için gereklidir. Ayrıca bu karar verme sürecine birden fazla amaç ve kriter de dâhil olmaktadır. Bu yüzden işletmelerin önemli kararlarını verirken, bütün kriterleri göz önünde bulunduran ÇKKV yöntemlerini kullanmaları yararlarına olacaktır (Soner ve Önüt, 2006: 120). Ancak karşılaşılan problemin çözümünde kullanılan karar matrisindeki oranların sözel veya bulanık olduğu durumlarda, mevcut ÇKKV yöntemlerinin yetersiz kalmasından dolayı bulanık ÇKKV yöntemleri geliştirilmiştir (Menteş, 2000: 1). Literatürde en çok karşımıza çıkan bulanık ÇKKV yöntemleri, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi, Bulanık TOPSIS yöntemleridir. Ayrıca bu bölümde Bulanık PROMETHEE, Bulanık Ağırlıklı Toplam ve Bulanık Ağırlıklı Çarpım yöntemlerine de değinilmiştir.

3.3.1. Bulanık Ağırlıklı Toplam Yöntemi

Bulanık ağırlıklı toplam yönteminde (BATY) eşitlik (3.1)'i sağlayan alternatif en iyi alternatif olarak seçilir. Bu yöntemde karar verici tarafından kriterlerin önem dereceleri ifade edilirken üçgen bulanık sayılar kullanılır. i . alternatifin j . kriter altında performans değeri üçgen bulanık sayı cinsinden $\tilde{a}_{ij} = (a_{ijl}, a_{ijm}, a_{iju})$ olarak ifade edilir ve kriter ağırlıkları $\tilde{w}_j = (w_{jl}, w_{jm}, w_{ju})$ şeklinde gösterilir. Bulanık olmayan modellerde ağırlıklar toplamının bire eşit olması gerekmektedir, burada w_{jm} değerlerinin toplamının bire eşit olması yeterlidir. Bu kısıtlar altında en iyi alternatif aşağıdaki eşitliği sağlayan alternatif olacaktır (Triantaphyllou ve Lin, 1996: 289):

$$P_{BATY}^* = \max \sum_{j=1}^N \tilde{a}_{ij} \tilde{w}_j \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (3.1)$$

3.3.2. Bulanık Ağırlıklı Çarpım Yöntemi

Bulanık ağırlıklı çarpım yönteminde (BAÇY) en iyi alternatif eşitlik (3.2)'yi sağlayan alternatiftir.

$$R\left(\frac{a_K}{a_L}\right) = \prod_{j=1}^N \left(\frac{\tilde{a}_{Kj}}{\tilde{a}_{Lj}}\right)^{\tilde{w}_j} \quad (3.2)$$

Bulanık modelde $\tilde{a}_{Kj}, \tilde{a}_{Lj}$ ve \tilde{w}_j değerleri üçgen bulanık sayılardır. a_K alternatifinin a_L alternatifine baskın olması için koşul, eşitlik (3.2)'de payın paydadandan büyük olmasıdır (Triantaphyllou ve Lin, 1996: 291).

3.3.3. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi, uzman kişinin bilgilerini ele alsa da, insani düşünme tarzını yansıtamamaktadır (Kahraman vd, 2003b: 173). Ayrıca AHP yöntemi, ikili karşılaştırma sürecinde, belirsizlik ve kararsızlık durumlarını ele almada yetersiz olmasından dolayı eleştirilmektedir (Deng, 1999: 215). Bu yüzden hiyerarşik problemleri çözmek için Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) geliştirilmiştir. Keskin değerlerin kullanıldığı AHP'den farklı olarak, BAHP'de kıyaslama oranları bir değer aralığında verilmektedir (Bender ve Simonovic, 2000: 36). Böylece, karar alma sürecindeki belirsizliğin daha kolay üstesinden gelinmektedir.

Klasik AHP karar vericilerin gereksinimlerini tam olarak karşılayamadığından ve insanlar alternatifleri değerlendirirken subjektif ve kesin yargılar veremedikleri için yani belirsizliklerin olmasından dolayı BAHP yöntemi ileri sürülmüştür (İnce ve Gültaş, 2006: 117). BAHP yöntemi, çok kriterli karar problemlerini etkin bir şekilde çözmeye ve insanların karar vermesindeki belirsizlikle baş edebilme yeteneği sağlar (Akman ve Alkan, 2006: 40).

AHP yönteminde 1 ile 9 arasında numaralandırılmış ölçeklerin kullanılması basit olmasına rağmen bir takım tutarsızlıklar içermektedir. Ayrıca karar vericiler genel olarak aralıklı karar vermeyi sabit değerli karar vermeye göre daha rahat bulmaktadır. Dolayısıyla bu yöntem, karar vericinin kararları ile belirsizliğin açıklanması ve sayılara dökülmesi konusunda yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden insani düşünce tarzını daha iyi

yansıtılabilmek amacıyla BAHP geliştirilmiştir (Serbest vd, 2007: 1289) BAHP özellikle çok kriterli karar verme problemlerinde yaygın kullanım alanı bulmuş bir yöntemdir. BAHP yöntemi karmaşık problemleri hiyerarşiler sistemine dönüştürerek çözümlen analitik bir süreçtir. Bu yöntem, niteliksel ve niceliksel kriterleri beraber değerlendirebilmenin yanında insani düşünce sistemine yakın olma özelliğine sahiptir (Alver ve Aslantaş, 2006: 768). Ayrıca, sözel ifadelerin sayısallaştırılması ve farklı düşüncelerin ortak bir paydada birleştirilmesinin zorluğu BAHP yöntemi ile giderilebilmektedir.

İnsanların iki alternatifini karşılaştırırken her zaman kesin oranlar atamaları zordur. Bulanık sayılar ise bu belirsizliği azaltmaya yardımcı olur. Çünkü bulanık sayıların sezgiyle kullanılması kolaydır (Buckley, 1985: 234). Örneğin eğer bir kişi, A ve B alternatiflerini görece önemlerine göre kıyaslırsa ve A 'nın B 'den daha önemli olduğuna inanırsa, A , B 'den yaklaşık olarak iki kat önemlidir ya da A , B 'ye göre 3 ile 5 kat arası daha önemlidir şeklinde cevap verebilmektedir. Bu ifadelerin içerdiği belirsizliği ele almak için bulanık sayılar kullanılır. BAHP'de kesin oranlar yerine bulanık sayıların kullanılarak Saaty'nin hiyerarşik analizi genişletilir (Buckley, 1985: 246).

BAHP'nin klasik AHP'ye göre üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir (Güner, 2005: 47):

- Bulanık sayılar, gerçek değerlere göre insanların değerlendirmelerini daha iyi yansıtılabilmektedir.
- Bulanık sayılar, karar vericilere ana amaca ulaşmada değerlendirme yaparken kolaylık sağlamaktadır.

Literatürde, çok sayıda yazar tarafından ileriye sürülmüş birçok BAHP yöntemi mevcuttur. Bu yöntemler hiyerarşik yapının analizini ve bulanık küme teorisini kullanarak alternatif seçimine sistematik bir yaklaşım getirmişlerdir (Büyüközkan vd, 2004: 260). Tablo 3.1'de literatürde çeşitli yazarlar tarafından ileri sürülen BAHP yöntemlerinin karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 3.1. BAHP yöntemlerinin karşılaştırılması (Büyüközkan vd, 2004: 262)

Kaynak	Yöntemin Ana Özelliği	Avantaj (A) ve Dezavantajları (D)
Van Laarhoven ve Pedrycz (1983)	<ul style="list-style-type: none"> Saaty'nin AHP yönteminin üçgen bulanık sayılarla genişletilmiş şeklidir. Bulanık ağırlıkların ve bulanık performans skorlarının bulunmasında Lootsma'nın logaritmik en küçük kareler yöntemi kullanılır. 	<p>(A) Karar vericilerin görüşleri karşılaştırma matrisi ile modellenebilir.</p> <p>(D) Doğrusal denklemlerde her zaman bir çözüm yoktur.</p> <p>(D) Küçük bir problem için bile çok fazla sayısal hesaplama gerektirir.</p> <p>(D) Sadece üçgen bulanık sayıların kullanılmasına izin verir.</p>
Buckley (1985)	<ul style="list-style-type: none"> Saaty'nin AHP yönteminin ikizkenar yamuk bulanık sayılar ile birlikte genişletilmiş şeklidir. Bulanık ağırlıkları ve bulanık performans skorlarını elde etmek için geometrik ortalama yöntemi kullanılır. 	<p>(A) Bulanık duruma genişletmek kolaydır.</p> <p>(A) Karşılıklı karşılaştırma matrisine tek bir çözümü garanti etmektedir.</p> <p>(D) Çok fazla sayısal hesaplama gerektirir.</p>
Boender vd (1989)	<ul style="list-style-type: none"> Van Laarhoven ve Pedrycz'in modelinin geliştirilmiş şeklidir. Yerel önceliklerin normalizasyonunda daha sağlam yaklaşım sunmaktadır. 	<p>(A) Çok sayıda karar vericinin görüşleri modellenebilir.</p> <p>(D) Çok fazla sayısal hesaplama gerektirir.</p>
Chang (1996)	<ul style="list-style-type: none"> Sentetik derece değerleri Basit seviye sıralaması Birleşik toplam sıralama 	<p>(A) Daha az sayısal hesaplama gerektirir.</p> <p>(A) Klasik AHP'nin adımlarını izler ve ek işlemler gerektirmez.</p> <p>(D) Sadece üçgen bulanık sayıların kullanılmasına izin verir.</p>
Cheng (1996)	<ul style="list-style-type: none"> Bulanık standartlar geliştirir. Performans skorlarını üyelik fonksiyonlarıyla gösterir. Toplam ağırlığın hesaplanmasında entropi kavramlarını kullanır. 	<p>(A) Sayısal hesaplama ihtiyacı çok fazla değildir.</p> <p>(D) Entropi olasılık dağılımı bilindiği zaman kullanılır.</p> <p>Yöntem hem olasılık ve hem de olabilirlik ölçülerine dayanır.</p>

Bu tez çalışmasında Chang (1996) tarafından ileri sürülen genişletilmiş BAHP yöntemi ele alınmıştır. Genişletilmiş BAHP yönteminin kullanımı sıkıcı ve ağır matematiksel işlemlerin kullanımını içermez. Genişletilmiş BAHP yöntemi, insani

düşünce tarzının belirsizliğini ele alma yeteneğine sahiptir ve çok kriterli karar verme problemlerini çözmede etkilidir (Chan ve Kumar, 2007: 430). Bu yöntemde izlenen metodoloji şu şekilde açıklanabilir:

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ bir nesnelere kümesi ve $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ de bir amaçlar kümesi olsun. Genişletilmiş analiz yöntemine göre, her bir nesne bir amacı gerçekleştirmek üzere ele alınır. Genişletilmiş ifadesi ile bu nesnenin amacı ne kadar gerçekleştirdiği ifade edilmektedir. Böylece, m tane genişletilmiş analiz değeri elde edilmiş olup şu şekilde gösterilir:

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.3)$$

Buradaki tüm $M_{g_i}^j$ ($j = 1, 2, \dots, m$) değerleri, üçgen bulanık sayılardır. Chang'ın genişletilmiş analizinin adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Chang, 1996: 650):

1. Adım: i . nesne için bulanık büyüklük değeri şu şekilde tanımlanır:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (3.4)$$

Burada S_i , i . amacın sentez değerini, $M_{g_i}^j$ her bir amaca yönelik genişletilmiş değeri ifade etmektedir. Eşitlik (3.4)'deki işlem, bulanık sayılarda yapılan bir çeşit normalizasyon işlemi olarak da algılanabilir.

$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ değerini elde etmek için, m adet genişletilmiş analiz değeri bulanık toplama işlemi yardımıyla bulunarak bir matris elde edilir. Bu matrisin elemanları eşitlik (3.5) yardımıyla bulunur:

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (3.5)$$

$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$, i elde etmek için, M_{gi}^j ($j = 1, 2, \dots, m$) değerlerinin bulanık

toplama işlemi şu şekilde uygulanır:

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (3.6)$$

2. Adım: Chang'in önerdiği yöntem, elde edilen sentez değerlerinin karşılaştırılması ve bu karşılaştırma değerlerinden ağırlık değerlerinin elde edilmesi esasına dayanmaktadır. İki bulanık sayının karşılaştırılması şu şekilde yapılmaktadır:

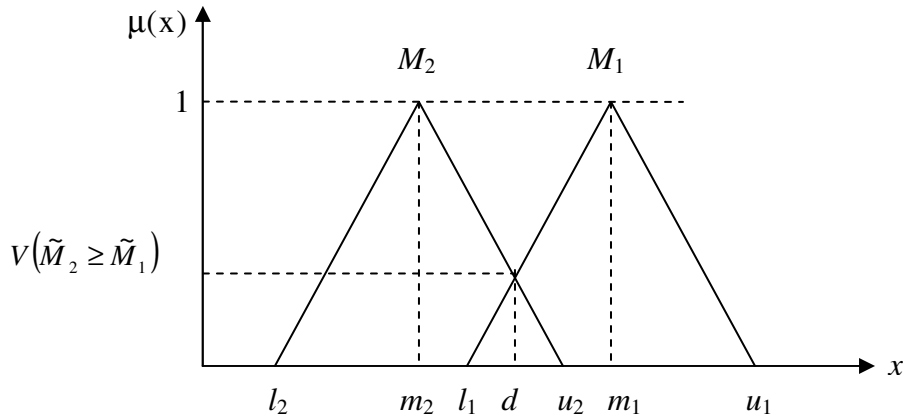
$\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ iki üçgen bulanık sayı iken $\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1$ eşitliğinin olabilirlik derecesi şu şekilde tanımlanabilir:

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) =_{y \geq x} \sup \left[\min(\mu_{\tilde{M}_1}(x), \mu_{\tilde{M}_2}(y)) \right] \quad (3.7)$$

Bu eşitlik, $y \geq x$ eşitsizliğinin genişleme prensibine göre ifade edilmiş şeklindedir. Eşitlik $y \geq x$ ve $\mu_{\tilde{M}_1}(x) = \mu_{\tilde{M}_2}(y)$ gibi ilişki bulunan (x, y) sayı çiftinin aralarındaki büyüklük ilişkisini yani M_2 'nin M_1 'den büyük olma olabilirliğini gösteren değer $V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = 1$ olduğunu belirtmektedir. Bu eşitlikte \tilde{M}_2 'nin orta değerinin \tilde{M}_1 'den büyük olabilirliği 1 değerini almaktadır. Aksi takdirde, olabilirlik hesabı eşitlik (3.9) kullanılarak yapılabilir. Ancak sadece, $V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1)$ değerini bilmek yeterli değildir. Ayrıca $V(\tilde{M}_1 \geq \tilde{M}_2)$ değerinin de hesaplanması gereklidir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi \tilde{M}_1 ve \tilde{M}_2 gibi iki bulanık sayıdan \tilde{M}_2 'nin \tilde{M}_1 'den büyük olma olabilirliği bu iki bulanık sayının kesişim noktasındaki üyelik fonksiyonunun değerine eşittir. $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ bulanık sayılar iken:

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = \text{yükseklik}(\tilde{M}_1 \cap \tilde{M}_2) = \mu_{M_2}(d) \quad (3.8)$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{eğer } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{eğer } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3.9)$$



Şekil 3.1. \tilde{M}_1 ve \tilde{M}_2 sayılarının büyüklüklerinin karşılaştırılması (Chang, 1996: 651)

3. Adım: Konveks bir bulanık sayının k adet bulanık sayıdan, M_i ($i=1, 2, \dots, k$) daha büyük olabilirlik derecesi şöyle tanımlanır:

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) &= V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k)] \\ &= \min V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, k \end{aligned} \quad (3.10)$$

O takdirde S_j 'ler için şu varsayımlar yapılmıştır:

$$k = 1, 2, \dots, n; k \neq j \text{ için} \quad d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$$

Daha sonra ağırlık vektörü A_i ($i = 1, 2, \dots, n$)'nin n elemandan oluştuğu

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (3.11)$$

şekliyle verilir.

4. Adım: Normalizasyon ile normalize edilmiş ağırlık vektörü W elde edilir ve burada W bir bulanık sayı değildir.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (3.12)$$

Literatürde BAHP yöntemini ele alan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda bulanık kümeler kuramı ve hiyerarşik yapı kullanılarak çok kriterli karar verme problemleri ele alınmıştır.

İlk BAHP çalışması, üçgen üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanmış bulanık oranları karşılaştıran Van Laarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından yapılmıştır. Birbiri ile çelişen karar kriterleri altında birden çok alternatif arasından seçim yapmak için, Saaty'nin ikili karşılaştırma yönteminin bulanık şekli olan bir yöntem sunmuşlardır. Bu çalışmada, karar vericilerden fikirlerini üçgen bulanık sayılar ile ifade etmeleri istenmiştir. Yöntem iki farklı aşamada uygulanmıştır. İlk olarak karar kriterlerinin bulanık ağırlıkları, ikinci olarak ise her kriter bazında alternatiflerin bulanık ağırlıkları belirlenmiştir. Öncelik değerlerinin bulunmasında logaritmik regresyondan yararlanılmıştır. Karar vericiler, bu sonuçların uygun bir birleşimi ile alternatiflerin bulanık skorlarını elde etmişlerdir. Bu bulanık skorlar kullanılarak alternatifler arasından en iyisi seçilebilecektir. Önerdikleri yöntemi, bir üniversitede profesör seçim probleminin çözümünde kullanmışlardır.

Buckley (1985), karşılaştırma oranlarının bulanık önceliklerinin yamuk üyelik fonksiyonu ile belirlendiği BAHP yöntemini önermiştir. Bu çalışmada, tam değerlerin yerine bulanık oranlar kullanılarak hiyerarşik analiz genişletilmiştir. Önerilen yöntemde, hiyerarşideki kriterlerin ikili karşılaştırmaları sonucu bulanık pozitif karşılıklı matrisler oluşturulur. Her bulanık matris için bulanık ağırlıkların hesaplanmasında geometrik ortalama yöntemi kullanılır ve bunlar alternatiflerin en son bulanık ağırlıklarını belirlemek için birleştirilir. Daha sonra, bulanık ağırlıklar alternatifleri en düşüğe en yükseğe sıralamada kullanılır. Bu çalışmada Buckley, Laarhoven ve Pedrycz'in önerdiği yöntemi iki yönden eleştirmektedir. Bu eleştirilerden ilki; Laarhoven ve Pedrycz'in çalışmalarında üçgen bulanık sayıları kullanmasıdır. Buckley, değerlendirmede üçgen bulanık sayıların kullanılması durumunda kayıp verilerin oluşabileceğini ve birden çok sonuç ortaya çıkabileceğini belirtmektedir. İkinci eleştirisi, üçgen bulanık sayılar ile işlemlerin sonuçlarının her zaman yine bir üçgen bulanık sayı olmamasıdır. Bu da

yaklaşık sonuç kullanmayı zorunlu kılar. Buckley, çalışmasında ele alınan yöntemde ağırlıklar için tek bir bulanık sayı üretmiştir. Bu da veri kaybını önlemektedir.

Chang (1996), karşılaştırmalarda üçgen bulanık sayıları kullanarak BAHP için yeni bir yaklaşım ortaya atmıştır ve ikili karşılaştırmalarda genişletilmiş analiz yöntemini kullanmıştır. Uygulama kısmında, Van Laarhoven ve Pedrycz'in (1983) çalışmasında ele almış olduğu bir üniversiteye profesör seçim problemini, genişletilmiş analiz yöntemiyle çözmüştür. Ayrıca genişletilmiş analiz yöntemi ile logaritmik en küçük kareler yönteminin kıyaslamasına da yer vermiştir.

Cheng (1996), deniz taktik füzelerinin değerlendirmesinde BAHP yöntemi ve entropi ağırlıklarına dayanan bir yöntem önermiştir. Değerlendirmede, füzelerin genel özellikleri, teknik özellikleri, bakım yapılabilmesi, ekonomiklik ve gelişim kriterleri göz önüne alınarak üyelik fonksiyonunun derecelendirmesi esas alınmıştır. Öncelikle kriterlerin üyelik fonksiyonları oluşturulmakta daha sonra da performans değerlerini göstermesi için üyelik fonksiyonlarının dereceleri bulunmaktadır. Son olarak, BAHP ve entropi ağırlıkları yardımıyla en iyi alternatif belirlenmektedir.

Weck vd (1997), bulanık matematiği klasik AHP'ye uygulayarak alternatif üretim döngülerinin değerlendirilmesi için bir yöntem sunmuşlardır. Önerilen yöntem ile elde edilen üretim döngülerinin değerlendirme sonuçları bulanık olacağından sonuçlar ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırılmakta ve bu sonuçlara göre alternatif üretim döngüleri ana hedef kümesine göre sıralanmaktadır.

Deng (1999), çok kriterli sayısal analiz problemlerini ele almak için bulanık bir yaklaşım sunmuştur. İleri sürülen yaklaşım, bulanık küme teorisi, AHP, bulanık genişletilmiş analiz, α kesim kavramı, ideal çözüm kavramlarının sentezine dayanmaktadır. Sonuç olarak, karar vericinin bilişsel ağırlığı azaltılmış olmakta ve değerlendirme sürecindeki subjektiflik ve kesin olmama yeterli bir şekilde ele alınabilmektedir.

Zhu vd (1999), üçgen bulanık sayıların temel teorisini kanıtlayarak, üçgen bulanık sayıların büyüklük kıyaslamalarının formülasyonunu geliştirmişlerdir. Bu bağlamda, BAHP yöntemi ile bir petrol araştırma örneği ele almışlardır.

Cheng vd (1999), sözel değişken ağırlıklarına dayalı AHP yöntemini kullanarak, askeri amaçlı hücum helikopterlerinin değerlendirilmesi için yeni bir yöntem önermişlerdir. Teknolojik açıdan gelişmişlik, lojistik yeterlilik, elektronik donanım, teçhizat ve bakım kolaylığı kriterleri, sözel değişkenler kullanılarak değerlendirilmiş, daralma ve genişleme katsayıları göz önünde bulundurularak, en iyi silah sistemi seçilmiştir. İnsani düşünce tarzına yakın ve sözel ifadeleri modellemede etkin olması, önerilen yöntemin avantajları arasında sayılabilir.

Leung ve Cao (2000), BAHP'deki alternatifler için tolerans sapmalarını dikkate alarak bulanık tutarlılığı tanımlamışlardır. Çalışmada önerilen yöntemde, tolerans sapmalarına izin veren göreceli önemlerin bulanık oranları, yerel önceliklerin üyelik derecelerinde kısıtlar olarak formüle edilmektedir. Bulanık yerel ve genel ağırlıklar genişleme prensibi ile belirlenir ve alternatifler, maksimum minimum küme sıralama yöntemi uygulanarak genel ağırlıklara göre sıralanır.

Chou ve Liang (2001), nakliye işletmesinin performans değerlendirmesi için bulanık çok kriterli karar verme modeli önermişlerdir. Öncelikle, AHP yöntemi ile kriter ve alt kriterlerin sübjektif ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra, alternatifler üçgen ve yamuk bulanık sayılar ile nitelendirilen sözel değişkenler yardımıyla, kriterler ve alt kriterler bazında değerlendirilmiştir. Son olarak, en iyi seçimin yapılabilmesi için farklı nakliye işletmelerinin bulanık değerlendirme sonuçları elde edilmiştir.

Kwong ve Bai (2002), kalite fonksiyon görçeriminde müşteri gereksinimlerinin önem ağırlıklarının belirlenmesinde BAHP yaklaşımından yararlanmışlardır. Müşteri gereksinimlerinin belirsiz olmasından dolayı ikili karşılaştırmada üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır. Önerilen yöntemin uygulanabilirliğini göstermek için, çalışmanın sonunda bisiklet çamurluğu tasarımında müşteri gereksinimlerinin BAHP ile belirlenmesi ele alınmıştır.

Shamsuzzaman vd (2003), esnek imalat sistemleri alternatiflerinden en uygun olanının seçilmesinde BAHP yöntemini önermişlerdir. Bulanık kümeler, seçim kriterlerinin sözel değişkenler şeklinde ifade edilmesinde kullanılmaktadır. Daha sonra,

AHP yöntemi ile seçim kriterlerinin göreceli ağırlıkları ve önemleri belirlenerek, geliştirilen uzman sistem yardımıyla en iyi alternatif seçilmektedir.

Kahraman vd (2003a), belirlenen kriterleri en iyi karşılayacak tedarikçinin seçiminde BAHP yöntemini kullanmışlardır. Uygulamada, Türkiye’de kurulu beyaz eşya üreticisi bir firmanın yeni bir aspiratör modeli için üç tedarikçi alternatifini üç ana kriter ve on bir alt kriter bazında değerlendirilmesi ele alınmıştır.

Kahraman vd (2003b), kuruluş yeri seçim problemini, dört farklı bulanık çok ölçütlü karar verme yaklaşımı ile ele almışlardır. Bu yaklaşımlardan ilki, Blin tarafından ortaya atılmış bulanık grup karar modelidir. Bu model, bulanık üyelik fonksiyonlarıyla çözüm sağlayan bir yöntemdir. İkincisi bulanık sentez analizidir. Üçüncüsü ise Yager’in ağırlıklı hedefler yöntemidir. Bu yöntemde alternatiflere ait ağırlık değerleri klasik AHP yöntemi yardımıyla bulunmakta ve daha sonra kriterler ile alternatifler arasındaki önem dereceleri bulanık değerlerle ifade edilerek nihai karara ulaşılmaktadır. Dördüncü yöntem ise BAHP’dir. Dört yaklaşım da en iyi kuruluş yeri alternatifini belirlemeyi amaçlasa da farklı teorik altyapılardan gelmektedirler. Bu yaklaşımlar, en iyi kuruluş yeri alternatifinin seçilmesinde nicel ve nitel kriterleri dikkate almaktadır. Çalışmada yaklaşımların karşılaştırmalı analizi yapılarak, her bir yaklaşım için sayısal örnekler verilmiştir.

Chang vd (2003), havaalanı performans değerlendirmesi problemini ele almışlar ve değerlendirmede kriter ağırlıklarını belirlemek için diğer geleneksel yöntemlerden daha iyi sonuç veren BAHP yöntemini kullanmışlardır. Havaalanlarının performanslarına göre sıralanmasında ise TOPSIS ve bulanık sentez yaklaşımından yararlanmışlardır.

Bozdağ vd (2003), bilgisayar entegrasyonlu üretim sistemi seçiminde, dört farklı bulanık çok ölçütlü karar verme yaklaşımını ele almışlardır. Bunlardan ilki, Blin’in bulanık grup karar modeli, ikincisi bulanık sentez analizidir. Üçüncüsü ise Yager’in ağırlıklı hedefler yöntemi ve sonuncusu BAHP’dir. Bu yaklaşımlar, bir Türk motor üreticisinin ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılayacak bilgisayar entegrasyonlu üretim sistemini seçmesine yardımcı olmak üzere ayrı ayrı ele alınmıştır. Çalışmanın sonunda, yaklaşımların karşılaştırmalı analizine de yer verilmiştir.

Enea ve Piazza (2004), BAHP’de dikkate alınması gereken kısıtlar üzerine odaklanmışlar ve BAHP yöntemini proje seçiminde kullanmışlardır. Çalışmada, BAHP’de genişletilmiş analiz yönteminin eksikliklerinden bahsedilmiş ve bu eksikliği giderecek bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımda, bulanık sayıların aralık değerlerinin azaltılmasıyla belirsizliğin azaltılacağı belirtilmiş ve bir örnek üzerinde önerilen yaklaşım ele alınmıştır. Örnekte mevcut projeleri değerlendirirken içerdikleri risk, maliyet, çevresel etki ve projenin süresi olmak üzere dört kriter belirlenmiş ve uzmanlar tarafından yapılan ikili karşılaştırmalar sonucunda projeler içinden en iyisi seçilmiştir.

Kahraman vd (2004), en çok müşteri memnuniyetini sağlayan yemek şirketini belirlemek için BAHP yöntemini kullanmışlardır. Yaptıkları anket çalışması ile, müşteri istek ve beklentilerine uzman görüşlerini de dâhil ederek, İstanbul’da faaliyet gösteren üç tane yemek firmasını değerlendirmişlerdir. İkili karşılaştırma matrislerinde üçgen bulanık sayıları kullanmışlardır.

Mikhailov ve Tsvetinov (2004), servis değerlendirme sürecindeki belirsizliği ve kesin olmamayı ele almak için BAHP yönteminden yararlanmışlardır. Çalışmada, servis değerlendirme süreci, karar vericilerin yargılarının bulanık sayılar ile ifade edildiği, belirsizlik altında çok kriterli karar verme problemi olarak formüle edilmiştir. Kriterlerin ağırlıklarını ve servis sağlayıcılarının skorlarını değerlendirmek için yeni bir bulanık programlama yöntemi önerilmiştir. BAHP yönteminden, tüm olası alternatiflerin toplam skorlarının belirlenmesinde yararlanılmıştır.

Büyüközkan (2004), belirsizlik içeren koşullar altında e-pazar yeri seçiminde daha etkin karar verebilmek için bulanık çok kriterli karar vermeye dayanan bir yaklaşım ele almıştır. Bu yaklaşım, BAHP ve bulanık Delphi yöntemlerine dayanmaktadır. Çalışmanın sonunda, günlük hayattan bir uygulama ile önerilen yöntem açıklanmıştır. Ele alınan uygulama, Kütahya’da faaliyet gösteren bir işletmenin e-pazar yeri seçim problemini içermektedir. Performans, ekonomik değerler ve altyapı olmak üzere üç ana kriter ile dokuz alt kriter göz önünde bulundurularak seçim yapılmıştır.

Büyüközkan vd (2004), yazılım geliştirme stratejisinin seçimi için BAHP yöntemini önermişlerdir. Ekonomiklik ve kalite faktörlerine göre yazılım geliştirme

projesi için alternatif stratejiler değerlendirilmekte ve içlerinden en uygun olanı seçilmektedir. Çalışmada önerilen yöntem, gerçek bir uygulama üzerinde gösterilmiştir.

Hsieh vd (2004), kamu dairelerinde planlama ve tasarım alternatifleri seçimi için bir bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımı sunmuşlardır. Değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının karar vericiler tarafından belirlenmesi için BAHP yöntemi kullanılmıştır. Sözel ifadeler için bulanık sayılar kullanılarak, alternatif seçim sürecindeki subjektiflik ve belirsizliğin üstesinden gelinmektedir. Taiwan'da bir kamu kuruluşunda yapılan bir vaka çalışması ile ileri sürülen yaklaşımın etkinliği gösterilmektedir. Bu çalışmada Buckley (1985) tarafından önerilen BAHP yöntemi ele alınmıştır.

Kulak ve Kahraman (2004), nakliye firması seçiminde BAHP yöntemi ve aksiyomlarla tasarım prensiplerini kullanmışlardır. Seçim sırasında, maliyet, hasar oranı, esneklik, dokümantasyon yeteneği ve gecikme oranı kriterlerini dikkate alarak değerlendirme yapmışlar ve iki yöntemin sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Bottani ve Rizzi (2005), internet ortamında tedarikçi seçim problemi için BAHP yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmada öncelikle, internet ortamında en uygun tedarikçinin seçilmesine yönelik kriterler belirlenmiştir. Daha sonra, bu kriterler dikkate alınarak; e-tedarik programını yeni oluşturmuş ve gıda endüstrisinde faaliyet gösteren bir İtalyan firmasında uygulamaya yer verilmiştir.

Tang ve Beynon (2005), BAHP yöntemi ile sermaye yatırım çalışmasının geliştirilmesi için uygulamada bulunmuşlardır. Bu çalışmada, bir araba kiralama şirketi tarafından hangi marka arabaların seçileceğine karar vermek için BAHP yönteminden yararlanılmıştır.

Tang vd (2005), Taiwan dizüstü bilgisayar endüstrisi için dünya çapında çok amaçlı dağıtım modeli önermişlerdir. Önerilen yöntem, karma tamsayılı programlama ve BAHP yöntemlerini içeren iki aşamadan oluşmaktadır. Analitik yöntem, üreticiler ile müşteri servisleri arasındaki ilişkinin nicel olarak ortaya konmasını sağlamıştır.

Tolga vd (2005), işletim sistemi seçiminde bulanık yenileme analizini ve BAHP yöntemini kullanmışlardır. Karar verme sürecinin ekonomik bölümü bulanık yenileme

analizi ile geliştirilmiştir. Ekonomik olmayan bölümü ile finansal göstergeler, BAHP yöntemi yardımıyla birleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda, iki işletim sisteminin değerlendirilmesini içeren bir uygulama ele alınmıştır.

