

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
EKONOMETRİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERMEDE BULANIK TOPSIS
YÖNTEMİ: ENERJİ VE ENDÜSTRİ PROJELERİ
SEÇİMİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Levent TURABA

DANIŞMAN
Doç Dr. Mehmet AKSARAYLI

2016

YÜKSEK LİSANS
TEZ/ PROJE ONAY SAYFASI

2011800199

Üniversite : Dokuz Eylül Üniversitesi
Enstitü : Sosyal Bilimler Enstitüsü
Adı ve Soyadı : LEVENT TURABA
Tez Başlığı : Çok Kriterli Karar Vermede Bulanık Topsis Yöntemi: Enerji ve Endüstri Projeleri Seçimi Üzerine Bir Uygulama

Savunma Tarihi : 09/02/2016
Danışmanı : Doç.Dr.Mehmet AKSARAYLI

JÜRİ ÜYELERİ

<u>Ünvanı, Adı, Soyadı</u>	<u>Üniversitesi</u>	<u>İmza</u>
Doç.Dr.Mehmet AKSARAYLI	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	
Prof.Dr.İpek DEVECİ KOCAKOÇ	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	
Yrd.Doç.Dr.Ceyhan ARAZ	CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ	

Oybirliği (X)

Oy Çokluğu ()

LEVENT TURABA tarafından hazırlanmış ve sunulmuş "**Çok Kriterli Karar Vermede Bulanık Topsis Yöntemi: Enerji ve Endüstri Projeleri Seçimi Üzerine Bir Uygulama**" başlıklı Tezi () / Projesi () kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Mustafa Yaşar TINAR
Enstitü Müdürü

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Çok Kriterli Karar Vermede Bulanık TOPSIS Yöntemi: Enerji ve Endüstri Projeleri Seçimi Üzerine Bir Uygulama**” adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Tarih

....../...../.....

Levent TURABA

İmza

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**Çok Kriterli Karar Vermede Bulanık TOPSIS Yöntemi: Enerji Ve Endüstri
Projeleri Seçimi Üzerine Bir Uygulama**

Levent TURABA

Dokuz Eylül Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

Ekonometri Anabilim Dalı

Yöneylem Araştırması Programı

Günlük yaşantımızın ayrılmaz bir parçası olan karar verme, yönetsel başarının gerçekleşmesi için anahtar bir rol oynamaktadır. Karar vericiler amaçlarını en iyi şekilde başarmak için olabildiğince iyi kararlar almaya çalışırlar. Karar vericilerin çeşitli sorunlar karşısında seçtikleri her eylem ve davranış, bilinçli veya bilinçsiz bir şekilde verilen bir kararın yansımasıdır. Bu sorunları daha sistematik bir şekilde çözmek ve daha sağlıklı sonuçlar elde etmek için bazı yaklaşımlara ihtiyaç duyulmuştur.

Globalleşme ile birlikte ekonomik ve sosyal alanda yaşanan hızlı gelişim ve değişimler, rekabet şartlarının zorlaşmasına ve organizasyonların mevcut kaynaklarını kullanırken daha dikkatli davranmalarına neden olmuştur. Organizasyonlara değer katacak doğru kararların verilmesi için büyük ölçekli problemlerin çözüme ulaştırılması gerekmektedir. Büyük ölçekli problemlerin karar verme sürecinde, dikkate alınması gereken pek çok kriter ve alternatif bulunmaktadır. Bir karar probleminde, alternatiflerin çok sayıda kriterin varlığı altında değerlendirilmesi söz konusu olduğunda, çok kriterli karar verme teknikleri kullanılmaktadır.

Karar verme, her zaman belirlilik ortamında gerçekleşmeyebilir. Gerçek hayatta kararlar çoğunlukla belirsizlik ve bulanıklık altında verilir. Karar vericiler karar verirken genellikle net değildirler ve kararlarını kesin sayısal değerlerle açıklayamazlar. Karşılaşılan karmaşık durumların modellenmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerindeki deterministik yaklaşımlar yetersiz

kalabilmektedir. Çok kriterli karar verme yöntemleri, karar verilerinin belirsiz olduğu durumlara uyarlanarak bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri olarak geliştirilmiştir.

Yapılan çalışmanın amacı, bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Bulanık TOPSIS tekniğinin, karar verme yöntemlerinin içerisindeki yerini belirleyerek, karar vericilerin amaçları doğrultusunda karar sonucuna ne derecede etkin ve hızlı ulaştırdığını ortaya koymak ve büyük ölçekli enerji ve endüstri projelerinin seçimini ve önem derecelerine göre sıralanmasını sağlayacak bir model önerisi sunmaktır.

Çalışma, inşaat ve mühendislik alanında faaliyet gösteren ve pazarda önemli bir paya sahip olan bir anonim şirketin, Türkiye'nin belirli bölgelerinde gerçekleştirmek istediği enerji ve endüstri projelerinin Bulanık TOPSIS tekniği ile değerlendirilmesini kapsamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çok Kriterli Karar Verme, TOPSIS, Bulanık Çok Kriterli Karar Verme, Bulanık TOPSIS, Bulanık Mantık, Bulanık Kümeler, Proje Seçimi

ABSTRACT

Master's Thesis

**Fuzzy TOPSIS Method in Multi Criteria Decision Making: An Application on
Selection of Energy and Industrial Projects**

Levent TURABA

Dokuz Eylül University

Graduate School of Social Sciences

Department of Econometrics

Operations Research Program

Decision making which is an integral part of our daily lives, plays a key role in the realization of managerial success. Decision makers try to take the best decisions to achieve their goals. Every action and behavior selected by decision makers across a variety of problems reflects consciously or unconsciously a decision given. Some approaches are needed to solve more systematically this problems and obtain more reliable results.

Rapid developments and changes occurring in economical and social field along with globalization have caused to get difficult competing conditions and to be more careful in using current resources of organizations. In order to make right decisions that add values to organizations, large scale problems need to be solved. In decision making process of large scale problems, there has been lots of criterias and alternatives that need to be considered. In a decision problem, in the case of evaluating of alternatives in the presence of many criterias, multi-criteria decision making techniques are used.

Decision making can not always come true in the certainty environment. In real life, decisions often are given under uncertainty and fuzziness. Decision makers when deciding usually are not clear and can not explain exact numerical values their decisions. Deterministic approaches in multi criteria decision making methods are inadequate for modeling complex situations encountered. Multi criteria decision making methods has been developed as fuzzy multi

criteria decision making methods by adapting situations where the data is uncertain.

Aim of study is to reveal how effective and fast for the purposes of decision makers by determining place of fuzzy TOPSIS technique that is one of fuzzy multi criteria decision making methods in the decision making techniques and offer a model proposal to enable selection and ranking according to the level of importance of the large-scale energy and industrial projects.

The study, a joint stock company which operates in the construction and engineering sectors and has a significant market share, includes assessment with fuzzy TOPSIS technique energy and industry projects wanting to achieve in Turkey's certain areas

Keywords: Multi Criteria Decision Making, TOPSIS, Fuzzy Multi Criteria Decision Making, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy Logic, Fuzzy Sets, Project Selection

**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERMEDE BULANIK TOPSIS YÖNTEMİ:
ENERJİ VE ENDÜSTRİ PROJELERİ SEÇİMİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA**

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	ii
YEMİN METNİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLolar LİSTESİ	xvii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xviii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

KARAR VERME

1.1. KARAR VERME KAVRAMI VE KARAR VERME PROBLEMLERİ	5
1.2. KARAR VERME SÜRECİ	6
1.3. KARAR VERME TÜRLERİ	7
1.3.1 Kriter Sayısı Açısından Karar Verme	7
1.3.1.1 Tek Kriterli Karar Verme	7
1.3.1.2 Çok Kriterli Karar Verme	7
1.3.2 Mevcut Bilgi Açısından Karar Verme	8
1.3.2.1 Belirlilik Altında Karar Verme	8
1.3.2.2 Belirsizlik Altında Karar Verme	8
1.3.2.2.1 Laplace Kriteri	9
1.3.2.2.2 Maksimin (Minimaks) Kriteri	9
1.3.2.2.3 Savage Kriteri	10

1.3.2.2.4 Hurwicz Kriteri	10
1.3.2.3Risk Altında Karar Verme	11
1.3.3 Karar Verici/Vericiler Açısından Karar Verme	11
1.4.İYİ VE KÖTÜ KARAR ARASINDAKİ FARKLAR	11

İKİNCİ BÖLÜM

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

2.1.ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME KAVRAMI	13
2.2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME SÜRECİ	14
2.3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME SÜRECİ AŞAMALARI	15
2.4.ÇOK KRİTERLİ KARAR VERMENİN SINIFLANDIRILMASI	18
2.5.ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME PROBLEMLERİNİN HİYERARŞİK YAPISI VE UNSURLARI	19
2.5.1 Karar Verme Birimi / Karar Vericiler	21
2.5.2 Alternatifler	22
2.5.3 Kriterler	24
2.5.4 Amaçlar	24
2.5.5 Problem	24
2.5.5.1 Karar verme problemleri	25
2.5.5.2 Karar Verme Problemlerinin Sınıflandırılması	26
2.5.6 Ağırlıklar	27
2.5.7 Ağırlıkların Belirlenmesi	27
2.5.7.1 Sıralama Yoluyla Kriterlerin Ağırlıklandırılması	28
2.5.7.2 Özdeğer Yöntemiyle Kriterlerin Ağırlıklandırılması	28
2.5.8 Sonuç Aşaması	29
2.6.ÇOK KRİTERLİ KARAR VERMENİN YARARLARI	30
2.7.ÇOK KRİTERLİ KARAR PROBLEMLERİNİN ORTAK ÖZELLİKLERİ	30
2.8. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	31
2.8.1 Baskınlık Yöntemi	32
2.8.2 Maksimin Yöntemi	33
2.8.3 Maksimaks Yöntemi	33

2.8.4 Birleşik Yöntem	34
2.8.5 Ayrık Yöntem	34
2.8.6 Leksikografik Modeller	35
2.8.7 Niteliklerine Göre Eleme	35
2.8.8 Doğrusal Atama Yöntemi	36
2.8.9 Ağırlıklı Toplam Yöntemi	36
2.8.10 Ağırlıklı Çarpım Yöntemi	36
2.8.11 TOPSIS Yöntemi	37
2.8.12 TOPSIS Yönteminin Uygulama Adımları	38
2.8.12.1 Karar Matrisinin Oluşturulması	39
2.8.12.2 Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması	39
2.8.12.3 Normalize Ağırlıklandırılmış Karar Matrisinin Oluşturulması	40
2.8.12.4 Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Belirlenmesi	40
2.8.12.5 Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Setine Uzaklıkların Ölçülmesi	41
2.8.12.6 İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması	42
2.8.12.7 Önem Sıralamasının Yapılması	43
2.8.13 AHP Yöntemi	43
2.8.14 PROMETHEE Yöntemi	44
2.8.15 ELECTRE Yöntemi	46
2.8.16 VIKOR yöntemi	47
2.9. KARAR DESTEK SİSTEMLERİ	48

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK MANTIK

3.1. MANTIĞIN GELİŞİMİ	50
3.2. KLASİK MANTIK VE ÖNERMELER	51
3.3. SEMBOLİK MANTIK	51
3.4. ÇOK DEĞERLİ MANTIK	52
3.5. BULANIK MANTIK	53
3.6. BULANIK KÜMELER	55
3.6.1 Bulanık Kümelerin Gösterimi	59

3.6.2 Bulanık Küme Özellikleri	61
3.6.2.1 Eşitlik Kavramı	61
3.6.2.2 Yükseklik Kavramı	62
3.6.2.3 Normallik Kavramı	62
3.6.2.4 Kernel Kümesi	63
3.6.2.5 Destek Kümesi	63
3.6.2.6 Sınır Kümesi	64
3.6.2.7 Geçiş Noktası (Cross-Over Point)	65
3.6.2.8 Merkez Kavramı	65
3.6.2.9 α -Kesimleri Kavramı	66
3.6.2.10 Dış Bükeylik Kavramı	67
3.6.2.11 Kardinalite Kavramı	68
3.6.2.12 Alt Küme ve Kapsama	69
3.6.3 Bulanık Kümelerde İşlemler	69
3.6.4 Bulanık Küme İşlemleri	70
3.6.4.1 Bulanık Kesişim Kümesi	73
3.6.4.2 Bulanık Birleşim Kümesi	75
3.7. ÜYELİK FONKSİYONLARI VE ÜYELİK DERECELERİ	77
3.8. ÜYELİK FONKSİYON ÇEŞİTLERİ	79
3.8.1 Üçgensel Üyelik Fonksiyonu	79
3.8.2 Yamuksal Üyelik Fonksiyonu	80
3.9. DİLSEL DEĞİŞKENLER	81

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

4.1. BULANIK TOPSIS	84
4.2 Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulama Adımları	89
4.2.1 Karar Vericilerin, Kriterlerin ve Alternatiflerin Belirlenmesi	90
4.2.2 Kriterlere ve Kriterler Altında Alternatiflere Dilsel Skorların Atanması	90
4.2.3 Dilsel Skorların Tek Bir Değere İndirgenmesi	92
4.2.4 Bulanık ve Normalize Karar Matrislerinin Oluşturulması	93

4.2.5 Bulanık Karar Matrisinin Ağırlıklandırılması	93
4.2.6 Bulanık Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Oluşturulması	94
4.2.7 Bulanık Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlere Uzaklıkların Hesaplanması	94
4.2.8 Alternatiflerin Yakınlık Katsayılarının Hesaplanması	95
4.2.9 Alternatiflerin Yakınlık Katsayılarına Göre Sıralanması	95

BEŞİNCİ BÖLÜM

BULANIK TOPSİS YÖNTEMİ İLE ENERJİ VE ENDÜSTRİ PROJELERİ SEÇİMİ

5.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ	97
5.2. ARAŞTIRMANIN KAPSAMI	97
5.3. BULANIK TOPSİS YÖNTEMİNİN SEÇİLME NEDENİ	98
5.4. VERİLERİN TOPLANMASI	98
5.5. ALTERNATİF PROJELERİN BELİRLENMESİ	98
5.6. PROJE SEÇİM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ	99
5.7. PROJE SEÇİM KRİTERLERİNİN AĞIRLIKLANDIRILMASI İÇİN DİLSEL SKORLARIN ATANMASI	102
5.8. KRİTERLER ALTINDA ALTERNATİFLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN DİLSEL SKORLARIN ATANMASI	106
5.9. BULANIK KARAR MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI	111
5.10. NORMALİZE EDİLMİŞ BULANIK KARAR MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI	112
5.11. AĞIRLIKLIL NORMALİZE EDİLMİŞ BULANIK KARAR MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI	113
5.12. BULANIK POZİTİF VE NEGATİF İDEAL ÇÖZÜMLERİN BELİRLENMESİ	115
5.13. BULANIK POZİTİF İDEAL ÇÖZÜM VE BULANIK NEGATİF İDEAL ÇÖZÜMLERDEN UZAKLIKLARIN HESAPLANMASI	115
5.14. ALTERNATİFLERİN YAKINLIK KATSAYILARININ HESAPLANMASI	118
5.15. ALTERNATİFLERİN YAKINLIK KATSAYILARINA GÖRE SIRALANMASI	120
5.16. BULANIK TOPSİS VE TOPSİS YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	121
SONUÇ	122
KAYNAKÇA	129

KISALTMALAR

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
BÇKKV	Bulanık Çok Kriterli Karar Verme
BD	Biraz Düşük
Bİ	Biraz İyi
BK	Biraz Kötü
BNİÇ	Bulanık Negatif ideal Çözüm
BPIÇ	Bulanık Pozitif ideal Çözüm
BTOPSIS	Bulanık TOPSIS
BY	Biraz Yüksek
CC	Yakınlık Katsayısı (Closest Coefficient)
ÇAKV	Çok Amaçlı Karar Verme
ÇD	Çok Düşük
Çİ	Çok İyi
ÇK	Çok Kötü
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
ÇNKV	Çok Nitelikli Karar Verme
ÇY	Çok Yüksek
D	Düşük
ELECTRE	Elimination and Choice Expressing the Reality
İ	İyi
K	Kötü
KV	Karar verici
Max	Maksimum
Min	Minimum
O	Orta
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluations
TOPSIS	Technique For Order Preference By Similarity To An İdeal Solution
V.D.	Ve Diğerleri

VIKOR
Y

Vlsekriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje
Yüksek

SİMGELER

$\tilde{A}$: A bulanık kümesi

A_i : i. Alternatif Proje

a_{ij} : i. Alternatifin j. Kriter için Performans Değeri

A^- : Bulanık Negatif ideal Çözüm Kümesi

A^* : Bulanık Pozitif ideal Çözüm Kümesi

CC_i : i. Projenin Yakınlık Katsayısı

$\tilde{D}$: Bulanık karar matrisi

$\tilde{d}_i^-$: Bulanık Negatif ideal Çözümünden Uzaklıklar Toplamı

$\tilde{d}_i^*$: Bulanık Pozitif ideal Çözümünden Uzaklıklar Toplamı

K_i : i. Proje Seçim Kriteri

KV_i : i. Karar Verici

$\tilde{R}$: Normalize edilmiş bulanık karar matrisi

$\tilde{r}_{ij}$: i. Projenin j. Kriterinin Normalize Edilmiş Değeri

S^- : Negatif ideal Çözüm Setine Uzaklık

S^* : Pozitif ideal Çözüm Setine Uzaklık

$\tilde{V}$: Ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi

v_{ij} : i. Projenin j. Kriteria Göre Ağırlıklandırılmış Değeri

$\tilde{W}$: Bulanık ağırlıklar matrisi

x_{ij} : i. Projenin j. Kriter Değeri

μ_x : x'in Üyelik Fonksiyonu

U : Bulanık kümelerde birleşim işareti

$\cap$: Bulanık kümelerde kesişim işareti

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: Çok Nitelikli Karar Verme ve Çok Amaçlı Karar Verme Karşılaştırma Tablosu	s. 19
Tablo 2: Değerlendirme Faktörlerinin İkili Karşılaştırılmasında Kullanılan Önem Skalası	s. 29
Tablo 3: Bulanık Teklikler	s. 60
Tablo 4: Kriterlerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Değişkenler	s. 90
Tablo 5: Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Değişkenler	s. 91
Tablo 6: Yakınlık Katsayılarına Göre Kabul Koşulları	s. 96
Tablo 7: Kriterlerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Sözel Değişkenler	s. 103
Tablo 8: Kriterlerin Karar Vericiler Tarafından Değerlendirme Sonuçları	s. 104
Tablo 9: Kriterlerin Karar Vericiler Tarafından Değerlendirme Sonuçlarının Üçgen Bulanık Sayılarla İfadesi	s. 105
Tablo 10: Kriterlerin Önem Ağırlıkları	s. 105
Tablo 11: Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Sözel Değişkenler	s. 106
Tablo 12: Karar Verici 1 için Alternatiflerin Kriterler Altında Değerlendirme Sonuçları	s. 107
Tablo 13: Karar Verici 1 için Alternatiflerin Kriterler Altında Değerlendirme Sonuçlarının Üçgen Bulanık Sayılarla İfadesi	s. 108
Tablo 14: Karar Verici 2 için Alternatiflerin Kriterler Altında Değerlendirme Sonuçları	s. 109
Tablo 15: Karar Verici 2 için Alternatiflerin Kriterler Altında Değerlendirme Sonuçlarının Üçgen Bulanık Sayılarla İfadesi	s. 110
Tablo 16: Bulanık Karar Matrisi	s. 111
Tablo 17: Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi	s. 112
Tablo 18: Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi	s. 114
Tablo 19: Alternatiflerin Tüm Kriterler için Pozitif İdeal Çözüm Kümesine Olan Uzaklıkları	s. 116
Tablo 20: Alternatiflerin Tüm Kriterler için Negatif İdeal Çözüm Kümesine Olan Uzaklıkları	s. 117

Tablo 21: Alternatiflerin Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Kümesine Olan Uzaklıkları	s. 118
Tablo 22: Alternatiflerin Yakınlık Katsayıları	s. 119
Tablo 23: Alternatiflerin Yakınlık Katsayıları ve Sıralamaları	s. 120
Tablo 24: Alternatiflerin Yakınlık Katsayıları Kabul Koşulları	s. 120
Tablo 25: Bulanık TOPSIS ve TOPSIS Yöntemine Göre Alternatiflerin Yakınlık Katsayıları ve Sıralamaları	s.121

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Karar Verme Süreci Çerçevesi	s. 16
Şekil 2: Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinin Hiyerarşik Yapısı	s. 20
Şekil 3: Tipik Bir Çok Kriterli Karar Problemi	s. 21
Şekil 4: Karar Verme Durumunun Doğasındaki Bazı Unsurlar	s. 22
Şekil 5: Istakoz Tuzağı Modeli	s. 23
Şekil 6: Karar Verme Problematikleri	s. 26
Şekil 7: Ayrık ve Sürekli Karar Problemleri	s. 27
Şekil 8: Çok Kriterli Karar Verme Problemleri için Yöntemlerin Sınıflandırılması	s. 32
Şekil 9: İki Boyutlu Uzayda İdeal ve Negatif İdeal Çözümlere Olan Öklid Uzaklıklar	s. 42
Şekil 10: Klasik ve Bulanık Kümenin Grafik Gösterimi	s. 57
Şekil 11: Klasik ve Bulanık Kümenin Analitik Gösterimi	s. 58
Şekil 12: Beşe Yakın Tamsayılar için Olası Bir Üyelik Fonksiyonu	s. 61
Şekil 13: Normal ve Normal Olmayan Bulanık Kümeler	s. 63
Şekil 14: Bir Bulanık Kümenin Kernel, Destek ve Sınırları	s. 64
Şekil 15: Değişik Bulanık Kümeler için Merkez Noktaları	s. 65
Şekil 16: Bulanık Kümelerin Yatay Görünümü	s. 66
Şekil 17: Dış Bükey Bulanık Bir Küme	s. 67
Şekil 18: Dış Bükey Olmayan Bulanık Bir Küme	s. 68
Şekil 19: Bulanık Sayı İşlemleri	s. 70
Şekil 20: Bulanık Kümelerin Kesişim İşleminin Gösterimi	s. 71
Şekil 21: Bulanık Kümelerin Birleşim İşleminin Gösterimi	s. 72
Şekil 22: Bulanık Kümelerin Tümleme İşleminin Gösterimi	s. 72
Şekil 23: Klasik Küme (a) ve Bulanık Küme (b) Üyelik Fonksiyonlarının Gösterimi	s. 78
Şekil 24: Geleneksel Küme Durumu	s. 78
Şekil 25: Bulanık Küme Durumu	s. 79
Şekil 26: Üçgensel Üyelik Fonksiyonu	s. 80
Şekil 27: Yamuksal Üyelik Fonksiyonu	s. 81

Şekil 28: Dilsel Değişkenin Hiyerarşik Yapısı	s. 82
Şekil 29: Bulanık TOPSIS Uygulama Adımları	s. 89
Şekil 30: Kriterlerin Önemlerini Ağırlıklandırmak için Dilsel Değişkenler	s. 91
Şekil 31: Performanslar için Dilsel Değişkenler	s. 92
Şekil 32: Projelerin Kurulacağı Yerler	s. 99
Şekil 33: Karar Probleminin Hiyerarşik Yapısı	s. 102

GİRİŞ

Karar verme, organizasyonların küreselleşme sürecinde varlıklarını sürdürebilmesi ve artan rekabet koşullarında iyi yönetebilmeleri için stratejik bir öneme sahiptir. Sürdürülebilir bir başarı ile sürekliliğin sağlanması organizasyonların varoluş amaçlarından birisini oluşturmaktadır. Örgüt amaçlarının etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi, organizasyon yöneticilerinin karşılaştıkları problemler karşısında etkili ve doğru karar vermelerini gerekli kılmaktadır. Yaşanan hızlı değişimin meydana getirdiği belirsizlikler, karar verme sürecinin yapılandırılmasını ve kontrolünün sağlanmasını giderek zorlaştırmıştır. Karar problemlerindeki değişkenlerin kesin olarak tanımlanmasının zorlaştığı bu değişim ortamı içinde yöneticiler, önceden ortaya konulmuş amaçlarına ulaşma konusunda birçok değişik sorunla karşı karşıya kalmaktadır. Kararın ne derece doğru verildiğinin göstergesi, problemlerin ne şekilde çözümlendiği, kaynakların nasıl kullanıldığı ve hedeflerin ne kadarının karşılandığı ile ilgilidir. Organizasyonlarda, performansların değerlendirilerek en uygun seçimin yapılması çok kriterli karar verme teknikleri ile mümkün hale gelmiştir.

Global dünyayı tek boyutlu olarak görebilmek ve görüleni değerlendirirken yalnızca bir tek ölçüt kullanmak giderek güçleşmektedir. Tek bir seçim ölçütünün tam anlamıyla doyurucu olması ancak çok basit, açık ve alışlagelmiş bir durumda söz konusudur. Yöneylem sınıfının özel bir dalı olan çok kriterli karar verme, karar verme sürecinde yardımcı olacak bir takım tekniklere ihtiyaç duyulması ile geliştirilmeye başlanmış ve 1970'li yılların başından beri hızla büyüyen bir araştırma alanı haline gelmiştir. Çok kriterli karar verme, adından da anlaşılacağı gibi pek çok kriterin aynı anda uygulandığı bir ortamda, en çok tercih edilen alternatifin titiz bir şekilde seçimini sağlayan bir karar verme aracıdır. Seçimde ulaşılmak istenen hedefin birçok parametre tarafından belirlendiği ve aralarından seçim yapılacak alternatiflerin her birinin kendine has avantajlarının bulunduğu durumlarda karar verme işi çok zor bir durum olacaktır. Böyle durumlarda, karar verici ya verdiği kararın sağlıklı olup olmadığını önemsemeden hemen karar verecek ya da uzun ve rasyonel olmayan analizler sonunda kuşku içerisinde bir karara varacaktır. Çok kriterli karar verme yöntemleri, alternatif ve kriter sayılarının fazla olduğu

durumlarda karar verme mekanizmasını kontrol altında tutabilmek ve karar sonucunu mümkün olduğu kadar kolay ve çabuk elde etmek için kullanılır.

Karar verme, her zaman belirlilik ortamında gerçekleşmeyebilir. Gerçek hayatta kararlar çoğunlukla belirsizlik ve bulanıklık altında verilir. Karşılaşılan karmaşık durumların modellenmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerindeki deterministik yaklaşımlar yetersiz kalmaktadır. Karar vericiler genellikle kararlarını kesin sayısal değerlerle açıklayamazlar. Alınmak istenen kararların çoğunda, kriterlerin performansları nitel veya sözel terimler kullanılarak ifade edildiği için son yıllarda bu tip durumlarda bulanık mantık anlayışı kullanılmaya başlanmıştır. Bulanık mantık anlayışı, insanın düşünme mantığına çok yakın olmasından dolayı, bu anlayışa göre alınan kararlar daha isabetli olmaktadır. Bulanık mantık üzerine ilk çalışma, 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi A. Zadeh'in "Bulanık Kümeler" (Fuzzy Sets) adlı makalesi olmuştur. Zadeh'in bu çalışması, insan düşünce ve yargılarının üyelik dereceleri veya fonksiyonları kullanılarak sayısallaştırılması esasına dayanır. Belirliliğin mevcut olduğu ortamlarda kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri, bulanık ortamlar altında karar verilerinin belirsiz olduğu durumlara uyarlanarak, bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri olarak geliştirilmiştir.

BÇKKV yöntemlerinden biri olan Bulanık TOPSIS, belirsizliğin egemen olduğu bulanık ortamlarda karar vermek için kullanılan bir tekniktir. Bulanık karar yaklaşımı kullanmanın amacı, karar vericileri sübjektif yargılarından kurtarmak ve hem nitel hem de nicel verilerle değerlendirme yapabilme olanağı tanımaktır. Karar vericiler Bulanık TOPSIS yönteminde, kriterler ve kriterlerin varlığı altında alternatifleri değerlendirirken bulanık sayılardan dolayısıyla dilsel değişkenlerden yararlanmaktadırlar.

Günümüzde hızla artan rekabet koşulları, proje bazlı çalışan organizasyonları amaçları doğrultusunda daha dikkatli kararlar almaya yönlendirmektedir. Organizasyonlar varlıklarını sürdürebilmek için sahip oldukları kaynakları en iyi şekilde kullanarak, başarılı yatırımlar yönlendirmelidirler. Başarılı bir yatırım ancak önceden tanımlanan stratejik hedefler ile gerçekleştirilen projenin sonuçlarının örtüştüğü durumlarda gerçekleşir. Projelerde zaman ve kaynak kısıtlarının yanı sıra önceden tahminlenmesi zor olan dış faktörler de önemli bir etkiye sahiptir.

Belirsizliğin ve riskin hakim olduğu projelerde farklı düzeyde teknoloji ve ekipman kullanmanın yanında iş kazaları, hava koşulları gibi faktörlerde dikkate alınmak zorundadır. Bu koşulların varlığı, proje yöneticilerin detaylara hakim olmasını zorlaştırmış ve proje yönetimini kolaylaştırıcı tekniklerin kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Yapılan çalışmanın amacı, bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Bulanık TOPSIS tekniğinin, alternatif ve kriter sayılarının fazla olduğu durumlarda, karar verme yöntemlerinin içerisindeki yerini belirlemek ve karar vericilerin amaçları doğrultusunda karar sonucuna ne derecede etkin ve hızlı ulaştırdığını ortaya koymaktır. Çalışma, Türkiye'nin belirli bölgelerinde gerçekleştirilmek istenen enerji ve endüstri projelerinin Bulanık TOPSIS tekniği ile değerlendirilmesini kapsamaktadır. Ayrıca çalışma, belirlenen hedefler açısından projelerin önem seviyelerine göre sıralanmasını sağlayacak model önerisinde bulunmaktadır.

Bulanık TOPSIS yönteminin kullanıldığı bir uygulamayla birlikte yöntemin işleyişine açıklık kazandırmayı amaçlayan bu çalışma, altı bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, karar verme ana başlığı altında, karar verme süreci ile karar verme türleri ele alınmıştır. Sağlıklı bir karar verme sürecinin nasıl gerçekleştirilebileceği ve ne gibi durumlarda hangi karar verme türlerinin ortaya çıktığı açıklanmaya çalışılmıştır.

İkinci bölümde, çok kriterli karar verme yöntemlerinin gerekliliği üzerinde durulmuştur. Bu yöntemler ve işleyiş algoritmaları kısaca açıklanmıştır. Çok kriterli karar verme problemlerin hiyerarşik yapısına ve çok kriterli karar verme sürecinde yer alan unsurların içeriğine yer verilmiştir. Karar vericilerin karar problemlerinde karşılaştıkları belirsizliklerin, karar destek sistemleri yardımıyla etkili bir şekilde nasıl çözülebileceği ortaya konulmuştur.

Üçüncü bölümde, klasik mantığın bulanık mantığa kadar olan gelişimi üzerinde durulmuştur. Bulanık küme teorisi ile dilsel değişkenlerin modele dahil edilmesinden ve üyelik fonksiyonları çeşitlerinden bahsedilmiştir. Bulanık kümelerin özellikleri açıklanmaya çalışılmıştır.

Dördüncü bölümde, bulanık kümelerin çok kriterli karar verme yöntemleriyle entegre edilmesi sonucu ortaya çıkan bulanık çok kriterli karar verme kavramı

üzerinde durulmuştur. Bulanık TOPSIS algoritması ve yapılan hesaplamalar ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, proje yönetimi ve proje kavramı çerçevesinde, projenin özellikleri, projenin parametreleri ve projenin organizasyonlardaki rolünden bahsedilmiştir. Proje yaşam döngüsü aşamaları ile özetlenmeye çalışılmıştır.

Altıncı bölümde, Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak bir şirketin hayata geçirmek istediği projelerinin değerlendirilmesine ve mevcut projelerin önem seviyelerine göre sıralanmasına yer verilmiştir. Bu bağlamda en uygun projenin belirlenmesinde yöntemin başarısı test edilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

KARAR VERME

Karar verme, yönetsel başarının gerçekleşmesi için anahtar bir rol oynamaktadır. Karar vericiler amaçlarını en iyi şekilde karşılamak için olabildiğince iyi kararlar almaya çalışırlar. Artan rekabet ile birlikte doğru kararın alınabilmesi karar vericiler için çok önemli bir hale gelmiştir (Henig ve Buchanan, 1996: 3).

Her organizasyonun sahip olduğu ve başarmak istediği hedefleri vardır. Sürdürülebilir bir başarı ile sürekliliğin sağlanması organizasyonların varoluş amaçlarından birisini oluşturmaktadır. Bu hedeflere ulaşmak için insan, para, malzeme gibi kaynaklar verimli kullanılmalı ve planlama, örgütleme, yönetme, kontrol gibi yönetsel fonksiyon performansları başarılı bir şekilde düzenlenmelidir. Bu işlevleri yürütmek için karar vericiler sürekli bir karar verme süreciyle meşguldürler (Zhang ve diğerler, 2007: 3-4).

Günlük yaşantımızın ayrılmaz bir parçası olan karar verme, basitten karmaşığa doğru oluşan ve çoklu kriterleri de içinde barındıran durumlarda, bireyler ya da gruplar tarafından gerçekleştirilir (Chankong ve Haimes, 1983: 1). Bireysel kararlar daha küçük yönetsel seviyeler gerektiren küçük organizasyonlarda verilirken, grup kararları daha büyük yönetsel seviyelerde ve büyük organizasyonlarda verilir (Zhang ve diğerler, 2007: 3-4).

Karar kelimesi, avukat, general, psikolog, iş adamı ya da bir istatistikçi tarafından kullanıldığında birçok farklı anlama gelebilir. Birine göre yasal bir durumu ifade ederken diğerine göre doğal bir davranışı diğer bir kişiye göre ise bilgiyi işlemenin bir sonucu olabilir (Zimmermann, 1996: 281).

1.1. KARAR VERME KAVRAMI VE KARAR VERME PROBLEMLERİ

Karar verme kavramı literatürde değişik şekillerde tanımlanmaktadır. Lai ve arkadaşları (1994) karar verme kavramını, karar vericiler tarafından seçilebilecek tüm alternatifler arasından, çoklu kriterler aracılığıyla en uygun olanının belirlenmesi olarak tanımlamışlardır. Mahdavi ve arkadaşlarına (2008) göre karar verme, bir amaç doğrultusunda mevcut olanak ve koşullara göre mümkün olabilecek çeşitli

faaliyetlerden en uygun olanını seçme işlemidir. Karar vermenin başka bir tanımını Lootsma (1999) şöyle yapmıştır: Karar vericiler tarafından ortaya koyulan hedef ve amaçların gerçekleştirilmesi yönünde alternatif eylem planlarından birini seçme sürecidir.

Alternatifler arasından seçim yapılabilmesi için büyük bir öneme sahip olan değerlendirme kriterlerinin çokluğu, karar problemlerinin doğmasına neden olmaktadır. Karar vericiler çevre, süreç ve kaynakların etkisi altında oluşan kısıtları memnun ederek, yapacakları seçimde birçok hedefini başarmak isterler (Lai ve diğerleri, 1994: 486). Karar problemleri, neyin satın alınacağı, bir yerin ne zaman ziyaret edilmesi gerektiği, bir yere nasıl varılacağı, seçimlerde kime oy verileceği, nerede çalışılacağı gibi küçük kararlardan, organizasyonların devamlılığını etkileyen çok büyük kararlara uzanan geniş bir yelpazeye sahiptir (Zhang ve diğerler, 2007: 3-4).

1.2. KARAR VERME SÜRECİ

Potansiyel alternatifler arasından bir eylemin seçileceği karar verme durumu, bir anda ortaya çıkan bir olgu değil, çeşitli aşamalardan geçerek oluşan bir süreçtir. Genel olarak karar verme süreci, çözüme ihtiyaç duyduğumuz zaman başlar. Her karar verme süreci kendi içinde nihai bir karar üretir. Karar verme, varsayımlara dayanan, rasyonel ya da irrasyonel olabilen bir akıl yürütme sürecidir. Sonuç olarak karar verme, karar vericinin amaçlarına en uygun alternatifini seçme işlemi iken, karar verme süreci bu işlemlerin sırasıyla yapılması anlamına gelir (Zhang ve diğerler, 2007: 5).

Bu süreçte karar verme yaklaşımları karar vericilere yardımcı olarak en çok tercih edilen seçimin titiz bir şekilde elde edilmesini sağlar. Karar verme sürecinin sağlıklı bir şekilde işlemesi için karar verme yaklaşımının aşağıdaki özelliklere sahip olması gereklidir (Saaty, 1994: 20):

- Yapılandırması basit olmalıdır,
- Hem gruplar hem de bireyler için uygun yapıda olmalıdır,
- Sezgilerimize ve genel düşüncemize uyum sağlamalıdır,
- Uzlaşmaya ve oy birliğine yönlendirmelidir,

- Konuya hakim olmak için aşırı uzmanlık gerektirmemelidir,
- Karar verme süreci kolayca gözden geçirilebilir olmalıdır.

1.3. KARAR VERME TÜRLERİ

Karar verme türlerini, değerlendirmede ele alınan kriter sayısı açısından, verinin elde edilmesi sırasında sahip olunan mevcut bilgi düzeyi açısından ve karar verme sürecine dahil olan karar verici sayısı açısından üç başlık altında sınıflandırabiliriz.

1.3.1 Kriter Sayısı Açısından Karar Verme

Kriter sayısı açısından karar verme, değerlendirmede ele alınan kriter sayısına göre tek kriterli karar verme ve çok kriterli karar verme olarak ikiye ayrılır.

1.3.1.1 Tek Kriterli Karar Verme

Karar verici için tek bir amacın var olduğu en basit karar verme problemlerindendir. Karar verici nihai karara ulaşırken, amacını en büyükmeye veya en küçükmeye çalışacaktır. Karar verme alanında yapılan ilk çalışmalar tek kriterli karar verme problemleri üzerine gerçekleşmiştir. Tek kriterli karar verme problemlerinin çözümü kolaydır ancak gerçek yaşam problemlerini yansıtmamaktadır (Şen ve Yang, 1995: 207).

1.3.1.2 Çok Kriterli Karar Verme

Çok kriterli karar verme, adından da anlaşılacağı üzere pek çok kriterin aynı anda uygulandığı bir ortamda, en çok tercih edilen seçimin titiz bir şekilde seçimini sağlayan bir karar verme aracıdır. Rasyonel bir şekilde karar verilen bir ortamda, en iyi seçim genellikle karar vericilerin amaçlarına bağlı olan ve amacın gerçekleşmesinde yardımcı olacak kısıtların en iyi biçimde doyurulduğu alternatiftir (Mendoza ve Prabhub, 2000: 108).

1.3.2 Mevcut Bilgi Açısından Karar Verme

Karar analizi, mevcut alternatifler arasından en iyisinin seçilmesiyle ilgilenir. En iyi seçimin ise akılcı bir sürecin kaliteli verilerle yönetilmesiyle mümkün olduğu görüşüne dayanır. Karar analizinde kullanılacak mevcut bilgi düzeyi karar vermeyi etkiler. Verinin kalitesi daha çok hangi şartlarda verildiği ile alakalıdır. Veri belirlilik altında verilmişse iyi olarak nitelendirilebilir ancak belirsizlik altında verilmişse veri bulanık bir şekil alacaktır. Bu durumda karar verme süreci aşağıdaki sınıflardan oluşmaktadır (Taha, 2000: 511):

1. Belirlilik altında karar verme
2. Belirsizlik altında karar verme
3. Risk altında karar verme

1.3.2.1 Belirlilik Altında Karar Verme

Belirlilik altında karar verme durumunda, karar verici mevcut alternatifler doğrultusunda yapacağı bütün hareket biçimlerinin sonuçları hakkında tam ve kesin bir bilgiye sahiptir. Karar vericiler deterministik yöntemler kullanarak optimal sonuçlara ulaşırlar ve bu yönde kararlarını verirler. Bu modeller, alternatiflerin iyi tanımlandığı, matematiksel doğrusal fonksiyonlarla ilişkilendirilebilen durumlar için çok uygundur (Taha, 2000: 511).

