

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’NİN SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMADAKİ YERİ:
BİR BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YAKLAŞIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Endüstri Mühendisi Özgür KABAK**

Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2003

**TÜRKİYE’NİN SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMADAKİ YERİ:
BİR BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YAKLAŞIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Endüstri Mühendisi Özgür KABAK
507011110**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Mayıs 2003**

**TEZ DANIŞMANI : Prof.Dr. Füsun Ülengin
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Alpaslan Fırlah (Kocaeli Univ.)
Y.Doç.Dr. Y.İlker Topçu**

HAZİRAN 2003

ÖNSÖZ

Bir Çin atasözü “Bu Dünya bize atalarımızdan miras kalmadı, biz onu çocuklarımızdan ödünç aldık” der. Sürdürülebilir kalkınma bu felsefenin çağımızdaki kalkınma anlayışına yansımasıdır. Sürdürülebilir kalkınma sadece şimdiki ve yakın gelecekteki gelişmeyi değil uzun vadede devamlı gelişmeyi garanti altına alır.

Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de de sürdürülebilir kalkınma anlayışının benimsenmesi şarttır. Bu hem Atatürk’ün gösterdiği yolda muasır medeniyetler seviyesine ulaşmamız hem de torunlarımıza yaşanır bir dünya bırakabilmemiz için gereklidir.

Çalışmada Türkiye’nin sürdürülebilir kalkınma açısından yeri incelenmiştir. Bu mevcut durumun tespit edilip ilerlemeyi sağlayacak önceliklerin belirlenmesi için bir başlangıç noktası oluşturabilir. Türkiye’de sürdürülebilir kalkınma anlayışının yaygınlaşması için bu gibi çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu açıdan çalışma sadece bir yüksek lisans tezi olarak değil Türkiye’de sürdürülebilir kalkınmanın benimsenmesi yolunda bir kaynak olarak görülebilir.

Sürdürülebilir kalkınma Endüstri Mühendisliği için yabancı bir konu olduğundan çalışma sırasında yüz yüze ve e-posta yoluyla birçok kişiyle görüştim. Görüştüğüm herkese ve çalışmaya odaklandığım zamanlarda bana destek olan çalışma arkadaşlarıma müteşekkirim.

Çalışmada katkıları olan birkaç kişiden özel olarak bahsetmek istiyorum. Verilen incelenmesinde ve belirteç ağırlıklarının belirlenmesinde görüşlerini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Burç Ülengin’e yine ağırlıkların belirlenmesinde katkıları olan sayın Prof. Dr. Lerzan Özkale ve Prof. Dr. Seval Sözen’e ve çalışmayı beraber götürdüğüm arkadaşım Burcu Sağlam’a teşekkür ederim.

Son olarak teşekkür etmek istediğim kişi, bu çalışmada ve benim üzerimde benden fazla emeği olan sayın hocam Prof. Dr. Füsun Ülengin’dir. Herşey için çok teşekkürler hocam.

Mayıs 2003

Özgür Kabak

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	xiii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xiv
1 GİRİŞ	1
2 SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA.....	3
2.1 Sürdürülebilir Kalkınma Nedir?.....	4
2.2 Sürdürülebilir Kalkınma Nasıl Ölçülür?	6
2.3 Sürdürülebilir Kalkınma Belirteçleri.....	7
2.4 Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu Belirteçleri.....	9
2.4.1 Eşitlik	12
2.4.2 Sağlık	14
2.4.3 Eğitim.....	15
2.4.4 Barındırma (İskân)	16
2.4.5 Güvenlik.....	17
2.4.6 Nüfus	18
2.4.7 Atmosfer.....	20
2.4.8 Toprak	22
2.4.9 Okyanuslar, Denizler ve Sahiller	26
2.4.10 Tatlı Sular.....	29
2.4.11 Biyolojik Çeşitlilik	31
2.4.12 Ekonomik Yapı	33
2.4.13 Tüketim ve Üretim Modelleri	36
2.4.14 Kurumsal Çerçeve.....	40
2.4.15 Kurumsal Kapasite	42
3 ÜLKELERİN GÖRELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA KARŞILAŞTIRMALARINA YÖNELİK MODEL YAKLAŞIMLARI VE ELEŞTİRİLERİ.....	44
3.1 Corson Yöntemi	45
3.1.1 Corson Yönteminin Değerlendirmesi	47
3.2 Refah Değerlendirmesi.....	47
3.2.1 Refah Değerlendirme Çevrimi ve Süreci	49
3.2.2 Refah Değerlendirmesi Yönteminin Değerlendirmesi.....	59
3.3 SAFE Yöntemi	60
3.3.1 SAFE Yönteminin Değerlendirmesi	68
3.4 Mevcut Yöntemlerin Görelî Değerlendirmesi	69

4	BULANIK MODELLEME	72
4.1	Bulanık Mantık	72
4.2	Bulanık Kümeler	73
4.2.1	Bulanık Kümelerde İşlemler	76
4.2.2	Bulanık Kümelerde Bağlıntılar	77
4.2.2.1	Kartezyen Çarpım	77
4.2.2.2	Bulanık Oluşumlar	79
4.2.3	Bulanık Kümelerde Operatörler	80
4.2.3.1	Cebirsel Çarpım	80
4.2.3.2	Sınırlandırılmış Çarpım	81
4.2.3.3	Hamacher En Küçük Operatörü	82
4.2.3.4	Yager En Küçük Operatörü	83
4.2.3.5	Dubois ve Prade En Küçük Operatörü	83
4.2.3.6	Cebirsel Toplam	84
4.2.3.7	Sınırlandırılmış Toplam	85
4.2.3.8	Hamacher En Büyük Operatörü	85
4.2.3.9	Yager En Büyük Operatörü	86
4.2.3.10	Dubois ve Prade En büyük Operatörü	86
4.2.3.11	Zimmermann ve Zysno θ operatörü	87
4.3	Genelleme İlkesi	88
4.4	Bulanık Sayı Aritmetiği	89
4.4.1	Bulanık Sayı	90
4.4.2	Bulanık Sayılarda Toplama	91
4.4.3	Bulanık Sayılarda Çıkarma	93
4.4.4	Bulanık Sayılarda Çarpma	94
4.4.5	Bulanık Sayılarda Bölme	96
4.5	Özel Bulanık Sayılar	97
4.5.1	Sol-Sağ Bulanık Sayılar	98
4.5.2	Üçgen ve Yamuk Bulanık Sayılar	98
5	ÇOK ÖLÇÜTLÜ BULANIK MODELLER	100
5.1	Çok Ölçütlü Karar Verme	100
5.2	Bulanık Sıralama Yöntemleri	103
5.2.1	En İyi Durum Derecesi Kullanarak Sıralama	106
5.2.1.1	Baas ve Kwakernaak Yaklaşımı	106
5.2.1.2	Baldwin ve Guild Yaklaşımı	110
5.2.1.3	En İyi Durum Derecesi Kullanan Yöntemlerin Değerlendirmesi	113
5.2.2	Hamming Uzaklığı Kullanarak Sıralama	114
5.2.2.1	Yager Yaklaşımı	114
5.2.2.2	Kerre Yaklaşımı	116
5.2.2.3	Hamming Uzaklığı Kullanan Yöntemlerin Değerlendirmesi	118
5.2.3	α -Kesim Kullanarak Sıralama	118
5.2.3.1	Adamo Yaklaşımı	119
5.2.3.2	Buckley ve Chanas Yaklaşımı	120
5.2.3.3	Mabuchi Yaklaşımı	121
5.2.3.4	α -Kesim Kullanan Yaklaşımların Değerlendirmesi	126
5.2.4	Sağ-Sol Puanlar Kullanarak Sıralama	127
5.2.4.1	Jain Yaklaşımı	128
5.2.4.2	Chen Yaklaşımı	130
5.2.4.3	Chen ve Hwang Yaklaşımı	133

5.2.4.4	Sağ Sol Puan Kullanan Yaklaşımların Değerlendirilmesi	134
5.2.5	Merkezi Gösterge Kullanarak Sıralama	136
5.2.5.1	Yager Merkezi Göstergesi	136
5.2.5.2	Murakami vd. Yaklaşımı	138
5.2.5.3	Merkezi Gösterge Kullanan Yaklaşımların Değerlendirmesi	139
5.2.6	Alan Hesaplaması Kullanarak Sıralama	139
5.2.6.1	Yager Yaklaşımı	139
5.2.7	Sözel Sıralama Yöntemleri	143
5.2.7.1	Efstathiou ve Tong Yaklaşımı	143
5.2.8	Bulanık Sıralama Yöntemlerinin Değerlendirilmesi.....	149
5.3	Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri	150
5.3.1	Basit Ağırlık Toplama Yöntemleri.....	151
5.3.1.1	Baas ve Kwakernaak Yaklaşımı	152
5.3.1.2	Kwakernaak Yaklaşımı	157
5.3.1.3	Dubois ve Prade Yaklaşımı.....	160
5.3.1.4	Bonissone Yaklaşımı	166
5.3.1.5	Basit Ağırlık Toplama Yöntemlerinin Değerlendirmesi.....	168
5.3.2	Analitik Hiyerarşi Sürecine Bulanık Yaklaşımlar.....	170
5.3.2.1	Laarhoven ve Pedrycz Yaklaşımı	172
5.3.2.2	Buckley Yaklaşımı.....	178
5.3.2.3	Analitik Hiyerarşi Süreci Yaklaşımlarının Değerlendirmesi	186
5.3.3	Negi Yaklaşımı.....	188
5.3.4	Bulanık Üstünlük Yöntemleri	195
5.3.4.1	Roy Yaklaşımı	196
5.3.4.2	Sistos vd. Yaklaşımı.....	202
5.3.4.3	Brans vd. Yaklaşımı.....	209
5.3.4.4	Aouam vd. Yaklaşımı	219
5.3.4.5	Bulanık Üstünlük Yöntemlerinin Değerlendirmesi	227
5.3.5	Maksimin Yöntemleri	229
5.3.5.1	Yager Yaklaşımı	230
5.3.6	Chen ve Hwang Yaklaşımı	232
5.3.7	Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi	238

6	TÜRKİYE’NİN SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMADAKİ GÖRELİ YERİNİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ BİR BULANIK MODELLE İRDELENMESİ	240
6.1	Önerilen Yöntem ve Yöntemde Kullanılan Teknikler	242
6.1.1	Önerilen Yöntemde Kullanılan Bulanık Normalizasyon Yöntemi ..	245
6.1.2	Önerilen Yöntemde Kullanılan Bulanık Üstünlük Yöntemi.....	252
6.2	Önerilen Model Yaklaşımının Türkiye’nin Sürdürülebilir Kalkınmadaki Görelî Yerinin Tespit Edilmesine Uygulanması	262
6.2.1	Belirteç Kümesinin ve Belirteç Gruplarının Belirlenmesi	263
6.2.2	Temsilci Belirteçlerin Ağırlıklarının Belirlenmesi	267
6.2.3	Belirteç Değerlerinin Normalizasyonu	269
6.2.3.1	Belirteçlerin Hedef ve Sürdürülebilirlik Eşik Değerlerinin Belirlenmesi	270
6.2.3.2	Verilerin Normalizasyonu.....	273
6.2.4	Bulanık Üstünlük Yöntemi İle Ülkelerin Karşılaştırılması.....	275
6.3	Sonuçların Değerlendirilmesi.....	276

6.4	Çeşitli Belirteç Değerlerindeki Değişimlerin Türkiye'nin Sürdürülebilirliğine Etkilerinin İncelenmesi.....	280
7	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	285
	KAYNAKLAR	288
	EKLER.....	290
	ÖZGEÇMİŞ.....	307

KISALTMALAR

SK	: Sürdürülebilir Kalkınma
SKK	: Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu
OECD	: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
GSYH	: Gayri Safhi Yurtiçi Hasıla
GSMH	: Gayri Safhi Milli Hasıla
RKY	: Resmi Kalkınma Yardımı
CFC	: Kloroflorokarbonlar
AHS	: Analitik Hiyerarşi Süreci
ÇÖKV	: Çok ölçütlü karar verme
BÇÖKV	: Bulanık çok ölçütlü karar verme
ÇAKV	: Çok Amaçlı karar verme
BEK	: Bulanık sayıların enküçüğü
BEB	: Bulanık sayıların enbüyüğü
SSG	: Sosyoekonomik sürdürülebilirlik göstergesi
ÇSG	: Çevresel sürdürülebilirlik göstergesi
NYA	: Net yıllık artış
ERG	: Ekosistem refah göstergesi
İRG	: İnsan refah göstergesi
RBG	: Refah Baskı Göstergesi
ÇÖBM	: Çok ölçütlü bulanık modelleme
TOPSIS	: İdeal sonuca benzerliğe göre sıralama tercih sırası tekniği - bir ÇÖKV yöntemi (Technique for Order Prefence by Similarty to Ideal Solution)
PIÇ	: Pozitif ideal çözüm
NIÇ	: Negatif İdeal Çözüm

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 SKK'nın oluşturduğu ilk temalar	10
Tablo 2.2 Sosyal tema, alt tema ve belirteçler	10
Tablo 2.3 Çevresel tema, alt tema ve belirteçler	11
Tablo 2.4 Ekonomik tema, alt tema ve belirteçler.....	11
Tablo 2.5 Kurumsal tema, alt tema ve belirteçler	12
Tablo 3.1 Mevcut sürdürülebilirlik ölçüm yaklaşımları.....	45
Tablo 3.2 On endüstriyel ülke için Corson sürdürülebilirlik göstergesi	46
Tablo 3.3 Sürdürülebilirlik Barometresi'nin 5 kuşağı.....	53
Tablo 3.4 ABD için biyolojik çeşitlilik değerinin hesaplanması	65
Tablo 3.5 Üçüncül eğer-ise kuralları	66
Tablo 3.6 Baskı, durum, tepki değerlerinin güçlü, orta, zayıf bulanık kümelerine üyelik dereceleri	67
Tablo 4.1 Toplu olarak örnek 3.4-3.8'lerdeki sonuçlar	84
Tablo 4.2 Örneklerin toplu sonuçları.....	87
Tablo 4.3 θ nın çeşitli değerleri için Zimmerman Zysno operatörünün değerleri	88
Tablo 4.4 Uygun x ve y değerleri için z ve $\mu(z)$ değerleri	95
Tablo 4.5 M ve N bulanık sayılarının çarpımı sonuçları.....	96
Tablo 5.1 $\mu_{P_2}(v_2)=0$ 'ı sağlayan $\hat{r}_1, \hat{r}_2, \hat{r}_3$ kombinasyonları için v_3 değerleri.....	109
Tablo 5.2 Çeşitli α seviyeleri için $J(\alpha)$ değerleri	125
Tablo 5.3 Sıralama yöntemlerinin özellikleri ve sonuçları	149
Tablo 5.4 Olası y_j ve x_{ij} kombinasyonları ve her kombinasyon için u_i değerleri....	156
Tablo 5.5 Emekli örneği karar matrisi.....	163
Tablo 5.6 Analitik hiyerarşi yönteminde kullanılan ölçek	171
Tablo 5.7 X_1 'e göre alternatiflerin ikili karşılaştırması	175
Tablo 5.8 X_2 'ye göre alternatiflerin ikili karşılaştırması	176
Tablo 5.9 X_3 'e göre alternatiflerin ikili karşılaştırması	176
Tablo 5.10 Ölçütlerin ikili karşılaştırması.....	176
Tablo 5.11 X_1 'e göre göreceli ağırlık oranları.....	183
Tablo 5.12 X_2 'e göre göreceli ağırlık oranları.....	183
Tablo 5.13 X_3 'e göre göreceli ağırlık oranları.....	184
Tablo 5.14 Ölçütlerin göreceli ağırlık oranları.....	184
Tablo 5.15 AHS yaklaşımlarının değerlendirilmesi	187
Tablo 5.16 Brans Yaklaşımı örneğindeki ölçütlerin $H(d)$ fonksiyon çeşitleri	216
Tablo 5.17 Alternatiflerin her ölçüt için farkları	216
Tablo 5.18 Sistemde kullanılan sözel terimler	233
Tablo 5.19 Çalışmada incelenen BÇÖKV yaklaşımları.....	238
Tablo 6.1 Değerlendirmeye alınan ülkeler ve Refah Değerlendirmesi sıraları	263
Tablo 6.2 SKK belirteçleri ve çalışmada kullanılan belirteçler	265
Tablo 6.3 Faktörler ve onları temsil edecek belirteçler	267
Tablo 6.4 Belirteç gruplarının karşılaştırılmasında kullanılan ölçek	268
Tablo 6.5 Temsilci belirteçlerin ağırlıkları.....	269

Tablo 6.6 Dünya Bankası GSYH'ya göre ülke sınıfları.....	270
Tablo 6.7 Normalizasyonda kullanılacak hedef, alt limit ve üst limit değerleri	273
Tablo 6.8 Ülkelerin toplam üstünlük yoğunluğu değerleri ve sıralamaları.....	275
Tablo 6.9 Türkiye ile diğer ülkelerin karşılaştırma göstergeleri	277
Tablo 6.10 Türkiye'nin temsilci belirteçlere göre performans puanları.....	278
Tablo 6.11 Yenilenebilir enerjideki değişimin Türkiye'nin sürdürülebilirliğine etkisi	280
Tablo 6.12 Yatırımlar'daki Değişimin Türkiye'nin Sürdürülebilirliğine etkisi.....	281
Tablo 6.13 GSYH'daki değişimin Türkiye'nin sürdürülebilirliğine etkisi	283
Tablo D.1 Değerlendirilen ülkelerin belirteç değerleri	298
Tablo E.1 Ülkelerin normleştirilmiş belirteç değerleri	299
Tablo F.1 Uygulamada dC uyum göstergeleri değerleri	301
Tablo G.1 Uygulamada dD uyumsuzluk göstergeleri değerleri.....	303
Tablo H.1 Uygulamada f üstünlük fonksiyonu değerleri.....	305

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1 Refah Yumurtası ve sistem, alt sistemler ve boyutların refah değerlendirme yapısı	48
Şekil 3.2 Refah değerlendirme çevrimi	49
Şekil 3.3 Boyuttan belirteçlere kadar hiyerarşiyi gösteren ekosistem refahı çerçevesinin bir parçası	51
Şekil 3.4 Toplam bitki türü yüzdesi olarak tehlike altındaki bitki türleri belirteci için performans kriteri	53
Şekil 3.5 Yıllık kesimler belirteci için performans kriteri	54
Şekil 3.6 Refah Baskı göstergesini için Sürdürülebilirlik Barometresi	58
Şekil 3.7 SAFE yöntemi adımları	62
Şekil 3.8 Birincil sözel değişkenlerde kullanılan bulanık kümeler	63
Şekil 3.9 İkincil sözel değişkenlerde kullanılan bulanık kümeler	63
Şekil 3.10 Üçüncül sözel değişkenler ve girdilerde kullanılan bulanık kümeler	64
Şekil 4.1 Sistemin karmaşıklığına karşı modelindeki kesinlik	73
Şekil 4.2 Uzun boylu olma üyelik fonksiyonları (a) klasik (b) bulanık kümeler	75
Şekil 4.3 Bulanık küme işlemlerinin Venn şeması üzerinde gösterilmesi	76
Şekil 4.4 Örnekteki bulanık kümelerin grafik gösterimi	81
Şekil 4.5 “yaklaşık 20” bulanık sayısının kesikli gösterimi	90
Şekil 4.6 “yaklaşık 20” bulanık sayısının sürekli gösterimi	90
Şekil 4.7 Sol-Sağ bulanık sayılar	98
Şekil 4.8 Üçgen ve yamuk bulanık sayılar	99
Şekil 5.1 Bulanık sıralama yöntemlerinin taksonomisi	104
Şekil 5.2 Örnekteki bulanık sayıların grafik üzerinde gösterimi	105
Şekil 5.3 Sayısal örnek uygulanan bulanık kümeler	109
Şekil 5.4 $\mu_{p_2}(v_2)$ fonksiyonu	110
Şekil 5.5 Doğrusal M_i ve M_j bulanık kümelerinin karakterize edilmesi	112
Şekil 5.6 M ve N bulanık kümeleri arasındaki Hamming uzaklığı	114
Şekil 5.7 Kesikli ve sürekli fonksiyonlar için Yager en büyüklükleri	115
Şekil 5.8 U_1 ile Yager’in en büyüğü arasındaki Hamming uzaklığı	116
Şekil 5.9 α -düzeyi kümesi, $M_\alpha = [a, b]$	119
Şekil 5.10 Adamo Yönteminin Gösterimi	119
Şekil 5.11 α - J_{ij} eğrileri örnekleri	121
Şekil 5.12 J^0 ’ın türetilmesi	123
Şekil 5.13 M ve N bulanık kümeleri için α - J_{ij} grafiği	126
Şekil 5.14 Sağ ve sol puanların şekil üzerinde gösterimi	127
Şekil 5.15 M_1 ve M_2 bulanık sayılarının Jain belirgin puanları	129
Şekil 5.16 U_1 , U_2 ve U_3 için Jain belirgin puanları	130
Şekil 5.17 Örnekteki bulanık sayıların Chen BEK ve BEB’e göre sağ sol puanları	131
Şekil 5.18 Jain yaklaşımının sezgi aykırı sonuç örneği	134
Şekil 5.19 Chen yaklaşımının yanlış sonuç örneği	135
Şekil 5.20 M bulanık sayısının merkez noktası	136

Şekil 5.21 Örnekteki bulanık sayıların x_0 değerleri	137
Şekil 5.22 Yager F göstergesinin gösterimi	140
Şekil 5.23 Kesikli M bulanık sayısı	140
Şekil 5.24 Sürekli M bulanık sayısı	141
Şekil 5.25 Bulanık son değerler	146
Şekil 5.26 Sözel terimlerin anlamları	147
Şekil 5.27 Sözel terimlerim bulanık sayılarla ifadesi	155
Şekil 5.28 Baas ve Kwakernaak Yaklaşımı örneği bulanık faydalar	157
Şekil 5.29 w_j ve r_{ij} için α düzey kümeleri	158
Şekil 5.30 (a,b,c,d) yamuk bulanık sayısı	163
Şekil 5.31 Dubois ve Prade Yaklaşımı örneği bulanık fayda puanları	165
Şekil 5.32 $M = (a,b,\alpha,\beta)$ yamuk bulanık sayısı	166
Şekil 5.33 Bonissone Yaklaşımı örneğinde elde edilen U_i bulanık fayda puanları	168
Şekil 5.34 (l,m,u) bulanık üçgen sayısı	173
Şekil 5.35 Laarhoven ve Pedrycz yaklaşımı örneği bulanık fayda puanları	178
Şekil 5.36 Buckley yaklaşımı örneği bulanık faydaları	186
Şekil 5.37 Negi yönteminde kullanılan yamuk bulanık sayılar	189
Şekil 5.38 Bulanık uyum ve uyumsuzluk fonksiyonları	197
Şekil 5.39 $P(d)$ tercih ilişkisi	210
Şekil 5.40 $H(d)$ fonksiyonu	210
Şekil 5.41 I. çeşit genel kriter: olağan kriter	211
Şekil 5.42 II. çeşit kriter: kuasi kriteri	211
Şekil 5.43 III. çeşit kriter: doğrusal tercih	211
Şekil 5.44 IV. çeşit genel kriter: düzey kriteri	212
Şekil 5.45 V. çeşit genel kriter: doğrusal tercihlili ve fark alanlı kriter	212
Şekil 5.46 VI. çeşit genel kriter: Gauss kriteri	212
Şekil 5.47 Chen ve Hwang'ın üçüncü ölçeği	236
Şekil 6.1 Önerilen yöntemin adımları ve kullanılan teknikler	241
Şekil 6.2 x ve $M(a,b,c)$ sayılarının Chen BEK ve BEB ve göre sağ ve sol puanları	247
Şekil 6.3 Uzmanların belirteç gruplarını karşılaştırdıkları matris	268
Şekil 6.4 Ülkelerin toplam üstünlük yoğunluğu değerleri	276
Şekil 6.5 Türkiye'nin belirteçle göre performans puanları	279
Şekil 6.6 Yenilenebilir enerjideki değişimin Türkiye'nin sürdürülebilirliğine etkisi	281
Şekil 6.7 Yatırımlar'daki Değişimin Türkiye'nin sürdürülebilirliğine etkisi	282
Şekil 6.8 GSYH'daki değişimin Türkiye'nin sürdürülebilirliğine etkisi	283
Şekil A.1 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği-1	2470
Şekil A.2 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği-2	211
Şekil A.3 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği-3	211
Şekil A.4 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği-4	211
Şekil A.5 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği-5	211
Şekil A.6 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği-6	211
Şekil A.7 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği-7	211
Şekil A.8 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği-8	211
Şekil B.1 Faktör Analizi Sonuçları – Toplam açıklanan varyans	211
Şekil B.2 Faktör Analizi Sonuçları – Döndürülmüş parça matrisi	212
Şekil C.1 Prof. Dr. Burç Ülengin'in faktörleri değerlendirmesi	212
Şekil C.2 Prof. Dr. Lerzan Özkale'nin faktörleri değerlendirmesi	212
Şekil C.3 Prof. Dr. Seval Sözen'in faktörleri değerlendirmesi	247

SEMBOL LİSTESİ

A	: A bulanık kümesi
$\mu_{\tilde{A}}(x)$	: x elemanın $\tilde{A}$ bulanık kümesine üyelik derecesi
$A_1, A_2, \dots, A_m$	: ÇÖKV’de alternatifler
$X_1, X_2, \dots, X_n$	: ÇÖKV’de ölçütler
x_{ij}	: j ’inci ölçüte göre i ’nci alternatifin performansı
w_j	: j ’inci ölçütün ağırlığı (önem düzeyi)
U_i	: i ’nci alternatifin fayda puanı
$C_j(k, l)$	: Uyum göstergesi - A_k alternatifinin A_l alternatifine X_j ölçütüne göre üstünlüğünün uyum derecesini gösterir.
$C(k, l)$	: (veya $dC(k, l)$) Bulanık uyum ilişkisi - A_k alternatifinin A_l alternatifine tüm ölçütlere göre üstünlüğünün uyum derecesini gösterir.
$d_j(k, l)$	: Kısmi üstünlük bulanık sayısı - j ’inci ölçüte göre A_l ’nin A_k tarafından üstünlük kurulma derecesini gösterir.
$s^d(k, l)$	: Bulanık üstünlük ilişkisi - A_k alternatifinin A_l alternatifine üstünlüğünü gösterir
$D_j(k, l)$	: uyumsuzluk değeri - j ’inci ölçüte göre A_k ’nın A_l ’ye üstünlüğünün uyumsuzluğunu gösterir.
$dD(k, l)$	: Uyumsuzluk göstergesi - A_k ’nın A_l ’ye üstünlüğünün uyumsuzluğunu gösterir.
p_j	: j ’inci ölçütün normalleştirilmiş ağırlığı
$I(A_k)$	: Toplam üstünlük yoğunluğu - k ’inci alternatifin diğer alternatiflere toplam üstünlüğünü gösterir.
s_j	: j ’inci ölçüt için en büyük anlamlı eşik değeri
v_j	: j ’inci ölçüt için veto eşiği
N_{ij}	: i ’nci alternatifin j ’inci ölçüte göre normalleşmiş performans değeri
AL_j	: j ’inci ölçütün alt sınırı (j fayda ölçütü ise)
UL_j	: j ’inci ölçütün üst sınırı (j maliyet ölçütü ise)
H_j	: j ’inci ölçütün hedef değeri

ÖZET

Sürdürülebilir kalkınma (SK) yeni yüzyılın en önemli konularından biridir. SK'nın kalkınma modeli olarak benimsendiği ülkelerde geçmişte uygulanan politikaların etkilerini analiz edebilmek, mevcut durumu SK bakımından görebilmek ve gelecekte uygulanabilecek politikaların etkilerini önceden görüp uygulanması gereken politikalara karar verebilmek için SK'nın ölçülmesi gereklidir. Fakat SK'nın çok boyutlu, kesin olmayan ve karmaşık yapısından dolayı ölçülebilmesi kolay değildir.

Bu tez çalışmasında SK'yı ülkeler düzeyinde ölçmek için bulanık mantık temelli bir değerlendirme önerilmiştir. Bulanık mantık, insan benzeri kapasitesi ve geleneksel matematiğin etkisiz kaldığı, kesin olmayan durumları ele almadaki sistematik yaklaşımından dolayı sürdürülebilirliğin değerlendirilmesi için uygun bir teknik araçtır. Önerilen model, mevcut yöntemlerin iyi yanlarının ve eksikliklerinin tespit edilmesiyle oluşturulmuştur. Mevcut yöntemlerin aksine SK'yı hiyerarşik parçalara bölmeden doğrudan belirteçler düzeyinde ölçmeyi amaçlamaktadır. Yöntem 4 adımdan oluşmaktadır.

Birinci adımda belirteç ve belirteç grupları belirlenir. Belirteçler Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu'nun belirlediği belirteç kümesi olarak seçilmiştir. Seçilen belirteçler sonra birbirinden bağımsız belirteç grupları elde etmek için faktör analizi kullanılarak gruplandırılırlar.

İkinci adımda önceki adımda belirlenen belirteç gruplarının uzman görüşlerine göre ağırlıkları belirlenir. Ağırlıklar belirteç gruplarının SK için önemlerindeki farkları yansıtır. Uzman görüşlerini elde etmek ve bunları birleştirip ağırlıklara dönüştürmek için bir Bulanık Analitik Hiyerarşi yöntemi kullanılmıştır.

Üçüncü adımda ülkelerin belirteçlere göre performans puanları belirlenir. Bunun için belirteçlerin hedef ve en düşük sürdürülebilirlik düzeylerine göre oluşturulan bir bulanık normalizasyon önerilmiştir.

Dördüncü adımda ülkeler, belirteçlere göre performans puanları ve belirteçlerin ağırlıkları kullanılarak karşılaştırılır. Bunun için mevcut bir yöntemin değiştirilmiş hali olan bir bulanık üstünlük yöntemi önerilmiştir.

Çalışmada, önerilen model Türkiye'nin SK'daki göreceli yerinin tespit edilmesinde kullanılmıştır. Ayrıca SK'nın bazı boyutlarındaki çeşitli iyileştirmelerin Türkiye'nin durumuna etkileri araştırılmıştır.

SUMMARY

Sustainable Development (SD) is one of the most important topics of new millennium. At the countries in which SD is adopted as development model, it is essential to measure SD in order to analyze past policies, see current situation in SD perspective, and predict the effects of future policies to decide on which policy to apply. However SD is difficult to define or measure because it is an inherently vague, complex and multi dimensional concept.

In this thesis, fuzzy logic based assessment is assumed to measure SD at country level. Fuzzy logic, due to its capacity to emulate skilled humans and its systematic approach to handling vague situations where traditional mathematics is ineffective, seems to be a natural technical tool to assess sustainability. The proposed model is constructed by analyzing the shortages and favorable parts of existing sustainability measurement approaches. It evaluates SD at indicator level, contrary to existing approaches that divide SD into hierarchical parts. The model consists of 4 steps.

In the first step indicators and indicator groups are determined. Indicators are selected from United Nations Commission on Sustainable Development indicator set. Selected indicators then are grouped to get mutually exclusive indicator groups via factor analysis.

In the second step weights of previously formed indicator groups are determined according to experts' opinions. These weights reflect the difference in importance of indicator groups for SD. A Fuzzy Analytic Hierarchy Process is used to get experts opinions and aggregate them to form weights.

In the third step performance scores of countries are measured from indicator values. Technically a fuzzy normalization method is proposed to get performance scores, which is based on target and minimum sustainability levels of indicators.

In the forth step the countries are compared according to their performance scores and weights of indicators. A fuzzy outranking approach is proposed for this purpose, which is revised form of one of the existing fuzzy outranking methods.

Proposed model is applied to evaluate the relative position of Turkey in SD perspective. Furthermore the effects of several improvements in some SD dimensions on Turkey's position are studied.

1 GİRİŞ

Gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerini tehlikeye atmadan şimdiki ihtiyaçları karşılamaya yönelik kalkınma olarak tanımlanan sürdürülebilir kalkınma (SK), çoğu devlet ve organizasyon tarafından yeni yüzyılın en önemli konularından biri olarak grlmektedir. Bunun nedeni klasik kalkınma modellerinin sadece ekonomik gelişmeye dayanmasının aksine SK'nın ekonomik gelişmeyi sosyal ve çevresel yıkımlara sebep olmayacak şekilde gerçekleştirmeyi amaçlamasıdır. Böylece SK modellerinin benimsenmesiyle sadece şuan ve yakın gelecekte değil devamlı bir gelişme sağlanmış olacaktır.

SK'nın devlet ve organizasyonlar için öneminin artmasıyla geçmişte uygulanan politikaların etkilerini analiz edebilmek, mevcut durumu SK bakımından görebilmek ve gelecekte uygulanabilecek politikaların etkilerini önceden görüp uygulanması gereken politikalara karar verebilmek için SK'nın ölçülmesi gereği ortaya çıkmıştır.

SK'nın ölçülmesi, bir sistemin ekonomik, çevresel ve sosyal performansının anlaşılması ve değerlendirilmesini içerir. lmde sistemin tüm boyutları, boyutların birbirleri arasındaki ilişkileri ve olası bir etkiye sistemin bütün olarak veya boyutlar bazında vereceği tepki göz önüne alınmalıdır. Fakat SK'nın çok boyutlu, kesin olamayan ve karmaşık yapısından dolayı ölçülebilmesi kolay değildir.