Zhang vd (2005), alternatiflerin değerlendirilmesinde ve kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde yamuk bulanık sayıların kullanıldığı BAHP yöntemi ile hiyerarşik bulanık integral yöntemine dayanan yeni bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Çalışmada önerilen bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımı silah sistemlerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda en iyi savaş tankı seçim problemini içeren sayısal bir örnek ele alınmıştır.

Tüysüz ve Kahraman (2006), eksik ve belirsiz bilgi altında proje risklerinin değerlendirilmesi için analitik bir araç sunmuşlardır. Proje risklerini değerlendirmede elverişli ve pratik bir yöntem olan BAHP ile bir Türk firmasının bilgi teknolojisi projesinin riskini değerlendirmişlerdir. Her kıyaslama için bilgi teknolojisi uzmanları tarafından oluşturulan üçgen bulanık sayılar, ikili karşılaştırma matrislerinde kullanılmıştır. Bu çalışmada Chang'in (1996) BAHP yönteminden yararlanılmıştır.

Ayağ ve Özdemir (2006), makina seçim problemi için BAHP yöntemini önermişlerdir. Önerilen yöntemde, ilk olarak birçok nitelik için alternatif ağırlıklarının belirlenmesinde BAHP yöntemi kullanılmış, daha sonra her alternatifin BAHP ile elde edilen skoru ve tedarik etme maliyeti kullanılarak fayda/maliyet oran analizi yapılmıştır. En yüksek fayda/maliyet oranına sahip alternatif, diğer alternatifler arasından en iyi makina olarak belirlenmiştir. Önerilen BAHP yöntemi, birçok matris hesaplaması gerektirdiği için bilgisayar ortamında bir yazılım geliştirilmiştir.

Erensal vd (2006), teknoloji yönetimi açısından; rekabet avantajı, rekabet öncelikleri ve firmanın yeterliliği arasındaki bağlantıyı ortaya koymak için bir model geliştirmişlerdir. Firmaların teknoloji yönetimindeki temel yeterlilikleri; on altı tane Türk firmasının yöneticilerine yapılan anketler sonucu elde edilen veriler kullanılarak, BAHP yöntemi yardımıyla karşılaştırılmıştır.

Chan ve Kumar (2007), küresel tedarikçi seçimi için verimli bir sistem geliştirmeye yönelik risk faktörlerini içeren önemli ve kritik karar kriterlerini

belirleyerek tartışmışlardır. Maliyet, kalite, servis performansı, tedarikçi profili ve küresel tedarikçi seçiminde yer alan risk faktörleri gibi farklı karar kriterlerini ele almak için genişletilmiş BAHP'ye dayalı bir yöntem önermişlerdir. Çalışmalarında önerdikleri genişletilmiş BAHP yöntemi, diğer mevcut karar sistemlerine göre daha basit, az zaman alan ve hesaplama maliyeti düşük bir yöntemdir.

Wang ve Chen (2007), iş ortağı seçimi için Mikhailov (2002) tarafından önerilen bulanık tercih programlama yöntemine dayanan, tutarlı bulanık tercih ilişkisi yöntemini sunmaktadırlar. Çalışmalarında, Mikhailov'un çalışmasında ele aldığı örnekten yararlanarak önermiş oldukları yöntem ile Mikhailov'un yöntemi arasındaki farkları tartışmışlardır. Önerilen yöntem ile ulaşılan sonuç, Mikhailov'un elde ettiği sonuçla aynı iken önerilen yöntem ile ikili karşılaştırma sayısı azaltılabilmektedir.

Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2007a), işletmelerin performanslarını ölçmek için BAHP ve TOPSIS yöntemlerinin bir arada kullanılmasına dayanan bir yaklaşım sunmuşlardır. Karar vericiler tarafından kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde BAHP yönteminden yararlanılırken, değerlendirilen işletmelerin sıralanmasında TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Bu amaca yönelik, Türkiye'de çimento sektöründe faaliyet gösteren ve İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda işlem gören on beş işletmenin finansal tablolarından yararlanarak performansları ölçülmüş ve bu sonuçlara göre işletmeler arasındaki sıralama belirlenmiştir.

Lee vd (2008), Taiwan'da imalat sanayinde bilgi teknolojisi bölümlerini değerlendirmek için BAHP yöntemine dayanan bir yaklaşım sunmuşlardır. Hiyerarşik yapıda yer alan dört ana kriter belirlendikten sonra BAHP yöntemi ile değerlendirme yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bilgiler, imalat sanayindeki bilgi teknolojisi bölümlerine performanslarını arttırmada yol gösterici niteliktedir.

Huang vd (2008), devlet tarafından desteklenen teknoloji geliştirme projesinin seçim sürecini incelemişlerdir. Taiwan'da Endüstriyel Teknoloji Geliştirme Programında teknik komitede yer alan uzmanların subjektif değerlendirmelerini ele alırken BAHP yönteminden yararlanmışlardır.

Cheng vd (2008), çalışmalarında BAHP yöntemini, yeni ürün geliştirme alanında teknoloji tahmin yöntemlerini değerlendirmek ve en iyisini seçmek için kullanmışlardır. Değerlendirme yaparken, yedi kriter belirlemişler bu kriterlerden en yüksek ağırlığa sahip olanlar sırasıyla verilerin uygunluğu, yöntemin adapte olma yeteneği, teknoloji tahmin yeteneği olmuştur. Çalışmanın sonucunda, yeni ürün geliştirmede teknoloji tahmin yöntemlerinden uygulanması en uygun olanlar Delphi ve vaka analizi yöntemleri olarak belirlenmiştir.

Türkiye’de de çeşitli yazarlar tarafından BAHP yöntemini ele alan çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

Başlıgil (2005), müşteri memnuniyetini en çok sağlayan yazılımın seçilmesi için BAHP yöntemini önermiştir. Uygulamada ele alınan problem, üç ana kriter ve on bir alt kriter bazında üç yazılım alternatifinin değerlendirilip en iyi yazılımın seçilmesi şeklindedir. Değerlendirmede kullanılan üçgen bulanık sayıların anlamları, tüm karşılaştırmalar için rassal olarak seçilmiştir.

Bali ve Gencer (2006), Kara Harp Okulu’na öğretim elemanı seçiminde AHP, BAHP ve bulanık mantık algoritmasını uygulamışlardır. BAHP ve bulanık mantık uygulanırken, karar vericilerden sözel ifadeleri kullanarak karşılaştırma yapmaları istenmiştir. Çalışmanın sonunda, Kara Harp Okuluna öğretim elemanı seçim probleminde uygulanan yaklaşımlar karşılaştırılmıştır.

Akman ve Alkan (2006), tedarik zinciri yönetimi için BAHP yöntemini önermişlerdir. Çalışmada, Kocaeli’de otomotiv yan sanayisinde faaliyet gösteren bir işletmenin üç tedarikçisinin performansları BAHP yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Kaptanoğlu ve Özok (2006), akademik performans değerlendirme probleminin belirsizlik içermesi ve öznel değerlendirilebilen kriterlere sahip olması nedeniyle, akademik performans değerlendirmesi için BAHP esaslı bir model önermişlerdir. Ayrıca çalışmalarında, Chang’in (1996) BAHP modelini temel alarak üç ayrı bulanık sıralama yöntemi kullanmışlar ve sonuçları tartışmışlardır.

Demircan vd (2006), işletim sistemi seçimi için bulanık yineleme analizi ve BAHP yöntemlerine dayanan bir yaklaşım sunmuşlardır. Çalışmada karar almanın ekonomik yanı bulanık yineleme analizi kullanılarak geliştirilirken, ekonomik olmayan unsurlar ve finansal veriler BAHP yöntemi yardımıyla bir araya getirilmiştir.

Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2007b), bir bankaya ticari kredi talebinde bulunan müşterilerin taleplerini değerlendirmek amacıyla bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem, karar vericilerin sübjektif yargılarını da dikkate alarak kapsamlı ve tutarlı bir değerlendirme yapabilmelerini sağlayan birçok tekniği ve kavramı birleştiren bir yaklaşıma dayanmaktadır. Önerilen yaklaşım, BAHP ve TOPSIS yöntemlerini, güven düzeyi ve risk indeksi kavramlarını içermektedir.

Çanlı ve Kandakoğlu (2007), Delphi ve BAHP yöntemlerini kullanarak bir hava gücü mukayese modeli geliştirmişlerdir. Modeli desteklemek üzere modüler, esnek ve tekrar kullanılabilir özgün bir yazılım kullanılmıştır. Bu yazılım ve geliştirilen BAHP modeli harp oyununda gerçek zamanlı bir karar destek sistemi olarak işletilmiştir.

Ertuğrul (2007), makina seçim problemi için BAHP yöntemini önermiştir. Çalışmanın uygulama bölümünde, bir tekstil işletmesinde üç baskı makinası alternatifinden işletme için en uygun alternatifin belirlenmesinde BAHP yönteminden yararlanılmıştır.

3.3.4. Bulanık TOPSIS

Gerçek hayatta eksik ve elde edilmesi zor bilgiler yüzünden, veriler deterministik değil bulanıktır. Genellikle tercih içeren hükümler belirsizdir ve tercih kesin bir sayısal değer ile ifade edilemez. Bu nedenle TOPSIS yöntemi bulanık veriler kullanılabilir şekilde geliştirilmiştir (Jahanshahloo vd, 2006: 1545). Bulanık TOPSIS yöntemi, birden fazla karar vericinin çok sayıda kritere göre belirsizlik altında alternatifleri değerlendirerek sıralamasına, dolayısıyla da seçime yönelik kararını doğru vermesine yardımcı olan bir yöntemdir (Dündar vd, 2007: 287).

Klasik TOPSIS yönteminde, performans değerleri ve kriterlerin ağırlıkları kesin sayılar olarak verilmektedir. Bu yüzden, ağırlıkların ve nitel ölçümlerin belirlenmesinde

insan algılamasından ortaya çıkan belirsizliği dikkate alamaz. Kesin verilerin, gerçek hayatta karşımıza çıkan uygulamaları modellemede yetersiz kalmasından dolayı subjektif nitelikler ve niteliklerin ağırlıkları çoğu zaman sözel değişkenler ile ifade edilir (Yong, 2006: 839). Çünkü sözel değerlendirmeler, karar vericinin öznel yargılarına daha uygun olmaktadır. Literatürde birçok yazar tarafından ortaya atılmış farklı Bulanık TOPSIS yöntemleri mevcuttur. Önerilen bu yöntemlerin karşılaştırılması Tablo 3.2’de görülmektedir.

Tablo 3.2. Bulanık TOPSIS yöntemlerinin karşılaştırılması (Kahraman vd, 2007a: 150)

Kaynak	Kriter Ağırlığı	Bulanık Sayı Çeşidi	Sıralama Yöntemi	Normalizasyon Yöntemi
Chen ve Hwang (1992)	Bulanık Sayılar	Yamuk	Lee ve Li’nin genel ortalama yöntemi	Doğrusal normalizasyon
Chen (2000)	Bulanık Sayılar	Üçgen	Bulanık pozitif ve negatif ideal çözümler (1,1,1) ve (0,0,0) olarak alınmıştır.	Doğrusal normalizasyon
Chu (2002)	Bulanık Sayılar	Üçgen	Liou ve Wang’ın (1992) sıralama yöntemi	Yenilenmiş Manhattan uzaklığı
Tsaur vd (2002)	Kesin Değerler	Üçgen	Zhao ve Govind’in (1991) ağırlık merkezi yöntemi	Vektör normalizasyonu
Zhang ve Lu (2003)	Kesin Değerler	Üçgen	Bulanık pozitif ve negatif ideal çözümler (1,1,1) ve (0,0,0) olarak alınmıştır.	Manhattan Uzaklığı
Chu ve Lin (2003)	Bulanık Sayılar	Üçgen	Kaufmann ve Gupta’nın (1988) önerdiği ortalama yöntemi	Doğrusal normalizasyon
Chen vd (2006)	Bulanık Sayılar	Yamuk	Bulanık pozitif ideal çözüm maksimum değerler ve negatif ideal çözüm minimum değerler olarak alınmıştır.	Doğrusal normalizasyon

Bu bölümde, Chen (2000) tarafından önerilen Bulanık TOPSIS yöntemi açıklanacak ve uygulamada bu yöntem kullanılacaktır. Bu yöntemde, öncelikle sözel değişkenler yardımıyla karar kriterlerinin ve mevcut alternatiflerin değerlendirilmesi yapılmaktadır. Yapılan değerlendirmeler bulanık sayılara dönüştürülerek sayısallaştırıldıktan sonra, bulanık ağırlıklar matrisi ve bulanık karar matrisi oluşturulur.

Daha sonra karar matrisi normalize edilerek, normalize bulanık karar matrisi elde edilir. Normalize bulanık karar matrisinde yer alan değerler ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi oluşturulur. Bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözüm belirlendikten sonra vertex yöntemi ile alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları hesaplanır. Bu değerlerden yararlanarak, alternatiflerin yakınlık katsayıları bulunur ve yakınlık katsayılarına göre mevcut alternatifler en iyiden en kötüye doğru sıralanır.

Bulanık TOPSIS (Chen, 2000) yönteminin ilk adımında, karar vericilerden oluşan bir komite oluşturulur. K tane karar vericiden oluşan küme $E = \{D_1, D_2, \dots, D_K\}$ şeklinde ifade edilir. Karar vericilerden oluşan bir komite oluşturulduktan sonra mevcut alternatifler $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ ve bu alternatifleri değerlendirmede kullanılacak kriterler $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ belirlenir. Daha sonra alternatiflerin değerlendirilmesinde ve kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan sözel değişkenler seçilir. Karar vericiler, bu sözel değişkenler yardımıyla mevcut alternatif ve kriterleri değerlendirirler. Daha sonra, karar vericiler tarafından sözel değişkenler ile yapılan bu değerlendirmeler bulanık sayılar şeklinde ifade edilir. K tane karar vericinin alternatifler ve kriterler için değerlendirmelerini tek bir değere indirgeyebilmek için aşağıda açıklanan yol izlenir.

$$x_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1 \oplus \tilde{x}_{ij}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{x}_{ij}^K] \quad (3.13)$$

burada \tilde{x}_{ij}^K K . karar vericinin değerlendirmesini göstermektedir.

Her kriter için K tane karar verici tarafından belirlenen ağırlıkları tek bir değere indirgemek için, (\tilde{w}_j) şu şekilde hesaplanabilir:

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1 \oplus \tilde{w}_j^2 \oplus \dots \oplus \tilde{w}_j^K] \quad (3.14)$$

burada \tilde{w}_j^K , K . karar vericinin önem ağırlığını göstermektedir.

Tüm kriter ve alternatifler için tek bir değer elde edildikten sonra karar problemi matris formatında şu şekilde gösterilir:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad \tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \quad (3.15)$$

burada $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ ve $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ üçgen bulanık sayılar olup, \tilde{D} bulanık karar matrisini, \tilde{W} ise bulanık ağırlıklar matrisini göstermektedir.

Karar matrisinin oluşturulmasından sonraki adım karar matrisinin normalize edilmesidir. Bulanık karar matrisi eşitlik (3.17) ve (3.18) yardımıyla normalize edilir ve normalize bulanık karar matrisi \tilde{R} elde edilir:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad (3.16)$$

B ve C , fayda ve maliyet kriterleri olmak üzere:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), \quad j \in B, \quad c_j^* = \max_i c_{ij}, \quad j \in B \quad (3.17)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), \quad j \in C, \quad a_j^- = \min_i a_{ij}, \quad j \in C \quad (3.18)$$

şeklinde hesaplanır. Burada, $r_{ij}, (\forall i, j)$ normalize edilmiş üçgen bulanık sayılardır.

Normalize bulanık karar matrisinin oluşturulmasından sonra, her bir karar kriterinin farklı önem ağırlığına sahip olabileceği dikkate alınarak ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi şu şekilde oluşturulur:

$$\tilde{v} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.19)$$

burada, $\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(\cdot)\tilde{w}_j$ 'dir.

Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi oluşturulduktan sonra bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS, A^*) ve bulanık negatif ideal çözüm (FNIS, A^-) şu şekilde tanımlanır:

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*) \quad (3.20)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-)$$

burada, $\tilde{v}_j^* = (1, 1, 1)$ ve $\tilde{v}_j^- = (0, 0, 0)$ $j = 1, 2, \dots, n$ 'dir.

Daha sonra, her alternatifin pozitif ideal çözüm (A^*) ve negatif ideal çözüme (A^-) olan uzaklıkları hesaplanır:

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.21)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.22)$$

burada $d_v(.,.)$ iki bulanık sayı arasındaki uzaklığı göstermektedir.

İki üçgen bulanık sayı arasındaki uzaklık vertex yöntemi yardımıyla hesaplanabilir (Chen, 2000:3):

$$d_v(\tilde{m}, \tilde{n}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (3.23)$$

Pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme göre uzaklıklar belirlendikten sonra, alternatiflerin sıralamasını belirleyebilmek için her alternatife ilişkin yakınlık katsayıları (CC_i) hesaplanır. Yakınlık katsayısı, bulanık pozitif ideal çözüme (A^*) ve bulanık negatif ideal çözüme (A^-) uzaklığı aynı anda dikkate alır. Her alternatifin yakınlık katsayısı şu şekilde hesaplanır:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.24)$$

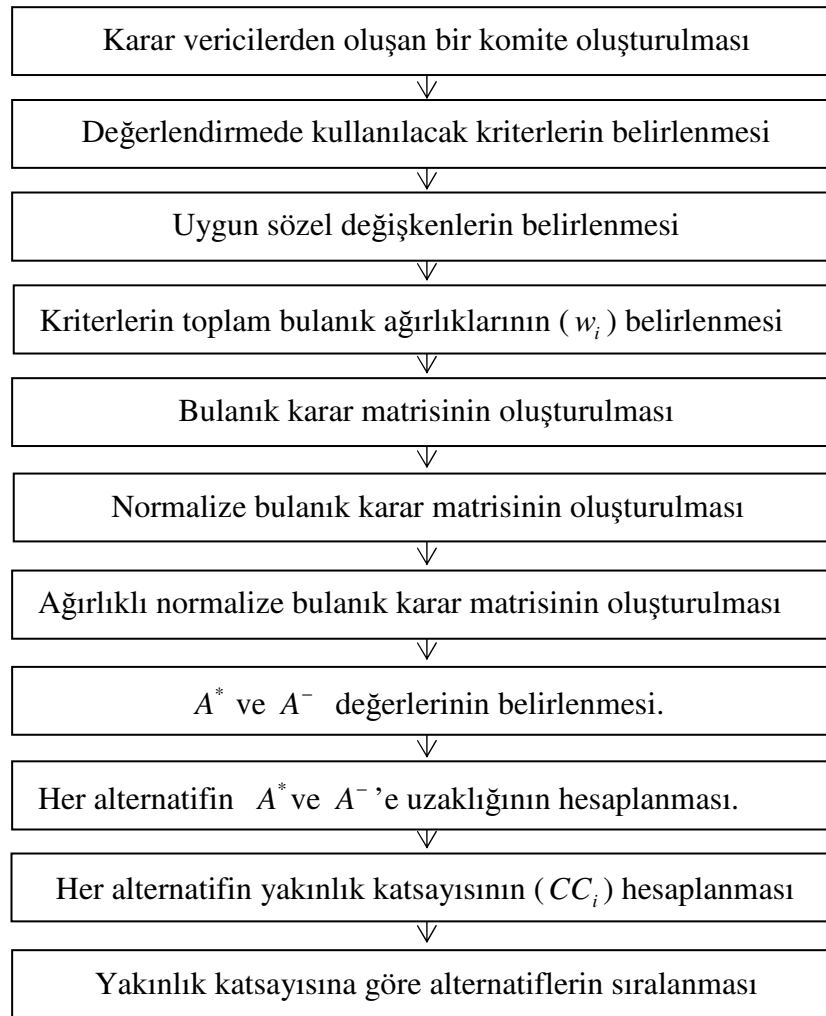
$A_i = A^*$ ise $CC_i = 1$ olacağı ve $A_i = A^-$ ise $CC_i = 0$ olacağı açıktır. Diğer bir ifade ile CC_i değeri 1'e yaklaştıkça, alternatif A_i pozitif ideal çözüme daha yakın ve negatif ideal çözümden daha uzak olacaktır. CC_i 'nin dereceli sıralamasına göre, tüm

alternatiflerin sıralaması belirlenebilir ve olası alternatifler arasından en iyi olanı seçilebilir. Alternatiflerin yakınlık katsayılarına göre mevcut değerlendirme durumları sözel değişkenler ile tanımlanabilir. Her alternatifin değerlendirme durumunu belirleyebilmek için $[0,1]$ aralığını beş alt aralığa bölerek, her bir aralık için sözel değişkenler tanımlanmıştır. Beş sınıfa ait karar kuralları Tablo 3.3'te gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Kabul koşulları (Chen vd, 2006)

Yakınlık Katsayısı (CC_i)	Değerlendirme Durumu
$CC_i \in [0,0.2)$	Tavsiye edilmez
$CC_i \in [0.2,0.4)$	Yüksek risk ile tavsiye edilir
$CC_i \in [0.4,0.6)$	Düşük risk ile tavsiye edilir
$CC_i \in [0.6,0.8)$	Kabul edilir
$CC_i \in [0.8,1.0)$	Kabul edilir ve tercih edilir

Tablo 3.3'teki karar kurallarına göre, her alternatifin mevcut durumunu tanımlamak için sözel değişkenler kullanılabilir. İki alternatifin değerlendirme durumunda aynı sınıfa girmesi halinde, sıralamayı belirlemek için yakınlık katsayılarına bakılır. Bulanık TOPSIS yönteminde izlenecek adımları Şekil 3.2'de görüldüğü gibi özetlenebilir:



Şekil 3.2. Bulanık TOPSIS yönteminde izlenecek adımlar

TOPSIS yönteminde bulanık değerler kullanılarak yapılan çalışmaları 1989'da Negi bir doktora teziyle, Chen ve Hwang ise 1992 yılında yayınladıkları bir kitap ile başlatmışlardır (Dündar vd, 2007: 292).

Triantaphyllou ve Lin (1996), bulanık aritmetik işlemlere dayanan Bulanık TOPSIS yöntemini geliştirmişlerdir. Bu çalışmada beş tane bulanık çok kriterli karar verme yöntemini (AHP, ağırlıklı toplam yöntemi, ağırlıklı ürün modeli ve TOPSIS) ele almışlar ve bu yöntemlerin karşılaştırmasına da yer vermişlerdir.

Chen (2000), bulanık çevrede TOPSIS yöntemini genişleterek ele almıştır. Bu çalışmada, her alternatifin değerlendirilmesi ve her kriterin ağırlığı, üçgen bulanık sayılar

ile ifade edilen sözel değişkenler ile tanımlanmış ve iki üçgen bulanık sayı arasındaki uzaklığı hesaplamak için vertex yöntemi önerilmiştir. Alternatiflerin sıralamasının belirlenmesi için bulanık pozitif ideal çözüme ve bulanık negatif ideal çözüme uzaklıkları hesaplanarak yakınlık katsayısı tanımlanmıştır. Son olarak, önerilen yöntemi vurgulamak için bir örnek ele alınmıştır. Ele alınan örnek, bir yazılım şirketi için sistem mühendisi seçim problemidir. Başvuru yapan kişilerden daha sonraki değerlendirmeler için üç aday seçilmiş ve bu üç aday, beş kriter bazında, üç karar verici tarafından değerlendirilmiştir. Değerlendirme kriterleri, duygusal istikrarlılık, sözel iletişim yeteneği, kişilik, geçmiş tecrübeler ve kendine güvendir.

Chu (2002), fabrika kuruluş yeri seçimi için, çeşitli sübjektif kriterler bazında çeşitli alternatiflerin değerlendirmelerinin ve kriter ağırlıklarının sözel değişkenler yardımıyla ifade edildiği Bulanık TOPSIS yöntemini önermiştir. Önerilen yöntemde karar vericiler tarafından atanan ağırlıklar ve değerlendirmeler normalize edilerek kıyaslanabilir şekle dönüştürülür. Normalize edilmiş ağırlıklı değerlendirmelerin üyelik fonksiyonu bulanık sayıların aritmetiği ile elde edilir. Bulanık sayılarda karmaşık toplama işleminden kaçınmak için, bu normalize edilmiş değerlendirmeler durulaştırılarak, kesin değerler elde edilir. Alternatiflerin sıralamasının belirlenmesi için bulanık pozitif ideal çözüme ve bulanık negatif ideal çözüme uzaklıkları hesaplanarak yakınlık katsayısı tanımlanır. Önerilen yöntem, farklı bakış açısına sahip karar vericilerin derecelendirmeleri ve farklı kriterler için değerlendirmeleri dikkate alınarak daha inandırıcı bir karar vermeyi sağlar.

Tsaur vd (2002), hava yollarının servis kalitesini değerlendirmek için bulanık küme teorisinden yararlanmışlardır. Kriter ağırlıklarının elde edilmesinde AHP yöntemi ve derecelendirmede TOPSIS yöntemi kullanılarak, servis kalitesini etkileyen faktörler belirlenmiştir. Servis kalitesinin birçok ölçütün bileşkesi olmasından ve de bunların çoğunun soyut ölçütler olmasından dolayı ölçülmesinin zor olduğu belirtilerek, performans ölçümünde bulanık küme teorisinden yararlanılmaktadır. Sözel değerlendirmeler üçgen bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Bulanık sayıları, kesin sayılara dönüştürmek için durulama yöntemlerinden kullanım kolaylığı ve karar vericinin kişisel yargısına ihtiyaç duymamasından dolayı, ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır.

Karsak (2002), esnek üretim sistemi alternatiflerini değerlendirmek için uzaklık bazlı bulanık ÇKKV yaklaşımını önermiştir. Çalışmada önerilen yönteminin temeli TOPSIS yöntemine dayanmaktadır. Yöntemde bulanık veriler, sözel değişkenler ya da üçgen bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Uygulamada, sekiz tane esnek üretim sistemi alternatifinden en iyisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Chu ve Lin (2003), robot seçimi için Bulanık TOPSIS yöntemini önermişlerdir. Bu yöntemde öncelikle sübjektif kriterlerin sözel değerlendirmeleri ve objektif kriterlerin değerleri, kıyaslanabilmeleri için birimsiz şekle dönüştürülür. Bulanık sayıların toplama işlemindeki karmaşıklıktan kaçınmak için, bu ağırlıklı değerler durulaştırılır. Alternatiflerin sıralamasını belirlemek için ideal çözüme ve negatif ideal çözüme uzaklıkları hesaplanarak, yakınlık katsayıları bulunur. Daha sonra alternatifler yakınlık katsayılarının aldığı değere göre sıralanır. Çalışmanın sonunda, sayısal bir örnek ile ileri sürülen yöntemin hesaplama süreci gösterilmiştir.

Abo-Sinna ve Amer (2005), çok amaçlı büyük ölçekli doğrusal olmayan programlama problemlerini ele almak için Bulanık TOPSIS yöntemini önermişlerdir. Önerdikleri yöntemin genellikle, geleneksel simpleks yönteminden daha iyi sonuç verdiğini görmüşlerdir.

Saghafian ve Hejazi (2005), bulanık çevrede grup karar verme için Bulanık TOPSIS yöntemini ele almışlar ve gerekli hesaplamalar için MATLAB 6.5 paket programını kullanmışlardır.

Tiryaki ve Ahlatçioğlu (2005), menkul kıymet seçimi için Chen (2001) tarafından önerilen yöntemin değiştirilmiş şekli olan yeni bir bulanık ÇKKV yaklaşımı önermişlerdir. İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda işlem gören menkul kıymetlerin değerlendirilmesini içeren bir uygulama ele almışlardır. Ayrıca, kıyaslama amacıyla, Chen (2000, 2001) tarafından önerilen Bulanık TOPSIS ve bulanık ÇKKV yöntemlerine de yer vermişlerdir.

Chen vd (2006), tedarik zinciri sisteminde tedarikçi seçim problemini ele almak için bulanık karar verme yaklaşımını önermişlerdir. Genelde en uygun tedarikçinin belirlenmesinde kalite, fiyat, esneklik ve teslimat performansı gibi nitel ve nicel

faktörler dikkate alındığından, bu çalışmada bu faktörlerin derecelendirmelerini ve ağırlıklarını belirlemede sözel değişkenler kullanılmıştır. Bu sözel değişkenler, yamuk ve üçgen bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. TOPSIS yönteminde, alternatiflerin sıralamasının belirlenmesi için bulanık pozitif ideal çözüme ve bulanık negatif ideal çözüme uzaklıkları hesaplayarak yakınlık katsayısı tanımlanmıştır. Ayrıca çalışmanın sonunda, önerilen yöntemin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla bir örnek ele alınmıştır.

Jahanshahloo vd (2006), bulanık veriler ile karar vermede, Bulanık TOPSIS yöntemini ele almışlardır. Bu çalışmada, her alternatifin değerlendirilmesi ve her kriterin ağırlığı üçgen bulanık sayılar ile ifade edilmiş ve α kesim kavramı kullanılarak bulanık sayılar normalize edilmiştir. Çalışmanın sonunda sayısal bir örnek ile ileri sürülen yöntemin hesaplama süreci gösterilmiştir.

Bottani ve Rizzi (2006), en uygun üçüncü parti lojistik (3PL) servis sağlayıcılarının belirlenmesinde TOPSIS yöntemine ve bulanık küme teorisine dayanan bir yaklaşım sunmuşlardır. Önerilen yöntemi test etmek için İtalya'da süt ürünleri endüstrisinde faaliyet gösteren bir firmada uygulama yapmışlar ve bu firma için en uygun lojistik ortağın belirlenmesi sürecini ele almışlardır.

Wang ve Elhag (2006), alfa düzey kümesi ve doğrusal olmayan programlamaya dayanan Bulanık TOPSIS yöntemini sunmuşlardır. Ayrıca Bulanık TOPSIS yöntemi ile bulanık ağırlıklı ortalama arasındaki ilişkiyi de tartışmışlardır. Önerilen yöntemin diğer yöntemler ile benzerlik ve farklılığını incelemek için üç sayısal örnek gösterilmiştir. Bu örneklerden ilki Chen (2000)'in, ikincisi Triantaphyllou ve Lin'in (1996) makalelerinde ele aldıkları uygulamalar iken, üçüncüsü baraj riski değerlendirmesini içeren gerçek hayattan bir uygulamadır.

Yong (2006), fabrika kuruluş yeri seçimi için yeni bir Bulanık TOPSIS yaklaşımı önermiştir. Önerilen yaklaşımda, karmaşık bulanık aritmetik işlemlerden kaçınmak için üçgen bulanık sayılar ile ifade edilen sözel değişkenler, dereceli ortalama ile kesin sayılara dönüştürülmektedir. Pozitif ve negatif ideal çözümlerin elde edilmesinde çarpma işleminin üçgen bulanık sayılarda kanonik temsili kullanılmıştır. Önerilen yöntem, mevcut yöntemlerle kıyaslandığında daha az karmaşık işlem

içermektedir. Bulanık sayılar, kesin sayılara dönüştürüldüğü için işlem karmaşıklığı azalmıştır. En son skorlar kesin sayılar cinsinden olduğu için zaman alıcı bir işlem olan bulanık sayıların sıralamasına da gerek duyulmamıştır. Yong, mevcut Bulanık TOPSIS yöntemlerinin bulanık pozitif ideal çözüm ile negatif ideal çözümü elde etmek için bulanık sıralama yaklaşımlarını kullandıklarından verimli olmadıklarını savunmaktadır.

Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2007c), üniversitelerde akademik personel seçim problemi için Bulanık TOPSIS yönteminin uygulanabilirliğini ele almışlardır. Bu çalışmada, alternatiflerin ve kriterlerin değerlendirilmesinde üçgen bulanık sayılar ile ifade edilen sözel değişkenlerden yararlanılmış ve iki üçgen bulanık sayının arasındaki uzaklık vertex yöntemi ile hesaplanmıştır. Bulanık pozitif ideal çözüm ile negatif ideal çözüme uzaklıktan yararlanarak her alternatifin yakınlık katsayısı belirlenmiş ve buna göre alternatifler sıralanmıştır.