1.3.2.2 Belirsizlik Altında Karar Verme

Belirsizlik altında karar verme, diğer tüm riskli karar verme durumlarında olduğu gibi sonuçları tesadüfe bağlı m adet alternatifli n adet doğal durumlu karar problemleriyle ilgilidir. Risk altında karar vermeye belirsizlik altında karar vermeyi birbirinden ayıran temel fark, belirsizliğin mevcut olduğu durumlarda olasılık dağılımının bilinmiyor ya da belirlenemiyor olmasıdır. Bilgi eksikliğinin varlığı karar problemlerinin analizi için aşağıdaki yeni kriterleri ortaya çıkarmıştır (Taha, 2000: 539-541):

1. Laplace Kriteri
2. Minimaks Kriteri
3. Savage Kriteri
4. Hurwicz Kriteri

1.3.2.2.1 Laplace Kriteri

Yetersiz sebep ilkesine dayanan Laplace kriterine göre doğal durumların $P\{S_j\}$ olasılık dağılımları bilinmiyor ise bunların birbirlerinden farklı olduklarını düşünmek için bir sebep yoktur. Laplace kriteri alternatiflerin hepsinin birbirine eşit olduğunu varsayar.

Kazancın $u(a_i, s_j)$ ile gösterildiği eşitlik 1.1’de yer alan formülasyon sonucu en iyi alternatif bulunmuş olur:

$$\max_{a_i} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u(a_i, s_j) \right\} \quad (1.1)$$

Aksini belirttiğimiz durumlar için $u(a_i, s_j)$ kaybı gösterirse, maks yerine min yazılır ve eşitlik 1.2’deki gibi gösterilir:

$$\min_{a_i} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u(a_i, s_j) \right\} \quad (1.2)$$

1.3.2.2.2 Maksimin (Minimaks) Kriteri

Bu kriterin işleyişi, kötünün en iyisini bulma şeklinde bir davranışa dayanır. Eğer $u(a_i, s_j)$ kazancı gösteriyor ise maksimin kriterine karşılık gelen eşitlik 1.3’teki formülü uyguluyoruz:

$$\max_{a_i} \left\{ \min_{s_j} u(a_i, s_j) \right\} \quad (1.3)$$

Eğer $v(a_i, s_j)$ kaybı gösteriyor ise minimaks kriterine karşılık gelen eşitlik 1.4'teki formülü uygularız:

$$\min_{a_i} \{ \max_{s_j} v(a_i, s_j) \} \quad (1.4)$$

1.3.2.2.3 Savage Kriteri

Savage pişmanlık kriteri, geleneksel maksimin (minimaks) kriterinin kötümserliğini dönüşüm yoluyla orta düzeye çekmeyi hedeflemektedir. Bunu yaparken kazanç ya da kayıp yerine $r(a_i, s_j)$ kayıp ya da pişmanlık matrisini kullanmaktadır. Savage kriterinin matematiksel gösterimi eşitlik 1,5'teki gibidir:

$$r(a_i, s_j) = \begin{cases} \max_{a_k} \{ v(a_i, s_j) \} - v(a_i, s_j), & v \text{ kazançsa} \\ v(a_i, s_j) - \min_{a_k} \{ v(a_i, s_j) \}, & v \text{ kayıpsa} \end{cases} \quad (1.5)$$

1.3.2.2.4 Hurwicz Kriteri

Hurwicz kriterinin amacı, en iyimserden en kötümser karar verme davranışları aralığını yansıtmak istemesidir. Karar verme davranışları aralığı $0 \leq \alpha \leq 1$ olarak belirlenmiştir. $v(a_i, s_j)$ 'nin kazanç olduğu varsayıldığında seçilen eylemin formülü eşitlik 1.6'da tanımlanmaktadır:

$$\max_{a_i} \{ (\alpha) \max_{s_j} v(a_i, s_j) + (1-\alpha) \min_{s_j} v(a_i, s_j) \} \quad (1.6)$$

Normalde α parametresi iyimserlik indeksi olarak bilinmektedir. Ancak $\alpha=0$ değerini aldığında kötümser, $\alpha=1$ değerini aldığında iyimser sonuçlar verecektir. İyimserlik ile kötümserlik arasında kalındığında ise $\alpha=0.5$ uygun bir seçim olarak kabul görecektir. $v(a_i, s_j)$ 'nin kayıp olduğu varsayıldığında seçilen eylemin formülü eşitlik 1.7'de tanımlanmaktadır:

$$\min_{a_i} \{ (\alpha) \min_{s_j} v(a_i, s_j) + (1-\alpha) \max_{s_j} v(a_i, s_j) \} \quad (1.7)$$

1.3.2.3Risk Altında Karar Verme

Risk altında karar verme, alınacak karar doğrultusunda çeşitli olası durumların oluşabildiği ve bu durumların olasılıklarının bilinmediği karar verme halidir. Risk altında karar veren karar verici önündeki seçeneklerin ne gibi sonuçlar doğuracağını tam olarak kestiremez. Karar verici beklenen en yüksek parasal değerli alternatifi seçme yoluna gidecektir (Render ve diğerleri, 2012: 76).

1.3.3 Karar Verici/Vericiler Açısından Karar Verme

Kararlar, bireyler ve grup tarafından olmak üzere iki şekilde alınır. Bireysel kararlar nispeten daha küçük organizasyonlarda ve daha düşük yönetsel seviyelerde yapılır. Bunun yanında grup kararları ise genellikle büyük organizasyonlarda ve üst düzey yönetsel beceriye sahip olan kişiler tarafından alınır. Bireysel karar verme sürecinde tek karar verici olduğundan karar daha kolay ve daha hızlı verilir. Grup karar vermede daha önemli kararlar alınacağı için farklı bölüm yöneticileri bir araya gelerek karar vereceklerdir. Örneğin, ürün planlama kararlarında ürünün bireysel planlayıcısı öncelikli amaçlarını kar, maliyet ve işçilik olarak belirleyecektir. Bu durum birbiriyle çelişen kriterlerin ve farklı hedeflerin ortaya çıkmasına sebep olacaktır. Bazı üyeler kar hedefine önem verirken bazı üyeler maliyetlere önem verebilir. Problemin daha karmaşık bir hale gelmesi sistematik bazı yaklaşımların gerekliliğini ortaya koymaktadır. Karar verme sürecinde anahtar rol, çok çabuk değişen karar çevresinde kararların esnek bir şekilde daha hızlı verilmesi gerektiğidir ki bu durum karar vericileri daha kaliteli kararlar verebilmeleri açısından teknik desteği arttırmaları doğrultusunda yönlendirmektedir (Zhang ve diğerleri, 2007: 3-4).

1.4.İYİ VE KÖTÜ KARAR ARASINDAKİ FARKLAR

Karar teorisi, problemlerin üstesinden gelmek için sistematik ve analitik bir yoldur. İyi bir karar, mantığa dayanan, tüm olası verileri ve alternatifleri dikkate alan ve nicel yaklaşımlara başvurularak oluşturulan sürecin bir ürünüdür. Bazen iyi kararlar alındığı halde beklenmedik ya da olumsuz sonuçlar elde edilebilir. Karar iyi

hazırlanılmış bir şekilde verilirse sonucun olumsuz olması onun iyi bir karar olmadığı anlamına gelmez. Diğer yandan kötü karar; mantığa dayanmayan, elde edilebilecek tüm verileri kullanmayan, alternatiflerin tamamını dikkate almayan, uygun sayısal tekniklerden faydalanmayan eksiklikler bütünüdür. Kötü bir karar alındığında her şeyin yolunda gitmesi karar vericinin kötü bir karar aldığı gerçeğini değiştirmeyecektir (Render ve diğerleri, 2012: 70).

İKİNCİ BÖLÜM

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

Global dünyayı tek boyutlu olarak görebilmek ve görüleni değerlendirirken yalnızca bir tek ölçüt kullanmak giderek güçleşmektedir. Tek bir seçim ölçütünün tam anlamıyla doyurucu olması ancak çok basit, açık ve alışlagelmiş bir durumda söz konusudur. İnsan sistemleri yönetiminde her zaman çok boyutluluk söz konusu olmuştur. Karar vericilerin seçimleri, değerlendirmeleri ve nihai kararı vermeleri tek kriterden ziyade çok kriter üzerine kuruludur.

Çok kriterli karar verme, 1970’li yılların başından beri işletme biliminde hızla büyüyen bir araştırma alanı haline gelmiştir (Zeleny, 2005: 229-230). Çok kriterli karar verme, karar problemleriyle baş edebilen yöneylem sınıfının özel bir dalıdır (Pohekar ve Ramachandran, 2004: 367-368).

2.1.ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME KAVRAMI

Çok kriterli karar verme, adından da anlaşılacağı gibi pek çok kriterin aynı anda uygulandığı bir ortamda, en çok tercih edilen alternatifin titiz bir şekilde seçimini sağlayan bir karar verme aracıdır. Rasyonel bir şekilde karar verilen bir ortamda, en iyi seçim genellikle karar vericilerin amaçlarına bağlı olan ve amacın gerçekleşmesinde yardımcı olacak kısıtların en iyi biçimde doyurulduğu alternatiftir (Mendoza ve Prabhub, 2000: 108).

Çok kriterli karar verme yaklaşımı, çeşitli karar verme ve seçim problemlerini çözmek için kullanılır. Bu yaklaşım, her bir kriterle göre her bir alternatifin performansını ve tüm hedeflerle ilgili değerlendirme kriterlerinin göreceli ağırlıklarını belirlemek, kantitatif ve kalitatif değerlendirmeleri elde etmek için karar vericilere ihtiyaç duyar (Mahdavi ve diğerleri, 2008: 1). Çözüm önerisi getirilecek problemin belirli ihtiyaçları dikkate alınarak çok sayıda kriter tanımlanabilir. Bu kriterler, kalitatif tanımlamalara sahip olan subjektif kriterler ve kantitatif terimlere sahip olan objektif kriterler olmak üzere iki kategoride sınıflandırılabilir (Liang, 1999: 684).

Çok kriterli karar verme yöntemleri, çoklu amaçların varlığında karar vericilere karar verme süreciyle baş edebilme fırsatı veren bir metottur. Bazı

durumlarda, karar vericilerin ölçülebilen ya da ölçülemeyen çok sayıda kriter arasından seçim yapması gerekebilir. Hedefler karar vericiler için genellikle fazla kriterin varlığında birbiriyle çelişkili durumdadır. Çözüm, karar vericinin tercihlerine bağlı olmakla birlikte, bunun için karar vericiye destek olacak sistematik bir yapıya ihtiyaç vardır. Karar verme problemlerin çoğunda sürece farklı karar verici grupları dahil edilmektedir. Her bir grup farklı bakış açılarıyla farklı kriterler modele dahil eder. Karşılıklı anlaşma ve uzlaşma çerçevesinde çözüm üretilmeye çalışılır.

Diğer yandan çok kriterli karar verme yöntemleri, özellikle paydaşların farklı bakış açılarını birleştirme yoluyla dizayn ederek risk düzeyini, belirsizliği ve değerlendirmeyi entegre eden sistematik bir yaklaşım sağlar (Linkov ve diğerleri, 2006: 62).

Son otuz yıl içinde, geleneksel tek kriterli metotların yanında karmaşık çevresel problemleri çözmek için yazılım ve algoritmaların geliştirilmesi zorunluluk haline gelmiştir. Tek kriterli yöntemlerin yetersiz kalması sonucu çok kriterli yöntemler, pek çok alternatif durumunda, bunların önceliklerini ölçerek vesiralayarak yükselmesini sürdürmüştür. Özet olarak çok kriterli karar verme, çok sayıda kriterin varlığı altında karar vericilere en çok tercih edilen seçimi tespit etmesinde yardımcı olan bir tekniktir (Levy, 2005: 439).

2.2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME SÜRECİ

Çok kriterli karar verme işlemi, karar vericilerin karar problemlerinde karşılaştıkları belirsizliklerin, karar destek sistemleri yardımıyla, karşılaştırılması zor olan karmaşık kriterler altında, tatmin edici ve etkili bir şekilde çözümünü sağlayan süreci kapsamaktadır (Pohekar ve ramachandran, 2004: 367). Çok kriterli karar verme sürecinin bileşenleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Jahanshahloo ve diğerleri, 2006: 1545):

- Amaçların özellikleri ile ilgili değerlendirme faktörlerinin belirlenmesi
- Hedeflere ulaşmak için alternatif sistemlerin geliştirilmesi
- Kriterler açısından alternatiflerin değerlendirilmesi
- Çalışmaya uygun çok kriterli bir analiz yönteminin uygulanması
- Optimal olan bir alternatifin seçilmesi

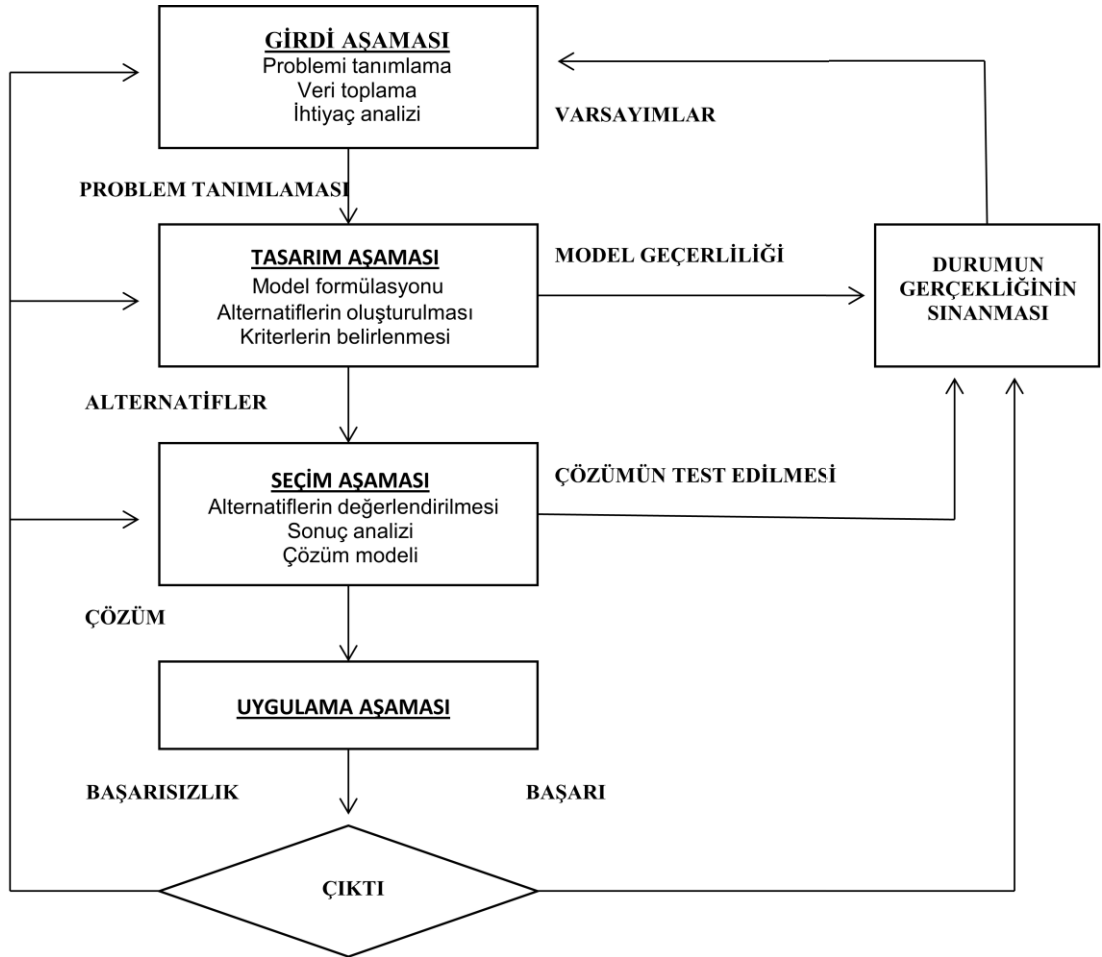
- Final çözümü kabul edilmezse, bilgi toplamak için çok kriterli optimizasyonun sonraki adımına dönülmesi

2.3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME SÜRECİ AŞAMALARI

Karar verme süreci, problemin tespit edilip tanımlandığı, verilerin toplanıp, ihtiyaçların analiz edildiği “Girdi Aşaması” ile başlar. İkinci aşama olan “Tasarım Aşaması”, alternatiflerin oluşturulduğu, bu alternatifleri değerlendirmek için kriter kümesinin belirlendiği ve modelin kurulup geçerliliğinin test edildiği aşamadır. Tasarım aşamasını takip eden “Seçim Aşaması”, model aracılığıyla sunulan çözümlerin seçimini içerir ve bu çözüm uygulanabilirliği belirlemek için test edilir. Önerilen çözüm mantıklı ise son aşamaya geçilir ve “Uygulama Aşaması”, gerçek problemin çözümünün başarılı bir şekilde uygulanması ile sonuçlanır. Başarısızlık durumunda sürecin önceki aşamalarına geri dönülür (Zhang ve diğerleri, 2007: 5-6).

Karar vericilerin karar verme sürecini anlamaları ve kolayca takip edebilmeleri için Şekil 1’deki çerçevenin bir uzantısı olarak aşağıdaki dokuz adımı takip etmeleri gerekir (Zhang ve diğerleri, 2007: 7-8):

Şekil 1: Karar Verme Süreci Çerçevesi



Kaynak: Zhang ve diğerleri, 2007: 7.

Karar Probleminin Tanımlanması

Bir karar problemini tanımlamak, yönetsel varsayımlar, örgütsel sınırlar ve istenen koşullar hakkında iyi bir anlayış gerektirir. Bu adım, net bir şekilde karar problemini ifade etmeyi ve problemin çözümü için en iyi şekilde hazırlanmayı hedeflemektedir.

Gereksinimlerin Analiz Edilmesi

Gereksinimler karar probleminin olası çözümler kümesini açıklayan kısıtlardır. Karar durumunun analiz edilmesi ve veri toplanması yoluyla gereksinimlerin ne olduğu ortaya konulabilir.

Amaç ve Hedeflerin Kurulması

Bu adım karar probleminin amaçlarını tanımlar. Amaçlara ulaşmak için birden çok hedefin en üst düzeyde tatmin edilmesi istenmektedir. Hedeflerin birbirleriyle çatışması söz konusu olabilir ancak bu karar problemlerinin doğal bir sonucudur.

Alternatiflerin Oluşturulması

Elde edilen amaçlar alternatifleri oluşturmaya yardımcı olmak için kullanılır. Fakat herhangi bir alternatifin gereksinimleri karşılaması gerekir. Mantıklı bulunmayan alternatifler ileride görüşülmek üzere modelden çıkarılarak alternatiflerin açık bir listesi elde edilmelidir.

Gerekli Olan Kriterlerin Belirlenmesi

En iyi alternatifin seçilmesi için hedeflere yönelik tüm alternatiflerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Hedefler doğrultusunda alternatifleri karşılaştırmak için kriterlere ihtiyaç duyulur. Her bir alternatifin hedeflere ulaşmada ne kadar etkili olduğunu ölçmek için ayırt edici kriterlerin tanımlanması gereklidir.

Karar Verme Yönteminin Seçilmesi

Karar problemlerini çözmek için kullanılabilecek bir kaç yöntem her zaman vardır. Uygun yöntemin seçimi, somut bir karar probleminin varlığına ve karar vericinin tercihine bağlıdır. Bazı yöntemler, belirli bir karar verici kitlesi tarafından

belirli karar problemleri için diğerlerinden daha uygun bulunmaktadır. Uzmanlık ve deneyim ölçütleri bu yöntemin seçimde belirleyici olacaktır. Ancak karmaşık karar problemleri entegre yöntemler gerektirebilir.

Kriterler Altında Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Seçilen metod tarafından desteklenen ve belirlenen kriterler kullanılarak, amaçlara uygun alternatiflerin değerlendirilmesi yoluyla geçici karar verilir.

Problemin Durumuna Yönelik Çözümleri Doğrulamak

Geçici olarak seçilen alternatif kayda değer bir olumsuzluğa sahip değilse seçim yapılır. Ancak karar verme yöntemi uygulanarak seçilen alternatifin, karar probleminin hedeflerine ve gereksinimlerine yönelik olarak her zaman geçerliliğinin doğrulanması gerekir.

Problemin Uygulanması

Süreçten, karar vermenin çeşitli alternatifler arasından bir seçim yapma eylemi olduğu anlaşılmaktadır. Karar problemi için elde edilen çözüm kullanılır.

2.4.ÇOK KRİTERLİ KARAR VERMENİN SINIFLANDIRILMASI

Literatürde çok kriterli karar verme problemlerine, çok nitelikli karar verme ve çok amaçlı karar verme olmak üzere iki yaklaşım vardır. Çok nitelikli karar verme problemleri çok amaçlı karar verme problemlerinden ayrılır. Çok nitelikli karar vermede, önceden belirlenen sayıda alternatif söz konusudur ve bu alternatiflerin her birine ilişkin ulaşılabilecek başarı düzeyleri belirlenmektedir. Çok amaçlı karar vermede ise alternatiflerin sayısı önceden belirlenememekte ve modelin amacı en iyi alternatifi belirlemektir. Çok amaçlı karar verme, karar vericinin ulaşmak istediği amaç doğrultusunda bir ya da daha çok niteliğin iyileştirilmesi sürecidir. Örnek vermek gerekirse, bir üniversitede öğrencilere burs verilmek isteniyor. Burada

bursun en iyi şekilde en uygun kişilere dağıtılması bir amaç olarak görülüyor. Bu işlemi gerçekleştirirken de öğrencinin durumu göz önüne alınacaktır. Öğrencinin ailesinin gelir durumu nicel nitelik, öğrencinin üniversite içinde etkin olma durumu nitel nitelik olarak değerlendirilecektir (Wimatsari ve diğerleri, 2013: 311). Bu iki yaklaşımın hedefe ulaşmada en iyi şekilde sonuç vermesi için entegre olmuş haline çok kriterli karar verme yöntemi denir (Kahraman, 2008: 2-3). Tablo 1’de çok kriterli karar verme yöntemini oluşturan bu iki sınıfın özellikleri arasındaki karşılaştırma gösterilmiştir.

Tablo 1: Çok Nitelikli Karar Verme ve Çok Amaçlı Karar Verme Karşılaştırma Tablosu

	Çok Amaçlı Karar Verme	Çok Nitelikli Karar Verme
Kriter tanımlayıcı	Amaçlar	Ölçütler
Amaç Tanımları	Açık	Üstü Kapalı
Ölçüt Tanımları	Üstü Kapalı	Açık
Kısıt Tanımları	Açık	Üstü Kapalı
Alternatif Tanımları	Üstü Kapalı	Açık
Alternatiflerin Sayısı	Sonsuz(Büyük)	Sonlu(Küçük)
Karar Vericinin Rolü	Önemli	Kısıtlı
Karar Modelinin Paradigması	Sürece Yönelik	Çıktıya Yönelik
İlgi Alanı	Tasarım / Araştırma	Değerlendirme / Seçim

Kaynak: Hwang ve Yoon, 1981: 4.

2.5.ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME PROBLEMLERİNİN HİYERARŞİK YAPISI VE UNSURLARI

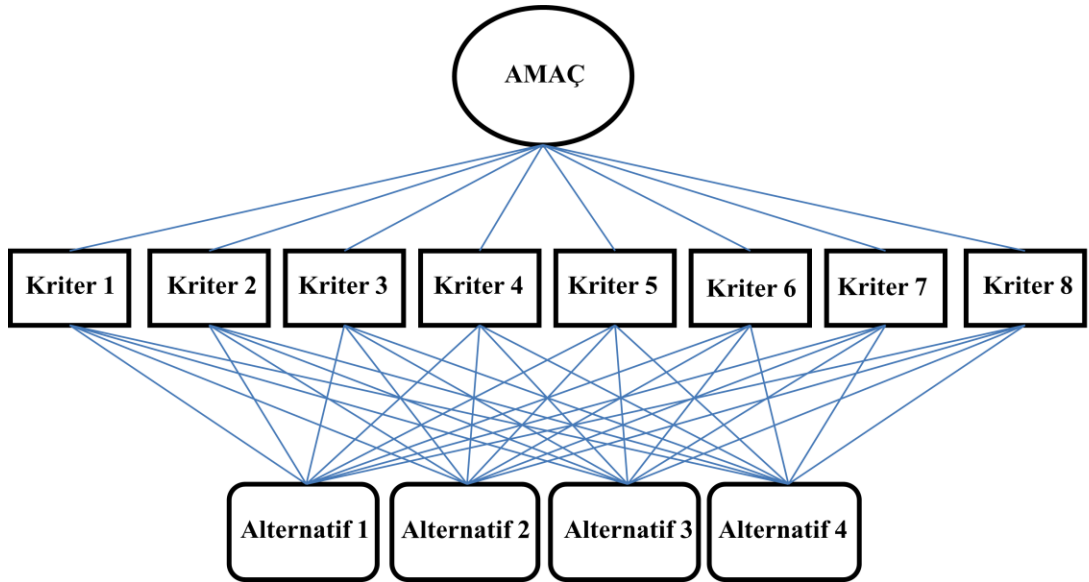
Karar, olası adaylar arasından en iyisinin seçilmek istendiği bir süreçtir. Bununla birlikte yapılan seçimler her zaman kolay olmamaktadır. Alternatifler arasında seçim yapmak için çeşitli ölçüler vardır. Performans kriterlerine bağlı olarak diğerlerine üstün gelen herhangi bir alternatif elde edilemeyebilir. Kriter sayısı çok fazla olduğunda karar verici değerlendirme yapma yeteneğine sahip olmayabilir. Karar verici global bir değerlendirmeye ulaşmak istiyorsa kriterlerin göreceli önemlerini ağırlıklandırmalıdır.

Pek çok karar uzun bir hazırlanma perioduna sahiptir. Sadece bürokrasi ve endüstriyel organizasyonlarda değil aile gibi daha küçük birimlerde de bu sorun

böyledir. Eylem için yeterli görülen bir problem tespit edildiğinde en kısa sürede bir karar verici atanır ya da karar verme organı kurulur. Üyeler alternatifleri, oluşturulankriterler açısından değerlendirebilecek yeteneğe sahip kişilerce oluşturulur (Lootsma, 1999: 2-3).

Çok sayıda kriterin aynı anda uygulandığı bir ortamda, potansiyel alternatifler arasından en çok tercih edilenin titiz bir şekilde seçimini sağlayan, çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde Şekil 2’de yer alan hiyerarşik yapı kullanılır (Dyer ve Forman, 1992: 104).

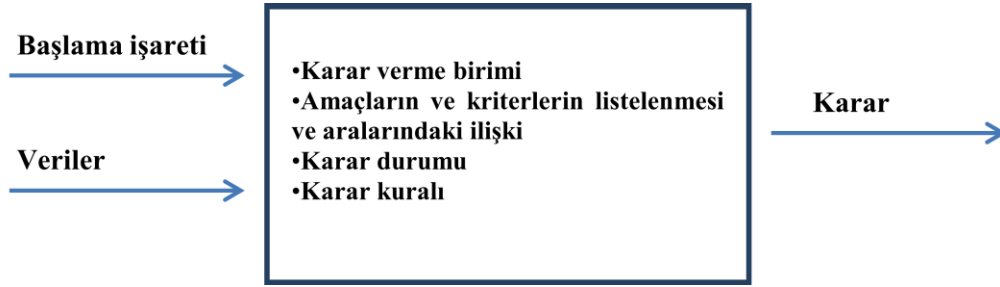
Şekil 2: Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinin Hiyerarşik Yapısı



Kaynak: Dyer ve Forman, 1992: 99-124.

Çok kriterli karar verme süreci nihai bir karar üretir. Bu karar uzlaşık bir çözüm olabileceği gibi alternatiflerin önem seviyelerine göre sıralanmış bir listesinde olabilir. Çok kriterli karar verme süreci, çözüme ihtiyaç duyulan bir problemin varlığında, başlama işareti ile başlar. Rasyonel ve doğru kararların alınması için sağlıklı veriler kullanılması sonucu karar çıktısı ile sona erer. Bu sistem Şekil 3’deki gibi şematize edilir (Chankong ve Haimes, 1983: 18):

Şekil 3: Tipik Bir Çok Kriterli Karar Problemi



Kaynak: Chankong ve Haimes, 1983: 18.

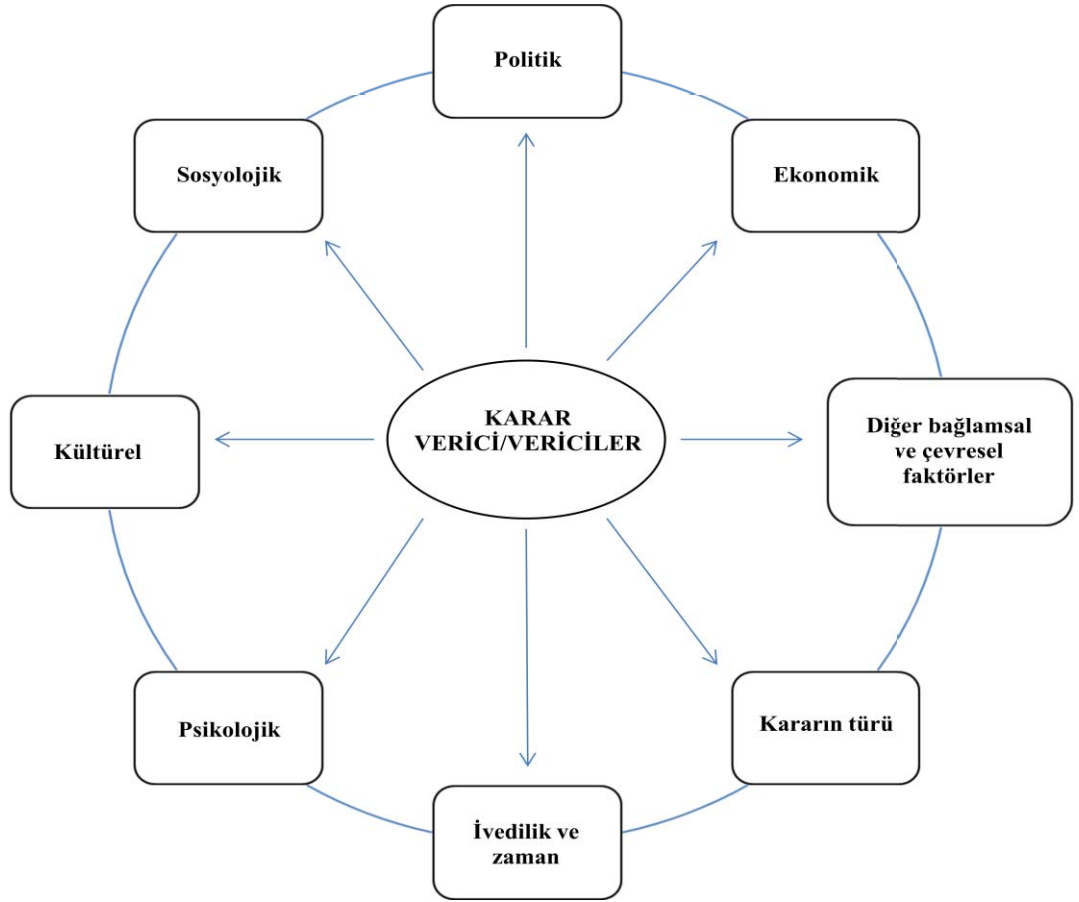
2.5.1 Karar Verme Birimi / Karar Vericiler

Karar vericiler, sistemi değiştirebilme yeteneğine sahip, kendilerinde sorumluluk ve yetkinin bulunduğu kişilerdir. Karar vericiler, en iyi seçimin belirlenmesi için mevcut alternatifleri sıralamada yardımcı olacak, doğrudan veya dolaylı olarak nihai kararı verecek bireylerden ya da gruptan oluşur. Karar vericiler, sistemin eksikliklerini ortaya koyarak yine eksikliklerin giderilmesi için fikirleri alınan karar verme birimleridir (Chankong ve Haimes, 1983: 7-8).

Karar vericiler kararlarını verirken ulaşılmak istenen hedef ve kararın sonuçları hakkında bilgi sahibi olmalıdır. Ayrıca alternatifleri sıralamada kullanılacak olan kriterlerle ilgili bilgi ve tecrübeyi taşıyor olmalıdır. Rasyonel bir kararın alınabilmesi için bu ortamın sağlanması gereklidir aksi takdirde modelin sağlıklı bir çözüme ulaşması mümkün olmayabilir.

Karar verici, tercihlerini değerlendirirken ve sıralarken her zaman tutarlı ve rasyonel davranmayabilir. Karar verme sürecinde, karar vericinin etkilendiği ve kendisinin direkt olarak etkilediği unsurlar Şekil 4’te verilmiştir (Guitouni ve Martel, 1998: 504):

Şekil 4: Karar Verme Durumunun Doğasındaki Bazı Unsurlar



Kaynak: Guitouni ve Martel, 1998: 501-521.

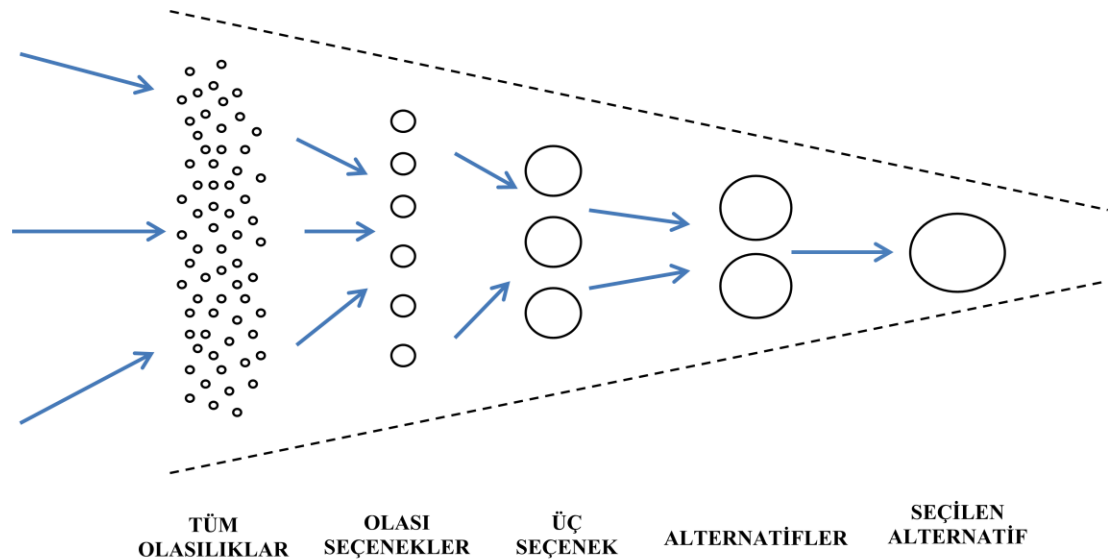
2.5.2 Alternatifler

Alternatifler, karar verme sürecinin hammaddeleridir. Hedeflerimize ulaşmak için sahip olacağımız potansiyel seçim aralıklarını temsil ederler. Alternatiflerin oluşturulması, problemin sağlıklı bir şekilde çözüme ulaşması için karar verme sürecinde çok önemli bir paya sahiptir (Hammond ve diğerleri, 1999: 45).

Karar vericilerin yapacağı eylem karşısındaki farklı seçimler alternatifleri oluşturur. Genellikle alternatif kümesinin sayısı en az iki veya daha fazla, ancak sınırlı olduğu varsayılmaktadır. Alternatifler, karar vericilerinde yardımı ile oluşturulur, değerlendirme kriterleri ile değerlendirilir ve son olarak sıralamaları yapılır (Triantaphyllou ve diğerleri, 1998: 1). Alternatiflerin sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesi için hedefleri en iyi karşılayan alternatiflerin, çözüm sürecinde karar vericilerin kafasını karıştıran ve hedefleri karşılamada yetersiz kalan alternatiflerden arındırılması gerekmektedir. Alternatiflerin elenerek en iyi sonuca ulaşabilecek düzeye kadar indirilmesini sağlayan farklı modeller vardır.

Alternatiflerin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri de Istakoz Tuzağı modelidir. Şekil5'te görüldüğü gibi; tuzak içinde ilerlerken ilk önce mümkün tüm alternatifler göz önünde bulundurulur. Daha sonra yararlı sonuçgetirebilecek olanlar çözüme ulaşmada gereksiz görülen alternatifler arasından seçilir ve diğer alternatifler elenir. Süreç daha sık incelemeler yapılarak devam eder. Bunoktadaki temel prensip şudur: “Bir şeyin yanlış olduğunu kanıtlamak, doğru olduğunu kanıtlamaktan daha kolaydır” (Adair, 2010: 23).

Şekil 5: Istakoz Tuzağı Modeli



Kaynak: Adair, 2010: 23.

2.5.3 Kriterler

Kriterler, karar vericilerin bakış açılarıyla mümkün olduğunca iyi tanımlanmış olan ve potansiyel alternatifleri karşılaştırmak, değerlendirmek ve seçmek için kullanılan performans göstergeleridir (Figueira ve diğerleri, 2005: 9).

Probleme bağlı olarak kriterlerin sayısı değişebilir. Kriterler yer aldıkları problemlerde hiyerarşik bir yapıya sahiptir. Bir kriter diğerine göre karar verici tarafından daha önemli görülebilir. Çok kriterli karar verme problemlerinde, kriterler alternatifleri nitelik, kalite ve performans açısından değerlendirerek, mevcut alternatif havuzundan en iyisinin seçilmesine yardımcı olan nesnel gerçekçiliğin tanımlayıcılarıdır (Zhang ve diğerleri, 2007: 19).

2.5.4 Amaçlar

Karar vericiler tarafından belirli bir durumun oluşması açısından arzu edilen durumdur (Zhang ve diğerleri, 2007: 19). Alternatiflerin açık bir şekilde değerlendirilmelerinin temelini oluştururlar. Amaçlar birbirleri ile çelişen ya da birbirlerini destekleyen şekilde pek çok hedefi bir arada bulundurabilir. Maliyet kriteri zaman kriteri ile ters yönlü ilişkide olmasına rağmen kar ile doğru ilişkilidir. Amaçların iyi düşünülmesi yeni ve daha iyi alternatifler türetmede yardımcı olacaktır (Hammond ve diğerleri, 1999: 31).

2.5.5 Problem

Problemi doğru bir şekilde ifade etme karar verme işleminin çerçevesini oluşturur. Alternatifleri en iyi şekilde değerlendirmenin yolu onların iyi bir şekilde tanımlanmasıyla mümkün olabilir. Doğru probleme sahip olma iyi bir başlangıca sahip olma anlamına gelmektedir. Bir karar problemi dikkat edilmeden formüle edildiğinde çok yanlış sonuçlar verebilir (Hammond ve diğerleri, 1999: 15).

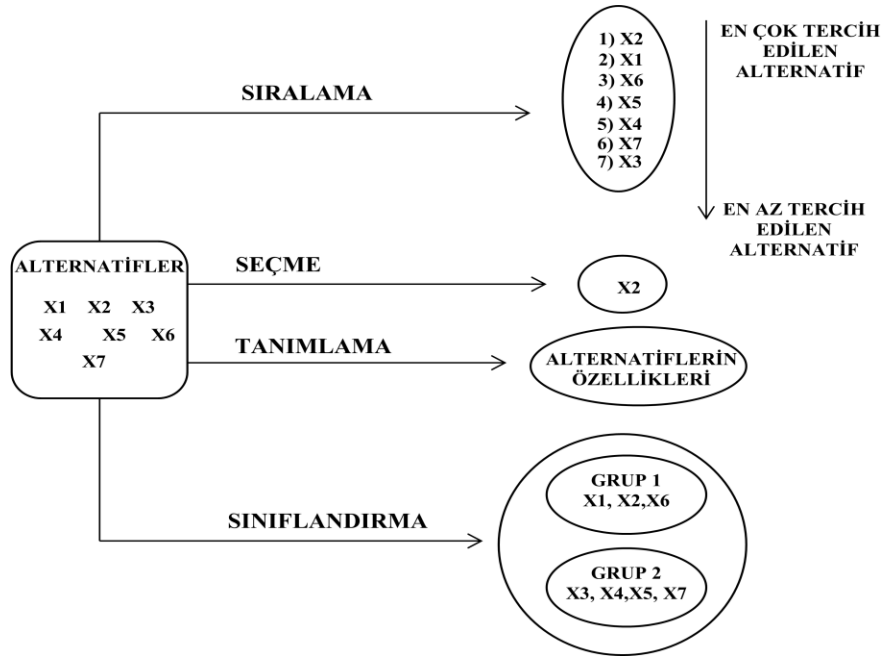
2.5.5.1 Karar verme problemleri

Kriterler aracılığı ile tanımlanan alternatifleri seçmek için karar vericilere önemli bir destek sağlamak amacıyla yapılan dört farklı analiz türü mevcuttur (Zopounidis ve Doumpos, 2002: 229-230):

1. Seçme problemi: En iyi alternatifi belirlemek ya da sınırlı olan en iyi alternatif kümesini seçmek
2. Sıralama problemi: Kötü olandan iyiye doğru alternatiflerin sıralamasını oluşturmak
3. Tanımlama problemi: Önceden tanımlanmış homojen gruplara alternatiflerin yerleştirilmesi
4. Sınıflandırma problemi: Alternatiflerin önceden tanımlanmış olan ayırt edici özelliklerine göre sınıflandırılması

Şekil 6'daki ilk üç yaklaşım belirli değerlendirme sonuçlarını elde etmemizi sağlar. Bu sonuçlar yardımıyla alternatifleri sıralayabilir ve alternatif kümesinden en iyi alternatif seçebiliriz. Son yaklaşım sınıflandırma probleminde ise karar vericiden problemi bir bütün olarak düşünmesi ve alternatifleri belirli ayırt edici özelliklerine göre değerlendirmesi istenir.