Gelişmiş devletler seviyesine gelmeyi amaçlayan Türkiye için SK bakımından mevcut durumun görülebilmesi ve geleceği planlamaya yönelik politikalara karar verilebilmesi için SK'nın ölçülmesi gerekir.

Çalışmada Türkiye'nin ölçülmesi kolay olmayan SK bakımından mevcut durumunun değerlendirebilmesi için bir model yaklaşımı önerilmiştir. Bu model Türkiye'nin mutlak durumunu değil; diğer Dünya lkeleri ve özellikle seviyesine çıkmanın amaçlandığı gelişmiş ülkelere göre düzeyini ölçen bir değerlendirme önermektedir. SK'nın çok net tanımlanamayan karmaşık yapısının mutlak ölçüme olanak vermemesi ve değerlendirmenin ancak karşılaştırmalarla gerekleştirilebilmesinden dolayı modelde göreli bir değerlendirme yaklaşımı benimsenmiştir.

Böylece SK'yı ölçme problemi, ülkelerin alternatif, SK'yı ölçmek için kullanılan belirteçlerin ölçüt olarak görülebileceği bir çok ölçütlü karar verme problemi olarak kabul edilmiştir.

Çalışmada, önerilen model yaklaşımı ayrıntılı olarak incelenmeden önce, ikinci bölümde SK ile ilgili detaylı bilgi verilerek SK belirteçleri tanıtılmıştır.

Üçüncü bölümde ülkeler düzeyinde SK durumunu ölçmek için önerilmiş yöntemler incelenmiştir. Bu yöntemlerin iyi işleyen yanları ve eksiklikleri tespit edilerek önerilen model yaklaşımının ana çerçevesi oluşturulmuştur. Buna göre önerilen yaklaşımın bulanık modellemeyi esas alması gerektiğine karar verilmiştir. Ayrıca SK'yı ölçme probleminin bir çok ölçütlü karar verme problemi olduğu tespit edilerek önerilen modelin bir bulanık çok ölçütlü karar verme modeli haline dönüştürülmesi gerektiği düşünülmüştür.

Dördüncü bölümde önceki bölümde tespit edilen çerçeveye göre esas alınması gereken yaklaşım olan bulanık modelleme ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Beşinci bölümde, önerilen yaklaşımındaki modellemenin yapısını oluşturan bulanık çok ölçütlü karar verme modelleri ve bulanık çok ölçütlü karar verme için gerekli olan bulanık sıralama yöntemleri örnek problemler üzerinde incelenmiştir. İncelenen tüm bulanık sıralama ve bulanık çok ölçütlü karar verme modelleri görelilik olarak değerlendirilmiştir. Bu sayede önerilen model yaklaşımında uygulanması gereken bulanık çok ölçütlü karar verme yaklaşımının seçimi mevcut yöntemlerin artı ve eksileri dikkate alınarak yapılabilmektedir.

Altıncı bölümde SK'yı ölçmek ve Türkiye'nin SK'daki yerini görelilik olarak tespit edebilmek için önerilen model yaklaşımı verilmiştir. Sonra önerilen model kullanılarak Türkiye'nin SK bakımından seçilen devletlere göre durumu belirlenmiş ve bazı boyutlardaki çeşitli iyileştirmelerin Türkiye'nin durumuna etkileri araştırılmıştır.

Son bölümde ise yapılan çalışma genel olarak değerlendirilmiş ve konuyla ilgili gelecek çalışma olanakları tartışılmıştır.

2 SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA

Son yıllardaki nüfus artışı ve kaynak tüketim oranları ile ekolojik sürdürülebilme yaklaşık on ila yirmi yıl sağlanabilir. Bunun nedeni insanoğlunun gelecek nesilleri düşünmeden havaya, suya, toprağa ve doğal kaynaklara verdiği zararın artmasıdır. Son yarım yüzyıllık süreçte çevresel yıkım çok fazla hızlanmıştır. 1950 ile 1990 arasında kaynak tüketimi yaklaşık olarak üç katına çıkmıştır. Bu büyüme zararlı teknolojiler ve ikiye katlayan insan nüfusuyla birleşince insanın global çevre üzerindeki etkisi kabaca altı kat artar. İnsanın varlığı atmosfer sistemi, karbon, nitrojen, sülfür, hidrolojik ve biyolojik çevrimler gibi Dünya'nın temel hayat destek sistemleri ve çevrimlerini değiştirmektedir. Biyologlar insanoğlunun Dünya'nın karasal besin kaynaklarının doğrudan ya da dolaylı olarak yaklaşık yüzde 40'ını kendine tahsis ettiğini tahmin etmektedirler [8].

Daha ayrıntılı olarak irdelenecek olursa insanoğlunun çevre üzerine etkisinin arttığını gösteren bazı kanıtlar şunlardır: atmosferdeki sera gazlarının düzeylerindeki artış, orman ve göllerdeki asit zararının artması, ozon tabakasının incilmesi, kullanma suyu kıtlığının artması, toksik artıkların birikmesi, yeraltı ve yerüstü suların kirlenmesi, toprak erozyonu ve yıkımı, çölleşme, orman ve diğer habitatların yok olması, deniz balıkçılığının tükenmesi ve bitki ve hayvan türlerinin yok olması. Bunların çoğu süratle meydana gelmektedir ve bazılarının çoğunlukla geri dönüşü yoktur. Önlem alınmazsa ve klasik yönetim araçları kullanılmaya devam edilirse birkaç on yılda tüm ormanlar yok olabileceği, hayvan ve bitki nesillerinin tükenebileceği ve ozon tabakasında geri dönüşü olmayan büyük deliklerin açılabilceği tahmin edilmektedir [8].

Bahsedilen ekolojik tehlikelerin yanında sosyal ve ekonomik yönden de gelecek çok parlak değildir. Zengin ve fakir devletler arasındaki fark gittikçe artmakta, yoksulluk ve yetersiz beslenme sürüp gitmekte ve suç olayları ve savaşta ölümler artmaktadır. Bunlar dünya üzerindeki halk ve toplumların ekonomik, sosyal ve politik olarak varlığını bağımsız olarak sürdürebilmeleriyle ilgili ciddi soruları ortaya atmaktadır. Bir çok bölgede hızla artan nüfus, kıt kaynaklar ve çevresel yıkımlar ahlaki, kültürel

ve dinsel farklılıkları körükleyerek istikrarsızlık ve çatışma potansiyelini arttırmaktadır. Bazı bölgelerdeki doğal kaynakların hızla tükenmesi ve temel ihtiyaçların karşılanmamasındaki yaygınlık gelecekteki sürdürülebilmenin sağlanamadığının kanıtı olarak görülebilir [8].

Dünyanın tasvir edilen çevresel ve sosyoekonomik olarak sürdürülebilme portresi sadece ekonomik büyümedeki başarıyı gerçekleştirmeye çalışan klasik ekonomik kalkınma yaklaşımlarının ürünüdür. Bu yaklaşımlara göre oluşturulan politika ve uygulamalar ekolojik, nesiller arası ve hayat kalitesi etkenlerini göz ardı ederek sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirememişlerdir [8,12].

Bu yüzden gelişmiş ve gelişmekte olan devletin ekolojik ve sosyoekonomik sürdürülebilirlik konularını devletin tüm kademelerinde karar vermenin merkez odağı haline getirmeleri gerekmektedir. Toplumların insan faaliyetlerinin tüm çevresel, ekonomik ve sosyal maliyetinin farkına vararak ekolojik ve sosyal sürdürülebilme sağlayan strateji ve yöntemler geliştirmeye ihtiyaçları vardır [8].

Sonraki bölümlerde önce sürdürülebilir kalkınma kavramı tanımlanacak ve özellikleri verilecek, sonra da nasıl ölçüleceği irdelenip ölçüm için kullanılan belirteçlerden bahsedilecektir.

2.1 Sürdürülebilir Kalkınma Nedir?

Sürdürülebilir kalkınma (SK) çoğu devlet ve organizasyon tarafından yeni yüzyılın en önemli konularından biri olarak görülmeye başlanmıştır. Sürdürülebilmenin nasıl sağlanacağı ve nasıl ölçüleceği şimdiden üzerinde çokça kafa yorulan meselelerdendir. Fakat hala sürdürülebilmenin tanımı açık olarak ortaya koyulmamıştır. Herhangi bir şeyin sürdürülebilir olması onun gelecekte devam edebilme kapasitesidir. Öyleyse SK da kalkınmanın gelecekte devam edebilmesidir. Sürdürülebilirlik bir sürecin son noktasını değil sürecin kendisini temsil eder. SK gelecek fırsatlarla ilgili beklentilerle yürüyen devamlı bir dinamik gelişmeyi içerir ve şu anki ekonomik, çevresel ve sosyal konulara ve bilgiye dayanır [9,12,13].

Çoğu kaynakta atıfta bulunulan ve geniş kabul gören tanım, SK için bir mihenk taşı olarak görülebilecek Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun 1987'da yayımlanan 'Bizim Ortak Geleceğimiz' isimli Brundland raporunda verilen tanımdır. Brundland komisyonu SK'yı "Gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerini

tehlikeye atmadan şimdiki ihtiyaçları karşılamaya yönelik kalkınma” olarak tanımlanmıştır [8].

Bu tanıma göre SK diğer klasik kalkınma modellerinden farklı olarak çevrenin atıkları yok edebilme kapasitesini içeren doğal kaynak temelini sağlanmayı, böylece gelecek nesillerin kendi refahlarını sağlama ve ilerletme fırsatlarını eksiltmemeyi içerir [12].

Ayrıca aynı raporda SK kavramının kısıtları beraberinde getirdiğinden bahsedilmektedir. Bu kısıtlar mutlak değildir ve şu anki teknolojinin durumu ve sosyal organizasyonların çevresel kaynaklarına yüklenmeleri ve biyosferin insan aktivitelerinin etkilerini yok etme kabiliyetine göre oluşmaktadır. Burada teknoloji ve sosyal organizasyonlar kontrol edilip yeni ekonomik gelişme yolları oluşturmak için geliştirilebilir. Sonuç olarak SK sabit bir uyum durumu değildir. Daha çok kaynak kullanımının, yatırımların yönünün, teknolojik gelişmenin intibakının ve kurumsal değişikliklerin günümüz için olduğu kadar gelecek için de tutarlı yapılmasını içeren değişme sürecidir [11].

Gelecek nesillerin ihtiyaçlarını nasıl karşılayabilecekleri irdelenirse SK’nın bir çok konuyu içerdiği ortaya çıkar. Brundland komisyonun da üzerinde özellikle durduğu SK’nın dört önemli boyutu vardır: ilki sürdürülebilirliğin yoksulluğun ve mahrumiyetin yok edilmesini gerektirdiğidir. İkinci olarak SK, kaynakların korunması ve artırılmasını gerektirir ki; bu yalnız başına yoksulluğun kalıcı olarak yok edilmesi için yeterli olacaktır. Üçüncüsü geniş bir kalkınma kavramını içermesi gerektirir. Böylece SK sadece ekonomik büyümeyi değil sosyal ve kültürel kalkınmayı da içerir. Dördüncü ve en önemlisi ise sürdürülebilirlik tüm düzeylerdeki karar vermelerde ekonomi ve ekolojinin birleştirilmesini gerektirir [11].

Sürdürülebilirlik farklı insanlara farklı anlamlar ifade edebilir. Sürdürülebilir olarak kabul edilme çevresel kalite, gelecek teknoloji olasılıklarının değerlendirilmesi ve risk ve belirsizliğe karşı davranış dikkate alınarak büyük oranda bireysel ve toplumsal tercihlere bağlıdır. Bu yüzden farklı kültürler ve pay sahibi gruplar sürdürülebilirliği kendi hedeflerine göre tanımlayabilirler. Sürdürülebilirlik genel ilkeleri göz önüne alınarak verilen durumun içeriğine göre ilgili kişilerin ihtiyaç ve istekleri çerçevesinde tanımlanmalıdır. Ayrıca gerekli sürdürülebilmenin ölçeği de önemlidir, ölçek küçük olursa serbestlik derecesi daha yüksek olur. Örneğin bölgesel seviyede global seviyeden daha fazla seçeneğe sahip olunur. Ekonomik kalkınmanın

belli bir çizgisi sürdürülebilir olarak değerlendirilebilmesi seçilen bakış açısına bağlıdır. Bu SK'nın bir çok tanımı olmasını açıklamaktadır [10,12].

Bu çalışma içerisinde SK, ülkeler temelinde ve SK'nın tüm boyutları dikkate alınarak değerlendirilecektir. Bu yüzden başta verilen tanımın geçerli olduğu söylenebilir.

SK salt bir konu üzerine yoğunlaşmış ve bu konu üzerinde ilerlemeyi amaçlamaz. değildir. SK ekonomi, teknoloji, çevre, ekoloji, kültür, sosyal durum, kurumsal yapılanma, ahlak, politika gibi birbiriyle ilintili bir çok konuyu içerir. SK'yı ölçmek ve değerlendirmek için tüm bu konuların analiz edilmesi ve sonradan birleştirilmesi gerekir.

SK'nın ilgilendiği konular çeşitli kaynaklarda birkaç ana başlık altında toplanmıştır. Çoğu kaynakta çevre ayrı bir boyut olarak alınmıştır. SK'nın çevre dışında kalan kısmı bazı kaynaklarda sosyoekonomik boyut olarak ele alınmıştır. Başka kaynaklarda ise sosyoekonomik boyut sosyal ve ekonomik boyutlar olmak üzere iki ayrı başlıkta incelenmiştir. En yaygın kullanılan ayırım bu şekildedir. Bazı kaynaklarda bu üç (çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlara) boyuta ek olarak kurumsal veya politik gibi boyutlarında ilave edildiği görülür [8,14,15].

SK'nın ölçülmesi için SK'yı alt başlıklara ayırma önerilmiştir. Sonraki bölümde SK'nın nasıl ölçüleceğiyle ilgili bilgi verilecektir.

2.2 Sürdürülebilir Kalkınma Nasıl Ölçülür?

SK kavramı kısa vadeli ekonomik ve sosyal hedeflerle uzun vadeli ekolojik sürdürülebilirlik arasındaki ihtilafı içerir. Sosyal olarak çekici görünen durumlar ve uygulamalar, yüksek gelir ve yüksek hayat standartları gibi, çevresel yıkıma ve ekolojik ve biyofiziksel devamsızlığa (sürdürülememeye) sebep olabilir. Ayrıca yerel olarak sürdürülebilir görünen uygulamalar eğer çevresindeki veya diğer bölgelerdeki kaynakları ziyadesiyle tüketiyorsa sürdürülebilir olarak kabul edilemez. Farklı sosyoekonomik etkenlerin ekolojik sürdürülebilirliğe farklı etkileri olabilir. Örneğin yüksek eğitim düzeyi ekolojik sürdürülebilirliğe olumlu katkısı olurken yüksek gelir düzeyinin olumsuz ekolojik etkileri olabilir [8].

Burada görülebileceği gibi SK'nın ölçülmesi SK'nın çok boyutlu yapısından dolayı pek kolay değildir. SK'nın ölçülmesinde bir çok değişken ve bu değişkenler

arasındaki ilişkiler ve değişkenlerin gelecekteki beklenen değerleri kullanılır. Burada değişken olarak bahsedilen SK belirteçleridir. Genel olarak bir sistemin sürdürülebilirliği için belli sayıda belirteç belirlenir. Eğer sistem dinamikleri bu kriterlerin değerlerini belli sınırlar dışına çıkarmıyorsa bu sisteme sürdürülebilir denir. Sürdürülebilirlik bir ekonomideki şimdiki ve gelecekteki ihtiyaçların tutarlılık derecesinin ölçüsüdür [9].

Genel bir bakış açısıyla bir bölgenin veya bir ülkenin SK'yı sağlayıp sağlamadığı ve sağladıysa ne kadar sağladığını ölçmek için 4 basamaktan oluşan bir metodoloji izlenir. (1) Tanımlanmış konuyla ilgili problem tanımlanır, (2) konuya göre ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlar belirlenir (3) ekonomik, çevresel ve toplumsal boyutlar konuya bağlı ölçülebilir sürdürülebilirlik belirteçlerine dönüştürülür ve (4) sürdürülebilirlik belirteçlerinin SK'ya katkıları değerlendirilir [13].

Bu süreçte SK'nın çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlar gibi alt unsurları için belirteçler belirlenip belirteç değerleri elde edilse bile bu değerler kullanılarak sürdürülebilirliğe ve sürdürülebilirlik derecesine karar vermek oldukça güçtür. Çünkü sürdürülebilirlik, bir çok ulusal ve uluslararası çevrelerce politik kararlar vermede oldukça önem verilen bir konu olmasına rağmen; hala karmaşık ve kesin olmayan bulanık bir kavramdır [9].

Yine de sürdürülebilirliği ölçmek için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Belirteçlerden hangi yöntem kullanılarak ve nasıl SK'nın ölçüldüğüyle ilgili geliştirilmiş yaklaşımlar sonraki bölümlerde (Bölüm3) ayrıntılı olarak incelenecektir.

Sonraki bölümde SK'nın ölçülmesi için kullanılan belirteçler ayrıntılı olarak incelenecektir.

2.3 Sürdürülebilir Kalkınma Belirteçleri

Belirteçler genel olarak karmaşık olgu ve durumları ölçülebilir ve anlaşılabilir hale getirmek için geliştirilir. SK belirteçleri ise SK'yı ölçmek, farklı bölge veya referans noktalarına göre karşılaştırmak ve değerlendirmek için kullanılan sayısal göstergelerdir. Örneğin ekonomi için GSYH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla) ve çevre için CO₂ emisyonu belirteçlere örnek olarak gösterilebilir [8].

Belirteçler karar verme için çeşitli yönlerden çok önemli bir yol göstericidir. Belirteçlerle fen ve sosyal bilimlerdeki bilgiler ölçülebilir birimlere çevrilerek karar

verme sürecinin gerçekleştirilebilir. SK hedefleri yönündeki ilerlemeyi ölçmek ve belirteçler kullanılabilir. Belirteçler ekonomik, sosyal ve çevresel yıkımların önceden tespit edilmesi ve önlenmesi için önceden uyarı verirler. Belirteçler fikir, düşünce ve değerlerin iletimi için önemlidir [15].

Belirteçler ülkelerin SK ile ilgili bilgili karar vermeleri için önemli bir rol oynar. Ülkeler ulusal düzeyde olduğu gibi uluslararası, yönetim organları ve yönetim olmayan organizasyonlar düzeylerinde de tüm kademelerde sağlam temelli karar vermeyi sağlamak için SK belirteçlerini oluşturmali ve geliştirmelidir [15].

Belirteç oluşturmak önemli bir konu olmasına rağmen pek kolay değildir. Çünkü belirteç seçiminde genel geçer kurallar koymak SK'nın yapısına ters düştüğü için mümkün değildir. Bunun nedeni önceden bahsedildiği gibi SK tam olarak sınırları çizilmemiş ve uygulanacak bölgeye ve uygulayan karar vericiye göre değişen bir kavramdır. Bu yüzden SK'yı ölçmek için seçilecek belirteçler ve belirteçleri belirleyecek kriterler farklılık gösterebilir. Aşağıda örnek olarak çeşitli kaynaklarda yer alan belirteç seçme kriterleri verilmiştir.

Corson, politika geliştirmede yararlı olabilmesi için belirteçlerin birleştirilebilir (bileşik belirteçlere dönüştürülebilir), zamana duyarlı (bir eğilimi gösterebilmeli), neden-sonuçla ilgili, politikaya uygun, gerçeği kanıtlanabilir ve yeniden oluşturulabilir olmalısı gerektiğini belirtmiştir [8].

Barrera-Roldan ve Saldivar-Valdes ise Meksika'daki bir endüstri merkezindeki belediyeleri değerlendirmek için oluşturduğu belirteç kümesini aşağıdaki özelliklere göre belirlemiştir [16]:

- ✓ Bilgi verilerinin kaynağının varlığı ve güvenilirliği,
- ✓ En güncel statik veri,
- ✓ SK'nın üç boyutunu ve seçilen belediyelerin bölgesel önemini temsil edebilmeleri,
- ✓ Nitel ve nicel terimleri içeren bir bütünleşik yaklaşımı

Birleşmiş Milletler'in SK belirteçleriyle ilgili yol gösterici önerisi ülkelerin SK'daki kilit ulusal hedef ve amaçlarının başarısını görmek için bir temel teşkil edecek kendi ulusal belirteç programlarını oluşturmaları için bir altyapı ve yöntem içermektedir. Bu öneride ülkelerin ulusal belirteç programlarını nasıl oluşturmaları gerektiği

organizasyon, uygulama, değerlendirme ve rapor aşamaları halinde belirtilmiştir. Uygulama aşamasında belirteçlerin nasıl belirleneceği, nasıl ölçüleceği ve nasıl toplanacağı ile ilgili konulara değinilmiştir. Buna göre ulusal belirteç programı için belirteçler ulusal stratejilerdeki öncelikli konulara göre belirlenmelidir [15].

Ülkelerin SK düzeylerini tespit etmek için çeşitli uluslararası teşkilatlar temel belirteç kümeleri hazırlamışlardır. Bunlar özellikle Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD) ve Birleşmiş Milletler tarafından hazırlanan çalışmalar en geçerli olanlardır.

OECD çalışmaları özellikle ekonomik ve çevresel belirteçler üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu ana temalar üzerinde belirlenen belirteçler 3 sınıfa ayrılmıştır: (1) Baskı belirteçleri: çevresel strese sebep olanlar (kaynakların tüketilmesi ve atık emisyonu vb.) (2) Durum belirteçleri: çevrenin kalitesini gösterenler (hava veya su kalitesi, insan hayatının kalitesini gösteren güvenlik vb.) (3) Faaliyet belirteçleri: toplumun çevresel sorunlara odaklanan belirli faaliyetlerini gösterenler (otoritelerin politika ve davranışlarıyla oluşan tepkiler, örneğin hava kirliliğini azaltmak için harcanan para vb.) [14].

Birleşmiş Milletler ise Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu (SKK) tesis ederek bir belirteç kümesi oluşturmuştur. SKK'nın amacı SK belirteçleri tanımlayarak, ve değerlendirme yöntemleri oluşturarak ulusal düzeyde karar vericilere yol göstermektir. Ayrıca belirteçlerin ulusal politikalarda ve devletlerin devletler arası oluşumlarda raporlamalarda da kullanılabilecekleri düşünülmüştür. Ortaya koyulan belirteç kümesi dört ana temadan oluşmaktadır: çevresel, ekonomik, sosyal ve kurumsal belirteçler.

SK'nın tüm boyutlarını içerdiği ve özellikle ulusal değerlendirmeler için geliştirildiği için yapılan çalışmada SKK belirteçleri benimsenmiştir. Bir sonraki bölümde SSK belirteçleri ayrıntılı olarak incelenecektir.

2.4 Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu Belirteçleri

SKK, ülkelerin kendi SK belirteç programlarını geliştirebilmeleri için referans olarak kullanılabilecekleri temel bir belirteç çerçevesi önermiştir. Bunu oluşturulurken gelecekte oluşabilecek riskler, temalar arasındaki bağlantılar, sürdürülebilirlik hedefleri ve temel toplumsal ihtiyaçlar göz önüne alınmıştır. Belirteç çerçevesi

oluşturabilmek için öncelikle SK'nın dört ana teması (sosyal, çevresel, ekonomik ve kurumsal) için SK'nın boyutlarını oluşturacak temalar belirlenmiştir. Tablo 2.1'de görülen temalar kullanılarak çeşitli öncelikler ve danışmanlıklar dikkate alınarak 15 tema ve 38 alt temadan oluşan bir sonuç çerçevesi belirlenmiştir [15].

Tablo 2.1 SKK'nın oluşturduğu ilk temalar [15] s. 28

Sosyal	Çevresel
Eğitim	Tatlı sular / Yeraltı suları
İstihdam	Tarım / Güvenli besin sağlama
Sağlık / Su Rezervi / Sağlık Koruma	Kentsel
Barınma / İskan	Sahil bölgeleri
Refah ve Yaşam Kalitesi	Deniz çevresi / mercan resif koruması
Kültürel Miras	Balıkçılık
Yoksulluk / Gelir Dağılımı	Biyolojik çeşitlilik / biyoteknoloji
Suç	Sürdürülebilir orman yönetimi
Nüfus	Hava kirliliği ve ozon tahribatı
Sosyal ve Etik Değerler	Küresel iklim değişimi / Deniz seviyesi yükselmesi
Kadınların Rolü	Doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı
Arazi ve Kaynaklara Erişim	Sürdürülebilir turizm
Toplum Yapısı	Kısıtlanmış taşıma kapasitesi
Eşitlik / Sosyal İhraç	Toprak kullanımı değişimi
Ekonomik	Kurumsal
Ekonomik bağımsızlık / Borçsuzluk / Resmi Kalkınma Yardımı	Bütünleşik Karar Verme
Enerji	Kapasite İnşası
Tüketim ve üretim biçimleri	Fen ve Teknoloji
Atık yönetimi	Toplum Bilinci ve Enformasyon
Taşımacılık	Uluslararası Sözleşmeler ve İşbirlikleri
Madencilik	İdare / Kamu Kurumlarının Görevleri
Ekonomik yapı ve kalkınma	Kurumsal ve Yasal Altyapı
Ticaret	Doğal Afetlere Karşı Hazırlılık
Üretkenlik	Kamu Katılımı

Bu çerçeve genelde dünyadaki tüm bölgeler ve ülkeler için ortak konuları içermektedir. Tablo 2.2 - Tablo 2.5'te SK boyutları için belirlenen temalar, alt temalar ve belirteçler verilmiştir.

Tablo 2.2 Sosyal tema, alt tema ve belirteçler [15] s.30

Tema	Alt tema	Belirteç
Eşitlik	Yoksulluk	Yoksulluk Sınırının Altında Yaşayan Nüfus Oranı
		Gelir Eşitsizliği Gini Endeksi
		İşsizlik Oranı
Sağlık	Cinsiyet Eşitliği	Ortalama Kadın Çalışan Maaşının Erkek Çalışan Maaşına Oranı
	Beslenme Durumu	Çocukların Beslenme Durumu
	Ölüm Oranı	5 Yaşın Altında Ölüm Oranı
		Ortalama Ömür Uzunluğu
	Sağlık Koşullarını Geliştirme	Pis Su Temizleme Tesislerine Sahip Nüfus Oranı
	İçme Suyu	Temiz İçme Suyuna Erişen Nüfus Oranı
	Sağlık Hizmetleri	Birincil Derece Sağlık Bakım Tesislerine Erişen Nüfus Oranı

		Bulaşıcı Çocukluk Dönemi Hastalıklarına Karşı Aşılama
		Doğum Kontrolü Oranı
Eğitim	Eğitim Düzeyi	İlköğretim 5. Sınıf'a Gelen Çocuk Sayısı
		Yetişkin İkincil Eğitim Başarı Oranı
	Okur Yazarlık	Yetişkinlerde Okuma-Yazma Oranı
İskan	Yaşam Koşulları	Kişi Başı İskan Sahası
Güvenlik	Suç	100.000 Kişide Kayıtlı Suç Sayısı
Nüfus	Nüfus Değişikliği	Nüfus Artış Oranı
		Kentsel Resmi ve Resmi Olmayan Yerleşim Nüfusu

Tablo 2.3 Çevresel tema, alt tema ve belirteçler [15]s.30

Tema	Alt tema	Belirteç
Atmosfer	İklim Değişimi	Sera gazı emisyonları
	Ozon Tabakası Tahribatı	Ozon tahrip eden maddelerin tüketimi
	Hava Kalitesi	Kent Alanlarındaki hava kirleticilerinin ortam konsantrasyonları
Toprak	Tarım	Tarıma uygun ve sürekli ekilebilir toprak alanı
		Gübre kullanımı
		Zirai böcek zehiri kullanımı
	Orman	Orman alanının toplam alana oranı
		Ağaç Kesim Yoğunluğu
	Çölleşme	Çölleşmiş alan
	Kentleşme	Yasal ve yasal olmayan kent yerleşimi
Okyanuslar, Denizler ve Sahiller	Sahil Bölgeleri	Sahil bölgelerindeki alg konsantrasyonu
	Balıkçılık	Sahil bölgelerindeki nüfusun toplam nüfusa oranı
Tatlı sular	Su Miktarı	Başlıca türlerin yıllık yakalanma miktarları
		Yıllık yerüstü ve yer altı su tüketiminin yinelenabilir suya oranı
	Su kalitesi	Su kaynaklarındaki biyokimyasal oksijen ihtiyacı
Biyolojik Çeşitlilik	Ekosistem	Tatlı sulardaki dışkısal koliform konsantrasyonları
		Seçilmiş kilit eko sistemlerin alanı
	Türler	Koruma altına alınmış bölgelerin toplam alana oranı
		Kilit türlerin bolluğu

Tablo 2.4 Ekonomik tema, alt tema ve belirteçler [15]s.31

Tema	Alt tema	Belirteç
Ekonomik Yapı	Ekonomik performans	Kişi başı GSYH
		Yatırımın GSYH'ya oranı
	Ticaret	Cari işlemler dengesi
	Finanssal Durum	Dış borç GSMH oranı
Üretim ve Tüketim Biçimleri	Malzeme Tüketimi	GSMH'nin yüzdesi olarak toplam alınan ve verilen resmi kalkınma yardımı
		Malzeme kullanım yoğunluğu
		Kişi başı yıllık enerji tüketimi
	Enerji Kullanımı	Yinelenabilir enerji kaynağı tüketiminin toplam tüketime oranı
		Enerji kullanım yoğunluğu
		Endüstriyel ve belediyelere ait katı atık oluşumu
	Atık Oluşumu ve Yönetimi	Tehlikeli atık oluşumu
		Radyoaktif atık oluşumu
		Atık dönüşümü ve yeniden kullanılması
	Taşımacılık	Taşıma türüne göre kişi başı katedilen yol

Tablo 2.5 Kurumsal tema, alt tema ve belirteçler [15]s.31

Tema	Alt tema	Belirteç
Kurumsal Çerçeve	SK'nın Stratejik Açıdan Uygulanması	Ulusal SK Stratejisi
	Uluslararası İşbirliği	Onaylı Global Anlaşmaların Uygulanması
Kurumsal Kapasite	Enformasyon Erişimi	1.000 Kişide İnternet Kullanıcısı Sayısı
	İletişim Altyapısı	1.000 Kişide Telefon Hattı Sayısı
	Fen ve Teknoloji	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla'nın Oranı Şeklinde Araştırma ve Geliştirme Harcamaları
	Olağanüstü Durum Hazırlılığı ve Tepkisi	Doğal Afetlerde Yaşanan Ekonomik ve İnsani Kayıplar

Sonraki bölümlerde belirteçler alt temalar altında irdelenecektir. Bunun amacı belirteçlerin alt temalarla ve dolayısıyla SK ile ilgilerini ve kullanılma amaçlarını daha iyi gösterebilmektir.

2.4.1 Eşitlik

Sosyal Eşitlik, insanlar ve yaşam koşulları ana bir sorun olarak kabul edildiği için SK'nın temelini teşkil eden genel değerlerden biridir. Eşitlik, tarafsızlığın derecesini ve hangi kaynakların dağıtıldığını, fırsatların sağlandığını ve kararların alındığını kapsar. Eğitim, sağlık ve adalet gibi sosyal hizmetlerin ve istihdamın mukayese edilebilir fırsatlarının sağlanmasını içerir. Kavram, toplumların ve ulusların gerek kendi içlerindeki gerekse birbirleri ile olan ilişkileri ile ilgilidir. Sosyal eşitliğin sağlanması ile ilgili anlamlı başlıklar, yoksullukla mücadele; istihdam ve gelir bölüşümü; cinsiyet, etnik ve yaş içerikleri, finansal ve doğal kaynaklara erişim ve kuşaklar arası eşitliğin sağlanmasıdır.

Yoksullaşmış insanlar, kendilerini güçsüz ve dışlanmış hissedebilirler ve güvensiz geçim yolları, eksik beslenme ve sıhhat bozukluğu, cahillik, şiddet ve iç kargaşaya bağlı sosyal güvenliğin olmaması gibi yaygın ve sistematik problemlerle karşılaşır. Kırsal yoksul nüfusun marjinal arazilerde yoğunlaşması ise kaynakların tükenmesine ve arazi bozulmasına neden olur.

Agenda 21, eşitliğe, yoksulluk, değişen tüketim alışkanlıkları, kadınlar, çocuklar ve gençler ve yerli insanlar bölümlerinde yer vermiştir. Eşitlik, aynı zamanda arazi, çölleşme, orman alanlarının azalması, sürdürülebilir tarım ve biyolojik çeşitlilik gibi kaynak bölümleri ile de karşılıklı kesişen önemli bir başlıktır. Uluslararası işbirlikleri, mali düzenler, eğitim, kapasite inşası, enformasyona erişim ve teknoloji transferi gibi başlıklar da daha büyük bir eşitliğe odaklanmış yaklaşımlardır.