Yang ve Hung (2007), fabrika yerleşim problemi için TOPSIS ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini önermişlerdir. Performans değerlerinin belirsiz ve bulanık olması durumunda Bulanık TOPSIS yöntemi tercih edilirken, kesin değerler söz konusu olduğunda TOPSIS yöntemi tercih edilmektedir. Daha önceki çalışmalarında AHP ve DEA (Data Envelopment Analysis) yöntemleri ile ele aldıkları fabrika yerleşim problemini, bu çalışmalarında TOPSIS ve Bulanık TOPSIS yöntemi ile çözmüşler ve ele aldıkları problem için benzer sonuçlara ulaştıklarını belirtmişlerdir.

Wang ve Chang (2007), bulanık ortamda, eğitim uçaklarını değerlendirmede Bulanık TOPSIS yöntemini önermişlerdir. Taiwan hava kuvvetleri akademisinden on beş uzmanın görüşleri alınarak, on altı değerlendirme kriteri bazında yedi eğitim uçağı, Chen'in (2000) Bulanık TOPSIS yöntemi yardımıyla değerlendirilmiştir.

Wang ve Lee (2007), bulanık çok kriterli grup karar verme için TOPSIS yöntemini ele almışlardır. Klasik TOPSIS yönteminin, ideal ve negatif ideal çözümün bulunması adımının dışındaki tüm adımlarının kolaylıkla bulanık ortama uyarlanabileceğini belirtmişlerdir. Bu yüzden ideal ve negatif ideal çözümün bulunmasında kullanılmak üzere “*Up*” ve “*Lo*” olmak üzere iki işlem tanımlamışlardır. Önerdikleri yöntemin uygulanabilirliğini göstermek için, uluslararası havaalanının operasyon performansını değerlendiren sayısal bir örnek ele almışlardır.

Benitez vd (2007), üç otelin servis kalitesini değerlendirmek için bulanık çok kriterli karar verme yöntemini sunmuşlardır. Değerlendirmede bulunanların, subjektif yargılarını ifade etmek için üçgen bulanık sayılardan yararlanmışlar ve TOPSIS yöntemi yardımıyla servis performansı indeksi geliştirmişlerdir. Bu indeks otel yöneticilerine, göreceli sıralamaları hakkında bilgi vermektedir.

Li (2007), Bulanık TOPSIS yöntemi ile uzlaşma oranı yönteminin karşılaştırmalı analizini sunmuştur. Bulanık TOPSIS yönteminde, iki bulanık sayı arasındaki uzaklığın hesaplanmasında farklı uzaklık formülleri kullanılmış ve bu formüller ile elde edilen sonuçlar da karşılaştırılmıştır.

Kahraman vd (2007a), belirsiz ve sözel veriler içeren karmaşık seçim problemleri için hiyerarşik Bulanık TOPSIS yöntemini geliştirmişlerdir. Ayrıca duyarlılık analizini de sunmuşlardır. Bugüne kadar önerilen Bulanık TOPSIS yöntemleri tek aşamalı hiyerarşik yapıyı dikkate alırken, bu çalışmada önerilen yöntem ile karmaşık hiyerarşiye sahip problemler ele alınabilmektedir. Çalışmanın sonunda, önerilen yöntem lojistik bilgi teknolojilerini değerlendirmek ve aralarından seçim yapmak için kullanılmıştır.

Kahraman vd (2007b), yeni ürün geliştirme sürecinin kalitesini ve etkinliğini arttırmayı amaçlamışlar ve bunun için çok nitelikli fayda yöntemi ile hiyerarşik Bulanık TOPSIS yöntemlerine dayanan iki aşamalı bütünleşik bir karar verme yaklaşımı sunmuşlardır. Çalışmada önerilen hiyerarşik Bulanık TOPSIS yönteminin temeli Chen ve Hwang (1992)'ın Bulanık TOPSIS yöntemine dayanmaktadır. Uygulamada, yamuk bulanık sayılar yerine, üçgen bulanık sayıları kullanmayı tercih ettikleri için bu Bulanık TOPSIS algoritmasını yeniden düzenlemişlerdir. Önerilen yöntem ile Türkiye'de büyük otomotiv üreticilerinden birinde on dört yeni ürün fikrini değerlendirmişlerdir.

Kahraman vd (2007c), endüstriyel robot sistemi seçiminde hiyerarşik Bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarında, kritik parametreleri değiştirerek duyarlılık analizini de ele aldıkları bir uygulamaya yer vermişlerdir.

Ertuğrul ve Güneş (2007), bir tekstil işletmesi için üç alternatif arasından en iyi baskı makinasının seçilmesinde Bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Alternatiflerin ve kriterlerin ağırlıkları, yamuk bulanık sayılar ile temsil edilen sözel değişkenler ile değerlendirilmiştir. En yüksek yakınlık katsayısına sahip baskı makinası en iyi alternatif olarak belirlenmiştir.

Kuo vd (2007), bulanık pozitif ve negatif ideal nokta kavramlarına dayanan yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Uygulamada, bir lojistik firmasının dağıtım merkezi kuruluş yeri seçim problemini ele almışlardır. Beş karar verici tarafından üç alternatif, altı kriter bazında değerlendirilmiş ve kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde BAHP yönteminden yararlanılmıştır. Çalışmada önerilen yöntem ile alternatiflerin sıralamasını elde ederek dağıtım merkezi için en iyi kuruluş yerini belirlemişlerdir. Ayrıca aynı problemin; bulanık SAW, Bulanık TOPSIS ve verimli bulanık model yöntemleri ile çözümlerine de yer vererek, bu yöntemler ile elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır.

Wang vd (2007), Kuo vd (2007) tarafından önerilen yöntemin doğru olmadığını ve bu yöntemin birden fazla alternatifi en iyi olarak değerlendirebildiğini ileri sürmüşlerdir. Bunun temel nedeni olarak, yakınlık katsayısı değerlerinin karar alternatifleri arasında üstünlüğü yansıtmadığını ve bu yüzden alternatifleri sıralamada kullanamayacağını belirtmişlerdir. Çalışmalarında, Kuo vd (2007) tarafından önerilen yöntemin eksik yanlarını göstererek, bu yöntem için gerekli olan düzeltmelere yer vermişlerdir.

Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2007d), fabrika kuruluş yeri seçim problemi için BAHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmalarında, iki yöntemin benzer ve farklı yönlerine değinerek, bu iki yöntemi kıyaslamışlardır.

Wang (2008), Taiwan'da yerel havayollarında faaliyet gösteren üç havayolu işletmesinin finansal performansını ölçmek için bulanık ÇKKV yöntemlerinden Bulanık TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Bu işletmelerin performanslarını değerlendirirken 2001 ve 2005 yılları arasındaki işletmelere ait finansal tablolardan yararlanılmıştır. Değerlendirmede kullanılacak çok sayıda finansal oran olmasından dolayı öncelikle bu

oranlar kümeleme analizine tabi tutulmuş, daha sonra Bulanık TOPSIS yardımıyla havayolu işletmelerinin performansları değerlendirilmiştir.

Türkiye’de de çeşitli yazarlar tarafından Bulanık TOPSIS yönteminin uygulamalarını içeren çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

Erol (2006), çok kriterli karar verme yöntemleriyle elde edilmesi mümkün olmayan sonuçlara ulaşmada çok kriterli karar verme ile matematiksel programlama yöntemlerine dayalı bütünleşik modellerin kullanılmasının bir gereklilik olduğunu savunmaktadır. Çalışmasında, Bulanık TOPSIS ve Entropi yöntemlerinin matematiksel programlama modelleri ile birleşimine dayalı bir model önermiştir. Daha sonra önerilen modeli, Türkiye’de faaliyet gösteren bir firmanın iyileştirme projelerinin seçiminde kullanmıştır.

Eleren (2007), kuruluş yeri seçim problemi için Bulanık TOPSIS yöntemini önermiştir. Çalışmada dericilik sektöründe bir uygulamaya yer verilmiştir. Uygulama iki aşamadan oluşmaktadır. Öncelikle ankete dayalı istatistiksel çalışmalar yardımıyla kuruluş yeri seçiminde dikkate alınacak kriterler ve bu kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. İkinci aşamada ise Bulanık TOPSIS yöntemi yardımıyla kuruluş yeri alternatiflerinin sıralaması elde edilmiştir. Dericilik işletmesi için altı kuruluş yeri alternatifi değerlendirilmiş ve ilk sırayı İstanbul ve İzmir alırken, üçüncü sırayı Uşak almıştır.

Ecer (2007), Bulanık TOPSIS yöntemi yardımıyla mağaza kuruluş yerlerini değerlendirmiştir. Çalışmada öncelikle, perakendecilik sektöründe faaliyet gösteren üç mağazanın işletme müdürleri ile görüşülerek mağaza kuruluş yerini belirlemeye etki eden faktörler belirlenmiş ve daha sonra karar vericiler sözel değişkenlerden yararlanarak, dört mağazanın kuruluş yerlerini altı kritere göre değerlendirmişlerdir. Bulanık TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin sıralamasına ulaşılmıştır.

Dündar vd (2007), Bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak, sanal mağazaların web sitelerinin müşterilerin beğenilerine göre sıralamasını yapmışlardır. Bu çalışmada dört karar verici tarafından dört sanal mağazanın web sitesi, dizayn, ürün çeşitliliği,

müşteri hizmetleri ve bilgi zenginliği kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Değerlendirmede üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır.

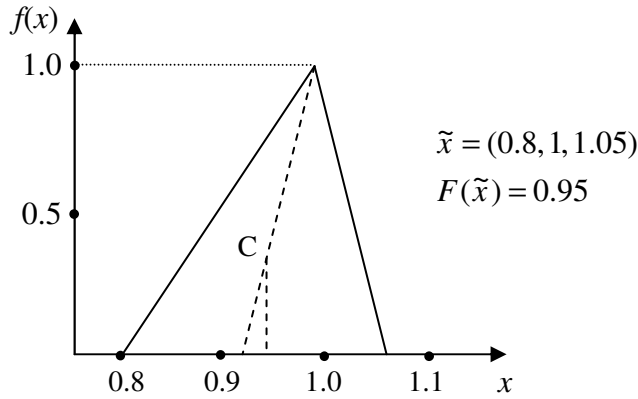
3.3.5. Bulanık PROMETHEE

PROMETHEE yöntemi belirli bir derecede doğruluğa sahip, sabit sayısal verileri ele alabilmektedir. Bu eksikliği gidermek ve bulanık sayılar şeklindeki verileri ele almak için PROMETHEE II yöntemi Goumas ve Lygerou (2000) tarafından genişletilerek Bulanık PROMETHEE yöntemi ortaya atılmıştır.

Bulanık PROMETHEE yönteminde her olayın her kriter bazında performansı bulanık sayılar olarak verilmektedir. Bunun nedeni, birçok durumda girdi verilerinin belirli bir doğruluk düzeyinde tanımlanamamasıdır. Kesin olmama, stokastik yaklaşımın uygulanabilir olduğu durumlarda olasılık olarak ele alınabilmektedir. Fakat bulanık olarak tanımlanmış durumlarda bulanık küme teorisinin kullanılması daha uygun olacaktır (Goumas ve Lygerou, 2000:607).

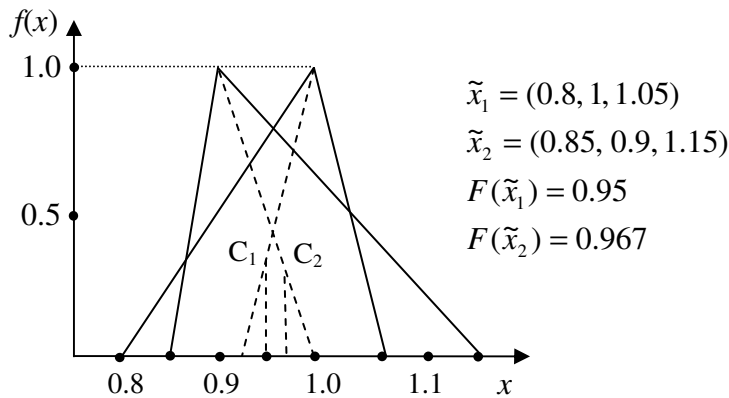
Bulanık PROMETHEE yönteminde, alternatiflerin performanslarının yaklaşık olarak belirlenebilmesinden dolayı bu performans değerleri hesaplamalarda bulanık sayılar ile ifade edilmektedirler. Fakat Goumas ve Lygerou (2000), ağırlık faktörleri ve genel kriterin parametreleri gibi karar vericinin görüşünü yansıtan diğer parametreleri tam kesin sayısal değerler ile ifade etmektedirler. Diğer bir deyişle Goumas ve Lygerou (2000)'ın çalışmalarında alternatiflerin performansları bulanık iken, karar vericinin tercihlerinin bulanık olmadığı varsayılmaktadır.

Hesaplamalar sonucu elde edilen değerler bulanık sayı şeklinde olacaktır. Burada ana problem iki bulanık sayının karşılaştırılmasıdır. Bulanık PROMETHEE yönteminde, Yager (1981) tarafından önerilen ağırlık merkezi yöntemi kullanılmaktadır. Örneğin, $\tilde{x} = (0.8, 1, 1.05)$ bulanık sayısının ağırlık merkezi yöntemi yardımıyla durulaştırılması sonucu 0.95 değeri elde edilir. Bu durum Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3. Üçgen bulanık sayı için ağırlık merkezi yöntemi

Ayrıca iki üçgen bulanık sayı karşılaştırılırken ağırlık merkezi yönteminden yararlanılabilir. Örneğin $\tilde{x}_1 = (0.8, 1, 1.05)$ ve $\tilde{x}_2 = (0.85, 0.9, 1.15)$ üçgen bulanık sayıları karşılaştırılacak olursa ağırlık merkezi yöntemi yardımıyla bulunan 0.95 ve 0.967 değerleri kıyaslanır ve bu sonuca göre \tilde{x}_2 bulanık sayısının \tilde{x}_1 bulanık sayısından büyük olduğu söylenebilir. Bu durum Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4. Ağırlık merkezi yöntemi ile iki bulanık sayının karşılaştırılması

Karar parametrelerinin seçiminin zor bir görev olması ve tercih sınırlarının belirsiz olmasından dolayı, bu tür parametrelere bulanıklık katmak gereklidir (Goumas ve Lygerou, 2000:609). PROMETHEE yönteminde iki çeşit parametre bulunmaktadır. Bunlardan ilki tercih indeksindeki performans farkları ile ilgili fonksiyon (genel kriter), ikincisi ise karar verici tarafından her kritere verilen görel ağırlık faktörleridir (Goumas ve Lygerou, 2000: 609). Her uygulamada, uygulamanın özelliklerine göre genel kriter

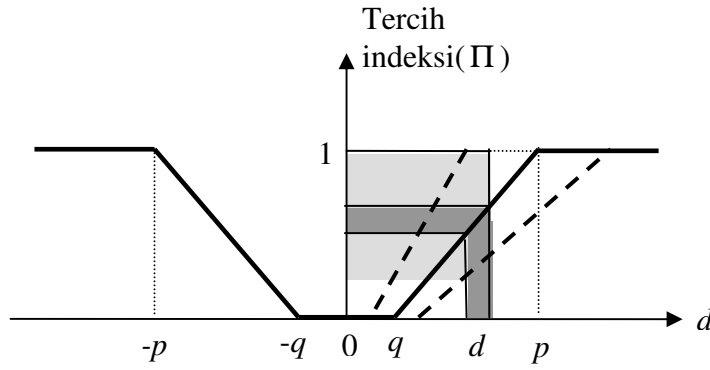
türü farklı olarak belirlenir. En çok kullanılan genel kriter çeşidi doğrusal tercih fonksiyonudur ve şu şekilde ifade edilir:

$$\begin{aligned}
 d \leq q \text{ ise, } P(\alpha, \beta) &= 0 \\
 q \leq d \leq p \text{ ise, } P(\alpha, \beta) &= \frac{d - q}{p - q} \\
 d \geq p \text{ ise, } P(\alpha, \beta) &= 1
 \end{aligned} \tag{3.25}$$

Burada d , α ve β olaylarının performansları arasındaki farkı göstermektedir. q kayıtsızlık için en düşük eşiği ve p tam tercih için üst limiti göstermektedir. d değeri, (l, m, u) şeklinde bulanık bir sayı olarak alınırsa, doğrusal kriter şu şekilde ifade edilir:

$$\begin{aligned}
 l \leq q \text{ ise, } P(\alpha, \beta) &= 0 \\
 q \leq l \text{ ve } u \leq p \text{ ise, } P(\alpha, \beta) &= \frac{(l, m, u) - q}{p - q} \\
 u \geq p \text{ ise, } P(\alpha, \beta) &= 1
 \end{aligned} \tag{3.26}$$

Bu işlem Şekil 3.5'te koyu renk alan ile görülmektedir. q ve p değerlerini bulanık olarak ifade ederek doğrusal kriterin sınırları genişletilebilir. İki bulanık sayının çarpma işlemi uygulanarak $0 \rightarrow 1$ aralığında ilgili $P(\alpha, \beta)$ değeri elde edilebilir. Bu işlemin grafiksel olarak gösterimi Şekil 3.5'te açık renk alan ile gösterilmektedir. Bu işlem sırasında bulanık sayı yayıldığı için ilgili veri kaybolmuş gibi gözükmemektedir. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi bazen sonuç $0 \rightarrow 1$ bölgesinin neredeyse tümünü kapsar. Bu yüzden q ve p parametrelerini bulanık almak yerine bunların en büyük ortak değeri m kullanılır (Goumas ve Lygerou, 2000: 609).



Şekil 3.5. Bulanık PROMETHEE yönteminde doğrusal kriter

PROMETHEE yöntemi ile yapılan çok kriterli analizler bulanık girdi verileri ile genişletilebilir. Bu yaklaşım karar verme sürecinde yeni bilgiler ortaya koyar ve kesin olmayan verileri dikkate alarak daha gerçekçi bir sıralamaya ulaşmayı sağlar.

Bulanık PROMETHEE yönteminde, üyelik fonksiyonunun bulanık sayı cinsinden karşılığı olan (l, m, u) 'nun simetrik dağılması durumunda sonuç değişmeyecektir. Bu yüzden üyelik fonksiyonunda (l, m, u) , sol ve sağ değerlerinin asimetrik olduğu ve Yager indeksinin m değerinden farklı bir değer aldığı durumlarda bulanık sayıların hesaplamalarda kullanılması uygundur.

Bulanık verilerin kullanılmasının çok kriterli karar vermenin esas eksiğini ortadan kaldırmadığına dikkat edilmelidir. Parametrelerin seçimi karar vericinin tercih ya da fikrini yansıtır ve bu da sonucu büyük oranda etkiler. Farklı kişilerin fikirlerinin nadir olarak birbirine uyduğu göz önüne alınırsa, birçok durumda genel kabul görmüş bir çözümün olmadığı görülecektir. Bu yüzden sonuçlara bu açıdan bakılmalıdır. (Goumas ve Lygerou, 2000:612).

Literatürde Bulanık PROMETHEE yöntemini ele alan çalışmalar mevcuttur. Radojevic ve Petrovic (1997), PROMETHEE yönteminin, tercih fonksiyonlarının içerdiği belirsizliği ele almada yetersiz olduğunu belirterek, bulanık küme teorisi ve yaklaşık akıl yürütmeyi kullanmayı önermişlerdir. Önerilen yöntemde, karar vericiler her kriter için tercihlerini belirtirken sözel değişkenleri kullanmaktadırlar. Daha sonra, EĞER-O HALDE (IF-THEN) kurallarını kullanarak kriter değerlerindeki farklılıkla

ilgili tercih fonksiyonları belirlenmektedir. Böylelikle, kriter değerlerinin bulanık değişkenler olması durumunda da PROMETHEE yöntemi kullanılabilir. Ayrıca, çalışmada bir yazılım geliştirilerek, bu yazılım örnekler üzerinde test edilmiştir.

PROMETHEE yöntemi Goumas ve Lygerou (2000) tarafından bulanık veriler kullanılarak ele alınmıştır. Çalışmalarında proje alternatiflerini sıralamada Bulanık PROMETHEE yöntemini kullanarak alternatif enerji kaynaklarını değerlendirip sıralamışlardır. Böylece PROMETHEE yöntemini genişleterek bulanık veriler kullanmışlardır.

Geldermann vd (2000), bulanık verileri dikkate alarak PROMETHEE yöntemi ile demir çelik endüstrisinde kirliliği önlemek için ileri sürülen çevresel politikaları değerlendirmişlerdir. Çalışmada önerilen bulanık PROMETHEE yöntemi, esnek ve kolay uygulanabilir olmasının yanında; tercihler, skorlar ve ağırlıklardaki bulanık verileri değerlendirebilmektedir.

Chou vd (2007), bulanık küme teorisi ve PROMETHEE yöntemini kullanarak ekoteknoloji yöntemlerini değerlendirmişlerdir. Önerilen yöntem yardımıyla Taiwan'da bir baraj gölü havzasında uygulanacak ekoteknoloji yöntemini belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin ekoteknoloji mühendislerine karar verme sürecinde faydalı bilgiler sağladığını göstermektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BAHP VE BULANIK TOPSIS YÖNTEMLERİNİN NAKLİYE FİRMASI SEÇİM PROBLEMİNE UYGULANMASI

Bu tezin uygulama bölümünde ele alınan firmanın faaliyet gösterdiği sektör olan Makina İmalat Sanayi, mühendisliğin ön planda olduğu sektörlerden biridir. İmalatın önemli bir bölümü, müşterinin isteğine göre tasarlanan ve imal edilen makinalardan oluşmaktadır (<http://ekutup.dpt.gov.tr/>).

Makina imalat sanayi, imalat sanayi içinde özel bir öneme sahiptir. 1950'lerde kurulan Türk makina sanayi, bugün sektöre hizmet veren 11 bin makina ve aksam imalatçısıyla toplam 25 milyar dolarlık bir satış hacmi oluşturmaktadır. Türk makina sanayisinin yıllık üretim artış hızı % 20 seviyesindedir. Üretimde kullanılan girdilerin % 80'ini yine Türkiye üretmektedir. Sektördeki yerli katkı oranının % 80 civarında olması büyük bir başarıdır. Gerek ülkemizde gerek dünyada yaşanan krizlere rağmen makina imalat sanayi, ihracatı yıllar itibariyle artma eğilimi olan bir sektördür. Makina imalat sanayi ihracatının ağırlıklı olarak yapıldığı ülkeler; Almanya, İngiltere, İtalya, Fransa, ABD, İspanya, Rusya Federasyonu ve Irak'tır (Köse, 2006:1-4).

Makine imalat sanayinin Denizli ilindeki gelişimine bakıldığında; ilk tesisler, 1971 ve 1972 yıllarında üretime geçmiştir. Ancak asıl gelişme 1985-1990 yılları arasında meydana gelmiş, bu dönem süresince dört yeni fabrika daha açılmıştır. Şu anda ise makina üretimi yapan fabrikalarda dokuma sanayinde kullanılan çözü, katlama, kesim, haşıl makinesi ve dokuma tezgâhlarının yanı sıra, deri sanayinde kullanılan saya kesim presi gibi üretimler gerçekleştirilmektedir. Ayrıca kantar, baskül, hadde merdanesi üretimi yapan sanayi kuruluşları bulunmaktadır. Bu kuruluşların belli bir

bölümü, Denizli bölgesindeki gelişmiş bulunan sanayi kollarına makina üretmek üzere kurulmuşlardır (<http://www.denizli.gov.tr/denizli/ekonomivesanayi.htm>).

Makina imalat sanayinde faaliyet gösteren firmaların ihraç ettikleri ürünler genellikle yüksek tonajlıdır. Gerek maliyet gerek ürünlerin istenilen noktaya sorunsuz ve güvenilir bir şekilde ulaşması açısından, doğru nakliye firmasının seçilmesi bu sektörde faaliyet gösteren işletmeler açısından önemli bir konudur. Bu nedenle bu bölümde makina imalat sanayinde faaliyet gösteren bir işletmenin nakliye firması seçim problemine Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ile çözüm aranmaya çalışılmıştır. Bu iki yöntemin seçilmesinde en önemli neden, literatürde en çok kullanılan bulanık ÇKKV yöntemleri olmalarıdır. BAHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri, sözel değişkenlerin kullanılmasına olanak vermektedir ve bu iki yöntem ile elde edilen sonuçlar kıyaslanabilir niteliktedir. Ayrıca hesaplamaları karmaşık işlemler gerektirmemekte ve karar vericiler Bulanık PROMETHEE de olduğu gibi eşik değerleri belirlemek zorunda kalmamaktadırlar. Ayrıca yöntemlerin uygulanması için gerekli verileri elde etmek karar vericiler için zor olmamakta, anketlere verecekleri cevaplar doğrultusunda elde edilebilmektedir. Bu durum hem zaman hem maliyet açısından daha uygun olmaktadır. Belirtilen tüm nedenler dikkate alınarak, çalışmanın uygulama bölümünde BAHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ele alınmıştır.

4.1. UYGULAMA ALANI OLAN İŞLETMENİN TANITIMI

Denizli Makina İmalat Sanayi'nde faaliyet gösteren ve çalışmanın uygulama bölümünde dikkate alınan işletmenin temelleri 1981 yılında küçük ölçekli bir atölyede atılmıştır. Endüstrinin gereksinimlerini kavrayan işletme; bu yıldan itibaren demir, çelik hazırlama işleme tesisleri üretimine yönelmiştir. 2000 yılından sonra 3250 m² kapalı, 5250 m² açık alana sahip olan fabrikalarında üretime devam etmişlerdir. Şu anda ise kapalı alanı 6500 m², açık alanı 12400 m² olan yeni fabrikalarında faaliyet göstermektedirler. İşletme 27 yıllık tecrübesi ile hadde makinaları üretmektedir. İşletmede 8 ton/saat'ten 90 ton/saat'e kadar hadde tesisleri kurulumu yapılabilmektedir. İşletmenin ürettiği diğer ürünler arasında mermer makinaları, tekstil makinaları, makina parçaları, hafriyat iş makinasi parçaları da yer almaktadır. İşletme ayrıca özel sipariş

imalatlar da yapmaktadır. Üretimini büyük bir kısmını Kazakistan, Ukrayna, Rusya, Romanya, Ürdün, Tunus, Suudi Arabistan, İran, Suriye, Azerbaycan, Gürcistan, Senegal gibi ülkelere ihracat yapmaktadır.

İşletmenin öncelikli üretimi haddehane tesisi kurulması üzerinedir. Haddeleme işlemi şu şekilde açıklanabilir:

Haddeleme işlemi; tel ve levha haline getirilebilen metallerin dönen merdanenin arasından geçirilerek istenen forma ve biçime getirilmesidir. Örneğin endüstride sıkça kullanılan köşebent, lama-silme, NPI, NPU, H, HEP vb., şekilli profiller, sac levhalar ve daha bir çok özel şekile sahip metal biçimleri haddeleme tekniği ile üretilir.

Haddeleme işlemi;

- Soğuk haddeleme
- Sıcak haddeleme

olarak gerçekleştirilir. Soğuk veya sıcak şekillendirme metalin cinsine, alaşımına, haddeleme formuna, haddelenen metalin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır.

İşletme sıcak haddeleme tekniği ile demir ve çelik muhtelif ürünlerin biçimlendirilmesine uygun sıcak haddeleme tekniğini esas alan kesikli ve yarı kesikli hadde tesislerinin üretimini yapmaktadır.

İşletmenin makina parkurlarında yer alan makinalar şu şekilde sıralanabilir:

- 3000x2000 CNC Double Kolon Dik İşlem Merkezi
- 3000x800 – 1100x400 – 1000x350 CNC Torna Tezgâhları
- 1100x600 – 2000x600 CNC Dik İşlem Merkezleri
- 4000x2000 Double Kolon 4 Başlıklı Portal Freze
- Ø 2000 18 Modül ve 1000x10 Modül Dişli Açma Tezgâhları
- 5000x490 – 3000x690 – 3000x490 – 3000x400 – 1500x400 – 1500x320 Torna Tezgâhları
- 2 Adet 100'lük Borwerk
- 1200x3500 CNC Plazma Oksijen Kesim Tezgâhı
- 2 Adet 700 mm. Vargel Tezgâhı
- Radyal Matkap

İşletme, müşteri memnuniyetini temel alıp teknolojinin tüm yenilik ve gelişmelerinden faydalanarak kaliteli ve çağdaş tesisler kurabilmeyi ve markalaşarak dünya çapında adından söz ettirmeyi hedeflemektedir. Ayrıca, güncel teknolojiye ve uluslararası standartlara uygun ürün ve hizmet sunan, topluma ve çevreye duyarlı, toplam kalite anlayışını benimseyen saygın, eğitilmiş çalışanları ile kaynaklarını en etkin şekilde kullanarak hizmet kalitesini geliştiren çağdaş bir kurum olmak temel hedefleri arasında yer almaktadır.

İşletme, toplam kalite anlayışı gereği müşterilerinin ve çalışanlarının memnuniyetine önem vererek çalışmalarını sürdürmektedir. Güvenilirlik, kalite ve kalıcı çözüme verdiği önem ile tam ve hızlı hizmet anlayışını benimseyerek konusunda önde gelmektedir. İşletme, ISO 9001:2000 ve GOST-R kalite belgelerine sahiptir. ISO 9001 bir kuruluşun, müşterinin ihtiyaçlarıyla mevzuat gereklerini karşılamak yoluyla müşteri tatminini arttırabilmesi için kalite yönetim sisteminde ne gibi şartları sağlaması gerektiğini ortaya koymaktadır (Ertuğrul, 2006: 337). GOST-R kalite sertifikası ise Türkiye'deki TSE belgesi niteliğinde olup Rusya'da ilgili malın satışını yapmak için ön şart olarak aranmaktadır. GOST-R kalite sertifikası ürünlerin ve hizmetlerin kalite ve güvenliğini GOST-R standartlarına uygun olduğunu tasdik eden bir belgedir. GOST; *Devlet Standardı*, R; *Rusya* anlamına gelmektedir. Belirli ürün grupları için sağlık, güvenlik, çevre ve tüketiciyi koruma gibi konularda zorunlu şartları içermektedir. Ürün ve hizmetlerin kalite belgelendirilmesi bazı ürün ve hizmetlere zorunlu, bazı ürün ve hizmetlere istek üzerine yapılmaktadır. Sertifikanın zorunlu alınması gereken ürün ve hizmetlere sarı renkte sertifika, istek üzerine alınması gereken ürün ve hizmetler için ise mavi renkte sertifika verilmektedir.

İşletmenin her geçen gün rekabet ortamının üst sıralarına çıkmasını sağlayan özellik ve prensipleri ise şu şekilde sıralanabilir:

- Güçlü makina parkuru
- Üretilen her parçada minimum tolerans
- Doğru iş, doğru malzeme seçimi
- Üretimin her aşamasında deneyimli personel
- Üretim sonrası kalite kontrol ve kalibrasyon
- Sorunsuz montaj
- Satış sonrası destek

- %100 müşteri memnuniyeti
- Uygun fiyat

4.2. NAKLİYE FİRMASI SEÇİM PROBLEMİ

Geçmişten günümüze, taleplerin ve bunları tanımlayan kavramların hızla değiştiği yeni ekonomi anlayışında ürünlerin nakliyesi özel bir yere sahiptir. İşletmeler için ürünleri zamanında üretmenin yanında müşteriye zamanında teslim etmek de önem taşımaktadır. İşletme, üretim planlamasını doğru yaparak ürünleri zamanında teslimata hazır hale getirebilir. Fakat üretimi zamanında tamamlamak tek başına yeterli değildir. Aynı zamanda ürünlerin müşteriye zamanında ve güvenilir bir şekilde ulaştırılması gerekmektedir. Bu da, ancak doğru nakliye firmasının seçilmesi ile gerçekleştirilebilir.

Günümüzün rekabetçi ortamı, işletmeleri müşterilere değer yaratmak için daha iyi yollar bulmaya zorlamaktadır. Müşterilere ürünleri düşük maliyet ile ulaştırabilmek, önemli ve zor bir süreçtir. Karar vericiler bütçe kısıtları altında en etkin nakliye firmasının seçiminde zorlanmaktadırlar (Kulak ve Kahraman, 2005: 192). İşletmeler tecrübeli, sektörde saygın bir konuma sahip, öngörülen teslimat süresine bağlı kalarak ürünü, zamanında teslim edebilen, kaliteli hizmeti ilke edinen ve müşterileri için katma değer yaratabilen nakliye firmalarını tercih edeceklerdir. Ayrıca, nakliye sürecinin kapıdan kapıya mal aktarımıyla sınırlı olmadığını iyi bilen, alanında uzman personele sahip olan ve alt yapıya önem veren nakliye firmaları rekabet avantajı sağlayacaklardır.