Şekil 6: Karar Verme Problematikleri



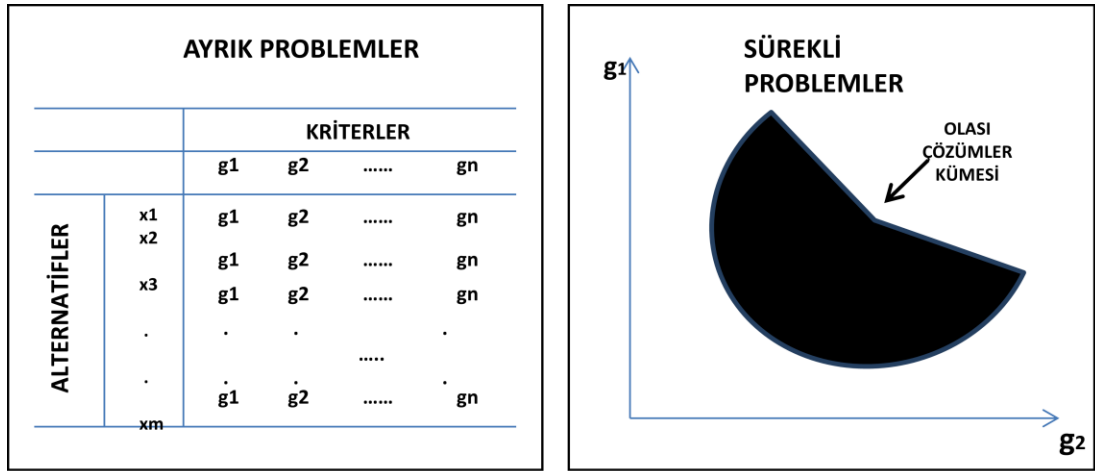
Kaynak: Doumpos ve Zopounidis, 2004: 3.

2.5.5.2 Karar Verme Problemlerinin Sınıflandırılması

Karar verme problemleri iki basit yaklaşımla sınıflandırılabilir. Bunlar alternatif kümesinin sonlu sayıda olduğu ve önceden tanımladığı “ayrık problemler” ve alternatif kümesinin sonsuz sayıda olduğu ve süreç sırasında belirlendiği “sürekli problemler”dir. Karmaşık bir karar problemiyle karşılaşan karar verici seçimini yaparken alternatifleri ve bu alternatifleri değerlendirmek istediği kriterlerinde bulunduğu bir karar matrisi oluşturabilir. Karar verici etkin bir karar verme sürecine girmeden önce Şekil 7’deki ayrık problemlerde gösterildiği gibi alternatiflerin sayısını en aza indirebilir ve daha sonra bu alternatifler arasından karar vericiyi en

çok tatmin eden alternatif seçilebilir. Şekil 7’de yer alan sürekli problemlerde ise sonsuz sayıda var olan alternatif kümesinden olası alternatiflerin yer aldığı bölgeye gidilerek uygun alternatifler seçilir. Bu tür problemlere örnek olarak, bir ekonominin sahip olduğu kaynakların alternatif kullanım alanları arasında dağılımını gösteren kaynak tahsisi problemleri gösterilebilir (Doupouos ve Zopounidis, 2002: 1-2).

Şekil 7: Ayrık ve Sürekli Karar Problemleri



Kaynak: Doupouos ve Zopounidis, 2004: 2.

2.5.6 Ağırlıklar

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin çoğunda alternatifleri değerlendirmek için kullanılan kriterlere önem ağırlıkları atanır. Problem içinde kriterlere atanan ağırlıklar genellikle normalize edilir (Triantaphyllou ve diğerleri, 1998: 2).

2.5.7 Ağırlıkların Belirlenmesi

Karar verici alternatifleri değerlendirirken, alternatiflerin güçlü ve zayıf yönlerini kriterler aracılığıyla belirler. Ancak karar verici için her kriter alternatifleri değerlendirmede aynı öneme sahip olmayabilir. Kriterlerin birbirlerine karşı üstünlükleri belirlenip kriter ağırlıkları elde edilmektedir. Sıralama yoluyla kriterlerin

ağırlıklandırılması ve özdeğer yöntemi ile kriterlerin ağırlıklandırılması kullanılan bazı yaklaşımlardır.

2.5.7.1 Sıralama Yoluyla Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Ağırlıkların bulunmasında kullanılan bu yöntem de kriterler belirli bir ölçek yardımı ile önem seviyelerine göre sıralanır. Kriterler önem ağırlıklarına göre 0-1 ölçeğinde değerlendirilir. En önemli kriter “1” değerini alır ve “n” tane kriter için bu sayı azalarak devam eder (Stillwell ve diğerleri, 1981: 67-68).

Sıralı karşılıklı ağırlıklar, kriterlerin normalize karşılıklı sıralamasından türetilir ve eşitlik 2.1 ve eşitlik 2.2 yardımıyla elde edilir:

$$w_i = \frac{\frac{1}{R_i}}{\sum_{j=1}^N R_j} \quad (2.1)$$

$$w_i = \frac{N - R_i + 1}{\sum_{j=1}^N (N - R_j + 1)} \quad (2.2)$$

İ’nci kriter için normalize edilmiş ağırlık W_i ile gösterilir. R_i İ’nci kriterin sırasını “n” ise kriter sayısını göstermektedir. İlk formülden “Karşılıklı Ağırlıklar”, ikinci formülden ise kriterlerin tüm kriterler içerisindeki payını gösteren “Toplam Ağırlıklar” elde edilir.

2.5.7.2 Özdeğer Yöntemiyle Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Bu ağırlıklandırma yönteminde, değerlendirme kriterlerin birbirleri ile arasındaki üstünlüklerine bakılmak için karşılaştırma matrisi oluşturulur. Oluşturulan matris bir kare matristir ve bu matrisin köşegeni üzerindeki değerler “1” değerini alır (Saaty, 1990: 12-15).

Değerlendirme kriterlerinin karşılaştırması karşılıklı olarak sahip oldukları önem seviyelerine göre yapılır. Faktörler karşılaştırılırken Saaty tarafından geliştirilen Tablo 2’de verilen önem skalası kullanılır.

Tablo 2: Değerlendirme Faktörlerinin İkili Karşılaştırılmasında Kullanılan Önem Skalası

Önem değerleri	Değer Açıklamaları
1	Her iki faktör eşit öneme sahip
3	Satırdaki faktör sütundaki faktörden daha önemli
5	Satırdaki faktör sütundaki faktörden çok önemli
7	Satırdaki faktör sütundaki faktöre göre çok güçlü bir öneme sahip
9	Satırdaki faktör sütundaki faktöre göre mutlak üstün
2,4,6,8	Ara değerler

Kaynak: Saaty, 1994: 26.

Değerlendirmelerde satırda yer alan kriterin sütunda yer alan kritere göre üstünlüğü veya zayıflığı gösterilir. Zayıflığı göstermek için (1/önem değeri) kullanılır. Karşılaştırmalar köşegenin üzerinde kalan değerler için yapılır. Köşegenin altında kalan değerler eşitlik 2.3 yardımıyla elde edilir:

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (2.3)$$

Daha sonra, oluşturulan matrisin sütun vektörleri kullanılarak faktörlerin bütün içerisindeki ağırlıkları bulunur. Oluşturulan yeni matrisin satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınarak kriterlerin önem ağırlıkları elde edilir.

2.5.8 Sonuç Aşaması

Sonuç aşamasına geçilmeden önce problem tanımlanır, amaçlar bir bütün olarak düşünülüp ortaya konulur ve içinden seçim yapacağımız alternatif kümesi oluşturulur. Bu aşamada potansiyel alternatifler arasından en iyisini seçmek için karşılaştırmalar yapılır. İlk önce her bir alternatifin ne kadar iyi olduğunu tanımlamak ile işleme başlanır. Başka bir ifade ile her bir alternatifin hedefleri karşılamada ne kadar yeterli olduğu ortaya konulur. Sonuçlar iyi bir şekilde

yorumlanırsa daha ileri bir araştırmaya gerek kalmaksızın en iyi alternatif seçilmiş olacaktır (Hammond ve diğerleri, 1999: 65).

2.6.ÇOK KRİTERLİ KARAR VERMENİN YARARLARI

Çok kriterli karar vermenin yararlarını Belton ve Stewart (2002) şu şekilde listelemişlerdir (Belton ve Stewart, 2002: 5):

1. Çok kriterli karar verme, çoklu ve birbiriyle çelişen kriterleri açık bir şekilde dikkate alarak karar vermeye yardımcı olur.
2. Çok kriterli karar verme süreci, problemin bir bütün olarak düşünülmesine ve yapılandırılmasına yardımcı olur.
3. Çok kriterli karar vermenin temel amacı, tercih edilen eylemi belirlemede uygun ve sentez bir bilgi sunumunu ile problemin durumu hakkında bilgi sağlayarak karar vericilere kendi değer yargıları hakkında yardımcı olmak ve onlara rehberlik etmektir.
4. Çok kriterli karar verme, sezgisel karar ve tecrübelerle başvurulması yerine düşünceleri teste tabi tutarak sezgileri ve tecrübeleri tamamlamaya hizmet eder.
5. Analiz, bir denetim mekanizması sağlayarak süreci izlenebilir ve açıklanabilir bir halde karar vericiye sunar.
6. Çok kriterli karar verme, karar vericilere basit ve şeffaf bir yaklaşım sunar.

2.7.ÇOK KRİTERLİ KARAR PROBLEMLERİNİN ORTAK ÖZELLİKLERİ

Çok kriterli karar problemleri genellikle çok çeşitlilik gösterirler. Bu çeşitliliğe rağmen çok kriterli karar problemlerinin bazı ortak özellikleri aşağıdaki gibi listelenmiştir (Hwang ve Yoon, 1981: 2):

Birinci ortak özellik; çok kriterli karar problemlerinin çoklu amaç ve kriterlere sahip olmasıdır. Karar vericiler her bir problemin kurulması için o problemle ilgili amaçları, alternatifleri ve kriterleri oluşturmalarıdır.

İkinci ortak özellik; çok kriterli karar problemlerinin kriterleri arasında oluşan çatışma durumunu ifade eder. Bu çatışma durumu karar vericilerin karar almalarını

zorlaştıran bir olaydır. Örneğin, bir araba tasarlarlarken arabanın daha uzun mesafeye daha az yakıtla gidebilmesi için konfor özelliğinden vazgeçerek arabanın daha küçük boyutlara taşınması gereklidir. Karar vericiler için önemli olan iki kriter arasında bir çatışma söz konusu olmaktadır.

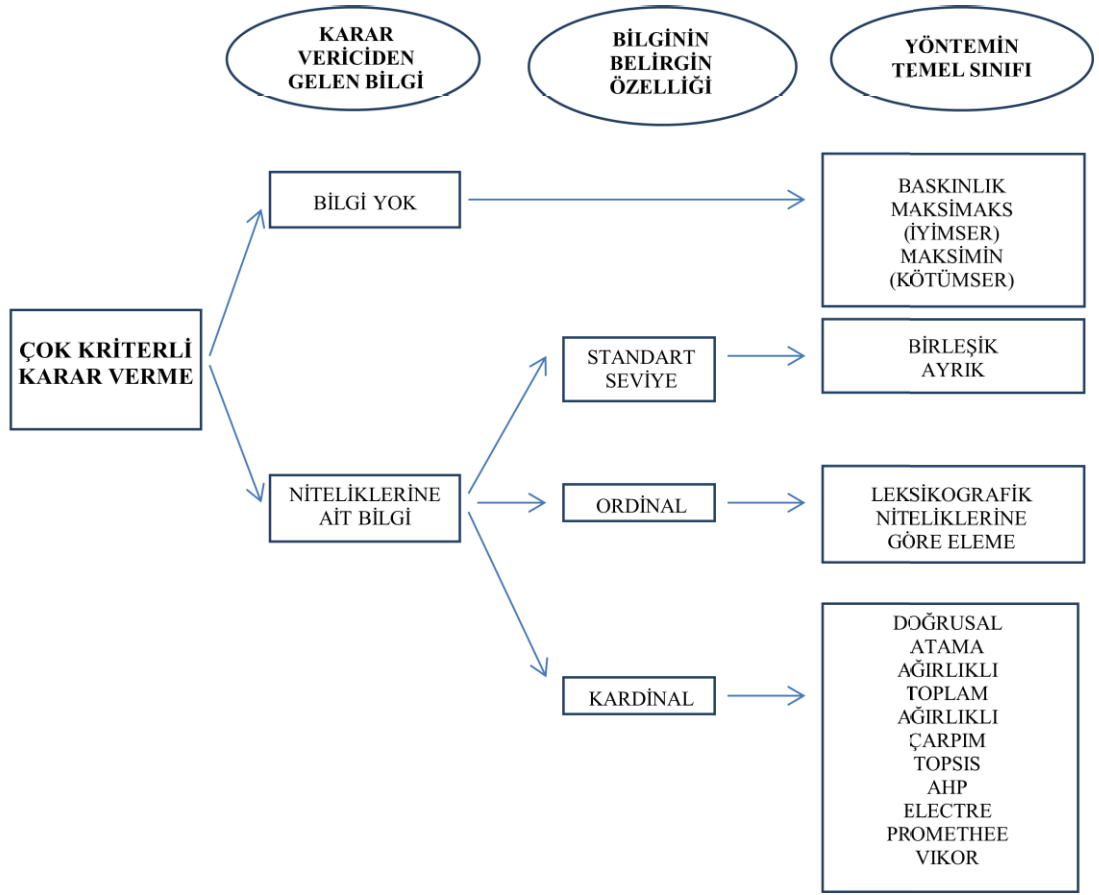
Üçüncü ortak özellik; çok kriterli karar problemlerinde her bir kriterin birbirinden farklı ölçü birimlerine sahip olmasıdır. Araba seçiminde, yakıt tüketimikilometre başına harcanan litre birimi ile, konfor yolcular için ayrılan araba içi boşluk ile, güvenlik sayısal olmayan yollar ile, maliyet ise para birimi ile ifade edilir.

Son ortak özellik; çok kriterli karar problemlerinin bir seçim veya tasarım problemleri olmalarıdır. Çok kriterli karar problemi iki şekilde çözüme kavuşturulur ya sonsuz sayıda alternatif arasından karar vericiler için en iyi alternatif tasarlanır ya da var olan sınırlı alternatif kümesinden en iyi alternatif seçilir.

2.8. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Hwang ve Yoon (1981), karar vericiden gelen bilgilerin türü ve bilgilerin belirgin özelliklerine göre çok kriterli karar verme yöntemlerini on yedi grup olarak sınıflandırmıştır. Daha sonra bu yöntemlerden bazılarının karar vericiler tarafından anlaşılmasının zor olması, fazla sayıda alternatifle uygulamalarının olmaması ve karar vericilerin çok geniş bir bilgi yelpazesine sahip olmasını gerektirdiği için çıkarılmıştır. Bu yöntemlerin yerine daha az karmaşık, uygulanabilir ve çok fazla bilgi gerektirmeyen yöntemler sınıflandırmaya dahil edilmiştir. Yeni sınıflandırmalar karar vericiden elde edilen bilginin tiplerine göre oluşturulmuştur. Bu yöntemler ve bilgi seviyeleri Şekil 8’de gösterilmiştir (Hwang ve Chen, 1992: 20):

Şekil 8: Çok Kriterli Karar Verme Problemleri için Yöntemlerin Sınıflandırılması



Kaynak: Hwang ve Chen, 1992: 20.

2.8.1 Baskınlık Yöntemi

Baskınlık yöntemi, bir alternatifin diğer alternatifler karşısında kriterlerin çoğunda eşit ve en az bir kriterde ondan üstünse o alternatifin diğer alternatife baskın olduğu temeline dayanır. Yöntemde baskın olmayan alternatiflerin elenmesi amaçlanır. Öncelikle iki alternatif karşılaştırılır ve alternatiflerin kriterler aracılığıyla birbirlerine karşı üstünlükleri incelenir. Baskın olan seçildikten sonra diğer alternatif problemden çıkarılır. Seçilen alternatif bir sonraki aşamada, diğer alternatifle kıyaslanır eğer üstün gelirse işlem böyle devam eder aksi takdirde kaldığı yerden diğer üstün alternatifle işleme devam edilir. Alternatif sayısının “m” olduğu bir durumda süreç (m-1) aşama devam eder. Hakim alternatifin arandığı problemler için

bu yöntemin kullanımı uygundur. Baskınlık yönteminin avantajları, karar verici için anlaşılması ve uygulanmasının çok kolay olması ayrıca kriterler için öncelik derecelerinin belirlenmesini gerektirmemesidir. Yöntemin dezavantajı ise atılan alternatifin toplamda, atılan diğer alternatiflerden daha iyi olabileceğinin gözden kaçırılmasıdır (Hwang ve Chen, 1992: 27).

2.8.2 Maksimin Yöntemi

Maksimin yönteminin mantığı, bir zincirin gücünün en zayıf halkanın gücü kadar olduğu görüşüdür. Bu konuda bir örnek vermek gerekirse, bir astronutun ölmesi ya da hayatta kalması onun için en önemli hayati organının durumuna bağlıdır diğer yaşamsal organlarının bir önemi kalmayacaktır. Maksimin yaklaşımına göre, bir alternatifin toplam performansını belirleyecek olan alternatifin sahip olduğu en kötü kriter değeridir. Sonuç olarak en kötü kriterler altında en iyi değere sahip olan alternatif seçilir. Yöntemin matematiksel gösterimi eşitlik 2.4'teki gibidir:

$$A^+ = \{A_i | \max_i \min_j x_{ij}\}, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (2.4)$$

Kriterler birbirlerinden farklı ölçü birimlerine sahip oldukları için yaygın bir ölçeğe ihtiyaç duyulur. Yöntemin basit ve açık olmasının yanında alternatiflerin (n-1) tane kriter göz ardı edilerek sadece bir kriter altında değerlendirilmeleri yöntemin zayıf olduğu yönleridir (Hwang ve Chen, 1992: 28).

2.8.3 Maksimaks Yöntemi

Maksimaks yönteminde, karar verici için en iyi alternatif en iyi kriter değeri tarafından belirlenir. Örnekle açıklamak gerekirse, profesyonel futbol oyuncusu pas atma, şut atma ve koşu gibi bireysel yetenekleri arasından en iyi olanı ile değerlendirilecektir. En iyi kriter değeri belirlenir ve maksimum değerli alternatif seçilir. Yöntemin matematiksel gösterimi eşitlik 2.5'tekigibidir:

$$A^+ = \{A_i | \max_i \max_j x_{ij}\}, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (2.5)$$

Maksimmin yönteminde olduğu gibi kriterler farklı ölçü birimlerine sahip oldukları için yaygın olarak kullanılan bir ölçeğe ihtiyaç duyulur. Tek bir kriter devreye sokulduğu için maksimaks yöntemi bu yönüyle bir dezavantaja sahiptir (Hwang ve Chen, 1992: 29).

2.8.4 Birleşik Yöntem

Birleşik yöntemde, karar verici tarafından tüm kriterlere atanan minimum kabul edilebilir seviyeyi karşılamayan alternatif model tarafından reddedilir. Örneğin, bir kişinin ehliyeteye sahip olabilmesi için ayrı ayrı girdiği tüm sınavlardan belirlenen minimum değeri geçmesi gerekecektir. Her kriter için atanan minimum kabul edilebilir seviyeler, kabul edilmeyen alternatiflerin elenmesi için kullanılır. Yöntemin matematiksel gösterimi eşitlik 2.6'daki gibidir:

$$x_{ij} \geq x_j^o, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2.6)$$

Yöntem karar vericiler için çok cazip kolaylıklar içermesine rağmen tek bir kriterin bile minimum değerinin altında kalması alternatifin elenmesine yol açar. Elenen aday diğer kriterleri açısından çok yüksek skorlara sahip olabilir (Hwang ve Chen, 1992: 30).

2.8.5 Ayrık Yöntem

Ayrık yöntem, her bir kriter için arzu edilen seviyelere eşit olan ve bu seviyeleri aşan alternatifleri seçmek için kullanılır. Örneğin, profesyonel futbolcu seçiminde pas atma, koşma, çalım atma gibi kriterlerde istenilen seviyeleri aşan alternatif seçilir. Alternatifler belirlenen en yüksek değerler altında değerlendirilir. Çözüm kabul edilmeyen alternatiflerin elenmesini amaçlar. Yöntemin matematiksel gösterimi eşitlik 2.7'deki gibidir:

$$x_{ij} \geq x_j^o, \quad j = 1 \text{ ve } 2 \text{ ve } \dots \text{ ve } n. \quad (2.7)$$

Ayrık yöntem bir kriter hariç diğer tüm kriterlerde çok yüksek puanlara sahip olan alternatifi de eleyecektir bu zayıf olduğu noktayı göstermektedir (Hwang ve Chen, 1992: 31).

2.8.6 Leksikografik Modeller

Bazı karar verme durumlarında tek bir kriter baskın olarak görünür. Örneğin, bir malın en ucuzunu satın almak isteyen karar verici için en önemli kriter ilgili malın fiyatıdır. Böylelikle karar verici alternatifleri en baskın kriter altında değerlendirecektir. En yüksek değere sahip olan alternatifi seçecektir. En yüksek değere sahip olan birden fazla alternatif söz konusu ise karar verici diğer kriterlere göre daha baskın olan başka bir kriterle işleme devam edecektir. İşlem tek bir alternatif seçilene kadar devam eder. Gerekli olan ilk önce tüm kriterlerin önem derecelerine göre sıralanmasıdır. Yöntemin dezavantajı diğer kriterler açısından seçilen alternatif karar verici açısından doyurucu olmayabilir (Hwang ve Chen, 1992: 32).

2.8.7 Niteliklerine Göre Eleme

Eleme süreci niteliklerin ardışık seçimleriyle yönetilir. Karar verici alternatifleri değerlendirmek için kriterlere minimum kabul edilebilir seviyeler atar. Daha sonra olasılıksal olarak ayırt etme gücü en fazla olan kriterden başlanır. Kabul edilebilir seviyenin altında olan tüm kriterler elenir. Bu süreç ayırt etme gücü en yüksek olan diğer kriterler ile devam edilir ve tek bir alternatife kadar sürdürülür. Gerekli olan kriterlerin olasılıklarına göre ayırt edici güçleri açısından sıralanmasıdır. Kullanımı ve anlaşılması kolay olan bu yöntemde, alternatif diğer tüm kriterlerde baskın olmasına rağmen tek bir kriterde kabul edilebilir seviyenin altında kaldığı için elenme durumu ile karşı karşıyadır (Hwang ve Chen, 1992: 34).

2.8.8 Doğrusal Atama Yöntemi

Doğrusal atama yönteminde, her bir kriter için alternatifler sıralanır ve kriterlere önem ağırlıkları atanır. Atanan önem ağırlıkları sıraya konulur. En yüksek sıralamaya sahip olan alternatifin seçilmesi mantığına dayanır. Alternatiflerin her kriter için sahip oldukları sıralamaları toplanır. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında veri toplamak için daha az çaba gerektirir. Yöntemin zayıf yönleri alternatifler arasındaki önemli farkları dikkate almamasıdır. Skor puanı 100 olan birinci sıradayken 50 olan da 99 olan da ikinci sırada yer almaktadır (Hwang ve Chen, 1992: 35).

2.8.9 Ağırlıklı Toplam Yöntemi

Ağırlıklı toplam yönteminde her bir kriter için alternatiflere skorlar atanır ve daha sonra bu skorlar normalize edilir. Karar verici tarafından kriterlerin önem ağırlıkları belirlenir. Kriterlerin ağırlıkları alternatiflerin normalize edilmiş skorları ile çarpılarak alternatiflerin ağırlıklı toplamaları elde edilir. İşlemler sonunda, en yüksek skoru elde eden alternatif seçilmiş olur. Yöntemin matematiksel gösterimi eşitlik 2.8'deki gibidir:

$$A^* = \{A_i | \max_i \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} / \sum_{j=1}^n w_j\} \quad (2.8)$$

Ağırlıklı Toplam yönteminde kriterler hem sayısal hemde karşılaştırılabilir olmalıdır. En iyi bilinen ve en yaygın kullanılan ağırlıklı toplam yönteminin avantajı basit ve çok kolay bir şekilde anlaşılır olmasıdır. Ağırlıklı toplam yönteminin benzer ölçüm birimlerinin olduğu durumlarda kullanılması daha uygundur. Karar matrisinin tüm birimlerinin normalize edilmesi sonucunda, ağırlıklı toplam yöntemi her tip ve sayıda faktörle kullanılabilir (Hwang ve Chen, 1992: 36).

2.8.10 Ağırlıklı Çarpım Yöntemi

Düşük kriter değerlerine sahip olan alternatifleri daha ağır bir şekilde cezalandırmak için bu yöntem kullanılır. Alternatifler aracılığıyla yapılan

değerlendirmelerin toplamı yerine çarpımları yapılır. Ağırlıklı Çarpım yönteminde de ağırlıklı toplam yönteminde olduğu gibi alternatifler kriterler aracılığıyla değerlendirilirler ve karar vericiler tarafından atanan kriterlerin göreceli ağırlıkları ile çarpılırlar. Ancak sonuca ulaşırken çarpımları alınır ve daha sonra diğer alternatiflerle oranlanırlar karşılaştırma sonucu 1 veya 1 den büyükse o alternatif diğer alternatife daha uygundur. Alternatifler ikili bir şekilde karşılaştırılarak sıralanır ve diğer alternatiflere göre daha iyi ve ya eşit olan alternatif seçilir. Yöntemin matematiksel gösterimi eşitlik 2.9'daki gibidir (Hwang ve Chen, 1992: 40):

$$A^* = \{A_i | \max_i \prod_{j=1}^n w_j x_{ij}\} \quad (2.9)$$

2.8.11 TOPSIS Yöntemi

Çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), ilk olarak 1981'de Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiştir. Electre adı verilen metodun temeli üzerine kurulmuş olan TOPSIS tekniği, ideal çözüme benzerlik yoluyla tercihlerin sıralanmasını sağlar (Hwang ve Yoon, 1981: 128). Hwang ve Yoon TOPSIS yöntemini ideal çözüme en yakın olan uzlaşıcı çözüme sahip Zeleny'nin konsepti ile geliştirerek bu tür problemlerin üstesinden gelmeye çalışmışlardır. Daha sonraları bu düşünce Zeleny (1982) ve Hall (1989) tarafından da uygulanmış ve Yoon ile Hwang (1987) ve Lai ve Liu (1993) tarafından yeniden geliştirilmiştir (Kuo ve diğerler, 2012: 347).

Karar vericiler ne zaman optimal bir kararı hem nitel hem de nicel veriler altında pek çok alternatif arasından seçmek isteseler, çok kriterli karar verme problemleri ile karşı karşıya kalırlar (Zeleny, 1974: 479). TOPSIS belirsizliğin hakim olduğu ortamlarda, birey ve grup karar verme problemlerinin çözümünde tercihlerin önceliklendirilmesi için önerilmiştir (Bhattacharjee ve diğerleri, 2012: 6).

“İdeal Çözüm Yakınlığına Dayalı Sıralama Tekniği” olan TOPSIS yöntemi, belirsizlik altında belirlenmiş olan kriterlere göre alternatifleri değerlendirilerek, alternatiflerin önem seviyelerine göre sıralanmasına ve bu alternatifler arasından en doğru seçimin yapılmasına imkan veren bir yöntemdir. TOPSIS negatif ideal

çözümünden uzaklık ile pozitif ideal çözüme yakınlığı birleştirerek ideal çözüme benzerliği tanımlar. Pozitif ideal çözüm, kriterlerin alabileceği en iyi çözümünden oluşurken negatif ideal çözüm, kriterlerin alabileceği en kötü çözümünden oluşur (Bhattacharjee ve diğerleri, 2012: 6). TOPSIS yöntemi, önem ağırlıklarının belirlenebildiği koşullar altında kullanım için çok uygundur (Kuo ve diğerler, 2012: 347). Sonuç olarak TOPSIS yöntemi, eldeki potansiyel alternatifleri kriterler aracılığıyla değerlendirerek ideal çözüme maksimum benzerlik gösteren alternatifi seçmek için önerilen bir çok kriterli karar verme tekniğidir (Kim ve diğerleri, 1997: 31-32).

TOPSIS yönteminin, seçim problemleri için iyi bir tercih olmasının nedenleri şu şekildedir (Aly ve diğerleri, 2013: 6466-6467):

- TOPSIS kalitatif ve kantitatif veriler için kullanışlıdır.
- Sistemik bir süreç ile kullanımı kolay ve hızlıdır.
- Çıktı, adayların tercih sıralamalarını önem seviyelerine göre oluşturur.
- Alternatifler arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları daha iyi anlamayı sağlayan bir sayısal değer sunar.
- Çok sayıda alternatif ve kriterler ile baş edebilecek yeteneğe sahiptir.

2.8.12 TOPSIS Yönteminin Uygulama Adımları

TOPSIS uygulaması sırasıyla aşağıdaki adımlara uyularak gerçekleştirilir:

1. Karar matrisinin oluşturulması
2. Normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması
3. Normalize ağırlıklandırılmış karar matrisinin oluşturulması
4. Pozitif ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi
5. Pozitif ve negatif ideal çözüm setine olan uzaklıkların ölçülmesi
6. İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması
7. Önem sıralamasının yapılması

2.8.12.1 Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar matrisi oluşturulurken satırlarda seçilmek istenen alternatifler sütunlarda ise alternatifleri değerlendirirken kullanılacak değerlendirme faktörleri yer alır. Karar matrisinde m alternatiflerin sayısını n ise değerlendirme faktörlerinin sayısını göstermektedir. Başlangıç matrisi A_{ij} eşitlik 2.10'daki gibi oluşturulur:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Burada a_{ij} ; i. alternatifin j. kriter için performans değerini göstermektedir.

2.8.12.2 Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması

Normalize karar matrisi oluşturulurken başlangıç karar matrisinin elemanlarından yararlanılır ve her bir a_{ij} için eşitlik 2.11'deki dönüşüm kullanılır:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (2.11)$$

Normalize edilmiş karar matrisi (R) eşitlik 2.12'deki gibi elde edilir:

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

2.8.12.3 Normalize Ağırlıklandırılmış Karar Matrisinin Oluşturulması

Öncelikle belirlenen ağırlıkların toplamı bir olacak şekilde her bir değerlendirme faktörüne eşitlik 2.13 yardımıyla ayrı ayrı ağırlıklar atanır.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2.13)$$

Ağırlıklar atandıktan sonra R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılarak normalize ağırlıklandırılmış karar matrisi (V) elde edilir. Normalize ağırlıklandırılmış karar matrisi (V) matrisi eşitlik 2.14’de gösterilmiştir:

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

2.8.12.4 Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Belirlenmesi

Pozitif ideal çözüm setine ulaşmak için V matrisindeki normalize ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en büyükleri seçilir. Değerlendirme faktörleri minimizasyon yönlü ise en küçükleri seçilir. İdeal çözüm seti eşitlik 2.15’de gösterilen denklem ile bulunur:

$$A^* = \{(\max_{ij} v_{ij} | j \in J), (\min_{ij} v_{ij} | j \in J')\} \quad i = 1, \dots, m \quad (2.15)$$

Denklem (2.15)’de belirtilen J değeri faydayı, J’ değeri kaybı göstermektedir. Denklem sonucunda oluşturulan çözüm seti, eşitlik 2.16’daki gibi gösterilir:

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} \quad (2.16)$$

Negatif ideal çözüm setine ulaşmak için V matrisindeki normalize ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en küçükleri seçilir. Değerlendirme faktörleri minimizasyon yönlü ise en büyükleriseçilir. Negatif ideal çözüm seti eşitlik 2.17’de gösterilen formülasyon ile bulunur:

$$A^{-} = \{(min v_{ij} | j \in J), (max v_{ij} | j \in J')\} \quad i = 1, \dots, m \quad (2.17)$$

Denklem (2.12)’de belirtilen J değeri faydayı, J’ değeri kaybı göstermektedir. Denklem sonucunda oluşturulan set eşitlik 2.18’dekişekilde gösterilir:

$$A^{-} = \{v_1^{-}, v_2^{-}, \dots, v_n^{-}\} \quad (2.18)$$

2.8.12.5 Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Setine Uzaklıkların Ölçülmesi

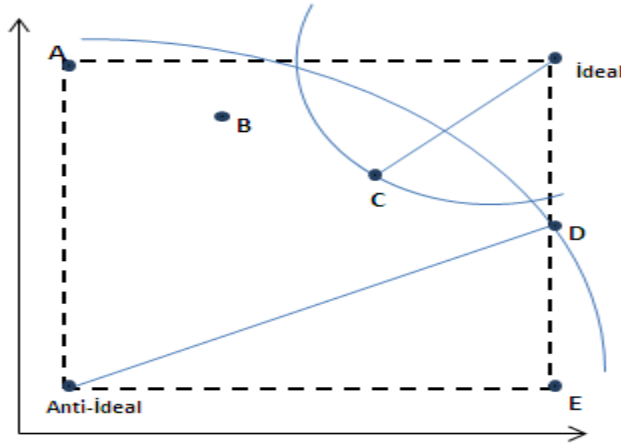
TOPSIS yönteminde, alternatiflere ait değerlendirme faktörlerinin pozitif ve negatif ideal çözüm kümelerinden sapmaları Öklid uzaklık yaklaşımından yararlanılarak bulunmaktadır. Eşitlik 2.19 ve 2.20’de yapılan işlemler sonrasında pozitif ideal ayırım (S^*) ve negatif ideal ayırım (S^{-}) değerleri bulunur:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, i = 1, \dots, m \quad (2.19)$$

$$S_i^{-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^{-})^2}, i = 1, \dots, m \quad (2.20)$$

Formüller uygulandıktan sonra bulunan pozitif ideal ayırım (S^*) ve negatif ideal ayırım (S^{-}) sayısı problemde yer alan alternatif sayısı kadardır. Alternatiflerin ideal ve negatif ideal çözümlere olan Öklid uzaklıkları Şekil 9’da gösterilmiştir:

Şekil 9: İki Boyutlu Uzayda İdeal ve Negatif İdeal Çözümlere Olan Öklid Uzaklıklar



Kaynak: Hwang ve Yoon, 1981: 129.

2.8.12.6 İdeal Çözüme Görelî Yakınlığın Hesaplanması

Son adımda C_i^* görelî yakınlık katsayısı bulunmaktadır. İdeal çözüme yakınlık hesaplanırken pozitif ve negatif ideal ayrımlardan yararlanılır. İdeal çözüme görelî yakınlık eşitlik 2.21'deki gibi tanımlanır (Arshia ve diğerleri, 2009: 1480-1481):

$$C_i^* = \frac{s_i^-}{s_i^- + s_i^+} \quad (2.21)$$

Bulunan yakınlık katsayıları $0 \leq (C_i^*) \leq 1$ arasında değerler alır. Burada $C_i^*=1$ değeri pozitif ideal çözüme maksimum yakınlığı $C_i^*=0$ ise negatif ideal çözüme maksimum yakınlığı göstermektedir.

2.8.12.7 Önem Sıralamasının Yapılması

Negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payına bakılarak çıkan sonuçlar arasından en büyük olanı seçilir. Maksimum (C_i^*) değeri seçilir.

2.8.13 AHP Yöntemi

Analitik hiyerarşi süreci orijinal olarak 1980'lerde Saaty tarafından geliştirilen bir karar verme yöntemidir. O zamandan beri bazen çoklu bazen ise çatışan amaçları içeren durumların modellenmesi ve kurulmasında iyi bir araç olmuştur. Yöntemin benimsenmesinin nedeni eğitim, mühendislik, endüstri gibi pek çok alana uygulanması ve doğrusal programlama, kalite fonksiyon göçerimi, bulanık mantık gibi farklı teknikler ile entegre edilebilmesi esnekliğidir (Vaidya ve Kumar, 2006: 2-3).

Analitik hiyerarşi sürecinin kullanım amacı, karar kriterlerinin eş zamanlı olarak dikkate alınması ile tercih edilen alternatifleri belirlemek ve alternatiflerin kendi arasında sıralanmasını sağlamaktır (Mateo, 2012: 11). Karar vericilerin kendi deneyim ve bilgilerine dayalı olarak, her kümeyi aynı seviyede ikili biçimde karşılaştırmaları gerekir (Ho, 2008: 212). Analitik hiyerarşi süreci ölçeklemesinde, netür sayıların kullanılacağı ve bunlardan elde edilen sonuçların önceliklerle doğru bir şekilde nasıl eşleştirileceği ile sıkı bir şekilde ilgilidir. Bunun için saaty dokuz dereceli skalayı geliştirmiştir (Saaty, 1990: 10). Analitik hiyerarşi süreci, hiyerarşinin oluşumu, öncelik analizi ve tutarlılık doğrulaması olmak üzere üç temel işlemten oluşur (Ho, 2008: 212).

AHP yönteminin zayıf olduğu yönleri bulunmaktadır. Analitik hiyerarşi süreci yaygın olarak çok kriterli grup karar vermede tanımlayıcı bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır. Bu çok kriterli karar verme yöntemi pek çok aktör, senaryo ve kriterin analize dahil olmasına izin verir. Bunun yanında bazı sınırlamalara sahip bu yöntem karar vericilerin kararlarını içeren ikili karşılaştırma matrislerinin tam ve doğru olduğu varsayımı altında işlemeye devam eder. Özellikle çok sayıda kriterle karşı karşıya kalındığında karar vericilerin kararlarında tutarsızlıklar oluşmaya başlayacaktır. Bu durumda elde edilen sonuçlarda çıkan tutarsızlık oranlarına göre

sapmalar meydana gelecektir (Mikhailov, 2004: 294). Analitik hiyerarşi sürecinin uygulama adımları aşağıdaki gibidir (Munier, 2011: 78):

- Satırlarda ve sütunlarda aynı kriterler kullanılarak bir kare matris oluşturulur.
- Bir amaç referans alınarak 1 ile 9 arasındaki ölçek vasıtasıyla kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapılır. Ölçekle yapılan eşleştirmelerde matriste yer alan “3” ifadesi, satırdaki kriterin sütunda karşılık gelen kritere nazaran daha önemli olduğunu gösterir. Aynı şekilde matriste yer alan 1/3 ifadesi sütundaki kriterin satırda karşılık gelen kritere nazaran daha önemli olduğunu gösterir.
- Öz vektörleri bulunur.
- Alternatifleri ağırlıklandırmak için benzer bir işlem uygulanır. Bir kriter için alternatiflerin ikili karşılaştırmaları yapılır. Bu işlem tüm kriter için yapılır ve her bir alternatif ve kriter için ağırlıklar oluşturulur.
- Kritere karşılık gelen ağırlıklarla her bir alternatifin değeri çarpılır.
- Son olarak, bir alternatif için tüm değerler toplanır. Sonuç tablosu her bir alternatifin önemini gösterir.

2.8.14 PROMETHEE Yöntemi

PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) çok kriterli analizler için uygulanan ve kavraması basit bir sıralama tekniğidir. Dikkate alınan kriterlerle sıralanabilecek olan sınırlı sayıda alternatifin mevcut olduğu problemlere iyi bir şekilde uyarlanabilir (Goumas ve Lygerou, 2000: 607).

PROMETHEE 1 (kısmi sıralama) ve PROMETHEE 2 (tam sıralama) J.P. Brans tarafından geliştirildi ve ilk olarak 1982’de R. Nadeau ve M. Landry tarafından Université Laval üniversitesinde düzenlenen konferansta sunuldu (Figueira, 2005: 164).