Dünya Zirvesi' ne ek olarak uluslararası birçok anlaşma ve zirve, birey ve grupların eşit muamele görmesinin önemini belirtmiştir. Bu anlaşma ve zirvelere, İkinci İnsani Yerleşimler Konferansı, Dördüncü Dünya Kadın Konferansı, Viyana İnsan Hakları Bildirisi, Dünya Çocuk Zirvesi, Uluslararası Nüfus ve Kalkınma Konferansı, Uluslararası Çölleşme İle Mücadele Anlaşması dahildir. Örnek olarak, Sosyal Gelişme Dünya Zirvesi'nde belirlenen yükümlülöklere aşağıda yer verilmiştir;

- ✓ Tüm dünyada yoksullukla mücadele,
- ✓ Tam istihdam sağlanması,
- ✓ Fırsat eşitliğini de kapsayan sosyal bütünleşmenin sağlanması,
- ✓ Kadın erkek eşitliği,
- ✓ Kaliteli eğitim ve temel sağlık hizmetlerine evrensel ve eşit erişim,
- ✓ En az gelişmiş ölkelerde ivmelenen gelişmenin sağlanması.

Tüm bu taahhütlere rağmen, dünya toplumu ve üye ölkelerinin büyük bir kısmının bir çok husus açısından tarafsız topluluklar oluşturmada başarısız oldukları, en zenginle, en fakir arasındaki uçurumun günden güne en gelişmiş ölkelerde dahi büyüdüğü görölmektedir. Demokrasinin yayılması ve ticaretin gelişmesi, teknoloji ve iletişim, daha büyük bir eşitliği teşvik eden pozitif kuvvetleri göstermektedir. Mamafih, 1999 Birleşmiş Milletler İnsani Gelişim Raporu'na göre, insanlar, şirketler ve uluslarda gelirin, kaynakların ve iletişimin artan yoğunlaşmaları son 10 yıl içerisinde gerçeklemiştir. Bundan başka, dünya nüfusunun en zengin % 20 ile en fakir % 20' si arasındaki fark son 30 yılda iki mislinden fazla artmıştır. Halen, 1 milyardan fazla insan büyük yoksulluk içinde yaşamaktadır. Dünya Bankası'na göre, gelişmekte olan ölkelerde günlük 2\$'ın altında yaşayan insan sayısı 1987 ile 1998 yılları arasında % 10 oranında artmıştır. Global sermaye ve para akışları eşitlik eşitsizliklerini etkin bir şekilde belirtmeye yardımcı olmamaktadır. Doğrudan Yabancı Yatırımlar, seçilmiş ölkeler ve bölgeleri tercih ederek yüksek derecede sınırlı bölgelerde toplanmıştır.

Sosyal eşitlik için belirlenen belirteçler, yoksulluk, gelir eşitsizliği, işsizlik ve cinsiyet eşitliği başlıklarını içermektedir. Belirteçler, ölkeler ve uluslararası topluluklar için öncelikleri temsil etmektedirler. Saptanmış amaç ve hedefler ile bağdaşıktırlar. Örnek olarak, gelişmekte olan ölkelerde aşırı yoksulluk içinde

yaşayan nüfus oranını 2015 senesi itibariyle % 50 azaltmak, Sosyal Gelişme Dünya Zirvesi'nde kabul edilmiş bir hedeftir. Dördüncü Dünya Kadın Konferansı'nda istihdamda ayırımcı muamelenin kaldırılması çağrısı yapılmıştır.

2.4.2 Sağlık

Sağlık ve SK yakın ilişkili konulardır. Güvenli su rezervi ve sağlık koşullarını geliştirme, yeterli beslenme ve güvenli bir gıda temini, kirlenmemiş yaşam koşulları, hastalıkların kontrolü ve sağlık hizmetlerine erişim, sağlıklı bir nüfusa katkıda bulunan faktörlerdir. Aksine, yoksulluk, eğitim eksikliği, doğal ve insana bağlı felaketler ve hızlı kentleşme sağlık problemlerini şiddetlendiren faktörlerdir. Kirlilik kontrolü ve sağlık koruma servisleri genellikle ekonomik kalkınma ile eş zamanlı yürütülmez ve desteklenmezler. Neticede, bozuk sıhhat özellikle emeğe dayalı tarım sektöründe azalan üretkenlik ile ilişkilendirilebilir.

Nüfusu büyük bir oranı sıhatsız ve sağlık hizmetleri tesislerine yeterli erişim olanaklarından yoksun iken, gelişim sağlanamadığı gibi sürdürülemez de. Ekonomik büyüme ve gelişme, yoksul ülkelerde iyileştirilmiş ve daha iyi sağlık hizmetlerine katkıda bulunabilir, fakat bunun yanında gelişmekte olan ve gelişmiş ülkeler için de sağlık alanında daha ileri gelişmeler sağlanmalıdır. Temiz bir çevre, vatandaşların sağlığı ve mutluluğu için önemlidir. Sürdürülemez ekonomik büyüme de çevresel bozulmaya neden olabilir, uygun olmayan tüketimlerle insan sağlığına zarar verebilir.

Agenda 21'de ki insan sağlığını koruyucu ve destekleyici birbiri ile ilgili başlıklar:

- ✓ Özellikle kırsal alanlarda, temel sağlık hizmetlerini sağlamak,
- ✓ Bulaşıcı hastalıkları kontrol altına almak,
- ✓ Zayıf, savunmasız grupları koruma altına almak,
- ✓ Kentsel sağlık ihtiyaçlarını karşılamak,
- ✓ Çevresel kirlilik ve tehlikelerden doğan sağlık risklerini azaltmak.

Sağlık için belirlenmiş temel belirteçler, geniş kabul görmüş ve oldukça mevcut ölçümlere sahip esas sorunları kapsamaktadır. İlaveten, belirteçlerin büyük bir kısmı için uluslararası topluluklarca belirlenmiş hedefler mevcuttur. Örnek olarak beslenme için ülkeler, 5 yaşın altı çocuklardaki aşırı ve aşırı derece olmayan eksik beslenmeyi 1990 – 2000 yılları arasında % 50 oranında azaltmaları için teşvik

edilmişlerdir. Ek olarak 5 yaşın altı çocuklarda ölü oranını, 1990 – 2015 yılları arasında üçte iki oranında azaltmak hedeflenmiştir. İçme suyu, sağlık koşullarını geliştirme ve temel sağlık hizmetleri başlıklarındaki hedefler genel erişimi sağlamaktır. Agenda 21’de bulaşıcı çocuk hastalıkları için birçok hedefler belirlenmiştir. Örnek olarak; 2000 yılı itibariyle çocuk felci hastalığının yok edilmesi, ishalden kaynaklanan ölümlerin 200 yılı itibariyle % 50 azaltılması ve 200 yılı itibariyle akut solunum yolu enfeksiyonlarından kaynaklanan ölümlerin üçte bir oranında azaltılması hedeflenmiştir. Aile Planlaması alanında, 2015 yılı itibariyle, uygun yaşlardaki tüm bireyler için üreme ile ilgili sağlık hizmetlerine erişimi sağlamak uluslararası hedef olarak belirlenmiştir.

2.4.3 Eğitim

Eğitim, SK’nın başarılması için temel koşul olarak geniş kabul görmüş, ömür boyu süren bir süreçtir. Eğitim, Agenda 21’in tüm alanları ile ilişkide olan, temel insan ihtiyaçlarını karşılamada, eşitliği sağlamada, kapasite inşasında, enformasyona erişimde ve ilimi güçlendirmede özellikle önemli bir elemandır. Eğitim, aynı zamanda,daha sürdürülebilir bir hayat yolu için değişen tüketim ve üretim modelleri olarak algılanmaktadır. Eğitim, hem resmi olan ve hem de resmi olmayan açıdan, insanların ve toplulukların azami potansiyellerine erişebilecekleri bir süreç olarak addedilmektedir. Bir ülkenin gelişmişlik düzeyini hesaba katmadan, kazanılan eğitimin genel seviyesi ile yoksulluğun sürekliliği arasında yakın ilişki vardır. Eğitim, insanların tutumlarını, SK ile tutarlı etnik bilinç, değerler, tutumlar, yetenekler ve davranışlar edinmek için değiştiren hayati bir fonksiyondur.

Bu şekilde, insanlar, çevre ve gelişme sorunlarını başarılı ve tatmin edici bir düzeyde ele alan karar verme süreçlerine katılıma daha etkin bir şekilde hazır olurlar.

Agenda 21’ de eğitim 3 sorun etrafında organize edilmiştir:

- ✓ SK doğrultusunda eğitime yeniden yön vermek,
- ✓ Toplum bilincini artırmak,
- ✓ Eğitime teşvik vermek.

Bu sorunları ele almada belirlenen temel hedefler, temel eğitime genel erişim için çabalamak, yetişkin cahilliğini azaltmak, disiplinler arası öğrenmeyi sağlamak için

SK kavramlarını tüm eğitim programlarına entegre etmek,yaygın toplum bilincini teşvik etmek, ve mesleki ve bilimsel eğitimi güçlendirmektir.

Bir çok ülkede, eğitime erişmede ve cahilliği azaltmada ilerleme sağlanmıştır. Ancak, bir çok ülkede de henüz yeterli seviyeler edinilememiştir. Örnek olarak, 1998 yılında, dünyada ve en az gelişmiş ülkelerde okur yazarlık oranı sırası ile % 78.8 ve % 50.7'dir. 100 milyonun üzerinde, 6-11 yaşları arasındaki çocuk hiç okula gitmemişken bir çoğu da okula başladıklarının ilk aylarında okuldan ayrılmışlardır. Sonuçta, yaklaşık 1 milyar insan cahildir.

Eğitim alanında belirtilen belirteçler ile ilgili, dünya topluluğu Çocuk Hakları Anlaşması'nda, Dünya Çocuk Zirvesi'nde, Dünya Sosyal Gelişme Zirvesi'nde ve Dördüncü Dünya Kadın Hakları zirvesinde hedefler belirlenmiştir. Bu hedefler ilköğretim çağındaki çocuklardan en az % 80' inin ilköğretim eğitimi tamamlaması, temel eğitime genel erişimin sağlanması ve 1990'daki seviyesi ile yetişkinlerde cahillik oranını % 50 düşürmektir.

2.4.4 Barındırma (İskân)

Yeterli ve uygun barınma, SK'nın temel zorunluluklarından bir tanesidir. Yeterli ve uygun barınma koşulları, esasen daha güvenli, daha eşitlikçi, üretken ve daha sağlıklı yerleşimlere katkıda bulunur. Yaşam koşulları, özellikle kentsel alanlarda, aşırı nüfus yoğunlaşmaları, yetersiz planlama ve finanssal kaynaklar, ve işsizlikten etkilenir. Kentsel – kırsal göç, gecekondu bölgelerinin ve resmi olmayan yerleşimlerin oluşumu ile bu durumu daha da kötüleştirir. Kötü yaşam koşulları, yoksulluk, evsizlik, sağlıksızlık, sosyal dışlanma, ailesel istikrarsızlık ve güvensizlik, şiddet, çevresel bozulma ve doğal afetlerde artan kayıplar ile ilişkilidir.

Yeterli barınma, İnsan Hakları Evrensel Bildirisi, Uluslararası Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklar Sözleşmesi, Uluslararası Her Türlü Irk Ayrımcılığını Yok Etme Anlaşması, Kadınlara Her Türlü Ayrımcılığı Yok Etme Uluslararası Anlaşması, Çocuk Hakları Anlaşması'nın bir parçasıdır. 2000 Yılı Küresel Konut Stratejisi, Agenda 21'in İnsan Yerleşimleri Bölümü ve Habitat II Taahhütleri'nin majör odaklarından bir tanesidir.

Bununla beraber, mevcut ve gelecek ihtiyaçlar arasındaki uçurumun büyümeye devam ettiği görülmektedir. 2005 senesi itibariyle dünya nüfusunun büyük bir kısmı kentlerde yaşayacaktır. Kentsel nüfusun ise üçte biri kadarının standart altı barınma

koşullarında yaşayacağı tahmin edilmektedir. Çoğu ülkeler, artan yapılaşma, düşük gelir grupları için konut sağlama, sosyal alanların düzenlenmesi ve kredi almada kolaylık sağlamada barınma politikalarının ve stratejilerinin oluşturulmasında ilerlemeler kaydetmiştir. Böyle olduğu halde, gelişmekte olan ülkelerde 1990lar boyunca barınma ve yerleşim koşulları, ek finansman, özel sektör, devlet ve topluluklar arasında iyileştirilmiş ortaklıklar, teknoloji transferi ve artan kapasite inşasına olan ihtiyacı yansıtır bir şekilde bozulmaya devam etmiştir.

Barınma ve yaşam koşullarını değerlendirmek için, SKK çekirdek kümesi belirteçleri, Barınma Kalitesi üzerine ilerlemenin değerlendirilmesi için anahtar bir ölçüm olan Kişi Başı İskan Sahası'nı kullanmaktadır. Belirteci beslemek için gerekli veri, çoğunlukla ülke seviyesinde, en azından belirli kentsel alanlar için mevcuttur. Bu belirteç, Birleşmiş Milletler İnsani Yerleşimler Merkezi Barınma Belirteç Programı'nın bir parçasıdır. Habitat II'de belirlenen kalabalığı önleyerek yeterli yaşam alanı sağlama hedefini yansıtmaya rağmen özel hedefler ve eşik değerler belirlenmemiştir.

Belirteç, aşırı kalabalığın bir ölçüsü olmasına rağmen, kültürel farklılıkları dikkate almamaktadır. İlaveten, belirtecın yüksek değerleri, SK için anlamsız malzeme ve enerji kullanımına ve arazi bozumuna neden olabilir. Bu nedenle belirtecın yorumlanması dikkat gerektirir. Kentsel Resmi ve Resmi Olmayan Yerleşim Nüfusu, Nüfus Büyüme Oranı ve alan gibi diğer belirteçlerin incelenmesi, bu yaşam koşulu ölçüsü üzerine incelemeyi destekler niteliktedir.

2.4.5 Güvenlik

Suç önleme ve cezai adalet, kalkınma sürecinin ayrılmaz parçalarıdır. Sivil toplum, iyi idare ve demokrasi, sosyal istikrar, güvenlik, barış, insan hakları ve uzun vadeli SK için temel koşul gibi adaletin teşvikinin dayanağıdır. Bunun gibi istikrarlı ve güvenli bir ortam, yoksulluğun ortadan kaldırılması, ekonomik yatırımlar, çevre yönetimi, cinsiyet eşitliği, katılım ve sürdürülebilir yaşama biçimleri hedeflerini desteklemek için gereklidir.

Güvenlik, SKK belirteçlerinin yeniden incelenmiş yapısında yeni bir boyuttur. Bu kabul, geçmiş yıllardaki SK kapsamında suç önlemeyi de içeren güvenliğe verilen artan önemi göstermektedir. Agenda 21'de sosyal güvenlik üzerinde ısrarla durulan bir konu iken, suç tiplerine sadece kentsel düzensizlik ve sağlık konuları, kadınlara

karşı uygulanan şiddet, toplumsal bilince olan ihtiyaç konularında kısaca yer verilmiştir. Sosyal Gelişme Dünya Zirvesi ve Habitat II, sosyal bütünleşme ve gelişme için istikrarlı, güvenli ve adil toplumları savunmuştur. Üye ülkeler, suç, şiddet ve uyuşturucu bağımlılığı gibi sosyal çözülmenin faktörlerinin nedenlerini belirlemeye özendirilmiştir. Zirveyi takiben, Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal Konseyi, şiddet, suç ve ilaç ve madde kullanımı, sosyal çözülmenin tüm faktörlerini, 1998 yılında öncelikli konu olarak belirlemiştir. Bu güç 2000 yılında Birleşmiş Milletler Milletler Üstü Suça Karşı Anlaşması'nın imzalanması ile tamamlanmıştır.

Tüm bunların üstünde, suç artmaya devam etmekte ve SK için bir tehdit oluşturmaktadır. Küreselleşme, göçmen kaçakçılığı, uyuşturucu kaçakçılığı, yolsuzluk, sanal suç ve yasadışı silah ticareti gibi yeni ve genişlemiş suç türleri yaratmıştır. Küresel ölçekte, 1990 – 1997 yılları arasında toplam suç oranında %13 gibi bir artışın gerçekleştiği tahmin edilmektedir. Avrupa birliği üye ülkelerinde her ne kadar suç oranları aynı kalmış veya düşmüşse de, Doğu Avrupa ülkelerinde, Bağımsız Devletler Topluluğu üye ülkelerinde ve Asya, Pasifik ülkelerinde suç işleme oranlarında artışlar görülmüştür.

Çekirdek belirteç kümesi, suçu güvenliğin alt konusu olarak tanımlamaktadır. Deneme ülkelerinin deneyimlerinden ulusal seviyedeki politikacılar için bu alt başlık önemli bir önceliği belirtmektedir. Dokuzuncu Suçun Önlenmesi ve Suçluların Islahı Kongresi'nde, suç ve şiddetin anlamlı derecede azaltılması için genel amaç kabul edilmiştir. 100.000 Kişide Kayıtlı Suç Sayısı, en çok kullanılan belirteçtir.

2.4.6 Nüfus

İnsanlar, kaynaklar, çevre ve gelişme arasında ilişkileri inceleyen karar vericiler için nüfus, SK üzerine önemli bir referans sağlar. Nüfus değişimi, ülkeler açısından yoksulluğu azaltmak, ekonomik ilerlemeyi başarmak, çevre korumasını ilerletmek ve daha sürdürülebilir bir tüketim ve üretime hareket etmek için önemli bir işarettir. Doğurganlığın daha istikrarlı düzeyleri yaşam kalitesi üzerine hatırı sayılır etkiye sahiptir. Çoğu ülkede, yavaş nüfus büyüme hızı gelecekteki nüfus artışlarını ayarlamak için daha fazla zaman kazandırır.

Kentselleşme, nüfusun büyüme ve gelişmesinde, baskın bir eğilim olmuştur. Hızlı nüfus artışı ve göç, sürdürülemez yaşam koşulları ve özellikle ekolojik açıdan hassas alanlarda çevre üzerine artan baskıya sebep olabilir. Kentsel alanlardaki daha iyi

yaşam koşulları için arayış, kırsal kesimdeki işsizliği ve yeterli düzeyde iş olmayışı, kırsal alandaki zayıf sosyal hizmetleri, ekilir-dikilir alanların olmayışını, doğal afetleri, kısmi kuraklığı ve sosyal huzursuzluğu yansıtır. Kırsal gelişimi desteklemede daha etkin programlara olan ihtiyacı belirtir. Resmi olmayan kentsel yerleşimler sıklıkla tehlikeli ve marjinaldir. Temel hizmetler ve sosyal güvenlik yoksundurlar ve doğal afetlere yatkın alanlarda oluşmuşlardır. Yoksulluk, yetersiz sağlık ve eğitim tesisleri ve yüksek suç oranları ile karakterize edilirler.

Agenda 21, nüfus konuları üzerine artan uluslararası işbirliğinin ihtiyaçları üzerinde gelişen fikir birliği için bir çatı oluşturmaktadır. Küresel program, çevre ve gelişimi kapsayan ulusal politika ve programlar oluşturulurken nüfustaki trend ve faktörlerin göz önünde bulundurulmasının önemini vurgulamaktadır. 1994 Uluslararası Nüfus ve Kalkınma Konferansı, önceki uluslararası nüfus şuasına karşılık, nüfus, cinsiyet eşitliği, üretim ve tüketim, ve çevre arasındaki ilişkilere odaklanan bütünleşik perspektifine devam etmiştir.

Doğum oranları ve nüfus büyüme oranları birçok ülkede azalmaktadır. Bununla beraber, tüm bölgelerde mutlak nüfus rakamları hala artmaktadır. 1970 – 1975’ den 1995 - 2000’e, kadın başı dünya doğum oranı 4,5 doğumdan 2.7 doğuma düşmüştür. Buna ilaveten, küresel nüfus artış oranı, 1985 – 1990 periyodunda yıllık % 1,7’den % 1,3’e azalmıştır. 1998 yılında, bu oran 5,9 milyar olan dünya nüfusuna 78 milyon kişi eklemiştir.

2030 senesi itibariyle dünya nüfusunun, fiilen kentsel alanlarda yoğunlaşan büyüme ile 8.1 milyar olması beklenmektedir. Kentsel alanlarda yaşayan nüfus oranının 1998 yılındaki değeri % 46,6’dan, 2015 yılında % 54,5’e ve 2030 yılında % 60,5’a artması beklenmektedir. Benzeri eğilimler, kırsaldan kente göç desenleri ve kırsal yerleşimlerin şehir haline hızlı dönüşmeleri şeklinde devam edecektir. Bu durum mevcut sosyal hizmetler ve şehirlerin alt yapısı üzerine muazzam zorlanma getirecektir, ki şehirlerin bir çoğu nüfusla aynı oranda aynı hızda gelişme gösteremeyecektir.

Belirteçlerin çekirdek kümesinde, nüfus değişiminin hakim faktörlerine , toplam nüfus artışı ve kentsel nüfus artışına yer verilmiştir. Nüfus Artış Oranı, tüm ülkelerin verileri ile desteklenen standart belirteçtir. Kentsel Resmi ve Resmi Olmayan Yerleşim Nüfusu, belirli kentsel alanlar için daha seyrek mevcut olan, ancak politika perspektifinden önemli bir ölçüttür. Cairo Konferansı, küresel nüfusun istikrarını

nihai amaç olarak açıkça tanımlanmış olmasına rağmen, bu belirteç için henüz uluslararası bir hedef belirlenmemiştir. Bununla beraber, çeşitli ülkeler, ulusal planlama ve kalkınma kapsamlarında nüfus artışı için hedefler belirlemiştir.

2.4.7 Atmosfer

Atmosferle ilgili öncelikli konular iklim değişimi, stratosferik¹ ozon tahribatı, asitlenme, ötrofikasyon², kentsel hava kalitesi ve troposferik³ ozon tabakası gibi konulardır. Bunların etkileri insan sağlığı, biyolojik çeşitlilik, ekosistem ve ekonomiyle ilgilidir. Birçok etkisi uzun dönemde ortaya çıkar, küreseldir ve gelecek nesiller için dönüşü olmayan sonuçlar doğurabilir. Agenda 21 atmosferin korunması için ekonomik ve sosyal gelişmeyle birlikte bütünleşik bir yaklaşım önermektedir. Bu yaklaşım aşağıdaki konulara odaklanmıştır:

- ✓ Belirsizliklerle mücadele etmek için bilimsel tabanın güçlendirilmesi,
- ✓ Stratosferik ozon tahribatının önlenmesi
- ✓ Sınır ötesi hava kirliliğine yönelinmesi
- ✓ Enerji kullanımı, taşımacılık, tüketim, endüstriyel kalkınma ve toprak ve deniz kaynaklarının kullanımının daha verimli ve sürdürülebilir hale getirilmesi.

Atmosferik değişikliklerle ilgili başlıca insan faaliyeti enerji üretimi ve taşımacılık için fosil yakıtlarının kullanılmasıdır. Ayrıca ormanların azalması, endüstriyel etkinlikler ve yoğun tarım faaliyetleri ile değişen toprak kullanımı ve atıkların imha edilmesi atmosferin kirlenmesine yol açmaktadır. Orman ekosistemleri ise hala sera gazları için önemli bir karbon emicidir. Yenilenebilir enerji kullanımı artmasına ve yakıtların değişmesine rağmen toplam enerji ve taşıma ihtiyacının artmasıyla emisyon düzeyleri yükselmeye devam etmektedir.

İklim değişimi dünyanın geneli için en önemli çevresel sorun olarak görülmekte ve sürdürülebilir olmayan üretim ve tüketim biçimleri sonucunda oluşmaktadır. İklim değişiminin beklenen etkileri alçak yerlerin sular altında kalmasına sebep olacak deniz

¹ Stratosfer: Troposfer üzerinde uzanan ve çok düşük nemlilik koşullarına sahip üst atmosfer katmanı. Atmosferin 15-50 km. yükseklik arasındaki tabakası [17]

² Ötrofikasyon: Atıklarla gelen aşırı besin maddelerinin vejetasyonu uyarmasıyla göllerin çözünmüş oksijen yokluğu sonucunda ölmesine kadar gidebilen yaşlanma süreci [17].

³ Troposfer: Yer yüzeyindeki 0-16 kilometrelik bir yüksekliğe yayılan, hava olaylarının meydana geldiği atmosferin iç katmanı [17].

seviyesi yükselmesi, sıcaklıkların artması, buzulların erimesi ve sellere ve kıtlıklara sebep olacak zorlu hava koşulları oluşması şeklinde özetlenebilir. Sosyoekonomik etkilerinin ise yaygın olmakla birlikte özellikle tarımı, ormanları, deniz ekosistemlerini ve küçük adaları etkileyecek yönde olacağı öngörülmektedir.

İklim değişimi değerlendirme için sera gazı emisyonları kullanılır. İnsana bağlı karbondiyoksit (CO₂), metan (CH₄), nitrikoksit (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFC), perflorokarbonlar (PFC), sülfür heksaflorid (SF₆), kloroflorokarbonlar (CFC) ve hidrokloroflorokarbonlar (HCFC) gibi sera gazları ve dolaylı sera gazları olan nitrojen oksitler (NO_x), carbon monoksit (CO) ve metan olmayan uçucu organik parçalar (NMVOC) sera gazı emisyonları olarak adlandırılan belirteç içerisine girerler. Giga gram olarak yıllık sera gazı emisyonları birimiyle ölçülürler. CH₄, N₂O, HFC, PFC ve SF₆ emisyonları 100 yıllık küresel ısınma potansiyelleri kullanılarak CO₂ eşdeğerine dönüştürülerek değerlendirmeye alınırlar.

Şimdiye kadar olması gereken veya hedef olarak görülebilecek sera gazı emisyon düzeyleri belirlenmemiştir. Buna rağmen Kyoto Protokolü'ne göre gelişmiş ülkeler altı sera gazının 1990'daki emisyonlarını 2008-2012 yıllarına kadar en az %5 azaltmak için hedef koymuşlardır. Ayrıca protokole göre gelişmiş ülkeler kendi aralarında ve diğer ülkelerle ortak uygulama ve geliştirme çabalarını desteklemektedir.

Dünyayı zararlı ultraviyole ışınlardan koruyan ozon tabakası son yirmi yılda önemli ölçüde incelmıştır. Ozonu tahrip eden parçalar özellikle çözücü, soğutucu, yangın söndürücü, zirai gübreler ve sprey gibi malzemelerde bulunmaktadır. Ultraviyole ışınların yeryüzüne etkisinin daha da artmasıyla cilt kanseri, göz kataraktı ve bağışıklık sisteminin zarar görmesi gibi insan sağlığını tehlike sokan hastalıklar ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca fotosentez ve bitkisel planktonların üretiminin azalmasıyla deniz ve kara ekosistemleri olumsuz şekilde etkilenmektedir.

Ozon tabakası tahribatını değerlendirmek için ozon tahrip eden maddelerin tüketimi belirteci kullanılmaktadır. Bu belirteç Montreal Protokol'ü tarafından belirlenen maddeleri içermektedir ve ozonu tahrip etme potansiyeline göre ağırlıklandırılmış, ton olarak ozon tabakasını tahrip eden maddelerin miktarı şeklinde ölçülür.

Montreal Protokol'ü sayesinde ozon tabakasını tahrip eden maddelerin dünya üzerinde üretimi ve tüketimi oldukça azalmıştır. Fakat atmosferde hala bu

maddelerin bulunmasından dolayı ozon tabakasının tahrip olması 2050 yılına kadar devam edeceği düşünülmektedir.

Kentselleşme ve ulaştırma sektörünün hızla büyümesi bir çok çevresel etkiyi beraberinde getirmiştir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde kalabalık kentler sülfür diyoksit, nitrojen oksit, uçucu organik parçalar ve ozon gibi hava kirleticilerinin artmasına yol açmıştır. Bu parçacıklar insan sağlığı riskini arttırmakta, fauna ve floraları kötü şekilde etkilemekte ve kent ve taşrada binaların zarar görmesine sebep olmaktadır.

Hava kirlenmesini tespit edebilmek için kent alanlarındaki hava kirleticilerinin ortam konsantrasyonları kullanılır. Uluslar arası kabul dilen hava kirleticiler şunlardır: ozon, karbon monoksit, parçacık maddeler (PM₁₀, PM_{2.5}, SPM, kara duman), sülfür diyoksit, nitrojen diyoksit, nitrojen monoksit, benzen gibi uçucu organik parçalar ve kurşun. Bunların ölçülmesinde uygun madde için µg/m³, ppm veya ppb birimlerinden bir tanesi kullanılabilir. Bir başka yöntem de standartlara uygun olmayan gün sayını belirteç olarak kullanmaktır.

Dünya Sağlık Örgütü'nün nitrojen monoksit dışındaki belirteçler için hava kalite önerisi mevcuttur. Bir çok ülke bahsedilen kirleticiler için kendi hava kalite standartları oluşturmuştur.

2.4.8 Toprak

Toprak sadece fiziksel bir alan kaplayıp yüzeyi oluşturmaz aynı zamanda doğal kaynakların, mineral kaynaklarını, suyu ve bitki ve hayvan topluluklarını içerir. Toprağın sürdürülebilir olarak kullanılmaması bahsedilen kaynaklarla beraber atmosferi ve deniz ekosistemlerini de etkiler. İnsan ihtiyaçlarının artmasıyla toprak kıt bir kaynak haline gelmiştir. Toprak kullanım büyüklüğünün değişmesi ekosistemlerin istikrarını ve kendini yenileyebilme gücünü tehdit etmektedir.

Agenda 21 toprak kaynaklarının sürdürülebilirliğini gerçekleştirebilmek için bütünlük, ekosistem bazlı bir yönetim önermektedir. Bu önerinin uygulanması rekabetçi toprak kullanımıyla toprağa erişim ve toprak hakkı arasındaki ve üretkenliğin artırılmasıyla çevrenin ve doğal kaynakların korunması arasındaki ihtilafların çözülmeyle sağlanır. Bu yaklaşım Birleşmiş Milletlerin birçok kolu tarafından benimsenmiştir.

Toprakla ilgili bir çok ülkenin karşılaştığı öncelikli sorunlar şunları içerir: toprak yıkımı, çölleşme, ormanlık alanların azalması, kentlerin büyümesi ve zirai ve kırsal gelişme. Diğer önemli konular toprak kullanımı ile ilgilidir ve sahil alanı ve biyolojik çeşitlilik gibi başka temalar altında incelenecektir.

SKK bütünleşik toprak yönetimiyle ilgili aşağıdaki gelecek çalışma konularını belirlemiştir:

- ✓ Toprak yıkımının önlenmesi ve/veya azaltılması
- ✓ Toprağa erişim ve mülkiyet güvenliği
- ✓ Ormanlar, kuru topraklar, maden bulunan yerlerin ıslahı ve kırsal-kentsel ve toprak yönetimi etkileşimi ile ilgili kritik sektörler ve konular.
- ✓ Bilgiye erişim ve pay sahipleri katılımı
- ✓ Kapasite oluşturma, bilgi paylaşımı ve teknoloji değişimi için uluslar arası işbirliği
- ✓ Yıkıma uğramış toprakların ıslahı.

Bu önceliklerin çoğu zirai ve kırsal gelişmeyle ilgili kararlarla desteklenmiştir. Bunlara ek olarak komisyon, yoksulluğun yo edilmesi, biyoteknolojinin uygun kullanılması, genetik kaynakların korunması, birleşik zararlı organizma denetimi ve su kaynaklarının korunması gibi konularından gözden kaçırılmaması gerektiğini vurgulamıştır. Ayrıca devletlerin zirai üretim, besin güvenliği, çevresel koruma ve kırsal gelişmeyi ulusal SK stratejileri içinde düşünmeleri teşvik edilmiştir.

Sürdürülebilir toprak kullanımı konuları içinde tarımın çok önemli bir yeri vardır. Sektör besin teminatı sağlamada ve toprak kaynaklarının oluşmasında önemli rol oynar. Ayrıca tarım sosyal ve ekonomik gelişmeyi sağlamayı ve kırsal kesimlerin hayatını sürdürmesini destekler. Sürdürülebilme açısından bakılacak olursa, tarım kırsal bölgelerin ve buralardaki doğal kaynakların korunmasında katkıda bulunur.

Küresel besin üretimi doksanlı yıllarda önceki yıllara oranla bir miktar arttırılmıştır. Ortalama yıllık tarım üretimindeki artış 1994'le 1998 arasında 2,2 olmuştur. Bu oran gelişmiş ülkelerde %0,4; gelişmekte olan ülkelerde ise %3,4 olarak gerçekleşmiştir. Toplam üretimin bu şekilde artmasına rağmen 1998 ve 1999 yıllarında 64 ülkede besin sıkıntısı çekilmiştir. Afrika ülkelerinde artmış olmasına rağmen; 1990-92 yıllarında 860 milyon olan iyi beslenmemiş insan sayısı 1995-1997 yılları arasında

825 milyona düşmüştür. Fakat bu ilerleme ancak iki buçuk kat arttırılırsa Dünya Besin Zivesi’nde karşılaştırılan “dünyadaki iyi beslenmemiş insan sayısı 2015 yılına kadar yarıya indirilmelidir” hedefi gerçekleştirilebilir. Bu hedefin toprak kaynakları için kayda değer anlamları ve uygulamaları olduğu kesindir.