Günümüz rekabet ortamında irili ufaklı birçok işletme ihracat yapmakta ve ürünlerini müşteriye zamanında ulaştırmak istemektedirler. Bunun için doğru nakliye firmaları ile çalışmaları gerekmektedir.

İşletmelerin ürünlerini nakliye ihtiyaçları yakın zamana kadar genellikle şirket içi kaynaklardan karşılanırdı. Bazı şirketlerin kendi tırları, kamyonları, kendi deposu bulunurdu. Günümüzde ise nakliye hizmetlerinin dıştan tedariği tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de giderek artmaktadır. İşletmeler eski uzmanlıkları olan şirketin sahip olduğu araç, depo, personel gibi kaynakların operasyonu ve yönetimini

bırakmaktadırlar. İşletmeler ürünlerinin nakliye işlemini, işin profesyonellerine bırakarak kendi uzmanlık alanlarına yoğunlaşmışlardır.

Rekabetin giderek arttığı günümüzde işletmeler fark yaratmak için yeni yollar aramaktadırlar. Rekabet edebilmek için ürünlerinin kalitesini arttırmaya çalışmakta, AR-GE faaliyetlerine daha çok önem vermektedirler. Ayrıca fiyat rekabeti sağlayabilmek için de ürünlerini daha ucuza mal etmeye çalışmaktadırlar. Üretim maliyetlerinin azaltılmasının yanında nakliye maliyetlerinin de düşük olması işletmeye avantaj sağlayacaktır. İşletmeler, nakliye firması seçiminde maliyetin yanında nakliye firmasının gerekli yetki belgelerinin olup olmaması, araç filosunun kapasitesi, firmanın güvenilirliği gibi faktörleri de dikkate almalıdırlar. İlk bakışta işletmeler için bazı nakliye firmaları cazip gelse de belirli kriterlere sahip nakliye firmalarını seçmek işletmelerin kazançlı çıkmasını sağlayacaktır.

Uygulamada ele alınan işletme, müşterisinin siparişi üzerine Kazakistan'da hadde tesisi kurmaktadır ve hadde tesisi için gerekli tüm makina ve ekipmanlar işletmede üretilmekte ve Kazakistan'da montajı yapılmaktadır. Bu üretilen malzeme ve makinaların işletmenin Denizli'deki fabrikasından Kazakistan'daki müşterisine güvenli ve zamanında ulaştırılması, işletme açısından önem taşımaktadır. Bu yüzden doğru nakliye firmasının seçilmesi işletmeye avantaj sağlayacaktır.

Kazakistan'da yer alan müşteri için; hadde tesisinin kurulumunda gerekli olan binanın kurulumu ve montajı, kapalı alanın çelik konstrüksiyonu, elektrik sistemleri buna ilaveten haddehanede kullanılması gereken ana trafo, paneller ve gerekli tüm elektrik teçhizatı işletme tarafından yapılacaktır ve iki ayrı hadde tesisi kurulacaktır.

1.Tesis: 11 Ayak Continue hadde tesisi olup, 8 – 32 mm. arasında yuvarlak nervürlü inşaat demiri üretebilmek için tasarlanmıştır. Bu hattın üretim kapasitesi saatte 30 ton nervürlü inşaat demiri olup hadde tesisi üç vardiya çalışmaya uygun şekilde tasarlanmıştır.

2.Tesis: 7 Ayak 2 grup hadde tesisi olup, NPI ve NPU profil demir üretebilmek için tasarlanmıştır. Profil hattının üretim kapasitesi saatte 30 ton NPI ve NPU profil demirdir. Hadde tesisi üç vardiya çalışmaya uygun şekilde tasarlanmıştır.

Bu belirtilen iki tesisin kurulması için Kazakistan'daki müşteriye gönderilecek ürünlerin tamamının tonajı yaklaşık 3200 tondur. Bu ürünlerin nakliyesi için yaklaşık 145 adet tır gerekmektedir. Bu yüzden nakliye firması seçim problemi işletme açısından kritik öneme sahiptir.

İşletme öncelikle ürünlerini müşteriye ulaştırmak için hava yolu, deniz yolu, demir yolu, kara yolu seçenekleri arasından seçim yapacaktır. Bu seçimi yaparken müşteriye ulaşması gereken ürünün niteliğine ve miktarına bağlı olarak karar verecektir. Uygulamada dikkate alınan işletmenin müşterisine ulaştırmak istediği ürünler haddehane kurulması için gerekli makina ve ekipmanlar olduğundan yüksek tonajlıdır. Bu yüzden işletme için hava yolu uygun bir seçenek olmayacaktır. Hava koşullarından dolayı ürünlerin Kazakistan'daki müşterilere ulaştırılmasında deniz yolu her zaman elverişli olmamaktadır. Volga nehri kış aylarında donduğu için mevcut kanal kapalı olmakta ve gemiler faaliyet gösterememektedir. Tren yolu ise maliyeti düşük bir seçenek olmasına rağmen, ürünlerin nakliyesi için tam olarak güvenli değildir. Çünkü Kazakistan'a direkt bir demir yolu bulunmadığından aktarma yapılması gerekmektedir. Aktarma yapılması, nakliye süresini uzatmakta ve ekstra masraflara neden olmaktadır. Ayrıca aktarma sırasında ürünler deformasyona uğrayıp zarar görebilmektedir. Bu yüzden işletme için ürünlerinin nakliyesinde en uygun seçenek kara yolu olacaktır. İşletme Kazakistan'daki müşterisine ürünleri kara yoluyla ulaştırmaya karar verdikten sonra sıra, işletme için en iyi nakliye firmasının seçilmesine gelmiştir.

İşletme ürünlerini ürettikten sonra müşterilerine zamanında teslim edebilmek istemektedir. Uygulamada dikkate alınan işletme, üretiminin büyük bir bölümünü yurt dışına ihraç ettiğinden ve ürünlerinin yüksek tonajlı olmasından dolayı doğru nakliye firmasının seçimi, işletme açısından kritik öneme sahiptir. Doğru nakliye firmasının seçilememesi işletme açısından bir takım sorunlara neden olabilir. Bu sorunları şu şekilde sıralayabiliriz:

- İşletme, Kazakistan'da hadde tesisi kuracağı için ürünlerin müşteriye zamanında ulaşmaması durumunda iş akışının sürekliliği aksamakta ve tesis zamanında teslim edilemeyebilmektedir.

- Ürünlerin zamanında teslim edilememesi, müşterinin güveninin kaybına neden olabilmektedir. Ayrıca sözleşmede, ürünlerin zamanında teslim edilememesi durumunda işletme tarafından para cezası ödenmesi gerektiği belirtilmiş ise işletme maddi olarak da kayba uğramaktadır.
- Emniyetli bir şekilde taşınmayan ürün deformasyona uğrayabilmekte bu da ürünün kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca deformasyona uğrayan ürünün yeniden üretilmesi gerektiğinde zaman kaybı ve maddi kayıplar meydana gelebilmektedir.
- Güvenilir olamayan nakliye firmaları ürünü teslim aldıktan sonra müşteriye ulaştırmak yerine ürünü başkasına satarak gelir elde etmeye çalışabilmektedir. Her zaman karşılaşılan bir durum olmasa da yaşanmış örnekleri mevcuttur.

Nakliye firması seçim probleminde birbiri ile çelişen birden çok kriter dikkate alınmaktadır. Bazı kriterler kesin değerler ile ifade edilemediğinden, kesin sayıların kullanıldığı klasik ÇKKV yöntemlerinde bu değerler göz ardı edilmektedir. Ayrıca bu yöntemler karar vericilerin karar verme sürecinde karşılaştıkları belirsizlik ve kesin olmamayı ele alamamaktadır (Kulak ve Kahraman, 2005: 192). Bu bağlamda nakliye firması seçim problemini ele almak için bulanık ÇKKV yöntemlerinden literatürde karar problemlerini ele almada yaygın olarak kullanılan BAHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri önerilmiştir.

Nakliye Firması Seçiminde Kullanılacak Kriterler

İşletmede ihracat müdürü, ihracat uygulama şefi ve genel müdür ile görüşülerek nakliye firması seçiminde kullanılacak kriterler belirlenmiş ve dokuz ana başlık altında şu şekilde özetlenmiştir:

Maliyet (K_1): Ürünlerin, işletmeden müşteriye ulaşması için işletme tarafından katlanılması gereken tutarı gösterir. Müşteri ile yapılan sözleşmeye bağlı olarak nakliye masraflarının kimin tarafından karşılanacağı değişiklik göstermektedir. Uygulamada ele alınan işletmenin yapacak olduğu yüklemelerde masraflar işletmeye aittir. Bu yüzden doğru nakliye firmasının seçimi işletme açısından önem taşımaktadır.

Dokümantasyon yeterliliği (K_2): Ürünlerin nakliyesi sırasında gerekli evrakların doğru ve eksiksiz bir şekilde hazırlanması gerekir. Aksi takdirde ürünlerin teslimat süresi uzayabilmekte ya da banka tarafından ek masraflar çıkarılabilmektedir. Kara yolu taşımacılığında bu evraklara CMR (Convention Merchandise Routier) denilmektedir. CMR uluslararası kara yolu taşımacılığında koşulları standardize ederek taşıyıcının sorumluluklarını belirleyen bir sözleşmedir.

Zamanında teslimat (K_3): İşletmenin, müşteri ile yaptığı anlaşmaya uygun olarak ürünlerin müşteriye belirtilen termin süresinde teslim edilmesidir. Ürünlerin teslim süresi, hava koşulları ve olağan üstü haller gibi durumlardan etkilenmektedir. Nakliye firmasının zamanında teslimat kriteri altında değerlendirilmesi sırasında bu gibi durumlar dikkate alınmaktadır.

Firma güvenilirliği (K_4): Nakliye firması yeni kurulmuş bir firma değil ise işletme, kendi geçmiş tecrübelerden yararlanarak ya da bu firma ile ilk kez çalışacaksa diğer işletmelerden aldığı referanslar doğrultusunda firma hakkında bir fikre sahip olmaktadır. İşletme, sahip olduğu bu fikir doğrultusunda firmanın güvenilirliği hakkında yorum yapabilecektir. Ayrıca bu kriter; firmanın pazarda sahip olduğu pazar payı, imaj, saygınlık gibi faktörleri de içermektedir.

Araç filosu (K_5): İşletmeler kendi araç filosuna sahip nakliye firmalarını daha çok tercih etmekte ve filodaki araç sayısı işletmeler için önem taşımaktadır. Bazı nakliye firmalarının kendilerine ait araçları olmayıp kiralamış oldukları araçlar ile hizmet vermektedirler. Kendi araç ve personeline sahip olan firmalar ile çalışıldığında, nakliye firması daha iyi organize olabileceği için daha az sorunla karşılaşmaktadır.

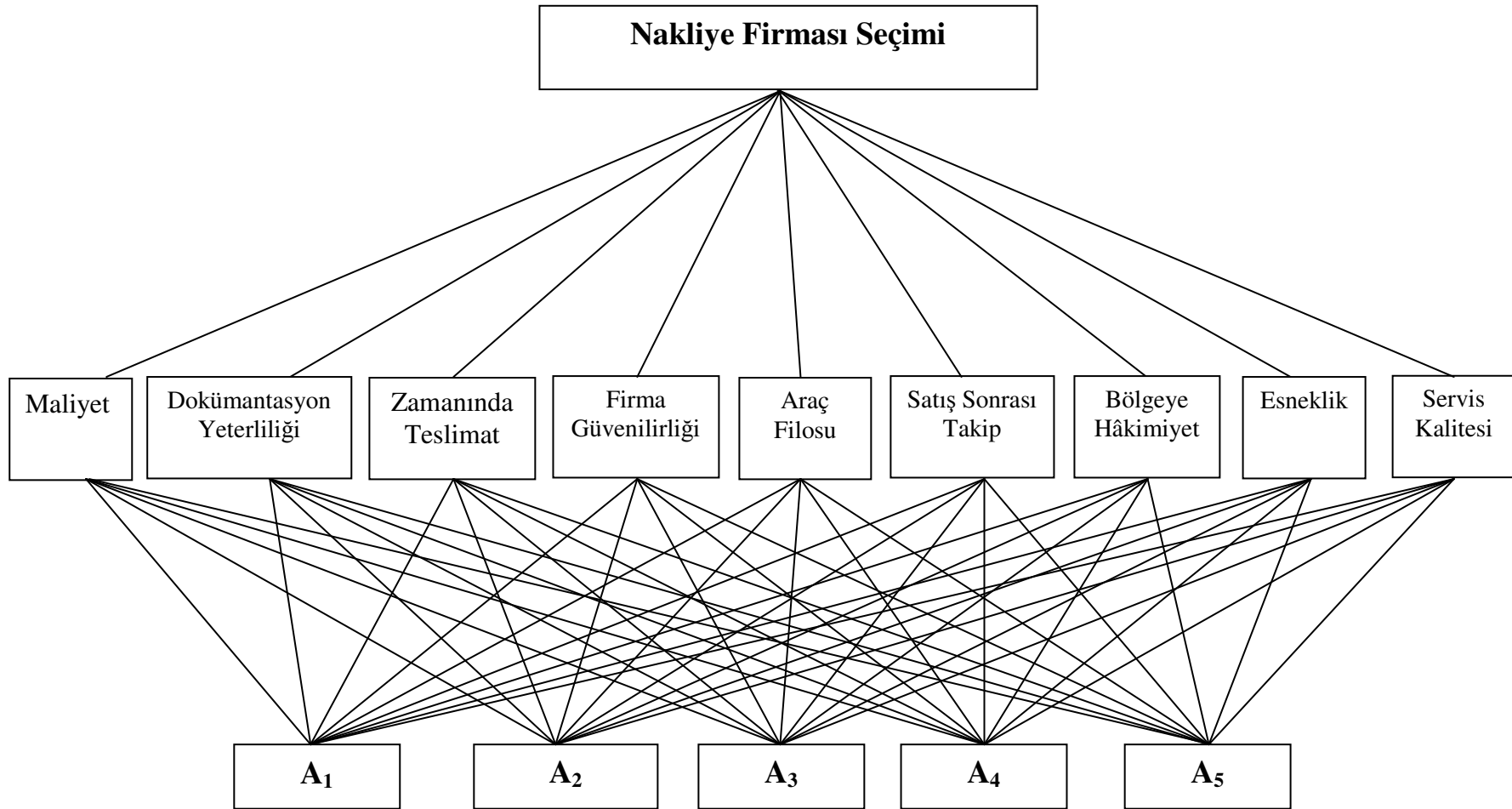
Satış sonrası takip (K_6): İşletmeler, ürünlerini müşteriye teslim edilmek üzere yükledikten sonra da hangi aşamada olduğunu takip etmek istemektedirler. Bazı nakliye firmaları müşterilerine elektronik ticaretin olanaklarını sunan sistemler sayesinde internet ortamında yük takibi, yük sorgulama, rezervasyon ve uydu bağlantılı araç izleme avantajı sağlamaktadırlar. Çoğu nakliye firması bu tür satış sonrası takip hizmetlerini sunduklarını belirtse de ciddi anlamda bu hizmeti veren firma sayısı sınırlıdır. Bu tür hizmetleri sunabilen nakliye firmaları avantaj sağlayacaklardır.

Bölgeye hâkimiyet (K_7): Nakliye firmasının geniş bir hizmet ağına sahip olması önemlidir fakat asıl önemli olan ürünlerin gönderilecek olduğu ülkenin bulunduğu bölgeye hâkimiyettir. Bölgeye hâkim, bölge hakkında bilgi sahibi olan firmalar ürünleri sorun yaşamadan müşteriye teslim edebilir. Sürekli belirli bölgeye yükleme yapan firmaların şoförleri bölgede konuşulan dili bilebilir, bu da bir sorunla karşılaşıldığında sorununun daha rahat çözülmesine yardımcı olur. Ayrıca şoförler bölgeyi iyi tanıdıkları için ürünleri daha kısa sürede ve daha az sorun yaşayarak istenilen noktaya ulaştırabilirler.

Esneklik (K_8): İşletme, ürünlerini müşteriye termin süresine uygun bir şekilde teslim edebilmek için nakliye firmasından talep ettiği zamanda aracın yüklemeye hazır bir şekilde işletmede olmasını istemektedir. Bu da, nakliye firmasının esnekliğine bağlı olmaktadır.

Servis kalitesi (K_9): İşletmeye ait ürünlerin müşteriye güvenli bir şekilde ulaşıncaya kadar alınan hizmetin niteliğini göstermektedir. Bununla birlikte, alınan servisin kalitesi nakliye firmasında çalışan satış sorumlularının özelliklerine de bağlı olmaktadır. Bu kişilerin konusuna hâkim, gerektiğinde işletmeyi yönlendirebilecek bilgi birikimine sahip, iyi ilişkiler kurulabilen, güler yüzlü kişilerden oluşması önemlidir.

Şekil 4.1’de, nakliye firması seçiminde kullanılacak kriterler ve alternatifler hiyerarşik olarak görülmektedir. İşletmenin ihracat sorumlusu Kazakistan’a yapacakları yükleme için beş nakliye firmasından teklif almıştır. Bu belirtilen dokuz kriter altında, beş nakliye firması alternatifi BAHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri yardımıyla değerlendirilecek ve işletme için en uygun olan nakliye firması belirlenmeye çalışılacaktır.



Şekil 4.1. Nakliye firması seçim probleminin hiyerarşik yapısı

4.3. PROBLEMİN BAHP YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMÜ

Nakliye firması seçim probleminin BAHP yöntemi ile çözümünde öncelikle işletmeden üç karar vericiye nakliye firması seçim probleminde dikkate alınan kriterleri ikili karşılaştırmaları istenmiştir. Bu karar vericilerden ilki ihracat müdürü, ikincisi ihracat uygulama şefi ve üçüncüsü ise genel müdürdür. Karar vericilerin kriterleri ikili karşılaştırmalarının sonuçları Ek 1, 2 ve 3'te görülmektedir. Ayrıca üç karar verici bu kriterler altında beş nakliye firması alternatifini ikili karşılaştırmalar yoluyla değerlendirmişlerdir. Bu karşılaştırma sonuçları Ek 4 ile Ek 30 arasında görülmektedir. Daha sonra bu ikili karşılaştırmalardan elde edilen bilgiler ile Ek 31 ile Ek 42 arasında görülen bulanık karar matrisleri oluşturulmuştur. Bu matrisler bulanık şekle getirilmeden önce tutarlılıkları Expert Choice² paket programı yardımıyla kontrol edilmiş ve tüm matrisler tutarlı bulunmuştur. Bulanık karar matrisinde değerlendirme sonuçları üçgen bulanık sayı şeklindedir. Bu matris oluşturulurken Tablo 4.1'deki ölçek kullanılmıştır.

Tablo 4.1. Değerlendirmede kullanılan sözel değişkenlerin üçgen bulanık sayı cinsinden karşılıkları

Sözel Değişken	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit derecede önem	(1,1,1)	(1/1,1/1,1/1)
Orta derecede önem	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)
Kuvvetli derecede önem	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
Çok kuvvetli derecede önem	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
Mutlak derecede önem	(7,9,9)	(1/9,1/9,1/7)

² [http:// www.expertchoice.com](http://www.expertchoice.com)

Karar vericiler tarafından kriter ve alternatiflerin değerlendirilerek bu değerlendirme sonuçları ile bulanık karar matrislerinin oluşturulmasından sonra bu matrislerdeki değerler eşitlik (4.1) yardımıyla tek bir değere indirgenir:

$$\tilde{M}_{ij} = (1/N) \otimes (\tilde{m}_{ij}^1 \oplus \tilde{m}_{ij}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{m}_{ij}^N) \quad (4.1)$$

Burada \tilde{M}_{ij} karar vericilerin değerlendirme sonuçlarının bütünleşik değerini gösteren üçgen bulanık sayı, \tilde{m}_{ij}^k ise k . karar verici tarafından i . alternatifin j . kriter bazında kıyaslama sonucunu, N de karar verici sayısını göstermektedir (Cheng vd, 2008: 135).

Üç karar vericinin, kriterleri ikili karşılaştırması sonucu oluşturulan birleştirilmiş karar matrisi Tablo 4.2’de görülmektedir.

Tablo 4.2. Üç karar vericinin birleştirilmiş ikili karşılaştırmalar matrisi

	Maliyet	Dokümantasyon yeterliliği	Zamanında teslimat	Firma güvenilirliği	Araç filosu	Satış sonrası takip	Bölgeye hâkimiyet	Esneklik	Servis kalitesi
Maliyet	(1,1,1)	(3.0,5.0,7.0)	(0.7,1.4,2.1)	(1.7,3.7,5.7)	(3.7,5.7,7.0)	(3.4,4.8,6.3)	(3.0,5.0,7.0)	(2.7,4.1,5.7)	(2.0,3.4,4.8)
Dokümantasyon yeterliliği	(0.1,0.2,0.3)	(1,1,1)	(0.1,0.2,0.5)	(0.4,1.2,2.1)	(1.0,1.7,2.3)	(0.7,1.4,2.1)	(0.7,1.4,2.3)	(0.4,1.2,2.1)	(0.4,1.1,1.8)
Zamanında teslimat	(0.5,0.7,1.4)	(2.1,4.8,7.1)	(1,1,1)	(3.0,4.3,5.0)	(4.3,6.3,7.7)	(3.0,5.0,7.0)	(3.7,5.7,7.0)	(2.3,4.3,6.3)	(1.7,3.0,4.3)
Firma güvenilirliği	(0.2,0.3,0.6)	(0.5,0.8,2.2)	(0.2,0.2,0.3)	(1,1,1)	(2.1,3.4,5.0)	(2.0,3.4,4.7)	(1.0,2.3,3.7)	(1.4,2.7,4.1)	(1.4,2.0,2.7)
Araç filosu	(0.1,0.2,0.3)	(0.4,0.6,1.0)	(0.1,0.2,0.2)	(0.2,0.3,0.5)	(1,1,1)	(0.4,1.2,2.1)	(0.7,1.4,2.1)	(0.4,1.1,1.9)	(0.4,1.1,1.8)
Satış sonrası takip	(0.2,0.2,0.3)	(0.5,0.7,1.4)	(0.1,0.2,0.3)	(0.2,0.3,0.5)	(0.5,0.8,2.2)	(1,1,1)	(1.8,2.6,3.7)	(0.7,0.8,1.0)	(0.4,0.5,0.8)
Bölgeye hâkimiyet	(0.1,0.2,0.3)	(0.4,0.7,1.4)	(0.1,0.2,0.3)	(0.3,0.4,1.0)	(0.5,0.7,1.4)	(0.3,0.4,0.6)	(1,1,1)	(0.7,1.4,2.1)	(0.4,1.1,2.0)
Esneklik	(0.2,0.2,0.4)	(0.5,0.8,2.2)	(0.2,0.2,0.4)	(0.2,0.4,0.7)	(0.5,0.9,2.3)	(1.0,1.3,1.4)	(0.5,0.7,1.4)	(1,1,1)	(0.5,0.6,1.0)
Servis kalitesi	(0.2,0.3,0.5)	(0.5,0.9,2.4)	(0.2,0.3,0.6)	(0.4,0.5,0.7)	(0.6,0.9,2.5)	(1.3,2.0,2.2)	(0.5,0.9,2.3)	(1.0,1.8,2.1)	(1,1,1)

Tablo 4.2'deki verilerden yararlanarak Chang'ın (1996) Genişletilmiş Analiz Yöntemi'ne göre öncelikle sentez değerlerinin bulunması gereklidir. Kriterlere ait sentez değerleri eşitlik (3.4)'e göre şu şekilde hesaplanır:

$$S_1 = (21.23, 32.62, 46.56) \otimes (1/189.73, 1/129.87, 1/81.01) = (0.112, 0.251, 0.575)$$

$$S_2 = (5.04, 9.39, 14.64) \otimes (1/189.73, 1/129.87, 1/81.01) = (0.027, 0.072, 0.181)$$

$$S_3 = (21.62, 35.23, 46.84) \otimes (1/189.73, 1/129.87, 1/81.01) = (0.114, 0.271, 0.578)$$

$$S_4 = (9.69, 16.26, 24.35) \otimes (1/189.73, 1/129.87, 1/81.01) = (0.051, 0.125, 0.301)$$

$$S_5 = (3.90, 7.03, 10.90) \otimes (1/189.73, 1/129.87, 1/81.01) = (0.021, 0.054, 0.135)$$

$$S_6 = (5.44, 7.11, 11.20) \otimes (1/189.73, 1/129.87, 1/81.01) = (0.029, 0.055, 0.138)$$

$$S_7 = (3.87, 6.13, 10.04) \otimes (1/189.73, 1/129.87, 1/81.01) = (0.020, 0.047, 0.124)$$

$$S_8 = (4.53, 6.14, 10.88) \otimes (1/189.73, 1/129.87, 1/81.01) = (0.024, 0.047, 0.134)$$

$$S_9 = (5.68, 8.56, 14.33) \otimes (1/189.73, 1/129.87, 1/81.01) = (0.030, 0.066, 0.177)$$

Elde edilen bu değerler kullanılarak eşitlik (3.9) yardımıyla bulanık sayıların karşılaştırılması yapılır ve şu değerler elde edilir:

$$V(S_1 \geq S_2) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 0.278$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_3) = 0.958$$

$$V(S_2 \geq S_3) = 0.251$$

$$V(S_3 \geq S_2) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_4) = 0.710$$

$$V(S_3 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_5) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_5) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_5) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_6) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_6) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_6) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_7) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_7) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_7) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_8) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_8) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_8) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_9) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_9) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_9) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_1) = 0.600$$

$$V(S_5 \geq S_1) = 0.103$$

$$V(S_6 \geq S_1) = 0.118$$

$$V(S_4 \geq S_2) = 1$$

$$V(S_5 \geq S_2) = 0.856$$

$$V(S_6 \geq S_2) = 0.864$$

$$V(S_4 \geq S_3) = 0.561$$

$$V(S_5 \geq S_3) = 0.087$$

$$V(S_6 \geq S_3) = 0.101$$

$$V(S_4 \geq S_5) = 1$$

$$V(S_5 \geq S_4) = 0.540$$

$$V(S_6 \geq S_4) = 0.553$$

$$V(S_4 \geq S_6) = 1$$

$$V(S_5 \geq S_6) = 0.994$$

$$V(S_6 \geq S_5) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_7) = 1$$

$$V(S_5 \geq S_7) = 1$$

$$V(S_6 \geq S_7) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_8) = 1$$

$$V(S_5 \geq S_8) = 1$$

$$V(S_6 \geq S_8) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_9) = 1$$

$$V(S_5 \geq S_9) = 0.899$$

$$V(S_6 \geq S_9) = 0.907$$

$V(S_7 \geq S_1) = 0.056$	$V(S_8 \geq S_1) = 0.099$	$V(S_9 \geq S_1) = 0.260$
$V(S_7 \geq S_2) = 0.795$	$V(S_8 \geq S_2) = 0.811$	$V(S_9 \geq S_2) = 0.959$
$V(S_7 \geq S_3) = 0.043$	$V(S_8 \geq S_3) = 0.083$	$V(S_9 \geq S_3) = 0.235$
$V(S_7 \geq S_4) = 0.483$	$V(S_8 \geq S_4) = 0.516$	$V(S_9 \geq S_4) = 0.679$
$V(S_7 \geq S_5) = 0.937$	$V(S_8 \geq S_5) = 0.943$	$V(S_9 \geq S_5) = 1$
$V(S_7 \geq S_6) = 0.927$	$V(S_8 \geq S_6) = 0.934$	$V(S_9 \geq S_6) = 1$
$V(S_7 \geq S_8) = 0.999$	$V(S_8 \geq S_7) = 1$	$V(S_9 \geq S_7) = 1$
$V(S_7 \geq S_9) = 0.834$	$V(S_8 \geq S_9) = 0.849$	$V(S_9 \geq S_8) = 1$

Elde edilen bu değerler yardımıyla eşitlik (3.10) kullanılarak kriterlerin öncelik değerleri şu şekilde hesaplanır:

$$d'(K_1) = \min(1, 0.958, 1, 1, 1, 1, 1, 1) = 0.958$$

$$d'(K_2) = \min(0.278, 0.251, 0.710, 1, 1, 1, 1, 1) = 0.251$$

$$d'(K_3) = \min(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1) = 1$$

$$d'(K_4) = \min(0.600, 1, 0.561, 1, 1, 1, 1, 1) = 0.561$$

$$d'(K_5) = \min(0.103, 0.856, 0.087, 0.540, 0.994, 1, 1, 0.899) = 0.087$$

$$d'(K_6) = \min(0.118, 0.864, 0.101, 0.553, 1, 1, 1, 0.907) = 0.101$$

$$d'(K_7) = \min(0.056, 0.795, 0.043, 0.483, 1, 0.937, 0.927, 0.999) = 0.043$$

$$d'(K_8) = \min(0.099, 0.811, 0.083, 0.516, 0.943, 0.934, 1, 0.849) = 0.083$$

$$d'(K_9) = \min(0.260, 0.959, 0.235, 0.679, 1, 1, 1, 1) = 0.235$$

Öncelik vektörünün hesaplanması sonucunda aşağıdaki vektör elde edilir:

$$W' = (0.958, 0.251, 1, 0.561, 0.087, 0.101, 0.043, 0.083, 0.235)$$

Bu vektörde yer alan değerlerin normalizasyonu sonucunda kriterlerin öncelik değerleri sırasıyla; (0.289, 0.076, 0.301, 0.169, 0.026, 0.030, 0.013, 0.025, 0.071) olarak hesaplanır. Bu değerlere göre, işletme nakliye firması seçim probleminde en fazla zamanında teslimat kriterine önem vermektedir. Bu kriteri sırasıyla maliyet, firma güvenilirliği, doküman sayon yeterliliği, servis kalitesi, satış sonrası takip, araç filosu, esneklik ve bölgeye hâkimiyet kriterleri izlemektedir. Kriterlerin sahip oldukları ağırlıklar Tablo 4.3'te özetlenmiştir.

Tablo 4.3. Kriterlerin ağırlıkları

Kriter No	Kriter	Kriter Ağırlığı
K ₁	Maliyet	0.289
K ₂	Dokümantasyon yeterliliği	0.076
K ₃	Zamanında teslimat	0.301
K ₄	Firma güvenilirliği	0.169
K ₅	Araç filosu	0.026
K ₆	Satış sonrası takip	0.030
K ₇	Bölgeye hâkimiyet	0.013
K ₈	Esneklik	0.025
K ₉	Servis kalitesi	0.071

Kriterlere ilişkin ağırlıklar belirlendikten sonra, karar vericilerin her kriter altında beş nakliye firması alternatifini değerlendirmeleri ele alınmıştır. İlk olarak maliyet kriteri için alternatiflerin değerlendirme sonuçlarının birleştirilmiş şekli Tablo 4.4'de görüldüğü gibidir. Bu tablodaki verilerden yararlanarak maliyet kriteri altında beş alternatife ilişkin sentez değerleri eşitlik (3.4) yardımıyla şu şekilde hesaplanır:

$$S_1 = (7.25, 12.73, 18.78) \otimes (1/71.46, 1/51.65, 1/32.55) = (0.101, 0.247, 0.577)$$

$$S_2 = (15.29, 23.46, 30.19) \otimes (1/71.46, 1/51.65, 1/32.55) = (0.214, 0.454, 0.928)$$

$$S_3 = (5.11, 8.00, 11.38) \otimes (1/71.46, 1/51.65, 1/32.55) = (0.071, 0.155, 0.350)$$

$$S_4 = (3.33, 5.65, 8.65) \otimes (1/71.46, 1/51.65, 1/32.55) = (0.047, 0.109, 0.266)$$

$$S_5 = (1.58, 1.80, 2.46) \otimes (1/71.46, 1/51.65, 1/32.55) = (0.022, 0.035, 0.076)$$

Tablo 4.4. Maliyet kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları

Maliyet	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	(1,1,1)	(0.18,0.29,0.78)	(1.40,2.78,4.33)	(1.00,3.00,5.00)	(3.67,5.67,7.67)
A₂	(1.29,3.46,5.53)	(1,1,1)	(3.00,5.00,7.00)	(3.67,5.67,7.67)	(6.33,8.33,9.00)
A₃	(0.23,0.36,0.71)	(0.14,0.20,0.33)	(1,1,1)	(1.40,2.11,3.00)	(2.33,4.33,6.33)
A₄	(0.20,0.33,1.00)	(0.13,0.18,0.27)	(0.33,0.47,0.71)	(1,1,1)	(1.67,3.67,5.67)
A₅	(0.13,0.18,0.27)	(0.11,0.12,0.16)	(0.16,0.23,0.43)	(0.18,0.27,0.60)	(1,1,1)

Elde edilen bu değerler kullanılarak eşitlik (3.9) yardımıyla bulanık sayıların karşılaştırılması yapılır ve şu değerler elde edilir:

$$\begin{array}{lll}
 V(S_1 \geq S_2) = 0.636 & V(S_3 \geq S_1) = 0.731 & V(S_5 \geq S_1) = 0 \\
 V(S_1 \geq S_3) = 1 & V(S_3 \geq S_2) = 0.312 & V(S_5 \geq S_2) = 0 \\
 V(S_1 \geq S_4) = 1 & V(S_3 \geq S_4) = 1 & V(S_5 \geq S_3) = 0.033 \\
 V(S_1 \geq S_5) = 1 & V(S_3 \geq S_5) = 1 & V(S_5 \geq S_4) = 0.280 \\
 V(S_2 \geq S_1) = 1 & V(S_4 \geq S_1) = 0.545 & \\
 V(S_2 \geq S_3) = 1 & V(S_4 \geq S_2) = 0.131 & \\
 V(S_2 \geq S_4) = 1 & V(S_4 \geq S_3) = 0.810 & \\
 V(S_2 \geq S_5) = 1 & V(S_4 \geq S_5) = 1 &
 \end{array}$$

Elde edilen bu değerlerden alternatiflere ilişkin öncelik değerlerine eşitlik (3.10) kullanılarak şu şekilde ulaşılır:

$$d'(A_1) = \min(0.636, 1, 1, 1) = 0.636$$

$$d'(A_2) = \min(1, 1, 1, 1) = 1$$

$$d'(A_3) = \min(0.731, 0.312, 1, 1) = 0.312$$

$$d'(A_4) = \min(0.545, 0.131, 0.810, 1) = 0.131$$

$$d'(A_5) = \min(0, 0, 0.033, 0.280) = 0$$

Öncelik vektörünün hesaplanması sonucunda aşağıdaki vektör elde edilir.

$$W' = (0.636, 1, 0.312, 0.131, 0)$$

Bu vektörde yer alan değerlerin normalizasyonu sonucunda alternatiflerin maliyet kriteri altında öncelik değerleri sırasıyla (0.306, 0.481, 0.150, 0.063, 0) olarak hesaplanır. Bu değerlere göre maliyet kriteri altında en uygun alternatif A_2 alternatifi iken, onu sırasıyla A_1 , A_3 , A_4 ve A_5 alternatifleri izler.