PROMETHEE yöntemi, temelde karar noktalarının değerlendirme faktörlerine göre ikili kıyaslamalarına dayanır. Ancak diğer yöntemlerden farkı, diğer yöntemlerde olduğu gibi kriterlerin birbirlerine göre ilişki düzeylerini göstermesinin yanında her bir değerlendirme faktörünün kendi iç ilişkisinin de dikkate alınmasıdır (Yaraloğlu, 2010: 28).

Yöntem bünyesinde altı farklı tercih fonksiyonu barındırmaktadır. Bu tercih fonksiyonları aşağıdaki gibi sıralanır (Brans ve Vincke, 1985: 651-652):

- 1) Birinci tip (Olağan-Usual) tercih fonksiyonu
- 2) İkinci tip (U-tipi) tercih fonksiyonu
- 3) Üçüncü tip (V-tipi) tercih fonksiyonu
- 4) Dördüncü tip (Seviyeli-Level) tercih fonksiyonu
- 5) Beşinci tip (Doğrusal-Linear) tercih fonksiyonu
- 6) Altıncı tip (Gaussian) tercih fonksiyonu

PROMETHEE 1 alternatiflerin sıralanmasını sağlar ancak bazı durumlarda yeterli olmayabilir. Bu bazı alternatiflerin karşılaştırılamayacağı anlamına gelir. İlk alternatifin belirli kriterler üzerinde ikinci alternatifte göre yüksek skor elde etmesi, diğer kriterler içinde ikinci alternatifin birinci alternatifte göre yüksek skorlar eldeetmesi durumunda ortaya çıkar. PROMETHEE 1'in kullanımı karar vericiler için ek değerlendirme çabalarıyla uğraşma gibi olumsuzluklar doğurabilir (Macharis ve diğerleri, 2004: 308-309).

PROMETHEE'nin uygulanabilmesi için iki tip ek bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır (Deshmukh, 2013: 30):

1. İlgili kriterlerin göreceli ağırlıkları hakkındaki bilgiler
2. Karar vericilerin her bir kriter için alternatifleri değerlendirirken seçeceği ilgili tercih fonksiyonuna ilişkin bilgiler

PROMETHEE tekniği kullanılarak çok kriterli karar verme sürecinde aşağıdaki adımlar izlenir (Hyde ve diğerleri, 2003: 246):

- Karar analizi sürecine dahil olacak karar vericilerin tespit edilmesi
- Değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi
- Alternatiflerin kurulması
- Karar vericiler tarafından kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi
- Kriterlere göre alternatiflerin performanslarının değerlendirilmesi
- Genelleştirilmiş tercih fonksiyonunu seçme ve her bir kriter için ilgili farksızlık değerinin ve kesin tercih eşiğinin belirlenmesi
- Promethee uygulama

- Duyarlılık analizi yapma
- Son kararın verilmesi

2.8.15 ELECTRE Yöntemi

ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité) methodunun gelişimini sağlayan üstünlük ilişkileri teorisinin temelleri 1960'lı yılların sonuna doğru Bernard Roy tarafından kurulmuştur (Douplos ve Zopounidis, 2004: 50). Fransızcadan tercüme edildiğinde, “Gerçekliği Gösteren Eleme ve Seçim” olarak adlandırılan ELECTRE methodu ilk olarak 1966'da Benayoun tarafından tanıtıldı. ELECTRE yönteminin temel kavramı, ayrı ayrı her bir kriter açısından alternatifler arasında ikili karşılaştırmaları kullanarak üstünlük ilişkilerini tanımlamaya çalışmaktır (Triantaphyllou, 2000: 13).

ELECTRE yöntemi, alternatiflerin üstünlük ilişkilerinin ardışık olarak tanımlanmasının ardından bir alternatifin diğer alternatiften iyi olduğunu gösteren uyumluluk indeksleri ile tam tersini gösteren uyumsuzluk indekslerini elde etmektedir (Alemi ve diğerler, 2011: 197). A_i ve A_j gibi iki alternatifin birbirlerine karşı üstünlük dereceleri $A_i \rightarrow A_j$ şeklinde gösterilir. A_i alternatifi A_j alternatifine göre niceliksel olarak baskın gelemiyorsa bu durumda karar verici A_i alternatifinin A_j alternatifine göre daha iyi olduğu riskini göze alabilmelidir (Triantaphyllou, 2000: 13).

ELECTRE methodu değerlendirme faktörleri altında alternatiflerin ikili kıyaslamalarıyla başlar. Bu durum bazı eksiklikleri beraberinde getirmektedir (Triantaphyllou, 2000: 13). Baskın alternatifler üzerine odaklanan yöntem tercih edilen alternatifleri belirlemede yeterli olmayabiliyor. Daha az baskın olan alternatifler tamamen göz ardı edilerek çok baskın alternatiflerin seçimine odaklanıyor. Bunun için electre yöntemi az sayıda kriterin çok sayıda alternatifin olduğu karar verme problemlere önerilir (Pohekar ve Ramachandran, 2004: 371).

Kısaca ELECTRE methodu, hem nicel hem de nitel kriterleri sürece dahil eden, karar verme faaliyetlerinde karar vericinin işini kolaylaştıran, güçlü bir performans izleme kabiliyetine sahip olan yaygın olarak tanınan çok kriterli karar

verme tekniklerinden biridir. ELECTRE yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir (Alemi ve diğerler, 2011: 197):

1. Karar matrisinin normalize edilmesi
2. Normalize karar matrisinin ağırlıklandırılması
3. Uyumluluk ve uyumsuzluk setinin belirlenmesi
4. Uyumluluk ve uyumsuzluk matrislerinin oluşturulması
5. Uyumluluk ve uyumsuzluk üstünlük matrislerinin belirlenmesi
6. Daha az uygun alternatiflerin elenmesi

2.8.16 VIKOR yöntemi

Sırpça (ViseKriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje), “Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaştırıcı” anlamına gelen VIKOR yöntemi ilk olarak 1998 yılında Opricovic tarafından kompleks sistemlerin çok kriterli optimizasyonu için geliştirilmiştir (Opricovic ve Tzeng, 2004: 447).

VIKOR yöntemi, çoklu ve birbirleriyle çelişen kriterlerin varlığı altında alternatif kümesinden seçim yapmaya ve alternatifleri sıralamaya odaklanır (Huang, 2009: 761-762). Uygulama problemlerinde genellikle ölçülemeyen ve birbirinden farklı kriterlerle karşılaşılır. Eş zamanlı olarak tüm kriterlerin tatmin edilememesi durumu ortaya çıkar. Karar vericiler elde edilen tüm kriterlerin devreye sokularak oluşturulan alternatifler arasından ideal çözüme en yakın olanını seçmek isterler. Yöntemi oluşturan ana fikir uzlaşık bir çözümün bulunmasıdır. Uzlaşık çözüm alternatifler için sıralama indeksi oluşturularak en iyi kararın verilmesini sağlar (Opricovic ve Tzeng, 2007: 514).

Nihai karara varılması için VIKOR tekniği uzlaşıcı çözümü karar vericilere sunar. Temelleri ilk olarak Yu(1973) ve Zeleny(1982) tarafından kurulan uzlaşık çözüm ideale en yakın olarak tanımlanabilir. Uzlaşık, karşılıklı konsensüsle kurulan bir anlaşmayı ifade etmektedir (Ruan ve Büyüközkan, 2008: 465-466).

TOPSIS yöntemine benzemekle birlikte VIKOR yöntemi referans noktası olarak belirlenmiş karar noktasına uzaklıklarının göreceli önemlerini dikkate almasıyla TOPSIS yönteminden ayrılır. Ayrıca yöntem çok sayıda karar vericiyi karar sürecine sokarak bir uzlaş ortamı yaratılmasını da sağlar. Yöntem genel

hatlarıyla karar noktalarını maksimum grup faydası ve minimum karar verici pişmanlığı ölçütlerinde gruplar. VIKOR tekniği kullanılarak çok kriterli karar verme süreci aşağıdaki adımları izler (Opricovic ve Tzeng, 2007: 515-516):

1. Her bir değerlendirme faktörünün karar noktaları bazında en iyi ve en kötü değerleri tespit edilir.
2. Her bir karar noktası için ortalama grup değeri ve en kötü grup değeri hesaplanır.
3. Her bir karar noktası için değerlendirme faktörleri altında maksimum grup faydası hesaplanır.
4. Karar noktaları için hesaplanan ortalama grup değeri, en kötü grup değeri ve maksimum grup faydası küçükten büyüğe doğru sıralanır.
5. Karar vericiler için kabul edilebilir avantaj ve kabul edilebilir istikrar grupları belirlenir.

2.9.KARAR DESTEK SİSTEMLERİ

Karar vericilere yardımcı olmak için bilgisayarlardan faydalanma fikri 1960 yılından daha öncelere dayanır. O yıllardan beri bilgisayar teknolojileri ile paralel olarak hızlı bir şekilde gelişme göstermiştir. İlk olarak şirket yönetimlerinde uygulandı ve daha sonra 1980’li yıllarda diğer alanlarda uygulanmaya başlandı. Karar destek sistemi kavramını ortaya atan Scott Morton(1971) ilk araştırmacılarından biri olarak kabul edilir (Eom ve Kim, 2005: 1).

Karar destek sistemleri, insanların karar vermeden önce karşılaştıkları problemlerin sistematik bir şekilde birçok farklı seviyede analize tabi tutulmasını sağlar. Bu sistemler, kullanıcılara karar verme ve değerlendirmede yardımcı olan bilgisayar tabanlı sistemlerdir. Karar vermenin yeterliliğini geliştirmeden ziyade etkinliğini geliştirmeyi hedeflerler. Bilgisayar teknolojileri kullanılarak uygulanan bu teknikler istatistik, ekonomi ve işletme alanlarında karmaşık problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Bu sistem, analitik modelleme ile niteliksel ve niceliksel bilgiyi bütünleştirir. Karar destek sistemleri çerçeveyi oluşturma, modeli kurma ve problemi çözmede destek sağlarlar. Veriyi depolar ve sonra geri alırlar.

Karmaşık karar durumlarının karşılaşıldığı herhangi bir yönetim alanında uygulanabilirler. Karar destek sistemleri genellikle üst düzey yönetimlerin karşılaştığı stratejik ve taktik kararlar için kullanılır. Bilgisayar teknolojileri kullanarak uygulanan bu teknikler istatistik, ekonomi ve işletme alanlarında karmaşık problemlerin çözümünde kullanılmıştır (Druzdzel ve Flynn, 2002: 6).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK MANTIK

Mantık, bilim tarihi içinde antik çağlardan itibaren günümüze dek gelişmeler göstererek gelmiştir. Aristoteles (MÖ 322-294) doğada varolan ancak dağınık bir halde bulunan mantığı sistemli bir şekilde ele almıştır. Aristoteles'ten iki yüzyıl kadar önce Gautama Buddha dünyadaki herşeyin aynı zamanda biraz doğru birazda yanlış olabileceği çelişkisi ile dolu olduğunu farketmiştir. Geleneksel mantık sistemleri, sadece belirli koşullarda oluşan, ikili mantık sisteminin hakim olduğu, kesin doğruluk değerleri olan doğru ya da yanlıştan birisine sahip önermelerle ilgilenirler. Paradoks olarak adlandırılan üçüncü bir durumun gerçekleşmesinin imkansız olduğu varsayarlar. Bununla beraber doğru ve yanlış zıtlarının ötesinde bir üçüncü bölgenin varlığını gösteren, bulanık mantığın ne olduğunu ilk defa vurgulayan Platon olmuştur (Baykal ve Beyan, 2004: 11).

3.1.MANTIĞIN GELİŞİMİ

Arapça “nutk” kelimesinden köken alan ve Yunanca “logos” kelimesine karşılık gelen mantık, doğru ile yanlış arasındaki akıl yürütmenin ayrımını yapan bir bilim dalıdır. Mantık kelimesi bir bilim adı olarak kullanıldığı gibi aynı zamanda bir düşünme tarzını belirtmek için de kullanılır. Herhangi bir sözün mantıklı veya mantıksız oluşu, bilimden ziyade bir düşünce tarzı ile ilgilidir. İnsanlar yaratılışından itibaren mantık bilimini bilmeksizin mantıklı düşünebildiği halde, mantık biliminin kuruluşu çok daha sonralara dayanır(Öner, 1986: 1). Mantık öncülleri kullanarak akıl yürütme ve çıkarımlarda bulunma işlemidir. Düşünceden mantığa geçerken önermeler sözel olarak yapılır, bundan dolayı mantık saçma olandan mantıklı olanın ayırt edildiği kelimelerle hesap yapma yöntemi olarak adlandırılır (Baykal ve Beyan, 2004: 9).

3.2.KLASİK MANTIK VE ÖNERMELER

Aristoteles (MÖ 322-294) tarafından mantık Aristo mantığı ile sistematik bir hale dönüştürülmüştür. Klasik mantık, ikili mantık, siyah-beyaz mantığı olarak da adlandırılan Aristoteles mantığının temeli kıyaslamaya dayanır. Aristo mantığında siyah ile beyaz zıtlarının ötesinde gri gibi bir üçüncü bölgenin varlığı söz konusu değildir. Kesin kalıplara dayanan Aristo mantığı, olayları insan aklının algılayabileceği şekilde düzenleyerek bazı kabullerin yapılması yoluyla bilimsel araştırmaların gelişmesinde başarılı olmuştur (Şen, 2009: 11).

Klasik mantıkta yapılan işlemler önerme türleri üzerine oluşturulmuştur. Önergeler yargılarımızı dile getiren doğru ya da yanlış olan cümlelerdir. Önergelerde hükümlerin yer almasına karşılık, her hükümde önerme olmayabilir (McCosh, 1991: 93). Mantık, akıl yürütme methodlarının analizidir. Mantık, önermenin doğruluğunun tespiti ile değil doğruluğu herhangi bir yolla tespit edilebilecek bir önermeyi ortaya koymakla ilgilidir. Doğru ve yanlış sırasıyla 1 veya 0 doğruluk derecesine sahiptir. Bu varsayıma dayanan önergeler mantığı iki değerden meydana gelmektedir. Aristo mantığındaki klasik küme kavramında, kümeye giren öğeler 1 girmeyen öğeler ise 0 değerini almaktadır. Klasik mantıkta, hiçbir zaman kısmi üyelikten söz edilmez. Üyelerin kümeye ait olma dereceleri göz önünde bulundurulmamaktadır (Buckley ve Eslami, 2002: 5).

3.3.SEMBOLİK MANTIK

Sembolik mantık, klasik mantığı sembolik bir dil içerisinde yeniden yapılandıran ve matematiksel bir yapısı olan mantık türüdür. Sembolik mantık, matematiksel mantık ve modern mantık olarak adlandırılır. De Morgan (1806-1876), George Boole (1815-1864) ve Stanley Jevons (1835-1882) mantığı simgeleştirerek modern mantığın temellerini atmışlardır (Öner, 1986: 12).

Klasik mantık günlük dile dayalıdır ve kısmen semboliktir. Sembolik mantık ise hiçbir içeriksel öğeye yer vermeyerek, klasik mantıktan farklı olarak günlük dilden daha ayrı bir sembolik dil geliştirmesi nedeniyle tamamen semboliktir. Bu şekilde dile yerleştirilen sembollerle günlük dildeki çok anlamlılık ve belirsizliğin

denetlenmesindeki zorluğu ortadan kaldırır. Çıkarımlar sembolik bir dille denetlenerek, mantığa kesinlik kazandırılmaya çalışılmıştır.

Sembolik mantık, geleneksel ya da klasik mantığın geliştirilerek sembollerle sürdürülmesi olduğundan “özdeşlik”, “çelişmezlik” ve “üçüncünün olmazlığı” ilkelerine dayanan iki değerli mantıktır (Baykal ve Beyan, 2004: 25).

Özdeşlik ilkesi, iki şey arasındaki ilişki ile ilgili değil, bir nesnenin kendisi ile aynı olması veya kendisi her ne ise o olması zorunluluğudur. Bu ilke, bir şey ne ise odur ya da bir şey kendisinden başka bir şey olamaz şeklinde ifade edilir. Özdeşlik benzerlik ve eşitlik kavramlarından ayrılır. Bu ilkeye göre “A, A’dır” “A, A’ya benzerdir” diyemeyiz.

Çelişmezlik ilkesi, bir niteliğin aynı nesneye ait olması ve olmaması durumlarının bir arada bulunamayacağını ortaya koyan ilkedir. Mantıkta bu durum, önerme aynı zaman ve konumda hem doğru hem de yanlış olamaz şeklinde ortaya konulur. Özdeşlik ilkesi düşüncemizi ortaya koymaktaki en önemli ilkedir ancak tek başına yetersiz kalır. Özdeşlikte bir nesnenin sadece kendisi olabileceği üzerinde durulurken aynı zamanda başka bir şey olabileceğinden bahsedilmemiştir. Bu ilke “A, A olmayan değildir” şeklinde gösterilir.

Üçüncü halin olmazlığı ilkesi ise, çelişmezlik ilkesinin bir sonraki aşamasını oluşturur ve klasik ve sembolik mantığın temelidir. Bu ilke ile düşünce evrenimiz doğru ve yanlış olarak iki kesin bölüme ayrılır, ortaya konan iki alternatiften birini seçmemizi gerekli kılar. İki değerli mantığı ortaya çıkaran üçüncü halin olmazlığı ilkesi, “A ile A olmayan” önermelerinden yalnızca birisinin doğru olduğunu üçüncü bir olanağın olmadığını açıklar (Öner, 1986: 3).

3.4. ÇOK DEĞERLİ MANTIK

Klasik mantığın aksine çok değerli mantık, yalın doğruluk ya da mutlak yanlışlıktan farklı her önerme için “belki” diye bir doğruluk değeri öngören mantık sistemidir. İki değerli aristo mantığına karşı Jan Lukasiewicz (1878-1956), doğru ile yanlış arasında bir değere sahip olan üç değerli mantık önerisinde bulunmuştur (Castro ve Zurita, 1996: 186).

Boole tarafından ortaya konan iki değerli mantığın değer kümesi, $\{0, 1\}$ değerlerinden oluşmaktadır. Sezgisel mantığın kurucusu Arend Heyting (1898-1980), Lukasiewicz'den aldığı üç değerli mantığı $\{0, \frac{1}{2}, 1\}$ genişletmiştir. Bu değer kümesinin tanımında “0” önermenin yanlış olduğunu, “1” önermenin doğru olduğunu, “ $\frac{1}{2}$ ” ise önermenin doğruluğu ya da yanlışlığı konusunda kararsız olduğunu gösterir (Baykal ve Beyan, 2004: 18).

3.5. BULANIK MANTIK

Bulanık mantık kavramı ilk kez 1956 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde düzenlenen bir konferansta tanıtılmıştır. Bulanık mantık üzerine ilk çalışma ise 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi A. Zadeh'in Bulanık Kümeler (Fuzzy Sets) adlı makalesi olmuştur. Zadeh bu çalışmasında, klasik mantığın aksine insan düşüncesinin büyük bir kısmının kesin çizgilerinin olmadığı ve bulanık olduğunu belirtmiştir (Zadeh, 1965: 338).

İnsanlar günlük yaşantılarında kesin olarak bilinemeyen durumlarla karşılaşır. Bu durumların sistematik bir şekilde sayısal öngörülerinin yapılması ancak belirli varsayımlar, basitleştirmeler ve kabullenmelerle mümkün olmaktadır. Ancak büyük ölçeklerden daha küçük ölçeklere doğru gidildiğinde kesinliğin yerini daha bulanık ortamlara bıraktığı görülmüştür. Çok büyük üç boyutlu bir cismin rahat bir şekilde varsayımlarla, kabullenmelerle boyutu hesaplanabilir. Bu cisim giderek uzaklaştırıldığında önce iki boyuta sonra tek boyuta ve sonunda hesaplanamayacak şekilde bir nokta haline gelecektir. Aristo mantığı, incelenen olayların sonuçlarınıölçeğe göre belirlilik halinden bulanık bir hale dönüşmesine neden olmaktadır (Şen, 2009: 11-13).

Klasik mantık, bir kümeye ait olma ya da olmama gibi tamamen belirlilik ilkeleri üzerine kurulmuştur. Bu düşünce sisteminde belirsizliğin işlenerek olaylara dahil edilmesi söz konusu değildir. Bulanık mantık dışındaki diğer mantık sistemleri üçüncü halin olanaksızlığı ilkesine dayanır. Çok keskin sınırlara sahip olan klasik mantıkta, belirsizliğin sürekli olarak dışlanmaya çalışılması, yaklaşımın dezavantaja sahip olmasına neden olmuştur. Bulanık mantık kavramıyla keskin sınırlardan ziyade

bir nesnenin kümeye kısmen de olsa üyeliği tanımlanmıştır (Fraisie ve diğerleri, 1997: 304).

Bulanık mantığın işleyişini bulanık kümeler ile açıklamak gerekirse üyelerin üyelik derecelerinin 0 ile 1 arasında değerler aldığından söz edebiliriz. Bulanık kümelerde, '0' değerinin alınması o kümeye ait olunmadığını, 1 değeri ise kümeye tam üyeliğinin olduğunu gösterir. Bulanık kümelerde, klasik kümelerdeki ikili mantık fonksiyonu $\mu_A: E \rightarrow \{0,1\}$, bu aralıktaki sürekli değerlere sahip olan $\mu_A: E \rightarrow [0,1]$ fonksiyonuna dönüşür (Bezdek, 1981: 11). Örneğin, klasik mantık $20C^0$ derecenin altındaki değerleri soğuk, üstündeki değerleri sıcak kabul eder. Böylelikle $19.8C^0$ derece soğuk iken, $20.2C^0$ derece sıcak anlamına gelir. Bulanık mantığa göre, $20C^0$ derecenin altındaki ya da üzerindeki değerler belirli bir noktaya kadar, aldıkları üyelik derecelerine göre iki kümede kısmen üyedir (Fraisie ve diğerleri, 1997: 304).

Bulanık mantık, dilsel değişkenleri kullanarak tam olarak tanımlanmamış ve nümerik olmayan durumlarda, karar vericilere problemlerin üstesinden gelmede yardımcı olur. Örneğin, karar vericiler seyahat ederken maliyet gibi nümerik kriterlerin yanında iyi hizmet verilmesi gibi nümerik olmayan kriterleri değerlendirirken dilsel ifadeleri kullanırlar. Kullanılan bu dilsel ifadeler bulanıklığın göstergesidir. Karar verici maliyeti veya hizmeti değerlendirirken belirli sınırlarla bağlı kalmamaktadır (Leung, 1983: 65).

Bulanık mantık kavramı, 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından yapılan bir kontrol uygulaması ile önem kazanmaya başlamıştır. Bulanık sistemlerle çalışmanın ne kadar kolay olduğu, sonuçlarının ise ne kadar etkili olduğu buhar makinesi üzerinde yapılan kontrolün bulanık mantık ile modellenmesi sonucu anlaşılmıştır. Dünyanın bir çok yerinde yavaş yavaş kullanılmaya başlanan bulanık sistem, daha sonra çimento fabrikasının işletilmesi ve kontrolünde 1980 yılından sonra ise elektrikli süpürgeler, çamaşır makineleri, asansörler, metro ve şirket işletimi gibi pek çok konuda kullanılarak hızla büyümüştür. Kullanıldığı her alanda sağladığı enerji, iş gücü ve zaman tasarrufu bulanık mantığın ne kadar önemli olduğunu göstermiştir (Şen, 2009: 16).

Son yıllarda yaygın hale gelen ve sözel bilgilere yer vererek sorunların çözümlenmesinde büyük kolaylık sağlayan bulanık mantık, diğer mantık sistemlerinin önüne geçmiştir. Bulanık mantığın temeli düşünce, kavram, terim, önerme ve çıkarımlara dayanır. Aşağıda diğer mantık türleri ile arasındaki farklar değinilmiştir (Şen, 2011: 91-92):

- Bulanık mantıkta, klasik mantıkta yer almayan belirsizlikler işin içine katılmıştır. Bu doğrultuda güzel sıfatının sınıflandırılmasında “güzel”, “daha güzel”, “oldukça güzel”, “orta güzel” tanımlamaları yer alırken, klasik mantıkta güzellik denilince karşısı çirkinlik dikkate alınmaktadır. Mesela oldukça güzel ifadesindeki belirsizlik sayısal değilde kişiden kişiye göre değişen sözel belirsizliktir. İşte bu tür belirsizlikleri bulanık mantık ile işlemek mümkün hale gelmiştir.
- Bulanık mantık, çoklu mantık sistemlerinin içerisinde yer alır. Klasik mantıktaki beyaz-siyah ikililiğin yerine bunların arasında yer alan griyede yer verilir. Bulanık mantık olayları önermeler demeti şeklinde sunar ve incelenen olayların denklemleri yoktur. Bulanık mantıkta modellemeye giderken, ilk önce olayı temsil edecek değişkenlerin sözel olarak karar verilmesi gerekir. Mesela, bir silahlanma modeli kurulacaksa, bu olayı temsil edecek mali kaynak, silah miktarı ve modernlik gibi değişkenler ifade edilmelidir. Klasik mantıkta öncül ve ardıl kelimelerin her biri mali kaynak varlığı-yokluğu, silah miktarı çok-çok değil, silahlar modern-modern değil gibi ikili seçeneklerle sunulmuştur. İşte bu ikili seçenekler bulanık mantıkta yerini, ikiden fazla olacak şekilde çoklu seçeneklere bırakmıştır.

3.6. BULANIK KÜMELER

Bulanık kümeler kavramı ilk olarak Profesör Lofti A. Zadeh tarafından 1965 yılında tanıtıldı. Zadeh bir bulanık kümede üyeliğin kabulü ya da reddi ile ilgili olmadığını, üyenin kümeye olan üyelik derecesiyle ilgili olduğunu savunmuştur. Son kırk yıl içerisinde, bu önerisi tutarsızlık ve belirsizlik kavramının evriminde önemli bir adım olarak önem kazanmıştır. Bu yenilik klasik ya da net kümelerden bulanık kümelere değişimi temsil etmektedir (Celikyılmaz ve Türksen, 2009: 11).

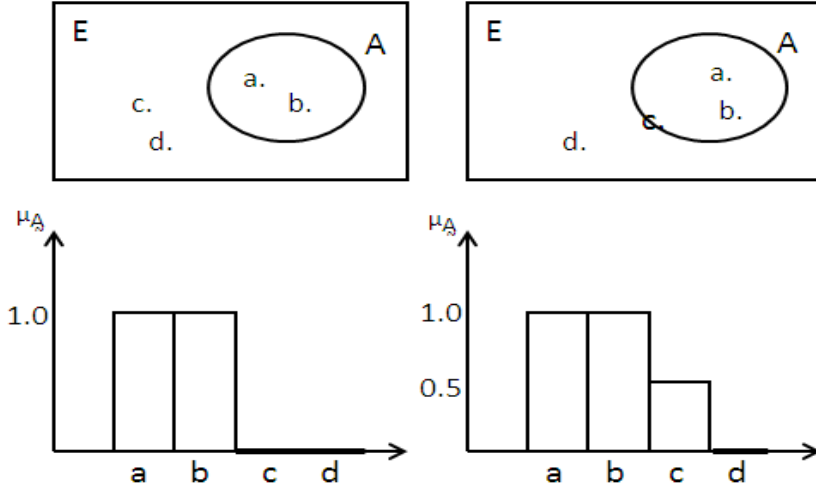
Gerçek dünyadaki pek çok problemde, bazı karar verileri tam olarak değerlendirilebilirken bazıları tam olarak değerlendirilemezler. Tam olarak ölçülebilen veriyi göstermek için gerçek sayılar, tam olarak ölçülemeyen veriyi göstermek için bulanık sayılar kullanılır. Bulanık küme teorisi, ölçülemeyen bilgi, eksik bilgi, elde edilemeyen bilginin kullanılmasına izin verir (Chang ve diğerleri, 2008: 332).

Gerçek fiziksel dünyada karşılaşılan nesneler sınıfı, üyelik ölçütleri ile tam olarak tanımlanamazlar. Hayvanlar sınıfı tanımlanacak olursa köpekler, atlar, kuşlar sıralanabilir ancak bitkiler ve taşlar bu sınıflamanın üyeleri değildirler. Bunların yanında, deniz yıldızı ve bakteri bu sınıflamanın elemanı olup olmaması ile ilgili olarak belirsiz bir pozisyona sahiptir. Aynı şekilde güzel kadınlar sınıfı ve uzun adamlar sınıfı her zamanki matematik anlamında kümeler ya da sınıflar oluşturmazlar (Zadeh, 1965: 338). Sınıfın içinden bir kişi gerçek uzun boylu olarak seçildiğinde bu kişiye yakın olan diğer kişiler uzun boylular sınıfına belli bir ait olma derecesi kadar dahil olurlar (Şen, 2009: 22).

Klasik karar teorilerinde, belirlilik altında karar vermede net küme ve fonksiyonlar kullanılır. Burada yapılan modelleme ve işlemlerin bir çoğu belli ve açıktır. Kastedilen, netlikler aracılığıyla daha çok ve daha azın yerine evet veya hayır kullanılmasıdır. Tanımlayıcı karar teorilerinde bu kesinlik kabul edilir fakat belirsizlik ve muğlaklık genellikle sözlü olarak modellenir. Analiz ve işlemlerin yapılması için güçlü bir matematiksel metodun kullanımına izin verilmez. Risk ya da kararsızlık altında kararlar verildiğinde belirsizlik devreye girer (Zimmermann, 1987: 10).

Klasik kümedeki elemanların üyelikleri ikili koşullara göre değerlendirilir. Bir eleman o kümeye ya aittir ya da değildir. Bulanık kümeler ise üyelik derecelerine sahip elemanların bulunduğu kümelerdir (Wu ve Lee, 2007: 502). Şekil 10'daki bulanık kümede, üyelerin üyelik derecelerinin üyelik boşluğu dediğimiz alanda yani $[0,1]$ aralığında değerler aldığı görülmektedir. Sıfır değerinin alınması o kümeye ait olunmadığını, bir değeri ise kümeye tam üyeliğinin olduğunu gösterir. Diğer değerleri alan üyeler ise bulanık kümenin kısmi üyeleridir. Klasik kümede ise $\{0, 1\}$ değerlerinden yalnızca birini aldığı görülmektedir (Hans ve Zimmermann, 1976: 210).

Şekil 10: Klasik ve Bulanık Kümenin Grafik Gösterimi

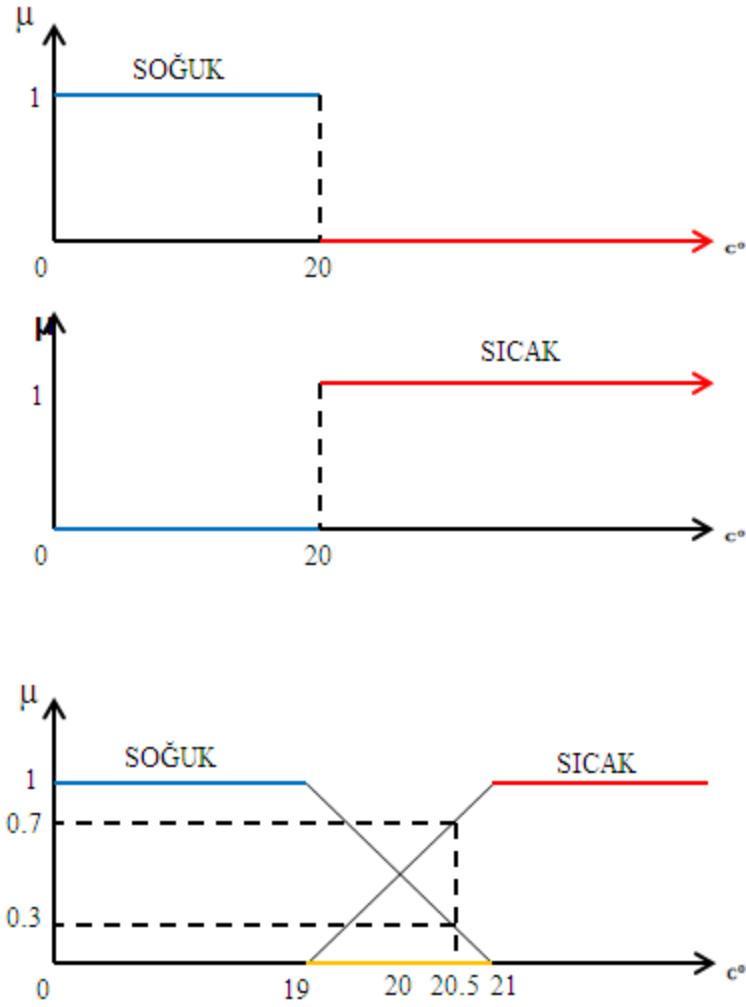


Kaynak: Baykal ve Beyan, 2004: 77.

Şekil 10, bulanık bir kümenin sahip olacağı üyelik fonksiyonunun değer kümesinin $[0,1]$ aralığında sürekli değerler aldığını, klasik kümenin ise $\{0, 1\}$ değerlerinden yalnızca birini aldığını göstermektedir (Baykal ve Beyan, 2004: 77).

İnsan düşüncelerindeki bulanıklığı sayısallaştırmaya çalışan Zadeh, kümeye aitliği ikili koşullara göre değerlendiren klasik kümeler yerine, kısmen üyeliğinde var olduğu bulanık kümeler teorisini geliştirmiştir. Zadeh'in bulanık kümeler teorisi, klasik kümelerdeki iki değerli üyeliği çok değerliliğe taşıyarak bu formu genelleştirmiştir (Zadeh, 1965:339).

Şekil 11: Klasik ve Bulanık Kümenin Analitik Gösterimi



Kaynak: Fraisse ve diğerleri, 1997: 304.

Şekil 11’de klasik kümelerin sınırlarının keskin olduğu ve $20C^0$ derecenin altındaki değerleri soğuk üzerindeki değerleri ise sıcak olarak kabul ettiği görülmektedir. Bulanık kümeler ise $20.5C^0$ derecenin her iki kümeye de ait olduğunu ortaya koyar. Yukarıdaki Şekil 11’de $20.5C^0$ derece sırasıyla 0.3 üyelik derecesiyle soğuk kümenin 0.7 üyelik derecesiyle sıcak kümesinin bir elemanıdır (Fraisse ve diğerleri, 1997: 304). Bulanık kümenin üç temel özelliği vardır (Şen, 2009: 23):

- Bulanık kümenin normal olması gerekir. Bunun anlamı kümede yer alan elemanlardan en az birinin tam üyelik derecesi olan ‘1’ değerine sahip olması gerektir.

- Bulanık kümenin monoton olması gerekir. Monotonluk, tam üyelik derecesine sahip olan elemanın yakınında bulunan üyelerin 1'e yakın olması ve üyeliklerin 0'a kadar artmadan azalması anlamına gelir. Bulanık kümenin üyelik fonksiyonuna ait değerler tam üyeliğe yaklaştıkça 1'e yaklaşır, tam üyelikten uzaklaştıkça 1'den uzaklaşır. Monotonluğu özetleyen bu ifade, benzer şekilde tam üyelik dereceli elemanın sağındaki ve solundaki değerlerinde 1'e en yakın değerler olduğunu açıklar (Dombi, 1990: 6).
- Bulanık kümelerin simetrik olma özelliği gereği, eşit mesafede olan üyelerin üyelik derecelerinin de eşit olması gerekir.

Bulanık kümeler, özellikle dildeki belirsizlikleri ve iyi tanımlanamayan karar problemlerinin matematiksel olarak ifade edilmesine yardımcı olur. Bulanık küme teorisi var olan standart algoritmaları kullanarak çözülebilen ve bulanık modellere eşdeğer olan net modeller tasarlar (Zimmermann, 1978: 45).

3.6.1 Bulanık Kümelerin Gösterimi

Bir bulanık alt küme, evrensel X kümesinin bir alt kümesi olarak tanımlanır. Bulanık alt küme "alt" terimi ihmal edilerek bulanık bir küme olarak adlandırılır. Bulanık kümeler, klasik kümelerden ayırt edilirken bulanık olmayan kümeler olarak ifade edilir. Klasik ya da geleneksel kümelerde, kümeleri isimlendirmek için A , B , C kullanılırken bulanık kümelerde $\tilde{A}$, $\tilde{B}$ ve $\tilde{C}$ kullanılır (Sakawa ve diğerleri, 2013: 106).

Bulanık kümeler, matematiksel olarak üyelik fonksiyonlarının tanımlanması ve küme elemanlarının üyelik derecelerine göre sıralanması olmak üzere iki yöntemle gösterilir (Baykal ve Beyan, 2004: 76).

Bulanık kümelerde klasik kümelerdeki ikili mantık fonksiyonu $\mu_A: E \rightarrow \{0,1\}$, bu aralıktaki sürekli değerlere sahip olan üyelik fonksiyonuna dönüşür. Bu üyelik fonksiyonu eşitlik 3.1'deki gibi gösterilir (Bezdek, 1981: 11):

$$\mu_{\tilde{A}}: E \rightarrow [0,1] \quad (3.1)$$

Bulanık kümelerin bir başka gösteriminde ise bir nesne ve bu nesnenin ilgili kümeye üyelik derecesini gösteren sıralı çiftler ile ifade edilir ve eşitlik 3.2'deki gibi gösterilir:

$$\underline{A}=(x, \mu_{\underline{A}}(x)) \quad , \quad \forall x \in U \quad (3.2)$$

Yukarıda yer alan her bir $(x, \mu_{\underline{A}}(x))$ çiftine bir bulanık teklik denir ve evrensel kümede yer alan bulanık $\underline{A}$ kümesi eşitlik 3.3'dekigibi ifade edilir (Baykal ve Beyan, 2004: 76):

$$A = (\sum_i^n \mu_{\underline{A}}(x_i) / x_i) \quad (3.3)$$

Örneğin, beşe yakın tam sayılardan oluşan bulanık $\underline{A}$ kümesinin, $[0, 10]$ evrensel kümesinde tanımlı olduğu kabul ediliyor. Bulanık $\underline{A}$ kümesine ait bulanık teklikler Tablo 3'deki gibi oluşturulabilir (Özkan, 2003: 41):

Tablo 3: Bulanık Teklikler

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\mu_{\underline{A}}(x)$	0.0	0.1	0.3	0.7	0.9	1.0	0.9	0.7	0.3	0.1	0.0
$(x, \mu_{\underline{A}}(x))$	(0,0.0)	(1,0.1)	(2,0.3)	(3,0.7)	(4,0.9)	(5,1.0)	(6,0.9)	(7,0.7)	(8,0.3)	(9,0.1)	(10,0.0)
$(\mu_{\underline{A}}(x)/x)$	0.0/0	0.1/1	0.3/2	0.7/3	0.9/4	1.0/5	0.9/6	0.7/7	0.3/8	0.1/9	0.0/10

Kaynak: Özkan, 2003: 41.

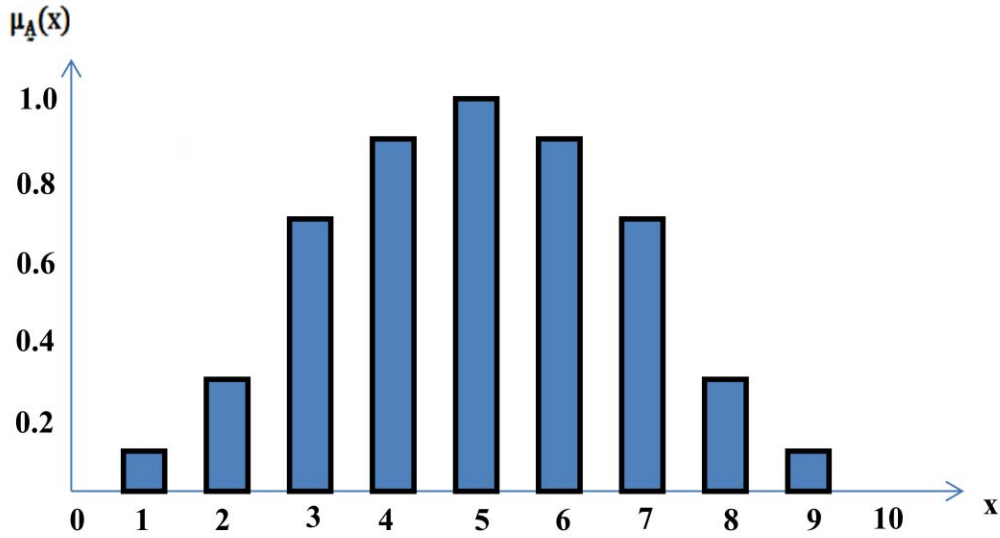
$$A = \sum_{i=0}^{10} \frac{\mu_{\underline{A}}(x)}{x} = \frac{0.0}{0} + \frac{0.1}{1} + \frac{0.3}{2} + \frac{0.7}{3} + \frac{0.9}{4} + \frac{1.0}{5} + \frac{0.9}{6} + \frac{0.7}{7} + \frac{0.0}{8} + \frac{0.1}{9} + \frac{0.0}{10}$$

Bulanık kümelerde, üyelik derecesi sıfır olan bulanık teklikler genellikle gösterilmediği için üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\mu_{\underline{A}}(x) = \frac{0.1}{1} + \frac{0.3}{2} + \frac{0.7}{3} + \frac{0.9}{4} + \frac{1.0}{5} + \frac{0.9}{6} + \frac{0.7}{7} + \frac{0.0}{8} + \frac{0.1}{9}$$

A bulanık kümesine ilişkin üyelik fonksiyonu Şekil 12’de gösterildiği gibidir:

Şekil 12: Beşe Yakın Tamsayılar için Olası Bir Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Özkan, 2003: 6.