Tarım ve kırsal gelişmenin durumu en çok toprak kaynağı konularıyla birbirine bağlıdır. Toprak yıkımındaki artış, çölleşme ve ormanların yok olması en çok yoksulluk, nüfus baskısı, uygun olmayan toprak yerleşimi, bilinçsiz çiftçilik ve yetersiz veya itibar edilmeyen teknolojik malzemeler olarak görülmektedir. Çölleşme 100’den fazla ülkede 1,6 milyar insanı etkilemektedir. Erozyon, gübre eksikliği ve canlı çeşitliliğinin yok olması gibi toprak yıkımları dünya üzerinde 2 milyar hektar alanı etkilemektedir. 1980 ile 1990 arasında toplam orman alanının 180 milyon hektar; ve sonraki 5 yılda da 56 milyon hektar azaldığı tahmin edilmektedir. Bazı ülkelerde gelişme sağlansa da kötü gidişi iyileştirmek için birleşik toprak yönetimin uygulanması bir çok ülkenin gerçekleştirmesi gereken önemli bir iştir.

Kentleşmenin hızla artması kentler ve kırsal kesimler için toprak kullanımın ayarlanmasında sorun teşkil etmektedir. Göç için nedenler çok güçlü ve toplumun yasal olmayan yerleşmeyi önleyecek kaynakları yetersiz olabilmektedir. Ayrıca kentleşme tüketim biçimlerini çiftlik tahıllarına, etine ve süt ürünlerine doğru değiştirmektedir. Çiftlik hayvanlarının sayısının atması gelir fırsatlarını artırırken ormanların yok olmasını ve sağlık riskinin artması beraberinde getirmektedir.

Toprak temasını değerlendirmek için geliştirilen belirteçler tarım, orman, çölleşme ve kentleşme alt temaları içinde yer alırlar. Tarım alt teması için (1) tarıma uygun ve sürekli ekilebilir toprak alanı, (2) gübre kullanımı ve (3) zirai böcek zehiri kullanımı; orman alt teması için (1) orman alanının toplam alana oranı ve (2) ağaç kesim yoğunluğu; çölleşme için çölleşmiş alan ve kentleşme için de yasal ve yasal olmayan kent yerleşimi belirteçleri kullanılır.

Tarıma uygun ve sürekli ekilebilir toprak alanı “tarıma uygun toprak alanı” ile “sürekli ekilebilir” toprak alanlarının toplamı olarak görülebilir. Tarıma uygun alan geçici bir ürün ekilmiş topraklar, çayırılar, evlerin bahçeleri ve geçici olarak nadasa bırakılmış alanları içerir. Sürekli ekilebilir alan ise uzun süreler bir ürünün kapladığı ve her hasattan sonra tekrar ekim yapmanın gerekli olmadığı topraklardır. Birim olarak 1000 hektarla ölçülürler. Bu belirteç için herhangi bir uluslararası standart

veya hedef yoktur. Zaman içinde ne kadar değiştiği incelenerek sürdürüleilmeye katkısı görülebilir.

Gübre kullanımı belirteci birim tarım alanı başına kullanılan gübre miktarı olarak ölçülür. Birimi kg/ha'dır. kullanım amacı tarımda gübre kullanım yoğunluğunu ölçebilmektir. Bu belirteç tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan çevre baskılarını gösterir. Yoğun gübre kullanımı çevrede su bölgelerinin ötfekasyonu, toprak asitlenmesi ve su kaynaklarının nitatlaşması gibi sonuçlar doğurabilir.

Zirai böcek zehiri kullanımı belirteci birim tarım alanı başına kullanılan böcek zehiri miktarı olarak ölçülür. Birimi 10 km² başına düşen metrik ton olarak aktif madde miktarıdır. Bu belirteç tarımda kullanılan böcek zehiri miktarını ölçer. Böcek zehirleri ekosistemlerde yok olmayan organik kimyasallar olabilir. Zehirli özellik de taşıma ihtimali olan bu maddeler topraktan besinlere veya içme sularına geçerek insan sağlığını etkileyebilirler. Bu yüzden bazı böcek zehiri türleri uluslararası düzeyde yasaklanmıştır. Fakat kullanımı serbest olanlar için bir sınır veya standart getirilmemiştir.

Orman alanının toplam alana oranı belirteci doğal veya insan eliyle oluşmuş orman alanlarının toplam alana oranıyla bulunur. Birimi yüzde (%)'dir. Ormanlar çoğu ülke için çevresel, sosyoekonomik ve kültürel önemi vardır. Dünyadaki en yaygın ve çeşitli ekosistemleri ormanlar oluşturur. Ayrıca ormanlar kullanılan bir çok ürün ve malzemenin kaynağını sağlar. Ormanların yok olmasıyla bir çok kaynaktan mahrum kalınacağı gibi su, hava, biyolojik çeşitlilik ve toprak durumu da en olumsuz şekilde etkilenecektir. Ormanların büyüklüğu veya ormanların yok olmasıyla ilgili herhangi bir standart yoktur fakat ormanların yok olmasının en aza indirilmesi SK için bir hedef olarak görülebilir. Bu zaman içerisinde bahsedilen belirteç değerleri incelenerek elde edilebilir.

Ağaç kesim yoğunluğu belirteci toplam ağaç kesiminin yıllık ağaç miktarı artışına oranı olarak tanımlanmıştır. Birimi yüzde (%)'dir. Belirteç ormanların doğal üretkenlik limitlerine göre kullanılıp kullanılmadıklarını gösterir. Eğer oran bir veya daha küçükse ülke ormanının doğal artışından daha az veya eşit kesim yapıyor demektir. Eğer oran birden büyükse kesimler artıştan fazladır ve bu ormanların uzun dönemde tükeneyeğini gösterir. Yani sürdürülebilirlik sağlanamaz. Uluslararası standartlarda SK için belirteç değerinin en çok bir olması gerektiği kabul

edilmektedir. Fakat bazı gelişmiş ülkeler kendi ulusal programlarında bu sınır değerini %70-80 civarlarına indirmeyi planlamaktadırlar.

Çölleşmiş alan belirteci çölleşmiş toprakları ve bu toprakların toplam ulusal topraklara oranını gösterir. Birimi yüzde (%)’dir. belirteç çölleşmenin ulusal düzeyde boyutunu ve büyüklüğünü gösterir. Herhangi bir problemin etkilerini ölçmek, süregelen bir problemin durumunu ve önlemlerin etkilerini görmek veya farklı ülkelerdeki benzer problemleri değerlendirmek için kullanılabilir. SK açısından çölleşme istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden herhangi bir uluslar arası kabul gören bir standart olmamasına rağmen çölleşmiş alanları mümkün olduğunca azaltmak hedef olarak görülebilir.

Yasal ve yasal olmayan kent yerleşimi belirteci kilometre kare olarak yasal ve yasal olmayan kent yerleşim alanlarının ölçüsüdür. Belirteç insan yerleşimlerinin yasallığına bakarak yaşam koşulları arasındaki farklılığı ölçer. Yasal olmayan yerleşimler sürdürülebilir gelişmiş yerleşimi, insan sağlığını ve sosyoekonomik gelişmeyi etkiler. Bu belirteç için herhangi bir standart yoktur. Fakat yasal olmayan kent yerleşimlerini en aza indirmek hedef olarak belirlenebilir.

2.4.9 Okyanuslar, Denizler ve Sahiller

Dünya yüzeyinin %70’ini kaplayan okyanuslar ve denizler kimyasal maddeler, besinler ve suyun geri dönüşümünü sağladıkları için üretken bir ekosistem olarak değerlendirilebilir. Bu geri dönüşüm küresel sıcaklığı, havayı ve iklimi düzenler. Buna ilaveten denizler, haliçler ve kıyı bölgeleri biyolojik çeşitlilik ve değerli doğal kaynakların oluşması için çok önemlidir. Örneğin dünyadaki balık üretiminin %90’ı balıkların yaşam çevriminin geçtiği bölgelere bağlıdır.

Torakla suyun ara bölgesi olan kıyılar dünya yüzeyinin %15’inden daha az olmasına rağmen toplam dünya nüfusunun üçte birinden daha fazla insanı barındırmaktadır. Bu nüfusun çoğu kilit ekosistemlerle iç içe olan büyük şehirlerde yaşamaktadırlar.

Agenda 21 okyanusları ve kıyı bölgelerini korumak için bütünleşik ekosistem yaklaşımını önermektedir. Bu şekildeki bir yaklaşım büyük oranda önceden tahmin etme ve önlem alma prensibine dayanır. Bu biyolojik çeşitliliği ve ekosistem üretkenliğini sağlarken kıyı bölgelerde yaşayanların hayat kalitelerini yükseltmek için gereklidir. Bir uluslar arası organizasyon bütünleşik deniz ve kıyı alanları yönetimi olgusunu uygulamaya koymuştur.

SK için önemli deniz ve kıyı bölgeleri konuları aşağıda verilmiştir:

- ✓ Toprak bazlı faaliyetlerden dolayı oluşan yıkımlar,
- ✓ Balık ve diğer canlı kaynakların sürdürülemez şekilde tüketilmesi,
- ✓ Gemilerden ve kıyıdan uzak petrol ve gaz projelerinden kaynaklanan deniz kirliliği,
- ✓ Biyolojik çeşitlilik ve nazik ekosistemlerin korunması,
- ✓ İklim değişimiyle ilişkisi.

Deniz kirlenmesinin kontrol edilmesinde başarı ölçüsü belliyken kıyı ve deniz kaynaklarındaki gelişmenin sürdürülememesi büyük oranda devam etmektedir. SKK kıyı çevreleri ve balık kaynakları gibi en önemli geleneksel okyanus kaynaklarının haddinden fazla tüketildiğini ve gelişmiş bir yönetime ihtiyaç duyduğunu belirtmiştir. Uluslar arası anlaşmalar gemilerden kaynaklanan deniz kirliliği ve endüstriyel atıkların denize akıtılmasını kontrol altına almışlardır. Fakat bunlar bile deniz kirliliğinin artmaya devam etmesini engelleyememiştir. Ayrıca kıyıdan uzak gaz ve petrol faaliyetlerinden kaynaklanan deniz çevrelerinin gördüğü zararı belirleyebilmek için etkili ölçüm yöntemleri hala bulunmamaktadır.

Deniz kirliliğinin %80'i deniz dışındaki alanlardaki faaliyetler neticesinde ortaya çıkmaktadır. Uygunsuz kalkınma yaklaşımları sonucunda Dünya'daki kıyı ekosistemlerinin yarısı çevresel yıkım bakımından orta ile yüksek arasında potansiyel riske sahiplerdir. İklim değişiminin deniz seviyesinin yükselmesi ve sel ve fırtınaların sıklığı ve yoğunlaşmasına etkisi özellikle küçük adalar ve yoğun nüfuslu delta alanlarında daha belirgin hissedilecektir.

Deniz çevresinin sadece %1'ini işgal eden mercan kayalıkları çok hassas ve zarar görmeye müsaittir. Dünya'daki bu tip kayalıkların %58'inin insan faaliyetlerinden dolayı tehlike altında oldukları tahmin edilmektedir. Deniz balıkçılığı 20 yıllık büyümeden sonra 90'lı yılların ikinci yarısında yerinde saymaya başlamıştır. Birçok balık alanında uzun dönem sürdürülebilirlik düzeyinin üstünde avlanma yapılmıştır. Dünya'daki balık alanlarının yaklaşık %60'ının tamamen yok edildiği veya haddinden fazla avlanıldığı tahmin edilmektedir. Ayrıca ıskarta ve atık oranları da oldukça yüksek seviyededir. Tüm Dünya'da yılda 27 milyon ton balığın

tüketilmeden atıldığı hesaplanmıştır. Daha iyi yönetim, işleme ve koruma çabalarıyla deniz balıkçılığının daha üretken olacağı açıktır.

Okyanuslar, denizler ve sahiller teması için iki alt tema içerisinde üç ayrı belirteç belirlenmiştir. Bunlar sahil bölgeleri alt teması için sahil bölgelerindeki alg konsantrasyonu ve sahil bölgelerinde yaşayanların toplam nüfusa oranı ve balıkçılık alt teması için de başlıca türlerin yıllık yakalanma miktarları belirteçleridir.

Sahil bölgelerindeki alg konsantrasyonu belirteci kıyı bölgesi ekosisteminin sağlığını temsil etmek için kıyı sularında yaşayan alg konsantrasyonunu kullanır. Alg (veya yosun) tamamen yada kısmen su altında yaşayan veya nemli yüzeylerde büyüyen, bazı kimyasal elemanların bulunduğu koşullarda hızla çoğalan, klorofil ve diğer fotosentez pigmentleri içeren bitkidir. Alg konsantrasyonu kaçak ve boşaltmalarla oluşan besinlerle doğru orantılı olarak değişim gösterir. Belirteci ölçmek için metre küpe düşen miligram olarak klorofil miktarı veya yıllık gram olarak metrekarede üretilen karbon miktarı olarak ölçülür. Belirtecın amacı besin girdilerini azaltmak için etkin bir ölçüm yöntemi oluşturmaktır.

Kıyı ekosistemlerinin balıkçık ve turizm gibi önemli ekonomik yararları vardır. Ayrıca kıyı ekosistemleri biyolojik çeşitlilik sağladığı ve koruduğı için insan sağlığı ve SK açılarından da oldukça önemlidir. Yüksek alg konsantrasyonları yüksek besin girdisine işaret eder. Bu ise kıyı ekosistemini için çeşitli tehlikeler oluşabileceğini gösterir. Bu belirteç için uluslar arası kabul gören hedef kirliliğe sebep olan bölgelerde besin girdisini azaltmak ve ötrofikasyonun gerçekleşebileceğı deniz bölgelerinin sayısını azaltmaktır.

Sahil bölgelerinde yaşayanların toplam nüfusa oranı belirteci 100 kilometrelik kıyı şeridinde yaşayan toplam nüfusun oranı olarak elde edilir. Bazı ülkeler kıyı şeridine denize dökülen büyük nehirleri de ilave edebilirler. Birimi yüzde (%)’dir. Bu belirteç kıyı bölgelerindeki nüfus ve nüfus artışının ekonomik gelişmeye ve kıyı ekosistemlerinin yıkımına etkisini temsil eder.

Belirteç değerinin büyük olması kıyı ekosistemlerini yaşam ortamlarının farklılaşması veya kaybolası ve kirletici yüklenmesinin artması yönünde etkiler. Aynı zamanda kıyı bölgelerindeki nüfusun yoğun olması iyi bir bölgesel, ulusal ve uluslar arası ticaret erişimi ile ekonomik kalkınma için oldukça elverişli bir ortam yaratır. Görüldüğü gibi SK için belirteç değeri tek başına sağlıklı bir bilgi

verememektedir. Bu yüzden belirteci değerlendirmek için ekonomik ve çevresel fayda ve zararlar birlikte düşünülmelidir.

Başlıca türlerin yıllık yakalanma miktarları belirteci başlıca türlerin mümkünse yumurtlatılan miktarlarına göre değilse en fazla yakalanan yıllarda yakalan miktara göre karşılaştırarak yıllık yakalanma oranları olarak belirlenir. Birimi metrik tondur. Yumurtlatılan miktarların düşük olması veya önceki yıllara göre çok fazla avlanmanın gerçekleşmesi balık alanlarının sürdürülebilmesi için olumsuz göstergelerdir.

2.4.10 Tatlı Sular

tatlı sular insan hayatı, ekosistemler ve ekonomik kalkınma için zaruridir. Tatlı sular su kaynaklarını, besin üretimini, balıkçılığı, endüstriyi, hidro güç oluşumunu, gemiciliği ve eğlenceyi destekleyen önemli unsurlardan birisidir. Tatlı su sistemlerinin ekosisteme sağladığı yararlar ise besin üretimini sağlanması, besin riskinin azaltılması ve kirleticilerin süzülmesi şeklinde özetlenebilir. Küresel sağlık konuları, yoksulluk, iklim değişimi, ormanların yok olması, çölleşme ve toprak kullanımının değişmesi tümüyle doğrudan su kaynakları ve onların yönetimiyle ilişkilidir.

Dünyanın bir çok bölgesinde uzun dönemde sürdürülebilirliğin sağlanması şüphelidir. Şuanda insanlar kolayca ulaşılacak suyun yarısını kullanmaktadırlar. Su tüketimi nüfus artışının iki katı daha hızlı artmaktadır ve bir çok bölge şimdiden geriye dönüşü olmayan susuzlukla karşı karşıya kalmıştır. Nüfusun artması, ekonomik büyüme ve hayat standartlarının yükselmesiyle 2025 yılında tüm dünyanın üçte ikisinin su bulma stresiyle yaşayacağı tahmin edilmektedir.

Bir çok ülkede su miktarı ve kalitesi baskın konular arasına girmeye başlamıştır. Tatlı sularla ilgili sorunlar su dağıtımının ve ücretlendirilmesinin kötü yapılması, verisiz kullanım ve yeterli bütünleşik yönetimin olmayışı olarak özetlenebilir. Başlıca su kullanımı tarım, endüstri ve hane içi kullanımlardır. Endüstride ve belediyelerce kullanılan sular geriye çoğunlukla kalitesi düşmüş olarak dönerler. İnsanların üçte biri yer altı suyu kullanmaktadır. Ayrıca tarımda sulama için yer altı sularının kullanımı artmaktadır.

Suyun kalitesiyle ilgili başlıca sorunlar lağım suyu kirliliği, tarımda gübre ve böcek zehiri kullanılması, endüstriyel atıklar, tuzlu suyla karışma ve toprak erozyonlarından

kaynaklanır. Bir çok gelişmekte olan ülkede büyük şehirlerden geçen nehirler lağımdan biraz daha temizdir. Latin Amerika’da kirli suların sadece %2’si işlemden geçirilirken Asya’daki nehirlerde dışkısal koliform miktarı kabul edilebilecek en yüksek sınır değerinden 50 kat daha fazladır. Aşırı gübre kullanımı sonucunda oluşan nitrojen kirlenmesi Alg oluşumuna sebep olmakta ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Endüstriyel atıklar ağır metallerin ve yok edilemeyen organik kirleticilerin kaynağıdır. Dünyadaki sulanan torakların %20’si tuzlu sudan etkilenmiş bu yüzden de mahsul üretimi belirgin oranda düşmüştür. Kötü torak kullanımı erozyona sebep olmaktadır.

SKK su yönetimiyle ilgili aşağıdaki öncelikli konuları belirlemiştir.

- ✓ Kentsel ve kırsal su kaynaklarına erişim ve sağlığa uygun hale getirme,
- ✓ Sürdürülebilir besin üretimi ve kırsal gelişme için tatlı sular,
- ✓ Endüstri için temiz ve etkin atık su teknolojileri,
- ✓ Ekosistemlerin su kaynağı ihtiyaçlarını daha iyi anlama,
- ✓ Ekonomik değerine göre suyun daha verimli kullanılması,
- ✓ Su yönetimi kurularının güçlendirilmesi.

Tatlı sular için su miktarı ve su kalitesi alt temaları altında üç ayrı belirteç belirlenmiştir. Bunlar su miktarı için yıllık yerüstü ve yer altı su tüketiminin yinelenebilir suya oranı ve su kalitesi için de su kaynaklarındaki biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve tatlı sulardaki dışkısal koliform konsantrasyonları belirteçleridir.

Yıllık yerüstü ve yer altı su tüketiminin yinelenebilir suya oranı belirteci yıllık kullanım için ayrılan yer altı ve yer üstü sularının toplam yinelenebilir tatlı suya oranıdır. Birimi yüzde (%)’dir. Belirtecın amacı toplam yinelenebilir su miktarının ülkenin talebini ne oranda karşıladığını göstermektir. Bir anlamda ülkenin su kıtlığı tehlikesine maruz kalma ölçüsüdür. Su kaynaklarının kıt olması ekonomik ve bölgesel kalkınmayı kısıtlayarak SK’ya olumsuz etki eder.

Su kaynaklarındaki biyokimyasal oksijen ihtiyacı belirteci sudaki organik maddelerin mikro biyolojik oksidasyonu için gerekli veya tüketin oksijen miktarının ölçüsüdür. Birimi sabit 20 °C’de 5 günde tüketilen mg/l olarak oksijen miktarıdır. Belirtecın amacı temel ihtiyaçlar ve ticari amaçlar için tüketilen suların kalitesini belirlemektir. Ayrıca bu belirteç ekosistem sağlığı için geliştirilen göstergelerden birisidir. SK

temel ihtiyaçlardan endüstriyel ihtiyaçlara kadar olan bir çok kullanım için uygun suyun varlığına oldukça bağımlıdır. Belirteç değeri büyük olması ölçüm yapılan suda organik maddelerin çok olduğunu gösterir. Organik maddelerin çok olduğu suları kullanan insanlar ve bu suda yaşayan canlılar sağlık bakımından olumsuz etkilenirler. Ayrıca belirteç değerine göre sürdürülebilir su yönetimi için suya uygulanması gereken iyileştirme işlemlerine de karar verilebilir.

Tatlı sulardaki dışkısal koliform konsantrasyonları belirteci içmek için ayrılan tatlı su kaynaklarındaki dışkısal koliformun Dünya Sağlık Örgütü tarafından hazırlanan İçme Suyu Kalitesi Önerisi'nde belirlenen düzeye oranı olarak belirlenir. Birimi yüzde (%)'dir. Belirteç temel ihtiyaçlar için gerekli su kalitesini ölçmek için kullanılır. Belirteç insan ve hayvan dışkılarının içme sularına bulaşma düzeyinin dolaylı göstergesidir. Ayrıca belirteç değeri sayesinde suyun içmeye uygun olduğuna veya ne kadar iyileştirme işlemine gerek duyulduğuna karar verilebilir. Belirteç için dışkısal bakterilerden *Escherichia coli* (E.-Coli) ve *thermotolerand* bakterileri kullanılan en geçerli cinslerdir. Bu cinsler için sularda bulunma miktarlarının sınır değerleri Dünya Sağlık Örgütü'nün İçme Suyu Kalitesi Önerisi'nde belirlenmiştir.

2.4.11 Biyolojik Çeşitlilik

Biyolojik çeşitlilik sadece türler arasındaki varyasyonu değil türler içindeki genetik farklılıkları ve tür toplulukları yaşam ortamları ve ekosistemler arasındaki farklılıkları da içerir. Bahsedilen genlerin, türlerin ve ekosistemlerin çeşitliliğinin insan refahı için gerekli olan ürün ve hizmetlere katkısı oldukça fazladır. Biyolojik çeşitliliğin sağlanması Dünya'daki tüm yaşamların bağlı olduğu doğal ekolojik süreçlerin devam etmesini garanti altına alır. Biyolojik çeşitlilikteki büyük değişimler, kayıplar veya yıkımlar ciddi ekonomik, sosyal ve kültürel sonuçlar ve derin çevresel ve ahlaki hasarlar doğurabilir. Gıda güvencesi, iklimsel istikrar, tatlı su güvencesi ve insan sağlığı gerekleri biyolojik çeşitliliğin sağlanması ve kullanılmasıyla doğrudan ilgili konulardır.

Dünya'daki toplam canlı türü sayısı oldukça yüksektir. Canlı türü sayısı ile ilgili tahminler 5 ile 100 milyon arasında değişmektedir. Türlerin en çok olduğu bölgeler tüm türlerin %90'ını barındırdığı düşünülen tropik nem ormanlarıdır. Afrika, Asya, Pasifik ve Latin Amerika biyolojik çeşitlilik bakımından en zengin bölgelerdir.

Biyolojik çeşitliliğin kaybedilmesi politika ve gelişme faaliyetlerinde doğal kaynaklara ve çevreye gerekli önemin verilmemesinin sonucudur. Aşağıda biyolojik çeşitliliğin olumsuz olarak etkilendiği önemli faaliyetler verilmiştir

- ✓ Haddinden fazla kesim ve türlerin yasadışı yollarla sarfiyatı
- ✓ Yaşam ortamlarının yok olması veya parçalanması
- ✓ Başka iklimlere ait yabancı türlerin gelişmesi
- ✓ Kirlenme ve torak yıkımı
- ✓ İklim değişimi ve doğal afetler

Biyolojik çeşitlilik belirteçlerinin geliştirilmesi daha başlangıç safhasındadır. Bunun nedeni özellikle ekosistemdeki görevleri ve süreçlerle ilgili olmak üzere biyolojik çeşitlilikte bilimsel altyapı ve kavrama sorunlarının olmasıdır. SKK ikisi ekosistem alt teması biri türler alt teması altında üç belirteç önermektedir. Ekosistemle ilgili olanlar seçilmiş kilit ekosistemlerin alanı ve koruma altına alınmış bölgelerin toplam alana oranı; türlerle ilgili olan ise kilit türlerin bolluğu belirteçleridir.

Seçilmiş kilit eko sistemlerin alanı belirteci belli ekosistemlerin özelliğini kaybetmemiş alanlarının büyüklüğündeki eğilimi kullanır. Biyolojik çeşitliliği ekosistem düzeyinde korumak için dolaylı bir etkinlik ölçüsüdür. Ayrıca biyolojik çeşitliliği ülke ve bölgelerde sağlamak için özel korumaya ihtiyaç olup olmadığını tespit etmek için kullanılır. Birimi seçilmiş ekosistem çeşitlerinin km^2 veya ha olarak alanıdır.

Biyolojik çeşitliliğin kendi gerçek değeri vardır ve biyolojik çeşitliliğin korunması insan hayatı ve SK için gereklidir. Belirteç için uluslar arası düzeyde belirlenmiş herhangi bir hedef olmamasına rağmen biyolojik çeşitliliğin kaybedilmesinin önüne geçilmesi ihtiyacı genel kabul gören bir olgudur. Bunu sağlamak için en azından şimdiki durumun korunduğunu gösteren ölçütlerden biri seçilmiş kilit ekosistemlerin alanı belirtecidir. Eğer belirteç değerinin yıllara göre eğilimi azalma yönünde değilse biyolojik çeşitliliğin korunduğu söylenebilir.

Koruma altına alınmış bölgelerin toplam alana oranı belirteci korunmuş kara, iç su ve deniz ekosistemleri alanlarının toplam kara, iç su ve deniz ekosistemleri alanlarına oranı alınarak hesaplanır (korunmuş kara ekosistemleri alanının toplam kara ekosistemleri alanlarına oranı gibi). Birimi yüzde (%)’dir. Belirteç biyolojik

çeşitliliğin, kültürel mirasın, bilimsel araştırmaların ve doğal kaynakların mevcut olduğu alanların bağdaşmaz kullanımlardan korunduğu bölgelerinin büyüklüğünü gösterir. Belirteç her önemli ekosistemin kendi çeşitliliğinin ve güvenliğinin sağlanmasına ne kadar adandığı bilgisini de verir. SK'nın sağlanması ekosistem çeşitliliğine dayanan kusursuz çevreye bağlıdır. İnsanın çevreye etkilerini azaltma yollarından biri olan korunmuş alanlar, ekosistem çeşitliliğinin devam ettirilebilmesi için gerekli unsurlardandır. Uluslar arası otoriteler her bir nemli ekosistemin en az %10 korunmuş alan içermesi gerektiğini önermektedirler.

Kilit türlerin bolluğu belirteci seçilmiş türler için nüfus eğilimi tahmin ederek biyolojik çeşitlilikteki değişimleri gösterir. Belli bölgedeki veya türdeki yetişkin birey veya başka ilgili bolluk göstergesi sayısı olarak hesaplanır. Belirteç biyolojik çeşitliliği korumak için tasarlanan ulusal ölçütlerin etkinliklerini açıklamak için kullanılabilir. Ayrıca bunların sürdürülebilirlik kullanılabileceği kararının verilemesini sağlayabilir. Belirteç için uluslararası bir standart yoktur. Fakat belirteç biyolojik çeşitliliği koruma ölçütleri arasında yer alabildiği ve azalan türlerin veya artan problemli türlerin tespit edilmesinde önemli rol oynadığı için kullanılması tavsiye edilir.

2.4.12 Ekonomik Yapı

Ticaret ve yatırım ekonomik büyümede ve SK'da önemli etmenlerdir. Pazar erişiminin gelişmesi, finansal kaynakların ve teknolojilerin taşınması ve borçlardan kurtulma geliştirmekte olan ülkelerin SK amaçlarını gerçekleştirmelerine yardımcı olur. Yoksulluk, doğal kaynakların bitirilmesi ve üretim ve tüketim bir şekilde ekonomik gelişmeye veya ekonomik gerilemeye bağlıdır.

Sosyal eşitliğe götüren ve çevresel yıkıma neden olmayan ekonomik gelişmeyi sağlamayı vaat etmek hatırı sayılır bir meydan okuma olarak görülebilir. Burada ekonomik gelişmeyi sağlamanın tek başına SK için yeterli olmayabileceğinden bahsedilmektedir. Hatta çoğu zaman ekonomik gelişme sosyal ve çevresel çöküntülere sebep olabilmektedir.

SK bağlamında ekonomik performansı desteklemek için Agenda 21 serbest ticareti, ticaret ve çevreyi karşılıklı olarak birbirini destekler hale getirmeyi, geliştirmekte olan ülkelere yeni ve ek finansal kaynak sağlamayı ve çevre ve kalkınmaya elverişli makro ekonomik politikaları ortaya koymayı tavsiye etmektedir.

Serbest ticaretin genelde SK'ya olumlu etkisi olmuştur. Serbest ticaret ekonomik çeşitliliği teşvik eder, kaynak dağılımını verimliliğini artırır, çevreye zararlı ticaretin sınırlarını azaltır ve daha temiz ve etkin teknolojilere geçilmesini özendirir. Ayrıca bağımsız ekonomi kaynak kullanımını arttırarak çevrenin gördüğü zararı azaltır.

İlke olarak ülkelerin SK politika ve programlarının finanse edilmesi kendi kaynaklarıyla gerçekleştirilmelidir. Buna rağmen gelişmekte olan ülkelerin bu konuda desteklenmeleri şarttır. En önemli dış kaynaklar resmi kalkınma yardımlarıdır. Ayrıca borsa veya reel sektörlerdeki yabancı yatırımlar da gelişmekte olan ülkeler için değerli desteklerdir. Kaynağı ne olursa olsun, tüm kaynaklar ancak ekonomik kalkınma, sosyal gelişme ve çevrenin korunması temalarının bütününe sağlamaya yönelikse SK'ya katkıda bulunabilir.

Gelişmekte olan ülkelerin SK'ya doğru ilerlemelerinde en büyük sorunlardan bir tanesi dış borçlardır. Gelişmekte olan ülkelerin dış borçlarının GSYH'ya oranlarının ortalaması %47'dir. Az gelişmiş ülkelerde ise bu oran %67'den %100'e kadar çıkabilmektedir. Bu ülkeler için borç probleminin olası çözümleri borç ödemelerinin yeniden takvimlendirilmesi, bor indirimi veya silinmesi, takas oluyla ödeme olabilir. Böylece kredi kaygıları azalıp, yatırımlar artabilir.

Ekonomik yapıyı göstermesi için seçilen belirteçler ulusal ve uluslararası düzeyde çok bilinen ve kullanılan ölçütlerdir. Bunlar ekonomik performans, finansal durum ve ticaret ile ilgili önemli konuları yansıtmaktadırlar. Ekonomik performans için Kişi başı GSYH ve Yatırımın GSYH'ya oranı; ticaret için Cari işlemler dengesi; finansal durum için ise Dış borç GSMH oranı ve GSMH'nin yüzdesi olarak toplam alınan ve verilen resmi kalkınma yardımı belirteçleri mevcuttur.

Kişi başı GSYH yıllık veya belli bir periyot için şu anki piyasa fiyatı ile GSYH'nın hesaplanıp nüfusa bölünmesiyle bulunur. Belirteçteki farklılıklar sabit üretim ve tüketici fiyatlarıyla hesaplanan gerçek kişi başı GSYH'daki değişmeyi yansıtır. Birimi Amerikan Doları (US\$)'dır. Belirteç temel ekonomik büyüme göstergesidir ve toplam ekonomik çıktının düzeyini ve büyüklüğünü ölçer. Toplam hizmet ve ürün üretimindeki değişimleri yansıtır.

Hizmet ve ürün üretimindeki büyüme ekonominin iyi gittiğinin temel belirleyicisidir. Toplam üretimin nüfusa bölünmesiyle her bir bireyin üretim sürecine ne kadar katkı yaptığı görülebilir. Ekonomik büyüme ekonominin durumunu göstermesi açısından

en güçlü belirteçlerden birisidir. SK'yı doğrudan ölçmese bile SK'nın ekonomik ve kalkınma açılarını gösteren en önemli araçtır.

Kişi başı GSYH için ulusal hedefler genelde önceliklere, kaynak durumuna ve önceki ekonomik performanslara göre oluşturulur. Uluslararası hedefler ise finans kurumları ve uluslararası organizasyonlar tarafından belirlenir. Genelde amaçları yardım dağıtımını veya kaynak düzenlemesini yağıabilmek için ülkelerin ekonomik performanslarını karşılaştırmaktır. Örneğin Birleşmiş Milletler ülkelerin yardım müsaade düzeylerini belirlemek için dünya gelir ortalamasını bir eşit olarak kullanır.

Yatırımın GSYH'ya oranı belirteci toplam üretime göre yatırımın payını hesaplar. Toplam üretim sermayesi oluşumunun GSYH'ya bölünmesiyle bulunur. Her iki miktarın hesaplanmasında tüketici fiyatları kullanılır. Yatırım oranı, gelişme süreci olarak finansa gerekli sermayenin aktarılmasını yansıtacak ekonomik kalkınmaya uyarı niteliği taşır. Bu belirteç ekonomik etkinliklerin süreçleri ve biçimleriyle ilgilenir. Belirteç küresel ekonomideki durumlarını iyileştirmek isteyen gelişmekte olan ülkelerde SK seyrinin önemli elemanlarındanr. Belirteç kalkınmanın ivmesini arttıracak finansın önemli bir bölümünün göstergesidir. Belirteç için uluslararası bir hedef yoktur. Yatırımın GSYH'ya oranıyla ilgili ulusal hedefler bütçe kaynağı bulma programları ve öncelikleri belirleme çalışmalarına temel teşkil etmesi için devlet politikalarına dahil edilir.