Doküman sayon yeterliliği kriteri için değerlendirme sonuçlarının birleştirilmiş şekli Tablo 4.5'te görülmektedir. Bu verilerden yararlanarak doküman sayon yeterliliği kriteri altında beş alternatif için sentez değerleri eşitlik (3.4) yardımıyla şu şekilde hesaplanır:

$$S_1 = (10.73, 17.44, 24.33) \otimes (1/67.55, 1/48.15, 1/30.84) = (0.159, 0.362, 0.789)$$

$$S_2 = (5.65, 9.84, 14.78) \otimes (1/67.55, 1/48.15, 1/30.84) = (0.084, 0.204, 0.479)$$

$$S_3 = (10.71, 15.65, 19.93) \otimes (1/67.55, 1/48.15, 1/30.84) = (0.159, 0.325, 0.646)$$

$$S_4 = (1.86, 2.77, 4.22) \otimes (1/67.55, 1/48.15, 1/30.84) = (0.028, 0.058, 0.137)$$

$$S_5 = (1.88, 2.44, 4.29) \otimes (1/67.55, 1/48.15, 1/30.84) = (0.028, 0.051, 0.139)$$

Elde edilen bu değerler kullanılarak eşitlik (3.9) yardımıyla bulanık sayıların karşılaştırılması yapılır ve şu değerler elde edilir:

$$\begin{array}{lll} V(S_1 \geq S_2) = 1 & V(S_3 \geq S_1) = 0.929 & V(S_5 \geq S_1) = 0 \\ V(S_1 \geq S_3) = 1 & V(S_3 \geq S_2) = 1 & V(S_5 \geq S_2) = 0.265 \\ V(S_1 \geq S_4) = 1 & V(S_3 \geq S_4) = 1 & V(S_5 \geq S_3) = 0 \\ V(S_1 \geq S_5) = 1 & V(S_3 \geq S_5) = 1 & V(S_5 \geq S_4) = 0.923 \\ V(S_2 \geq S_1) = 0.670 & V(S_4 \geq S_1) = 0 & \\ V(S_2 \geq S_3) = 0.727 & V(S_4 \geq S_2) = 0.266 & \\ V(S_2 \geq S_4) = 1 & V(S_4 \geq S_3) = 0 & \\ V(S_2 \geq S_5) = 1 & V(S_4 \geq S_5) = 1 & \end{array}$$

Bu değerler kullanılarak eşitlik (3.10) ile alternatiflerin öncelik değerleri şu şekilde hesaplanır:

$$d'(A_1) = \min(1, 1, 1, 1) = 1$$

$$d'(A_2) = \min(0.670, 0.727, 1, 1) = 0.670$$

$$d'(A_3) = \min(0.929, 1, 1, 1) = 0.929$$

$$d'(A_4) = \min(0, 0.266, 0, 1) = 0$$

$$d'(A_5) = \min(0, 0.265, 0, 0.923) = 0$$

Öncelik vektörünün hesaplanması sonucunda aşağıdaki vektör elde edilir.

$$W' = (1, 0.670, 0.929, 0, 0)$$

Bu vektörde yer alan değerlerin normalizasyonu sonucunda alternatiflerin doküman sayon yeterliliği kriteri için öncelik değerleri sırasıyla (0.385, 0.258, 0.357, 0, 0) olarak elde edilir. Bu değerlere göre doküman sayon yeterliliği kriteri altında en iyi iki alternatif A_1 alternatifi iken bu alternatifi sırasıyla A_3 , A_2 alternatifleri izler. A_5 ve A_4 alternatifleri ise sıfır değerini alır.

Tablo 4.5. Dokümantasyon yeterliliği kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları

Dokümantasyon Yeterliliği	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	(1,1,1)	(1.00,3.00,5.00)	(0.73,1.44,2.33)	(4.33,6.33,8.33)	(3.67,5.67,7.67)
A₂	(0.20,0.33,1.00)	(1,1,1)	(0.45,0.51,0.78)	(2.33,4.33,6.33)	(1.67,3.67,5.67)
A₃	(0.43,0.69,1.36)	(1.29,1.96,2.33)	(1,1,1)	(4.33,6.33,8.33)	(3.67,5.67,7.00)
A₄	(0.12,0.16,0.23)	(0.16,0.23,0.43)	(0.12,0.16,0.23)	(1,1,1)	(0.47,1.22,2.33)
A₅	(0.13,0.18,0.27)	(0.18,0.27,0.60)	(0.14,0.18,0.27)	(0.43,0.82,2.14)	(1,1,1)

Zamanında teslimat kriteri için değerlendirme sonuçlarının birleştirilmiş şekli Tablo 4.6'da verilmiştir. Bu verilerden yararlanarak zamanında teslimat kriteri için alternatiflere ilişkin sentez değerleri eşitlik (3.4) yardımıyla şu şekilde hesaplanır:

$$S_1 = (8.18, 13.62, 19.44) \otimes (1/67.15, 1/47.14, 1/29.29) = (0.122, 0.289, 0.664)$$

$$S_2 = (11.54, 17.29, 23.57) \otimes (1/67.15, 1/47.14, 1/29.29) = (0.172, 0.367, 0.805)$$

$$S_3 = (2.15, 3.03, 4.41) \otimes (1/67.15, 1/47.14, 1/29.29) = (0.032, 0.064, 0.150)$$

$$S_4 = (1.85, 2.28, 3.44) \otimes (1/67.15, 1/47.14, 1/29.29) = (0.028, 0.048, 0.117)$$

$$S_5 = (5.57, 10.93, 16.29) \otimes (1/67.15, 1/47.14, 1/29.29) = (0.083, 0.232, 0.556)$$

Elde edilen bu değerlerden yararlanarak eşitlik (3.9) ile bulanık sayıların karşılaştırılması yapılır ve şu değerler elde edilir:

$$V(S_1 \geq S_2) = 0.863 \quad V(S_3 \geq S_1) = 0.113 \quad V(S_5 \geq S_1) = 0.884$$

$$V(S_1 \geq S_3) = 1 \quad V(S_3 \geq S_2) = 0 \quad V(S_5 \geq S_2) = 0.740$$

$$V(S_1 \geq S_4) = 1 \quad V(S_3 \geq S_4) = 1 \quad V(S_5 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_5) = 1 \quad V(S_3 \geq S_5) = 0.287 \quad V(S_5 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 1 \quad V(S_4 \geq S_1) = 0$$

$$V(S_2 \geq S_3) = 1 \quad V(S_4 \geq S_2) = 0$$

$$V(S_2 \geq S_4) = 1 \quad V(S_4 \geq S_3) = 0.843$$

$$V(S_2 \geq S_5) = 1 \quad V(S_4 \geq S_5) = 0.157$$

Bu değerler kullanılarak eşitlik (3.10) yardımıyla alternatiflerin öncelik değerleri şu şekilde hesaplanır:

$$d'(A_1) = \min(0.863, 1, 1, 1) = 0.863$$

$$d'(A_2) = \min(1, 1, 1, 1) = 1$$

$$d'(A_3) = \min(0.113, 0, 1, 0.287) = 0$$

$$d'(A_4) = \min(0, 0, 0.843, 0.157) = 0$$

$$d'(A_5) = \min(0.884, 0.740, 1, 1) = 0.740$$

Öncelik vektörünün hesaplanması sonucunda aşağıdaki vektör elde edilir:

$$W' = (0.863, 1, 0, 0, 0.740)$$

Tablo 4.6. Zamanında teslimat kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları

Zamanında Teslimat	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
A ₁	(1,1,1)	(0.45,1.18,2.11)	(3.00,5.00,7.00)	(3.00,5.00,7.00)	(0.73,1.44,2.33)
A ₂	(0.47,0.85,2.23)	(1,1,1)	(4.33,6.33,8.33)	(4.33,6.33,7.67)	(1.40,2.78,4.33)
A ₃	(0.14,0.20,0.33)	(0.12,0.16,0.23)	(1,1,1)	(0.73,1.44,2.33)	(0.15,0.23,0.51)
A ₄	(0.14,0.20,0.33)	(0.13,0.16,0.23)	(0.43,0.69,1.36)	(1,1,1)	(0.15,0.23,0.51)
A ₅	(0.43,0.69,1.36)	(0.23,0.36,0.71)	(1.96,4.44,6.61)	(1.96,4.44,6.61)	(1,1,1)

Bu vektörde yer alan değerlerin normalizasyonu sonucunda alternatiflerin zamanında teslimat kriteri için öncelik değerleri sırasıyla (0.332, 0.384, 0, 0, 0.284) olarak bulunur. Bu değerlere bakarak zamanında teslimat kriteri altında en iyi alternatif A_2 iken bu alternatifi, A_1 ve A_5 izler. A_3 ve A_4 alternatifleri ise sıfır değerini almışlardır.

Firma güvenilirliği kriteri için değerlendirme sonuçlarının birleştirilmiş şekli Tablo 4.7’de görüldüğü gibidir. Bu verilerden yararlanarak firma güvenilirliği kriteri altında beş alternatifte ilişkin sentez değerleri eşitlik (3.4) yardımıyla şu şekilde hesaplanır:

$$S_1 = (4.01, 8.20, 13.00) \otimes (1/72.07, 1/50.89, 1/31.29) = (0.056, 0.161, 0.416)$$

$$S_2 = (12.87, 20.54, 27.51) \otimes (1/72.07, 1/50.89, 1/31.29) = (0.179, 0.404, 0.879)$$

$$S_3 = (2.45, 3.34, 4.85) \otimes (1/72.07, 1/50.89, 1/31.29) = (0.034, 0.066, 0.155)$$

$$S_4 = (1.85, 2.18, 3.04) \otimes (1/72.07, 1/50.89, 1/31.29) = (0.026, 0.043, 0.097)$$

$$S_5 = (10.11, 16.64, 23.67) \otimes (1/72.07, 1/50.89, 1/31.29) = (0.140, 0.327, 0.756)$$

Elde edilen bu değerler kullanılarak (3.9) nolu eşitlik yardımıyla bulanık sayıların karşılaştırılması yapılır ve şu değerler elde edilir:

$$V(S_1 \geq S_2) = 0.494$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 0.510$$

$$V(S_5 \geq S_1) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_2) = 0$$

$$V(S_5 \geq S_2) = 0.883$$

$$V(S_1 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_5 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_5) = 0.624$$

$$V(S_3 \geq S_5) = 0.054$$

$$V(S_5 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_1) = 0.260$$

$$V(S_2 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_2) = 0$$

$$V(S_2 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_3) = 0.735$$

$$V(S_2 \geq S_5) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_5) = 0$$

Tablo 4.7. Firma güvenilirliği kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları

Firma Güvenilirliği	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	(1,1,1)	(0.16,0.24,0.56)	(1.00,3.00,5.00)	(1.67,3.67,5.67)	(0.18,0.29,0.78)
A₂	(1.80,4.09,6.18)	(1,1,1)	(4.33,6.33,8.33)	(5.00,7.00,8.33)	(0.73,2.11,3.67)
A₃	(0.20,0.33,1.00)	(0.12,0.16,0.23)	(1,1,1)	(1.00,1.67,2.33)	(0.13,0.18,0.29)
A₄	(0.18,0.27,0.60)	(0.12,0.14,0.20)	(0.43,0.60,1.00)	(1,1,1)	(0.12,0.16,0.24)
A₅	(1.29,3.46,5.53)	(0.27,0.47,1.36)	(3.46,5.53,7.56)	(4.09,6.18,8.22)	(1,1,1)

Elde edilen bu değerlerden eşitlik (3.10) kullanılarak alternatiflere ilişkin öncelik değerleri şu şekilde hesaplanır:

$$d'(A_1) = \min(0.494, 1, 1, 0.624) = 0.494$$

$$d'(A_2) = \min(1, 1, 1, 1) = 1$$

$$d'(A_3) = \min(0.510, 0, 1, 0.054) = 0$$

$$d'(A_4) = \min(0.260, 0, 0.735, 0) = 0$$

$$d'(A_5) = \min(1, 0.883, 1, 1) = 0.883$$

Öncelik vektörünün hesaplanması sonucunda aşağıdaki vektör elde edilir.

$$W' = (0.494, 1, 0, 0, 0.883)$$

Bu vektörde yer alan değerlerin normalizasyonu sonucunda firma güvenilirliği kriteri için alternatiflerin öncelik değerleri (0.208, 0.421, 0, 0, 0.371) olarak elde edilir. Bu değerlere göre firma güvenilirliği kriteri altında en iyi alternatif A_2 iken bu alternatifi sırasıyla A_5 ve A_1 alternatifleri izler. A_3 ve A_4 alternatifleri ise sıfır değerini almışlardır.

Araç filosu kriteri için değerlendirme sonuçlarının birleştirilmiş şekli Tablo 4.8'de verilmiştir. Bu verilerden yararlanarak araç flosu kriteri için alternatiflere ilişkin sentez değerleri (3.4) nolu eşitlik yardımıyla şu şekilde elde edilir:

$$S_1 = (11.40, 18.11, 24.33) \otimes (1/67.61, 1/47.13, 1/28.56) = (0.169, 0.384, 0.852)$$

$$S_2 = (7.99, 12.83, 18.11) \otimes (1/67.61, 1/47.13, 1/28.56) = (0.118, 0.272, 0.634)$$

$$S_3 = (2.20, 3.76, 5.83) \otimes (1/67.61, 1/47.13, 1/28.56) = (0.033, 0.080, 0.204)$$

$$S_4 = (1.70, 2.06, 3.44) \otimes (1/67.61, 1/47.13, 1/28.56) = (0.025, 0.044, 0.120)$$

$$S_5 = (5.28, 10.37, 15.90) \otimes (1/67.61, 1/47.13, 1/28.56) = (0.078, 0.220, 0.557)$$

Tablo 4.8. Araç filosu kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları

Araç Filosu	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	(1,1,1)	(1.00,2.33,3.67)	(3.67,5.67,7.67)	(4.33,6.33,7.67)	(1.40,2.78,4.33)
A₂	(0.27,0.43,1.00)	(1,1,1)	(3.00,4.33,5.67)	(3.00,5.00,7.00)	(0.71,2.07,3.44)
A₃	(0.13,0.18,0.27)	(0.18,0.23,0.33)	(1,1,1)	(0.73,2.11,3.67)	(0.16,0.24,0.56)
A₄	(0.13,0.16,0.23)	(0.14,0.20,0.33)	(0.27,0.47,1.36)	(1,1,1)	(0.15,0.23,0.51)
A₅	(0.23,0.36,0.71)	(0.29,0.48,1.40)	(1.80,4.09,6.18)	(1.96,4.44,6.61)	(1,1,1)

Elde edilen bu değerlerden yararlanarak eşitlik (3.9) ile bulanık sayıların karşılaştırılması yapılır ve şu değerler elde edilir:

$$\begin{array}{lll}
 V(S_1 \geq S_2) = 1 & V(S_3 \geq S_1) = 0.104 & V(S_5 \geq S_1) = 0.703 \\
 V(S_1 \geq S_3) = 1 & V(S_3 \geq S_2) = 0.309 & V(S_5 \geq S_2) = 0.894 \\
 V(S_1 \geq S_4) = 1 & V(S_3 \geq S_4) = 1 & V(S_5 \geq S_3) = 1 \\
 V(S_1 \geq S_5) = 1 & V(S_3 \geq S_5) = 0.473 & V(S_5 \geq S_4) = 1 \\
 V(S_2 \geq S_1) = 0.806 & V(S_4 \geq S_1) = 0 & \\
 V(S_2 \geq S_3) = 1 & V(S_4 \geq S_2) = 0.010 & \\
 V(S_2 \geq S_4) = 1 & V(S_4 \geq S_3) = 0.708 & \\
 V(S_2 \geq S_5) = 1 & V(S_4 \geq S_5) = 0.194 &
 \end{array}$$

Bu değerler kullanılarak eşitlik (3.10) yardımıyla alternatiflerin öncelik değerleri elde edilir:

$$\begin{aligned}
 d'(A_1) &= \min(1, 1, 1, 1) = 1 \\
 d'(A_2) &= \min(0.806, 1, 1, 1) = 0.806 \\
 d'(A_3) &= \min(0.104, 0.309, 1, 0.473) = 0.104 \\
 d'(A_4) &= \min(0, 0.010, 0.708, 0.194) = 0 \\
 d'(A_5) &= \min(0.703, 0.894, 1, 1) = 0.703
 \end{aligned}$$

Öncelik vektörünün hesaplanması sonucunda aşağıdaki vektör elde edilir:

$$W' = (1, 0.806, 0.104, 0, 0.703)$$

Bu vektörde yer alan değerlerin normalizasyonu sonucunda alternatiflerin araç filosu kriteri altında öncelik değerleri sırasıyla (0.383, 0.308, 0.040, 0, 0.269) olarak hesaplanır. Bu değerlere bakarak araç filosu kriteri için en iyi alternatifin A_1 olduğu söylenebilir. Bu alternatifi sırasıyla A_2 , A_5 ve A_3 alternatifleri izlerken A_4 alternatifi ise sıfır değerini almıştır.

Satış sonrası takip kriteri için değerlendirme sonuçlarının birleştirilmiş şekli Tablo 4.9'da görüldüğü gibidir. Bu verilerden yararlanarak satış sonrası takip kriteri altında beş alternatife ilişkin sentez değerleri (3.4) nolu eşitlik yardımıyla şu şekilde hesaplanır:

$$S_1 = (11.40, 18.11, 24.33) \otimes (1/68.39, 1/47.68, 1/28.14) = (0.167, 0.380, 0.865)$$

$$S_2 = (4.69, 8.23, 12.38) \otimes (1/68.39, 1/47.68, 1/28.14) = (0.069, 0.173, 0.440)$$

$$S_3 = (1.90, 2.81, 4.45) \otimes (1/68.39, 1/47.68, 1/28.14) = (0.028, 0.059, 0.158)$$

$$S_4 = (1.94, 2.54, 4.51) \otimes (1/68.39, 1/47.68, 1/28.14) = (0.028, 0.053, 0.160)$$

$$S_5 = (8.21, 15.99, 22.72) \otimes (1/68.39, 1/47.68, 1/28.14) = (0.120, 0.335, 0.807)$$

Elde edilen bu değerler kullanılarak (3.9) nolu eşitlik yardımıyla bulanık sayıların karşılaştırılması yapılır ve şu değerler elde edilir:

$$\begin{array}{lll} V(S_1 \geq S_2) = 1 & V(S_3 \geq S_1) = 0 & V(S_5 \geq S_1) = 0.935 \\ V(S_1 \geq S_3) = 1 & V(S_3 \geq S_2) = 0.441 & V(S_5 \geq S_2) = 1 \\ V(S_1 \geq S_4) = 1 & V(S_3 \geq S_4) = 1 & V(S_5 \geq S_3) = 1 \\ V(S_1 \geq S_5) = 1 & V(S_3 \geq S_5) = 0.122 & V(S_5 \geq S_4) = 1 \\ \\ V(S_2 \geq S_1) = 0.569 & V(S_4 \geq S_1) = 0 & \\ V(S_2 \geq S_3) = 1 & V(S_4 \geq S_2) = 0.435 & \\ V(S_2 \geq S_4) = 1 & V(S_4 \geq S_3) = 0.959 & \\ V(S_2 \geq S_5) = 0.663 & V(S_4 \geq S_5) = 0.125 & \end{array}$$

Elde edilen bu değerlerden eşitlik (3.10) kullanılarak alternatiflere ilişkin öncelik değerleri şu şekilde elde edilir.

$$d'(A_1) = \min(1, 1, 1, 1) = 1$$

$$d'(A_2) = \min(0.569, 1, 1, 0.663) = 0.569$$

$$d'(A_3) = \min(0, 0.441, 1, 0.122) = 0$$

$$d'(A_4) = \min(0, 0.435, 0.959, 0.125) = 0$$

$$d'(A_5) = \min(0.935, 1, 1, 1) = 0.935$$

Öncelik vektörünün hesaplanması sonucunda aşağıdaki vektör elde edilir.

$$W' = (1, 0.569, 0, 0, 0.935)$$

Bu vektörde yer alan değerlerin normalizasyonu sonucunda satış sonrası takip kriteri için alternatiflerin öncelik değerleri sırasıyla (0.399, 0.227, 0, 0, 0.373) olarak elde edilir. Bu değerlere bakarak satış sonrası takip kriteri altında en iyi alternatifin A_1 olduğu söylenebilir. Bu alternatifi sırasıyla ve A_5 ve A_2 alternatifleri izlerken A_3 ve A_4 alternatifleri ise sıfır değerini almıştır.

Tablo 4.9. Satış sonrası takip kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları

Satış Sonrası Takip	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	(1,1,1)	(1.67,3.67,5.67)	(4.33,6.33,7.67)	(3.67,5.67,7.67)	(0.73,1.44,2.33)
A₂	(0.18,0.27,0.60)	(1,1,1)	(1.67,3.67,5.67)	(1.67,3.00,4.33)	(0.18,0.29,0.78)
A₃	(0.13,0.16,0.23)	(0.18,0.27,0.60)	(1,1,1)	(0.47,1.22,2.33)	(0.12,0.16,0.29)
A₄	(0.13,0.18,0.27)	(0.23,0.33,0.60)	(0.43,0.82,2.14)	(1,1,1)	(0.15,0.21,0.49)
A₅	(0.43,0.69,1.36)	(1.29,3.46,5.53)	(3.46,6.18,8.22)	(2.03,4.66,6.61)	(1,1,1)

Bölgeye hâkimiyet kriteri için değerlendirme sonuçlarının birleştirilmiş şekli Tablo 4.10'da görüldüğü gibidir. Bu verilerden yararlanarak bölgeye hâkimiyet kriteri altında beş alternatifte ilişkin sentez değerleri (3.4) nolu eşitlik yardımıyla şu şekilde hesaplanır:

$$S_1 = (3.17, 5.44, 8.67) \otimes (1/66.88, 1/45.88, 1/27.52) = (0.047, 0.119, 0.315)$$

$$S_2 = (9.69, 16.88, 23.94) \otimes (1/66.88, 1/45.88, 1/27.52) = (0.145, 0.368, 0.870)$$

$$S_3 = (9.50, 15.55, 21.57) \otimes (1/66.88, 1/45.88, 1/27.52) = (0.142, 0.339, 0.784)$$

$$S_4 = (3.52, 6.06, 9.93) \otimes (1/66.88, 1/45.88, 1/27.52) = (0.053, 0.132, 0.361)$$

$$S_5 = (1.65, 1.95, 2.78) \otimes (1/66.88, 1/45.88, 1/27.52) = (0.025, 0.042, 0.101)$$

Elde edilen bu değerler kullanılarak (3.9) nolu eşitlik yardımıyla bulanık sayıların karşılaştırılması yapılır ve şu değerler elde edilir:

$$V(S_1 \geq S_2) = 0.406 \quad V(S_3 \geq S_1) = 1 \quad V(S_5 \geq S_1) = 0.413$$

$$V(S_1 \geq S_3) = 0.440 \quad V(S_3 \geq S_2) = 0.957 \quad V(S_5 \geq S_2) = 0$$

$$V(S_1 \geq S_4) = 0.951 \quad V(S_3 \geq S_4) = 1 \quad V(S_5 \geq S_3) = 0$$

$$V(S_1 \geq S_5) = 1 \quad V(S_3 \geq S_5) = 1 \quad V(S_5 \geq S_4) = 0.350$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 1 \quad V(S_4 \geq S_1) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_3) = 1 \quad V(S_4 \geq S_2) = 0.478$$

$$V(S_2 \geq S_4) = 1 \quad V(S_4 \geq S_3) = 0.514$$

$$V(S_2 \geq S_5) = 1 \quad V(S_4 \geq S_5) = 1$$

Bu değerler kullanılarak eşitlik (3.10) yardımıyla alternatiflerin öncelik değerleri elde edilir:

$$d'(A_1) = \min(0.406, 0.440, 0.951, 1) = 0.406$$

$$d'(A_2) = \min(1, 1, 1, 1) = 1$$

$$d'(A_3) = \min(1, 0.957, 1, 1) = 0.957$$

$$d'(A_4) = \min(1, 0.478, 0.514, 1) = 0.478$$

$$d'(A_5) = \min(0.413, 0, 0, 0.350) = 0$$

Tablo 4.10. Bölgeye hakimiyet kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları

Bölgeye Hakimiyet	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	(1,1,1)	(0.15,0.23,0.51)	(0.17,0.26,0.71)	(0.45,1.18,2.11)	(1.40,2.78,4.33)
A₂	(1.96,4.44,6.61)	(1,1,1)	(0.73,1.44,2.33)	(1.67,3.67,5.67)	(4.33,6.33,8.33)
A₃	(1.40,3.86,5.87)	(0.43,0.69,1.36)	(1,1,1)	(2.33,3.67,5.00)	(4.33,6.33,8.33)
A₄	(0.47,0.85,2.23)	(0.18,0.27,0.60)	(0.20,0.27,0.43)	(1,1,1)	(1.67,3.67,5.67)
A₅	(0.23,0.36,0.71)	(0.12,0.16,0.23)	(0.12,0.16,0.23)	(0.18,0.27,0.60)	(1,1,1)

Öncelik vektörünün hesaplanması sonucunda aşağıdaki vektör elde edilir.

$$W' = (0.406, 1, 0.957, 0.478, 0)$$

Bu vektörde yer alan değerlerin normalizasyonu sonucunda alternatiflerin bölgeye hâkimiyet kriteri altında öncelik değerleri sırasıyla (0.143, 0.352, 0.337, 0.168, 0) olarak hesaplanır. Bu değerlere bakarak bölgeye hâkimiyet kriteri için en iyi alternatifin A_2 olduğu söylenebilir. Bu alternatifi sırasıyla A_3 , A_4 ve A_1 alternatifleri izler. A_5 alternatifi ise sıfır değerini almıştır.

Esneklik kriteri için değerlendirme sonuçlarının birleştirilmiş şekli Tablo 4.11'de görüldüğü gibidir. Bu verilerden yararlanarak esneklik kriteri için alternatiflere ilişkin sentez değerleri eşitlik (3.4) yardımıyla şu şekilde elde edilir:

$$S_1 = (8.87, 15.00, 21.67) \otimes (1/69.37, 1/49.89, 1/32.03) = (0.128, 0.301, 0.676)$$

$$S_2 = (15.67, 23.67, 30.33) \otimes (1/69.37, 1/49.89, 1/32.03) = (0.226, 0.474, 0.947)$$

$$S_3 = (2.15, 3.00, 4.34) \otimes (1/69.37, 1/49.89, 1/32.03) = (0.031, 0.060, 0.135)$$

$$S_4 = (3.33, 5.52, 7.77) \otimes (1/69.37, 1/49.89, 1/32.03) = (0.048, 0.111, 0.243)$$

$$S_5 = (2.02, 2.71, 5.26) \otimes (1/69.37, 1/49.89, 1/32.03) = (0.029, 0.054, 0.164)$$

Elde edilen bu değerlerden yararlanarak eşitlik (3.9) ile bulanık sayıların karşılaştırılması yapılır ve şu değerler elde edilir:

$V(S_1 \geq S_2) = 0.722$	$V(S_3 \geq S_1) = 0.031$	$V(S_5 \geq S_1) = 0.128$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_3 \geq S_2) = 0$	$V(S_5 \geq S_2) = 0$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 0.634$	$V(S_5 \geq S_3) = 0.959$
$V(S_1 \geq S_5) = 1$	$V(S_3 \geq S_5) = 1$	$V(S_5 \geq S_4) = 0.674$
$V(S_2 \geq S_1) = 1$	$V(S_4 \geq S_1) = 0.377$	
$V(S_2 \geq S_3) = 1$	$V(S_4 \geq S_2) = 0.044$	
$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 1$	
$V(S_2 \geq S_5) = 1$	$V(S_4 \geq S_5) = 1$	

Tablo 4.11. Esneklik kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları

Esneklik	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	(1,1,1)	(0,20,0.33,1.00)	(3.67,5.67,7.67)	(1.67,3.67,5.67)	(2.33,4.33,6.33)
A₂	(1.00,3.00,5.00)	(1,1,1)	(5.67,7.67,8.33)	(3.67,5.67,7.67)	(4.33,6.33,8.33)
A₃	(0.13,0.18,0.27)	(0.12,0.13,0.18)	(1,1,1)	(0.45,0.51,0.78)	(0.45,1.18,2.11)
A₄	(0.18,0.27,0.60)	(0.13,0.18,0.27)	(1.29,1.96,2.23)	(1,1,1)	(0.73,2.11,3.67)
A₅	(0.16,0.23,0.43)	(0.12,0.16,0.23)	(0.47,0.85,2.23)	(0.27,0.47,1.36)	(1,1,1)

Bu değerler kullanılarak eşitlik (3.10) yardımıyla alternatiflerin öncelik değerleri elde edilir:

$$d'(A_1) = \min(0.722, 1, 1, 1) = 0.722$$

$$d'(A_2) = \min(1, 1, 1, 1) = 1$$

$$d'(A_3) = \min(0.031, 0, 0.634, 1) = 0$$

$$d'(A_4) = \min(0.377, 0.044, 1, 1) = 0.044$$

$$d'(A_5) = \min(0.128, 0, 0.959, 0.674) = 0$$

Öncelik vektörünün hesaplanması sonucunda aşağıdaki vektör elde edilir.

$$W' = (0.722, 1, 0, 0.044, 0)$$

Bu vektörde yer alan değerlerin normalizasyonu sonucunda bu kriter için alternatiflerin öncelik değerleri sırasıyla (0.409, 0.566, 0, 0.025, 0) olarak elde edilir. Buna göre esneklik kriteri altında en iyi alternatif A_2 olurken bu alternatifi A_1 ve A_4 izler. A_3 ve A_5 alternatifleri ise sıfır değerini almıştır.