3.6.2 Bulanık Küme Özellikleri

Bulanık kümelerde, üyelik fonksiyonuna göre tanımlanan eşitlik, yükseklik, normallik, kernel kümesi, destek kümesi, sınır kümesi, geçiş noktası, merkez, α -kesimleri, dış büyüklük, kardinalite ve kapsama gibi temel kavramlar vardır.

3.6.2.1 Eşitlik Kavramı

Aynı evrensel kümede yer alan A ve B gibi iki bulanık kümenin her bir elemanı aynı üyelik derecesine sahip ise söz konusu iki bulanık kümenin birbirine eşit olduğu söylenir. İki bulanık küme sadece üyelik dereceleri bakımından birbirine eşit olabilir. A ve B bulanık kümelerinin eşitliği matematiksel olarak eşitlik 3.4’teki gibi ifade edilebilir (Özkan, 2003: 36):

$$\mu_A(x) = \mu_B(x) \forall x \in U \Leftrightarrow A \equiv B \quad (3.4)$$

3.6.2.2 Yükseklik Kavramı

Bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonunda yer alan en büyük üyelik derecesi, o bulanık kümenin yüksekliğini gösterir. Bulanık kümenin yüksekliği matematiksel olarak eşitlik 3.5'teki gibi ifade edilir (Kacprzyk ve Orlovski, 1987: 16):

$$\text{yükseklik}(\underline{A}) = \sup[\mu_{\underline{A}}(x)] \quad ; \quad \forall x \in U \quad (3.5)$$

3.6.2.3 Normallik Kavramı

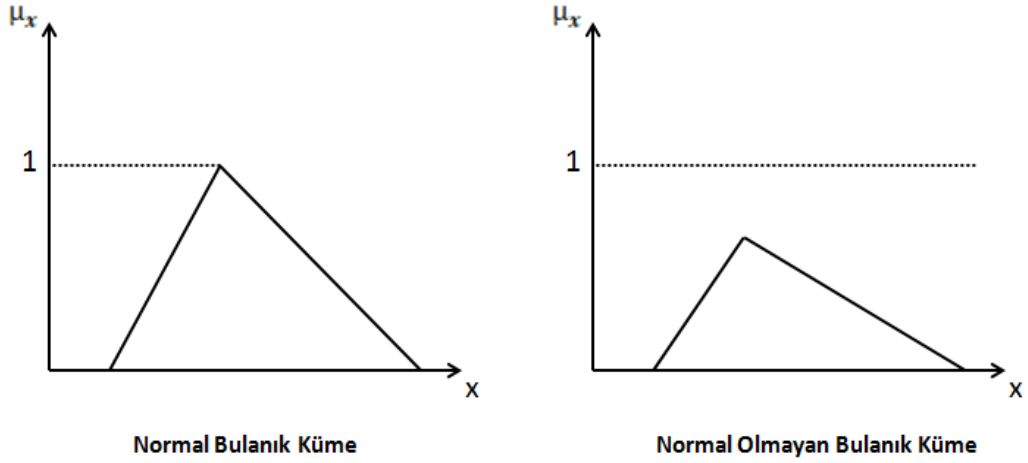
Bulanık kümenin üyelik fonksiyonunda, üyelik derecesi 1'e eşit olan bir eleman yer alıyorsa o kümeye normal bulanık küme denir ve eşitlik 3.6'daki gibi gösterilir (Ross, 2010: 91):

$$\text{yükseklik}(\underline{A}) = \sup[\mu_{\underline{A}}(x)] = 1 \quad ; \quad \exists x \in U \quad (3.6)$$

Bulanık kümede yer alan elemanların maksimum üyelik derecesi 1'den küçükse bu tür bulanık kümeler normal altı bulanık kümeler denir. Normal altı bulanık kümenin elemanları bulanık kümeye sadece kısmen üyedir. Normal altı bulanık bir kümeyi normalleştirmek için diğer üyelik dereceleri, en büyük üyelik derecesine bölünür ve matematiksel olarak eşitlik 3.7'deki gibi gösterilir. Şekil 13'te grafiksel gösterimi yer almaktadır (Bojadziev & Bojadziev, 2007: 10):

$$\text{norm}(\underline{A}) = \frac{\text{yükseklik}(\underline{A})}{\mu_{\underline{A}}(x)} \quad ; \quad \forall x \in U \quad (3.7)$$

Şekil 13: Normal ve Normal Olmayan Bulanık Kümeler



Kaynak: Ross, 2010: 91.

3.6.2.4 Kernel Kümesi

Bulanık kümelerde kernel kümesi, üyelik dereceleri 1'e eşit olan yani kümede tam üyelikle nitelendirilen ve evrensel kümede yer alan öğelerin oluşturduğu topluluk olarak tanımlanır.

Kernel kümesi bulanık olmayan bir kümedir. $\tilde{A}$ bulanık bir küme olmak üzere kernel kümesi eşitlik 3.8'deki gibi gösterilir (Ross, 2010: 90):

$$\text{Kernel}(\tilde{A}) = \{x \in U \mid \mu_{\tilde{A}}(x) = 1\} \quad (3.8)$$

3.6.2.5 Destek Kümesi

Bulanık kümelerde destek kümesi, üyelik dereceleri sıfırdan büyük olan öğelerin biraraya getirildiği küme olarak tanımlanır. Destek kümesini oluşturan her eleman 0 ile 1 arasında üyelik derecelerine sahiptir. Destek kümesi bulanık olmayan bir kümedir. Destek kümesini göstermek için eşitlik 3.9'daki matematiksel notasyonu kullanırız (Dubois ve Prade, 1980: 10):

$$\text{Destek}(\tilde{A}) = \{x \in U \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\} \quad (3.9)$$

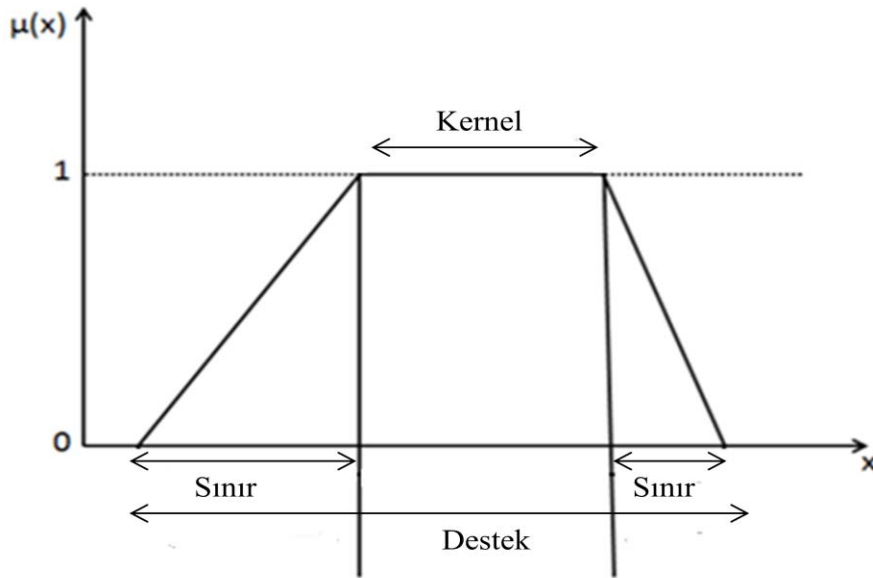
3.6.2.6 Sınır Kümesi

Bulanık kümelerde sınır kümesi, kümenin tam üyeliğine sahip olmayan sıfırdan büyük üyelik dereceli elemanlarının gösterildiği küme olarak tanımlanır. Evrensel kümede tanımlı $\tilde{A}$ bulanık kümesine kısmen üye olan elemanların yer aldığı kümedir. Sınır kümesi bulanık olmayan ya da geleneksel bir kümedir. Geçiş bölgesinde tanımlı elemanlarda kısmi öğeler sınıfında olup sınır kümesine dahildirler. Sınır kümesini göstermek için eşitlik 3.10'daki matematiksel notasyonu kullanırız (Ross, 2010: 90-91):

$$\text{Sınır}(\tilde{A}) = \{x \in U \mid 0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1\} \quad (3.10)$$

Şekil 14'te yukarıda açıklamaları yapılan kernel kümesi, destek kümesi ve sınır kümesi gösterilmiştir:

Şekil 14: Bir Bulanık Kümenin Kernel, Destek ve Sınırları



Kaynak: Ross, 2010: 90.

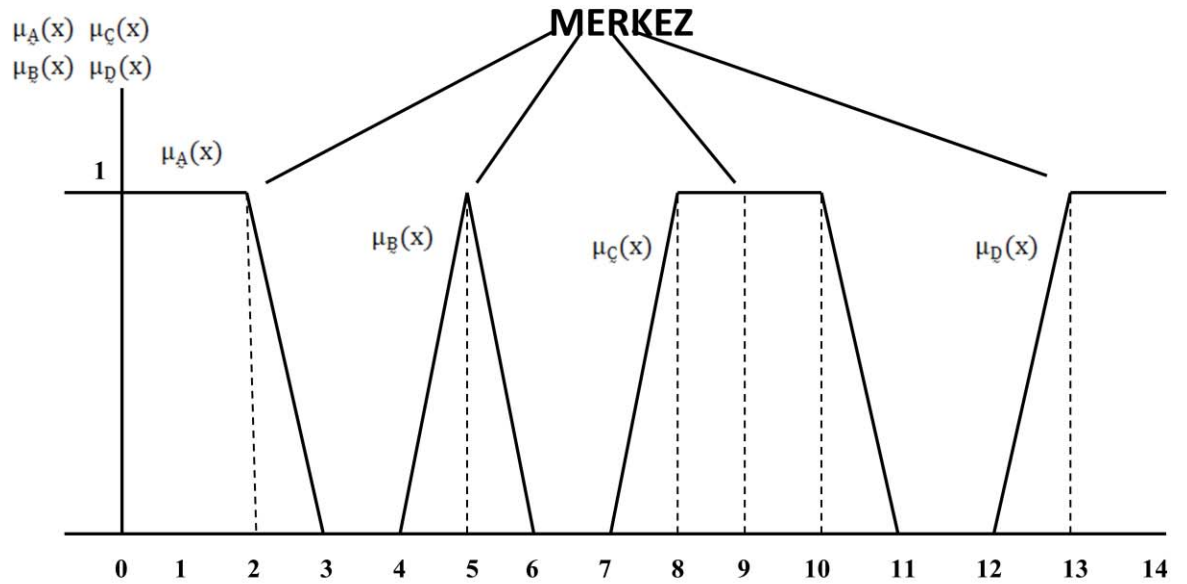
3.6.2.7 Geçiş Noktası (Cross-Over Point)

Bir üyelik fonksiyonunun geçiş noktası, evrensel kümede tanımlı $\tilde{A}$ bulanık kümesine $\alpha=0,5$ üyelik derecesi ile üye olan elemanları ifade eder (Ross, 2010: 92).

3.6.2.8 Merkez Kavramı

Bulanık bir kümeye ilişkin üyelik fonksiyonunun maksimum değeri sonlu bir sayı olduğunda, bu kümede yer alan elemanların üyelik derecelerinin ortalama değeri, bulanık kümenin merkezini verir. Ortalama değer negatif (veya pozitif) sonsuza eşitse, üyelik fonksiyonunun maksimum değerine ulaştığı noktalar arasından en büyük (veya en küçük) olan noktaya merkez denir. Şekil 15, $\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}, \tilde{D}$ bulanık kümeleri için merkez noktalarını göstermektedir (Wang, 1997: 27):

Şekil 15: Değişik Bulanık Kümeler için Merkez Noktaları



Kaynak: Wang, 1997: 27.

3.6.2.9 α -Kesimleri Kavramı

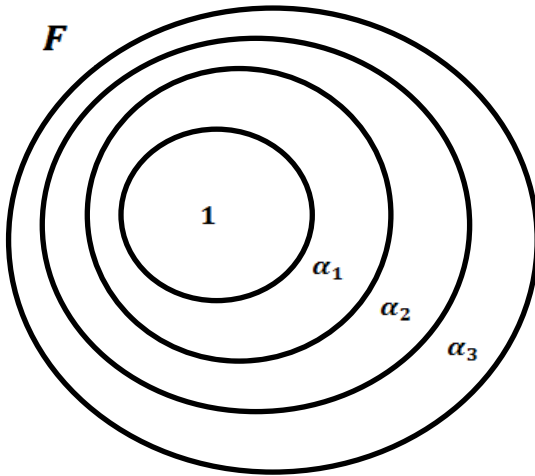
Evrensel kümedeki bir bulanık kümenin α -kesimi, üyelik değeri en az α 'ya eşit olan elemanların yer aldığı klasik ya da geleneksel kümelerdir. Bu küme $\alpha=0$ olduğunda evrensel kümenin tüm elemanlarına, $\alpha=1$ olduğunda ise tam üyelik derecelerine sahip kernel kümesine denk olur. Bir bulanık sayının α -kesimi her zaman kapalı, sınırlı ve aralıklıdır (Buckley ve Siler, 2005: 73). Bulanık kümeler net kümeler ailesini genelleştirir. Şekil 16'daki kümede yer alan elemanların α değeri $\alpha \in (0,1]$ olarak tanımlanan gerçel bir sayıdır. $\alpha_2 < \alpha_3$ olduğunda $A_{\alpha_2} \subseteq A_{\alpha_3}$ ilişkisi geçerlidir. Buradan α değeri arttıkça kümeye dahil olan eleman sayısının azaldığı söylenebilir (Dubois ve Prade, 2000: 44).

$$A_\alpha = \{x \in U \mid \mu_A(x) > \alpha\} \quad \text{ve} \quad \alpha \in [0,1) \quad (3.11)$$

$$A_\alpha = \{x \in U \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad \text{ve} \quad \alpha \in [0,1) \quad (3.12)$$

Eşitlik 3.11 ve eşitlik 3.12'deki üyelik fonksiyonları sırası ile güçlü α -kesimi ve zayıf α -kesimi olarak adlandırılır (Chen ve Pham, 2001: 37-38).

Şekil 16: Bulanık Kümelerin Yatay Görünümü



Kaynak: Dubois ve Prade, 2000: 45.

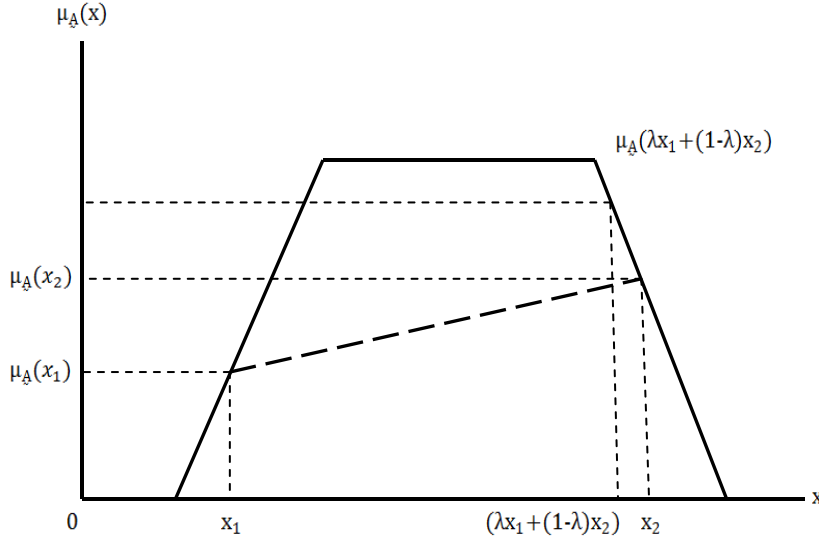
3.6.2.10 Dış Bükeylik Kavramı

Dış bükeylik kavramı bulanık kümeler taşıyacak şekilde genelleştirilebilir ancak bunun için evrensel küme n-boyutlu öklitsel uzay R^n olma şartı taşımaktadır. Bulanık bir A kümesi $(0,1]$ aralığındaki her bir α için dış bükey kümesinde yer alıyorsa dışbükeylik kavramından bahsedilebilir (Wang, 1997: 28). Dış bükeylik kavramı özellikle sınıflandırma ve optimizasyon problemlerinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Dış bükeylik kavramı, $x_1, x_2 \in U$ ve $\lambda \in [0,1]$ koşulları ile eşitlik 3.13'deki gibi tanımlanır (Zadeh, 1965: 346):

$$\mu_A[\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2] \geq \min[\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)] \quad (3.13)$$

Dış bükey olan bir bulanık kümenin genel olarak üyelik fonksiyonunda x 'e göre dış bükey bir fonksiyon olduğu anlamını doğurmaz. Dış bükey bulanık bir küme Şekil 17'de grafik olarak verilmiştir (Passino ve Yurkovich, 1998: 104):

Şekil 17: Dış Bükey Bulanık Bir Küme



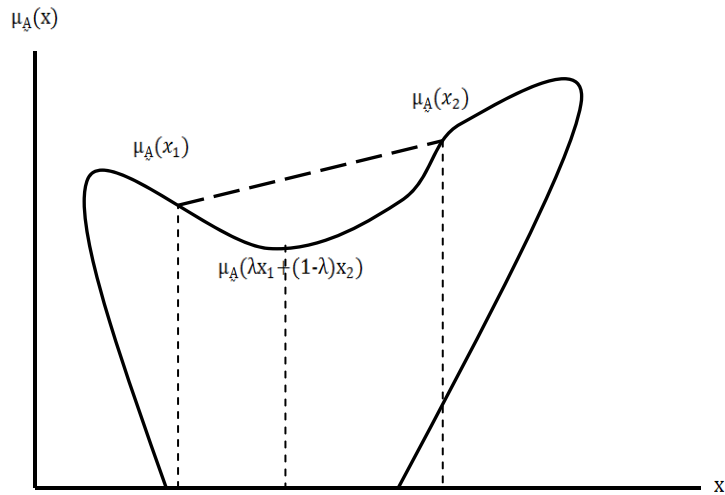
Kaynak: Passino ve Yurkovich, 1998: 104.

$\underline{A}$ bulanık kümesi dış bükey bir küme ise bu kümenin tümleyeni iç bükey bir kümedir. $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ gibi iki dış bükey bulanık kümenin $\underline{A} \cap \underline{B}$ kesişimide dış bükey bir kümedir. Yine aynı şekilde $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ bulanık kümeleri iç bükey kümeler ise $\underline{A} \cup \underline{B}$ birleşimide iç bükey bir küme oluşturur. İç bükeylik kavramı, $x_1, x_2 \in U$ ve $\lambda \in [0,1]$ koşulları ile eşitlik 3.14'deki gibi tanımlanır (Bellman ve Zadeh, 1970: 146):

$$\mu_{\underline{A}}[\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2] \leq \max[\mu_{\underline{A}}(x_1), \mu_{\underline{A}}(x_2)] \quad (3.14)$$

Dış bükey olmayan bulanık bir küme Şekil 18'de grafikolarak verilmiştir:

Şekil 18: Dış Bükey Olmayan Bulanık Bir Küme



Kaynak: Passino ve Yurkovich, 1998: 104.

3.6.2.11 Kardinalite Kavramı

Kardinalite kavramı, bulanık kümelerde, $\underline{A}$ bulanık kümesinin her bir elemanının üyelik derecelerinin toplamını gösterirken, klasik kümelerde kümede yer alan eleman sayısı anlamına gelmektedir. Sonlu bir evrensel kümede tanımlı olan $\underline{A}$ bulanık kümesinin kardinalitesi $\text{Card}(\underline{A})$ şeklinde ifade edilir (Kandel, 1986: 18). Kardinalite, bulanıklıktan arındırma, alt küme olma derecesi şeklindeki kuralları ve

özellikleri tanımlamak için gerekli bir kavramdır. Yüksekliği birden küçük olan normal altı bulanık kümeler için normalizasyon faktörü olarakta kullanılır. Kardinalite matematiksel olarak eşitlik 3.15'dekigibi şekilde tanımlanır (Özkan, 2003: 41):

$$\text{Card}(\tilde{A}) = \sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}}(x_i) \quad (3.15)$$

3.6.2.12 Alt Küme ve Kapsama

Bulanık kümelerde, $\tilde{A}$ kümesinin elemanlarının tamamı $\tilde{B}$ kümesinde elemanı ise $\tilde{A}$ kümesinin $\tilde{B}$ kümesinin bir alt kümesi olduğu ve $\tilde{B}$ kümesinin $\tilde{A}$ kümesini kapsadığı söylenir. Bu durum matematiksel olarak eşitlik 3.16'dakigibi gösterilir (Baykal ve Beyan, 2004: 67):

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x) \quad \forall x \in U \quad \tilde{A} \subseteq \tilde{B} \quad (3.16)$$

3.6.3 Bulanık Kümelerde İşlemler

Üçgensel bulanık sayıların bulanık sayı toplama, çarpma, çıkarma, bölme ve ters alma işlemleri aşağıdaki eşitliklerdeki gibi ifade edilir (Chen, 1996: 267):

A ve B iki üçgensel bulanık sayılar olsun;

$$A = (a_1, b_1, c_1) \quad B = (a_2, b_2, c_2)$$

Bulanık sayılarda toplama:

$$(a_1, b_1, c_1) + (a_2, b_2, c_2) = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2) \quad (3.17)$$

Bulanık sayılarda çarpma:

$$(a_1, b_1, c_1) \times (a_2, b_2, c_2) = (a_1 \times a_2, b_1 \times b_2, c_1 \times c_2) \quad (3.18)$$

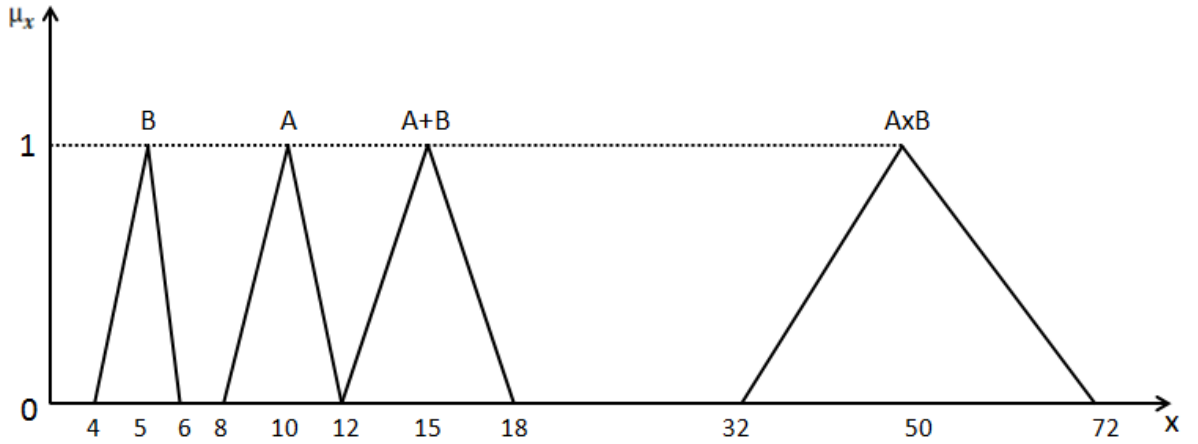
Örneğin, $A=(8,10,12)$ ve $B=(4,5,6)$ olsun

$$A + B = (8,10,12) + (4,5,6) = (12,15,18)$$

$$A \times B = (8,10,12) \times (4,5,6) = (32,50,72) \text{ şeklinde bulunur.}$$

Bulanık sayı işlemlerinin sonuçları grafiksel olarak Şekil 19’da verilmiştir:

Şekil 19: Bulanık Sayı İşlemleri



Kaynak: Chen, 1996: 267.

Bulanık sayılarda çıkarma:

$$(a_1, b_1, c_1) - (a_2, b_2, c_2) = (a_1 - a_2, b_1 - b_2, c_1 - c_2) \quad (3.19)$$

Bulanık sayılarda bölme:

$$(a_1, b_1, c_1) / (a_2, b_2, c_2) = (a_1/c_2, b_1/b_2, c_1/a_2) \quad (3.20)$$

Bulanık sayılarda ters alma:

$$(a_1, b_1, c_1) = (1/c_1, 1/b_1, 1/a_1) \quad (3.21)$$

3.6.4 Bulanık Küme İşlemleri

Aynı evrensel kümede yer alan geleneksel kümelerde kesişim, birleşim ve tümlleme olmak üzere üç temel işlem vardır. Geleneksel kümede yer alan a ve b kümeleri için kesişim, birleşim ve tümlleme işlemleri aşağıdaki gibi tanımlanır (Chen ve Pham, 2001: 68):

$$\mu_A(a \cap b) = \mu_A(a) \cap \mu_A(b) = \min (\mu_A(a), \mu_A(b)) \quad (3.22)$$

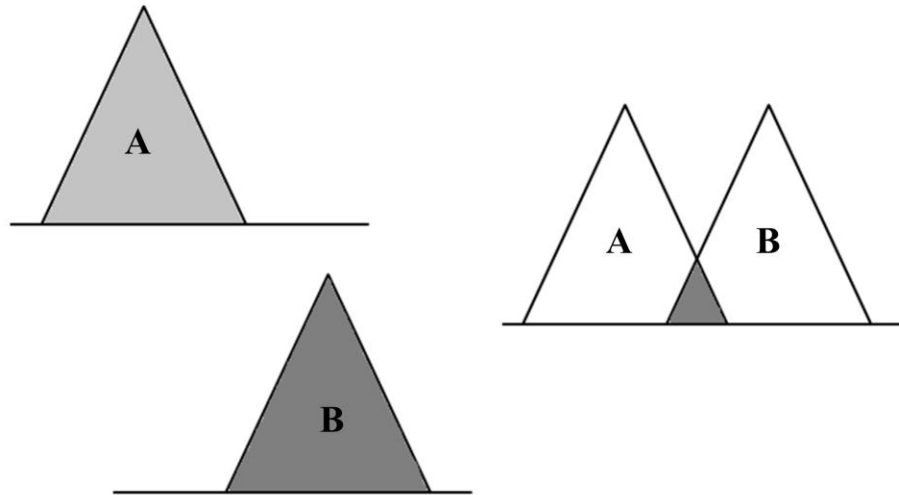
$$\mu_A(a \cup b) = \mu_A(a) \cup \mu_A(b) = \max (\mu_A(a), \mu_A(b)) \quad (3.23)$$

$$\mu_A(\bar{a}) = 1 - \mu_A(a) \quad (3.24)$$

Geleneksel kümelerdeki üç temel işlem bulanık kümelerle de uygulanabilir. Bulanık kümelerde kesişim, birleşim ve tümlenme işlemlerini yapabilmek için genel olarak minimum, maksimum ve değilleme işlemcileri kullanılır. Bu işlemcilerin matematiksel ve grafiksel gösterimleri sırasıyla eşitlik 3.22, 3.23, 3.24 ve Şekil 20, Şekil 21 ve Şekil 22'deki gibidir (Chen ve Pham, 2001: 71):

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min (\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (3.25)$$

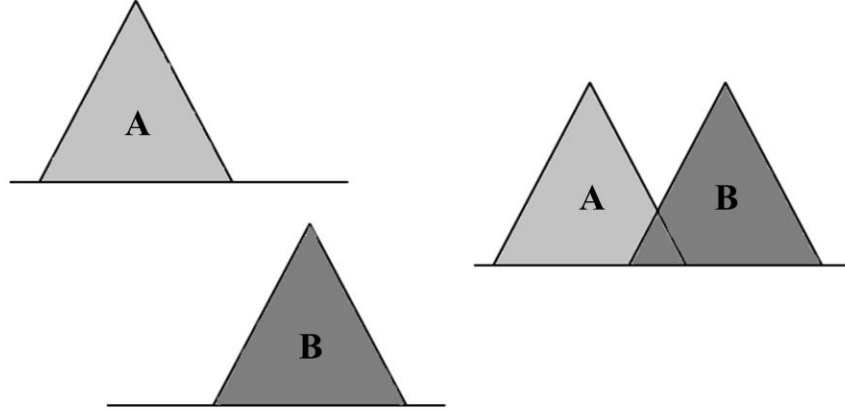
Şekil 20: Bulanık Kümelerin Kesişim İşleminin Gösterimi



Kaynak: Baykal ve Beyan, 2004: 102.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max (\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (3.26)$$

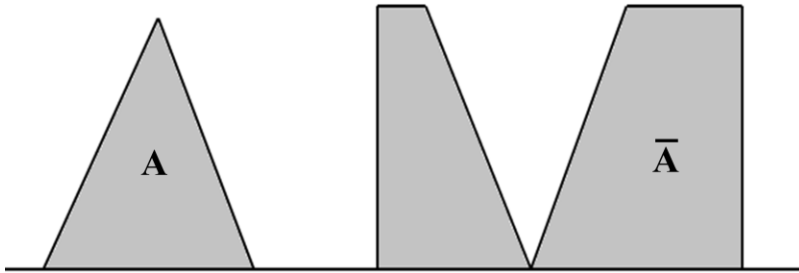
Şekil 21: Bulanık Kümelerin Birleşim İşleminin Gösterimi



Kaynak: Baykal ve Beyan, 2004: 99.

$$\mu_{\Rightarrow \bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.27)$$

Şekil 22: Bulanık Kümelerin Tümlleme İşleminin Gösterimi



Kaynak: Baykal ve Beyan, 2004 :96.

Bulanık kümelerdeki kesişim, birleşim ve tümlleme işlemlerinin temel özellikleri aşağıdaki eşitliklerdeki gibidir (Jones ve diğerleri, 1986: 191-192):

$$\text{Değişme: } \begin{cases} \mu_{A \cap B}(x) = \mu_{B \cap A}(x) \\ \mu_{A \cup B}(x) = \mu_{B \cup A}(x) \end{cases} \quad (3.28)$$

$$\text{Birleşme: } \begin{cases} \mu_{A \cap (B \cap C)}^{(x)} = \mu_{(A \cap B) \cap C}^{(x)} \\ \mu_{A \cup (B \cup C)}^{(x)} = \mu_{(A \cup B) \cup C}^{(x)} \end{cases} \quad (3.29)$$

$$\text{Dağılma: } \begin{cases} \mu_{A \cap (B \cup C)}^{(x)} = \mu_{(A \cap B) \cup (A \cap C)}^{(x)} \\ \mu_{A \cup (B \cap C)}^{(x)} = \mu_{(A \cup B) \cap (A \cup C)}^{(x)} \end{cases} \quad (3.30)$$

$$\text{Yansıma: } \begin{cases} \mu_{A \cap A}(x) = \mu_A(x) \\ \mu_{A \cup A}(x) = \mu_A(x) \end{cases} \quad (3.31)$$

$$\text{Özdeşlik: } \begin{cases} \mu_{A \cap \emptyset}(x) = \mu_{\emptyset}(x) \\ \mu_{A \cup \emptyset}(x) = \mu_A(x) \\ \mu_{A \cap U}(x) = \mu_A(x) \\ \mu_{A \cup U}(x') = \mu_U(x) \end{cases} \quad (3.32)$$

$$\text{Çift Değilleme: } \mu_{\bar{A}}(x) = \mu_A(x) \quad (3.33)$$

$$\text{De Morgan Kuralları: } \begin{cases} \mu_{\overline{A \cap B}}(x) = \mu_{\bar{A} \cup \bar{B}}(x) \\ \mu_{\overline{A \cup B}}(x) = \mu_{\bar{A} \cap \bar{B}}(x) \end{cases} \quad (3.34)$$

3.6.4.1 Bulanık Kesişim Kümesi

Evrensel kümede tanımlı olan $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları $\mu_{\underline{A}}(x)$ ve $\mu_{\underline{B}}(x)$ olarak tanımlanır. $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ bulanık kümelerine ilişkin üyelik fonksiyonlarını $\underline{A} \cap \underline{B}$ kesişim kümesinin üyelik fonksiyonuna dönüştüren eşleşme, $t: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ şeklinde tanımlanır. Tanımlamada yer alan her bir $[0, 1]$ terimi sırasıyla $\underline{A}$, $\underline{B}$ ve $\underline{A} \cap \underline{B}$ bulanık kümelerinin alabileceği üyelik değerlerini ifade eder. İki bulanık kümenin kesişimi yeni bir bulanık kümeyle sonuçlanır. Bu nedenle, $[0, 1]$ aralığında değerler alabilen $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ bulanık

kümelerinin kesişim kümesinde aynı aralıkta değerler alır. Sonuç olarak t-eşleşmesi eşitlik 3.35'tekigibi gösterilir (Novak ve diğerleri, 1992: 90):

$$t[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_{A \cap B}(x) \quad (3.35)$$

Literatürde, bulanık kesişim kümesini hesaplamak için kullanılan çeşitli parametrik t-eşleşmeleri yer alır. Söz konusu t-eşleşmeleri ve matematiksel gösterimleri eşitliklerdeki gibidir:

Cebirsel çarpım:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) * \mu_B(x) \quad (3.36)$$

Sınırlı çarpım:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \max[0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1] \quad (3.37)$$

Drastic çarpım:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \begin{cases} \mu_A(x) & ; \text{eğer } \mu_B(x) = 1 \text{ ise} \\ \mu_B(x) & ; \text{eğer } \mu_A(x) = 1 \text{ ise} \\ 0 & ; \text{eğer } \mu_A(x), \mu_B(x) < 1 \text{ ise} \end{cases} \quad (3.38)$$

Minimum:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (3.39)$$

Einstein çarpımı:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \frac{\mu_A(x) * \mu_B(x)}{2 - (\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) * \mu_B(x))} \quad (3.40)$$

Yager sınıfı t-eşleşmeleri:

$$\mu_{A \cap B}(x) = 1 - \min\left\{1, \left[\left(1 - \mu_A(x)\right)^w + \left(1 - \mu_B(x)\right)^w\right]^{1/w}\right\} \quad (3.41)$$

Hamacher sınıfı t-eşleşmeleri:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \frac{\mu_A(x) * \mu_B(x)}{\gamma + (1-\gamma)(\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) * \mu_B(x))} \quad (3.42)$$

Frank sınıfı t-eşleşmeleri:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \log_s \left[1 + \frac{(s^{\mu_A(x)} - 1)(s^{\mu_B(x)} - 1)}{s - 1} \right] \quad (3.43)$$

Dombi sınıfı t-eşleşmeleri:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{1}{\mu_A(x)} - 1 \right)^\lambda + \left(\frac{1}{\mu_B(x)} - 1 \right)^\lambda \right]^{1/\lambda}} \quad (3.44)$$

Dubois prade sınıfı t-eşleşmeleri:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \frac{\mu_A(x) * \mu_B(x)}{\max(\mu_A(x), \mu_B(x), \alpha)} \quad (3.45)$$

3.6.4.2 Bulanık Birleşim Kümesi

Evrensel kümede tanımlı olan A ve B bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(x)$ olarak tanımlanır. A ve B bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonlarını, $A \cup B$ birleşim kümesinin üyelik fonksiyonuna dönüştüren bir eşleşme matematiksel olarak eşitlik 3.46'dakigibi gösterilir:

$$s[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_{A \cup B}(x) \quad (3.46)$$

Literatürde, bulanık birleşim kümesini hesaplamak için kullanılan çeşitli parametrik s-eşleşmeleri yer alır. Söz konusu s-eşleşmeleri ve matematiksel gösterimleri aşağıdaki eşitliklerdeki gibidir (Novak ve diğerleri, 1992: 90):

Cebirsel toplam:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) * \mu_B(x) \quad (3.47)$$

Sınırlı toplam:

$$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = \min[1, \mu_{\underline{A}}(x) + \mu_{\underline{B}}(x)] \quad (3.48)$$

Drastic toplam:

$$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = \begin{cases} \mu_{\underline{A}}(x) & ; \text{eğer } \mu_{\underline{B}}(x) = 0 \text{ ise} \\ \mu_{\underline{B}}(x) & ; \text{eğer } \mu_{\underline{A}}(x) = 0 \text{ ise} \\ 1 & ; \text{eğer } \mu_{\underline{A}}(x), \mu_{\underline{B}}(x) > 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (3.49)$$

Maksimum:

$$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = \max(\mu_{\underline{A}}(x), \mu_{\underline{B}}(x)) \quad (3.50)$$

Einstein toplamı:

$$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = \frac{\mu_{\underline{A}}(x) + \mu_{\underline{B}}(x)}{1 + (\mu_{\underline{A}}(x) * \mu_{\underline{B}}(x))} \quad (3.51)$$

Yager sınıfı t-eşleşmeleri:

$$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = \min\{1, \left[\left(\mu_{\underline{A}}(x) \right)^w + \left(\mu_{\underline{B}}(x) \right)^w \right]^{1/w}\} \quad (3.52)$$

Hamacher sınıfı t-eşleşmeleri:

$$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = \frac{\mu_{\underline{A}}(x) + \mu_{\underline{B}}(x) - (2 - \gamma)(\mu_{\underline{A}}(x) * \mu_{\underline{B}}(x))}{1 - (1 - \gamma)(\mu_{\underline{A}}(x) * \mu_{\underline{B}}(x))} \quad (3.53)$$

Frank sınıfı t-eşleşmeleri:

$$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = 1 - \log_s \left[1 + \frac{(s^{1-\mu_{\underline{A}}(x)} - 1)(s^{1-\mu_{\underline{B}}(x)} - 1)}{s - 1} \right] \quad (3.54)$$

Dombi sınıfı t-eşleşmeleri:

$$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{1}{\mu_{\underline{A}}(x)} - 1 \right)^{-\lambda} + \left(\frac{1}{\mu_{\underline{B}}(x)} - 1 \right)^{-\lambda} \right]^{-\frac{1}{\lambda}}} \quad (3.55)$$

Dubois prade sınıfı t-eşleşmeleri:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \frac{\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) * \mu_B(x) - \min\{\mu_A(x), \mu_B(x), 1 - \alpha\}}{\max(1 - \mu_A(x), 1 - \mu_B(x), \alpha)} \quad (3.56)$$

3.7. ÜYELİK FONKSİYONLARI VE ÜYELİK DERECELERİ

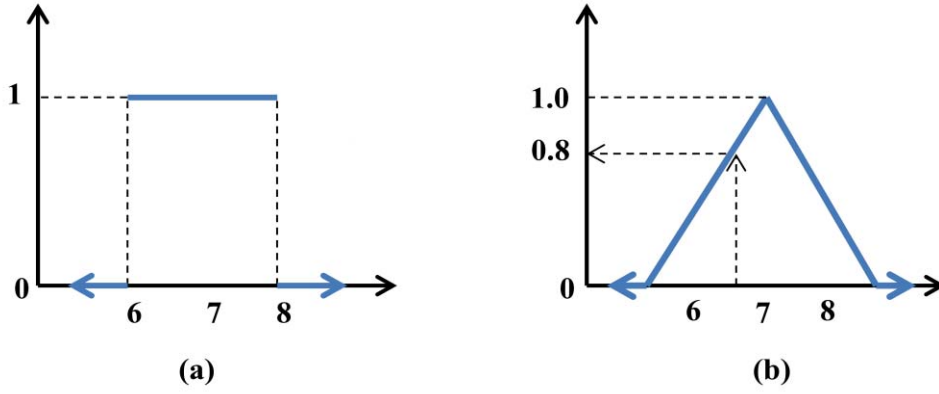
Geleneksel ve bulanık kümeler sınır koşulu ve üyelik derecesi bakımından birbirinden ayrılırlar. Klasik kümeler net kümeler olarak ifade edilir ve sınır koşulları bellidir. Bulanık bir kümede ise sınırlar esnek tutularak kısmi üyeliğe izin verilir. Bu özelliği ile geleneksel küme teorisinden ayrılmıştır. Bulanık küme teorisi küme üyeliği için $[0,1]$ aralığındaki her değeri üyelik derecesi olarak kabul eder. Klasik küme teorisinde, bu işlem evrensel kümede yer alan nesneler için belirlenen özellikleri ya karşılıyor ya da karşılamıyordur ve $\{0,1\}$ şeklinde ifade edilir (Jamshidi, 1997: 498).