Cari işlemler dengesi belirteci ihraç edilen ürün ve hizmetlerle ithal edilen ürün ve hizmetler arasındaki farkı gösterir. Birimi Amerikan Doları (\$)’dır. Belirteç bir ekonominin dünyadaki diğer ekonomilerle ilişkisinin göstergesidir. Belirtecın parçaları olan ithalat ve ihracat ulusal ticaret girişimlerdeki değişimi, döviz kurlarındaki değişimi, döviz kurlarındaki değişimin etkilerini ve uluslararası rekabet düzeyini yansıtır. Belirteç değeriindeki değişim doğrudan ekonomik politikaların değişmesine neden olabilir. Belirtecın parçaları ekonominin uluslararası işbirliğinde nasıl yer aldığını gösterir. Ayrıca belirtecın parçaları GSYH ile karşılaştırılarak ekonominin açıklığı ve dış ekonomilere bağımlılığı değerlendirilebilir. Ticarete serbestliğin genel olarak SK'ya olumlu etkileri olabilir. Yukarıda olumlu etkilerinden bahsedilmişti. Bir başka açıdan ise serbestlik, üretimin çevresel maliyetlerinin piyasa fiyatlarına tam olarak dahil edilmediği durumlarda kaynak kullanılmasının artmasına ve kaynakların sürdürülemez olmasına sebep olabilir. Belirteçle ilgili uluslararası bir hedef yoktur.

Dış borç GSMH oranı belirteci toplam dış borcun GSMH'ya oranlanmasıyla bulunur. birimi yüzde (%)'dir. Dış borç / GSMH borçsuzluk derecesinin ölçüsüdür ve bir ülkenin dış borç durumu ve borç taşıma kapasitesinin tayin edilmesine yardımcı olur. Belirteç ekonominin gelir oluşturma gücünün en genel ölçüsüne göre verilmesi gereken yükümlülükleri ölçer. Belirteç değeri yüksekse gelirlerin çoğu SK'yı gerçekleştirmek için yapılacak yatırımlardan borçların ödenmesine kayar. Borç sarkması, borç stoğunun borçlu devletin orta ve uzun dönemde ödeyebileceği miktarı geçmesi durumunda oluşur. Belirteç için herhangi standart veya hedef yoktur.

GSMH'nin yüzdesi olarak toplam alınan ve verilen resmi kalkınma yardımı (RKY) belirteci kaynak ya da alıcı ülkenin GSMH'sine göre verilen veya alınan RKY miktarıdır. Kaynak ülkeler tarafından verilen RKY miktarı ölçülmek istendiğinde RKY geliştirmekte olan ülkelere ve çok uluslu kurumlara verilen imtiyaz fonu harcamalarını içerir. Geliştirmekte olan ülkeler için RKY hesaplanmak istendiğinde RKY iki yönlü ve çok yönlü kaynaklardan gelen imtiyazlı finans girişlerini içerir. Belirteç geliştirmekte olan ülkelerin refahını ve kalkınmasını arttırmayı amaçlayan kaynak akışlarının büyüklüğünün ölçüsüdür. Birleşmiş Milletler gelişmiş ülkeler için RKY'nin GSMH'nın %0,7'si olması gerektiğini ortaya koymuştur.

2.4.13 Tüketim ve Üretim Modelleri

Sürdürülebilir olmayan üretim biçimleri, özellikle gelişmiş ülkelerdeki, doğal kaynak yıkımının ve küresel çevrenin kötüleşmesinin başlıca nedenlerindendir. Genelde kabul gören bir saptama da küresel tüketim alışkanlığının endüstrileşmiş devletlerin tüketim alışkanlığı gibi olması durumunda Dünya'nın bunu kaldıramayacağıdır. Ayrıca bu gibi yüksek seviyedeki tüketim geliştirmekte olan devletlerin şimdiki ve gelecekteki üretim ve tüketim tercihlerini etkilemektedir.

Daha sürdürülebilir yaşam tarzlarına geçmek için devletlerin, üreticilerin ve tüketicilerin ortak ve birleşmiş çabalarına ihtiyaç vardır. Sürdürülebilir yaşam tarzının gerekleri ise daha az malzeme tüketmek, daha çok kaynak ve enerji verimi sağlayan teknolojileri benimsemek, fakirlerin ihtiyaçlarını karşılamada daha çok sorumluluk almak ve sosyal ve çevresel maliyetleri azaltacak ekonomik sistemlere yönelmek olarak özetlenebilir. Fakat bahsedilen değişimleri gerçekleştirmek yerleşmiş inanış ve davranışlardan ötürü oldukça güç olabilir.

Agenda 21 gelişmiş devletlerin daha sürdürülebilir üretim ve tüketim biçimlerini geliştirmek ve uygulamak için öncülük etmeleri gerektiğini vurgulayarak, bu amaca ulaşmak için beş faaliyet önermiştir:

- ✓ Kaynak ve enerji kullanımında verimliliğe teşvik etmek,
- ✓ Atık oluşumunu engellemek veya en küçüklemek,
- ✓ Bireylerin çevreyi dikkate alan tüketici kararları vermelerini desteklemek,
- ✓ Devlet satın alımlarıyla diğer kurum ve kuruluşlara öncülük etmek, örnek olmak,
- ✓ Çevreyi dikkate alan fiyatlandırmaya geçmek.

Şimdiye kadar sürdürülebilir üretim ve tüketim biçimlerine geçmek için yeterli çaba harcanmamıştır. Hammaddelerin etkin kullanılması, enerji ihtiyacı ve atıkların azaltılması ve daha sürdürülebilir ulaştırma sistemlerinin kullanılması gibi önemli konularda yeterli gelişme sağlanamamıştır. Sanayileşmiş ülkelerde enerji ve hammadde tüketimler ile ilgili verimlilik çalışmaları birim ürün üzerine yapılmaktadır. Fakat verimlilikteki ilerleme toplam üretim ve tüketim yoğunluğu artışından çok daha sınırlı olmuştur. Bu yüzden toplam enerji ve hammadde ihtiyaçları ve atık oluşması artmıştır. Aynı zamanda gelişmekte olan ülkeler artan nüfuslarının hayat standartlarını yükseltmek için enerji hizmetlerini hızla arttırmaları gerekmektedir. Yakın zamanda ise ulaşımın dünya enerji talebini arttıracak başlıca unsur olacağı öngörülmektedir.

Şu anki ulaşım ve ulaşımın enerji gerekleri sürdürülebilir değildir ve gelecekte çevresel ve insan hayatıyla ilgili sorunlar yaratma potansiyeli oldukça yüksektir. Araçların yakıt tüketimi ve emisyonlarında verimlilik sağlansa bile araç sayısı gün geçtikçe artmakta ve araçlar daha uzun mesafelerde kullanılmaktadırlar. Bazı tahminler küresel atık oluşumunun 2025'e kadar 5 kat artacağını göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde 1977 ile 1997 arasında kişi başı atık oluşumu 3 kat artmıştır.

Üretim ve tüketim biçimleriyle ilgili belirteçler dört alt tema altında toplam dokuz tanedir. Bunlar malzeme tüketimi alt teması için malzeme kullanım yoğunluğu; enerji kullanımı alt teması için kişi başı yıllık enerji tüketimi, yenilenebilir enerji kaynağı tüketiminin toplam tüketime oranı ve enerji kullanım yoğunluğu; atık oluşumu ve yönetimi alt teması için endüstriyel ve belediyelere ait katı atık oluşumu,

tehlikeli atık oluşumu, radyoaktif atık oluşumu ve atık dönüşümü ve yeniden kullanılması; ve ulaştırma alt teması için ulaştırma türüne göre kişi başı katedilen yol belirteçleridir.

Malzeme kullanım yoğunluğu belirteci tüketin mineral, metal ve dönüştürülmüş (ikinci kez kullanılan) malzemelerin birim GSYH başına miktarı olarak belirlenir. Birimi tüketilen malzemeye göre kg, ton, m³ / 1000\$ GSYH olur. Belirteç üretim, malzeme işleme ve atık imhasından kaynaklanan çevresel yıkımı azaltmak ve doğal kaynakları korumak için hammaddelerin daha verimli kullanılmasını hedefleyen politikalara bir temel oluşturur. Belirteç ayrıca doğal kaynakların ve yeniden kullanma ve geri dönüşüm eğilimlerinin analiz edilmesi için de kullanılabilir. Belirteç için herhangi bir uluslararası standart veya hedef yoktur.

Kişi başı yıllık enerji tüketimi belirteci kişi başı belli bir yıldaki belli bir bölge veya ülkede mevcut olan sıvı, katı, gaz ve elektrik enerjileri miktarlarının ölçüsüdür. Birimi giga joule'dur. Belirteç genelde enerjiye erişim, enerji kullanımı, bireysel ve endüstriyel enerji tüketim biçimleri ve toplumun enerji yoğunluğu gibi değerleri ölçmek için kullanılır.

Enerji endüstriyel kalkınma ve hayat kalitesini yükselten hayati hizmetlerin sağlanmasında kilit etkindir. Fakat enerji üretimi, yan ürünleri kaynak kullanımı ve kirlilik oluşması açılarından çevre için başlıca baskılardan biri olmuştur. SK için her iki ekonomik kalkınma ve çevrenin korunması gerekli unsurlardandır. Bu yüzden çevreye daha az zarar veren enerjilere yönelmek SK'ya ulaşmada en doğru yoldur.

Yinelenebilir enerji kaynağı tüketiminin toplam tüketime oranı belirteci ülkenin enerji tüketiminin yinelenebilir enerjiden elde edilen payıdır. Birimi yüzde (%)'dir. SK'yı sağlamak enerji kullanımının verimli hale getirilmesi ve çevreye dost olan yinelenebilir enerjilerin kullanılmasıyla mümkün olabilir. Ekonomik gelişmeyi gerçekleştirmede vazgeçilemeyecek unsur olan enerji üretimi ve tüketiminin sürdürülebilir olması için çevreye daha az zararlı hale getirilmesi gerekir. Bu yinelenebilir enerji kullanımıyla mümkün olabilir. Belirteç bir anlamda ülkenin sürdürülebilirlik ölçüsüdür.

Enerji kullanım yoğunluğu (EKY)'yi ölçmek için çeşitli belirteçler kullanılır. Bunların ilki birim GSYH başına enerji kullanımıdır. Bu belirteç toplam enerji kullanımının GSYH'ya oranıdır. Birimi mega joule / \$'dır. Toplam enerji kullanımı

GSYH oranındaki eğilimler enerji kullanımıyla ekonomik gelişme arasında genel bir ilişki göstererek enerji tüketimi ve çevresel etkileriyle ekonomik gelişmeyi projelendirme gayretlerine kaba bir temel oluşturur. Enerji ile ilgili politika üretmek için sektörel veya alt sektörel yoğunluklar kullanılmaktadır.

EKY ile ilgili sektörel enerji kullanım yoğunlukları dört ayrı belirteç yardımıyla belirlenir. Bunlar ticaret ve hizmet sektöründe EKY, üretim sektöründe EKY, yerleşim sektöründe EKY ve ulaşırmada EKY olarak sıralanabilir. Ticaret ve hizmet sektörü ve üretim sektöründe EKY belirteçleri çıktı (ürün veya ürünün değeri) başına enerji kullanımı; yerleşim sektöründe EKY yıllık kişi veya hane başına enerji kullanımı, ulaşırmada EKY ise sefer, taşınan yolcu veya gidilen yol başına enerji kullanımı olarak hesaplanır. Bu belirteçler tek başlarına veya hepsi beraber sürdürülebilir enerji politikalarının geliştirilmesinde kullanılabilirler.

Endüstriyel ve belediyelere ait katı atık oluşumu belirteci üretilen atık miktarının üretildiğini andaki ağırlığı kullanılarak bulunur. Belirteç değeri bu şekilde hesaplanan yıllık atık miktarının toplam nüfusa bölünmesiyle elde edilir. Birimi kişi başı ton/yıl'dır. Belirtecın amacı tüm insan yerleşim faaliyetlerince üretilen katı atık miktarını temsil etmektir. Belirteç olarak atık oluşumu belli bir ülkedeki ekonomik faaliyetlerle yakın bağlantılıdır. Atık oluşumu hammadde tüketim biçimiyle de ilgilidir. Bir çok gelişmiş ülkede atık oluşum miktarının azalması hammaddeyle ilgili tüketim biçiminin değişmesinin ve geri dönüşüm ve yeniden kullanımın artmasının göstergesidir. Belirteçle ilgili uluslararası bir standart yoktur. Buna rağmen bazı ülkeler belli zaman içinde katı atık oluşumunu azaltmaya yönelik ulusal hedefler belirlemişlerdir.

Tehlikeli atık oluşumu belirteci endüstri veya başka atık oluşturan faaliyetler sonucunda ortaya çıkan toplam yıllık tehlikeli atık miktarının ölçüsüdür. Tehlikeli atık tanımı çeşitli uluslararası anlaşmalarda belirlenmiştir. Belirtecın birimi birim GSYH başına metrik ton veya ton'dur. Belirteç her ülkedeki sanayileşme çeşidi ve büyüklüğüyle ilgili bilgi verir. Tehlikeli atıkların oluşumu bu atıkların etkisinde kalan çevreye ve insanlara doğrudan zarar verir. Belirteç değeriindeki azalma sanayi faaliyetlerinin azaldığını, endüstriyel süreçlerde temiz üretimin benimsendiğini veya tüketici alışkanlıklarının değiştiğini gösterebilir. Belirteç için sayısal bir hedef yoktur. Agenda 21'de bütünleşik daha temiz üretim yaklaşımının parçası olarak tehlikeli atık oluşumunun önlenmesi veya en küçüklenmesi tavsiye edilir.

Radyoaktif atıklar nükleer enerji üretimi, diğer nükleer enerji gerektiren faaliyetler ve rodyoizotop üretimi ve ilaç, tarım, endüstri ve araştırma sektörlerindeki kullanımı sonucunda oluşabilir. Radyoaktif atık oluşumu belirteci yıllık m^3 olarak toplam üretilen radyoaktif atık miktarının ölçüsüdür. Belirtecin amacı nükleer yakıt döngüsü ve nükleer uygulamalardan kaynaklanan radyoaktif atık akışını sayısallaştırmaktır. Böylece bu tip atıkların yönetimi gerçekleştirilebilir. Radyoaktif atıklar uygun yönetilmezse radyasyona maruz kalan insan ve çevre üzerinde vahim etkiler yaratabilir. Bu yüzden uygun atık yönetim stratejilerinin ve teknolojilerin uygulanması gerekir. radyoaktif atık yönetiminin temel prensipleri atık oluşumunun en küçüklenmesi ve işleyiş, depolama ve imha edilme süreçlerinde sistematik adımların izlenmesini içerir.

Atık dönüşümü ve yeniden kullanılması belirteci toplam üretilen atık miktarına göre dönüştürülen ve yeniden kullanılan atık miktarıdır. Birimi yüzde (%)’dir. katı atık dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması sürdürülebilir katı atık yönetiminin önemli bir parçasıdır. Belirteç için uluslararası bir hedef yoktur.

Ulaştırma türüne göre kişi başı katedilen yol belirteci belli bir yıldaki kişi başı farklı ulaşım türleriyle kat edilen yolun ölçüsüdür. Birimi kişi başı km/yıl’dır. ulaşım bir ülkenin ekonomik ve sosyal hayatının önemli bir parçasıdır. Motorize olmayan taşıma araçları çevre üzerine en az etki eden araçlardır. Ayrıca fiziksel hareket gerektirdikleri için sağlığa da yararlıdır. Fakat bu sadece şehir içi kısa mesafelerde kullanılabilir. Daha uzun mesafelerde ulaşımı sağlamanın tek yolu motorize taşımacılıktır. Fakat bunun çevre kirliliği, küresel ısınma ve kazalar gibi kötü çevresel ve sosyal sonuçları vardır. Sürdürülebilirlik en uygun ulaşım türünün kullanılmasını gerektirir. Bunun için ulaşım ihtiyacını azaltacak, çevreye daha az zarar veren ulaşım türlerine geçişi sağlayacak, güvenliği arttıracak, toplu taşıma standartlarını yükseltecek politikalar gereklidir. Belirteç için uluslararası bir hedef yoktur.

2.4.14 Kurumsal Çerçeve

Uygun yasa ve politika araçları, SK’yı teşvik etmek ve uygulamak için kurumsal bir çerçeve gibi gereklidir. Sosyal, ekonomik ve çevresel faktörlerin bütünleşmesi, bu tür araçların önemli bir özelliğidir. Ülkeler tarafından sağlam SK stratejilerinin ve uluslararası sözleşmelerin uygulanması, gelişmiş sosyoekonomik ve çevresel şartlara

katkıda bulunmalı ve ülkeler arası muhtemel çatışmaları azaltmaya yardımcı olmalıdır.

Agenda 21, ulusal SK stratejilerinin benimsenmesi çağrısında bulunmuştur. Bu tür stratejilerin hedefi, çevre ve doğal kaynak zeminlerini gelecek nesiller için korurken sosyal açıdan sağduyulu ekonomik kalkınmayı sağlamaktır. Stratejiler, mevcut öncelikleri yansıtan çevre hareket planları gibi varolan teşebbüsler üzerine kurulmalı ve gelişen konuları hesaba katmalıdır. Toplumun tüm kesimlerinin muhtemel en geniş katılımı ve ilgisi üzerine oluşturulmalıdırlar. Agenda 21, ulusal ve uluslar arası yasal araçların ve mekanizmaların SK'yı başarmadaki etkinliklerinin geliştirilmesini savunmaktadır. Bu bağlamda, hareket planı geliştirmekte olan ülkelerin uluslararası hukukun oluşumunda katılımını; uluslararası yasa araçları arasındaki koordinasyonu ve tutarlılığı ve uluslararası hukukla ilgili yeni ve geliştirmekte olan SK konularının belirlenmesini destekler.

Dünya Zirvesi'nden bu güne, ülkeler SK'nın uygulaması için uygun kurumsal bir çerçevenin saptanmasında hatırı sayılır ilerleme kaydetmişlerdir. Bu ilerleme, sosyal, ekonomik ve çevresel öncelikleri bütünleştirmeye amaçlanmış ulusal stratejilerin geliştirilmesini, küresel anlaşmaların uygulanmasının imzalanması, kabul görmesi ve başlatılması hareketini içermektedir. Strateji türlerinde, ulusal öncelikleri ve şartlardaki önemli farklılıkları yansıtan çeşitlilik vardır. Ulusal stratejilere ilaveten, bir çok ülke Akdeniz Hareket Planı gibi bölgesel stratejilere de iştirak etmiştir. Bununla beraber, geliştirmekte olan ülkeler için, ulusal stratejilerin hazırlanması ve uluslararası anlaşmaların uygulanması için teknik ve finansal kapasitenin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Kurumsal çerçeve konusu altındaki çekirdek belirteçler, bir ülkenin parçalanmış bir bölge anlayışından bütünsel, bütünleşik bir SK sürecine yer değiştirmeye olan isteğini ve katkısını işaret ederler. Seçilen Ulusal SK Stratejisi ve Onaylı Global Anlaşmaların Uygulanması belirteçleri, bütünleşik karar vermenin ve denem ülkeleri tarafından önerilen uluslararası anlaşmaların anahtar konularını temsil ederler. Her iki belirteç de nispeten geliştirilmesi kolaydır, ve SK'ya katkısı olan kapsamlı kurumsal faaliyetleri yansıtır. Hedef olarak, ülkelere 2002 yılı itibarıyla kurumsal paydaşların menfaatlerini yansıtır şekilde etkili ulusal SK stratejileri geliştirmiş olmaları beklenmektedir.

2.4.15 Kurumsal Kapasite

Bir ülkenin SK doğrultusundaki başarısı büyük ölçüde insanların ve kurumlarının kapasitesi ile belirlenir. Kapasite, bir ülkenin insani, bilimsel, teknolojik, kurumsal, organizasyonel ve kaynak kapasiteleri ile ölçülebilir. Kurumsal Kapasite, SK konusunda katılımcı planlama, uygulama ve kontrolü geliştirir. Kapasitedeki bir artış kritik soruları belirleme, politika seçeneklerini değerlendirme, yaklaşımların uygulanması, kısıtları ve limitleri belirlemedeki toplum yetenek ve becerilerini geliştirir.

İletişim sistemleri, bilgiye erişim ve ulaşılabilme, bilime ve teknolojiye destek, doğal afetlerin önlenmesi ve hafifletilmesinin hepsi bir ülkenin Kurumsal Kapasite' nin bileşenleridir. Veri ve bilgi zenginliğine ulaşılabilse bile, uygun ölçeğin ve birimin bulunması her zaman kolay değildir. Bu durum, modern iletişim altyapısının bulunmadığı hallerde daha da kötü haldedir. Bu bağlamda, SKK, elektronik enformasyonun artan talebine karşı ulusal telekomünikasyonları cevap vermeye hazırlamada küçük bir başarı kaydetmiştir. Sağlık ve eğitim servislerinin yenilikçi dağıtımları, uzak alanların izolasyonunun hafifletilmesi ve ulaşım duyulan ihtiyacın azaltılması, çağdaş elektronik ve telekomünikasyon sistemlerinden elde edilen somut SK faydalarının bir kısmını temsil etmektedir.

Bilim ve teknoloji, ekolojik ve sosyal süreçlerin daha iyi kavranması, kaynak kullanımının etkinliğinin geliştirilmesi ve mevcut şartların ve gelecekteki beklentilerin sistematik değerlendirilmesi alanlarında SK'da karar vermenin iyileştirilmesi için ana arterleri temsil eder. Agenda 21 bu potansiyeli en büyükmek için, bilim adamları, karar vericiler ve kamuoyu arasında disiplinler arası araştırma ve daha iyi iletişimi savunmaktadır. Önemli rolüne rağmen, araştırma ve geliştirmeye yapılan yatırımlarda dahil bilimsel çalışmaların finansmanı 1992'den bu yana birçok ülkede düşüş göstermiştir.

Doğal Afetlerin Azaltılması İçin Uluslararası On Yıl'a ilaveten, Birleşmiş Milletler Genel Kurulu Uluslararası Afet Zararlarının Azaltılması Stratejisi' ni kabul etmiştir. Bu programın amaçları, toplumların doğal afetler, teknolojik ve çevresel tehlikelerin etkilerine karşı kendini çabuk toparlamasını mümkün kılmak ve SK ile afetlerden korunma stratejilerini bütünleştirmektir.

Kurumsal Kapasite, SK doğrultusunda ilerlemeyi kolaylaştırmak için önemli bir vasıta. Bu konu için seçilen belirteçler, bilgiye erişim, iletişim altyapısı, bilim ve

teknoloji, doğal afetlere karşı hazırlılık ve karşılık vermedir. Bu belirteçler, deneme ülkeler için önemli sorunları temsil etmektedir. Dört belirteç, esas olarak ulusal boyutta ve ölçülmeye uygundur. Gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelere faydalı olacak şekilde yapılandırılmışlardır.

Bu bölümde SK'dan, SK'yı ölçmek için geliştirilmiş belirteçlerden ve ayrıntılı olarak SKK tarafından geliştirilen belirteçlerden bahsedilmiştir. Sonraki bölümde SK düzeyini ölçmek ve ülkelerin göreceli SK karşılaştırmalarını gerçekleştirmek için geliştirilmiş model yaklaşımları ayrıntılı olarak incelenecektir.

3 ÜLKELERİN GÖRELİ SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA KARŞILAŞTIRMALARINA YÖNELİK MODEL YAKLAŞIMLARI VE ELEŞTİRİLERİ

Ülkelerin görelî SK karşılaştırmalarına yönelik model yaklaşımları sürdürülebilirliğin devlet politikalarında yerini almasıyla geliştirilmeye başlanmıştır. Yöntemlerin bazıları uygulanabilecek politikaların sürdürülebilirliğe etkisini önceden görebilmek; bazıları ise mevcut ilerleyişin sürdürülebilir olup olmadığı değerlendirmek için geliştirilmiştir. Çalışmada Türkiye'nin diğer ülkelere göre durumu inceleneceği için ikinci tür yöntemler üzerinde durulmuştur.

Geliştirilen yöntemlerin ortak özelliği ölçüm için belirteç kullanmalarıdır. Bunun nedeni sürdürülebilirliğin doğrudan ölçülmesinin mümkün olmaması ve ölçülebilecek bileşenlere yani belirteçlere ayrılması gerektiğidir. Buradan yöntemlerin genel metodolojisi sürdürülebilirliği belirteç düzeyine kadar parçalara bölmek ve belirteç değerlerine göre parçaları tekrar birleştirmek olarak görülebilir.

Mevcut yöntemlerin birbirlerinden farkı sürdürülebilirliği bileşenlere ayırmada ve belirteç değerlerinden südürebilirliğe karar vermedir. Sürdürülebilirliği bileşenlere ayırmada farklılık yöntemlerin sürdürülebilirliği farklı bakış açılarından kaynaklanır. Bazı yöntemler (AMOEBİA [21] ve ECOCAPACİY [9] gibi) sürdürülebilirliğin sadece çevresel boyutunu hesaba katarken bazıları (Pearce ve Atkinson [20] gibi) sadece ekonomik boyutuyla ilgilenmişlerdir. Sonrada geliştirilen yöntemler ise sürdürülebilirliğin tüm boyutlarını göz önüne almışlardır (Refah Değerlendirmesi [18] ve SAFE [9] gibi). Ayrıca aynı boyutları göz önüne alan yöntemlerde bile bu boyutların farklı belirteçlerle ifade edilmesi mümkündür.

Yöntemlerin belirteç değerlerinden sürdürülebilirlik düzeyinin belirlenmesinde farklı yaklaşımları, çok ölçütlü karar verme yöntemlerindeki değişik değerlendirmelerden ve belirteçlerin sürdürülebilirlikteki önemlerinin farklı görülmesinden kaynaklanır. Farklı ölçekteki ve sürdürülebilirlik için farklı önemdeki belirteçlerin birleştirilmesi, bir çok ölçütlü karar verme modeli teşkil eder. Belirteçlerin aynı ölçekle ifade edilmesi, ağırlıklarının belirlenmesi, eşit değerlerini oluşturulması gibi

değerlendirmeler yöntemlerin farklı yanlarıdır. Tablo 3.1’de mevcut yöntemler yayınlandıkları yıl ve geliştiren kişi veya kuruluş ile birlikte verilmiştir.

Tablo 3.1 Mevcut sürdürülebilirlik ölçüm yaklaşımları

Yayınlandığı yıl	Yöntemin adı	Geliştiren
1991	AMOEBA belirteçleri	Brink, B.J.E.T.
1992	ECOCAPACITY belirteçleri	RMNO ⁴
1993	Perarce ve Atkinson Belirteçleri	Pearce D.W., Atkinson GD.
1994	OECD baskı, Durum, Tepki Belirteçleri	OECD
1995	Refah Değerlendirmesi	Prescott-Allen R.
2000	SAFE yöntemi	Phillis Y.A., Andriantiansaholiniaina L.A
2004	Pearce	Pearce D.W.

Sonraki bölümlerde basit yöntemlere örnek olması için Corson yöntemi, yaygın kullanımı ve geçerliliği olduğu için Refah Değerlendirmesi yöntemi ve bulanık mantık kullanarak sürdürülebilirliğe farklı bir bakış açısı sunduğu için SAFE yöntemi ayrıntılı olarak incelenecektir.

3.1 Corson Yöntemi

Corson sürdürülebilirliği ulusal düzeyde incelemek için basit bir yöntem önermiştir. Bu yöntem ile nüfusuna göre İsviçre’den ABD’ye değişen 10 endüstriyel devlet değerlendirilmiştir. Yöntemde önce sürdürülebilirliğin 12 boyutunun (Doğal kaynaklar ve çevre, ulaştırma ekonomisi, sosyo-ekonomik eşitlik, sosyal çevre, nüfus, sağlık, eğitim, kültür, eğlence, politik katılım, yerel yönetim etkinliği) çoğu için belirteçler belirlenmiştir. Doğal kaynaklar ve çevre için 25 ve ekonomik, sosyal, kültürel ve politika boyutları için 33 belirteç seçilmiştir. Yirmibeş çevresel belirtecin 15’i baskıyı, 5’i mevcut durumu ve 5’i de tepkiyi ölçen belirteçler olmuştur [8].

Her belirteç için en güncel veri 0-100 ölçeğinde bir değerle ifade edilmiştir. Burada 0 en düşük sürdürülebilirliği, 100 ise en yüksek sürdürülebilirliği temsil etmektedir. En düşük ve en yüksek sürdürülebilirlik değerlendirilen ülkelerden belirteç değeri artması istenen bir kriterse sırasıyla en düşük ve en yüksek olana göre; azalması istenen bir kriter ise sırasıyla en yüksek ve en düşüğe göre belirlenir. Aralardaki değerler normalizasyonla bulunur. Örneğin mevcut tatlı su kaynaklarının yıkımı (yüzde olarak) belirteci sürdürülebilirlik için azalması gereken bir kriterdir. Bu belirteç değeri en yüksek olan İsrail (%88), en düşük puan yani 0, belirteç değeri en

⁴ RMNO: Hollanda Doğa ve Çevre Araştırmaları Danışma Konseyi

düşük olan Norveç (%0) 100 puan ve belirteç değeri %19 olan ABD $[100 \cdot (88 - 19) / (88 - 0)] = 78$ puan alacaktır.

Tablo 3.2 On endüstriyel ülke için Corson sürdürülebilirlik göstergesi [8]s.338

	ABD ⁵	JAP	ALM	ITA	IN	FRN	KAN	HL	İŞÇ	İSV
Nüfus, milyon	251	124	63,2	57,7	57,4	56,4	26,6	14,9	8,5	6,7
Çevresel Sürdürülebilirlik Alt Göstergeleri										
Enerji (2) ⁶	29	69	41	59	44	51	26	39	78	93
Petrol fiyatı (1)	0	54	52	100	52	71	24	70	88	52
Alüminyum tüketimi (1)	0	0	0	42	71	50	4	42	21	37
Malzeme yeniden kullanımı (3)	45	77	76	66	37	63	27	96	66	83
Beledi katı atıklar (1)	0	74	86	89	80	89	38	63	86	70
Tehlikeli atıklar (1)	62	98	73	91	77	96	100	42	99	96
Sera gazı emisyonları (1)	49	81	80	96	85	97	59	89	98	100
Asitleşme (3)	20	67	55	73	58	63	10	69	54	86
Ortak hava kirleticileri (1)	22	-	76	100	65	92	0	94	71	97
Ozon tüketici emisyonları (1)	53	0	70	72	70	72	75	79	89	100
Tatlı su (2)	39	71	75	64	80	76	61	71	94	91
Besin ve tarım (2)	77	15	50	4	36	27	100	18	60	31
Ormanlar (2)	23	57	28	38	50	25	47	17	59	20
Yaşam ortamları korunması (1)	38	22	100	14	69	31	17	34	13	9
Vahşi hayat (3)	52	45	76	72	57	60	92	77	78	66
Çevresel Sürdürülebilirlik Göstergesi	34	52	63	65	62	64	45	60	70	69
Sosyo-Ekonomik Sürdürülebilirlik Alt Göstergeleri										
Ulaştırma (4)	16	51	25	27	20	23	43	17	37	15
Ekonomi (5)	72	88	73	35	52	59	67	71	71	76
Sosyoekonomik eşitlik (3)	38	58	53	58	52	53	48	75	91	34
İnsan gelişimi (3)	91	100	60	27	77	85	99	84	93	94
Barınma (1)	82	44	87	21	-	36	100	-	90	95
Telefon (1)	88	57	61	51	46	64	86	70	89	100
Gazete ve radyo (2)	66	64	46	16	53	28	34	38	59	51
Güvenlik (2)	34	94	69	65	71	62	83	85	89	84
Nüfus (4)	44	42	86	80	68	64	44	71	73	66
Sağlık (2)	54	100	45	51	52	64	72	74	81	77
Eğitim (1)	100	72	78	11	87	87	96	70	78	78
Politikaya katılım (3)	42	48	68	83	42	40	61	91	95	100
Devlet istikrarı ve etkinliği (2)	50	88	86	53	30	52	72	77	98	100
Sosyo-Ekonomik Sürdürülebilirlik Göstergesi	60	70	64	39	54	55	70	69	80	75

Yirmibeş çevresel ölçek onbeş alt göstergede Tablo 3.2’de gösterildiği gibi gruplaşmıştır. Sonra çevresel sürdürülebilirlik göstergesi (ÇSG) her alt göstergeye eşit ağırlık vererek ve ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde sosyoekonomik sürdürülebilirlik göstergesi (SSG) de 13 alt göstergenin ortalaması alınarak bulunmuştur.

⁵ Kısaltmalar: ABD: Amerika Birleşik Devletler, JAP: Japonya, ALM: Almanya, ITA: İtalya, IN: İngiltere, FRN: Fransa, KAN: Kanada, HL: Hollanda, İŞÇ: İsveç, İSV: İsviçre

⁶ Alt göstergelerin yanında parantez içinde o alt göstergesi oluşturan belirteç sayısı verilmiştir.