Servis kalitesi kriteri için değerlendirme sonuçlarının birleştirilmiş şekli Tablo 4.12'de görüldüğü gibidir. Bu kriter altında alternatiflere ilişkin sentez değerleri (3.4) nolu eşitlik yardımıyla şu şekilde hesaplanır.

$$S_1 = (11.80, 18.56, 25.00) \otimes (1/69.05, 1/50.34, 1/33.56) = (0.171, 0.369, 0.745)$$

$$S_2 = (13.76, 20.15, 26.81) \otimes (1/69.05, 1/50.34, 1/33.56) = (0.199, 0.400, 0.799)$$

$$S_3 = (3.41, 5.60, 8.27) \otimes (1/69.05, 1/50.34, 1/33.56) = (0.049, 0.111, 0.246)$$

$$S_4 = (2.73, 3.70, 5.22) \otimes (1/69.05, 1/50.34, 1/33.56) = (0.040, 0.073, 0.155)$$

$$S_5 = (1.87, 2.34, 3.75) \otimes (1/69.05, 1/50.34, 1/33.56) = (0.027, 0.046, 0.112)$$

Tablo 4.12. Servis kalitesi kriteri için alternatiflerin birleştirilmiş değerlendirme sonuçları

Servis Kalitesi	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	(1,1,1)	(0.47,1.22,2.33)	(3.00,5.00,7.00)	(3.67,5.67,7.00)	(3.67,5.67,7.67)
A₂	(0.43,0.82,2.14)	(1,1,1)	(3.67,5.67,7.67)	(4.33,6.33,8.33)	(4.33,6.33,7.67)
A₃	(0.14,0.20,0.33)	(0.13,0.18,0.27)	(1,1,1)	(1.40,2.11,3.00)	(0.73,2.11,3.67)
A₄	(0.14,0.18,0.27)	(0.12,0.16,0.23)	(0.33,0.47,0.71)	(1,1,1)	(1.13,1.89,3.00)
A₅	(0.13,0.18,0.27)	(0.13,0.16,0.23)	(0.27,0.47,1.36)	(0.33,0.53,0.88)	(1,1,1)

Elde edilen bu değerler kullanılarak (3.9) nolu eşitlik yardımıyla bulanık sayıların karşılaştırılması yapılır ve şu değerler elde edilir:

$$\begin{array}{lll}
 V(S_1 \geq S_2) = 0.945 & V(S_3 \geq S_1) = 0.227 & V(S_5 \geq S_1) = 0 \\
 V(S_1 \geq S_3) = 1 & V(S_3 \geq S_2) = 0.140 & V(S_5 \geq S_2) = 0 \\
 V(S_1 \geq S_4) = 1 & V(S_3 \geq S_4) = 1 & V(S_5 \geq S_3) = 0.491 \\
 V(S_1 \geq S_5) = 1 & V(S_3 \geq S_5) = 1 & V(S_5 \geq S_4) = 0.728 \\
 V(S_2 \geq S_1) = 1 & V(S_4 \geq S_1) = 0 & \\
 V(S_2 \geq S_3) = 1 & V(S_4 \geq S_2) = 0 & \\
 V(S_2 \geq S_4) = 1 & V(S_4 \geq S_3) = 0.737 & \\
 V(S_2 \geq S_5) = 1 & V(S_4 \geq S_5) = 1 &
 \end{array}$$

Elde edilen bu değerlerden eşitlik (3.10) kullanılarak öncelik değerleri elde edilir.

$$d'(A_1) = \min(0.945, 1, 1, 1) = 0.945$$

$$d'(A_2) = \min(1, 1, 1, 1) = 1$$

$$d'(A_3) = \min(0.227, 0.140, 1, 1) = 0.140$$

$$d'(A_4) = \min(0, 0, 0.737, 1) = 0$$

$$d'(A_5) = \min(0, 0, 0.491, 0.728) = 0$$

Öncelik vektörünün hesaplanması sonucunda aşağıdaki vektör elde edilir.

$$W' = (0.945, 1, 0.140, 0, 0)$$

Bu vektörde yer alan değerlerin normalizasyonu sonucunda alternatiflerin servis kalitesi kriteri için öncelik değerleri sırasıyla (0.453, 0.480, 0.067, 0, 0) olarak hesaplanır. Bu değerlere göre servis kalitesi kriteri altında en iyi alternatif A_2 iken bu alternatifi sırasıyla A_1 ve A_3 izler. A_5 ve A_4 alternatifleri ise sıfır değerini alır.

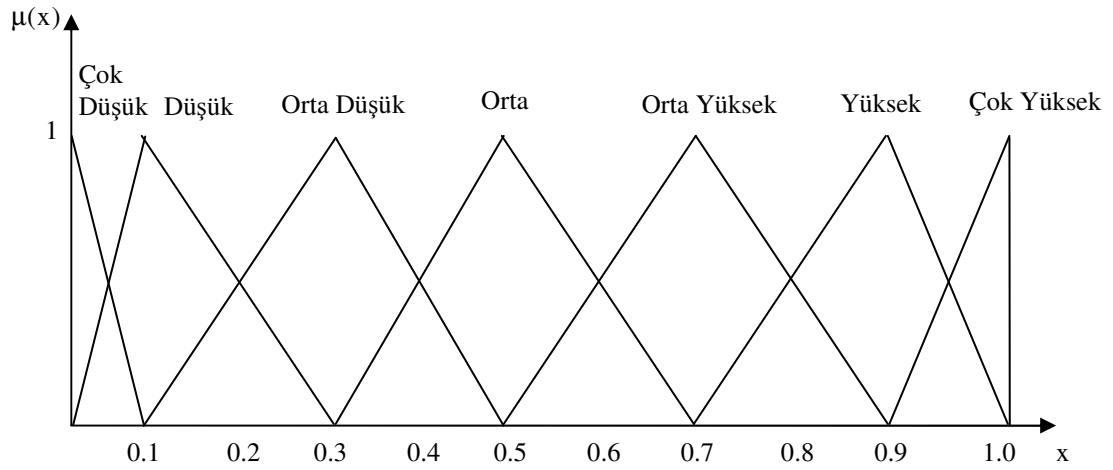
Alternatiflerin dokuz kriter altında değerlendirme sonuçlarının belirlenmesinden sonra elde edilen bu değerler ile her kritere ilişkin ağırlıklar çarpılarak elde edilen ağırlıklı değerler toplanır. Böylece her alternatife ilişkin toplam değerlendirmeye ulaşılır. Bu toplam değerler bir başka deyişle alternatiflerin üstünlük ağırlıkları Tablo 4.13'te görülmektedir. Bu değerlere göre alternatifler arasında bir sıralamaya ulaşılabilir. Buna göre nihai sıralama $A_2 > A_1 > A_5 > A_3 > A_4$ şeklindedir. İşletme için belirlenen kriterler altında nakliye firmalarından en uygun olanı A_2 alternatifidir. Bir başka deyişle, işletme ürünlerini müşteriye ulaştırmak için nakliye firmalarından A_2 alternatifini seçmelidir.

Tablo 4.13. Kriterlere göre önem ağırlıklarının özeti

Kriterler	Maliyet	Dokümantasyon yeterliliği	Zamanında teslimat	Firma güvenilirliği	Araç filosu	Satış sonrası takip	Bölgeye hâkimiyet	Esneklik	Servis kalitesi	Alternatif Üstünlük Ağırlığı
Kriter Ağırlığı	0.289	0.076	0.301	0.169	0.026	0.030	0.013	0.025	0.071	
Alternatif										
A ₁	0.306	0.385	0.332	0.208	0.383	0.399	0.143	0.409	0.453	0.319
A ₂	0.481	0.258	0.384	0.421	0.308	0.227	0.352	0.566	0.480	0.413
A ₃	0.150	0.357	0.000	0.000	0.040	0.000	0.337	0.000	0.067	0.081
A ₄	0.063	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.168	0.025	0.000	0.021
A ₅	0.000	0.000	0.284	0.371	0.269	0.373	0.000	0.000	0.000	0.167

4.4. PROBLEMİN BULANIK TOPSIS YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMÜ

Nakliye firması seçim probleminin Bulanık TOPSIS yöntemi ile çözümünde öncelikle işletmeden üç karar verici, nakliye firması seçim probleminde dikkate alınacak kriter ve alternatifleri sözel değişkenler kullanarak değerlendirmiştir. Kriterler karar vericiler tarafından değerlendirilirken Şekil 4.2'deki (Chen, 2000: 5) sözel değişkenler kullanılmıştır. Burada yer alan sözel değişkenlere karşılık gelen üçgen bulanık sayılar Tablo 4.14'te görülmektedir. Üç karar vericiye ait bu değerlendirmeler ise Tablo 4.15'te görülmektedir.



Şekil 4.2. Kriterlerin değerlendirilmesinde kullanılan sözel değişkenler

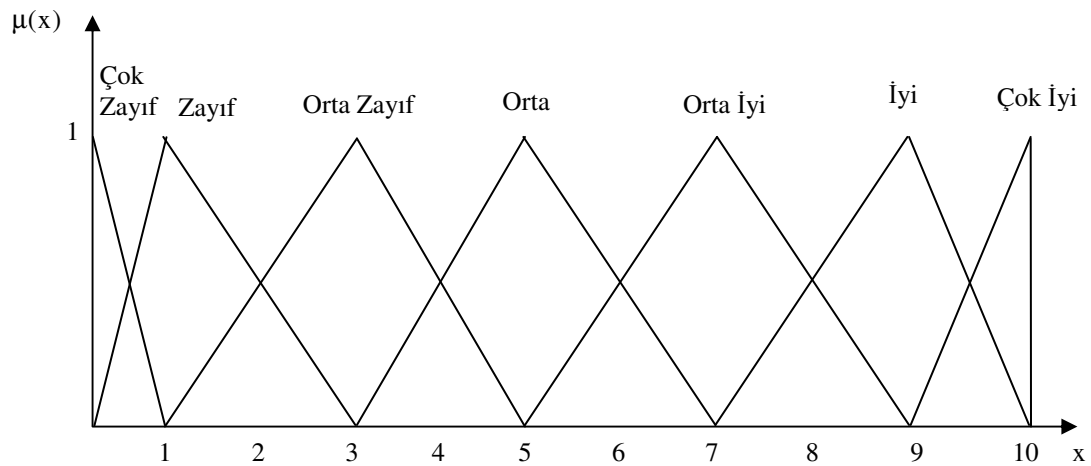
Tablo 4.14. Kriterlerin değerlendirilmesinde kullanılan sözel değişkenler

Sözel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0, 0, 0.1)
Düşük (D)	(0, 0.1, 0.3)
Orta Düşük (OD)	(0.1, 0.3, 0.5)
Orta (O)	(0.3, 0.5, 0.7)
Orta Yüksek (OY)	(0.5, 0.7, 0.9)
Yüksek (Y)	(0.7, 0.9, 1.0)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.9, 1.0, 1.0)

Tablo 4.15. Kriterlerin karar vericiler tarafından değerlendirme sonuçları

Kriter No	Kriterler	Karar vericiler		
		KV ₁	KV ₂	KV ₃
K ₁	Maliyet	ÇY	OY	ÇY
K ₂	Dokümantasyon yeterliliği	O	OY	Y
K ₃	Zamanında teslimat	ÇY	ÇY	Y
K ₄	Firma güvenilirliği	Y	O	Y
K ₅	Araç filosu	OD	OY	OY
K ₆	Satış sonrası takip	O	Y	O
K ₇	Bölgeye hâkimiyet	OY	OD	O
K ₈	Esneklik	O	Y	OD
K ₉	Servis kalitesi	OY	Y	O

Daha sonra karar vericiler Şekil 4.3'teki sözel değişkenleri (Chen, 2000: 5) kullanarak beş nakliye firması alternatifini her kriter için değerlendirmişlerdir. Şekil 4.3'teki sözel değişkenlere karşılık gelen üçgen bulanık sayılar ise Tablo 4.16'da görülmektedir. Bu sözel değişkenleri kullanarak üç karar vericinin alternatiflere ilişkin değerlendirme sonuçları Tablo 4.17'de sunulmuştur.

**Şekil 4.3.** Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan sözel değişkenler

Tablo 4.16. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan sözel değişkenler

Sözel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayılar
Çok Zayıf (ÇZ)	(0, 0, 1)
Zayıf (Z)	(0, 1, 3)
Orta Zayıf (OZ)	(1, 3, 5)
Orta (O)	(3, 5, 7)
Orta İyi (OI)	(5, 7, 9)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)

Tablo 4.17. Alternatiflerin kriterler altında değerlendirme sonuçları

Kriterler	Alternatifler	Karar vericiler		
		KV ₁	KV ₂	KV ₃
Maliyet	A ₁	İ	Oİ	Oİ
	A ₂	Çİ	Çİ	İ
	A ₃	O	İ	O
	A ₄	Oİ	O	O
	A ₅	OZ	OZ	OZ
Dokümantasyon yeterliliği	A ₁	Çİ	İ	Çİ
	A ₂	İ	Oİ	İ
	A ₃	Çİ	Çİ	İ
	A ₄	O	O	O
	A ₅	Oİ	OZ	Oİ
Zamanında teslimat	A ₁	İ	Oİ	Çİ
	A ₂	Çİ	Çİ	İ
	A ₃	O	O	Oİ
	A ₄	O	O	Oİ
	A ₅	Oİ	İ	Çİ
Firma güvenilirliği	A ₁	Oİ	Oİ	Oİ
	A ₂	İ	Çİ	Çİ
	A ₃	O	O	O
	A ₄	O	OZ	O
	A ₅	Çİ	İ	İ
Araç filosu	A ₁	Çİ	İ	İ
	A ₂	İ	O	İ
	A ₃	O	O	OZ
	A ₄	OZ	OZ	O
	A ₅	Oİ	Çİ	Oİ
Satış sonrası takip	A ₁	Çİ	İ	İ
	A ₂	Oİ	Oİ	Oİ
	A ₃	OZ	O	O
	A ₄	O	Oİ	OZ
	A ₅	İ	İ	Çİ
Bölgeye hâkimiyet	A ₁	Oİ	OZ	Oİ
	A ₂	Çİ	İ	İ
	A ₃	İ	Çİ	İ
	A ₄	İ	Oİ	O
	A ₅	O	O	OZ
Esneklik	A ₁	İ	İ	İ
	A ₂	Çİ	Çİ	Çİ
	A ₃	Oİ	OZ	OZ
	A ₄	Oİ	Oİ	O
	A ₅	O	O	Oİ
Servis kalitesi	A ₁	Çİ	İ	İ
	A ₂	İ	Çİ	Çİ
	A ₃	Oİ	O	O
	A ₄	OZ	O	Oİ
	A ₅	O	Oİ	OZ

Daha sonra Tablo 4.15 ve 4.17'deki üç karar vericiye ait sözel değerlendirmeler üçgen bulanık sayılara dönüştürülerek Tablo 4.18 ve 4.19 oluşturulmuştur. Tablo 4.18 her kriterin üç karar verici tarafından değerlendirme sonuçlarının bulanık sayılar ile ifade edilmiş şeklini göstermektedir.

Tablo 4.18. Kriterlerin üç karar verici tarafından değerlendirme sonuçlarının üçgen bulanık sayılar şeklinde ifadesi

Kriterler	Karar vericiler		
	KV ₁	KV ₂	KV ₃
Maliyet	(0.9, 1.0, 1.0)	(0.5, 0.7, 0.9)	(0.9, 1.0, 1.0)
Dokümantasyon yeterliliği	(0.3, 0.5, 0.7)	(0.5, 0.7, 0.9)	(0.7, 0.9, 1.0)
Zamanında teslimat	(0.9, 1.0, 1.0)	(0.9, 1.0, 1.0)	(0.7, 0.9, 1.0)
Firma güvenilirliği	(0.7, 0.9, 1.0)	(0.3, 0.5, 0.7)	(0.7, 0.9, 1.0)
Araç filosu	(0.1, 0.3, 0.5)	(0.5, 0.7, 0.9)	(0.5, 0.7, 0.9)
Satış sonrası takip	(0.3, 0.5, 0.7)	(0.7, 0.9, 1.0)	(0.3, 0.5, 0.7)
Bölgeye hâkimiyet	(0.5, 0.7, 0.9)	(0.1, 0.3, 0.5)	(0.3, 0.5, 0.7)
Esneklik	(0.3, 0.5, 0.7)	(0.7, 0.9, 1.0)	(0.1, 0.3, 0.5)
Servis kalitesi	(0.5, 0.7, 0.9)	(0.7, 0.9, 1.0)	(0.3, 0.5, 0.7)

Tablo 4.19. Alternatiflerin üç karar verici tarafından değerlendirme sonuçlarının üçgen bulanık sayılar şeklinde ifadesi

Kriterler	Alternatifler	Karar vericiler		
		KV ₁	KV ₂	KV ₃
Maliyet	A ₁	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)
	A ₂	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)
	A ₃	(3, 5, 7)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)
	A ₄	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)
	A ₅	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)
Dokümantasyon yeterliliği	A ₁	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)
	A ₂	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)
	A ₃	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)
	A ₄	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)
	A ₅	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)
Zamanında teslimat	A ₁	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(9, 10, 10)
	A ₂	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)
	A ₃	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)
	A ₄	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)
	A ₅	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)
Firma güvenilirliği	A ₁	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)
	A ₂	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)
	A ₃	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)
	A ₄	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)
	A ₅	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)
Araç filosu	A ₁	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)
	A ₂	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)	(7, 9, 10)
	A ₃	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)
	A ₄	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)
	A ₅	(5, 7, 9)	(9, 10, 10)	(5, 7, 9)
Satış sonrası takip	A ₁	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)
	A ₂	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)
	A ₃	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)
	A ₄	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)
	A ₅	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)
Bölgeye hâkimiyet	A ₁	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)
	A ₂	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)
	A ₃	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)
	A ₄	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)
	A ₅	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)
Esneklik	A ₁	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)
	A ₂	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)
	A ₃	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)
	A ₄	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)
	A ₅	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)
Servis kalitesi	A ₁	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)
	A ₂	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)
	A ₃	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)
	A ₄	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)
	A ₅	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)

Kriterler ve alternatiflerin sözel değikenler kullanılarak karar vericiler tarafından değerlendirilmesinin ardından üç karar vericinin kriterleri değerlendirme sonuçları eşitlik (3.13) yardımıyla tek bir değere indirgenerek kriterlere ilişkin önem ağırlıkları belirlenir. Her kritere ilişkin ağırlıklar Tablo 4.20’de görölmektedir.

Tablo 4.20. Kriterlerin önem ağırlıkları

Kriterler	Ağırlıklar
Maliyet	(0.767, 0.900, 0.967)
Dokümantasyon yeterliliği	(0.500, 0.700, 0.867)
Zamanında teslimat	(0.833, 0.967, 1)
Firma güvenilirliği	(0.567, 0.767, 0.900)
Araç filosu	(0.367, 0.567, 0.767)
Satış sonrası takip	(0.433, 0.633, 0.800)
Bölgeye hâkimiyet	(0.300, 0.500, 0.700)
Esneklik	(0.367, 0.567, 0.733)
Servis kalitesi	(0.500, 0.700, 0.867)

Kriterlere ait ağırlıkların belirlenmesinin ardından Tablo 4.19’da yer alan alternatiflerin üç karar verici tarafından değerlendirme sonuçları eşitlik (3.14) kullanılarak tek bir değere indirgenir ve Tablo 4.21’de görölen bulanık karar matrisi oluşturulur.

Daha sonra Tablo 4.21’de görölen bulanık karar matrisi eşitlik (3.17) yardımıyla normalize edilerek normalize bulanık karar matrisi oluşturulur. Normalize bulanık karar matrisi Tablo 4.22’de görölmektedir.

Normalize bulanık karar matrisi oluşturulduktan sonra bu matrister yer alan değerlerin her biri ilgili kriter ağırlığı ile çarpılarak ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi oluşturulur. Bu matris ise Tablo 4.23’te görölmektedir.

Tablo 4.21. Bulanık karar matrisi

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
K ₁	(5.67, 7.67, 9.33)	(8.33, 9.67, 10.00)	(4.33, 6.33, 8.00)	(3.67, 5.67, 7.67)	(1.00, 3.00, 5.00)
K ₂	(8.33, 9.67, 10.00)	(6.33, 8.33, 9.67)	(8.33, 9.67, 10.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(3.67, 5.67, 7.67)
K ₃	(7.00, 8.67, 9.67)	(8.33, 9.67, 10.00)	(3.67, 5.67, 7.67)	(3.67, 5.67, 7.67)	(7.00, 8.67, 9.67)
K ₄	(5.00, 7.00, 9.00)	(8.33, 9.67, 10.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(2.33, 4.33, 6.33)	(7.67, 9.33, 10.00)
K ₅	(7.67, 9.33, 10.00)	(5.67, 7.67, 9.00)	(2.33, 4.33, 6.33)	(1.67, 3.67, 5.67)	(6.33, 8.00, 9.33)
K ₆	(7.67, 9.33, 10.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(2.33, 4.33, 6.33)	(3.00, 5.00, 7.00)	(7.67, 9.33, 10.00)
K ₇	(3.67, 5.67, 7.67)	(7.67, 9.33, 10.00)	(7.67, 9.33, 10.00)	(5.00, 7.00, 8.67)	(2.33, 4.33, 6.33)
K ₈	(7.00, 9.00, 10.00)	(9.00, 10.00, 10.00)	(2.33, 4.33, 6.33)	(4.33, 6.33, 8.33)	(3.67, 5.67, 7.67)
K ₉	(7.67, 9.33, 10.00)	(8.33, 9.67, 10.00)	(3.67, 5.67, 7.67)	(3.00, 5.00, 7.00)	(3.00, 5.00, 7.00)

Tablo 4.22. Normalize bulanık karar matrisi

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
K ₁	(0.567, 0.767, 0.933)	(0.833, 0.967, 1)	(0.433, 0.633, 0.800)	(0.367, 0.567, 0.767)	(0.100, 0.300, 0.500)
K ₂	(0.833, 0.967, 1)	(0.633, 0.833, 0.967)	(0.833, 0.967, 1)	(0.300, 0.500, 0.700)	(0.367, 0.567, 0.767)
K ₃	(0.700, 0.867, 0.967)	(0.833, 0.967, 1)	(0.367, 0.567, 0.767)	(0.367, 0.567, 0.767)	(0.700, 0.867, 0.967)
K ₄	(0.500, 0.700, 0.900)	(0.833, 0.967, 1)	(0.300, 0.500, 0.700)	(0.233, 0.433, 0.633)	(0.767, 0.933, 1)
K ₅	(0.767, 0.933, 1)	(0.567, 0.767, 0.900)	(0.233, 0.433, 0.633)	(0.167, 0.367, 0.567)	(0.633, 0.800, 0.933)
K ₆	(0.767, 0.933, 1)	(0.500, 0.700, 0.900)	(0.233, 0.433, 0.633)	(0.300, 0.500, 0.700)	(0.767, 0.933, 1)
K ₇	(0.367, 0.567, 0.767)	(0.767, 0.933, 1)	(0.767, 0.933, 1)	(0.500, 0.700, 0.867)	(0.233, 0.433, 0.633)
K ₈	(0.700, 0.900, 1)	(0.900, 1, 1)	(0.233, 0.433, 0.633)	(0.433, 0.633, 0.833)	(0.367, 0.567, 0.767)
K ₉	(0.767, 0.933, 1)	(0.833, 0.967, 1)	(0.367, 0.567, 0.767)	(0.300, 0.500, 0.700)	(0.300, 0.500, 0.700)

Tablo 4.23. Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
K ₁	(0.434, 0.690, 0.902)	(0.639, 0.870, 0.967)	(0.332, 0.570, 0.773)	(0.281, 0.510, 0.741)	(0.077, 0.270, 0.483)
K ₂	(0.417, 0.677, 0.867)	(0.317, 0.583, 0.838)	(0.417, 0.677, 0.867)	(0.150, 0.350, 0.607)	(0.183, 0.397, 0.664)
K ₃	(0.583, 0.838, 0.967)	(0.694, 0.934, 1)	(0.306, 0.548, 0.767)	(0.306, 0.548, 0.767)	(0.583, 0.838, 0.967)
K ₄	(0.283, 0.537, 0.810)	(0.472, 0.741, 0.900)	(0.170, 0.383, 0.630)	(0.132, 0.332, 0.570)	(0.434, 0.716, 0.900)
K ₅	(0.281, 0.529, 0.767)	(0.208, 0.434, 0.690)	(0.086, 0.246, 0.486)	(0.061, 0.208, 0.434)	(0.232, 0.453, 0.716)
K ₆	(0.332, 0.591, 0.800)	(0.217, 0.443, 0.720)	(0.101, 0.274, 0.507)	(0.130, 0.317, 0.560)	(0.332, 0.691, 0.800)
K ₇	(0.110, 0.283, 0.537)	(0.230, 0.467, 0.700)	(0.230, 0.467, 0.700)	(0.150, 0.350, 0.607)	(0.070, 0.217, 0.443)
K ₈	(0.257, 0.510, 0.733)	(0.330, 0.567, 0.733)	(0.086, 0.246, 0.464)	(0.159, 0.359, 0.611)	(0.134, 0.321, 0.562)
K ₉	(0.383, 0.653, 0.867)	(0.417, 0.677, 0.867)	(0.183, 0.397, 0.664)	(0.150, 0.350, 0.607)	(0.150, 0.350, 0.607)

Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisinin oluşturulmasından sonra bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS) ve bulanık negatif ideal çözüm (FNIS) değerleri şu şekilde belirlenir:

$$A^* = [(1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1)]$$

$$A^- = [(0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0)]$$

Daha sonra her alternatifin tüm kriterler için FPIS ve FNIS'a olan uzaklıkları hesaplanır. İlk kriter için beş alternatifin FPIS ve FNIS'a olan uzaklıkları şu şekilde hesaplanır:

$$d(A_1, A^*) = \sqrt{\frac{1}{3} [(1-0.434)^2 + (1-0.690)^2 + (1-0.902)^2]} = 0.377$$

$$d(A_1, A^-) = \sqrt{\frac{1}{3} [(0-0.434)^2 + (0-0.690)^2 + (0-0.902)^2]} = 0.702$$

$$d(A_2, A^*) = \sqrt{\frac{1}{3} [(1-0.639)^2 + (1-0.870)^2 + (1-0.967)^2]} = 0.222$$

$$d(A_2, A^-) = \sqrt{\frac{1}{3} [(0-0.639)^2 + (0-0.870)^2 + (0-0.967)^2]} = 0.837$$

$$d(A_3, A^*) = \sqrt{\frac{1}{3} [(1-0.332)^2 + (1-0.570)^2 + (1-0.773)^2]} = 0.477$$

$$d(A_3, A^-) = \sqrt{\frac{1}{3} [(0-0.332)^2 + (0-0.570)^2 + (0-0.773)^2]} = 0.587$$

$$d(A_4, A^*) = \sqrt{\frac{1}{3} [(1-0.281)^2 + (1-0.510)^2 + (1-0.741)^2]} = 0.524$$

$$d(A_4, A^-) = \sqrt{\frac{1}{3} [(0-0.281)^2 + (0-0.510)^2 + (0-0.741)^2]} = 0.544$$

$$d(A_5, A^*) = \sqrt{\frac{1}{3}[(1-0.077)^2 + (1-0.270)^2 + (1-0.493)^2]} = 0.742$$

$$d(A_5, A^-) = \sqrt{\frac{1}{3}[(0-0.077)^2 + (0-0.270)^2 + (0-0.493)^2]} = 0.323$$

Beş alternatifin diğer sekiz kritere göre FPIS ve FNIS'a olan uzaklıklarının hesaplanması da aynı şekilde yapılacaktır. Bu hesaplamaların sonuçları Tablo 4.24 ve Tablo 4.25'de yer almaktadır.

Tablo 4.24. Her kritere göre A_i ($i = 1,2,3,4,5$) ve A^* arasındaki uzaklık

	$d(A_1, A^*)$	$d(A_2, A^*)$	$d(A_3, A^*)$	$d(A_4, A^*)$	$d(A_5, A^*)$
K ₁	0.377	0.222	0.477	0.524	0.742
K ₂	0.393	0.471	0.393	0.658	0.617
K ₃	0.259	0.180	0.497	0.497	0.259
K ₄	0.505	0.344	0.634	0.679	0.370
K ₅	0.514	0.590	0.746	0.781	0.568
K ₆	0.467	0.578	0.725	0.687	0.467
K ₇	0.712	0.568	0.568	0.658	0.772
K ₈	0.537	0.486	0.751	0.651	0.684
K ₉	0.416	0.393	0.617	0.658	0.658

Tablo 4.25. Her kritere göre A_i ($i = 1,2,3,4,5$) ve A^- arasındaki uzaklık

	$d(A_1, A^-)$	$d(A_2, A^-)$	$d(A_3, A^-)$	$d(A_4, A^-)$	$d(A_5, A^-)$
K ₁	0.702	0.837	0.587	0.544	0.323
K ₂	0.679	0.617	0.679	0.414	0.459
K ₃	0.812	0.886	0.572	0.572	0.812
K ₄	0.584	0.726	0.437	0.388	0.710
K ₅	0.562	0.486	0.318	0.280	0.507
K ₆	0.605	0.504	0.338	0.379	0.605
K ₇	0.356	0.504	0.504	0.414	0.288
K ₈	0.537	0.568	0.307	0.419	0.382
K ₉	0.665	0.679	0.459	0.414	0.414

Alternatiflerin tüm kriterler için bulanık pozitif ideal çözüme ve bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklıkları hesaplandıktan sonra beş alternatif için d_i^* ve d_i^- değerleri hesaplanır. Bu hesaplamaların sonuçları Tablo 4.26’da görülmektedir.

Tablo 4.26. d_i^*, d_i^- ve CC_i ’nin hesaplanması

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
d_i^*	4,178	3,833	5,408	5,794	5,137
d_i^-	5,501	5,806	4,200	3,824	4,499
$d_i^* + d_i^-$	9,679	9,639	9,609	9,617	9,636
CC_i	0,568	0,602	0,437	0,398	0,467

Her alternatif için göreceli uzaklık değeri $CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}$. $i = 1, 2, \dots, m$

formülünden yararlanarak şu şekilde hesaplanır:

$$CC_1 = \frac{5.501}{4.178 + 5.501} = 0.568$$

$$CC_2 = \frac{5.806}{3.833 + 5.806} = 0.602$$

$$CC_3 = \frac{4.200}{5.408 + 4.200} = 0.437$$

$$CC_4 = \frac{3.824}{5.794 + 3.824} = 0.398$$

$$CC_5 = \frac{4.499}{5.137 + 4.499} = 0.467$$

Alternatiflerin göreceli uzaklık değerlerine bakılarak alternatifler büyükten küçüğe sıralanır. Buna göre beş nakliye firması alternatifi arasındaki sıralama $A_2 > A_1 > A_5 > A_3 > A_4$ olarak belirlenir. Bir başka deyişle, işletme nakliye firması alternatiflerinden en yüksek göreceli uzaklık değerine sahip A_2 alternatifini seçmelidir. Ayrıca Tablo 3.3’teki alternatiflerin kabul koşulları değerlerine bakarak A_2 alternatifinin değerlendirme durumunun “kabul edilir”, A_1, A_5, A_3 alternatiflerinin “düşük risk ile tavsiye edilir” ve A_4 alternatifinin ise “yüksek risk ile tavsiye edilir” olduğu belirtilebilir.

BAHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ile elde edilen sonuçların değerlendirilmesi

Bu çalışmada, işletmenin nakliye firması seçim problemi öncelikle BAHP yöntemi ile ele alınmıştır. Tablo 4.27, BAHP yöntemi ile elde edilen alternatif ağırlıklarını göstermektedir. Bu değerlere göre alternatifler arasındaki sıralama $A_2 > A_1 > A_5 > A_3 > A_4$ olarak elde edilmiştir. İşletme için beş nakliye firması alternatifi arasından en uygunu A_2 alternatifi olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.27. BAHP yöntemi ile edilen alternatif ağırlıkları

Alternatifler	BAHP
A_1	0.319
A_2	0.413
A_3	0.081
A_4	0.021
A_5	0.167

İşletmenin nakliye firması seçim problemi için BAHP yöntemi ile en uygun alternatifin belirlenmesinin ardından, aynı problem Bulanık TOPSIS yöntemi ile ele alınmıştır. Tablo 4.28, Bulanık TOPSIS yöntemi ile elde edilen alternatiflerin yakınlık katsayısı değerlerini göstermektedir. Bu tabloda yer alan değerlere göre alternatifler arasındaki sıralama $A_2 > A_1 > A_5 > A_3 > A_4$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.28. Bulanık TOPSIS yöntemi ile elde edilen alternatiflerin yakınlık katsayısı değerleri

Alternatifler	Bulanık TOPSIS
A_1	0.568
A_2	0.602
A_3	0.437
A_4	0.398
A_5	0.467

BAHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri sonucu elde edilen alternatif sıralaması aynıdır. Her iki yöntem sonucunda da işletme için belirlenen kriterler altında en uygun alternatif A_2 olarak belirlenmiştir. İşletmenin nakliye firması seçiminden sorumlu karar vericiler elde edilen sonuçları tatmin edici bularak ürünlerinin nakliyesi için A_2 firması ile çalışmaya karar vermişlerdir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde karmaşık çevrelerde karar verme oldukça güç bir süreçtir. Karar vericiler karar verme sürecinde deneyim ve öznel algılardan kaynaklanan belirsizlik ile karşı karşıya kalırlar. Bu tür karar ortamlarının birçoğunda bulanık karar verme teorisinin kullanılması uygun olmaktadır. Böylece bulanık yaklaşım yardımıyla verilerin değerlendirilmesinde yer alan belirsizlik etkili bir şekilde temsil edilebilmekte ve daha etkin bir karara ulaşılabilmektedir.