Bulanık kümelerde nesnenin kümeye üyeliğinin kuvveti üyelik dereceleri ile açıklanır. Üyelik dereceleri $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$ arasındaki değerler ile elemanın kümeye üyeliğini temsil eder (Zimmermann, 1987: 11).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1; & 6 \leq x \leq 8 \\ 0; & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Klasik kümelerde iki değerli mantık ile küme elemanları oluşturulmaktadır. Bu durumda yukarıdaki ifadede 6 ile 8 arasındaki elemanlar o kümenin elemanıdır ve 1 değerini alır. 6'dan küçük 8'den büyük elemanlar küme dışı bırakılarak 0 değerini almaktadır. Bulanık kümelerde ise tam üye olan 7 sayısının üyelik derecesi 1 olarak belirlenir. 7 rakamından 6'ya ve 8'e doğru gidildiğinde üyelik derecesi 0'a yaklaşır. 7 rakamının sağında ve solunda eşit mesafede bulunan rakamlar eşit üyelik derecelerine sahiptir. Klasik kümelerden bir başka farkı ise 6'dan küçük 8'den büyük elemanların belirli bir sınıra kadar reddedilmemesidir. Bu durum Şekil23'te gösterilmiştir (Bezdek, 1992: 24-25):

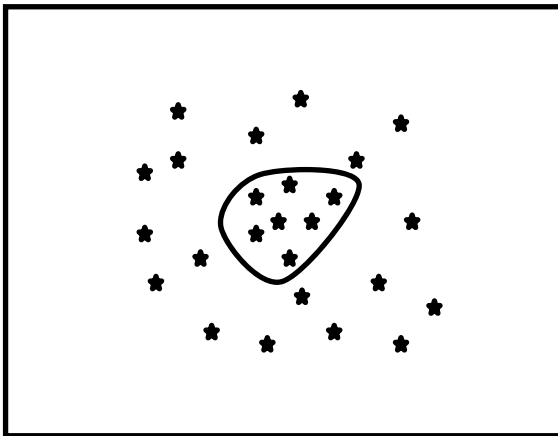
Şekil 23: Klasik Küme (a) ve Bulanık Küme (b) Üyelik Fonksiyonlarının Gösterimi



Kaynak: Bezdek, 1992: 25.

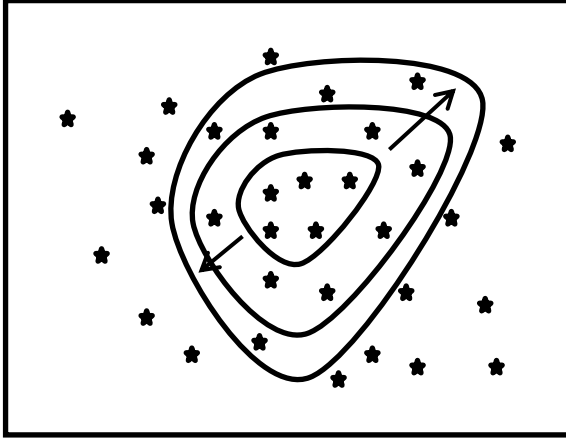
Bir kümenin sınırlarını esnek olarak düşündüğümüzde, kümeye üye olmaya çok yakın olan kısmi üyelik dereceli elemanlar kümeye dahil olmaya başlar. Sınırlar esnek tutulmadığında ise kısmi üyelik derecesine bakılmadan eleman kümeden atılır. Ancak bulanık küme teorisindeki bu esnemenin boyutu dahil olacak yeni noktaların konumuna bağlıdır. Esneme başladıkça yeni giren üyelerin üyelik dereceleri 0 üyelik derecesine kadar iner ve dışarıda kalan üyelere 0 üyelik derecesi atanır. Bu durum Şekil 24 ve Şekil 25'te gösterilmiştir (Özkan, 2003: 4-5):

Şekil 24: Geleneksel Küme Durumu



Kaynak: Özkan, 2003: 5.

Şekil 25: Bulanık Küme Durumu



Kaynak: Özkan, 2003: 5.

Üyelikten üye olmamaya doğru dereceli bir geçişe izin veren herhangi bir fonksiyon üyelik fonksiyonu olarak kabul edilebilir. Bulanık bir küme farklı üyelik fonksiyonları ile gösterilebilir ancak bu üyelik fonksiyonları atanırken belirli kurallar dikkate alınır. Üyelik dereceleri rasgele verilemez (Lin ve Lee, 1996: 12).

3.8. ÜYELİK FONKSİYON ÇEŞİTLERİ

Çok sayıda üyelik fonksiyonu olmakla birlikte uygulamalarda en çok kullanılanlar, isimlerini fonksiyonlarının biçimlerinden alan üçgensel ve yamuksal üyelik fonksiyonlarıdır (Özkan, 2003: 55).

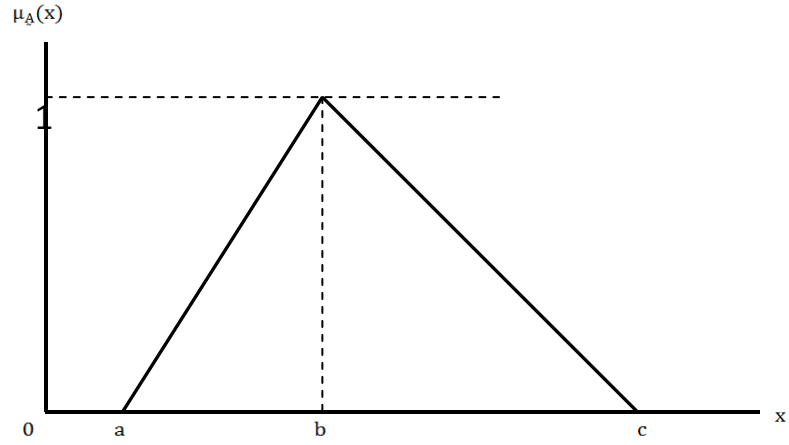
3.8.1 Üçgensel Üyelik Fonksiyonu

Gerçel sayı doğrusunda tanımlı olan bir üçgen üyelik fonksiyonu a , b ve c olmak üzere üç parametre ile tanımlanır. Üçgen üyelik fonksiyonunun matematiksel formülasyonu eşitlik 3.57'dekigibi ifade edilir (Pedrycz ve Gomide, 2007: 34):

$$\mu_{\hat{A}}(x) = \mu_{\hat{A}}(x; a, b, c) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & ; a \leq x \leq b \text{ ise} \\ \frac{c-x}{c-b}, & ; b \leq x \leq c \text{ ise} \\ 0, & ; x \geq c \text{ veya } x \leq a \text{ ise} \end{cases} \quad (3.57)$$

Şekil 26’da, a ve c parametreleri destek kümesinin değişim aralığını ve b parametresi ise üyelik derecesi 1 olan bulanık kümenin kernel kümesini göstermektedir. Buradan üçgensel bulanık kümenin normallik özelliğini koruduğu görülmektedir.

Şekil 26: Üçgensel Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Pedrycz ve Gomide, 2007: 34.

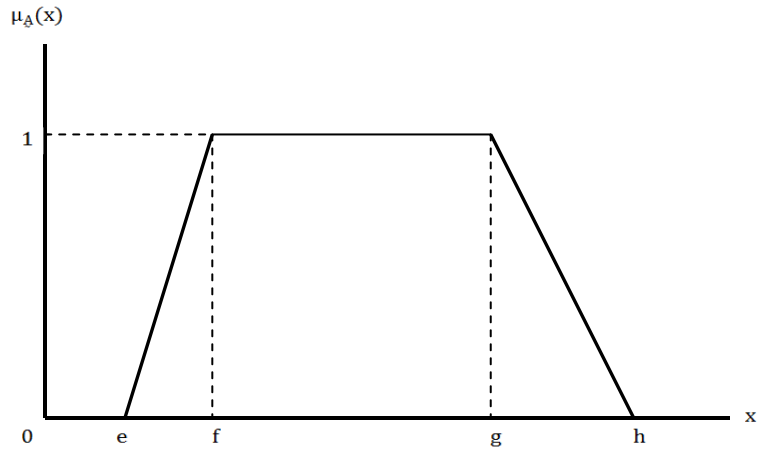
3.8.2 Yamuksal Üyelik Fonksiyonu

Gerçel sayı doğrusunda tanımlı olan bir yamuk üyelik fonksiyonu a, b, c ve d olmak üzere dört parametre ile tanımlanır. Yamuksal üyelik fonksiyonunun matematik formülasyonu eşitlik 3.58’dekigibi ifade edilir (Pedrycz ve Gomide, 2007: 35):

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x; e, f, g, h) = \begin{cases} \frac{x-e}{f-e}, & ; e \leq x \leq f \text{ ise} \\ 1, & ; f \leq x \leq g \text{ ise} \\ \frac{h-x}{h-g}, & ; g \leq x \leq h \text{ ise} \\ 0, & ; x \geq h \text{ veya } x \leq e \text{ ise} \end{cases} \quad (3.58)$$

Şekil 27’de, e ve h parametreleri destek kümesinin değişim aralığını f ve g parametreleri ise kernel kümesini temsil eder. Kernel kümesi 1 üyelik dereceli elemanların bulunduğu bir küme olup burada f parametresi kernel kümesinin alt sınırını g parametresi ise üst sınırını göstermektedir:

Şekil 27: Yamuksal Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Pedrycz ve Gomide, 2007: 35.

3.9.DİLSEL DEĞİŞKENLER

Problemleri çözmek için bulanık sistemlerin kullanılmasında, en önemli adımlardan biri bulanık terimlerle problemi ifade etmektir. Bu süreç bulanık terimleri kavramsallaştırma olarak adlandırılır. Bir problemin belirlenmesi ve tanımlanmasında dilsel terimler kullanılır (Kasabov, 1996: 178).

Memnun olma, makul ya da memnuniyetsizlik gibi dilsel ifadeler tercihlerin ve kararların doğal bir ifadesi olarak kabul edilir. Bu özellikler insanın öznel yargıları ile ilgili olan kavramların belirsizliğini ölçmek için karar vericilerin tercih

yapılarını yakalamada, bulanık küme teorisinin uygulanabilirliğini gösterir (Tsauro ve diğerleri, 2002: 107-108).

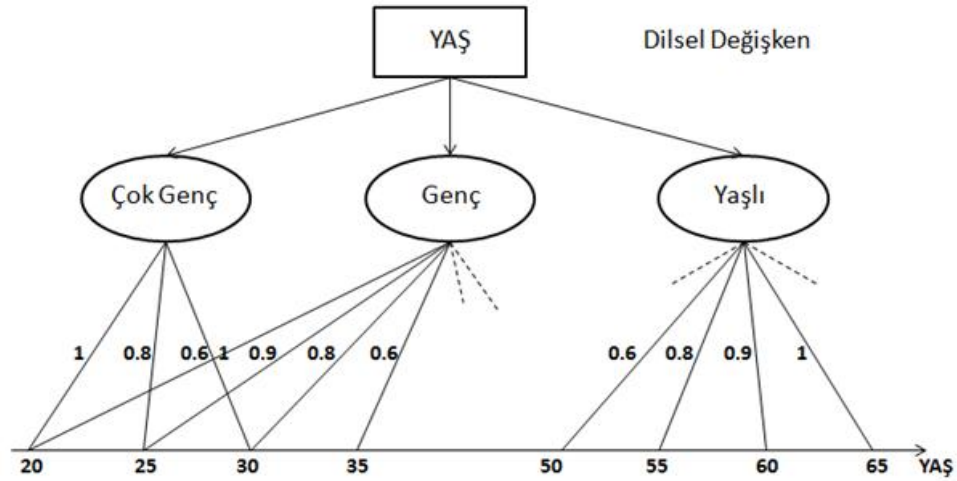
Bulanık karar verme ortamında iki tercih sıralaması kullanılabilir. Bunlar bulanık sayılar ve bulanık sayılarla tanımlanan dilsel değişkenlerdir. Sıralama seti çeşitli kriterlere karşı alternatiflerin ne kadar iyi olduğunu analitik olarak tanımlamak ve açıklamak için kullanılır (Chang ve Chen, 1994: 133).

Dilsel değişkenlerin değerlerinin tamamı prensipte sonsuz sayıda elemana sahip olan terim kümesinden oluşur. Örneğin “yaş” farklı şekillerde algılanabilen dilsel değişkenler terim kümesine sahiptir. Buna göre;

Yaş kümesi= genç + genç değil + çok genç + çok genç değil + aşırı genç + ... + yaşlı + yaşlı değil + çok yaşlı + çok yaşlı değil + ... + ne çok genç ne çok yaşlı + ... + orta yaşlı + orta yaşlı değil + ... + ne yaşlı ne orta yaşlı + ... + aşırı yaşlı + ...

Buradaki “+” ifadesi aritmetik toplamdan ziyade birliği göstermek için kullanılır. Bu durum üyelik dereceleri Şekil 28’de gösterilmiştir (Zadeh, 1975: 202-203):

Şekil 28: Dilsel Değişkenin Hiyerarşik Yapısı



Kaynak: Zadeh, 1975: 204.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

İnsanlar günlük hayatlarında, evde veya herhangi bir yerde karar verilmesi gereken durumlarda, hep çok kriterli karar verme problemleriyle uğraşmak zorunda kalırlar. Karar vericiler bu sorunların çözümünde, tek bir kriterden ziyade çok sayıda kriter altında olası alternatifleri dikkate alarak seçimlerini yaparlar. Karar vericilerin karşılaştığı problemler karşısında zorlanmasının nedenleri arasında çok sayıda kriterin bir arada düşünülmesi ve bazı verilerin belirsiz olması yatmaktadır. Kriter sayısının fazla olduğu durumlarda, probleme çözüm bulabilmek için geliştirilen bilimsel yöntemlerden biri de çok kriterli karar verme yöntemleridir (Yan, 2002: 197).

Çok kriterli karar verme yöntemleri, daha fazla oranda nitel verilere ve karar vericilerin görüşlerine dayandığı için son yıllarda bu tip durumlarda verileri analiz etmek için bulanık mantık anlayışı kullanılmaya başlanmıştır. Pek çok araştırmacı belirliliğin mevcut olduğu ortamlarda kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerini, bulanık ortamlar altında karar verilerinin belirsiz olduğu durumlara uyarlayarak bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerini geliştirmişlerdir (Wang, 2011: 1994).

Son yirmi beş yılda bulanık kümelerin çok kriterli karar verme yöntemleriyle entegre edilmesi sonucu bulanık çok kriterli karar verme, problemlerin çözümünde önemli bir yer tutmuştur. Bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin alanı genişlemiş ve günümüzde kendisine pek çok uygulama alanı bulmuştur (Roubens, 1997: 199). Bu alanlar arasında; karar bilimi, sistem mühendisliği, yönetim bilimi ve yöneylem araştırması sayılabilir.

BÇKKV problemlerinin çözümünde önemli olan, karar vericilerin tercihleri doğrultusunda kriterlerin ve alternatiflerin doğru tespiti ve sağlıklı değerlendirilmesidir. Bu süreçte karar vericiden elde edilen belirsiz ya da net olmayan bilgiler bulanık kümeler yardımıyla modellemeye dahil edilir (Li, 1999: 113).

Çok kriterli karar verme yaklaşımında, tüm hedeflerle ilgili değerlendirme kriterlerinin göreceli ağırlıklarını belirlemekte karar vericiler zorlanır (Mahdavi

vedig erleri, 2008: 1). Kriter ağırlıklarının hangi rakamlarla ifade edileceğı sorunu, karar vericilerin kararsız bir ortamda kalmasına neden olur. Bu sorunun üstesinden gelmek için bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinde belirsizlik içeren insan düşüncelerini yansıtan bulanık sayılar kullanılır (Wang, 2011: 1994). Çok kriterli karar verme problemlerinde, Bulanık TOPSIS (Hwang ve Yoon, 1981), Bulanık AHP (Laarhoven ve Pedrycz, 1983), Bulanık PROMETHEE (Le Teno ve Mareschal, 1998), Bulanık VIKOR (Chen ve Wang, 2005), Bulanık DEMATEL (Fontela ve Gabus, 1973) gibi bulanık küme teorisi ile bütünleşik teknikler kullanılarak daha doğru ve daha hassa kararlar verilebilir. Bu bölümde uygulamaya konu olan Bulanık TOPSIS yöntemi detaylı olarak açıklanacaktır.

4.1. BULANIK TOPSIS

Gerçek dünyada bilginin net olarak elde edilememesi ve eksikliğinden dolayı veriler genellikle çok deterministik değildir. Bu verilerin bulanık ve belirsiz olu u TOPSIS'in bulanık verilerle genişlemesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır (Jahanshahloo ve diğerleri, 2006: 1548).

Hayatın her alanında, çok kriterli karar verme problemleri ile kar ıla ılmaktadır. Kar ıla ılan problemlerde, amaçlar doğrultusunda klasik çok kriterli karar verme yöntemleri tam ve kesin sonuca ulaşmada yardımcı olmayabilir. Klasik çok kriterli karar verme yöntemlerinin yetersiz kalmasının nedenleri arasında eksik bilgi, herkes tarafından farklı anlaşılan bilgiler ve ifade edilirken tam bir sayısal karşılığı olmayan bilgiler sayılabilir (Kahraman, 2008:10-11).

Hwang ve Yoon tarafından ilk olarak 1981'de ideal çözüme benzerlik yoluyla tercihlerin sıralanmasını sağlayan TOPSIS tekniği geliştirildi (Hwang ve Yoon, 1981: 128). TOPSIS yönteminde, performans değerlendirmelerinde ve kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde karar vericilerden kesin sayılar kullanılması istenmektedir. Pek çok durumda, gerçek yaşamda karşılaşılan karmaşık durumların modellenmesi için özünde bulanıklık olan karar verme problemlerinin çözümünde, seçimlerin ağırlıklandırılması ve sıralanması aşamalarında çok kriterli karar verme yöntemlerindeki deterministik yaklaşımlar yetersiz kalır. İnsanlar tercih

ederken kararlarında genellikle net değildirler ve kararlarını kesin sayısal değerlerle açıklayamazlar(Chen, 2000: 2). Alınmak istenen kararların çoğunda kriterlerin performansları nitel veya sözel terimler kullanılarak ifade edilirler. Klasik çok ölçütlü karar verme problemlerinin uygulanması, kesin olmayan ve belirsizlik içeren durumlardan dolayı imkansızlaşır (Kahraman, 2008: 10-11). Bu durumu çözmek için Chen sayısal değerler yerine dilsel değişkenleri kullanmanın daha gerçekçi bir yaklaşım olacağını savunmuştur. Bulanık TOPSIS metodunda kriterlerin sıralanması ve ağırlıklandırmasında karar vericilerin dilsel ifadeler kullanmasıyla birlikte yöntemin uygulanması kolaylaşmıştır (Chen, 2000: 2).

TOPSIS yönteminin içinde üçlü bulanık sayıların kullanılmasıyla yapılan çalışmalar ilk kez Negi (1989) tarafından yapılan doktora teziyle başlatılmıştır. Bazı araştırmacılar tarafından Bulanık TOPSIS algoritmasında ortaya çıkan eksiklikleri gidermek için çalışmalar yapılmıştır. Bulanık TOPSIS yöntemi, bulanık bir ortamda çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü için geliştirilmiştir (Chen, 2000: 2).

Bulanık yaklaşım kullanmanın amacı, kesin sayılar yerine bulanık sayılar kullanarak kriterlerin göreceli önemlerini atamak için karar vericilere yardımcı olmaktır (Yang ve Hung, 2007: 129). Bir başka ifade ile dilsel değişkenlerin kullanım amacı, karar vericileri sübjektif yargılarından kurtarmak ve hem nitel hem de nicel verilerle değerlendirme yapabilme olanağı tanımaktır (Wang ve Chang, 2007: 874).

Karar vericiler Bulanık TOPSIS yönteminde kriterlerin ve kriterlerin varlığı altında alternatifleri değerlendirirken bulanık sayılardan dolayısıyla dilsel değişkenlerden yararlanmaktadırlar. Bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Bulanık TOPSIS tekniğinde karar vericiler kriterlerin değerlerini ve göreceli ağırlıklarını genellikle daha yaygın olarak kullanılan üçgensel ve yamuksal bulanık sayılar yardımıyla tanımlarlar (Wang ve Elhag, 2006: 310).

Bu teknik seçilen alternatifin negatif ideal çözümden en uzak, pozitif ideal çözüme en yakın mesafeye sahip olması esasına dayanır (Hwang ve diğerleri, 1992: 38). Pozitif ideal çözüm kümesi fayda kriterinin maksimum zarar kriterlerini minimum olduğu, negatif ideal çözüm kümesi fayda kriterinin minimum zarar kriterini maksimum olduğu çözümleri göstermektedir. Pozitif ideal çözüm kümesine maksimum benzerlik gösteren alternatif seçilir (Wang ve Lee, 2007: 1763).

Bulanık TOPSIS yönteminin literatürde farklı yaklaşımları bulunmaktadır. Literatürde yer alan mevcut Bulanık TOPSIS yöntemlerini birbirinden ayıran nokta her birinin farklı hesaplama tekniklerinin olmasıdır. Bulanık TOPSIS yöntemleri var olan problemlerin çözümünde bazen üçgensel bazen ise yamuksal bulanık sayılar olarak kullanılmaktadır. Chen ve Hwang'ın geliştirdiği Bulanık TOPSIS yönteminde kriterlerin ağırlıklandırılmasında yamuksal bulanık sayılar kullanılmıştır ve çalışmanın devamında Lee ve Li'nin (1988) genelleştirilmiş ortalama yöntemiyle doğrusal normalizasyonu tamamlamışlardır (Chen ve Hwang, 1992: 88). Liang kriterleri ağırlıklandırırken Chen ve Hwang gibi yamuksal bulanık sayıları kullanmışlar sıralama yönteminde, Chen (1985) küme maksimizasyonu ve küme minimizasyonu yöntemini kullanarak Manhattan mesafesi ile normalizasyon işlemini tamamlamıştır (Liang, 1999: 686).

Literatürde yayınlanmış olan pek çok makalenin incelenmesi neticesinde Bulanık TOPSIS'in uygulama alanları saptanmaya çalışılmıştır. Bulanık TOPSIS yöntemi kolay uygulanabilir ve ürettiği sonuçların tatmin seviyesinde olması nedeniyle kendisine pek çok uygulama alanı bulmuştur. Günümüzde Bulanık TOPSIS yöntemi karmaşık karar problemlerinin var olduğu birçok farklı alanda uygulamaya konulmuştur. Çalışmanın bu aşamasında Bulanık TOPSIS uygulamaları örneklendirilmiştir. Örneklemelerde yapılmış çalışmaların uygulama alanlarına ve bazı çalışmaların kısa özetlerine yer verilmiştir. Bireyler, işletmeler ve organizasyonlar Bulanık TOPSIS metodu uygulayarak karşılaştıkları problemleri çözmeye çalışmışlardır.

Nezhad ve Damghani (2010) çalışmalarında performans sıralamasına dayanan verimlilik değerlendirme yöntemi ile büyük toplum örgütlerinin bölge verimliliğini ölçmek ve değerlendirmek istemişlerdir. Yaralanma ve ölüm miktarlarını kontrol eden, önemli bir role sahip olan trafik polislerinin tespit ettiği performans raporlarının ülkenin her eyaletinde yer alan merkezi departmanlara aktarıldığı söylenmiştir. Uygulamada yer alan otuz trafik polisinden, bir aylık zaman aralığındaki ölüm sayısı, bir aylık zaman aralığındaki yaralanma sayısı, bir aylık ulaşımın kaba bir tahmini ve bir aylık süre boyunca trafik kazası riski ve olasılığı gibi belirlenen kriterler altında veriler toplanmıştır. Zayıf bir departmana

odaklanarak onun güçlü bir organizasyona sahip olması için Bulanık TOPSIS yöntemiyle en iyi gelişim prosedürü seçilerek o departmana uygulanmak istenmiştir.

Benitez ve arkadaşları (2007) çalışmalarında, uluslararası turizm piyasalarında artan rekabetinin neden olduğu müşteri sıkıntısının önüne geçmek ve sorunlara önceden cevap vermek için otellerin esnek bir yapıya kavuşturulmasını sağlamak amacıyla otel performanslarının değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Uluslararası turizm piyasalarında rekabetin artması dolayısıyla kalacak yerin kalitesinin çok önemli bir stratejik hamle haline geldiğini vurgulamışlardır. Halkla ilişkiler hizmeti, bar servisi, havuz ve bahçe temizliği, oda bakımı, oda temizliği, otelin mutfağı, otel hakkındaki genel fikirler gibi kriterleri kapsayan on üç sorudan oluşan bir hizmet kalitesi değerlendirme anketi oluşturulmuş ve Buenaventura, Catarina ve Gran Hotel Costa Meloneras otellerine anketler yapılmıştır. Performansları ölçmek için dilsel ifadeler ve her bir dilsel terimle ilgili üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Bulanık TOPSIS yöntemi ile otel yöneticilerine oteller hakkında gelecek için geliştirici alternatif stratejileri sunulmuş ve karşılaşılabilecek otel problemleri önceden tahmin edilerek sorunların önüne geçmek için önemli hamleler önerilmiştir.

Liao ve Kao (2011) çalışmalarında, Asya’da faaliyet gösteren büyük bir saat üreticisinin pazardaki rekabetçi avantajı ele geçirmesi için yeni bir ürün üretiminde kullanılacak önemli parçaları sağlayacak en iyi tedarikçinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Tedarikçi seçim sürecinin tedarik zinciri yönetiminde önemli bir stratejik konu olduğu belirlenmiştir. Tedarikçi seçim problemi somut ve soyut kriterlerden etkilenen çok kriterli karar verme problemi olarak ele alınmış ve çalışmada bu sorunu çözmek için hedef programlama ve Bulanık TOPSIS entegre edilmiştir. Firma yeni ürün geliştirme çabası içinde 4 tedarikçi 5 kriter altında değerlendirilmiştir. İlişki yakınlığı, ürün kalitesi teslimat becerisi, garanti düzeyi ve deneyim süresi kriterleri kullanılarak tedarikçilerin Bulanık TOPSIS yöntemiyle önem dereceleri bulunmuş ve bu önem dereceleri hedef programlamada tedarikçileri ağırlıklandırmak için kullanılmıştır.

Kutlu ve Ekmekçioğlu (2012) çalışmalarında, otomobil endüstrisindeki üretim tesislerinde meydana gelen potansiyel hataları, başarısızlıkları ve yanlışlıkları hata türü ve etkileri analizi vasıtasıyla belirlemek ve ortadan kaldırmak için risk

öncelik sayılarını Bulanık AHP yöntemi ile entegre edilmiş Bulanık TOPSIS yöntemi ile belirlemek istemişlerdir. Uygun olmayan malzeme, yanlış kalıplama, yanlış program, aşırı çevrim süresi, yanlış süreç, hasarlı malzeme ve yanlış formlar gibi önemli potansiyel hata türleri üretim uzmanları tarafından belirlenmiştir. Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinin entegre çalışmasıyla en ciddi risk kaleminin olduğu ürün tasarım ve planlama sürecinin tespit edilerek tasarım ya da hizmetin müşteriye ulaşmadan önce olası yaralanma ve ölümlerin önüne geçilmek istenmiştir.

Bulanık TOPSIS bugüne kadar çeşitli çok kriterli karar verme problemlerinde en iyi çözümü bulmak için çok sayıda karar vericinin tercihi olmuştur. Chen ve arkadaşları (2006) tedarik zinciri yönetiminde en iyi tedarikçinin bulunmasında, Benitez ve arkadaşları (2007) anket yoluyla üç otelin servis kalitelerinin değerlendirilmesinde, Kahraman ve arkadaşları (2007) endüstriyel robot sistemi seçiminde, Wang and Chang (2007) Tayvan'da hava kuvvetleri akademisinde optimum eğitim uçağının belirlenmesinde, Yong (2006) fabrika yeri seçiminde, Kutlu ve Ekmekçioğlu (2011) endüstrilerde risk yönetimi için hata türleri ve etkileri analizinde, Kim ve arkadaşları (2011) tüketicinin yeni ürün adaptasyon sürecinde, Ekmekçioğlu ve arkadaşları (2010) evsel katı atığı yok etme yöntemi ve yer seçimi problemlerinde Bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır (Ashrafzadeh ve diğerleri, 2012: 659-660).

4.2 Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulama Adımları

Uygulamalarda Bulanık TOPSIS süreci şekil 29'daki adımları izlemektedir:

Şekil 29: Bulanık TOPSIS Uygulama Adımları



Kaynak: Chen, 2000: 5.

4.2.1 Karar Vericilerin, Kriterlerin ve Alternatiflerin Belirlenmesi

İlk aşamada, değerlendirme kriterleri, alternatifler ve kriterler altında alternatiflerin değerlendirilmesi için dilsel değişkenleri atayacak karar vericiler oluşturulur.

Karar Vericiler = $\{KV_1, KV_2, \dots, KV_k\}$

Alternatifler = $\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$

Kriterler = $\{K_1, K_2, \dots, K_n\}$

4.2.2 Kriterlere ve Kriterler Altında Alternatiflere Dilsel Skorların Atanması

Karar vericiler tarafından kriterlere ve alternatiflere Tablo 4 ve Tablo 5'teki dilsel skorlar atanır.

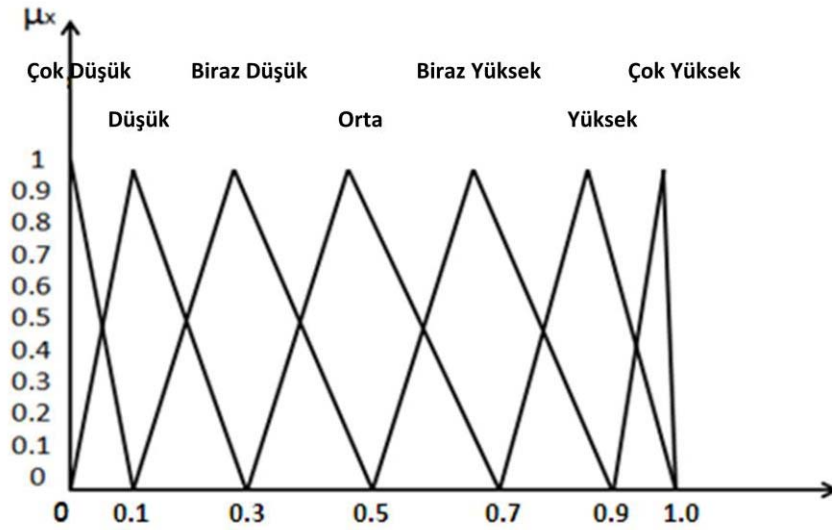
Tablo 4: Kriterlerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Değişkenler

Sözel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0, 0, 0.1)
Düşük (D)	(0, 0.1, 0.3)
Biraz Düşük (BD)	(0.1, 0.3, 0.5)
Orta (O)	(0.3, 0.5, 0.7)
Biraz Yüksek (BY)	(0.5, 0.7, 0.9)
Yüksek (Y)	(0.7, 0.9, 1.0)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.9, 1.0, 1.0)

Kaynak: Chen, 2000: 5.

Dilsel terimler kümesinin elemanları (0,1) aralığında tanımlanmış bulanık sayılar ve üyelik fonksiyonları tarafından oluşturulmaktadır. Dilsel değerlendirmelerin belirsizliğini yakalamak için uygun olan üçgensel üyelik fonksiyonları kullanıldı. Kriterlerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel değişkenler Şekil 30'da gösterilmiştir (Cavallaro, 2010: 497-498):

Şekil 30: Kriterlerin Önemlerini Ağırlıklandırmak için Dilsel Değişkenler



Kaynak: Cavallaro,2010: 498.

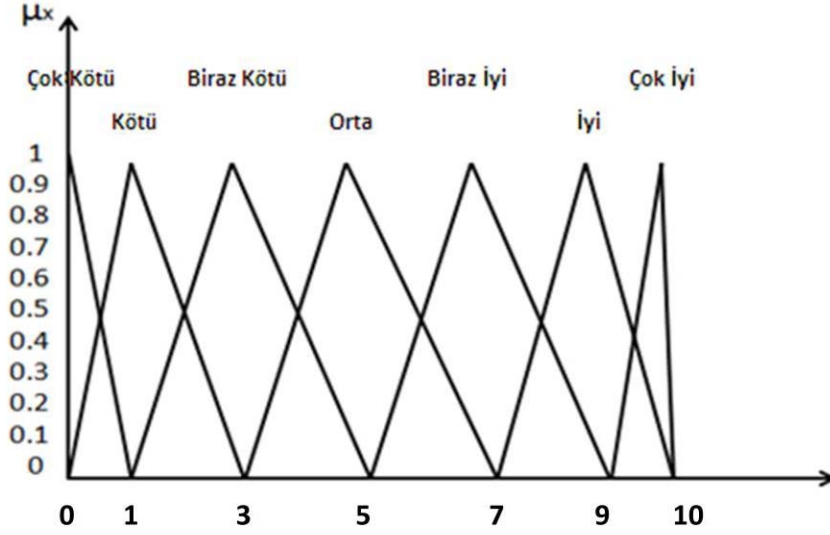
Tablo 5: Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Değişkenler

Sözel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayılar
Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 1)
Kötü (K)	(0, 1, 3)
Biraz Kötü (BK)	(1, 3, 5)
Orta (O)	(3, 5, 7)
Biraz İyi (Bİ)	(5, 7, 9)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)

Kaynak: Chen, 2000: 5.

Aynı şekilde kriterler altında alternatifler değerlendirilirken dilsel terimler kümesi bulanık sayılarla ifade edilir. Alternatifler için kullanılan dilsel değişkenlerin Şekil 31’de gösterilmiştir (Cavallaro, 2010: 497-498):

Şekil 31: Alternatifler için Dilsel Değişkenler



Kaynak: Cavallaro, 2010: 497.

4.2.3 Dilsel Skorların Tek Bir Değere İndirgenmesi

Her kriter için karar vericiler tarafından verilen ağırlıkları tek bir değere indirmek içineşitlik 4.1'deki formülasyon kullanılır:

$$w_j = \frac{1}{k} [w_j^1 + w_j^2 + \dots, w_j^k] \quad (4.1)$$

Karar vericilerin kriterler açısından alternatifleri değerlendirmelerini tek bir değere indirmek içineşitlik 4.2'deki formülasyon kullanılır:

$$x_{ij} = \frac{1}{k} [x_{ij}^1 + x_{ij}^2 + \dots, x_{ij}^k] \quad (4.2)$$

4.2.4 Bulanık ve Normalize Karar Matrislerinin Oluşturulması

Tüm kriterler ve alternatifler için tek bir değer elde edildikten sonra bulanık karar matrisi eşitlik 4.3'teki gibi gösterilir:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Her bir kriterin bulanık önem ağırlıkları eşitlik 4.4'teki gibi gösterilir:

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \tilde{w}_3, \dots, \tilde{w}_n] \quad (4.4)$$

Burada $\tilde{x}_{ij}$ ve $\tilde{w}_j$ dilsel değişken olarak ifade edilmekte olup $i=1, 2, \dots, m$ ve $j=1, 2, \dots, n$ olarak tanımlanmıştır. Denklemlerde, m alternatif sayısını n kriter sayısını göstermektedir.

Fayda ve maliyet kriterleri açısından bulanık karar matrisinin normalizasyon gösterimi eşitliklerdeki gibidir:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.5)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), \quad j \in B \quad c_j^* = \max_i c_{ij} \quad (4.6)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{\bar{a}_j}{c_{ij}}, \frac{\bar{a}_j}{b_{ij}}, \frac{\bar{a}_j}{a_{ij}} \right), \quad j \in C \quad \bar{a}_j = \min_i a_{ij} \quad (4.7)$$

4.2.5 Bulanık Karar Matrisinin Ağırlıklandırılması

Normalize bulanık karar matrisinin elde edildikten sonra, her bir değerlendirme kriterinin farklı önem ağırlığına sahip olabileceği dikkate alınarak ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi eşitlik 4.8 ve 4.9 yardımıyla oluşturulur:

$$V = \left[v_{ij} \right]_{m \times n}; \quad i=1,2,\dots,m; \quad j=1,2,\dots,n \quad (4.8)$$

$$v_{ij} = r_{ij} * w_j \quad (4.9)$$

Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisinde v_{ij} değerleri normalize edilmiş pozitif üçgen bulanık sayılardır. Elde edilen bu değerler $[0,1]$ kapalı aralığında değişmektedir.

4.2.6 Bulanık Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Oluşturulması

Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi oluşturulduktan sonra bulanık pozitif ideal çözüm (BPİÇ, A^*) ve bulanık negatif ideal (BNİÇ, A^-) çözüm kümeleri eşitlik 4.10 ve eşitlik 4.11'deki gibi tanımlanır:

$$A^* = (v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*) \quad (4.10)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) \quad (4.11)$$

$$v_j^* = (1, 1, 1), v_j^- = (0, 0, 0) \quad j=1, 2, \dots, n$$

4.2.7 Bulanık Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlere Uzaklıkların Hesaplanması

Bulunan pozitif ve negatif ideal çözüm kümeleri sonrasında her bir alternatifin bulanık pozitif ideal çözüm kümesine ve negatif ideal çözüm kümesine uzaklıkları eşitlik 4.12 ve eşitlik 4.13 yardımıyla hesaplanır:

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, v_j^*), \quad i=1, 2, \dots, m \quad (4.12)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, v_j^-), \quad i=1, 2, \dots, m \quad (4.13)$$

$m=(m_1,m_2,m_3)$ ve $n=(n_1,n_2,n_3)$ iki üçgensel bulanık sayı olmak üzere, vertex yöntemi kullanılarak bu iki üçgensel sayı arasındaki uzaklık hesaplanabilir ve eşitlik 4.14'teki formülasyon ile bulunur (Chen, 2000: 3):

$$d_v(m,n)=\sqrt{\frac{1}{3}[(I_1-I_2)^2+(m_1-m_2)^2+(u_1-u_2)^2]} \quad (4.14)$$

4.2.8 Alternatiflerin Yakınlık Katsayılarının Hesaplanması

Uzaklıkların bulunmasının ardından her bir alternatif için yakınlık katsayısı elde edilir. Yakınlık katsayısı bulanık pozitif ideal çözüm kümesine olan uzaklık ile bulanık negatif ideal çözüm kümesine olan uzaklığı kullanarak bulanık pozitif ideal çözüm kümesine göre yakınlığını tespit eder. Yakınlık katsayısı tüm alternatiflerin önem derecelerine göre sıralamalarını belirlemek için kullanılır. Yakınlık katsayısının değer aralığı $[0,1]$ olmak üzere alternatifler 1'e ne kadar yakın olursa seçilme olasılıkları o kadar artacaktır (Chen ve diğerleri, 2006: 295).

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.15)$$

4.2.9 Alternatiflerin Yakınlık Katsayılarına Göre Sıralanması

Yakınlık katsayısı hesaplandıktan sonra en yüksek skordan aşağıya doğru alternatifler sıralanır. Tablo 6'da yer alanskala yardımıyla alternatiflerin durumu değerlendirilir (Wadhwa ve diğerleri, 2009: 464):

Tablo 6: Yakınlık Katsayılarına Göre Kabul Koşulları

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

Kaynak:Chen ve diğerleri, 2006: 296.

BEŞİNCİ BÖLÜM

BULANIK TOPSİS YÖNTEMİ İLE ENERJİ VE ENDÜSTRİ PROJELERİ SEÇİMİ

Bu bölümde, Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak bir şirketin hayata geçirmek istediği projelerinin değerlendirilmesine ve mevcut projelerin önem seviyelerine göre sıralanmasına yer verilmiştir. Bu bağlamda en uygun projenin belirlenmesinde yöntemin başarısı test edilmiştir.

5.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Araştırmanın amacı, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Bulanık TOPSIS tekniğinin, alternatif ve kriter sayılarının fazla olduğu durumlarda, karar verme yöntemlerinin içerisindeki yerini belirlemek ve karar vericilerin amaçları doğrultusunda karar sonucuna ne derecede etkin ve hızlı ulaştırdığını ortaya koymaktır.

TOPSIS tekniğinde karar vericiler, kriterlerin göreceli önem ağırlıklarını atarken ve kriterler aracılığıyla alternatifleri değerlendirirken kesin sayılar kullanırlar. Dilsel değişkenleri kullanan Bulanık TOPSIS tekniğinin, karar vericileri subjektif yargılardan kurtararak hem nitel hem de nicel verilerle değerlendirme yapmasına imkan vermesi ve karara etkisinin araştırılması bakımından önemli bir çalışmadır.