Tablo 3.2'deki değerlerden ülkelerin alt göstergelere göre sürdürülebilirlik durumu incelenebilir. Genel görüntü için ise ÇGS ve SSG değerlerine bakmak gerekir. Çalışmada çevresel ve sosyoekonomik göstergeler birleştirilerek toplu sürdürülebilirlik göstergesi hesaplanmasına gidilmemiştir.

Çalışmada sonraki aşamada belirteçler ve gösterge değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Buna göre ÇGS ile nüfus büyüklüğü arasında negatif bir ilişkinin, yine ÇGS ve nüfus göstergesi arasında pozitif ilişkinin olduğu görülmüştür. Sonuç olarak ise kalabalık nüfuslu ekonomik çıktısı yüksek olan endüstriyel ülkelerin küçük ekonomili ve az nüfuslu ülkelere göre çevresel olarak sürdürülebilirliği daha az sağladığı belirlenmiştir.

3.1.1 Corson Yönteminin Değerlendirmesi

Yaklaşım belirteç değerlerinden aritmetik ortalama ile doğrudan sürdürülebilirliğe geçtiği için düz mantığa dayanan ilkel bir yöntemdir. En önemli sorunları belirteç puanları hesaplanmasında ve belirteçlerden alt göstergelerin ve alt göstergelerden göstergelerin elde edilmesindedir.

Belirteç puanları hesaplanırken en yüksek ve en düşük değerli veriler referans olarak alınmıştır. Burada istenen değer (sürdürülebilirlik için gerekli değer) göz önüne alınmayarak sürdürülebilirliğin durumu elde edilemez; yalnızca ülkelerin karşılaştırması sağlanmış olur. Ayrıca ara değerlerdeki veriler doğrusal normalizasyonla bulunmuştur. Bu her belirteç için geçerli bir ölçü olmayabilir.

Gösterge değerleri elde edilirken göstergeyi oluşturan alt göstergelerin ağırlıkları eşit alınmıştır. Fakat her alt göstergenin sürdürülebilirliğe katkısı eşit olmayabilir. Ayrıca belirteçlerin birbirlerine etkileri göz ardı edilmiştir.

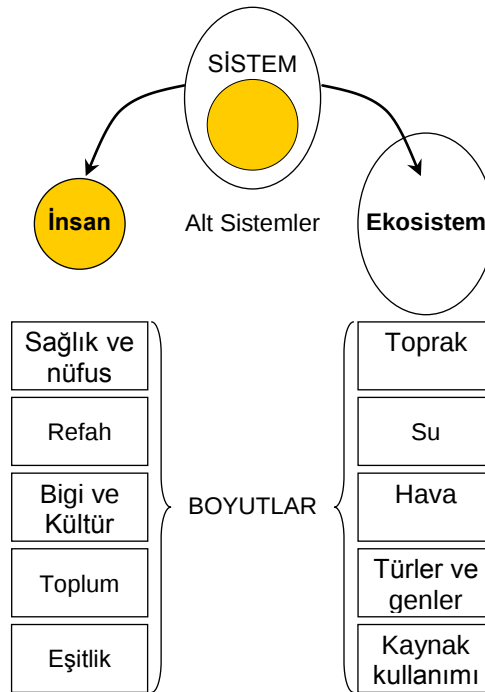
Yöntem az sayıda ülkeye uygulanmıştır. Ülke sayısı arttıkça bahsedilen sorunlardan dolayı gösterge değerleri değişecektir. Yeni ülkeler değerlendirmeye alınınca mevcut ülkelerin sıralaması da değişebilir.

3.2 Refah Değerlendirmesi

Prescott-Allen tarafından geliştirilen “Refah Değerlendirmesi” yöntemi toplumların refahını ve sürdürülebilirliğe doğru ilerlemesini ölçmek ve açıklamak için bir araçtır[18]. Yöntem belirteçlerin organize edilmesi ve birleştirilmesi için sistematik bir yol sağlar. Böylece yöntemi kullananlar insanların ve ekosistemin durumu ve

insan ekosistem etkileşiminin etkileriyle ilgili yargıya varabilirler. Ayrıca yöntem insan ve ekosistem refahı resmini ortaya koyarak köylüden devlet başkanına herkesin görsel karara varmalarını sağlar.

Yöntem kavramsal taban olarak refah yumurtası eğretilmesi olarak görülebilir. Ekosistemin insanları çevrelemesi ve desteklemesi; yumurtanın beyazının sarısını çevreleyip desteklemesi gibidir. Şekil 3.1’de bu yapı görülmektedir. Yumurtanın iyi olması için beyazının ve sarısının iyi olması gerektiği gibi toplumun iyi ve sürdürülebilir olması için de insanların ve ekosistemin iyi olması gerekir.

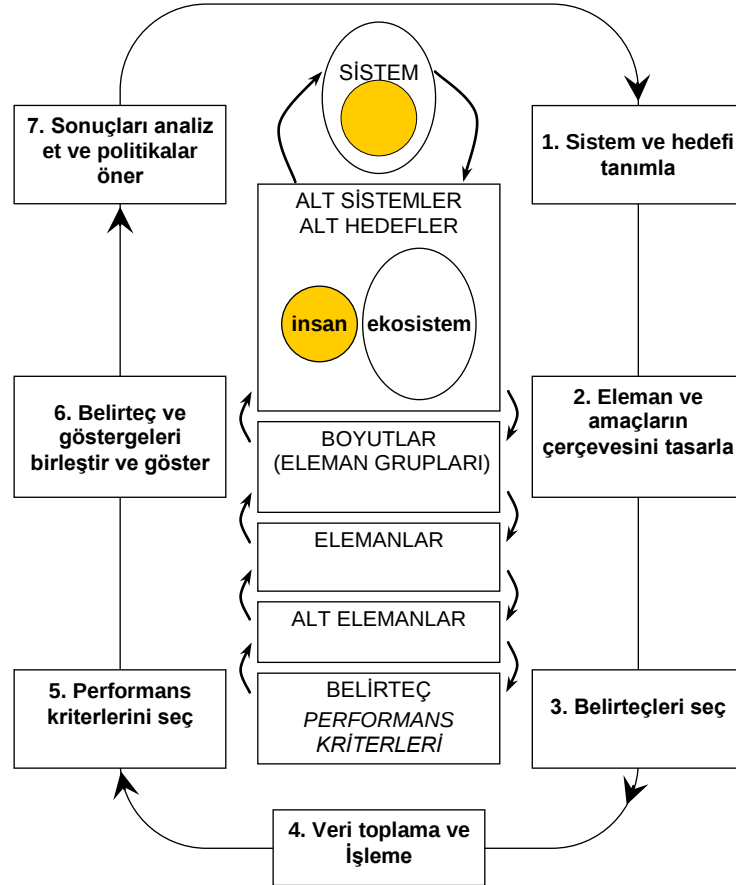


Şekil 3.1 Refah Yumurtası ve sistem, alt sistemler ve boyutların refah değerlendirme yapısı [18]s.2

Sosyoekonomik ve çevresel durumları karşılaştırabilmek ve ikisini birden geliştirmek için sistem iki alt sisteme bölünmüştür. Sonra da her ekosistem beş boyuta bölünerek refah değerlendirme yaklaşımını kullanan tüm yöntemler için ortak bir çerçeve oluşturulmuştur. Çerçeve kullanıcılara kendi belirteçlerini seçme ve kendi durum ve ihtiyaçlarına göre değerlendirme üretme imkanı verir. Boyutlar geniş olanlı, konuların aşağı yukarı benzer yapılı ve uzman olmayanlar tarafından kolayca anlaşılabilen az miktarda sınıfa gruplanmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Boyutlar insan ve ekosistem refahıyla ilgili yaygın önemli değerlendirmeleri kapsayacak kadar özgül, sadece bazı toplumlar için geçerli özel konuları barındırabilecek kadar geniş ve esnek.

3.2.1 Refah Değerlendirme Çevrimi ve Süreci

İnsan ve ekosistem refahını doğrudan ölçmek mümkün olmadığı için değerlendirmeler kendi niteliklerinin belirteçlerini seçmelidirler. Belirteçlerin önemi iyi kavrandığında ilkten doğru seçilmeleri gerektiği ortaya çıkar. Fakat verilen belirteç kümesinin insan ekosistem bileşimini ne kadar iyi temsil ettiği, hangi yönlerin göz ardı edildiği, belirteçlerin ne kadar üstüste bindiği veya ne kadar birbirleriyle bağdaştığı gibi hususlar genelde baştan belli olmaz. Belirteçlerin değerlendirme sürecine katılması veri toplama ve veri analizi gerektirdiği için yanlış seçilen belirteçler kullanıcıya pahalıya patlar. Sonuç olarak ölçülmesi gereken özelliklerin belirlenmesi ve sonra her özelliği temsil edilebilir ve ölçülebilir yanlarının ortaya çıkarılması için öncelikle insan ve ekosistem refahı kavramlarının tespit edilmesi gereklidir [18].



Şekil 3.2 Refah değerlendirme çevrimi [18]s.3

Refah Değerlendirmesi bunu parçalar ve amaçlar hiyerarşisinde aşağı doğru giderek ve Şekil 3.2’de gösterilen sistem ve amaçtan belirteç ve performans ölçütlerine kadar bir seri basamak taşı sağlayan çevrimle gerçekleştirir. Bu adımlar sistemi bütün olarak ve insanların kendileri ve çevreleri için hedeflerini temsil edebilecek

belirteçlerin oluşturulmasını garanti altına alır. Böylece her belirteç sadece temsil ettiği elemanın veya alt elemanın bilgisini taşır. Tüm sistemin ve hedefe doğru ilerlemenin genel görüntüsünü elde etmek için belirteçler bir gösterge değeri oluşturacak şekilde birleştirilmelidir. Mantıklı ve açık bir birleştirme yordamı sağlamak için belirteçleri elde etmek için takip edilen adımlar tersine çevrilerek belirteçlerden sisteme, hiyerarşide yukarıya doğru bir yol izlenir.

Şekil 3.2’de gösterilen refah değerlendirme çevrimi sağ taraftan saat yönüne doğru hareketle başlar, belirteçler aşağıya doğru parçalar (sistem→elemanlar→belirteçler) ve amaçlar (hedef→amaçlar→performans kriterleri) hiyerarşisinin ortasına kadar seçilir ve yukarıya doğru birleştirilir. Refah Değerlendirmesi 2. ile 5. adımları arası insan ve ekosistem alt sistemleri için ayrı yürütülen 7 adımdan oluşmaktadır (Şekil 3.2)

Adım 1. Sistem ve hedefin tanımlanması

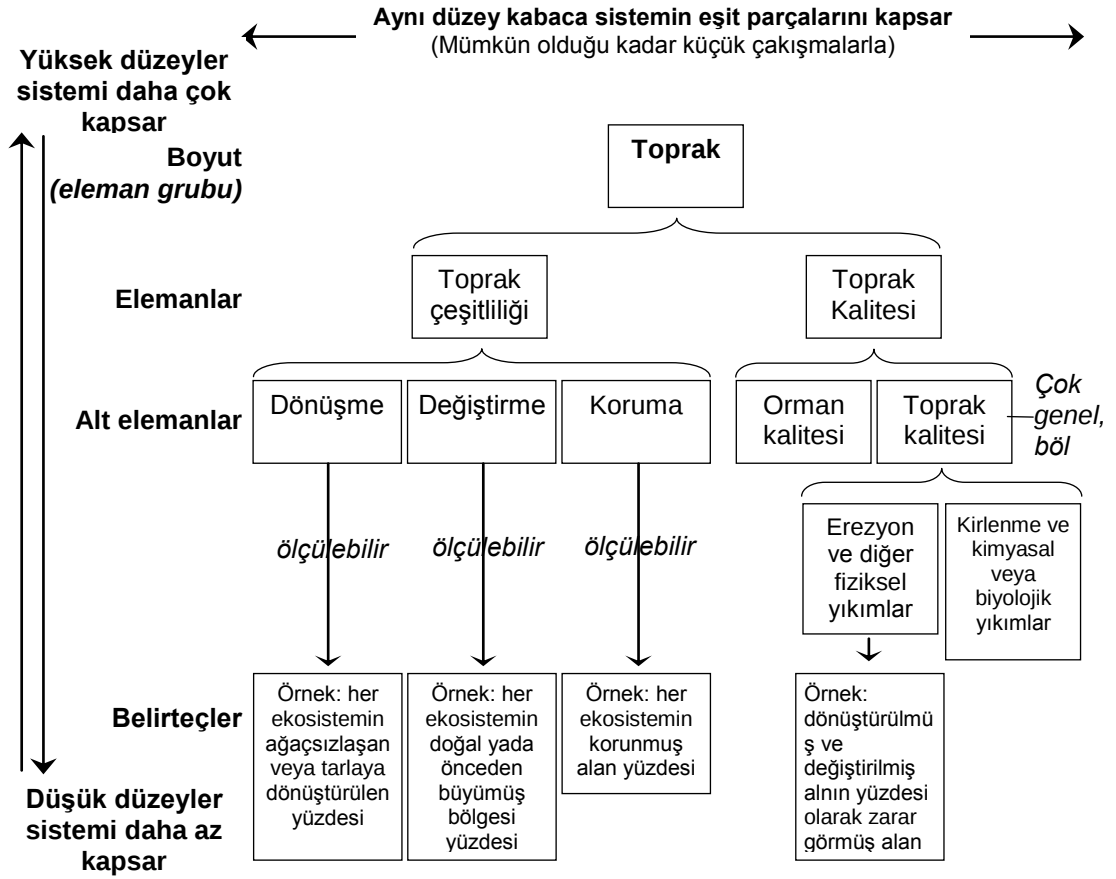
Sistem, değerlendirilecek alandaki insan ve ekosistemlerden oluşur. Sistemin tanımlanması bölgenin içerisinde insan ve çevresel durumların değiştiği parçalara bölünmesine karar vermeyi içerir. Refah Değerlendirmesi’nin gele bir hedefi vardır: “Yüksek insan ve ekosistem refahı”. Bununla birlikte uygulayıcılar yüksek insan ve ekosistem refahı merkezi nitelik olması koşuluyla kendi hedeflerini tanımlayabilirler.

Adım 2. Eleman ve amaçların çerçevesini tasarlama

Bu adım insan ve ekosistem için ayrı olarak yürütülür. Burada amaç insan ve ekosistem refah düzeylerini ölçmek için alt sistemleri, elemanları ve belirteç gruplarını kapsayan bir hiyerarşi oluşturmaktır. Hiyerarşi oluşturulurken Şekil 3.1’deki alt sistemler ve boyutlar temel alınır ve bunlar ölçülebilecek belirteç seviyesine kadar alt parçalara bölünür. Şekil 3.3’de ekosistem alt sistemi toprak boyutu için hazırlanan örnek bir hiyerarşi verilmiştir. Hiyerarşide aynı seviyedeki bileşenler aynı büyüklükte olmalı ve mümkün olduğunca birbirinin üstüne binmemelidir. Alt düzeyler üst düzeylere göre boyut olarak daha dar ve daha açık olmalıdır.

Çerçevenin iyi tasarlanmış olması aşağıdaki özellikleriyle ortaya çıkar:

- ✓ Sistemin başlıca parçalarını teşhis etmelidir,
- ✓ Bir parçayı bir kereden fazla ölçmeyi engellemelidir,



Şekil 3.3 Boyuttan belirteçlere kadar hiyerarşiyi gösteren ekosistem refahı çerçevesinin bir parçası [18]s.6

- ✓ Önemli parçaları atlamayı önlemelidir,
- ✓ Kaçınılamaz boşluklara dikkat çekilmelidir,
- ✓ Har parçaya uygun ağırlık ve değer verilmelidir,
- ✓ Parçaların seçimi ve ağırlıklandırılması altındaki mantık belirtilmelidir,
- ✓ Parça grupları arasındaki kilit ilişkileri ölçmelidir,
- ✓ Belirteçleri sadece temsil ettikleri parçadan değil parça grupları ve sistemin tümünü ölçecek şekilde birleştirmelidir.

Uygulayıcılar her eleman ve alt eleman için bunların yararını, önemli ve ilgili parçalarını ve aranan performans düzeylerini belirten amaçlar oluşturmalıdır. Bunlar sistemin genel amacı ile belirteçler için oluşturulan performans kriterleri arasında köprü vazifesi görür.

Adım 3. *Belirteç seçimi*

Belirteçlerin ölçülmesi yüksek maliyetli olduğundan her eleman, alt eleman veya belirteç grubu için yüksek kaliteli belirteçler seçilmelidir. Yüksek kaliteli belirteç iyi temsil edebilen, güvenilir ve elde edilebilir olmalıdır. Belirtecın iyi temsil edebilen olması için ilgili bileşenin en önemli parçalarını kapsayabilmesi ve insan grupları ve bölgeler arasındaki zaman içindeki eğilimi ve farkları göstermesi gerekir. Güvenilir belirteç doğru, sağlam ve tutarlı örnekleme yordamıyla standardize edilmiş yöntemlerle ölçülen, bulunabilen, ilgili eleman veya alt elemanın amacını doğrudan yansıtabilen göstergelerdir. Belirtecın elde edilebilir olması ise verilerin hali hazırda bulunmasını veya makul bir maliyetle sağlanabilir olmasını gösterir.

Bu özelliklere göre belirteç seçme yordamı şu şekildedir:

- ✓ Her bileşen (eleman, alt eleman veya belirteç grubu) için iyi temsil edebilen ve güvenilir belirteç tanımla. Bir belirteç bileşeni yeterince iyi temsil edemiyorsa birden çok belirteç gerekli olabilir.
- ✓ Her belirtecın verisinin olup olmadığını veri kaynaklarından kontrol et.
- ✓ Belirteç için veri yoksa yerine kullanılabilecek verisi olan birkaç alternatif belirteç belirle.
- ✓ Alternatifler için de veri yoksa ve bileşen bir belirteçle temsil edilemiyorsa, veri elde etmek için bir plan hazırla veya bileşeni değerlendirmeden çıkar.

Adım 4. *Performans kriterlerinin seçilmesi*

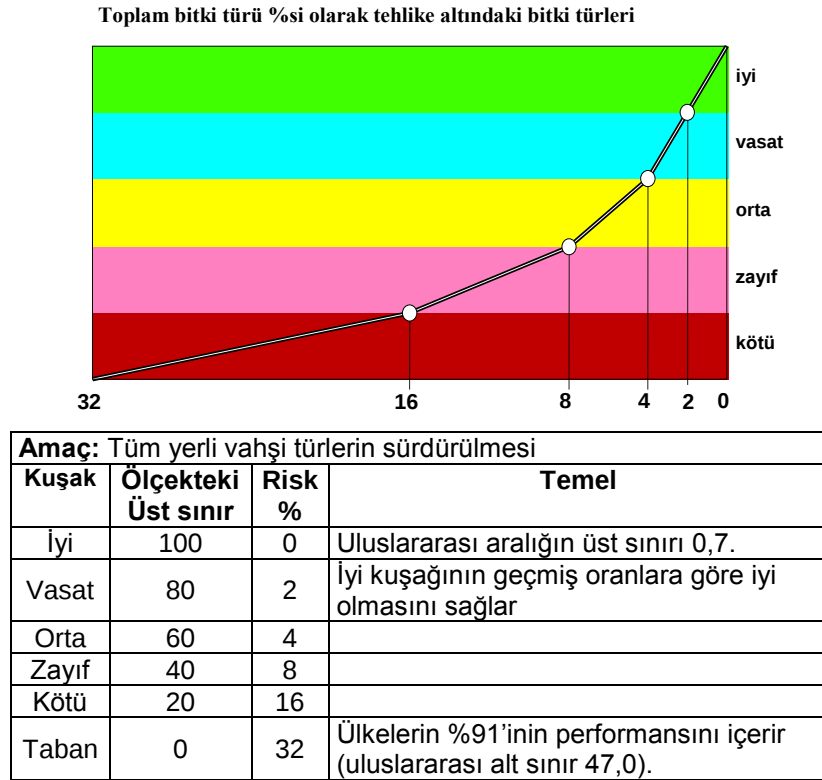
Belirteçler seçildikten sonra bunların sistem refahına etkilerini görebilmek ve tüm belirteçleri tek bir gösterge oluşturacak şekilde toplayabilmek için performans puanlarının hesaplanması gerekir. Yöntem bunu Sürdürülebilirlik Barometresi ile gerçekleştirir.

Sürdürülebilirlik Barometresi belirteç değerlerini beş parçalı bir fonksiyon (5 kuşak) kullanarak 0-100 arasında bir performans puanına dönüştürür. Tabloda kullanılan 5 kuşağın tanımları verilmiştir. Bunların sınır değerleri ve taban ölçeği performans kriterlerine göre belirlenir. Performans kriterleri mevcut performans aralığına, belirtecın temsil ettiği bileşenin amacına ve sürdürülebilirlik oranları, geçmiş oranlar, gözlenen eşikler, standartlar, hedefler, uzman görüşleri ve uygulayıcıların yargıları gibi çeşitli faktörlere göre oluşturulur.

Tablo 3.3 Sürdürülebilirlik Barometresi'nin 5 kuşağı [18]s.10

Kuşak	Puanlar		Tanım
	Aralık	Üst sınır	
İyi	100-81	100	İstenen performans, amaç tam olarak karşılanmış
Vasat	80-61	80	Kabul edilebilir performans, amaç hemen hemen karşılanmış
Orta	60-41	60	Tarafsız veya geçiş performansı
Zayıf	40-21	40	İstenmeyen performans
Kötü	20-1	20	Kabul edilemez performans
Taban	0	0	Ölçeğin tabanı

Örneğin Şekil 3.4'deki toplam bitki türü yüzdesi olarak tehlike altındaki bitki türleri belirteci ile ölçülen türlerin çeşitliliği bileşenin amacı nesil tükenmesinin geçmiş oranlarına düşmesini gösteren “tüm yerli vahşi türlerin sürdürülmesi”dir. Nesillerin tükenmesinin geçmişteki oranı yüzyılda %0,01'den daha az olması olarak tahmin edilmiştir. Nesilleri tükenme riski olan türlerin oranının gerçek nesil tükenme oranının 100 katından daha küçüktür varsayımı esas alınarak vasat kuşağı üst sınırı %2 olarak belirlenmiştir. Bu tehlike altındaki türler oranı %2'den az olduğunda iyi olarak nitelendirilebileceğini gösterir.



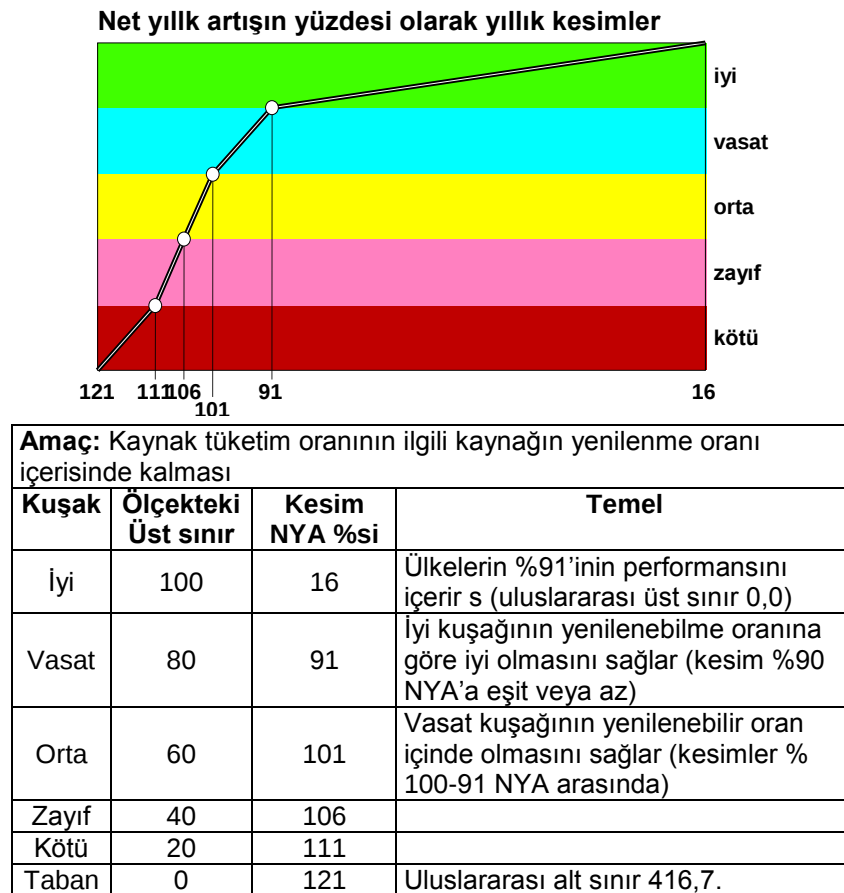
Şekil 3.4 Toplam bitki türü yüzdesi olarak tehlike altındaki bitki türleri belirteci için performans kriteri [18]s.11

Şekil 3.5'de ise yinelenabilir kaynak kullanımının amacı kaynak tüketim oranının ilgili kaynağın yenilenme oranı içerisinde kalmasıdır. Uygulamada yenilenme oranı

kereste tedarigi için ormanlardaki net yıllık artıştır (NYA). Amacı sağlayabilmek için ağaç kesim oranının NYA'nın %100'ünden fazla olmaması gerekir. Kesim oranının %100-91 arasında olduğunda performansın vasat olmasını sağlama için orda kuşağın üst sınırı %101 olarak belirlenmiştir ve vasat üst sınırı, oranın %90'dan daha az olduğunda performansın iyi olması için %91 olarak oluşturulmuştur. Bu sınırlar artışlardaki dalgalanmalara ve kesim oranı veya NYA'nın tahmin hatalarına izin verir.

Yöntemde performans değerlerinin bulunmasında kullanılan Sürdürülebilirlik Barometresi'nin altı kilit özelliği vardır bunlar aşağıda verilmiştir.

Sürdürülebilirlik Barometresi bir performans ölçeğidir. Kullanıcıların performans değerlerini görebilecek şekilde belirteçleri birleştirir. Belirteçler, insan veya ekosistem refahına göre istenen, kabul edilen veya kabul edilmeyen değerler tanımlanarak seçilir. Tarafsız, bilinmeyen önemdeki belirteçler çıkarılır.



Şekil 3.5 Yıllık kesimler belirteci için performans kriteri [18]s.11

Ölçeğin iki tarafı mevcuttur, birisi insan refahı diğeri ise ekosistem refahıdır. İnsan ve ekosistem durumuyla ilgili sonuçlar olan insan refah göstergesi ve ekosistem refah

göstergesi kendi değerleriyle belirlenebilir. Bu iki noktanın birleştirilmesi toplam refah ve sürdürülebilirliğe doğru ilerlemenin görülmesini sağlar. İnsan ve ekosistem refahlarının ayrı değerlendirilmesiyle birindeki gelişmenin diğerindeki gerilemeyi kapatması engellenmiş olur.

Toplam refah ve sürdürülebilirlik onu oluşturan alt sistemlerden en kötü durumda olana göre belirlenir. Bir başka deyişle bir boyuttaki düşük puan diğerlerindeki yüksek puanı önemsiz kılar. Burada herhangi alt sistemdeki iyileşmenin diğer alt sistemi kötüleştirilmesi karşılığında olmasını önlemek amaçlanmıştır. Barometre insan refahı ile ekosistem refahı arasındaki değiş tokuşa izin vermez, insana ve ekosisteme eşit önem verir, sürdürülebilirliği her iki insan ve ekosistem refahının birleşmesi olarak görür.

Barometre'nin 100-0 ölçeği her biri 20 puandan oluşan beş sınıf ve sıfır tabanından oluşur. Beş sınıfa ayrılma kullanıcının bir veya daha çok sınıf tanımlayarak ölçeği kontrol edebilmesine olanak verir. Bu özellik Barometre'nin sadece sınır noktalarının tanımlanarak oluşturulan ölçeklerden daha güçlü bir performans ölçeği olmasını sağlar. Örneğin çocuk ölüm oranları 1000 canlı doğumda 5 ile 400 arasında değişsin. Eğer en iyi olarak 0 ve en kötü olarak 400 kabul edilirse; ölüm oranı 75 olan bir ülke en iyi grubuna girerken, 320 olan bir ülke en kötü grubuna girecektir. Eğer amaç toplumları en iyi performans gösterenden en kötü performans gösterene doğru sıralamaksa bu ayırım sorun değildir; fakat asıl amaç ülkelerin birbirinden daha iyi performans gösterdiğini görmek değil, iyi olduklarını görmektir.

Ölçek sınıflarının tanımlanması sürdürülebilir kalkınma, ekosistem ve insan refahı tanımlarıyla başlayıp değerlendirilecek konuların oluşturulması ve belirteçlerin seçimi ve açıklaması karar silsilelerini genişletir. Ölçek sınıflarının tanımlanması kullanıcıların her belirtecini insan veya ekosistem refahı için önemi ve mükemmel, istenir kabul edilir, kabul edilemez ve feci olabilen başarı düzeyi ile ilgili varsayımlarını açık olarak ortaya koymalarına zorlar. Bu değer bazlı yargı süreci tüm değerlendirme ve karar verme tekniklerinde ortaktır. Fakat Barometre ölçeğinde bu baştan kabul edilir ve baştan sona net bir şekilde yapılır.

Belirteç sonuçlarının Barometre ölçeğine çevrilmesi basit hesaplamalarla gerçekleştirilebilir. Göstergeler ve istatistik konularına uzman kişilerin anlayabileceği formülasyonlardan bilerek kaçınılmıştır. Herkes tarafından kolayca kullanılabilmesi matematik oyunlarına ve karmaşıklığa tercih edilmiştir.

Barometre'nin temel olarak belirteçleri birleştirmek, böylece de genel bir çıkarım elde etmek için kullanılır. Çevresel ve ekosistem belirteçleri ekosistem refahı ekseninde ve diğer tüm belirteçler insan refahı ekseninde toplanmıştır. Bu belirteçleri hiyerarşik olarak düzenlemek için gereklidir böylece belirteçler gelişerek toplu belirteçler altına birleştirilebilir ve en sonunda ekosistem ve insan refahı göstergelerine dönüştürülebilir. Birleştirme adımları açık bir şekilde yapılarak kendisi oluşturan belirteçlerin hiçbir bilgisini kaybetmeden genel durum elde edilebilir.

Barometre yerelden uluslararasına her düzeyde kullanılabilir. Yöntemin uygulanmadaki tek fark belirteçlerin kimin tarafından seçildiği ve verilerin nasıl toplandığıdır.

Barometre açıklama aracı olarak da kullanılabilir. Örneğin Zimbabwe'de köylüler kendi SK hareket planlarını hazırlarken kendi sınıflarını ve insan ve ekosistem eksenlerini tanımlamışlardır. Sonra her iki ekseninde ne düzeyde olduklarını belirlemişlerdir. Bunun için kendi ekosistem durumlarını daha ayrıntılı değerlendirmeye gitmişlerdir. Değerlendirme sonunda Barometre'deki pozisyonlarını yeniden görmüşlerdir. Ölçek ekseninde pozisyon hesaplamaları nitel olarak taktir edilmiştir. Barometre'nin buradaki işlevi köylülerin insan ve ekosistemi birlikte göz önüne almaları sağlamak ve insan ve ekosistemin her ikini geliştirirken ilerlemeyi göstermek olmuştur.

Adım 5. Belirteçlerin birleştirilip ekosistem ve insan refah göstergeleri oluşturulması

Belirteç performans puanları elde edildikten sonra hiyerarşide yukarıya doğru belirteçlerden alt sistemlere kadar birleştirilip gösterge değerleri elde edilebilir. Önce belirteç puanları birleştirilerek alt sistem puanları, sonra alt sistem puanlarından eleman göstergeleri, eleman göstergelerinden boyut göstergeleri ve son olarak da boyut göstergelerinden alt sistem (ekosistem ve insan) göstergeleri belirlenir.

Bileşenlerin birleştirilmesi ağırlıksız ortalama, ağırlıklı ortalama ve veto yöntemleriyle yapılabilir. Ağırlıksız ortalama bütünü oluşturan parçaların önemlerinin ve niteliklerinin aşağı yukarı aynı olduğu düşünüldüğünde kullanılır. Ağırlıklı ortalamadan parçaların önem ve niteliklerinin eşit kabul edilemediği durumlarda yararlanır. Ağırlık önem ve nitelikteki farkı yansıtır. Veto yönteminde

düşük puanlı bir eleman yüksek puanlı diğer elemanları önemsiz kılar. Bu yöntem tüm parçaların iyi performans göstermesi gerektiği veya çok kötü performanslı bir parçanın diğerleri yüksek olsa bile oluşturulan bileşenin kötü olarak nitelenmesi gerektiği durumlarda kullanılır.