Nakliye firması seçim süreci günümüzün rekabetçi ortamında işletmeler için artan bir öneme sahiptir. En iyi nakliye firmasının seçim sürecinde yer alan performans değerlerini sayısal veriler ile ifade etmek güç olduğundan bu değerlerin ifade edilmesinde sözel değişkenlerin kullanılması faydalı olacaktır. Bu tür problemler kesin olmayan belirsiz verilere dayandığı için bu gibi durumlarda bulanık küme yaklaşımının kullanılması uygundur. Diğer bir ifadeyle, alternatifleri kriterlere ve önem ağırlıklarına göre değerlendirmede sayısal değerler yerine sözel değişkenler kullanılabilir. Karar vericiler seçim sürecinde öznel algılardan ve deneyimden kaynaklanan belirsizlik ile karşı karşıya kaldıklarından bu tür problemleri ele almak için bulanık ÇKKV yöntemleri önerilmiştir. Bu yöntemler hem sözel hem sayısal kriterleri ele alarak uygun alternatifin seçilmesini sağlamaktadırlar.

Bu çalışmada, makina imalatı yapan bir işletmenin nakliye firması seçim problemi için bulanık ÇKKV yöntemlerinden BAHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri karar verme aracı olarak kullanılmıştır. Böylece klasik AHP ve TOPSIS yöntemlerinin bünyesinde yer alan bazı kısıtlamalar ortadan kaldırılarak karar problemlerinin içerdiği belirsizlik giderilmiş ve sonucun bu belirsizlikten etkilenmemesi sağlanmıştır.

Klasik AHP yöntemi karar vericilerin gereksinimlerini tam olarak karşılayamadığından ve karar vericilerin alternatifleri değerlendirirken subjektif olup kesin yargılar verememelerinden dolayı bu çalışmada nakliye firması seçim problemi

için ilk olarak BAHP yöntemi önerilmiştir. Öncelikle karar kriterleri işletmede konuya hâkim karar vericiler tarafından; maliyet, dokümantasyon yeterliliği, zamanında teslimat, firma güvenilirliği, araç filosu, satış sonrası takip, bölgeye hâkimiyet, esneklik ve servis kalitesi olarak belirlenmiştir. BAHP yönteminde kriterler ve alternatifler ikili karşılaştırmalar yoluyla değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler ekler bölümünde verilen anketler yardımıyla yapılmıştır. İşletmede yer alan üç karar verici bu anketleri cevaplandırdıktan sonra anketlerdeki değerler ile bulanık karar matrisleri oluşturulmuştur. Anketler tek bir kişi yerine üç kişilik bir grup tarafından doldurularak subjektiflik önlenmeye çalışılmıştır. Fakat kriter ve alternatif ağırlıkları bir grup tarafından belirlense de insan faktöründen kaynaklanan belirsizlik belirli bir dereceye kadar önlenebilmektedir. Bu nedenle karar verme sürecine bulanık mantık teorisinin dâhil edilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bulanık karar matrislerinin oluşturulmasından sonra, Chang (1996) tarafından önerilen genişletilmiş BAHP yöntemine göre kriterlerin ve alternatiflerin öncelik değerlerinin belirlenmesi için öncelikle sentez değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra bulanık sayıların karşılaştırması yapılmış ve bu işlem sonucunda elde edilen değerler normalize edilerek kriterlere ve alternatiflere ilişkin öncelik değerleri elde edilmiştir. Kriterlerin öncelik değerlerini de dikkate alarak alternatiflerin sahip oldukları toplam değerlendirme sonuçlarının birleşimine göre en iyi alternatif belirlenmiştir. BAHP yöntemine göre en iyi nakliye firması alternatifi, A_2 olarak bulunmuş ve alternatiflerin sıralaması da $A_2 > A_1 > A_5 > A_3 > A_4$ şeklinde elde edilmiştir.

Nakliye firması seçim problemi BAHP yöntemi ile ele alındıktan sonra aynı problem için Bulanık TOPSIS yöntemi önerilmiştir. Bu iki yöntem de en iyi nakliye firması seçimi için aynı amaca hizmet etseler de bazı farklılıklar içermektedirler. Bulanık TOPSIS yönteminde öncelikle üç karar vericiden oluşan grup tarafından alternatifler ve kriterler sözel değişkenler yardımıyla değerlendirilmiştir. Bu sözel değişkenler üçgen bulanık sayılara dönüştürüldükten sonra bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra normalize bulanık karar matrisi ve ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Bulanık pozitif ve negatif ideal çözümler belirlendikten sonra her alternatifin bu noktalara olan uzaklıkları hesaplanmış ve her alternatifin yakınlık katsayısı ayrı ayrı elde edilmiştir. Yakınlık katsayısı değerlerine bakarak alternatiflerin sıralaması $A_2 > A_1 > A_5 > A_3 > A_4$ şeklinde belirlenmiştir.

Nakliye firması seçim probleminde BAHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinin kullanılması sonucu alternatifler arasında aynı sıralama elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, işletmeye Kazakistan'da faaliyet gösteren müşterisine ürünlerini teslim edebilmek için A₂ nakliye firması ile çalışması önerilmiştir. Karar vericiler elde edilen sıralamayı tatmin edici bulmuşlardır. Böylelikle nakliye firması seçiminde sadece geçmiş deneyimlerden yararlanarak içgüdüsel olarak karar veren işletmeye bilimsel yöntemler önerilmiştir.

BAHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinin her ikisi de işletmenin nakliye firması seçim problemini ve diğer çok kriterli karar problemleri ele almak için uygun yöntemlerdir. Fakat bu iki yöntemin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde özetlenebilir:

- Bu iki yöntem yapılması gereken hesaplama miktarına göre karşılaştırıldığında BAHP yöntemi, Bulanık TOPSIS yöntemine göre daha karmaşık hesaplamalar gerektirmektedir.
- BAHP yönteminde karar vericiden kriterleri ve alternatifleri değerlendirmede ikili karşılaştırmalar yapması istenirken, Bulanık TOPSIS yönteminde ikili karşılaştırmalara ihtiyaç duyulmamaktadır.
- BAHP'de karar vericiden bir kriterin diğer kriterlere göre göreceli önemi ya da bir alternatifi diğer alternatife göre tercih etme düzeyi hakkında yargıda bulunması istenmektedir. Fakat alternatif ya da kriter sayısı arttıkça ikili karşılaştırma süreci, karar verici açısından sıkıcı bir hal almaya başlamakta ve tutarsızlık riski de artmaktadır (Bottani ve Rizzi, 2006: 299).
- TOPSIS yönteminde, optimal olmayan bir alternatifin karar sürecine dâhil edilmesi durumunda alternatifler arasındaki sıralamanın değişme riski azdır. BAHP yönteminde ise karar verme sürecine optimal olmayan bir alternatif eklendiğinde sıralama değişebilmektedir.

- Bulanık TOPSIS yöntemi tek aşamalı hiyerarşileri ele almada etkin bir yöntem iken BAHP yöntemi ile karmaşık hiyerarşik yapıya sahip problemler ele alınabilmektedir (Bottani ve Rizzi, 2006: 299). Fakat Kahraman vd (2007a, 2007b) karmaşık hiyerarşileri de dikkate alabilen hiyerarşik Bulanık TOPSIS yöntemini geliştirmişlerdir.
- Chang (1996) tarafından önerilen Genişletilmiş BAHP yönteminde kriterlerin ve alternatiflerin öncelik ağırlıkları sıfıra eşit çıkabilmektedir. Bu da bu kriter veya alternatifin karar analizi sırasında dikkate alınmayacağını gösterir. Eğer karar kriteri veya alternatif dikkate alınmayacaksa başlangıçta bulanık karar matrisinde değerlendirmeye alınmaması daha uygun olacaktır (Wang vd, 2008: 738).
- Ayrıca Chang (1996) tarafından önerilen Genişletilmiş BAHP yönteminin algoritması sözel değişken değerleri olarak üçgen bulanık sayıların kullanılmasına uygunken, Bulanık TOPSIS yönteminde hem üçgen hem de yamuk bulanık sayılar kullanılabilir.
- Bulanık TOPSIS yöntemi alternatifleri sıralarken pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları dikkate almaktadır. BAHP yönteminde ise ikili karşılaştırmalara dayanan sentez değerleri hesaplanarak alternatiflerin öncelikleri belirlenmektedir.
- Bulanık TOPSIS ve BAHP yöntemlerinin ikisi de karar verme sürecine sözel değişkenlerin dâhil edilmesine izin vermektedir.
- BAHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinde karar verici sözel değişkenler yardımıyla alternatifleri ve kriterleri değerlendirirken kendisiyle tutarlı olduğu sürece benzer sonuçlar elde edilecektir.

İşletmelerde karar vericiler, karşılaştığı problemlerin yapılarına göre kendileri için en uygun yönteme karar vermelidirler. Karar vericiler hangi yöntemi kullanacaklarına karar verirken bu iki yöntemin avantaj ve dezavantajlarını da göz

önünde bulundurmalarıdır. Ayrıca, işletmeler teknolojiye uyum sağlayabilen ve karar vermede bilimsel yöntemleri kullanan, yönetim bilimi uygulamalarına yatkın yöneticiler yetiştirmeye önem vermelidirler. İşletme kararlarını alırken bilimsel yöntemlerden faydalanan yöneticiler, etkin kararlara ulaşarak daha başarılı olacaklardır.

Gelecek çalışmalarda nakliye firması seçiminde, bulanık PROMETHEE ve ELECTRE, VIKOR gibi diğer çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılabilir. Bu çalışmada, Bulanık TOPSIS yönteminde iki bulanık sayı arasındaki uzaklık vertex yöntemi yardımıyla hesaplanmıştır. Gelecek çalışmalarda iki bulanık sayı arasındaki mesafeyi hesaplamak için Minkowski, Hamming uzaklıkları kullanılarak sonuçlar karşılaştırılabilir. Ayrıca önerilen yöntemler işletmenin personel seçimi, yazılım seçimi, tedarikçi seçimi, proje seçimi ve makina seçimi gibi diğer çok kriterli karar problemlerine de uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- Abo-Sinna, M.A., Amer, A.H. (2005). Extension of TOPSIS for Multi-Objective Large Scale Nonlinear Programming Problems, *Applied Mathematics and Computation*, 162, p.243-256.
- Akman, G., Alkan, A. (2006). Tedarik Zinciri Yönetiminde BAHP Yöntemi Kullanılarak Tedarikçilerin Performansının Ölçülmesi: Otomotiv Yan Sanayiinde bir Uygulama, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt:5, Sayı:9, s.23-46.
- Allahverdi N. (2002). *Uzman Sistemler Bir Yapay Zeka Uygulaması*, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Alver F. U., Aslantaş Y. L. (2006). Yeni Ürün Geliştirme Sürecine Belirsizlik Altında Karar Model Önerisi, *VI. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İstanbul, s.765-775.
- Ayağ, Z., Özdemir, R.G. (2006). A Fuzzy AHP Approach to Evaluating Machine Tool Alternatives, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17, p.179-190.
- Aytaç, E. (2006) *Kalite Kontrolde Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Bir Uygulama* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Bali, Ö., Gencer, C. (2005). AHP, BAHP ve Bulanık Mantık'la Kara Harp Okuluna Öğretim Elemanı Seçimi, *Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Dergisi*, Cilt:4, Sayı:1, s.24 - 43.
- Ballı, S. (2005) *Fuzzy Çok Kriterli Karar Verme ve Basketbolda Oyuncu Seçimine Uygulanması* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Başılgil, H. (2005). The Fuzzy Analytic Hierarchy Process for Software Selection Problems, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 3, p.24-33.
- Baykal N., Beyan T. (2004a). *Bulanık Mantık İlke ve Temelleri*, Bıçaklar Kitabevi, Ankara.
- Baykal N., Beyan T. (2004b). *Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler*, Bıçaklar Kitabevi, Ankara.
- Bender, M., Simonovic, S. (2000). A Fuzzy Compromise Approach to Water Resource Systems Planning under Uncertainty, *Fuzzy Sets and Systems*, 115, p.33-44.

- Benitez, J. M., Martin, J. C., Roman, C. (2007). Using Fuzzy Number for Measuring Quality of Service in the Hotel Industry, *Tourism Management*, 28 (2), p.544-555.
- Bojadziev G., Bojadziev M. (1998). *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Applications*, World Scientific, London.
- Bottani, E., Rizzi, A. (2005). A Fuzzy Multi-Attribute Framework for Supplier Selection in an E-Procurement Environment, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 8 (3), p.249–266.
- Bottani, E., Rizzi, A. (2006). A Fuzzy TOPSIS Methodology to Support Outsourcing of Logistics Services, *Supply Chain Management: An International Journal*, 11(4), p.294-308.
- Bozdağ, C. E., Kahraman, C., Ruan, D. (2003). Fuzzy Group Decision Making for Selection among Computer Integrated Manufacturing Systems, *Computers in Industry*, 51, p.13-29.
- Brans, J. P., Vincke, P., Mareschal, B. (1986). How to Select and How to Rank Projects: the PROMETHEE Method, *European Journal of Operational Research*, 24, p.228-238.
- Buckley, J. J. (1985). Fuzzy Hierarchical Analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, 17, p. 233-247.
- Buckley J. J. (2003). *Fuzzy Probabilities, New Approach and Applications*, Physica-Verlag, New York.
- Büyüközkan, G. (2004). Multi Criteria Decision Making for e-market Selection, *Internet Research*, 14(2), p.138-154.
- Büyüközkan, G., Kahraman, C., Ruan, D. (2004). A Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach for Software Development Strategy Selection, *International Journal of General Systems*, 33 (2–3), p.259–280.
- Büyüközkan, G., Ruan, D. (2008). Evaluation of Software Development Projects Using Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach, *Mathematics and Computers in Simulations*, doi:10.1016/j.matcom.2007.11.015.
- Cavalcante, C.A.V., de Almeida A.T. (2007). A Multi-Criteria Decision-Aiding Model Using PROMETHEE III for Preventive Maintenance Planning Under Uncertain Conditions, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 13(4), p.385-397.
- Chan, F. T. S., Kumar, N. (2007). Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended AHP-based Approach, *Omega International Journal of Management Science*, 35, p.417-431.
- Chang, D.Y. (1996). Application of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, 95(3), p.649-655.

- Chang, Y.H., Cheng, C.H, Wang, T.C., (2003). Performance Evaluation of International Airports in the Region of East Asia, *Proceedings of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 4, p.213-230.
- Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for Group Decision-Making under Fuzzy Environment, *Fuzzy Sets and Systems*, 114, p.1-9.
- Chen, C.T. (2001). A Fuzzy Approach to Select the Location of the Distribution Center, *Fuzzy Sets and Systems*, 118, p.65–73.
- Chen, C. T., Lin, C. T., Huang, S. F. (2006). A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management, *International Journal of Production Economics*, 102, p.289–301.
- Chen G., Pham T.T. (2001). *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems*, CRC Press, USA.
- Cheng, A. C., Chen, C. J., Chen, C. Y. (2008). A Fuzzy Multiple Criteria Comparison of Technology Forecasting Methods for Predicting the New Materials Development, *Technological Forecasting & Social Change*, 75, p.131–141.
- Cheng, C. H., Yang, K. L., Hwang, C. L., (1999). Evaluating Attack Helicopters by AHP Based on Linguistic Variable Weight, *European Journal of Operational Research*, 116 (2), p.423 -435.
- Cheng, C. H. (1996). Evaluating Naval Tactical Missile Systems by Fuzzy AHP Based on the Grade Value of Membership Function, *European Journal of Operational Research*, 96, p.343-350.
- Chou, W. C., Lin, W. T., Lin, C. Y., Chou W. C., Huang P. H. (2007). Application of Fuzzy Theory and PROMETHEE Technique to Evaluate Suitable Ecotechnology method: a Case Study in Shihmen Reservoir Watershed, Taiwan, *Ecological Engineering*, 31 (4), p.269-280.
- Chou, T. Y., Liang, G. S. (2001). Application of a Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Model for Shipping Company Performance Evaluation, *Maritime Policy and Management*, 28(4), p.375-392.
- Chu, T.C. (2002). Selecting Plant Location via Fuzzy TOPSIS Approach, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 20, p.859-864.
- Chu, T.C., Lin, Y. C. (2003). A Fuzzy TOPSIS Method for Robot Selection, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21, p.284-290.
- Chu, M.T., Shyu, J., Tzeng, G.H., Khosla, R. (2007). Comparison Among Three Analytical Methods for Knowledge Communities Group-Decision Analysis, *Expert Systems with Applications*, 33, p.1011–1024.

- Çanlı, H., Kandakoğlu, A. (2007). Hava Gücü Mukayesesi için BAHP Modeli, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Cilt:3, Sayı:1, s.71-82.
- Dağdeviren, M. (2002) *Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Yeni Bir Analitik İş Değerlendirme Tekniğinin Geliştirilmesi* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dağdeviren M., Eraslan E., Kurt M. (2007). Makina Seçimi Problemi için TOPSIS, AHP, ELECTRE ve PROMETHEE Yöntemleri ile Karşılaştırmalı Bir Analiz, *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 27. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, İzmir, s.562-567.
- Dağdeviren, M. (2008). Decision Making in Equipment Selection: an Integrated Approach with AHP and PROMETHEE. *Journal of Intelligent Manufacturing*, doi 10.1007/s10845-008-0091-7.
- Dağdeviren M., Eraslan E. (2008). PROMETHEE Sıralama Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: 23, No:1, s.69-75.
- Demircan, M. L., Tolga, E., Kahraman, C. (2006). Bulanık Yenileme Analizi ve AHS Yardımı ile Çok Ölçütlü İşletim Sistemi Seçimi, *İTÜ Mühendislik Dergisi /d*, Cilt:5, Sayı:1, Kısım:2, s.205-216.
- Deng, H. (1999). Multicriteria Analysis with Fuzzy Pairwise Comparison, *International Journal of Approximate Reasoning*, 21, p.215-231.
- Doğan M. (1985). *İşletmelerde Karar Verme Teknikleri*, Bilgehan Basımevi, İzmir.
- Dursun M., Karsak E. (2007). Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Yaklaşımından Yararlanarak Katı Atık Yönetim Sistemi Seçimi, *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 27. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, İzmir, s.1219-1224.
- Dündar, S., Ecer, F., Özdemir, Ş. (2007). Fuzzy TOPSIS Yöntemi ile Sanal Mağazaların Web Sitelerinin Değerlendirilmesi, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt:21, Sayı:1, s.287-305.
- Ecer, F. (2007). Bulanık Ortamlarda Mağaza Kuruluş Yerlerinin Değerlendirilmesi: Bir Karar Verme Aracı Olarak Fuzzy TOPSIS Yöntemi, *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt:25, Sayı:1, s.143-172.
- Eleren, A. (2007). Kuruluş Yeri Seçiminin Fuzzy TOPSIS Yöntemi ile Belirlenmesi: Deri Sektörü Örneği, *Akdeniz İ.İ.B.F Dergisi*, Cilt:13, s.280-295.
- Elmas Ç. (2003a). *Bulanık Mantık Denetleyiciler*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Elmas Ç. (2003b). *Yapay Sinir Ağları*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

- Eminov M., Ballı S. (2004). Karmaşık Problemler için Belirsizlik Altında Çok Kriterli Bulanık Karar Verme, *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, Gaziantep-Adana, s. 440-443.
- Enea, M., Piazza, T. (2004). Project Selection by Constrained Fuzzy AHP, *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 3, p.39–62.
- Engelkıran, M. (2001) *Fuzzy Çoklu Kritere Göre Karar Vermenin İnsan Kaynaklarına Uygulanması* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Erensal, Y. C., Öncan, T., Demircan, M. L. (2006). Determining Key Capabilities in Technology Management Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process: A Case Study of Turkey, *Information Sciences*, 176, p.2755-2770.
- Erikan, L. (2002) *HV.K.K.'lığında Aday Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Etkin Karar Verme* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erol, İ. (2006). Bulanık TOPSIS ve Entropi Yöntemlerinin Matematiksel Programlama Modelleri ile Bütünleştirilmesi ve Bir Firma Uygulaması, *İktisat, İşletme ve Finans Dergisi*, Yıl: 21, Sayı:248, s.90-101.
- Ertuğrul, İ. (1996) *Bulanık Mantık ve Bir Üretim Planlamasında Uygulama Örneği*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Ertuğrul, İ. (2006). *Toplam Kalite Kontrol ve Teknikleri*, Ekin Kitabevi, Bursa.
- Ertuğrul İ. (2003). İşyeri Düzen Tasarımına Bir Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı, *VI. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara.
- Ertuğrul, İ. (2007). Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bir Tekstil İşletmesinde Makina Seçim Problemine Uygulanması, *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt: 25, Sayı:1, s.171–192.
- Ertuğrul İ, Güneş M. (2007). Fuzzy Multi-criteria Decision Making Method for Machine Selection, *Analysis and Design of Intelligent Systems Using Soft Computing Techniques*, 41. p.638-648, Springer, Berlin Heidelberg.
- Ertuğrul, İ, Karakaşoğlu, N. (2007a). Performance Evaluation of Turkish Cement Firms with Fuzzy Analytic Hierarchy Process and TOPSIS methods, *Expert Systems with Applications*, doi: 10.1016/j.eswa.2007.10.014.
- Ertuğrul, İ., Karakaşoğlu, N. (2007b). Finans Sektöründe Kredi Taleplerinin Değerlendirilmesinde Bulanık Mantık Yaklaşımı, *İktisat, İşletme ve Finans Dergisi*, Yıl: 22, Sayı:255, s.95-114.
- Ertuğrul, İ., Karakaşoğlu, N. (2007c) Fuzzy TOPSIS Method for Academic Member Selection in Engineering Faculty, *Innovations in E-learning, Instruction*

Technology, Assessment and Engineering Education, Iskander, Magued (ed), XVI, p. 151-156, Springer, Netherlands.

- Ertuğrul, İ., Karakaşoğlu, N. (2007d). Comparison of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods for Facility Location Selection, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, doi: 10.2007/s00170-007-1249-8.
- Ertuğrul, İ., Pelitli, D. (2008). Portföy Analizinde Bulanık Mantık Yaklaşımı, *İktisat İşletme ve Finans Dergisi*, 23 (265), p.91-113.
- Geldermann, J., Spengler, T., Rentz, O. (2000). Fuzzy Outranking for Environmental Assessment. Case Study: Iron and Steel Making Industry, *Fuzzy Sets and Systems*, 115 (1), p.45-65.
- Goumas, M., Lygerou, V. (2000). An Extension of the PROMETHEE Method for Decision Making in Fuzzy Environment: Ranking of Alternative Energy Exploitation Projects, *European Journal of Operational Research*, 123, p.606-613.
- Gu, X., Zhu, Q. (2006). Fuzzy Multi-Attribute Decision-Making Method Based on Eigenvector of fuzzy Attribute Evaluation Space, *Decision Support Systems*, 41, p.400-410.
- Guiffrida, A. L., Nagi, R. (1998). Fuzzy Set Theory Applications in Production Management Research: A Literature Survey, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 9(1), p.39-56.
- Gültaş İ., Özok A. F. (2007). Endüstri Mühendisliği Eğitiminde Matematik Ders İçeriklerinin Belirlenmesinde BAHP Yöntemi ile Çözüm Önerisi, *Yöneylem Araştırması / Endüstri Mühendisliği 27. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, İzmir, s.87-92.
- Güner, H. (2005) *BAHP ve Bir İşletme için Tedarikçi Seçimi Problemine Uygulanması* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Gürbüz T., Albayrak Y. E. (2006). İnsan Kaynaklarında Bilgi Yönetimi Uygulaması Seçimi için Bulanık TOPSIS Kullanımı, *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XXVI. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, Kocaeli, s.426-428.
- Hacıköylü, B. E. (2006) *Analitik Hiyerarşi Karar Verme Süreci ile Anadolu Üniversitesi'nde Beslenme ve Barınma Yardımı Alacak Öğrencilerin Belirlenmesi* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- Halaç O. (1991). *Kantitatif Karar Verme Teknikleri*, Evrim Dağıtım, İstanbul.
- Hsieh, T. Y., Lu, S. T., Tzeng, G. H. (2004). Fuzzy MCDM Approach for Planning and Design Tenders Selection in Public Office Buildings, *International Journal of Project Management*, 22, p.573-584.

- Huang, C. C., Chu, P. Y., Chiang, Y. H. (2008). A Fuzzy AHP Application in Government-Sponsored R&D Project Selection, *Omega the International Journal of Management Science*, 36 (6), p.1038-1052.
- Hwang C. L., Yoon K., (1981). *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications*, Springer, Berlin Heidelberg.
- İç, Y. T. (2000) *Kredi Talep Eden Endüstri Kuruluşlarının Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Doğrusal Programlama Yöntemleriyle Değerlendirilen Bir Karar Destek Sisteminin Oluşturulması* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- İnce Ö., Gültaş İ. (2006). Makina Seçimi Problemine BAHP Yaklaşımı, *VI. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İstanbul, s.107-117.
- Jahanshahloo, G. R., Hosseinzadeh, L. F., Izadikhah, M. (2006). Extension of the TOPSIS Method for Decision Making Problems with Fuzzy Data, *Applied Mathematics and Computation*, 181(2), p.1544-1551.
- Jang J. S. R., Sun C. T., Mizutani E. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice Hall Inc., USA.
- Kahraman, C., Cebeci, U., Ulukan, Z. (2003a). Multi-Criteria Supplier Selection Using Fuzzy AHP, *Logistics Information Management*, 16 (6), p.382-394.
- Kahraman, C., Ruan, D., Doğan, İ. (2003b). Fuzzy Group Decision Making for Facility Location, *Information Sciences*, 157, p.135-153.
- Kahraman, C., Cebeci, U., Ruan, D. (2004). Multi-Attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of Turkey, *International Journal of Production Economics*, 87, p.171-184.
- Kahraman, C., Ateş N. Y., Çevik S., Gülbay M., Erdoğan S. A. (2007a). Hierarchical Fuzzy TOPSIS Model for Selection among Logistics Information Technologies, *Journal of Enterprise Information Management*. 20(2), p.143-168.
- Kahraman, C., Büyüközkan G., Ateş, N. Y. (2007b). A Two Phase Multi-Attribute Decision Making Approach for New Product Introduction, *Information Sciences*, 177, p.1567-1582.
- Kahraman, C., Çevik, S., Ateş, N. Y., Gülbay, M. (2007c). Fuzzy Multi-Criteria Evaluation of Industrial Robotic Systems, *Computers and Industrial Engineering*, 52, p.414-433.
- Kaptanoğlu, D., Özok, A. F. (2006). Akademik Performans Değerlendirmesi için Bir Bulanık Model, *İTÜ Dergisi / d Mühendislik*, Cilt:5, Sayı: 1, Kısım:2, s.193-204.

- Karacasu, M., Yayla, N. (2004). Kentiçi Otobüs Taşımacılığında Özelleştirme için bir Karar Destek Modeli Önerisi: Eskişehir Örneği, *İTÜ Dergisi /d, Mühendislik*, Cilt:3, Sayı:6, s.59-70.
- Karakaya, K. (2003) *İstanbul Boğazı'ndan Geçen Gemilerin Emniyetli Geçişinin Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Analizi* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Karsak, E. E. (2002). Distance-Based Fuzzy MCDM Approach for Evaluating Flexible Manufacturing System Alternatives, *International Journal of Production Research*, 40(13), p.3167-3181.
- Kaufmann A., Gupta M. M. (1988). *Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science*, Elsevier Science Publishers B.V., North Holland.
- Kecman V. (2001). *Learning and Soft Computing*, MIT Press, London.
- Kim, G., Park, C. S., Yoon, K. P. (1997). Identifying Investment Opportunities for Advanced Manufacturing Systems With Comparative-Integrated Performance Measurement, *International Journal of Production Economics*, 50, p.23-33.
- Kosko B. (1997). *Fuzzy Engineering*, Prentice Hall, New Jersey.
- Köse H. (2006). *Makina İmalat Sanayi*, İGEME İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi Yayını, Ankara.
- Kulak, O., Kahraman, C. (2005). Fuzzy Multi-Attribute Selection among Transportation Companies Using Axiomatic Design and Analytic Hierarchy Process, *Information Sciences*, 170, p.191-210.
- Kuo, M. S., Tzeng G. H., Huang, W. C. (2007). Group Decision-Making Based on Concepts of Ideal and Anti-Ideal Points in a Fuzzy Environment” *Mathematical and Computer Modelling*, 45, p.324–339.
- Kuruüzüm, A., Atsan, N. (2001). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları, *Akdeniz İ.İ.B.F Dergisi*, Cilt:1, s.83-105.
- Kwong, C. K, Bai, H. (2002). A Fuzzy AHP Approach to the Determination of Importance Weights of Customer Requirements in Quality Function Deployment, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13, p.367-377.
- Lai, Y. J., Liu, T. Y., Hwang, C. L. (1994). TOPSIS for MCDM, *European Journal of Operational Research*, 76, p. 486-500.
- Lai Y. J., Hwang C. L. (1996). *Fuzzy Multiple Objective Decision Making*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Lee, A. H. I., Chen, W. C., Chang, C. J. (2008). A fuzzy AHP and BSC Approach for Evaluating Performance of IT Department in the Manufacturing Industry in Taiwan, *Expert Systems with Applications*, 34, p.96–107.

- Leung, L., Cao, D. (2000). On Consistency and Ranking of Alternatives in Fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, 124, p.102-113.
- Li, D. F. (2007). Compromise Ratio Method for Fuzzy Multi-Attribute Group Decision Making, *Applied Soft Computing*, 7(3), p.807-817.
- Li, D. F., Yang, J. B. (2004). Fuzzy Linear Programming Technique for Multiattribute Group Decision Making in Fuzzy Environments, *Information Sciences*, 158, p. 263-264.
- Liu, H., Yan, T. (2007). Bidding-Evaluation of Construction Projects Based on VIKOR Method, *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics*, Jinan, China.
- Lorcu, F. (2000) *Analitik Hiyerarşi Prosesi Tekniği ile Kişisel Bilgisayar Tercih Konusunda Bir Uygulama* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Mendel J. M. (2001). *Uncertain Rule Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions*, Prentice Hall Inc., USA.
- Menteş, A. (2000) *Manevra ve Sevk Sistemi Seçiminde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mete M., Manisalı E. (2007). Bakım Stratejilerinin Seçiminde Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme Modeli, *Yöneylem Araştırması / Endüstri Mühendisliği 27. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, İzmir, s.1213–1218.
- Mikhailov, L. (2002). Fuzzy Analytical Approach to Partnership Selection in Formation of Virtual Enterprises, *Omega International Journal of Management Science*, 30, p.393 - 401.
- Mikhailov, L., Tsvetinov, P. (2004). Evaluation of Services Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process, *Applied Soft Computing*, 5, p.23-33.
- Nabiyev V. V. (2003). *Yapay Zeka - Problemler - Yöntemler - Algoritmalar*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Nguyen H. T., Walker E. A. (2000). *A First Course in Fuzzy Logic*, Chapman & Hall/Crc, Florida.
- Nijkamp P., Vandelft A. (1977). *Multi-Criteria analysis and regional decision making*, Martinus Nijhoff, Leiden, the Netherlands.
- Omkarprasad, S., Kumar, S. (2006). Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications, *European Journal of Operational Research*, 169, p.1–29.