5.2. ARAŞTIRMANIN KAPSAMI

Araştırma, Aydın'da inşaat ve mühendislik alanında faaliyet gösteren ve pazarda önemli bir paya sahip olan bir anonim şirketin, Türkiye'nin belirli bölgelerinde gerçekleştirmek istediği enerji ve endüstri projelerinin Bulanık TOPSIS tekniği ile değerlendirilmesini kapsamaktadır. Ayrıca çalışma, belirlenen hedefler açısından projelerin önem seviyelerine göre sıralanmasını sağlayacak model önerisinde bulunmaktadır.

Bu kapsamda, en iyi projelerin belirlenmesine etki eden kriterler araştırılarak, bu kriterlere karar vericiler tarafından ölçek yardımıyla ağırlıklar atanmıştır. Enerji ve endüstri projeleri seçimi sürecinin oluşumu Bulanık TOPSIS tekniği ile analiz edilmeye çalışılmıştır.

5.3. BULANIK TOPSIS YÖNTEMİNİN SEÇİLME NEDENİ

Çalışmada, Bulanık TOPSIS yönteminin seçilmesinin nedeni, karar vericilerin çok sayıda kriterle karşılaştığı ve bazı verilerin belirsiz olduğu problemler için çok uygun ve ayrıca esnek bir yapıya sahip olmasıdır. Dilsel belirsizliğin olduğu durumlarda, kesin sayılar yerine bulanık sayıları kullanarak, grup karar vermeyi gerektiren problemlerin çözümünde oldukça kullanışlıdır. Yöntem, karar vericileri sübjektif yargılarından kurtararak, hem nitel hem de nicel verilerle değerlendirme yapabilme olanağı sağlamaktadır. Bulanık TOPSIS yönteminin en önemli avantajlarından biri, modelin değerlendirme kriterlerine farklı önem ağırlıkları ataması imkanını sağlamasıdır. Kullanılan sözel değişkenler yardımıyla değerlendirmeler daha hassas yapılabilmekte ve elde edilen sonuçların güvenilirliği artmaktadır. Bulanık TOPSIS sürecinin işlem adımlarının güvenilirliği ve hesaplamaların doğruluğu için Microsoft Excel programı kullanılmıştır.

5.4. VERİLERİN TOPLANMASI

Araştırma verilerinin toplanması ve değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi sürecinde, inşaat ve mühendislik alanında faaliyet gösteren bir anonim şirkette görev yapan proje müdürü ve bir uzman mühendisten elde edilen veriler kullanılmıştır. Enerji ve endüstri projelerinin seçimi için gerekli olan araştırma verileri hazırlanan soru formları aracılığıyla toplanmıştır.

5.5. ALTERNATİF PROJELERİN BELİRLENMESİ

İnşaat ve mühendislik anonim şirketi, müşteri memnuniyeti sağlamak, şirket gelirlerini arttırmak, hizmet kalitesini yükseltmek, rekabette üstünlük sağlamak ve

yeni müşteriler kazanmak için termik enerji santrali, hidroelektrik enerji santrali, rüzgar enerji santrali, jeotermal enerji santrali, çimento fabrikası, iplik fabrikası ya da kağıt fabrikası projelerini hayata geçirmek istemektedir. Bunun için şirket Afyon'da kuracağı termik enerji santrali, Rize'de kuracağı hidroelektrik enerji santrali, Aydın'da kuracağı rüzgar enerji santrali, Aydın Germencik'te kuracağı jeotermal enerji santrali, Aydın Söke'de kuracağı çimento fabrikası, Denizli'de kuracağı iplik fabrikası ve Manisa'da kuracağı kağıt fabrikası projelerini değerlendirmek için alternatifleri sıralamak istemektedir. Seçim yapılacak yedi projenin kurulacağı yerler Şekil 37'de gösterilmiştir.

Şekil 32: Projelerin Kurulacağı Yerler



5.6. PROJE SEÇİM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Şirketin amaçları dikkate alınarak alternatiflerin değerlendirilmesi için kullanılacak kriterler belirlenmiştir. Şirkette önemli pozisyonlarda yer alan proje müdürü ve uzman mühendis ile yapılan görüşmelerde elde edilen değerlendirme kriterleri, literatür araştırmalarıyla desteklenerek proje seçim kriterleri oluşturulmuş ve aşağıda listelenmiştir:

- Projenin oluşturacağı maliyet
- Projenin ek istihdam maliyeti
- Yatırımın geri dönüş süresi

- Projeden elde edilecek kar
- Proje tamamlanma süresi
- Yasal prosedürlerin zorluğu
- Projenin yapım kolaylığı
- Stratejik hedeflere uygunluk
- Ekipman ve teknik bilgi
- Devlet teşviği
- Şirket değerini arttırma
- Şirketin prestijini arttırma
- Rekabet avantajı sağlama

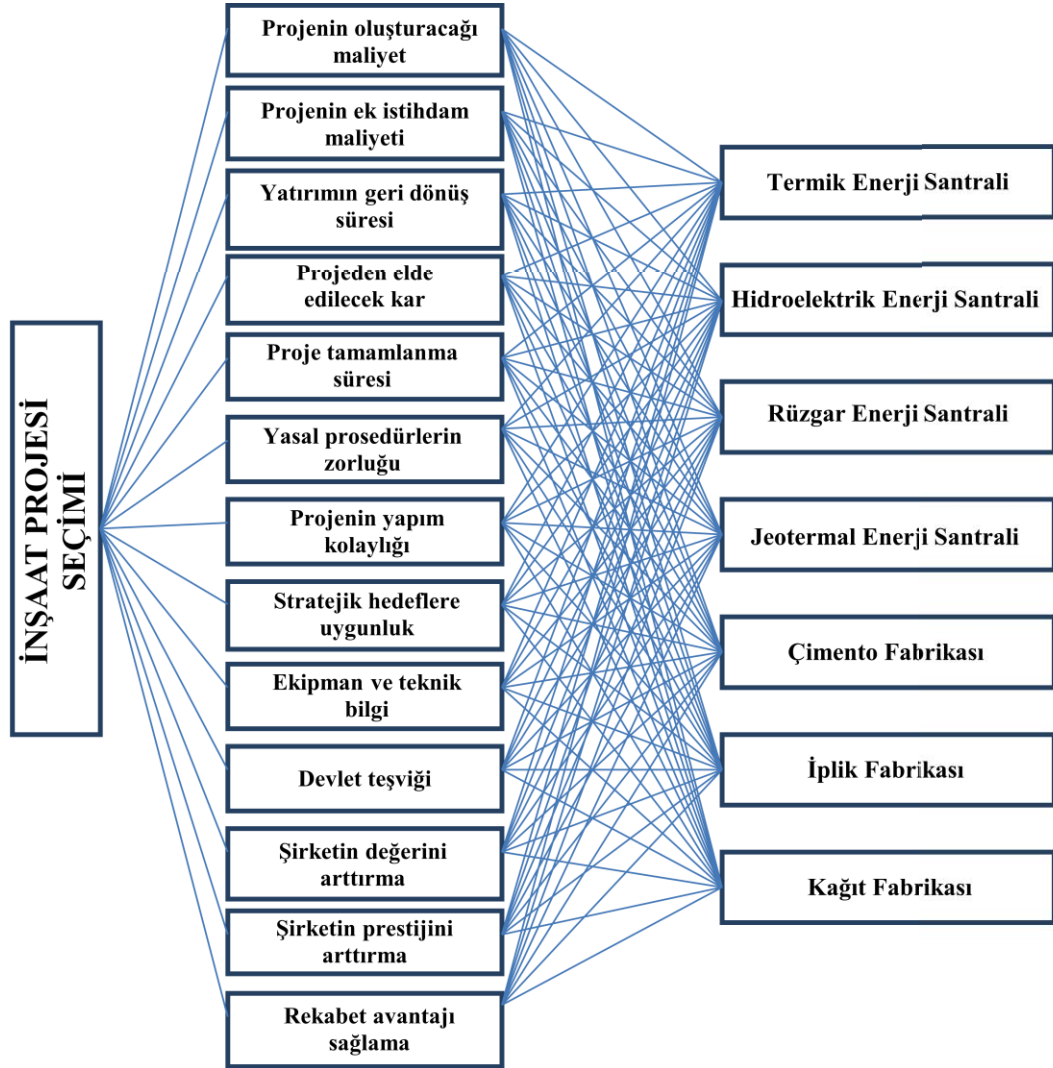
1. Projenin oluşturacağı maliyet: Projenin başlangıcından bitişine kadar geçen sürede, lojistik maliyet ve istihdam maliyeti gibi kalemlerden oluşan, şirket sahiplerine yükleyeceği maliyeti yansıtan kriterdir. Koyulan hedefler maliyetlerin olabildiğince düşük olması yönündedir.
2. Projenin ek istihdam maliyeti: Beklenmedik durumlarda meydana gelen iş kazaları ve malların bozuk olması ya da hatalı getirilmesi sonucu işin durduğu anlarda şirkete yükleyeceği ek maliyetleri göstermektedir.
3. Yatırımın geri dönüş süresi: Gerçekleştirilecek projeye harcanan tüm kaynakların ne kadar sürede geri döneceğini gösteren kriterdir. Yatırımın geri dönüş süresinin kısa olması arzu edilen durumdur.
4. Projeden elde edilecek kar: Projenin tamamlanmasından sonra şirketin sahip olacağı net kar miktarını göstermektedir. Şirket açısından beklenen karın çok yüksek olması arzu edilen durumdur.
5. Proje tamamlanma süresi: Yapılması düşünülen projenin beklenmedik sonuçları göz ardı edilerek tamamlanması gereken süreyi ifade eder. Hava durumu, iş kazaları ve gerekli bazı prosedürler ile proje zamanı sapmalar gösterebilir. Bu sorunlarda projeye ek maliyetler yükler. İstenilen, hiçbir olumsuzluğun yaşanmadan projenin tamamlanmasıdır.
6. Yasal prosedürlerin zorluğu: Projeye başlarken, karar verme aşamasından iskan alınması ve abonelik aşamasına kadar uzanan prosedürlerin yer aldığı

kriterdir. Çıkacak herhangi bir pürüzde projenin başlatılması çok gecikebilir ve hatta proje sona erebilir.

7. Projenin yapım kolaylığı: Proje lokasyonu ve kullanılan malzemelerin yerli-ithal oluşu projenin yapımını etkileyen unsurlar arasındadır. Çevre analizinden oluşan bu kriter, projenin yapılacağı bölgeye stratejik yerlerin uzaklığını dikkate alır.
8. Stratejik hedeflere uygunluk: Daha önceden şirket yöneticileri tarafından ortaya konulan hedeflerin, projelerin tamamlanmasından sonra ne kadarının başarıldığını gösteren kriterdir. Yöneticiler tüm hedeflerin tatmin edilmesi ile ilgilidirler.
9. Ekipman ve teknik bilgi: Şirketin bilgi, beceri ve deneyimde ne kadar uzmanlaştığını ve gerçekleştirilecek proje için sahip olduğu ekipman kapasitesini göstermektedir.
10. Devlet teşviği: Özel sektörün güçlendirilmesi ve uluslararası rekabetçiliğin geliştirilmesi amacıyla devlet tarafından sağlanan teşviğin gösterildiği kriterdir.
11. Şirketin değerini arttırma: Yapılması düşünülen projenin her yönüyle şirkete sağlayacağı maddi getiriye göstermektedir. Yabancı yatırımcı beklentileri ve sponsorluklar bu kriterde dikkate alınacaktır.
12. Şirketin prestijini arttırma: Bu kriter gerçekleştirilecek projenin firmaya sağladığı maddi olmayan katkıyı gösterir. Prestij arttırılarak şirketin daha sonraki faaliyetlerinde daha büyük avantajlar elde etmesi amaçlanmaktadır.
13. Rekabet avantajı sağlama: Rakip şirketlerle piyasada baş edebilme yeteneğini gösteren kriterdir.

Bulanık TOPSIS yönteminin en önemli aşamalarından biri hiyerarşik yapının oluşturulmasıdır. Bulanık TOPSIS tekniği ile alternatif projelerin değerlendirilmesi probleminin hiyerarşik yapısı, yapılan incelemeler sonucunda Şekil 38’de görüldüğü gibi belirlenmiştir.

Şekil 33: Karar Probleminin Hiyerarşik Yapısı



5.7. PROJE SEÇİM KRİTERLERİNİN AĞIRLIKLANDIRILMASI İÇİN DİLSEL SKORLARIN ATANMASI

Belirlenen proje seçim kriterleri anket formatında düzenlenerek, Chen'in (2000) kriterlerin değerlendirilmesinde kullandığı üçgensel bulanık sayılar yardımıyla karar vericiler tarafından değerlendirilmiştir. Değerlendirmede yararlanılan proje seçim kriterleri aşağıdaki gibi kodlanmıştır:

- K_1 = Projenin oluşturacağı maliyet
 K_2 = Projenin ek istihdam maliyeti
 K_3 = Yatırımın geri dönüş süresi
 K_4 = Projeden elde edilecek kar
 K_5 = Proje tamamlanma süresi
 K_6 = Yasal prosedürlerin zorluğu
 K_7 = Projenin yapım kolaylığı
 K_8 = Stratejik hedeflere uygunluk
 K_9 = Ekipman ve teknik bilgi
 K_{10} = Devlet teşviği
 K_{11} = Şirketin değerini artırma
 K_{12} = Şirketin prestijini artırma
 K_{13} = Rekabet avantajı sağlama

Değerlendirme kriterlerinin önem ağırlıklarını belirlemek için Tablo 7'deki çok düşükten (ÇD) çok yükseğe (ÇY) kadar olan dilsel değişkenler ve bu dilsel değişkenlerin sayısal karşılıkları olan üçgen bulanık sayılar kullanılmaktadır.

Tablo 7: Kriterlerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Sözel Değişkenler

Sözel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0, 0, 0.1)
Düşük (D)	(0, 0.1, 0.3)
Biraz Düşük (BD)	(0.1, 0.3, 0.5)
Orta (O)	(0.3, 0.5, 0.7)
Biraz Yüksek (BY)	(0.5, 0.7, 0.9)
Yüksek (Y)	(0.7, 0.9, 1.0)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.9, 1.0, 1.0)

Kaynak: Chen, 2000: 5.

Karar vericiler Tablo 7'de gösterilen dilsel değişkenleri kullanarak, önem ağırlıklarını belirlemek için kriterlerideğerlendirmektedirler. Tablo 8'de karar

vericilerin karar kriterlerine atadıkları dilsel değişkenler gösterilmektedir. Örneğin; ilk karar kriterinin önem düzeyini iki karar vericide “çok yüksek” olarak değerlendirmiştir.

Tablo 8: Kriterlerin Karar Vericiler Tarafından Değerlendirme Sonuçları

	KARAR VERİCİ 1	KARAR VERİCİ 2
K1	Çok Yüksek	Çok Yüksek
K2	Düşük	Biraz Düşük
K3	Çok Yüksek	Yüksek
K4	Çok Yüksek	Çok Yüksek
K5	Yüksek	Yüksek
K6	Biraz Yüksek	Orta
K7	Orta	Biraz Düşük
K8	Biraz Yüksek	Biraz Yüksek
K9	Orta	Orta
K10	Biraz Yüksek	Orta
K11	Biraz Düşük	Biraz Düşük
K12	Düşük	Çok Düşük
K13	Biraz Yüksek	Orta

Karar vericiler tarafından yapılan değerlendirmelerin sonucu, kriterlerin önem ağırlıkları tablosunun oluşturulabilmesi için gereken işlemlerde kullanılmak üzere, Tablo 7’den yararlanılarak, üçgen bulanık sayılara dönüştürülür. Örneğin; karar verici ilk kritere Tablo 8’deki gibi “çok yüksek” değerlendirmesinde bulunmuşsa, bu değerlendirmeye karşılık gelen (0.9, 1.0, 1.0) değeri verilerek üçgen bulanık sayıya dönüştürülür ve Tablo 9’daki değerler elde edilir.

Tablo 9: Kriterlerin Karar Vericiler Tarafından Değerlendirme Sonuçlarının Üçgen Bulanık Sayılarla İfadesi

	KARAR VERİCİ 1	KARAR VERİCİ 2
K1	(0.9, 1.0, 1.0)	(0.9, 1.0, 1.0)
K2	(0.0, 0.1, 0.3)	(0.1, 0.3, 0.5)
K3	(0.9, 1.0, 1.0)	(0.7, 0.9, 1.0)
K4	(0.9, 1.0, 1.0)	(0.9, 1.0, 1.0)
K5	(0.7, 0.9, 1.0)	(0.7, 0.9, 1.0)
K6	(0.5, 0.7, 0.9)	(0.3, 0.5, 0.7)
K7	(0.3, 0.5, 0.7)	(0.1, 0.3, 0.5)
K8	(0.5, 0.7, 0.9)	(0.5, 0.7, 0.9)
K9	(0.3, 0.5, 0.7)	(0.3, 0.5, 0.7)
K10	(0.5, 0.7, 0.9)	(0.3, 0.5, 0.7)
K11	(0.1, 0.3, 0.5)	(0.1, 0.3, 0.5)
K12	(0.0, 0.1, 0.3)	(0.0, 0.0, 0.1)
K13	(0.5, 0.7, 0.9)	(0.3, 0.5, 0.7)

Her kriter için karar vericiler tarafından verilen ağırlıkları tek bir değere indirmek için (4.1) numaralı denklem kullanılır. Böylece değerlendirme kriterlerinin önem ağırlıkları Tablo 10'daki gibi oluşturulur.

Tablo 10: Kriterlerin Önem Ağırlıkları

	AĞIRLIKLAR
K1	(0.9, 1.0, 1.0)
K2	(0.05, 0.2, 0.4)
K3	(0.8, 0.95, 1.0)
K4	(0.9, 1.0, 1.0)
K5	(0.7, 0.9, 1.0)
K6	(0.4, 0.6, 0.8)
K7	(0.2, 0.4, 0.6)
K8	(0.5, 0.7, 0.9)
K9	(0.3, 0.5, 0.7)
K10	(0.4, 0.6, 0.8)
K11	(0.1, 0.3, 0.5)
K12	(0.0, 0.05, 0.2)
K13	(0.4, 0.6, 0.8)

5.8. KRİTERLER ALTINDA ALTERNATİFLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN DİLSEL SKORLARIN ATANMASI

Belirlenen alternatif projeler seçim kriterleri aracılığıyla anket formatında düzenlenerek, Chen'in (2000) alternatiflerin değerlendirilmesinde kullandığı üçgensel bulanık sayılar yardımıyla karar vericiler tarafından değerlendirilmiştir. Değerlendirmeye alınacak projeler aşağıdaki gibi kodlanmıştır:

A_1 = Termik enerji santrali

A_2 = Hidroelektrik enerji santrali

A_3 =Rüzgar enerji santrali

A_4 = Jeotermal enerji santrali

A_5 = Çimento fabrikası

A_6 = İplik fabrikası

A_7 =Kağıt fabrikası

Karar vericilerin kriterler aracılığıyla alternatifleri değerlendirmeleri için Tablo 11'deki çok kötüden (ÇK) çok iyiye (Çİ) kadar olan dilsel değişkenler ve bu dilsel değişkenlerin sayısal karşılıkları olan üçgen bulanık sayılar kullanılmaktadır.

Tablo 11: Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Sözel Değişkenler

Sözel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayılar
Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 1)
Kötü (K)	(0, 1, 3)
Biraz Kötü (BK)	(1, 3, 5)
Orta (O)	(3, 5, 7)
Biraz İyi (Bİ)	(5, 7, 9)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)

Kaynak: Chen, 2000: 5.

Karar vericiler Tablo 11’de gösterilen dilsel değişkenleri kullanarak, kriterler aracılığıyla alternatifleri değerlendirmektedirler. Tablo 12’de karar vericilerin alternatiflerin performanslarına göre karar kriterlerine atadıkları dilsel değişkenler gösterilmektedir. Örneğin; birinci karar verici alternatif biri değerlendirirken ilk kriteri “çok iyi” olarak dikkate almıştır.

Tablo 12: Karar Verici için Alternatiflerin Kriterler Altında Değerlendirme Sonuçları

KARAR VERİCİ 1	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
A1	Çİ	İ	İ	BK	Bİ	K	O	Bİ	O	O	O	K	BK
A2	İ	K	O	BK	BK	BK	Bİ	İ	ÇK	İ	Bİ	Bİ	İ
A3	İ	BK	Bİ	O	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	İ	İ	BK
A4	ÇK	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ	Bİ	Çİ	İ	İ	Bİ
A5	BK	Bİ	İ	O	Bİ	BK	O	O	O	K	O	K	O
A6	O	Bİ	O	K	O	O	O	BK	K	O	K	O	Bİ
A7	O	Bİ	O	K	O	O	O	K	K	O	K	İ	Bİ

Karar vericiler tarafından yapılan değerlendirmelerin sonucu, bulanık karar matrisi tablosunun oluşturulabilmesi için gereken işlemlerde kullanılmak üzere, Tablo 11’den yararlanılarak, üçgen bulanık sayılara dönüştürülür. Örneğin; bir karar verici Tablo 12’deki gibi ilk alternatif için ilk kritere “çok iyi” değerlendirmesinde bulunmuşsa, bu değerlendirmeye karşılık gelen (9, 10, 10) değeri verilerek üçgen bulanık sayıya dönüştürülür ve Tablo 13’deki değerler elde edilir.

Tablo 13: Karar Verici 1 için Alternatiflerin Kriterler Altında Değerlendirme Sonuçlarının Üçgen Bulanık Sayılarla İfadesi

KV 1	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
A1	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(1, 3, 5)
A2	(7, 9, 10)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)	(0, 0, 1)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)
A3	(7, 9, 10)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(1, 3, 5)
A4	(0, 0, 1)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)
A5	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)
A6	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)
A7	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)

İkinci karar verici de aynı şekilde Tablo 11’de gösterilen dilsel değişkenleri kullanarak, kriterler aracılığıyla alternatifleri değerlendirmektedir. Tablo 14’de karar vericilerin alternatiflerin performanslarına göre karar kriterlerine atadıkları dilsel değişkenler gösterilmektedir. Örneğin; ikinci karar verici alternatif biri değerlendirirken ilk kriteri “çok iyi” olarak dikkate almıştır.

Tablo 14: Karar Verici 2 için Alternatiflerin Kriterler Altında Değerlendirme Sonuçları

KARAR VERİCİ 2	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
A1	Çİ	Çİ	Bİ	O	O	ÇK	BK	İ	O	O	Bİ	K	O
A2	Bİ	ÇK	O	O	BK	BK	Bİ	İ	K	İ	Bİ	İ	İ
A3	O	O	Bİ	Bİ	O	İ	İ	Çİ	İ	Çİ	İ	İ	BK
A4	ÇK	İ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	İ	İ	Çİ	İ	İ
A5	O	İ	İ	O	O	O	O	O	O	K	O	K	O
A6	Bİ	İ	Bİ	BK	BK	O	O	BK	BK	K	O	BK	O
A7	Bİ	Bİ	Bİ	BK	BK	O	O	BK	BK	O	O	O	Bİ

Karar vericiler tarafından yapılan değerlendirmelerin sonucu, bulanık karar matrisi tablosunun oluşturulabilmesi için gereken işlemlerde kullanılmak üzere, Tablo 11’den yararlanılarak, üçgen bulanık sayılara dönüştürülür. Örneğin; karar verici Tablo 14’deki gibi ilk alternatif için ilk kritere “çok iyi” değerlendirmesinde bulunmuşsa, bu değerlendirmeye karşılık gelen (9, 10, 10) değeri verilerek üçgen bulanık sayıya dönüştürülür ve Tablo 15, elde edilir.

Tablo 15: Karar Verici 2 için Alternatiflerin Kriterler Altında Değerlendirme Sonuçlarının Üçgen Bulanık Sayılarla İfadesi

KV 2	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
A1	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(0, 0, 1)	(1, 3, 5)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)
A2	(5, 7, 9)	(0, 0, 1)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)	(0, 1, 3)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)
A3	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(1, 3, 5)
A4	(0, 0, 1)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)
A5	(3, 5, 7)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)
A6	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)
A7	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)

5.9. BULANIK KARAR MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI

Bulanık karar matrisi, karar vericilerin alternatifleri karar kriterlerine göre değerlendirmesi sonucu oluşturulur. Karar vericiler tarafından verilen alternatif performanslarını tek bir değere indirmek için (4.2) numaralı formül kullanılır. Böylece bulanık karar matrisi Tablo 16'daki gibi oluşturulur.

Tablo 16: Bulanık Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	(9.00, 10.00, 10.00)	(8.00, 9.50, 10.00)	(6.00, 8.00, 9.50)	(2.00, 4.00, 6.00)	(4.00, 6.00, 8.00)
A2	(6.00, 8.00, 9.50)	(0.00, 0.50, 2.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(2.00, 4.00, 6.00)	(1.00, 3.00, 5.00)
A3	(5.00, 7.00, 8.50)	(2.00, 4.00, 6.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(4.00, 6.00, 8.00)	(6.00, 7.50, 8.50)
A4	(0.00, 0.00, 1.00)	(7.00, 9.00, 10.00)	(8.00, 9.50, 10.00)	(9.00, 10.00, 10.00)	(9.00, 10.00, 10.00)
A5	(2.00, 4.00, 6.00)	(6.00, 8.00, 9.50)	(7.00, 9.00, 10.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(4.00, 6.00, 8.00)
A6	(4.00, 6.00, 8.00)	(6.00, 8.00, 9.50)	(4.00, 6.00, 8.00)	(0.50, 2.00, 4.00)	(2.00, 4.00, 6.00)
A7	(4.00, 6.00, 8.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(4.00, 6.00, 8.00)	(0.50, 2.00, 4.00)	(2.00, 4.00, 6.00)

	K6	K7	K8	K9
A1	(0.00, 0.50, 2.00)	(2.00, 4.00, 6.00)	(6.00, 8.00, 9.50)	(3.00, 5.00, 7.00)
A2	(1.00, 3.00, 5.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(7.00, 9.00, 10.00)	(0.00, 0.50, 2.00)
A3	(8.00, 9.50, 10.00)	(8.00, 9.50, 10.00)	(9.00, 10.00, 10.00)	(7.00, 9.00, 10.00)
A4	(9.00, 10.00, 10.00)	(7.00, 9.00, 10.00)	(8.00, 9.50, 10.00)	(6.00, 8.00, 9.50)
A5	(2.00, 4.00, 6.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(3.00, 5.00, 7.00)
A6	(3.00, 5.00, 7.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(1.00, 3.00, 5.00)	(0.50, 2.00, 4.00)
A7	(3.00, 5.00, 7.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(0.50, 2.00, 4.00)	(0.50, 2.00, 4.00)

	K10	K11	K12	K13
A1	(3.00, 5.00, 7.00)	(4.00, 6.00, 8.00)	(0.00, 1.00, 3.00)	(2.00, 4.00, 6.00)
A2	(7.00, 9.00, 10.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(6.00, 8.00, 9.50)	(7.00, 9.00, 10.00)
A3	(9.00, 10.00, 10.00)	(7.00, 9.00, 10.00)	(7.00, 9.00, 10.00)	(1.00, 3.00, 5.00)
A4	(8.00, 9.50, 10.00)	(8.00, 9.50, 10.00)	(7.00, 9.00, 10.00)	(6.00, 8.00, 9.50)
A5	(0.00, 1.00, 3.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(0.00, 1.00, 3.00)	(3.00, 5.00, 7.00)
A6	(1.50, 3.00, 5.00)	(1.50, 3.00, 5.00)	(2.00, 4.00, 6.00)	(4.00, 6.00, 8.00)
A7	(3.00, 5.00, 7.00)	(1.50, 3.00, 5.00)	(5.00, 7.00, 8.50)	(5.00, 7.00, 9.00)

5.10. NORMALİZE EDİLMİŞ BULANIK KARAR MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI

Normalize edilmiş bulanık karar matrisi, bulanık karar matrisinden yararlanılarak elde edilir. Normalize edilmiş bulanık karar matrisi normalizasyon yöntemi gereği (4.5), (4.6), (4.7) numaralı formüller kullanılarak elde edilir.

Problemde yer alan her bir fayda kriteri için (4.6) numaralı, her bir maliyet kriteri için (4.7) numaralı formül kullanılır. Bu çalışmada tüm kriterler fayda kriteri olarak dikkate alınmıştır. Bulanık karar matrisinin tüm elemanları en yüksek değer olan on sayısına bölünerek normalize edilmiş bulanık karar matrisi Tablo 17'deki gibi elde edilir.

Tablo 17: Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.80, 0.95, 1.0)	(0.60, 0.80, 0.95)	(0.20, 0.40, 0.60)	(0.40, 0.60, 0.80)
A2	(0.60, 0.80, 0.95)	(0.00, 0.05, 0.20)	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.20, 0.40, 0.60)	(0.10, 0.30, 0.50)
A3	(0.50, 0.70, 0.85)	(0.20, 0.40, 0.60)	(0.50, 0.70, 0.90)	(0.40, 0.60, 0.80)	(0.60, 0.75, 0.85)
A4	(0.00, 0.00, 0.10)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.80, 0.95, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)
A5	(0.20, 0.40, 0.60)	(0.60, 0.80, 0.95)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.40, 0.60, 0.80)
A6	(0.40, 0.60, 0.80)	(0.60, 0.80, 0.95)	(0.40, 0.60, 0.80)	(0.05, 0.20, 0.40)	(0.20, 0.40, 0.60)
A7	(0.40, 0.60, 0.80)	(0.50, 0.70, 0.90)	(0.40, 0.60, 0.80)	(0.05, 0.20, 0.40)	(0.20, 0.40, 0.60)

	K6	K7	K8	K9
A1	(0.00, 0.05, 0.20)	(0.20, 0.40, 0.60)	(0.60, 0.80, 0.95)	(0.30, 0.50, 0.70)
A2	(0.10, 0.30, 0.50)	(0.50, 0.70, 0.90)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.00, 0.05, 0.20)
A3	(0.80, 0.95, 1.00)	(0.80, 0.95, 1.00)	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)
A4	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.80, 0.95, 1.00)	(0.60, 0.80, 0.95)
A5	(0.20, 0.40, 0.60)	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.30, 0.50, 0.70)
A6	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.10, 0.30, 0.50)	(0.05, 0.20, 0.40)
A7	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.05, 0.20, 0.40)	(0.05, 0.20, 0.40)

	K10	K11	K12	K13
A1	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.40, 0.60, 0.80)	(0.00, 0.10, 0.30)	(0.20, 0.40, 0.60)
A2	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.50, 0.70, 0.90)	(0.60, 0.80, 0.95)	(0.70, 0.90, 1.00)
A3	(0.90, 1.00, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.10, 0.30, 0.50)
A4	(0.80, 0.95, 1.00)	(0.80, 0.95, 1.00)	(0.70, 0.90, 1.00)	(0.60, 0.80, 0.95)
A5	(0.00, 0.10, 0.30)	(0.00, 0.50, 0.70)	(0.00, 0.10, 0.30)	(0.30, 0.50, 0.70)
A6	(0.15, 0.30, 0.50)	(0.15, 0.30, 0.50)	(0.20, 0.40, 0.60)	(0.40, 0.60, 0.80)
A7	(0.30, 0.50, 0.70)	(0.15, 0.30, 0.50)	(0.50, 0.70, 0.85)	(0.50, 0.70, 0.90)

5.11. AĞIRLIKLIL NORMALİZE EDİLMİŞ BULANIK KARAR MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI

Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi, normalize edilmiş bulanık karar matrisi ve kriterlerin önem ağırlıkları tabloları yardımıyla, (4.9) numaralı formül kullanılarak oluşturulur. Kriterler altında alternatiflerin değerlendirilmesi sonucu oluşan bulanık karar matrisi normalize edildikten sonra elde edilen değerler, bulundukları sütundaki kriterin önem ağırlığı ile çarpılarak ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi elde edilir.

Örneğin, A1 alternatifinin K1 kriteri için aldığı normalize edilmiş bulanık karar matrisi değeri (0.900, 1.00, 1.00) olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değer (4.9) numaralı formül yardımıyla, K1'in önem ağırlığı olan (0.9, 1.0, 1.0) üçgen bulanık sayı ile çarpılarak, A1 alternatifinin K1 kriteri için ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi değeri (0.810, 1.00, 1.00) olarak bulunur ve bu şekilde Tablo 18, elde edilir.

Tablo 18: Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	(0.81, 1.00, 1.00)	(0.04, 0.19, 0.40)	(0.48, 0.76, 0.95)	(0.18, 0.40, 0.60)	(0.28, 0.54, 0.80)
A2	(0.54, 0.80, 0.95)	(0.00, 0.01, 0.08)	(0.24, 0.47, 0.70)	(0.18, 0.40, 0.60)	(0.07, 0.27, 0.50)
A3	(0.45, 0.70, 0.85)	(0.01, 0.08, 0.24)	(0.40, 0.66, 0.90)	(0.36, 0.60, 0.80)	(0.42, 0.67, 0.85)
A4	(0.00, 0.00, 0.10)	(0.03, 0.18, 0.40)	(0.64, 0.90, 1.00)	(0.81, 1.00, 1.00)	(0.63, 0.90, 1.00)
A5	(0.18, 0.40, 0.60)	(0.03, 0.16, 0.38)	(0.56, 0.85, 1.00)	(0.27, 0.50, 0.70)	(0.28, 0.54, 0.80)
A6	(0.36, 0.60, 0.80)	(0.03, 0.16, 0.38)	(0.32, 0.57, 0.80)	(0.04, 0.20, 0.40)	(0.14, 0.36, 0.60)
A7	(0.36, 0.60, 0.80)	(0.02, 0.14, 0.36)	(0.32, 0.57, 0.80)	(0.04, 0.20, 0.40)	(0.14, 0.36, 0.60)

	K6	K7	K8	K9
A1	(0.00, 0.03, 0.16)	(0.04, 0.16, 0.36)	(0.30, 0.56, 0.85)	(0.09, 0.25, 0.49)
A2	(0.04, 0.18, 0.40)	(0.10, 0.28, 0.54)	(0.35, 0.63, 0.90)	(0.00, 0.02, 0.14)
A3	(0.32, 0.57, 0.80)	(0.16, 0.38, 0.60)	(0.45, 0.70, 0.90)	(0.21, 0.45, 0.70)
A4	(0.36, 0.60, 0.80)	(0.14, 0.36, 0.60)	(0.40, 0.66, 0.90)	(0.18, 0.40, 0.66)
A5	(0.08, 0.24, 0.48)	(0.06, 0.20, 0.42)	(0.15, 0.35, 0.63)	(0.09, 0.25, 0.49)
A6	(0.12, 0.30, 0.56)	(0.06, 0.20, 0.42)	(0.05, 0.21, 0.45)	(0.01, 0.10, 0.28)
A7	(0.12, 0.30, 0.56)	(0.06, 0.20, 0.42)	(0.02, 0.14, 0.36)	(0.01, 0.10, 0.28)

	K10	K11	K12	K13
A1	(0.12, 0.30, 0.56)	(0.04, 0.18, 0.40)	(0.00, 0.005, 0.06)	(0.08, 0.24, 0.48)
A2	(0.28, 0.54, 0.80)	(0.05, 0.21, 0.45)	(0.00, 0.04, 0.19)	(0.28, 0.54, 0.80)
A3	(0.36, 0.60, 0.80)	(0.07, 0.27, 0.50)	(0.00, 0.045, 0.20)	(0.04, 0.18, 0.40)
A4	(0.32, 0.57, 0.80)	(0.08, 0.285, 0.50)	(0.00, 0.045, 0.20)	(0.24, 0.48, 0.76)
A5	(0.0, 0.00, 0.24)	(0.03, 0.15, 0.35)	(0.00, 0.005, 0.06)	(0.12, 0.30, 0.56)
A6	(0.06, 0.18, 0.40)	(0.015, 0.09, 0.25)	(0.00, 0.020, 0.12)	(0.16, 0.36, 0.64)
A7	(0.12, 0.30, 0.56)	(0.015, 0.09, 0.25)	(0.00, 0.035, 0.17)	(0.20, 0.42, 0.72)

5.12. BULANIK POZİTİF VE NEGATİF İDEAL ÇÖZÜMLERİN BELİRLENMESİ

Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi oluşturulduktan sonra bulanık pozitif ideal çözüm (BPİÇ, A^*) ve bulanık negatif ideal (BNİÇ, A^-) çözüm kümeleri oluşturulur. Bulanık pozitif ideal çözüm (A^*) ve bulanık negatif ideal çözüm (A^-) eleman sayıları seçim probleminde kullanılan değerlendirme kriteri sayısı kadardır. Alternatif projeler on üç proje seçim kriteri altında değerlendirildiği için bulanık pozitif ve negatif ideal çözümler (4.10) ve (4.11) formülleri yardımıyla sırasıyla aşağıdaki gibi oluşturulur:

$$A^* = [(1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1)]$$

$$A^- = [(0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0)]$$

5.13. BULANIK POZİTİF İDEAL ÇÖZÜM VE BULANIK NEGATİF İDEAL ÇÖZÜMLERDEN UZAKLIKLARIN HESAPLANMASI

Pozitif ve negatif ideal çözüm kümeleri sonrasında alternatiflerin her bir kriter için bulanık pozitif ideal çözüm kümesine (BPİÇ) ve bulanık negatif ideal çözüm kümesine (BNİÇ) olan uzaklıkları hesaplanır. BPİÇ ve BNİÇ'ten olan uzaklıklar hesaplanırken, ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi değerleri (4.12) ve (4.13) numaralı formüller yardımıyla (4.14) numaralı vertex yöntemi ile hesaplanır:

$$\sqrt{\frac{1}{3}[(1 - 0.810)^2 + (1 - 1.000)^2 + (1 - 1.000)^2]} = 0.10969$$

$$\sqrt{\frac{1}{3}[(1 - 0.040)^2 + (1 - 0.190)^2 + (1 - 0.400)^2]} = 0.80367$$

$$\sqrt{\frac{1}{3}[(1 - 0.480)^2 + (1 - 0.760)^2 + (1 - 0.950)^2]} = 0.33191$$

•
•
•

$$\sqrt{\frac{1}{3}[(1 - 0.080)^2 + (1 - 0.240)^2 + (1 - 0.480)^2]} = 0.75153$$

Diğer alternatifler içinde benzer işlemler tamamlanarak Tablo 19'daki değerler elde edilir.

Tablo 19: Alternatiflerin Tüm Kriterler için Pozitif İdeal Çözüm Kümesine Olan Uzaklıkları

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
d(A₁, A*)	0.109	0.803	0.331	0.630	0.506	0.939	0.823	0.484	0.741	0.697	0.807	0.978	0.751
d(A₂, A*)	0.291	0.970	0.560	0.630	0.741	0.807	0.716	0.435	0.946	0.506	0.780	0.926	0.506
d(A₃, A*)	0.371	0.895	0.400	0.450	0.393	0.478	0.645	0.366	0.582	0.450	0.741	0.922	0.807
d(A₄, A*)	0.967	0.809	0.215	0.109	0.221	0.450	0.660	0.400	0.617	0.478	0.732	0.922	0.549
d(A₅, A*)	0.630	0.822	0.267	0.539	0.506	0.751	0.787	0.653	0.741	0.924	0.833	0.978	0.697
d(A₆, A*)	0.450	0.822	0.478	0.798	0.660	0.697	0.787	0.780	0.875	0.799	0.887	0.954	0.644
d(A₇, A*)	0.450	0.836	0.478	0.798	0.660	0.697	0.787	0.836	0.875	0.697	0.887	0.934	0.592

$$\sqrt{\frac{1}{3}[(0 - 0.810)^2 + (0 - 1.000)^2 + (0 - 1.000)^2]} = 0.94093$$

$$\sqrt{\frac{1}{3}[(0 - 0.040)^2 + (0 - 0.190)^2 + (0 - 0.400)^2]} = 0.25670$$

$$\sqrt{\frac{1}{3}[(0 - 0.480)^2 + (0 - 0.760)^2 + (0 - 0.950)^2]} = 0.75509$$

•
•
•

$$\sqrt{\frac{1}{3}[(0 - 0.080)^2 + (0 - 0.240)^2 + (0 - 0.480)^2]} = 0.31326$$

Diğer alternatifler içinde benzer işlemler tamamlanarak Tablo 20'deki değerler elde edilir.