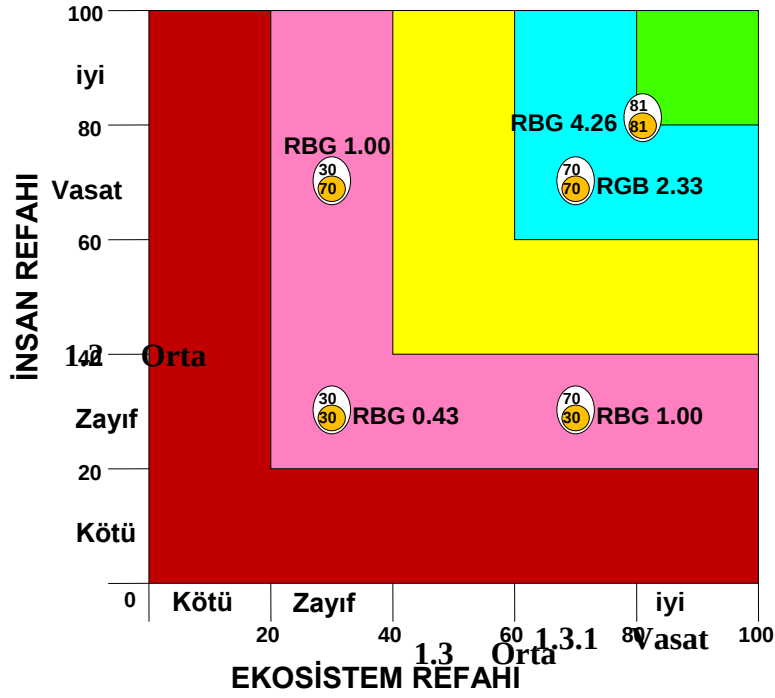
Ekosistem refah göstergesi (ERG) ağırlıksız ortalama ile 4 boyutun (toprak, su, hava ve türler ve genler) veya 5 boyutun (diğerleri ve kaynak kullanımı) birleştirilmesiyle hesaplanır. Kaynak kullanımı, çevrenin kötü durumunu dengelemesini engellemek için göster değerin yükseltmediği sürece hesaplama dahil edilir.

İnsan refah göstergesi (İRG) hesaplanırken de benzer durum adalet boyutu için geçerlidir. Ağırlıksız ortalama yöntemi kullanılan hesaplamada, 4 boyut (sağlık ve nüfus, refah, bilgi ve kültür ve toplum) ve ortalama yükseltmemesi koşuluyla adalet boyutu birleştirilir.

Adım 6. İnsan ve çevre analizlerinin birleştirilmesi

Altıncı adıma gelene kadar adım 2 ile adım 5 arasındaki süreç ERG ve İRG değerlerinin hesaplanması için ayrı ayrı yürütülür. Sırada bu iki göstergenin birleştirilerek genel bir refah göstergesi elde etmek vardır. Refah göstergesi refah göstergesi Sürdürülebilirlik Barometresi'nde ERG ve İRG'nin kesiştiği bir noktadadır. Sürdürülebilirlik Barometresi grafik üzerinde toplumun yüksek insan ve ekosistem refahına ne düzeyde yaklaştığını, bir başka deyişle sürdürülebilirliğe ne kadar yaklaştığını gösterir (Şekil 3.6'da hayali 5 ERG ve İRG değeri sürdürülebilirlik Barometresinde gösterilmiştir).

Değerlendirme için kullanılabilecek bir başka büyüklük Refah Baskı Göstergesi'dir (RBG). RBG insan refahının çevresel baskıya (ekosistem refahının tersi) oranlanmasıyla bulunur. RBG çevreye verilen zarara karşı toplumun elde ettiği kalkınma faydası miktarının ölçüsüdür. Şekil 3.6'da 5 hayali toplumun RBG değerleri verilmiştir.



Şekil 3.6 Refah Baskı göstergesini için Sürdürülebilirlik Barometresi [18]s.14

Bu göstergeler performanstaki sorumlu etkenleri teşhis edebilmek için parçalara ayrılabilir. Sürdürülebilirlik Barometresi insan ve ekosistem refahlarından hangisine daha çok özen gösterilmesi gerektiğini apaçık gösterir. Bu boyutlar ayrıntılı olarak incelenerek kritik nitelikler ve diğer sosyoekonomik ve çevresel etkenlerle ilişkiler saptanabilir. Sonradan da bu analiz temel alınarak bölgesel ve yerel toprak kullanım heyetleri pratik politika seçenekleri geliştirebilir. RBG, kaynak kullanımı ve refah, kaynak kullanımı ve ekosistem refahı ve refah ve insan refahı arasındaki ilişkileri gösterir. Birim ekosistem baskısına karşı elde edilen gelir ve birim gelir başına elde edilen insan refahı değerlerini gösterir.

Adım7. Bütünleşmenin soruşturma, analiz ve senaryo geliştirmeyi sınırlamamasını sağlamak

Tüm soruşturma ve analizler bir dereceye kadar zihinsel modeller ve bakış açılarıyla sınırlanırlar. Refah Değerlendirmesi istisna değildir. Yöntemin en önemli bilinçli sınırlaması insan ve ekosisteme eşit davranılmasıdır. Sürdürülebilirlik Barometresi insan veya ekosistem refahını diğerlerinin düşük puanını dengelemesini engellemek için tasarlanmıştır. Bunu, iki alt sisteme eşit önem vererek ve sürdürülebilirlik için ikisinin de yüksek seviyede olması gerektiği ortaya koyarak sağlar.

Refah değerlendirmesi için önemli tehlikelerden birisi insan ve çevresel değerlerin ekonomik veriler kadar iyi belgelendirilmemesidir. Bunun için tüm insan ve ekosistem boyutları ayrıntılı olarak ölçülmelidir. Eğer veri eksikliği bir boyutun ifade edilmesini engelliyorsa eksik parça belirtilmeli ve bu analizde hesaba katılmalıdır.

Sonuç olarak insan ve ekosistem refahı belirteçleri sistematik ve ayrı olarak seçildikleri için analiz boyunca açık ve sadece insan ve ekosistem belirteci olarak kalırlar. Bu, bütünleşmenin içiçe girmesini ve karışmasını engeller ve tüm tercihlerin insan ve ekosistem üzerindeki pozitif ve negatif etkilerini ayırt etmeyi sağlar.

3.2.2 Refah Değerlendirmesi Yönteminin Değerlendirmesi

Yöntemde, SK önce ölçülebilir belirteç düzeyine kadar parçalara ayrılmış sonra da belirteç değerlerinden parçalar birleştirilerek SK değeri elde edilmiştir. Parçalara ayırma safhasında her alt sistem, boyut ve elemanların amaçları oluşturularak bu amaçları ölçmek için belirteçler belirlenmiştir. Belirteçlerden bahsedilen değerlerin hesaplamasında ise bu amaçların ne oranda başarıldığı performans lt olarak değerlendirilmiştir.

Yöntem belirteçlerin performans puanlarının hesaplanmasında Sürdürülebilirlik Barometresi'ni kullanmaktadır. Buna göre belirteçlerin performans puanları sadece st sınır ve alt sınır değerlerine göre değil bunlarla birlikte beş parçalı bir fonksiyon kullanılarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan performans puanları o belirtecin sürdürülebilirliğe katkısını göstermektedir. Bu beş kuşak sözel olarak iyi, vasat, orta, zayıf ve kötü sürdürülebilir olma durumları için aralıkları oluşturur. Bunlar sayesinde belirteç değeri hangi değeri alırsa hangi kuşağa gireceği ve performans puanının ne olacağı belirlenmiş olur. Burada karar vericiden kuşakların sınır değerlerini belirlemesi istenir. Fakat bu kuşak değerlerini belirlemek pek kolay olmayabilir. Bunun kolay olmaması çok işlem veya uzmanlık gerektirmesinden değil belirtecin sürdürülebilirliğe katkısının gerçekte ne olacağının bilinmemesindendir. Çünkü nceki bölümlerde de bahsedildiği gibi SK kesin olarak ne olduğu tarif edilemeyen bulanık bir kavramdır.

Yöntemin iyi özelliklerinden birisi yöntemde sürdürülebilirliğin onu oluşturan alt sistemlerin en kötü durumda olanına göre belirlenmesidir. Yani çevreyle insani değerlerinin birbirini ikame etmesine müsaade edilmez. Fakat bu prensip sadece ekolojik ve insan alt sistemlerinden toplam sürdürülebilirliğe geçişte benimsenmiştir.

Belirteçlerden eleman puanlarının veya elemanlardan alt sistem değerlerine geçerken parçaların birbirlerini ikame etmelerine izin verilmektedir. Bu ise Sürdürülebilirliğin onu oluşturan tüm parçaların iyi olması durumunda başarılabileceği ilkesine ters düşer.

Yöntemde belirteç seçimi için bir yordam geliştirilmiştir. Bu yordama göre bileşenleri ölçmek için iyi temsil edebilen ve güvenilir belirteçlerin seçilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu çok öznel bir yaklaşımdır. Birilerine göre bu özellikleri taşıyan bir belirteç başkalarına göre bileşenleri iyi temsil edemeyebilir ve/veya tutarsız olabilir. Ayrıca belirteç seçimlerindeki yordamda eğer SK elemanı için ekonomik (mevcut veri kümesinde olan veya katlanılabilecek bir maliyetle elde edilebilen) bir belirteç yoksa elemanın değerlendirmeden çıkarılması gerektiği söylenmektedir. Fakat herhangi bir elemanın çıkarılması yöntemdeki yaklaşıma göre sürdürülebilirliğin iyi temsil edilememesine neden olacaktır. Çünkü yöneme göre belirlenen her eleman sürdürülebilirliğin bir parçasıdır.

Yöntemin eleştiriye açık yanlarından birisi SK değerini hesaplarken kullanılan belirteçlerin birbirlerinden tam olarak bağımsız olmamasıdır. Bir başka deyişle aynı yapıdaki, birbiriyle ilişkili ve kaynağı veya nedeni aynı olan belirteçler çeşitli elemanları temsil ettikleri için birden çok hesaba katılabilirler. Bu benzer etkilerin değerlendirmede gereğinden fazla yer almasına imkan verir.

3.3 SAFE Yöntemi

Phillis ve Andriantiatsaholoiniaina; sürdürülebilirliği bulanık mantık kullanarak değerlendiren, SAFE ismini verdikleri bir yöntem önermişlerdir [9]. Yöntem sürdürülebilirliğin güvenilir ölçüsünün ekonomik ve doğal kaynak değerlerinin bütünleştirilmesiyle elde edilebileceğini düşünülecek oluşturulmuştur. Önceki yaklaşımlarda bunun veri ve yöntemsel sorunlardan ötürü başarısız olduğunu belirtilmiştir. Çalışmada üzerinde durulan başka bir konu ise sürdürülebilirliğin belirsiz ve karmaşık yapısıdır. Yaklaşımda sürdürülebilirliğin belirsiz ve karmaşık yapısını modelleyebilmek için bulanık mantık kullanılmıştır [9].

Yöntemde bulanık mantık iki nedenler kullanılmıştır. Birinci neden bulanık mantığın doğrudan sayısallaştırılmaya uygun olmayan ve belirsizlik içeren karmaşık ve çok yönlü kavramlara uygulanabilir oluşudur. Ayrıca belirsiz kavramların muhakemesi açık ve belli değil daha çok bulanık olacaktır. İkincisi ise bulanık mantığın belirsiz

kavram ve bağıntılarla ilgili matematik araçlar sağlayabilme ve öznellik içeren problemlere kesin cevaplar verebilme yetisidir. Bahsedilen özellikleriyle bulanık mantık, sürdürülebilirliğin karmaşık, belirsiz ve öznel yapısını modelleyebilmek için uygun görülmüştür.

Bulanık mantığın önemli yanlarından birisi de sözel değişkenlerle işlem yapılabilmesini sağlamaktır. SK'nın içerisinde de klasik yöntemlerde değerlendirilemeyen sayısallaştırması zor fakat diğer konular kadar önemli yanlar mevcuttur.

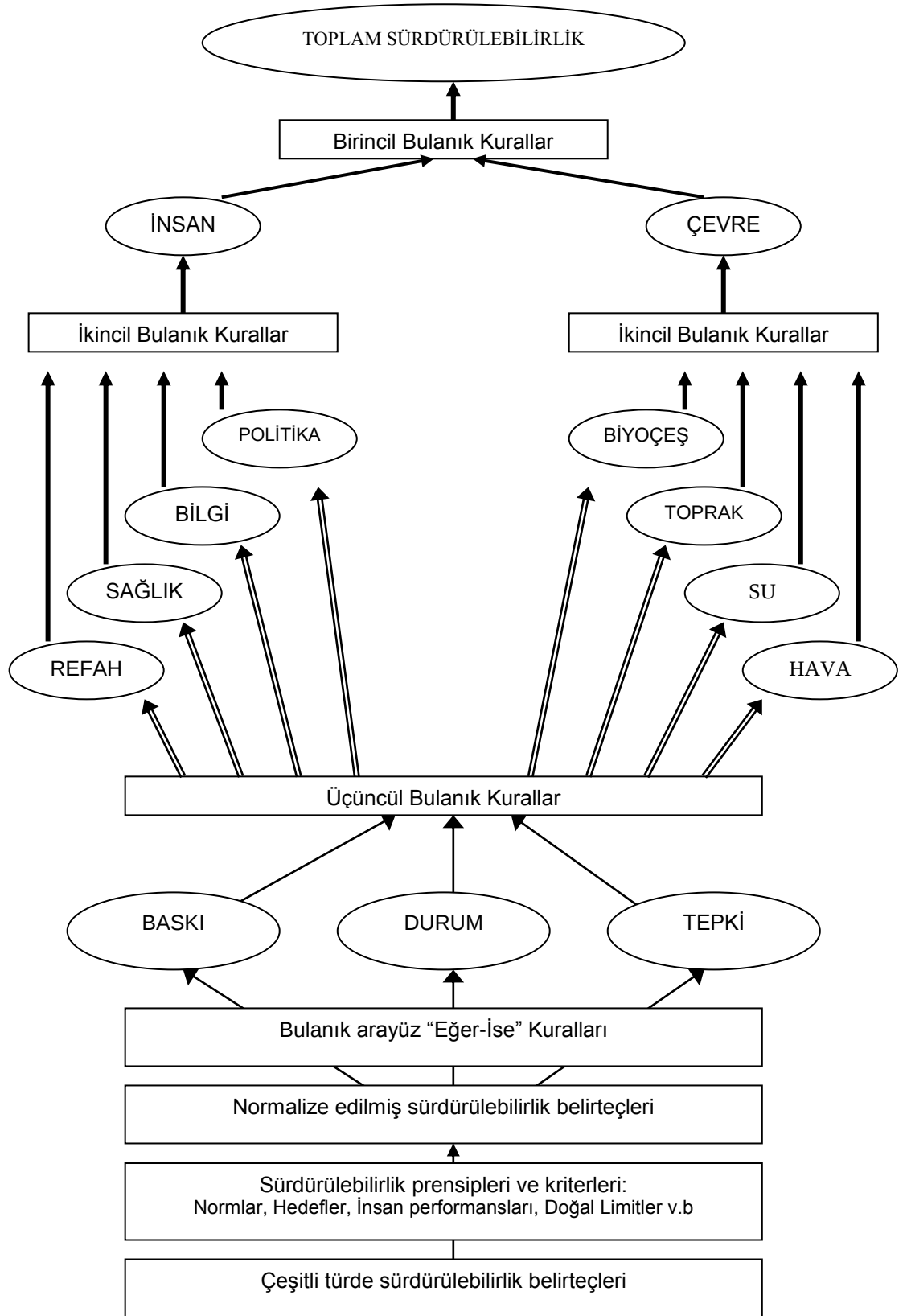
Bulanık mantık sistem dinamiklerini ayrıntılı matematik tanımları yapmadan modelleyebilme olanağı sağlar. Bu, değişkenlerle ifade edilen bilginin eğer-ise sözel kuralları ile temsil edilmesiyle sağlanabilir. Modelleme sürecinde önce gerçek değerler bulanıklaştırma işlemiyle sözel değerlere çevrilir, sonra eğer-ise kurallarıyla bulanık bağıntılar uygulanır ve son olarak da bulanıklaştırmanın tersi olan netleştirme ile belirgin değerler elde edilir.

Çalışmada önerilen modelde sürdürülebilirliği değerlendirmek için tanımlanması gerekenler aşağıda belirtilmiştir:

- ✓ Tüm sistemin sürdürülebilirliğini temsil edecek sözel değişkenler,
- ✓ Tüm sistemin bilgisini ve kilit belirleyici özelliklerini nitel olarak ifade edecek sözel kural temeli ve bulanık mantık operatörleri,
- ✓ Tüm sistemin bulanık ifadelerini tek bir belirgin değere çevirecek netleştirme yöntemi.

Çalışmada bu tanımlamaların nasıl yapıldığına geçmeden önce önerilen yaklaşımın SK sistemini nasıl tanımladığı ve sonuca ulaşmak için izlenen yollara değinilecektir.

Önerilen yaklaşımda tüm sistemin çevresel ve insan alt sistemlerden oluştuğu varsayılmıştır. Tüm sistemin sürdürülebilirliği bu alt sistemlerin birleşmesiyle elde edilmiştir. Her alt sistem de dört tema ile değerlendirilmiştir. Bunlar çevre sistemi için hava, su, toprak ve biyolojik çeşitlilik; her insan sistemi için ise sağlık, refah, bilgi ve politika öncelikleridir. Her tema da OECD çalışmalarında geliştirildiğinden bahsedilen 3 çeşit belirteç kullanılarak ölçülmüştür; baskı, durum ve tepki belirteçleri.



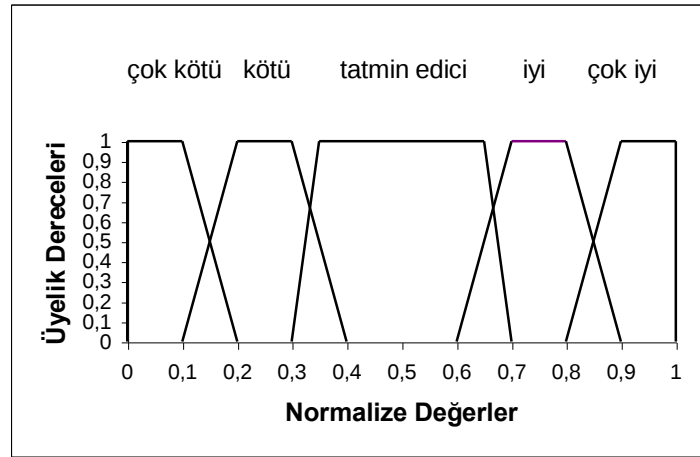
Şekil 3.7 SAFE yöntemi adımları [9]s.440

Yöntem belirteç değerlerine göre baskı, durum, tepki değerlerinin eğer-ise kuralları kullanılarak bulunmasını, her tema için hesaplanan baskı, durum, tepki değerleriyle

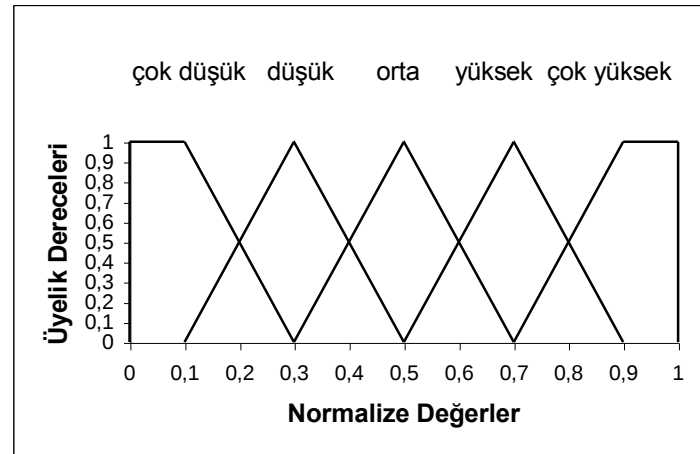
tema değerlerinin oluşturulmasını ve elde edilen tema değerleriyle çevresel ve insan sistemleri ve tüm sistemin sürdürülebilirlik ölçüsünün elde edilmesini önermiştir. Şekil 3.7’de yöntemin adımları gösterilmiştir.

Şekil 3.7’de gösterildiği gibi alt sistem değerlerinden toplam sürdürülebilirlik değeri, tema değerlerinden alt sistem değerleri ve baskı, durum, tepki değerlerinden tema değerleri elde edilirken sırasıyla birincil ikincil ve üçüncül bulanık kurallar kullanılmıştır.

Birincil sözel değişkenler çok kötü, kötü, tatmin edici, iyi, ve çok iyi değerlerini; ikinci sözel değişkenler çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek değerlerini; üçüncül sözel değişkenler ise zayıf, orta, güçlü değerlerini alabilirler. Ayrıca girdi belirteç değerlerini ifade etmek için de kötü, kabul edilebilir ve mükemmel sözel terimleri kullanılmıştır.



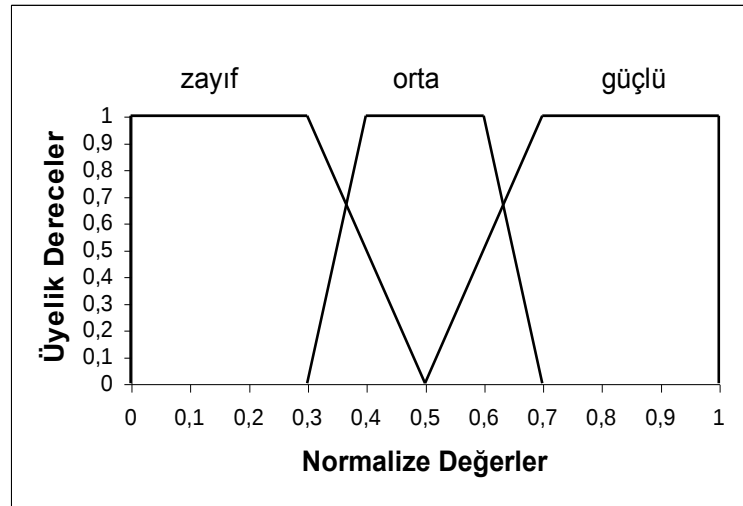
Şekil 3.8 Birincil sözel değişkenlerde kullanılan bulanık kümeler [9] s.442



Şekil 3.9 İkincil sözel değişkenlerde kullanılan bulanık kümeler [9] s.442

Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'te bahsedilen değerleri elde ederken bulanıklaştırma için kullanılan bulanık kümeler verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi ikincil değişkenler ve girdi değişkenler için üçgensel fonksiyonlar kullanılırken birincil ve üçüncül değişkenler için yamuk fonksiyonlar tercih edilmiştir.

Modelde girdi olarak sadece belirteç değerleri kullanılmıştır. Fakat her belirteç için veriler doğrudan kullanılmamıştır. Veriler bir araya getirmeye ve bulanık hesaplamaları gerçekleştirmeye yarayacak şekilde ortak bir ölçek elde etmek için normalize edilmiştir. Konuya ve ihtiyaçlara göre farklı normalize eğrileri kullanılmıştır. v_i i'nci belirtecin veri değeri ve $enk(s)$ ve $enb(s)$ bu belirteç için mevcut en küçük ve en büyük veri değerlerini göstermek üzere normalizasyon fonksiyonları aşağıda verilmiştir:



Şekil 3.10 Üçüncül sözel değişkenler ve girdilerde kullanılan bulanık kümeler [9] s.443

Eğer $T(v_i)$ hedef değeri en büyüklerek elde ediliyorsa;

$$N(v_i) = \begin{cases} \frac{v_i - enk(s)}{T(v_i) - enk(s)} & v_i < T(v_i) \text{ için} \\ 1 & v_i \geq T(v_i) \text{ için} \end{cases} \quad (3.1)$$

Eğer $T(v_i)$ hedef değeri en küçüklerek elde ediliyorsa;

$$N(v_i) = \begin{cases} 1 & v_i \leq T(v_i) \text{ için} \\ \frac{enb(s) - v_i}{enb(s) - T(v_i)} & v_i > T(v_i) \text{ için} \end{cases} \quad (3.2)$$

Eğer $T(v_i)$ hedef değeri $[enkT(v_i), enbT(v_i)]$ şeklinde bir aralıksa

$$N(v_i) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{v_i - enk(s)}{enkT(v_i) - enk(s)} & v_i \leq enkT(v_i) \text{ için} \\ 1 & v_i \in [enkT(v_i), enbT(v_i)] \text{ ise} \\ \frac{enb(s) - v_i}{enb(s) - enbT(v_i)} & v_i \geq enbT(v_i) \text{ için} \end{array} \right\} \quad (3.3)$$

denklemleri kullanılmıştır. Tablo 3.4’de örnek hesaplamalar verilmiştir. Aşağıda da örnek 2 hesaplama ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Tablo 3.4 ABD için biyolojik çeşitlilik değerinin hesaplanması [9]s.441

Biyo-çeşitlilik Belirteçleri	Enk(v)	Enb(v)	Enk(s)	Enb(s)	T(v)	Veri(v)	N(v)
BASKI Belirteçleri							
Tehlike altındaki memeliler, (% ,1985)	0	46,6	0	100	0	6,8	0,932
Tehlike altındaki bitkiler, (% ,1985)	0	31,7	0	100	0	11,5	0,885
Tehlike altındaki balıklar, (% ,1985)	0	100	0	100	0	15	0,850
Baskı değeri: 0,77							
DURUM Belirteçleri							
Memeli tür sayısı, 1000km ² başına (1994)	2	131,1	0	Enb(v)	Enb(v)	45	0,333
Yüksek Bitki tür sayısı, 1000km ² başına (1994)	157	10479	0	Enb(v)	Enb(v)	1679	0,147
Balık tür sayısı, (1994)	3	822	0	Enb(v)	Enb(v)	822	1
Toplam orman alanı (1000 Ha, 1995)	0	763500	0	Enb(v)	Enb(v)	212515	0,278
Durum değeri: 0,29							
TEPKİ Belirteçleri							
Koruma altındaki alan (tüm alanın yüzdesi olarak, 1997)	0	43,1	0	100	Enb(v)	13,4	0,134
Yıllık ormansızlaşma (km ² ,1990-1995)	-5886	25544	Enk(v)	Enb(v)	Enk(v)	-5886	1
Tepki değeri: 5,25							
Biyo Çeşitlilik Değeri: 0,3							

Tehlike altındaki memeliler belirteci için hedef en küçük değeri elde etmek olacağından denklem (3.2) kullanılmıştır. $v=6,8$; $T(v) = 0$ ve $v > T(v)$ olduğu için

$$N(v) = \frac{enb(s) - v_i}{enb(s) - T(v_i)} = \frac{100 - 6,8}{100 - 0} = 0,932$$

olarak bulunur.

Balık türü sayısı belirtecinin yüksek değerlileri SK’ya iyi yönde etkiler. Bu yüzden bu belirtecin normalizasyon değerini bulmak için denklem (3.1) kullanılmıştır. değerlere bakıldığında $v=T(v) = 822$ olduğu görülür öyleyse $N(v)=1$ olacaktır.

İncelen çalışmada belirteçlerin normalize değerlerinden Şekil 3.10 kullanılarak yüksek orta ve düşük bulanık kümelerine üyelik derecelerinin bulunduğu, buradan da eğer-ise bulanık kuralları ve netleştirme işlemleriyle baskı, durum, tepki değerlerinin elde edildiğinden bahsedilmektedir. Fakat bu süreç ayrıntılı olarak incelenmemiştir.

Tablo 3.5 Üçüncül eğer-ise kuralları⁷ [9]

GİRDİLER			ÇIKTILAR
Eğer Baskı değeri	ve Durum değeri	ve Tepki değeri	İse Tema Değeri
G	G	G	ÇY
G	O	G	O
G	Z	G	D
G	G	O	Y
G	O	O	O
G	Z	O	D
G	G	Z	O
G	O	Z	D
G	Z	Z	ÇD
O	G	G	ÇY
O	O	G	O
O	Z	G	D
O	G	O	Y
O	O	O	O
O	Z	O	D
O	G	Z	O
O	O	Z	D
O	Z	Z	ÇD
Z	G	G	ÇY
Z	O	G	O
Z	Z	G	D
Z	G	O	Y
Z	O	O	O
Z	Z	O	D
Z	G	Z	O
Z	O	Z	D
Z	Z	Z	ÇD

Yöntemdeki sonraki aşama baskı, durum, tepki değerlerinden üçüncül bulanık kurallar kullanılarak tema değerlerinin hesaplanmasıdır. Bunun için öncelikle baskı, durum, tepki normalize değerlerinden Şekil 3.10'teki dönüşüm kullanılarak bu değerlerin zayıf, orta, güçlü olma üyelik dereceleri hesaplanır. Bu değerlere göre üçüncül eğer-ise kurallarıyla tema değeri sözel ifadeyle elde edilir ve buna göre netleştirme yapılarak tema normalize değeri belirlenir. Üçüncül eğer-ise kuralları Tablo 3.5'de verilmiştir.

⁷ Tabloda kullanılan kısaltmalar: G: Güçlü; O: Orta; Z: Zayıf; ÇY: Çok yüksek; Y: Yüksek; D: Düşük; ÇK: Çok Düşük

Eğer-İse kurallarında üç ayrı değeri birleştirmek için “ve” bağlacı kullanılmıştır. Burada “ve” bağlacı en küçük operatörü ile belirtilmiştir. Sonraki netleştirme işlemi ise ağırlık merkezi formülü ile bulunmuştur. T bulanık kümesinin ağır merkezi formülü ile netleştirme denklemi aşağıda verilmiştir:

$$\text{Net}(T) = \frac{\sum_j y_j \cdot \mu_T(y_j)}{\sum_j \mu_T(y_j)} \quad (3.4)$$

Burada y_j T bulanık kümesinin j’inci elemanın değeri, $\mu_T(y_j)$ ise T bulanık kümesinin j’inci elemanın üyelik derecesidir. Aşağıda Tablo 3.4’de verilen biyolojik çeşitlilik teması değerinin hesaplanması ayrıntılı olarak incelenecektir.

Baskı, durum ve tepki değerleri belirteç verileri kullanılarak

Baskı = 0,77; Durum = 0,29; Tepki = 0,525

olarak bulunduğu verilmiştir. Buradan Şekil 3.10’teki bulanık kümeler kullanılarak aşağıdaki üyelik dereceleri elde edilir.

Tablo 3.6 Baskı, durum, tepki değerlerinin güçlü, orta, zayıf bulanık kümelerine üyelik dereceleri

	Normalize değer	μ_G	μ_O	μ_Z
Baskı	0,77	1	0	0
Durum	0,29	0	0	1
Tepki	0,525	0,125	1	0

Elde edilen bu değerlere göre Baskı ve Durum’un güçlü; Tepki’nin ise güçlü ve orta olma durumları vardır. Üçünün kombinasyonu olarak da iki durum vardır: (1) G-Z-G ve (2) G-Z-O (Baskı-Durum-Tepki sırasıyla). Birinci durum için Tablo 3.5’ye göre tema değeri “düşük” ve üyelik derecesi $\mu_D = \text{enk}(\mu_G(\text{baskı}); \mu_Z(\text{durum}); \mu_G(\text{tepki})) = \text{enk}(1;1;0,125) = 0,125$ olarak; ikinci durum için ise tema değeri yine “düşük” ve üyelik derecesi $\mu_D = \text{enk}(\mu_G(\text{baskı}); \mu_Z(\text{durum}); \mu_O(\text{tepki})) = \text{enk}(1;1;1) = 1$ olarak bulunur. farklı kombinasyon durumları için aynı sözel değerlerin elde edildiği durumlarda tema değerinin bu kümeye üyelik derecesi o sözel değer için elde edilen üyelik derecelerinin en büyüğüdür. Burada $\mu_D = \text{enk}(1;0,125) = 1$ olarak bulunur.

Tema için normalize değer bulabilmek için son olarak netleştirme işlemi yapılmalıdır. Netleştirme denklem (3.4)’e göre yapılmalıdır. Biyolojik çeşitlilik sadece “kötü” olma durumu olduğu ve üyelik derecesi 1 olduğu için Şekil 3.9’teki

düşük bulanık kümesiyle ifade edilebilir. BİYOÇEŞ biyolojik çeşitliliğin değerini göstermek üzere

$$\text{BİYOÇEŞ} = \frac{0,2 \cdot 0,5 + 0,3 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,5}{0,5 + 1 + 0,5} = 0,3$$

olarak elde edilir.

Yöntemin sonraki aşamaları da benzer işlemler içermektedir. Her aşamada önce elde edilen normalize değerler ilgili bulanık kümeler kullanarak bulanıklaştırılır, sonra eğer-ise kurallarıyla bulanık değerlerden hesaplanacak bulanık değerler elde edilir ve son olarak da netleştirme ile sonraki adımın girdisini oluşturacak değer belirlenir.

3.3.1 SAFE Yönteminin Değerlendirmesi

Yöntem çevresel, sosyal, politik ve ekonomik belirteçleri kullanarak SK'nın tüm boyutlarını değerlendirmeye katmıştır. Belirteçlerin SK'ya etkileri doğrudan değil dolaylı olarak incelenmiştir. Yöntemde bir önceki kullanılarak sırasıyla belirteçler, baskı, durum, tepki değerleri, tema değerleri, alt sistem değerleri ve son olarak sürdürülebilirlik değeri hesaplanmaktadır.

Yöntemde belirteçlerin birbirinden bağımsız oldukları ve baskı, durum, tepki değerlerini eşit önem ağırlığında etkiledikleri görülmektedir. Fakat belirteçler birbirlerine bağımlıdır ve SK'ya etkileri eşit olmayabilir. Yöntemde belirteçler birbirlerinden bağımsız kabul edilerek aynı etkinin birden fazla hesaba katılmasına neden olabilirler. SK için belirteçlerin, alt sistemlerin ve temaların önem düzeylerinin eşit kabul edilmesi ise gerçeği çok yansıtmamaktadır.