- Opricovic, S., Tzeng, G.H., (2004). Compromise Solution by MCDM Methods: a Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research*, 156, p.445-455.
- Opricovic, S., Tzeng, G.H. (2007). Extended VIKOR Method in Comparison with Other Outranking Methods.,*European Journal of Operational Research*, 178, p.514-529.
- Özgül, Ö. (2006) *Bir İşletme için TOPSIS ve AHP Yöntemleri ile ERP Yazılımın Seçimi* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Özkan M. (2003). *Bulanık Hedef Programlama*, Ekin Kitabevi, Bursa.
- Öztemel E. (2003). *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Öztürk A. (2004). *Yöneylem Araştırması*, Ekin Kitabevi, Bursa.
- Öztürk, R. Ö. (1999) *Fuzzy Karar Verme* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Pal S. K., Majumder D. K. D. (1986). *Fuzzy Mathematical Approach to Pattern Recognition*, Halsted Press, New York.
- Polat, D. Ş. (2000) *Askeri Helikopter Alımı Problemine Analitik Hiyerarşi Metodu İle Bir Yaklaşım* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Radojevic, D., Petrovic, S. (1997). A Fuzzy Approach to Preference Structure in Multicriteria Ranking, *International Transactions in Operational Research*, 4 (516), p. 419-430.
- Render B., Stair R. M. (1991). *Quantitative Analysis for Management*, Allyn and Bacon, USA.
- Ross T. J., Booker J. M., Parkinson W. J. (2002). *Fuzzy Logic and Probability Applications: Bridging the Gap*, SIAM Publishers, Philadelphia.
- Roy, B. (1971). Problems and Methods with Multiple Objective Functions, *Mathematical Programming*, 1, p. 239-266.
- Saaty T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, Newyork.
- Saghafian S., Hejazi S.R. (2005). Multi-criteria Group Decision Making Using A Modified Fuzzy TOPSIS Procedure” *Proceedings of the 2005 International Conference on Computational Intelligence for Modeling, Control and Automation, and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce (CIMCA-IAWTIC’05)*, IEEE Computer Society.

- Serbest G. N., Demirel N. Ç., Aydın N. (2007). Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Metodu ile Katı Atıklar İçin En Uygun Tesis Yeri Seçimi, *Yöneylem Araştırması Endüstri Mühendisliği 27. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, İzmir, s.1237-1242.
- Sezen H.K. (2004). *Yöneylem Araştırması Sayımlama Yöntemleri*, Ekin Kitabevi, Bursa.
- Shamsuzzaman, M., Ullah, A. M. M. S., Bohez, E. L. J. (2003). Applying Linguistic Criteria in FMS Selection: Fuzzy Set AHP Approach, *Integrated Manufacturing Systems*, 14 (3), p.247-254.
- Soner, S., Önüt, S. (2006). Multi-Criteria Supplier Selection: An ELECTRE-AHP Application, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt:4, s.110-120.
- Stevenson W. J. (1993). *Production / Operations Management*, Richard D. Irwin Inc., USA.
- Şen Z. (2004). *Mühendislikte Bulanık Mantık ile Modelleme Prensipleri*, Su Vakfı, İstanbul.
- Taha H. A. (2000). *Yöneylem Araştırması*, 6. Basımdan Çeviri, Çevirenler: Ş.Alp Baray, Şakir Esnaf, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Tanaka K. (1997). *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications*, Çeviren: Tak Niimura, Springer-Verlag, New York.
- Tang, L.L., Kuo, Y.C., Lee, E.S. (2005). A Multi-Objective Model for Taiwan Notebook Computer Distribution Problem, *Global Integrated Supply Chain Systems*, p.171-182, Hershey,PA, USA, Idea Group Publishing.
- Tang, Y., Beynon M. J. (2005). Application and Development of a Fuzzy Analytic Hierarchy Process within a Capital Investment Study, *Journal of Economics and Management*, 1 (2), p.207-230.
- Tekeş, M. (2002) *Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ve Türk Silahlı Kuvvetleri'nde Kullanılan Tabancaların Bulanık Uygunluk İndeksli Analitik Hiyerarşi Prosesi İle Karşılaştırılması* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tekin M. (2004). *Sayısal Yöntemler*, 5. Baskı, Konya.
- Tiryaki, F., Ahlatçioğlu, M. (2005). Fuzzy Stock Selection Using a New Fuzzy Ranking and Weighting Algorithm, *Applied Mathematics and Computation*, 170, p.144-157.
- Tolga, E., Demircan M., Kahraman, C. (2005). Operating System Selection Using Fuzzy Replacement Analysis and Analytic Hierarchy Process, *International Journal of Production Economics*, 97, p.89-117.

- Tong, L.I., Chen, C.C., Wang, C.H. (2007). Optimization of Multi-Response Processes Using the VIKOR Method, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31, p.1049–1057.
- Triantaphyllou, E., Lin, C.T. (1996). Development and Evaluation of Five Fuzzy Multiattribute Decision-Making Methods, *International Journal of Approximate Reasoning*, 14, p.281-310.
- Tsaur, S. H., Chang, T. Y., Yen, C. H. (2002). The Evaluation of Airline Service Quality by Fuzzy MCDM, *Tourism Management*, 23, p.107-115.
- Tuş, A. (2006) *Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Üretim Planlamasında Uygulama Örneği* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Türkbey, O. (2003). Makina Sıralama Problemlerinde Çok Amaçlı Bulanık Küme Yaklaşımı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt:18 Sayı:2, s.63-77.
- Tütek H. H., Gümüşoğlu Ş. (2000). *Sayısal Yöntemler Yönetmelik Yaklaşım*, Beta Basım A.Ş., İstanbul.
- Tüysüz, F., Kahraman, C. (2006). Project Risk Evaluation Using a Fuzzy Analytic Hierarchy Process: an Application to Information Technology Projects, *International Journal of Intelligent Systems*, 21, p.559-584.
- Ulucan A. (2004). *Yöneylem Araştırması*, Siyasal Kitabevi, Ankara.
- Voogd H. (1983). *Multi Criteria Evaluation for Urban and Regional Planning*, Pion, London.
- Wang, Y. M., Luo, Y., Hua, Z. S. (2007). A Note on Group Decision-Making Based on Concepts of Ideal and Anti-Ideal Points in a Fuzzy Environment, *Mathematical and Computer Modelling* 46, p.1256–1264.
- Wang, T. C. Chen, Y. H. (2007). Applying Consistent Fuzzy Preference Relations to Partnership Selection, *Omega the International Journal of Management Science*, 35, p.384-388.
- Wang, T. C., Chang, T. H. (2007). Application of TOPSIS in Evaluating Initial Training Aircraft Under a Fuzzy Environment, *Expert Systems with Applications*, 33(4), p.870-880.
- Wang, Y. J. (2008). Applying FMCDM to Evaluate Financial Performance of Domestic Airlines in Taiwan, *Expert Systems with Applications*, 34(3), p.1837-1845.
- Wang, Y. J., Lee, H. S. (2007). Generalizing TOPSIS for Fuzzy Multiple-Criteria Group Decision Making, *Computers and Mathematics with Applications*, 53, p.1762-1772.

- Wang, Y. M., Elhag, T. M. S. (2006). Fuzzy TOPSIS Method Based on Alpha Level Sets with an Application to Bridge Risk Assessment, *Expert Systems with Applications*, 31, p.309-319.
- Wang, Y. M., Luo, Y., Hua, Z. (2008). On the Extent Analysis Method for Fuzzy AHP and its Applications. *European Journal of Operational Research*. 186. p.735-747.
- Weck, M., Kolocke, F., Schell, H., Rüenauver, E. (1997). Evaluating Alternative Production Cycles Using Extended Fuzzy AHP Method, *European Journal of Operational Research*, 100, p.351-366.
- Van Laarhoven, P. J. M., Pedrcyz, W. (1983). A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory, *Fuzzy Sets and Systems*, 11, 229-241.
- Yager, R. R., (1981). A Procedure for Ordering Fuzzy Subsets of the Unit Interval. *Information Science*, 24, 143-161.
- Yang, T., Hung, C. C. (2007). Multiple-Attribute Decision Making Methods for Plant Layout Design Problem, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 23, p.126-137.
- Yen J., Langari R. (1999). *Fuzzy Logic, Intelligence, Control and Information*, Prentice Hall, New Jersey.
- Yong, D. (2006). Plant Location Selection Based on Fuzzy TOPSIS, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28, p.839-844.
- Zadeh L. A., Kacprzyk J. (1992). *Fuzzy Logic for the Management of Uncertainty*, John Wiley & Sons Inc., Newyork.
- Zadeh, L. A. (1975). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I, *Information Sciences*, 8, p.199-249.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, p.338-353.
- Zhang C., Ma C. B., Xu, J. D. (2005). *A New Fuzzy MCDM Method Based on Trapezoidal Fuzzy AHP and Hierarchical Fuzzy Integral*, L.Wang, Y. Jin (ed): FSKD, LNAI 3614, p.466-474, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Zhu, K., Jing, Y., Chang, D. (1999). A discussion on Extent Analysis Method and Applications of Fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, 116, p.450 – 456.
- Zimmermann H.J. (1992). *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Kluwer Academic Publishers, USA.
- <http://ekutup.dpt.gov.tr/> (02.04.2008)
- <http://www.denizli.gov.tr/denizli/ekonomivesanayi.htm> (05.04.2008)

EKLER

Ek-1 Nakliye firması seçim probleminde birinci karar vericinin kriterleri ikili karşılaştırmaları

Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
Maliyet		X								Dokümantasyon yeterliliği
Maliyet					X					Zamanında teslimat
Maliyet				X						Firma güvenilirliği
Maliyet	X									Araç filosu
Maliyet		X								Satış sonrası takip
Maliyet			X							Bölgeye hâkimiyet
Maliyet			X							Esneklik
Maliyet				X						Servis kalitesi
Dokümantasyon yeterliliği								X		Zamanında teslimat
Dokümantasyon yeterliliği							X			Firma güvenilirliği
Dokümantasyon yeterliliği				X						Araç filosu
Dokümantasyon yeterliliği					X					Satış sonrası takip
Dokümantasyon yeterliliği						X				Bölgeye hâkimiyet
Dokümantasyon yeterliliği						X				Esneklik
Dokümantasyon yeterliliği							X			Servis kalitesi
Zamanında teslimat				X						Firma güvenilirliği
Zamanında teslimat	X									Araç filosu
Zamanında teslimat		X								Satış sonrası takip
Zamanında teslimat			X							Bölgeye hâkimiyet
Zamanında teslimat			X							Esneklik
Zamanında teslimat				X						Servis kalitesi

Ek-1 devamı

Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
Firma güvenilirliği		X								Araç filosu
Firma güvenilirliği			X							Satış sonrası takip
Firma güvenilirliği				X						Bölgeye hâkimiyet
Firma güvenilirliği				X						Esneklik
Firma güvenilirliği					X					Servis kalitesi
Araç filosu						X				Satış sonrası takip
Araç filosu							X			Bölgeye hâkimiyet
Araç filosu							X			Esneklik
Araç filosu								X		Servis kalitesi
Satış sonrası takip						X				Bölgeye hâkimiyet
Satış sonrası takip						X				Esneklik
Satış sonrası takip							X			Servis kalitesi
Bölgeye hâkimiyet					X					Esneklik
Bölgeye hâkimiyet						X				Servis kalitesi
Esneklik						X				Servis kalitesi

Ek-2 Nakliye firması seçim probleminde ikinci karar vericinin kriterleri ikili karşılaştırmaları

Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
Maliyet				X						Dokümantasyon yeterliliği
Maliyet							X			Zamanında teslimat
Maliyet			X							Firma güvenilirliği
Maliyet				X						Araç filosu
Maliyet						X				Satış sonrası takip
Maliyet			X							Bölgeye hâkimiyet
Maliyet						X				Esneklik
Maliyet							X			Servis kalitesi
Dokümantasyon yeterliliği								X		Zamanında teslimat
Dokümantasyon yeterliliği				X						Firma güvenilirliği
Dokümantasyon yeterliliği					X					Araç filosu
Dokümantasyon yeterliliği							X			Satış sonrası takip
Dokümantasyon yeterliliği				X						Bölgeye hâkimiyet
Dokümantasyon yeterliliği							X			Esneklik
Dokümantasyon yeterliliği								X		Servis kalitesi
Zamanında teslimat	X									Firma güvenilirliği
Zamanında teslimat		X								Araç filosu
Zamanında teslimat				X						Satış sonrası takip
Zamanında teslimat	X									Bölgeye hâkimiyet
Zamanında teslimat				X						Esneklik
Zamanında teslimat					X					Servis kalitesi

Ek-2 devamı

Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
Firma güvenilirliği						X				Araç filosu
Firma güvenilirliği								X		Satış sonrası takip
Firma güvenilirliği					X					Bölgeye hâkimiyet
Firma güvenilirliği								X		Esneklik
Firma güvenilirliği									X	Servis kalitesi
Araç filosu							X			Satış sonrası takip
Araç filosu				X						Bölgeye hâkimiyet
Araç filosu							X			Esneklik
Araç filosu								X		Servis kalitesi
Satış sonrası takip		X								Bölgeye hâkimiyet
Satış sonrası takip					X					Esneklik
Satış sonrası takip						X				Servis kalitesi
Bölgeye hâkimiyet								X		Esneklik
Bölgeye hâkimiyet									X	Servis kalitesi
Esneklik						X				Servis kalitesi

Ek- 3 Nakliye firması seçim probleminde üçüncü karar vericinin kriterleri ikili karşılaştırmaları

Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
Maliyet			X							Dokümantasyon yeterliliği
Maliyet				X						Zamanında teslimat
Maliyet				X						Firma güvenilirliği
Maliyet			X							Araç filosu
Maliyet		X								Satış sonrası takip
Maliyet			X							Bölgeye hâkimiyet
Maliyet		X								Esneklik
Maliyet		X								Servis kalitesi
Dokümantasyon yeterliliği						X				Zamanında teslimat
Dokümantasyon yeterliliği						X				Firma güvenilirliği
Dokümantasyon yeterliliği					X					Araç filosu
Dokümantasyon yeterliliği				X						Satış sonrası takip
Dokümantasyon yeterliliği					X					Bölgeye hâkimiyet
Dokümantasyon yeterliliği				X						Esneklik
Dokümantasyon yeterliliği				X						Servis kalitesi
Zamanında teslimat					X					Firma güvenilirliği
Zamanında teslimat				X						Araç filosu
Zamanında teslimat			X							Satış sonrası takip
Zamanında teslimat				X						Bölgeye hâkimiyet
Zamanında teslimat			X							Esneklik
Zamanında teslimat			X							Servis kalitesi

Ek-3 devamı

Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
Firma güvenilirliği				X						Araç filosu
Firma güvenilirliği			X							Satış sonrası takip
Firma güvenilirliği				X						Bölgeye hâkimiyet
Firma güvenilirliği			X							Esneklik
Firma güvenilirliği			X							Servis kalitesi
Araç filosu				X						Satış sonrası takip
Araç filosu					X					Bölgeye hâkimiyet
Araç filosu				X						Esneklik
Araç filosu				X						Servis kalitesi
Satış sonrası takip						X				Bölgeye hâkimiyet
Satış sonrası takip					X					Esneklik
Satış sonrası takip					X					Servis kalitesi
Bölgeye hâkimiyet				X						Esneklik
Bölgeye hâkimiyet				X						Servis kalitesi
Esneklik					X					Servis kalitesi

Ek- 5 Maliyet kriteri için ikinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Maliyet		Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi								
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
	A ₁							X		
A ₁						X				A ₃
A ₁				X						A ₄
A ₁			X							A ₅
A ₂				X						A ₃
A ₂		X								A ₄
A ₂	X									A ₅
A ₃			X							A ₄
A ₃		X								A ₅
A ₄				X						A ₅

Ek-7 Dokümantasyon yeterliliği kriteri için birinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Dokümantasyon yeterliliği	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi									
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A ₁				X						A ₂
A ₁					X					A ₃
A ₁		X								A ₄
A ₁			X							A ₅
A ₂						X				A ₃
A ₂			X							A ₄
A ₂				X						A ₅
A ₃		X								A ₄
A ₃			X							A ₅
A ₄						X				A ₅

Ek- 8 Dokümantasyon yeterliliği kriteri için ikinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Dokümantasyon yeterliliği	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi									
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A ₁				X						A ₂
A ₁						X				A ₃
A ₁			X							A ₄
A ₁		X								A ₅
A ₂							X			A ₃
A ₂				X						A ₄
A ₂			X							A ₅
A ₃		X								A ₄
A ₃	X									A ₅
A ₄				X						A ₅

Ek- 9 Dokümantasyon yeterliliği kriteri için üçüncü karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Dokümantasyon yeterliliği	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi									
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A ₁				X						A ₂
A ₁				X						A ₃
A ₁		X								A ₄
A ₁			X							A ₅
A ₂					X					A ₃
A ₂			X							A ₄
A ₂				X						A ₅
A ₃			X							A ₄
A ₃				X						A ₅
A ₄						X				A ₅

Ek- 10 Zamanında teslimat kriteri için birinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Zamanında teslimat	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi									
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A ₁						X				A ₂
A ₁			X							A ₃
A ₁			X							A ₄
A ₁				X						A ₅
A ₂		X								A ₃
A ₂		X								A ₄
A ₂			X							A ₅
A ₃					X					A ₄
A ₃						X				A ₅
A ₄						X				A ₅

Ek- 11 Zamanında teslimat kriteri için ikinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Zamanında teslimat	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi									
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A ₁							X			A ₂
A ₁				X						A ₃
A ₁			X							A ₄
A ₁						X				A ₅
A ₂		X								A ₃
A ₂	X									A ₄
A ₂			X							A ₅
A ₃			X							A ₄
A ₃							X			A ₅
A ₄								X		A ₅

Ek- 12 Zamanında teslimat kriteri için üçüncü karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Zamanında teslimat	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi									
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A ₁				X						A ₂
A ₁		X								A ₃
A ₁			X							A ₄
A ₁					X					A ₅
A ₂			X							A ₃
A ₂				X						A ₄
A ₂						X				A ₅
A ₃						X				A ₄
A ₃								X		A ₅
A ₄							X			A ₅

Ek- 13 Firma güvenilirliği kriteri için birinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Firma güvenilirliği	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi									
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A ₁						X				A ₂
A ₁				X						A ₃
A ₁				X						A ₄
A ₁							X			A ₅
A ₂			X							A ₃
A ₂			X							A ₄
A ₂						X				A ₅
A ₃					X					A ₄
A ₃								X		A ₅
A ₄								X		A ₅

Ek- 14 Firma güvenilirliği kriteri için ikinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Firma güvenilirliği	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi									
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A ₁							X			A ₂
A ₁				X						A ₃
A ₁			X							A ₄
A ₁						X				A ₅
A ₂		X								A ₃
A ₂	X									A ₄
A ₂				X						A ₅
A ₃				X						A ₄
A ₃							X			A ₅
A ₄								X		A ₅

Ek- 15 Firma güvenilirliği kriteri için üçüncü karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Firma güvenilirliği	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi									
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A ₁							X			A ₂
A ₁				X						A ₃
A ₁				X						A ₄
A ₁						X				A ₅
A ₂		X								A ₃
A ₂		X								A ₄
A ₂				X						A ₅
A ₃					X					A ₄
A ₃							X			A ₅
A ₄							X			A ₅

Ek-16 Araç filosu kriteri için birinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Araç filosu	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi									
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A₁				X						A₂
A₁		X								A₃
A₁	X									A₄
A₁			X							A₅
A₂			X							A₃
A₂		X								A₄
A₂				X						A₅
A₃				X						A₄
A₃						X				A₅
A₄							X			A₅

Ek-17 Araç filosu kriteri için ikinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Araç filosu		Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi								
Kriter	Kriter									
	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	
A ₁				X						A ₂
A ₁				X						A ₃
A ₁			X							A ₄
A ₁						X				A ₅
A ₂					X					A ₃
A ₂				X						A ₄
A ₂							X			A ₅
A ₃				X						A ₄
A ₃							X			A ₅
A ₄								X		A ₅

Ek- 18 Araç filosu kriteri için üçüncü karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Araç filosu		Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi								
Kriter	Kriter									
	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	
A ₁					X					A ₂
A ₁		X								A ₃
A ₁			X							A ₄
A ₁				X						A ₅
A ₂		X								A ₃
A ₂			X							A ₄
A ₂				X						A ₅
A ₃						X				A ₄
A ₃							X			A ₅
A ₄						X				A ₅

Ek- 19 Satış sonrası takip kriteri için birinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Satış sonrası takip		Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi								
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A₁			X							A₂
A₁	X									A₃
A₁		X								A₄
A₁				X						A₅
A₂			X							A₃
A₂				X						A₄
A₂						X				A₅
A₃						X				A₄
A₃								X		A₅
A₄							X			A₅

Ek-20 Satış sonrası takip kriteri için ikinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Satış sonrası takip	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi									
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A₁				X						A₂
A₁			X							A₃
A₁				X						A₄
A₁					X					A₅
A₂				X						A₃
A₂					X					A₄
A₂						X				A₅
A₃						X				A₄
A₃							X			A₅
A₄						X				A₅

Ek- 21 Satış sonrası takip kriteri için üçüncü karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Satış sonrası takip		Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi								
Kriter	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi									Kriter
	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	
A ₁				X						A ₂
A ₁			X							A ₃
A ₁		X								A ₄
A ₁						X				A ₅
A ₂				X						A ₃
A ₂			X							A ₄
A ₂							X			A ₅
A ₃				X						A ₄
A ₃								X		A ₅
A ₄									X	A ₅

Ek- 22 Bölgeye hâkimiyet kriteri için birinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Bölgeye hâkimiyet	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi									
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A ₁							X			A ₂
A ₁						X				A ₃
A ₁						X				A ₄
A ₁				X						A ₅
A ₂				X						A ₃
A ₂				X						A ₄
A ₂		X								A ₅
A ₃					X					A ₄
A ₃				X						A ₅
A ₄				X						A ₅

Ek- 23 Bölgeye hâkimiyet kriteri için ikinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Bölgeye hâkimiyet	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi									
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A ₁								X		A ₂
A ₁									X	A ₃
A ₁							X			A ₄
A ₁						X				A ₅
A ₂						X				A ₃
A ₂				X						A ₄
A ₂			X							A ₅
A ₃			X							A ₄
A ₃		X								A ₅
A ₄				X						A ₅

Ek- 24 Bölgeye hâkimiyet kriteri için üçüncü karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Bölgeye hâkimiyet		Bir alternatife diğer alternatife göre önem derecesi								
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A ₁						X				A ₂
A ₁						X				A ₃
A ₁				X						A ₄
A ₁			X							A ₅
A ₂					X					A ₃
A ₂			X							A ₄
A ₂		X								A ₅
A ₃			X							A ₄
A ₃		X								A ₅
A ₄				X						A ₅

Ek- 25 Esneklik kriteri için birinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Esneklik	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi										
	Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A₁							X				A₂
A₁				X							A₃
A₁				X							A₄
A₁			X								A₅
A₂			X								A₃
A₂			X								A₄
A₂		X									A₅
A₃					X						A₄
A₃				X							A₅
A₄				X							A₅

Ek- 27 Esneklik kriteri için üçüncü karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Esneklik	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi										
	Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A₁							X				A₂
A₁		X									A₃
A₁			X								A₄
A₁				X							A₅
A₂	X										A₃
A₂		X									A₄
A₂			X								A₅
A₃							X				A₄
A₃								X			A₅
A₄							X				A₅

Ek- 28 Servis kalitesi kriteri için birinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Servis kalitesi	Bir alternatifi diğer alternatife göre önem derecesi									
Kriter	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A ₁				X						A ₂
A ₁			X							A ₃
A ₁	X									A ₄
A ₁		X								A ₅
A ₂				X						A ₃
A ₂		X								A ₄
A ₂			X							A ₅
A ₃			X							A ₄
A ₃				X						A ₅
A ₄						X				A ₅

Ek- 29 Servis kalitesi kriteri için ikinci karar vericinin alternatifleri ikili karşılaştırmaları

Servis kalitesi	Bir alternatifin diğer alternatife göre önem derecesi									
	Mutlak Önemli	Çok Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Eşit Derecede Önemli	Orta Derecede Önemli	Kuvvetli Derecede Önemli	Çok Önemli	Mutlak Önemli	Kriter
A ₁						X				A ₂
A ₁			X							A ₃
A ₁			X							A ₄
A ₁				X						A ₅
A ₂		X								A ₃
A ₂		X								A ₄
A ₂			X							A ₅
A ₃					X					A ₄
A ₃						X				A ₅
A ₄						X				A ₅

Ek- 31 Birinci karar verici için kriterin ikili karşılaştırmalarının bulanık sayılar ile ifade edilişi

	Maliyet	Dokümantasyon yeterliliği	Zamanında teslimat	Firma güvenilirliği	Araç filosu	Satış sonrası takip	Bölgeye hâkimiyet	Esneklik	Servis kalitesi
Maliyet	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{9}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$
Dokümantasyon yeterliliği	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$
Zamanında teslimat	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{9}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$
Firma güvenilirliği	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{5}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$
Araç filosu	$(\tilde{9})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{9})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$
Satış sonrası takip	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$
Bölgeye hâkimiyet	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
Esneklik	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
Servis kalitesi	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{5}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$

Ek- 32 İkinci karar verici için kriterin ikili karşılaştırmalarının bulanık sayılar ile ifade edilişi

	Maliyet	Dokümantasyon yeterliliği	Zamanında teslimat	Firma güvenilirliği	Araç filosu	Satış sonrası takip	Bölgeye hâkimiyet	Esneklik	Servis kalitesi
Maliyet	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{5}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$
Dokümantasyon yeterliliği	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$
Zamanında teslimat	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$	$\tilde{9}$	$\tilde{7}$	$\tilde{3}$	$\tilde{9}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$
Firma güvenilirliği	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{9})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{9})^{-1}$
Araç filosu	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$
Satış sonrası takip	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
Bölgeye hâkimiyet	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{9})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{9})^{-1}$
Esneklik	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
Servis kalitesi	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{9}$	$\tilde{7}$	$\tilde{3}$	$\tilde{9}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$

Ek- 33 Üçüncü karar verici için kriterin ikili karşılaştırmalarının bulanık sayılar ile ifade edilişi

	Maliyet	Dokümantasyon yeterliliği	Zamanında teslimat	Firma güvenilirliği	Araç filosu	Satış sonrası takip	Bölgeye hâkimiyet	Esneklik	Servis kalitesi
Maliyet	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$	$\tilde{7}$
Dokümantasyon yeterliliği	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$
Zamanında teslimat	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$
Firma güvenilirliği	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$
Araç filosu	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$
Satış sonrası takip	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$
Bölgeye hâkimiyet	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$
Esneklik	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$
Servis kalitesi	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{1}$

Ek- 34 Maliyet kriteri için alternatifleri ikili karşılaştırmalarının bulanık sayılar ile ifade edilişi

1. Karar Verici					
Maliyet	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{7}$
A₂	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{9}$
A₃	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$
A₄	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$
A₅	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{9})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$

2. Karar Verici					
Maliyet	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$
A₂	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{7}$	$\tilde{9}$
A₃	$\tilde{3}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$
A₄	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$
A₅	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{9})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$

3. Karar Verici					
Maliyet	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$
A₂	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$
A₃	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$
A₄	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$
A₅	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$

Ek- 35 Dokümantasyon yeterliliği kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının bulanık sayılar ile ifade edilişi

1. Karar Verici					
Dokümantasyon yeterliliği	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$
A₂	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$
A₃	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$
A₄	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₅	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$

2. Karar Verici					
Dokümantasyon yeterliliği	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$
A₂	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$
A₃	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{9}$
A₄	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$
A₅	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{9})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$

3. Karar Verici					
Dokümantasyon yeterliliği	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$
A₂	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$
A₃	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$
A₄	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₅	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$

Ek - 36 Zamanında teslimat kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının bulanık sayılar ile ifade edilişi

1. Karar Verici					
Zamanında teslimat	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$
A₂	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$
A₃	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₄	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₅	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$

2. Karar Verici					
Zamanında teslimat	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₂	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{9}$	$\tilde{3}$
A₃	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{5})^{-1}$
A₄	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{9})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{7})^{-1}$
A₅	$\tilde{3}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$

3. Karar Verici					
Zamanında teslimat	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$
A₂	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₃	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$
A₄	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{5})^{-1}$
A₅	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$

Ek- 37 Firma Güvenilirliği kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının bulanık sayılar ile ifade edilişi

1. Karar Verici					
Firma güvenilirliği	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{5})^{-1}$
A₂	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₃	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{7})^{-1}$
A₄	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{7})^{-1}$
A₅	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{7}$	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$

2. Karar Verici					
Firma güvenilirliği	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₂	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{9}$	$\tilde{3}$
A₃	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{5})^{-1}$
A₄	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{9})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{7})^{-1}$
A₅	$\tilde{3}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$

3. Karar Verici					
Firma güvenilirliği	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₂	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{7}$	$\tilde{3}$
A₃	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{5})^{-1}$
A₄	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{5})^{-1}$
A₅	$\tilde{3}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$

Ek- 38 Araç filosu kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının bulanık sayılar ile ifade edilişi

1. Karar Verici					
Araç filosu	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{7}$	$\tilde{9}$	$\tilde{5}$
A₂	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$	$\tilde{3}$
A₃	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₄	$(\tilde{9})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{5})^{-1}$
A₅	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$

2. Karar Verici					
Araç filosu	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₂	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{5})^{-1}$
A₃	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{5})^{-1}$
A₄	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{7})^{-1}$
A₅	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$

3. Karar Verici					
Araç filosu	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$
A₂	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$
A₃	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$
A₄	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₅	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$

Ek- 39 Birinci karar vericinin satış sonrası takip kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının bulanık sayılar ile ifade edilişi

1. Karar Verici					
Satış sonrası takip	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{9}$	$\tilde{7}$	$\tilde{3}$
A₂	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₃	$(\tilde{9})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$
A₄	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{5})^{-1}$
A₅	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$

2. Karar Verici					
Satış sonrası takip	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$
A₂	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₃	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$
A₄	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₅	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$

3. Karar Verici					
Satış sonrası takip	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₂	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$(\tilde{5})^{-1}$
A₃	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{7})^{-1}$
A₄	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{9})^{-1}$
A₅	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$	$\tilde{9}$	$\tilde{1}$

Ek- 40 Bölgeye hâkimiyet kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının bulanık sayılar ile ifade edilişi

1. Karar Verici					
Bölgeye hâkimiyet	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$
A₂	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$	$\tilde{7}$
A₃	$\tilde{3}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$
A₄	$\tilde{3}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$
A₅	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$

2. Karar Verici					
Bölgeye hâkimiyet	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{9})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₂	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$
A₃	$\tilde{9}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$
A₄	$\tilde{5}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$
A₅	$\tilde{3}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$

3. Karar Verici					
Bölgeye hâkimiyet	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$
A₂	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$
A₃	$\tilde{3}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$
A₄	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$
A₅	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$

Ek- 41 Esneklik kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının bulanık sayılar ile ifade edilişi

1. Karar Verici					
Esneklik	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$
A₂	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$
A₃	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$
A₄	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$
A₅	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$

2. Karar Verici					
Esneklik	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$
A₂	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{9}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$
A₃	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{9})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₄	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$
A₅	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{3}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$

3. Karar Verici					
Esneklik	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$
A₂	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{9}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$
A₃	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{9})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$
A₄	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₅	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$

Ek- 42 Servis kalitesi kriteri için alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının bulanık sayılar ile ifade edilişi

1. Karar Verici					
Servis kalitesi	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{9}$	$\tilde{7}$
A₂	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$
A₃	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$
A₄	$(\tilde{9})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₅	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$

2. Karar Verici					
Servis kalitesi	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$
A₂	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$
A₃	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₄	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{1})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$
A₅	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$

3. Karar Verici					
Servis kalitesi	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{7}$
A₂	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{9}$
A₃	$(\tilde{5})^{-1}$	$(\tilde{7})^{-1}$	$\tilde{1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$\tilde{3}$
A₄	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$
A₅	$(\tilde{7})^{-1}$	$(\tilde{9})^{-1}$	$(\tilde{3})^{-1}$	$(\tilde{5})^{-1}$	$\tilde{1}$

ÖZGEÇMİŞ

Nilsen Karakaşoğlu, 1982 yılında Denizli’de doğdu. Denizli Anadolu Lisesi’nden mezun olduktan sonra, 2000 yılında Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme (İngilizce) Bölümünü kazandı. 2004 yılında Pamukkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Sayısal Yöntemler A.B.D.’da araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2005 yılında Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Sayısal Yöntemler Bilim Dalı’nda yüksek lisansa başladı. Karakaşoğlu, halen aynı üniversitede araştırma görevlisi olarak görevine devam etmektedir.