Tablo 20: Alternatiflerin Tüm Kriterler için Negatif İdeal Çözüm Kümesine Olan Uzaklıkları

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
d(A₁, A⁻)	0.940	0.256	0.755	0.429	0.580	0.093	0.228	0.614	0.321	0.373	0.254	0.034	0.313
d(A₂, A⁻)	0.781	0.046	0.507	0.429	0.330	0.254	0.355	0.665	0.082	0.580	0.288	0.112	0.580
d(A₃, A⁻)	0.686	0.146	0.686	0.613	0.671	0.596	0.420	0.707	0.495	0.613	0.330	0.118	0.254
d(A₄, A⁻)	0.057	0.254	0.860	0.940	0.857	0.613	0.411	0.686	0.459	0.596	0.335	0.118	0.537
d(A₅, A⁻)	0.429	0.238	0.825	0.520	0.580	0.313	0.270	0.425	0.321	0.138	0.220	0.034	0.373
d(A₆, A⁻)	0.613	0.238	0.596	0.259	0.411	0.373	0.270	0.288	0.171	0.255	0.153	0.070	0.433
d(A₇, A⁻)	0.613	0.223	0.596	0.259	0.411	0.373	0.270	0.223	0.171	0.373	0.153	0.100	0.494

Bulanık pozitif ve bulanık negatif ideal çözümden olan uzaklıklar bulunduğundan sonra bu uzaklıklar toplanır. Tablo 19'daki her satırın kendi içindeki toplamı o satırı temsil eden alternatifin BPİÇ' ten olan uzaklığına eşittir. Tablo 20'de her satırın kendi içindeki toplamı o satırı temsil eden alternatifin BNİÇ' ten olan uzaklığına eşittir. BPİÇ ve BNİÇ'ten olan uzaklıklar bulunduğundan sonra Tablo 21 elde edilir.

Tablo 21: Alternatiflerin Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Kümesine Olan Uzaklıkları

	d_i^*	d_i^-
A1	8.599	5.190
A2	8.814	5.009
A3	7.500	6.335
A4	7.129	6.723
A5	9.128	4.686
A6	9.631	4.130
A7	9.527	4.259

5.14. ALTERNATİFLERİN YAKINLIK KATSAYILARININ HESAPLANMASI

Uzaklıkların bulunmasının ardından her bir alternatif için yakınlık katsayıları (CC) hesaplanır. Yakınlık katsayısı bulanık pozitif ideal çözüm kümesine olan uzaklık ile bulanık negatif ideal çözüm kümesine olan uzaklığı kullanarak bulanık pozitif ideal çözüm kümesine göre yakınlığını tespit eder. Yakınlık katsayısı tüm alternatiflerin önem derecelerine göre sıralamalarını belirlemek için kullanılır. Yakınlık katsayısının değer aralığı [0,1] olmak üzere alternatifler 1'e ne kadar yakın olursa seçilme olasılıkları o kadar artacaktır. Her bir alternatifin yakınlık katsayıları (4.15) numaralı formül yardımıyla hesaplanır:

$$CC1 = 5.190 / (8.599 + 5.190)$$

$$CC1 = 0.3763$$

$$CC2 = 5.009 / (8.814 + 5.009)$$

$$CC2 = 0.3623$$

$$CC3 = 6.335 / (7.500 + 6.335)$$

$$CC3 = 0.4578$$

$$CC4 = 6.723 / (7.129 + 6.723)$$

$$CC4 = 0.4853$$

$$CC5 = 4.686 / (9.128 + 4.686)$$

$$CC5 = 0.3392$$

$$CC6 = 4.130 / (9.631 + 4.130)$$

$$CC6 = 0.3001$$

$$CC7 = 4.259 / (9.527 + 4.259)$$

$$CC7 = 0.3089$$

Tüm alternatiflerin yakınlık katsayıları hesaplanarak Tablo 22, oluşturulur.

Tablo 22: Alternatiflerin Yakınlık Katsayıları

	d_i^*	d_i^-	$d_i^* + d_i^-$	CC_i
A1	8.599	5.190	13.789	0.3763
A2	8.814	5.009	13.823	0.3623
A3	7.500	6.335	13.835	0.4578
A4	7.129	6.723	13.852	0.4853
A5	9.128	4.686	13.814	0.3392
A6	9.631	4.130	13.761	0.3001
A7	9.527	4.259	13.786	0.3089

5.15. ALTERNATİFLERİN YAKINLIK KATSAYILARINA GÖRE SIRALANMASI

Yakınlık katsayıları hesaplandıktan sonra en yüksek skordan aşağıya doğru alternatifler sıralanır. En yüksek skora sahip alternatif sıralamanın en üst seviyesinde yer alır. Yakınlık katsayıları büyükten küçüğe doğru $CC4 > CC3 > CC1 > CC2 > CC5 > CC7 > CC6$ şeklinde olduğundan, alternatiflerin tercih sıralaması A4, A3, A1, A2, A5, A7, A6 olarak belirlenir. Sonuçlar Tablo 23’de verilmiştir.

Tablo 23: Alternatiflerin Yakınlık Katsayıları ve Sıralamaları

Alternatifler	CCi	Sıralama
Termik Enerji Santrali	0.3763	3
Hidroelektrik Enerji Santrali	0.3623	4
Rüzgar Enerji Santrali	0.4578	2
Jeotermal Enerji Santrali	0.4853	1
Çimento Fabrikası	0.3392	5
İplik Fabrikası	0.3001	7
Kağıt Fabrikası	0.3089	6

Alternatiflerin sahip oldukları yakınlık katsayıları ile elde ettikleri kabul koşulları Tablo24’de yer alanskala yardımıyla değerlendirilir:

Tablo 24: Alternatiflerin Yakınlık Katsayıları Kabul Koşulları

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

Kaynak: Chen ve diğerleri, 2006: 296.

En yüksek skora sahip alternatif olan jeotermal enerji santrali projeler arasında kabul edilebilir seviyeye en yakın olan alternatif olarak göze çarpmaktadır. Rüzgar enerji santrali düşük risk ile tavsiye edilen proje grubunda yer almakta ve diğer tüm projeler ağırlıklarına göre yüksek risk ile tavsiye edilen proje grubu içinde dağılmaktadırlar.

Değerlendirmede yer alan yedi alternatif için yakınlık katsayıları incelendiğinde, alternatiflerin yakınlık katsayılarının dar bir aralıkta (0.3001-0.4853) bulunduğu ve yakınlık katsayıları birbirine çok yakın olan iplik fabrikası ve kağıt fabrikası projeleri (A6 ile A7) olduğu dikkati çekmektedir. Alternatiflerin niteliklerinin birbirine çok yakın olduğu, karar vermenin güç olduğu böyle durumlarda Bulanık TOPSIS yöntemi karar verme sürecini kolaylaştırmaktadır.

Yakınlık katsayılarına göre projeleri incelediğimizde en önemli projeler sırasıyla jeotermal enerji santrali, rüzgar enerji santrali, termik enerji santrali, hidroelektrik enerji santrali, çimento fabrikası, kağıt fabrikası ve iplik fabrikası olarak belirlenmiştir.

5.16. BULANIK TOPSIS VE TOPSIS YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışmanın bu bölümünde, iki farklı çok kriterli karar verme yöntemi kullanılarak yöntemlerin ve sonuçların kıyaslanması amaçlanmıştır. Problemin, Bulanık TOPSIS ve TOPSIS yöntemi ile çözülmesi sonucu elde edilen yakınlık katsayıları ve alternatiflerin sıralaması Tablo 25'te verilmiştir.

Tablo 25: Bulanık TOPSIS ve TOPSIS Yöntemine Göre Alternatiflerin Yakınlık Katsayıları ve Sıralamaları

Alternatifler	Bulanık TOPSIS	Sıralama	TOPSIS	Sıralama
Termik Enerji Santrali	0.3763	3	0.9825	3
Hidroelektrik Enerji Santrali	0.3623	4	0.5989	5
Rüzgar Enerji Santrali	0.4578	2	1.6324	2
Jeotermal Enerji Santrali	0.4853	1	17.122	1
Çimento Fabrikası	0.3392	5	0.9463	4
İplik Fabrikası	0.3001	7	0.5970	6
Kağıt Fabrikası	0.3089	6	0.5718	7

Yöntemlerin karşılaştırılmasında elde edilen sonuçlar üzerine yapılan incelemede yöntemlerin sıralamalarının birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Her iki yöntemde de Jetermal Enerji Santrali ilk sırada yer almaktadır. Ancak TOPSIS yönteminde diğer alternatifler ile arasındaki fark Bulanık TOPSIS yöntemine göre çok yüksektir. Alternatifler arasındaki farkın yüksek olması ve sıralamalarının farklı olmasının nedeni, TOPSIS yönteminin algoritmasında yer alan pozitif ideal ayırım (S^*) ve negatif ideal ayırım (S^-) değerlerinin Bulanık TOPSIS yönteminde farklı hesaplanmasındandır. Oluşan bu farkın bir başka nedeni ise, Bulanık TOPSIS yönteminin hem objektif hem de subjektif düşünceleri karar modeline dahil ederek, karar vericilerin sezgilerini ve tecrübelerini bilimsel bir platformda tamamlaması gösterilebilir.

SONUÇ

Karar verme, ekonomik ve sosyal alanda yaşanan hızlı gelişim ve değişimler ile birlikte organizasyonların küreselleşme sürecinde varlıklarını sürdürebilmesi ve artan rekabet koşullarında iyi yönetebilmeleri için stratejik bir öneme sahiptir. Globalleşme, rekabet şartlarının zorlaşmasına ve organizasyonların mevcut kaynaklarını kullanırken daha dikkatli davranmalarına neden olmaktadır. Başarının devamlılığını sağlamak organizasyonların en önemli hedeflerinden birisini oluşturmaktadır. Karar verme sürecinde etkili olan ve sonuca direkt etki eden değişkenlerin kesin olarak tanımlanmasının zorlaştığı belirsizlik ortamlarında, yöneticiler önceden ortaya konulmuş hedeflerine ulaşma konusunda birçok değişik sorunla karşı karşıya kalmakta ve stratejik kararların alınması giderek zorlaşmaktadır. Organizasyonlara değer katacak ve gelişmelerinde büyük katkı sağlayacak doğru kararların verilmesi için büyük ölçekli problemlerin çözüme kavuşturulması gerekmektedir. Karşılaşılan problemler net olarak tanımlanabiliyor ve belirsizlik içermiyorlarsa kolay bir şekilde çözülebilirler ancak problemlerin ölçeği genişledikçe birbiriyle bağlantılı ve dışlanamayan çok sayıda kriterin varlığı altında alternatifler değerlendirilmektedir.

Global dünyayı tek boyutlu olarak görebilmek ve görüleni değerlendirirken yalnızca bir tek kriter kullanmak giderek güçleşmektedir. Bir problemi değerlendirirken tek bir seçim kriterinin kullanılması ve bu kriterin tam anlamıyla doyurucu olması ancak çok basit, açık ve alışlagelmiş bir durumda söz konusudur. Karar problemlerinde, alternatiflerden birinin soruna çözüm getirmesi için tercih edilmesi, bu değişim ortamı içinde giderek daha karmaşık bir görünüm kazanmıştır. Kararın ne derece doğru verildiğinin göstergesi, problemlerin ne şekilde çözümlendiği, kaynakların nasıl kullanıldığı ve hedeflerin ne kadarının karşılandığı ile ilgilidir. Hedeflerin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesinde, yaşanan hızlı değişimin meydana getirdiği belirsizlikleri iyi bir şekilde analiz ederek çözümlemek ve kontrol altına almak için organizasyon yöneticilerine bu anlamda etkili ve doğru karar vermelerini sağlayacak etkili çözüm araçlarının varlığına ihtiyaç duyulmaktadır. Net olarak tanımlanamayan ve belirsizliğin yer aldığı problemler için

çok kriterli karar verme teknikleri, karar vericilere karar verme süreciyle baş edebilme fırsatı tanımaktadır.

Çok kriterli karar verme teknikleri, karar verme sürecini hedefleri en iyi şekilde doyurarak gerçekleştirmek için bir takım tekniklere ihtiyaç duyulması ile geliştirilmeye başlanmıştır. Çok kriterli karar verme, çok sayıda kriterin aynı anda dikkate alındığı bir ortamda, en çok tercih edilen alternatifin titiz bir şekilde seçimini sağlayan bir karar verme aracıdır. Bünyesinde diğerlerine nazaran kendine has avantajları barındıran alternatifler arasından seçim yapmak analitik bir çözüm tekniği olmadan imkansız hale gelmektedir. Oluşan bu zor süreçte karar verici ya deneyimlerine dayanarak bir karar verecek ya da uzun ve rasyonel olmayan analizler sonunda kuşku içerisinde bir karara varacaktır. Çok kriterli karar verme yöntemleri, alternatif ve kriter sayılarının fazla olduğu durumlarda karar verme mekanizmasını kontrol altında tutabilmek ve karar sonucunu mümkün olduğu kadar kolay ve çabuk elde etmek için kullanılmaktadır.

Karar verme, çoğunlukla belirsizlik ve riskin mevcut olduğu ortamlarda gerçekleşmektedir. Karşılaşılan karmaşık durumların modellenmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerindeki deterministik yaklaşımlar yetersiz kalmaktadır. Bulanık mantık anlayışı, alınmak istenen kararlarda kesin sayısal değerlerin kullanılamaması sonucu, kriterlerin performanslarının ancak nitel veya sözel terimler kullanılarak ifade edilebildiği için kullanılmaya başlanmıştır. Bulanık mantık anlayışının temeli insan düşünce ve yargılarının üyelik dereceleri veya fonksiyonları kullanılarak sayısallaştırılması dayanır. Belirliliğin mevcut olduğu ortamlarda kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri, bulanık ortamlar altında karar verilerinin belirsiz olduğu durumlara uyarlanarak, bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri olarak geliştirilmiştir. Karar kriterlerinin önem düzeyinin ve karar kriterlerine göre alternatiflerin insan yargı ve düşüncelerine göre değerlendirildiği karar verme durumlarında, bulanık mantık anlayışı daha etkin karar verme olanağı sunabilmektedir.

Bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Bulanık TOPSIS yöntemi, belirsizliğin hakim olduğu durumlarda grup karar vermeye yardımcı olan oldukça kullanışlı ve sağlam teorik yapıya sahip bir yöntemdir. Dilsel değişkenler yardımıyla değerlendirmelerin yapıldığı Bulanık TOPSIS yöntemi ile daha doğru ve

etkin karar vermek mümkün olabilmektedir. Bulanık TOPSIS yönteminde karar vericilerin karar kriterlerine farklı ağırlıklar ataması, değerlendirme kriterlerinin önem seviyelerinin benzer olduğu durumlara göre daha etkin ve objektif sonuçlar vermektedir.

Çalışmanın uygulama bölümünde, inşaat ve mühendislik anonim şirketi, müşteri memnuniyeti sağlamak, şirket gelirlerini arttırmak, hizmet kalitesini yükseltmek, rekabette üstünlük sağlamak ve yeni müşteriler kazanmak için enerji ve endüstri projeleri arasında seçim yapmak istemektedir. Bu bağlamda araştırma verilerinin toplanması ve değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi sürecinde, şirkette önemli pozisyonlarda yer alan proje müdürü ve bir uzman mühendis ile yapılan görüşmelerde elde edilen bilgiler, literatür araştırmalarıyla desteklenmiştir. Şirket stratejik hedefleri doğrultusunda, termik enerji santrali, hidroelektrik enerji santrali, rüzgar enerji santrali, jeotermal enerji santrali, çimento fabrikası, iplik fabrikası ve kağıt fabrikası projeleri olmak üzere yedi alternatif belirlemiştir. Şirketin amaçları dikkate alınarak alternatiflerin değerlendirilmesinde, projeden elde edilecek kar, rekabet avantajı sağlama, projenin oluşturacağı maliyet, stratejik hedeflere uygunluk, proje tamamlanma süresi, projenin yapım kolaylığı, projenin ek istihdam maliyeti, yatırımın geri dönüş süresi, şirket değerini arttırma, ekipman ve teknik bilgi, devlet teşviği, yasal prosedürlerin zorluğu ve şirketin prestijini arttırma olmak üzere on üç değerlendirme kriteri kullanılmıştır.

Karar vericiler Bulanık TOPSIS yöntemi algoritması doğrultusunda öncelikle değerlendirmekriterlerinin önem ağırlıklarını çok yüksek, yüksek, biraz yüksek, orta, biraz düşük, düşük, çok düşük gibi iyiden kötüye doğru sözel değişkenler yardımıyla sıralamaktadır ve daha sonra sözel değişkenler üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmektedir. Aynı şekilde alternatiflerin değerlendirilmesinde, çok iyi, iyi, biraz iyi, orta, biraz kötü, kötü, çok kötü gibi iyiden kötüye doğru sözel değişkenler yardımıyla sıralanmaktadır ve daha sonra sözel değişkenler üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmektedir. Yöntem, karar vericileri sübjektif yargılarından kurtararak, hem nitel hem de nicel verilerle değerlendirme yapabilme olanağı sağlamaktadır. Bulanık TOPSIS yönteminin en önemli avantajlarından biri, modelin değerlendirme kriterlerine farklı önem ağırlıkları ataması imkanını sağlamasıdır. Kullanılan sözel değişkenler yardımıyla değerlendirmeler daha hassas yapılabilmekte ve elde edilen

sonuçların güvenilirliği artmaktadır. Değerlendirme kriterleri arasında yapılan değerlendirmeler sonucunda, kriterlerin önem ağırlıkları dikkate alındığında en çok öneme sahip ilk üç kriter projenin oluşturacağı maliyet, projeden elde edilecek kar ve yatırımın geri dönüş süresi, en az öneme sahip son üç kriter ise projenin yapım kolaylığı, şirketin değerini arttırma ve şirketin prestijini arttırma olarak sıralanmıştır.

Bulanık TOPSIS algoritmasının uygulanması sonucunda, değerlendirmede yer alan yedi alternatif için yakınlık katsayıları incelendiğinde, A4 alternatifinin yani jeotermal enerji santrali projesinin en yüksek yakınlık katsayısı değerini alarak ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Ayrıca alternatiflerin yakınlık katsayılarının dar bir aralıkta bulunduğu ve yakınlık katsayıları birbirine çok yakın olan iplik fabrikası ve kağıt fabrikası projeleri (A6 ile A7) olduğu dikkati çekmektedir. Alternatiflerin niteliklerinin birbirine çok yakın olduğu, karar vermenin güç olduğu böyle durumlarda Bulanık TOPSIS yöntemi karar verme sürecini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca en yüksek skora sahip alternatif olan jeotermal enerji santrali projeler arasında kabul edilebilir seviyeye en yakın olan alternatif olarak göze çarpmaktadır. Rüzgar enerji santrali düşük risk ile tavsiye edilen proje grubunda yer almakta ve diğer tüm projeler ağırlıklarına göre yüksek risk ile tavsiye edilen proje grubu içinde dağılmaktadırlar.

Yakınlık katsayılarına göre projeleri incelediğimizde en önemli projeler sırasıyla jeotermal enerji santrali, rüzgar enerji santrali, termik enerji santrali, hidroelektrik enerji santrali, çimento fabrikası, kağıt fabrikası ve iplik fabrikası olarak belirlenmiştir. Yakınlık katsayıları büyükten küçüğe doğru $CC4 > CC3 > CC1 > CC2 > CC5 > CC7 > CC6$ şeklinde olduğundan, alternatiflerin tercih sıralaması A4, A3, A1, A2, A5, A7, A6 olarak belirlenir.

Bulanık TOPSIS yöntemi ile sonuçların değerlendirilmesinin ardından, Bulanık TOPSIS ve TOPSIS yöntemlerinin sonuçlarının kıyaslanması amaçlanmıştır. Yöntemlerin karşılaştırılmasında elde edilen sonuçlar üzerine yapılan incelemede yöntemlerin sıralamalarının birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Her iki yöntemde de Jeotermal Enerji Santrali ilk sırada yer almaktadır. Ancak TOPSIS yönteminde diğer alternatifler ile arasındaki fark Bulanık TOPSIS yöntemine göre çok yüksektir. Alternatifler arasındaki farkın yüksek olması ve sıralamalarının farklı olmasının nedeni, TOPSIS yönteminin algoritmasında yer alan pozitif ideal ayırım (S^*) ve

negatif ideal ayırım (S^-) değerlerinin Bulanık TOPSIS yönteminde farklı hesaplanmasındandır. Oluşan bu farkın bir başka nedeni ise, Bulanık TOPSIS yönteminin hem objektif hem de subjektif düşünceleri karar modeline dahil ederek, karar vericilerin sezgilerini ve tecrübelerini bilimsel bir platformda tamamlaması gösterilebilir.

Bulanık TOPSIS tekniğinin en uygun sonuçları vermesi ancak uygulama konusunun ele alınacağı sektörle ilgili değerlendirmeyi en iyi şekilde yapabilecek profesyonel karar vericilerden oluşan bir grupta mümkün hale gelmektedir. Alternatiflerin ve değerlendirme kriterlerinin çokluğu sonuçların doğruluğunu ve tutarlılığını etkilediği için kriterler uygulamada sapmalara yer vermeyecek şekilde dikkatle seçilmelidir bununla birlikte karar vericilerin bu kriterlerin varlığı altında alternatifleri değerlendirirken odaklanabileceği bir ortamda objektif değerlendirmelerde bulunması gerekmektedir.

Enerji ve endüstri sektöründe faaliyet gösteren bir anonim şirketin hayata geçirmek istediği projeleri önem seviyelerine göre sıralanması ve en uygun projenin seçilmesi Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak, daha önceden şirketin geçmiş deneyimleriyle sezgisel olarak gerçekleştirilen seçimlerini subjektif yargılardan kurtararak bilimsel bir platforma taşınması yoluyla çözümü önerilmiştir. Elde edilen sonuçlar şirket yöneticileriyle bir araya gelerek değerlendirilmiş ve alternatif projeler arasında değerlendirme yaparken Bulanık TOPSIS tekniğinin grup kararı gerektiren bulanık ortamlarda etkili olduğu saptanmıştır.

Bulanık TOPSIS yöntemi, çok sayıda alternatifi ve değerlendirme kriterinin var olduğu ortamlarda grup kararı ve bireysel kararların alındığı pek çok uygulama alanında başarıyla kullanılabilir. Bu çalışmada, Enerji ve endüstri sektöründe faaliyet gösteren orta ve büyük ölçekli firmalar için proje seçim modeli önerilmiştir. Ayrıca, İşletmenin insan kaynakları yönetimi, pazarlama yönetimi, üretim yönetimi gibi diğer alanlarında da kullanılabilir. Uzman görüşlerinin aynı ağırlığa sahip olduğu düşünülmüştür. Bunun yerine farklı karar vericilerin farklı ağırlıklara sahip olduğu bir model kurulabilir. Yeterli dataların alınması durumunda, gelecek yıllara göre yatırım bütçesi, projenin başlamasından sonra satışlardan gelecek geliri hesaba katan dinamik bir bütçe modelinin geliştirilmesi önerilebilir. İleride yapılacak bir başka

Çalışmada, diğır çok kriterli karar verme yöntemleri de kullanılarak bu yöntemlerin karşılaştırılmasıyla alışmaya değişik boyutlar kazandırılabilir.

KAYNAKÇA

Adair, J. (2010). *Decision Making and Problem Solving Strategies*. Kogan Page.

Alemi, M., Jalalifar, H., Kamali, G.R. ve Kalbasi, M. (2011). A mathematical estimation for artificial lift systems selection based on ELECTRE model. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 78: 193–200.

Aly, M.F., Attia, H.A. ve Mohammed, A.M. (2013). Integrated Fuzzy (GMM) - TOPSIS Model for Best Design Concept and Material Selection Process. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2: 6464-6486.

Arshia, A., Aryanezhad, M.B., Ashtiani, B. ve Makui, A. (2009). A novel approach to determine cell formation, intracellular machine layout and cell layout in the CMS problem based on TOPSIS method. *Computers & Operations Research*. 36: 1478 – 1496.

Ashrafzadeh, M., Rafiei, F.M., Isfahani, N.M. ve Zare, Z. (2012). Application of fuzzy TOPSIS method for the selection of Warehouse Location: A Case Study. *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business*. 3: 655-671.

Baykal, N. ve Beyan, T. (2004). *Bulanık Mantık İlke ve Temelleri*. Bıçaklar Kitabevi.

Bellman, R.E. ve Zadeh, L.A. (1970). Decision Making in a Fuzzy Environment. *Management Science*. 17: 141-164.

Belton, V. ve Stewart, T.J. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Springer-Science+Business Media, B.V.

Benitez, J.M., Martin, J.C. ve Roman, C. (2007). Using fuzzy number for measuring quality of service in the hotel industry. *Tourism Management*. 28: 544–555.

Bezdek, J.C. (1981). Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. New York ve London: Plenum Press.

Bezdek, J.C. (1992). Computing with Uncertainty. *IEEE Communications Magazine*. 1: 24-36.

Bhattacharjee, P.K., Sen, T. Banerjee, D., ve Sarkar, B. (2012). Analysis of Noise Emitted from Electrical Machines Using TOPSIS Technique. *International Journal of Environmental Science and Development*. Vol. 3: 5-9.

Bojadziev, G. ve Bojadziev, M. (2007). Fuzzy Logic for Business, Finance and Management. Singapore: World Scientific.

Bojadziev, G. ve Bojadziev, M. (2007). *Fuzzy Logic for Business, Finance and Management*. Singapore: World Scientific.

Brans, J.P. ve Vincke, P.H. (1985). A Preference Ranking Organisation Method. *Management Science*. 31: 647-656.

Buckley, J.J. ve Eslami, E. (2002). An Introduction to Fuzzy Logic and Fuzzy Sets. Verlag Berlin Heidelberg: Springer

Castro, J. L. ve Zurita, J.M. (1996). A Multivalued Logic ATMS. *International Journal of Intelligent Systems*. 11: 185-195.

Cavallaro, F. (2010). Fuzzy TOPSIS approach for assessing thermal-energy storage in concentrated solar power (CSP) systems. *Applied Energy*. 87: 496–503.

Celikyilmaz, A. ve Türksen, B. (2009). Modeling Uncertainty with Fuzzy Logic with Recent Theory and Applications. Verlag Berlin Heidelberg: Springer.

Chang, P.L. ve Chen, Y.C. (1994). A fuzzy multi-criteria decision making method for technology transfer strategy selection in biotechnology. *Fuzzy Sets and Systems*. 63: 131-139.

Chang, C.W., Wu, C.R., Lin, C.T. ve Chen,H.C. (2008). Evaluating and controlling silicon wafer slicing quality using fuzzy analytical hierarchy and sensitivity analysis. *Int J Adv Manuf Technol*. 36: 322–333.

Chankong, V. ve Haimes, Y.Y. (1983). Multiobjective Decision Making: Theory and Methodology. Springer Verlag Berlin Heidelberg North-Holland.

Chen, G. ve Pham, T.T. (2001). *Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems*. Boca Raton London New York Washington: CRC Press.

Chen, C.T., Lin, C.T. ve Huang,S.F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *Int. J. Production Economics* 102: 289–301.

Chen, C.T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*. 114: 1-9.

Chen, S.M. (1996). Evaluating Weapon Systems Using Fuzzy Arithmetic Operations. *Fuzzy Sets and Systems*. 77: 265-276.

Deshmukh, S.C. (2013). Preference Ranking Organization Method Of Enrichment Evaluation (Promethee). *International Journal of Engineering Science Invention*. 2: 28-34.

Doumpos, M. ve Zopounidis, C. (2004). Multicriteria Decision Aid Classification Methods. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers.

Dombi, J. (1990). Membership Function as an Evaluation. *Fuzzy Sets and Systems*. 35: 1-21.

Druzdzal, M.J. ve Flynn, R.R. (2002). *Decision Support Systems. Encyclopedia of Library and Information Science*. New York: Marcel Dekker, Inc.

Dubois, D. ve Prade, H. (1980). *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*. Boston: Academic Press.

Dubois, D. ve Prade, H. (2000). *Fundamentals of Fuzzy Sets*. New York: Springer.

Dyer, R.F. ve Forman, E.H. (1992). Group decision support with the Analytic Hierarchy Process. *Decision Support Systems*. 8: 99-124.

Eom, S. ve Kim, E. (2005). A Survey of Decision Support System Applications. *Journal of the Operational Research Society*. 0: 1–15.

Figueira, J., Greco, S. ve Ehrgott, M. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Science + Business Media Inc. Boston: Springer.

Fraisse, G., Virgone, J. ve Roux, J.J. (1997). Thermal control of a discontinuously occupied building using a classical and a fuzzy logic approach. *Energy and Buildings* 26: 303-316.

Goumas, M. ve 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: 606-613.

Guitouni, A. ve Martel, J.M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*. 109: 501-521.

Hamdy, A.T. (2007). *Operations research an introduction*. İstanbul: Literatür yayıncılık.

Hammond, J.S., Keeney, R.L. ve Raiffa, H. (1999). *Smart Choices: A Practical Guide to Making Better Decisions*. Harvard Business School Press.

Hans, J. ve Zimmermann, H.J. (1976). Description and Optimization of Fuzzy Systems. *Int. J. General Systems*. Vol. 2, pp. 209-215.

Henig, M. ve Buchanan, J.T. (1996). Solving MCDM Problems: Process Concepts. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 5: 3-21.

Huang, J.J., Tzeng, G.H. ve Liu, H.H. (2009). A Revised VIKOR Model for Multiple Criteria Decision Making - The Perspective of Regret Theory. Verlag Berlin Heidelberg: Springer. 761-768.

Ho, W. (2008). Integrated analytic hierarchy process and its applications: A literature review. *European Journal of Operational Research*. 186: 211-228.

Hwang, C.L., Chen, S.J. ve Hwang, F.P. (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Verlag Berlin Heidelberg New York: Springer.

Hwang, C.L. ve Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Verlag Berlin Heidelberg New York: Springer.

Hyde, K., Maier, H. ve Colby, C. (2003). Incorporating Uncertainty in the Promethee MCDA Method. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 12: 245–259.

Jahanshahloo, G.R., Lotfi, F.H. ve Izadikhah, M. (2006). Extension of the TOPSIS method for decision-making problems with fuzzy data. *Applied Mathematics and Computation*. 181: 544–1551.

Jamshidi, M. (1997). *Large-Scale Systems: Modeling, Control and Fuzzy Logic*. New Jersey: Prentice Hall.

Jones, A., Kaufmann, A. ve Zimmermann, H.J. (1986). *Fuzzy Sets Theory and Applications*. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company.

Kacprzyk, J. ve Orlovski, S.A. (1987). *Optimization Models Using Fuzzy Sets and Possibility Theory*. Dordrecht: Springer.

Kahraman, C. (2008). *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making*. İstanbul: Springer.

Kandel, A. (1986). *Fuzzy Mathematical Techniques with Applications*. Massachusetts: Addison Wesley.

Kasabov, N.K. (1996). *Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering*. Massachusetts: The MIT Press.

Kim, G., Parkb, C.S. ve Yoon, K. P. (1997). Identifying investment opportunities for advanced manufacturing systems with comparative-integrated performance measurement. *Int. J. Production Economics*. 50: 23-33.

Kuo, R.J., Wu, Y.H. ve Hsu, T.S. (2012). Integration of fuzzy set theory and TOPSIS into HFMEA to improve outpatient service for elderly patients in Taiwan. *Journal of the Chinese Medical Association*. 75: 341-348.

Kutlu, A.C. ve Ekmekçioğlu, M. (2012). Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*. 39: 61–67.

Lai, Y.J., Liu, T.Y. ve Hwang, C.L. (1994). TOPSIS for MODM. *European Journal of Operational Research*. 76: 486-500.

Lai, Y.J. ve Hwang, C.L. (1992). *Fuzzy Mathematical Programming: Methods and Applications*. Verlag Berlin Heidelberg: Springer.

Lee, A.H.I., Chen, H.H. ve Kang, H.Y. (2009). Multi-Criteria Decision Making on Strategic Selection of Wind Farms. *Renewable Energy*. 34: 120–126.

Leung, Y. (1983). Fuzzy Sets Approach to Spatial Analysis and Planning: A Nontechnical Evaluation. *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*. 65: 65-75.

Levy, J.K. (2005). Multiple criteria decision making and decision support systems for flood risk management. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 19: 438–447.

Li, D. (1999). Fuzzy Multiattribute decision-making models and methods with incomplete preference information. *Fuzzy Sets and Systems*. 106: 113-119.

Liang, G.S. (1999). Fuzzy MCDM based on ideal and anti-ideal concepts. *European Journal of Operational Research*. 112: 682-691.

Liao, C.N. ve Kao, H.P. (2011). An integrated fuzzy TOPSIS and MCGP approach to supplier selection in supply chain management. *Expert Systems with Applications*. 38: 10803–10811.

Lin, C.T. ve Lee, C.S.G. (1996). *Neural Fuzzy Systems: A Neuro-Fuzzy Synergism To Intelligent Systems*. New Jersey: Prentice Hall.

Linkov, I., Satterstrom, F.K., Kiker, G., Seager, T.P, Bridges, T., Gardner, K.H., Rogers, S.H., Belluck, D.A. ve Meyer., A. (2006). Multicriteria Decision Analysis: A Comprehensive Decision Approach for Management of Contaminated Sediments. *Risk Analysis*. 26: 61-78.

Lootsma, F.A. (1999). *Multi-Criteria Decision Analysis via Ratio and Difference Judgement*. London: Kluwer Academic Publishers.

Macharis, C. Springael, J. Brucker, K.D. ve Verbeke, A. (2004). PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research*. 153: 307–317.

Mahdavi, I., Amiri, N.M., Heidarzade, A. ve Nourifar, R. (2008). Designing a model of fuzzy TOPSIS in multiple criteria decision making. *Applied Mathematics and Computation*. 1-11.

Mateo, J.R.S.C. (2012). *Multi-Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry*. Verlag London Limited: Springer.

McCosh, J. (1991). *The Laws of Discursive Thought Being A Textbook of Formal Logic*. New York: Robert Carter and Brothers.

Mendoza, G.A. ve Prabhub, R. (2000). Multiple criteria decision making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators: a case study. *Forest Ecology and Management*. 131: 107-126.

Mikhailov, L. (2004). Group prioritization in the AHP by fuzzy preference programming method. *Computers & Operations Research*. 31: 293-301.

Munier, N. (2011). *A Strategy for Using Multicriteria Analysis in Decision-Making*. Science+Business Media B.V. Dordrecht Heidelberg London New York: Springer.

Nezhad, S.S. ve Damghani, K.K. (2010). Application of a fuzzy TOPSIS method base on modified preference ratio and fuzzy distance measurement in assessment of traffic police centers performance. *Applied Soft Computing*. 10: 1028–1039.

Novak, V., Ramik, J. ve Mares, M. (1992). *Fuzzy Approach to Reasoning and Decision Making*. Prague: Academia.

Opricovic, S. ve Tzeng, G.H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*. 156: 445–455.

Opricovic, S. ve Tzeng, G.H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research*. 178: 514–529.

Öner, N. (1986). *Klasik Mantık*. Ankara: Ankara Üniversitesi Basım Evi.

Özkan, M.M. (2003). *Bulanık Hedef Programlama*. Bursa: Ekin Kitapevi.

Passino, K.M. ve Yurkovich, S. (1998). *Fuzzy Control*. Menlo Park California: Addison Wesley.

Pedrycz, W. ve Gomide, F. (2007). *Fuzzy Systems Engineering Toward Human-Centric Computing*. New Jersey: John Wiley.

Pohekar, S.D. ve Ramachandran, M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 8: 365–381.

Render, B., Stair, R.M. ve Hanna, M.E. (2012). *Quantitative Analysis for Management*. Allyn and Bacon USA: Pearson.

Ross, T.J. (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. Southern Gate, Chichester, West Sussex: Wiley Publication.

Roubens, M. (1997). Fuzzy Sets and Decision Analysis. *Fuzzy Sets and Systems*. 90: 199-206.

Ruan, D. ve Büyüközkan, G. (2008). Evaluation of software development projects using a fuzzy multi-criteria decision approach. *Mathematics and Computers in Simulation*. 77: 464–475.

Saaty, T.L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*. 48: 9-26.

Saaty, T.L. (1994). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Interfaces*. 24: 19-43.

Sakawa, M., Yano, H. ve Nishizaki, I. (2013). *Linear and Multiobjective Programming with Fuzzy Stochastic Extensions*. New York Heidelberg Dordrecht London: Springer.

Şen, P. ve Yang, J.B. (1995). Multiple Criteria Decision Making in Design Selection and Synthesis. *Journal of Engineering Design*. 6: 207-230.

Şen, Z. (2011). *Mühendislikte Felsefe, Mantık, Bilim ve Etik*. İstanbul: Su Vakfı.

Şen, Z. (2009). *Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme*. İstanbul: Su Vakfı Yayınları.

Siler, W. ve Buckley, J.J. (2005). *Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning*. New Jersey: John Wiley.

Stillwell, W.G., Seaver, D.A. ve Edwards, W. (1981). A Comparison of Weight Approximation Techniques in Multiattribute Utility Decision Making. *Organizational Behavior and Human Performance*. 28: 62-77.

Taha, H.A. (2007). *Yöneylem Araştırması*. İstanbul: Literatür Yayıncılık.

Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. ABD: Kluwer Academic Publishers.

Triantaphyllou, E., Shu, B., Sanchez, S.N. ve Ray, T. (1998). Multi-Criteria Decision Making: An Operations Research Approach. *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*. 15: 175-186.

Tsaur, S.H., Chang, T.Y. ve Yen, C.H. (2002). The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM. *Tourism Management*. 23: 107–115.

Yang, T. ve Hung, C.C. (2007). Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 23: 126-137.

Vaidya, O.S. ve Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*. 169: 1–29.

Wang, L.X. (1997). *A Course in Fuzzy Systems and Control*. New Jersey: Prentice Hall.

Wang, Y.J. ve Lee, H.S. (2007). Generalizing TOPSIS for fuzzy multiple-criteria group decision-making. *An international journal Computers and Mathematics with Applications*. 53: 1762-1772.

Wang, Y.M. ve 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: 309–319.

Wang, T.C. ve Chang, T.H. (2007). Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*. 33: 870–880.

- Wadhwa, S., Madaana, J. ve Chan, F.T.S. (2009). Flexible decision modeling of reverse logistics system: A value adding MCDM approach for alternative selection. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 25: 460–469.
- Wang, Y.J. (2011). Fuzzy multi-criteria decision-making based on positive and negative extreme solutions. *Applied Mathematical Modelling* 35: 1994–2004.
- Wimatsari, G.A.M.S., Putra, K.G.D. ve Buana, P.W. (2013). Multi-Attribute Decision Making scholarship selection Using A Modified Fuzzy TOPSIS. *International Journal of Computer Science Issues*.10: 309-317.
- Wu, W.W. ve Lee, Y.T. (2007). Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. *Expert Systems with Applications*. 32: 499–507.
- Yan, B. (2002). A Multi-Criteria Decision-Making Model and Its Application in System Solution Engineering. *Bell Labs Technical Journal*. 7: 197–214.
- Yaralıoğlu, K. (2010). *Karar Verme Yöntemleri*. Ankara: Detay Yayıncılık.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*. 8: 338-353.
- Zadeh, L. A. (1975). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I. *Information Sciences*. 8: 199-249.
- Zeleny, M. (1974). A Concept of Compromise Solutions and The Method of The Displaced Ideal. *Comput Operat Res*. 1: 479-496.
- Zeleny, M. (2005). *Human Systems Management: Integrating Knowledge, Management and Systems*. World Scientific.
- Zhang, J.L.G., Ruan, D. ve Wu, F. (2007). *Multi-Objective Group Decision Making*. Imperial College Press.

Zhang, J.G., Ruan, D. ve Wu, F. (2007). *Multi-Objective Group Decision Making: Methods, Software and Applications with Fuzzy Set Techniques*. Covent Garden London: Imperial College Press.

Zhou, P., Ang, B.W. ve Poh, K.L. (2006). Decision analysis in energy and environmental modeling: An update. *Energy*. 31: 2604–2622.

Zhu, K.J., Y.Jing, ve Chang, D.Y. (1999). A discussion on Extent Analysis Method and applications of fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*. 116: 450-456.

Zimmermann, H.J. (1987). *Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems*. Boston Dordrecht Lancaster: Kluwer Academic Publishers.

Zimmermann, H.J. (1987). Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions. *Fuzzy Sets and Systems*. 1: 45-55.

Zimmermann, H.J. (1996). *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. Kluwer Academic Publishers Boston/Dordrecht/London.

Zopounidis, C. ve Doumpos, M. (2002). Multicriteria classification and sorting methods: A literature review. *European Journal of Operational Research*. 138: 229–246.