Yöntemde SK'yı değerlendirebilmek için bulanık mantık kullanılmıştır. Bu, SK'nın belirsiz ve karmaşık yapısı ve bulanık mantığın bu yapıdaki sistemlere uygulanabilir olmasından dolayı oldukça iyi bir seçimdir. Fakat yöntemin bulanık mantığı uygulamasında çeşitli sorunlar mevcuttur.

Sorunlardan en önemlisi her adımda bulanıklaştırma ve netleştirmenin sürekli uygulanmasıdır. Yöntemde belirteç değerlerinden toplam sistem sürdürülebilirliğinin hesaplanmasına kadar her adımda önce bulanıklaştırma sonra netleştirme işlemleri yapılmaktadır. Bir önceki adımda bulanık olarak elde edilen bir değer netleştirilip sonraki adımda tekrar bulanıklaştırılmaktadır. Bu süreç veri kaybına ve dolayısıyla yanlış hesaplamalara neden olabilir.

Diğer bir sorun da eğer-ise kurallarıyla ilgilidir. Yöntemde birincil bulanık kurallar için 25, ikincil bulanık kurallar için 254 (625 iken veya bağlacı kullanılarak bu sayıya düşülebilmıştır) ve üçüncül bulanık kurallar için 27 (Tablo 3.5’de verilenler) kural tanımlamak gerekmiştir. Ayrıca yöntemde girdi değerlerinden baskı, durum, tepki değerleri elde etme safhasında kullanılan eğer-ise kuralları üzerinde fazla açıklama yoktur. Her tema için belirlenen baskı, durum, tepki belirteçlerinin farklı yapıda ve sayıda olduğu düşünüldüğünde genel geçer bir eğer-ise kuralı koymanın zor olacağı açıkça görülebilir. Bu yüzden ilk adımdaki bulanık kurallar her tema altındaki her baskı, durum, tepki değeri için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Tüm bunlardan çıkarılan sonuç yöntemin pek etkin olmadığıdır.

Yöntemle ilgili bir başka muğlak husus Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10’te verilen üyelik fonksiyonlarıdır. Normalizasyon değerlerinden üyelik derecelerine geçişi sağlayan bu fonksiyonların neden bu şekilde seçildiği ve kaynak olarak neyin referans alındığı yöntemin anlatıldığı makalede [9] mevcut değildir.

Yöntemin sorunlu taraflarının yanında iyi yönleri de vardır. Yöntemin en iyi yönü verileri doğrudan değil normalize ettikten sonra kullanmasıdır. Normalizasyon işlemi ise mevcut en büyük veya en küçük verilere göre değil hedef değerlerine göre yapılmıştır. Bunun iki önemli yararı vardır. Birincisi mevcut verilerin hedef değerlerinin çok uzağında olması durumunda veriler arasındaki fark çok fazlaymış gibi görünmeyecek olmasıdır. İkincisi, hedefin çok üstüne çıkmış veriler dikkate alınmayarak istenen değere yakınlığı göz önüne almayı garanti altına alınmıştır.

3.4 Mevcut Yöntemlerin Göreli Değerlendirmesi

Yöntemlerin tümünün sürdürülebilirliğe ve SK’ya bakışları aynıdır. Hepsi SK’yı ölçmek için ölçülebilir parçalara ayrılması gerektiğini ve bu ölçülebilir parçaların belirteçler olduğunu kabul etmişlerdir. Yöntemlerin farklı yanları ise sürdürülebilirliği temsil ettiğini öngördükleri boyutları, ölçüm için belirledikleri belirteçler, belirteç değerlerinden sürdürülebilirliğe katkılarını gösteren performans puanlarını hesaplama yöntemleri ve belirteç performansından SK göstergesi hesaplamak için kullandıkları birleştirme yöntemleridir.

Yöntemler sürdürülebilirliği değerlendirmek için farklı hiyerarşik yapılar kullanmışlardır. Corson yönteminde SK çevresel ve sosyoekonomik boyutlar altında belirteç grupları ve belirteçlerle modellenmiştir. Refah Değerlendirmesi yönteminde

insan ve ekosistem alt sistemleri ve bu sistemler altında beşer boyut belirleyerek genel bir değerlendirme çerçevesi oluşturulmuştur. Bu yöntemde boyutların altındaki bileşenler ve belirteçler amaçlara göre uygulayıcılar tarafından belirlenmektedir. SAFE yönteminde insan ve çevre alt sistemleri ve bu alt sistemler altında dörder tema belirlenmiştir. Temaları ölçmek için baskı, durum, tepki belirteçleri kullanılmıştır.

Yöntemlerin hepsi sürdürülebilirliği parçalar halinde değerlendirildiği görülmektedir fakat sürdürülebilirlik parçalardan oluşmuş olsa bile değerlendirmede bir bütün olarak ele alınmalıdır. Çünkü sürdürülebilirliği oluşturan parçalar yalnızca bir tema veya alt sistemi değil bütün sürdürülebilirliği etkileyebilir ve birbirleriyle ilişkileri olabilir. Örneğin işsizlik incelenen yöntemlerde genel olarak sosyal yapı içerisinde değerlendirilir fakat işsizliğin ekonomi ve çevreyle de doğrudan ilişkileri vardır.

Yöntemlerin belirteç değerlerinden performans puanı hesaplama yolları da farklıdır. Corson yönteminde performans puanları değerlendirilen ülkelerden en düşük ve en yüksek belirteç değerlerine göre bir normalizasyon ile belirlenir. Refah Değerlendirmesi yönteminde bu biraz daha geliştirilerek belirteç değerleri ile performans puanı arasında beş parçalı bir fonksiyon yapısı oluşturulmuş ve bu yapıya göre her belirteç için farklı olabilecek bir fonksiyon tanımlanmasına olanak verilmiştir. SAFE yönteminde belirteç değerleri önce normalize edilmiş sonra da eğer-ise kurallarıyla tema değerlerine katkıları sözel olarak belirlenmiştir.

Yöntemlerin belirteçlerin performans puanları hesaplamada kullandıkları yöntemler kesin bilgi ve kesin yargılar gerektirir. Oysa sürdürülebilirliğin bu değerlendirmelerin aksine kesin olmayan ve bulanık bir yapısı vardır. Ayrıca yöntemlerde performans puanlarının hesabında en küçük sürdürülebilirlik düzeyi dikkate alınmamıştır.

Yöntemler belirteç performansından SK göstergesi hesaplarken çeşitli birleştirme yöntemleri kullanmışlardır. Corson yönteminde belirteçlerden belirteç grup puanları ve bunlardan alt sistem puanları elde etmek için ağırlıksız ortalama kullanılmıştır. Refah Değerlendirmesi yönteminde birleştirme için ağırlı ve ağırlıksız ortalama ve veto yaklaşımlarının kullanılabileceği belirtilmiştir. Fakat ağırlıklı ortalama için sistematik bir ilke önerilmemiştir. SAFE yönteminde belirteç puanlarının birleştirilmesi bulanık eğer-ise kurallarıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada incelen yöntemlerin hiçbirinde SK düzeyinin belirlenmesinde kullanılan belirteçlerin ağırlıkları üzerinde çok fazla durulmamıştır. Sadece Refah Değerlendirmesi yönteminde bileşenlerin birleştirilmesinde ağırlıklı ortalamanın kullanılabileceğinden bahsedilmektedir. Fakat uygulamaya bakıldığında ağırlık belirlemek için etkin bir yöntemin kullanılmadığı, karar vericinin öznel olarak herhangi bir şekilde ağırlıkları oluşturabileceği görülmektedir.

Sonuç olarak mevcut yöntemlerin çeşitli yönlerden eksik kalan tarafları vardır. Aşağıda mevcut yöntemlerin eksik yanları maddeler halinde özetlenmiştir.

- ✓ SK'yı onu oluşturan parçalara bölerek değerlendirmeleri ve parçaların kendi aralarındaki ilişkileri göz ardı etmeleri,
- ✓ Kesin değerlendirme ve yargılara gereksinim duymaları,
- ✓ En küçük sürdürülebilirlik düzeyini hesaba katmayarak SK'yı oluşturan parçaların birbirini ikame etmesini engelleyememeleri,
- ✓ Belirteç ve bileşenlerin ağırlıklarını göz ardı etmeleri

Çalışmada mevcut yöntemlerin yukarıda bahsedilen eksik yönlerini gidermek için bir model önerilmiştir. Önerilen model sürdürülebilirliğin karmaşık ve kesin olmayan yapısını temsil edebilmek için bulanık mantık kullanılarak oluşturulmuştur. Sonraki bölümlerde bulanık mantık ve bulanık çok ölçütlü karar verme yöntemleri ayrıntılı olarak incelenecektir.

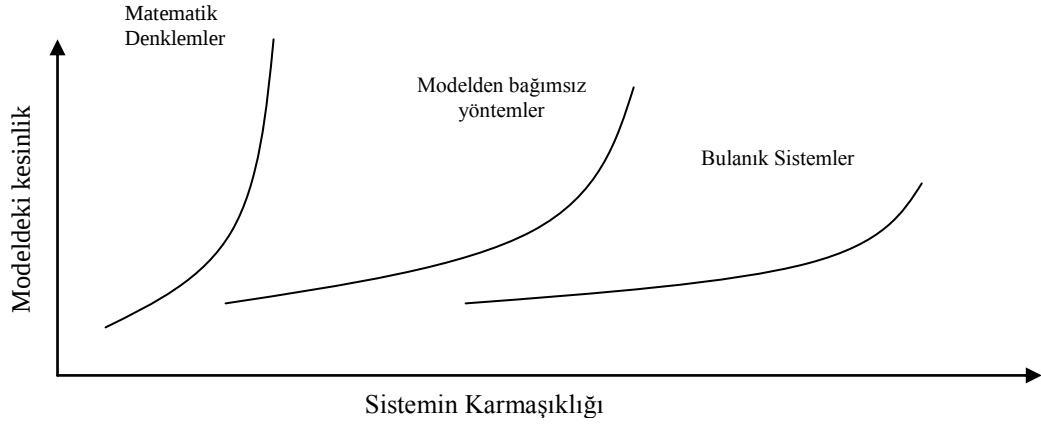
4 BULANIK MODELLEME

4.1 Bulanık Mantık

Gerçek hayat karmaşıktır, bu özellikle içinde barındırdığı belirsizliklerden kaynaklanır. Belirsizliğin az olduğu problemler şimdiye kadar oluşturulan klasik modellerle iyi ifade edilmiş ve çözümler sayısal yöntemlerle üretilmiştir. Fakat belirsizliğin ve dolayısıyla karmaşıklığın ön plana çıktığı problemlere bilinçaltında insanlar tarafından çözüm aranır. Bilgisayarlar karmaşık ve belirsiz problemlerle baş etme yeteneğine sahip değildirler. Burada önemli olan konu insanın karşılaştığı problemi veya incelediği sistemi muhakeme etme yeteneğidir. İnsanın bilgisayardan en azından şimdilik üstün olan özelliği yaklaşık olarak düşünme yetisine sahip olmasıdır. Karmaşık bir sistemin muhakeme edilmesinde insan onun davranışlarıyla ilgili yaklaşık olarak düşünür, bunu problemi genel olarak görerek yapar. Fakat bazen bu genel görüş çok karmaşık veya çok geniş sistemleri incelemeye yetmez. Bu yüzden karmaşık, belirsiz, geniş sistemleri insan mantığı kullanarak modellenmesi gerekebilir. 1965'te Lotfi Zadeh tarafından önerilen "Bulanık Mantık" bahsedilen modelleme için geliştirilmiştir [1].

Lotfi Zadeh sistemlerin karmaşıklıkları ve bu sistemlerin ifade edilmelerindeki anlamlılık ve kesinlik arasındaki ilişkiyi şu şekilde açıklamıştır: "Bir sistemin karmaşıklığı arttıkça onun davranışıyla ilgili kesin ve anlamlı ifadeler yapma yeteneğimiz bir eşiğe ulaşmaya kadar düşer. Bu eşikten sonra; kesinlik ve anlamlılık nedeysen birbirinden bağımsız özellik taşırlar."

Sistem hakkında daha çok şey öğrendiğimizde, sistemin karmaşıklığı azalır ve sistemi anlamamız artar. Karmaşıklık azaldığında, hesaplama dayalı yöntemler tarafından elde edilebilen kesinlik sistemin modellenmesinde daha yararlı hale gelir. Sistemin karmaşık derecesinin elimizdeki sistem modellemelerine özgü kesinlikleriyle ilgili ifade Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Karmaşıklığı az olan sistemler için, yani belirsizliği az olanlar için, kapalı formda matematik ifadeler sistemin tanımını kesin olarak verirler.



Şekil 4.1. Sistemin karmaşıklığına karşı modelindeki kesinlik [1] s.2

Biraz daha karmaşık olanlarda, fakat anlamlı verinin bulunduğu sistemlerde, modelden bağımsız yöntemler (yapay sinir ağları gibi), mevcut veriyi örnek kabul ederek öğrenme yoluyla, belirsizliği azaltarak güçlü anlamlar sağlarlar. Son olarak, sayısal verinin az olduğu ve sadece belirsiz, kesin olmayan verilerin bulunduğu en karmaşık sistemlerde, bulanık mantık yürütme gözlenen girdi ve çıktı durumlarının arasına yaklaşık ifadesini koymamızı sağlayarak sistem davranışını anlamamızı sağlar. Bu yüzden kesin olmama durumu bulanık modellerde oldukça yüksektir. Bulanık sistemler, belirgin girdi ve çıktıya da uyarlanabilir, diğer sistemler gibi sonuçlar üretebilir. Şekil 4.1’de gösterilen tüm sistemler doğrusal olmayan denklemler, bulanık modeller veya sinir ağlarıyla modellenebilir. Önemli olan nokta; modelin tipiyle karşılaşılan problemdeki belirsizliğin karakteristiğinin uydurulmasıdır. Örneğin kesinliğin belli olduğu bir durumda, problemin en iyi şekilde anlaşılması için bulanık sistemler kesin algoritmalarından daha az etkindir. Bir başka açıdan, bulanık sistemler kesin olmayan ve belirsiz bilginin bulunduğu problemlerin modellenmesine odaklanabilir.

4.2 Bulanık Kümeler

Klasik anlayışta küme, görüş ve düşüncelerin birbirinden tamamıyla ayrı ve belirli şeylerin bir bütün halinde toplanması olarak tanımlanmıştır [4]. Burada elemanın uzaya ait olması ile ait olmaması arasındaki geçiş birdenbire ve kesindir. Bulanık kümelerde ise bu geçiş kademeli olarak sağlanabilir. Çeşitli üyelik dereceleri arasındaki bu geçiş bulanık kümelerini sınırlarının kesin olmayan belirsiz yapısından kaynaklanır. Bu yüzden bir elemanın üyeliğinin bulanık kümeyle ifade edilmesi kesin olmama ve belirsiz olmasını tarif etmeye çalışıldığının göstergesidir [1].

Konuya matematiksel açıdan bakıldığında; klasik kümelerde bir eleman bir kümeye aittir veya ait değildir. Buna göre üyelik durumu gösterilecek olunursa; x elemanın A kümesine üyelik durumu şu şekilde ifade edilir:

$$X_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases} \quad (4.1)$$

Fakat bulanık kümelerde üyelik sadece ait olma ve ait olmama durumlarından ibaret değildir. Bulanık bir kümenin sınırları belirsiz olduğu için, bir elemanın o kümeye ait olması $[0,1]$ aralığındaki herhangi bir değerle ifade edilir. İşte burada bahsedilen ait olma durumu bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu ile tanımlanır ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1] \quad (4.2)$$

$\mu_{\tilde{A}}(x)$ simgesi x elemanın $\tilde{A}$ bulanık kümesine üyelik derecesidir. Görüldüğü gibi bulanık kümelerin elemanları üyelik değerleri uzayında fonksiyon-teorik formda gösterilirler. (4.2)'deki denklemden gösterildiği gibi bulanık bir küme altındaki bir simgeyle klasik kümelerden ayrılır. Örneğin $\tilde{A}$, bulanık A kümesini ifade eder. Bu fonksiyon $\tilde{A}$ bulanık kümesinin elemanlarını 0 dan 1'e kadar olan reel sayı değerlerine eşler. Aşağıda bulanık kümenin klasik kümeden farkının ve bulanık kümenin ifade edilmesinin daha iyi anlaşılabilmesi için bir örnek verilmiştir.

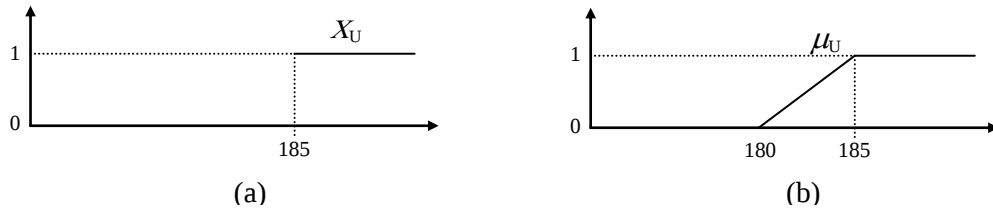
Örnek 3.1. Uzun boylu olma durumu göz önüne alınacak olunursa; 2 metre uzunluğundaki birine uzun boylu demek oldukça kolaydır. Fakat 185 boyundaki birine uzun demek farklı bakış açılarına göre değişebilir. Ya da uzun boylu olmanın sınırının ne olacağı belirsizdir ve kesin değildir. Bu yüzden uzun boylu olma kümesini klasik kümelerle ifade etmek güç olabilir. Şöyle ki; uzun boylu olmayı klasik kümelerle ifade etmek için “185cm ve üzeri boyu olanlar uzundur” gibi bir tanım yapmak gerekecektir ve 185cm üzerindeki uzun boylular kümesine ait olduğu söylenecektir. X_U uzun boylular kümesi;

$$X_U(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 185 \\ 0 & x < 185 \end{cases} \quad \text{olarak gösterilecektir.}$$

Burada dikkat edilmesi gereken nokta kümeye ait olma ile ait olmama arasındaki ani geçiştir. Yani bu tanımla 185 cm boyundaki birine “uzun” derken ondan sadece bir milimetre kısa birine (184,9cm) “uzun değil” denilmiş olur. Böylece tanımdaki ve ölçümlerdeki belirsizlik göz ardı edilir. Bulanık kümelerde ise; bu geçiş ani ve birdenbire değildir, bahsedilen küme sözel olarak “yaklaşık 185 cm ve üzeri olanlar uyum boyludur”la ifade edilebilir. Bu sözel ifadenin bulanık küme yaklaşımında matematiksel gösterimi aşağıdaki gibi olur.

$$\mu_{\tilde{U}}(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 185 \\ \frac{x-180}{5} & 185 > x \geq 180 \\ 0 & x < 180 \end{cases}$$

görülebileceği gibi bulanık gösterimde geçiş ani olmamıştır. 184 cm boyundaki birinin kümeye üyelik derecesi $\mu_{\tilde{U}}(184) = 0,8$ olarak görülebilir. Şekil 4.2’de örnekle ilgili üyelik fonksiyonları grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Uzun boylu olma üyelik fonksiyonları (a) klasik (b) bulanık kümeler

Bir bulanık kümenin tüm elemanlarının gösterimi, elemanlarının kesikli veya sürekli olmasına göre değişir. Bir bulanık küme elemanlar ve üyelik dereceleri kesikli ve sonlu bir fonksiyonla ifade edildiği durumlarda ;

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1}, \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2}, \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} \right\}, \quad (4.3)$$

Elemanlar ve üyelik derecelerinin sürekli ve sonsuz bir fonksiyonla ifade edildiği durumlarda ise; aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\tilde{A} = \left\{ \int \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x} \right\} \quad (4.4)$$

Her iki gösterimde, yatay çizgi bölme çizgisi değil, sınır çizgisidir. Her bir terimdeki pay, paydada gösterilen elemanın $\tilde{A}$ bulanık kümesindeki üyelik derecesidir. Birinci gösterimdeki toplama sembolü (Σ), cebirsel toplam değil, daha çok tüm elemanların bir araya getirilmesini; aynı şekilde artı (+) sembolü de cebirsel bir toplamı değil, fonksiyon-teorik birleşimi ifade eder. İkinci gösterimdeki entegral sembolü cebirsel entegral değil, sürekli değişkenlerin fonksiyon-teorik birleşimini ifade eder.

4.2.1 Bulanık Kümelerde İşlemler

Bu bölümde klasik küme teorisinde kullanılan küme işlemleri bulanık kümelere uyarlanmıştır. Bunun için $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ gibi X uzayında tanımlı iki bulanık küme olsun, x bu uzaya ait bir eleman için birleşim, kesişim ve tamamlayıcı işlemleri [1] ve [2]'de şu şekilde tanımlanmışlardır.

$$\text{Birleşim} \quad \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x) = \text{enb} \left\{ \mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x) \right\} \quad (4.5)$$

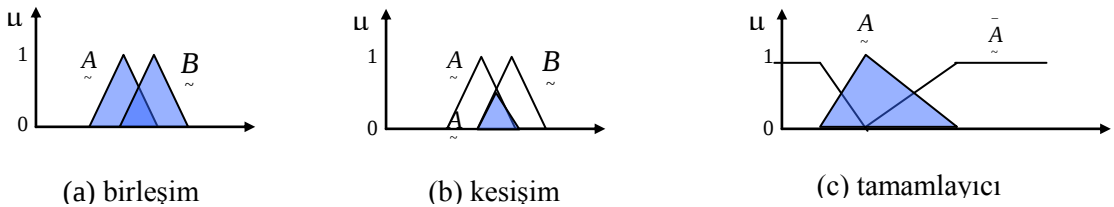
$$\text{Kesişim} \quad \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x) = \text{enk} \left\{ \mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x) \right\} \quad (4.6)$$

$$\text{Tamamlayıcı} \quad \mu_{\tilde{A}^-}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (4.7)$$

Şekil 4.3'te tanımlanan işlemler Venn şeması üzerinde gösterilmiştir.

X uzayında tanımlanmış herhangi bir $\tilde{A}$ bulanık kümesi bu uzayın alt kümesidir.

Tanımlardan çıkarılan diğer bir sonuç boş kümeye ait bir x elemanın üyelik derecesi, klasik kümelerde olduğu gibi, 0; ve herhangi bir x elemanın X uzayına üyelik derecesi 1'dir.



Şekil 4.3 Bulanık küme işlemlerinin Venn şeması üzerinde gösterilmesi [1,2]

Denklem (4.5) ve (4.6)'da tanımlarda birleşim ve kesişim işlemleri en büyük ve en küçük operatörleriyle gerçekleştirilmişlerdir. Farklı kaynaklarda bu işlemleri

gerçekleştirmek için farklı yöntemler bulunabilmektedir. Bölüm 4.2.3'te bulanık küme operatörleri daha ayrıntılı olarak incelenmiştir.

4.2.2 Bulanık Kümelerde Bağıntılar

Bağıntılar kümeler üzerindeki bir çok işlemin arkasındaki temeli oluşturur. Bağıntılar kümeler için matematiksel fonksiyonların yaptığı gibi ilişkilerin ifade edilmesini temsil eder. Kümeler arasındaki ilişkilerin anlaşılıp ifade edilmesi mühendislik ve bilimde önemli bir yer tutar. Bağıntıyı tanımlayabilmek için kartezyen çarpım kavramının bilinmesi gerekir.

4.2.2.1 Kartezyen Çarpım

$(a_1, a_2, a_3, \dots, a_r)$ şeklinde yazılan r elemanın sıralı dizisine sıralı r 'li diziliş denir. $A_1, A_2, A_3, \dots, A_r$ klasik kümeleri için tüm $(a_1, a_2, a_3, \dots, a_r)$ r 'li dizilişlerin $\{a_1 \in A_1, a_2 \in A_2, a_3 \in A_3, \dots, a_r \in A_r\}$ kümesine $A_1, A_2, A_3, \dots, A_r$ 'nin kartezyen çarpımı denir ve $A_1 \times A_2 \times A_3 \times \dots \times A_r$ şeklinde gösterilir. En çok kullanılan $r = 2$ özel durumu, yani kartezyen çarpım $A_1 \times A_2$ sıralı ikili olarak adlandırılır.

Kartezyen çarpım $A_1 \times A_2 \times A_3 \times \dots \times A_r$ 'nin bir alt kümesine $A_1, A_2, A_3, \dots, A_r$ üzerinde r 'li bağıntı denir. Yine en çok kullanılan $r = 2$ özel durumu için $A_1 \times A_2$ A_1 'den A_2 'ye ikili bağıntı olarak adlandırılır, oluşan (a_1, a_2) 2'li dizilişlerine ise sıralı ikili denir. Bundan sonraki konular anlatım ve anlama kolaylığı sağlayacağı için ikili bağıntı üzerinde anlatılacaktır.

Klasik kümelerde X ve Y gibi iki uzayın kartezyen çarpımı

$X \times Y = \{(x, y) \mid x \in X, y \in Y\}$ şeklinde gösterilir.

Böylece X uzayına ait tüm elemanlar Y uzayına ait tüm elemanlarla ilgilendirilmiş olur. Sıralı ikililer arasındaki bağıntının gücü ise χ karakteristik fonksiyonu ile ifade edilecek olursa, tam bir ilişki var ve ilişki yok şeklinde gösterilecektir. Matematiksel

olarak $\chi_{X \times Y}(x, y) = \begin{cases} 1, & (x, y) \in X \times Y \\ 0, & (x, y) \notin X \times Y \end{cases}$ şeklinde gösterilir.

Bulanık kümelerdeki kartezyen çarpımda ise; sıralı ikililer arasındaki bağıntının gücü karakteristik fonksiyonla değil, bağıntının gücünü $[0,1]$ birim aralığında değer alan çeşitli derecelerde beyan eden üyelik fonksiyonu ile ifade edilir. Bu yüzden R bulanık bağıntısının gösterimi $X \times Y$ kartezyen çarpımından $[0,1]$ aralığına olacaktır.

Burada bağıntının gücü $\mu_{\tilde{R}}(x,y)$ şeklinde gösterilen üyelik fonksiyonu ile belirtilmiş olacaktır.

Bulanık bağıntılar bulanık kümeler arasındaki ilişkileri gösterir. $\tilde{A}$ bulanık kümesi X , $\tilde{B}$ bulanık kümesi Y uzayında tanımlı olsun; $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ kümeleri arasındaki kartezyen çarpım bulanık bir bağıntı olan $\tilde{R}$ ile sonuçlanacaktır. $\tilde{R}$ 'nin üyelik fonksiyonu şu şekilde tanımlanmıştır:[1]

$$\mu_{\tilde{R}}(x,y) = \mu_{\tilde{A} \times \tilde{B}}(x,y) = \text{enk} \left\{ \mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y) \right\} \quad (4.8)$$

bu özellikleri daha iyi anlayabilmek için bir örnek üzerinde gösterilirse;

Örnek 3.2. $\tilde{A}$ üç kesikli sıcaklık üzerinde tanımlanmış, $X = \{x_1, x_2, x_3\}$, $\tilde{B}$ de iki kesikli basınç üzerinde tanımlanmış, $Y = \{y_1, y_2\}$, bulanık kümeler olsun, bu kümeler arasındaki kartezyen çarpım bulunmak istensin. $\tilde{A}$ bulanık kümesi “yaklaşık normal hava” sıcaklığını, $\tilde{B}$ ise “en iyiye yakın” basıncı temsil etsinler, böylece oluşacak $\tilde{R}$ kartezyen çarpımı da eş verimli şartlarını (sıcaklık ve basınç) gösteren bir işlem olacaktır [1 s.54].

$$\tilde{A} = \frac{0,2}{x_1} + \frac{0,5}{x_2} + \frac{1}{x_3} \quad \text{ve} \quad \tilde{B} = \frac{0,3}{y_1} + \frac{0,9}{y_2} \quad \text{olsun,}$$

“verimliliği” gösteren $\tilde{R}$ kartezyen çarpımı da

$$\tilde{A} \times \tilde{B} = \tilde{R} = \begin{matrix} & \begin{matrix} y_1 & y_2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,2 & 0,2 \\ 0,3 & 0,5 \\ 0,3 & 0,9 \end{bmatrix} \end{matrix} \text{ olacaktır.}$$

Hesaplama (4.8)’e göre her ikili için olan değerlerin en küçüğü alınmıştır. Örneğin $\tilde{R}(x_1, y_1) = \text{enk}(0,2;0,3) = 0,2$ olarak hesaplanmıştır.

Bulanık bağıntılarda işlemler:

$X \times Y$ kartezyen uzayında $\tilde{R}$ ve $\tilde{S}$ bulanık bağıntılar olsun; aşağıda çeşitli küme işlemleri üyelik değerleri için uygulanmıştır:

$$\text{Birleşim} \quad \mu_{\tilde{R} \cup \tilde{S}}(x, y) = \text{enb} \left\{ \mu_{\tilde{R}}(x, y), \mu_{\tilde{S}}(x, y) \right\} \quad (4.9)$$

$$\text{Kesişim} \quad \mu_{\tilde{R} \cap \tilde{S}}(x, y) = \text{enk} \left\{ \mu_{\tilde{R}}(x, y), \mu_{\tilde{S}}(x, y) \right\} \quad (4.10)$$

$$\text{Tamamlayıcı} \quad \mu_{\tilde{R}^-}(x, y) = 1 - \mu_{\tilde{R}}(x, y) \quad (4.11)$$

$$\text{Kapsama} \quad \tilde{R} \subset \tilde{S} \Rightarrow \mu_{\tilde{R}}(x, y) \leq \mu_{\tilde{S}}(x, y) \quad (4.12)$$

4.2.2.2 Bulanık Oluşumlar

Bulanık oluşumlar klasik ikili bağıntılar gibi tarif edilebilir. $\tilde{R}$, $X \times Y$ kartezyen uzayında, $\tilde{S}$, $Y \times Z$ kartezyen uzayında ve $\tilde{T}$ de $X \times Z$ kartezyen uzayında bulanık bağıntılar olsun, bulanık en büyük - en küçük oluşumu aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\begin{aligned} \tilde{T} &= \tilde{R} \circ \tilde{S} \\ \mu_{\tilde{T}}(x, z) &= \bigvee_{y \in Y} \left(\mu_{\tilde{R}}(x, y) \wedge \mu_{\tilde{S}}(y, z) \right) \end{aligned} \quad (4.13)$$

ve bulanık en büyük-çarpım oluşumu aşağıdaki gibi olur:

$$\mu_{\tilde{T}}(x, z) = \bigvee_{y \in Y} \left(\mu_{\tilde{R}}(x, y) \bullet \mu_{\tilde{S}}(y, z) \right) \quad (4.14)$$

örnek üzerinde irdelenecek olursa;

Örnek 3.3. Yukarıdaki tanımlar aynen geçerli olmak koşulu ile; $X = \{x_1, x_2\}$, $Y = \{y_1, y_2\}$, $Z = \{z_1, z_2, z_3\}$, ve $\tilde{R}$, $\tilde{S}$ bağıntıları aşağıdaki gibi olsun;

$$\tilde{R} = \begin{matrix} & y_1 & y_2 \\ x_1 & \begin{bmatrix} 0,7 & 0,5 \end{bmatrix} \\ x_2 & \begin{bmatrix} 0,8 & 0,4 \end{bmatrix} \end{matrix}, \tilde{S} = \begin{matrix} & z_1 & z_2 & z_3 \\ y_1 & \begin{bmatrix} 0,9 & 0,6 & 0,2 \end{bmatrix} \\ y_2 & \begin{bmatrix} 0,1 & 0,7 & 0,5 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

daha sonra T bağıntısı $R \circ S$ olarak tanımlanıp, enb-enk oluşumu ile hesaplanırsa

$$T = \begin{matrix} & z_1 & z_2 & z_3 \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,7 & 0,6 & 0,5 \\ 0,8 & 0,6 & 0,4 \end{bmatrix} \end{matrix} \text{ bulunur.}$$

Hesaplama (4.13)'de belirtilen fonksiyon yardımıyla yapılmıştır. Örneğin $\mu_T(x_1, z_1)$ şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\mu_T(x_1, z_1) = \text{enb}[\text{enk}(0,7;0,9), \text{enk}(0,5;0,1)] = 0,7$$

T bağıntısı en büyük-çarpım oluşumu ile hesaplanırsa aşağıdaki sonuç elde edilir.

$$T = \begin{matrix} & z_1 & z_2 & z_3 \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,63 & 0,42 & 0,25 \\ 0,72 & 0,48 & 0,20 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

burada da (4.14) kullanılarak $\mu_T(x_1, z_1)$ örnek olarak hesaplanırsa;

$$\mu_T(x_1, z_1) = \text{enb}[(0,7 \cdot 0,9), (0,5 \cdot 0,1)] = 0,63 \text{ elde edilir.}$$

4.2.3 Bulanık Kümelerde Operatörler

Önceki konularda bulanık kümeler üzerindeki birleşim ve kesişim işlemlerinden bahsedildi. Bu işlemler için en büyük ve en küçük operatörleri kullanıldı. Fakat küme-teorik operatörler bunlarla sınırlı değildir. Bir çok kaynakta bir çok işlemi gerçekleştirmek için çeşitli operatörler kullanılmıştır. En büyük ve en küçük operatörleri dışında önemli olan birkaçı burada anlatılacaktır [3].

4.2.3.1 Cebirsel Çarpım

Cebirsel çarpım iki bulanık kümenin kesişimini ifade etmek için tanımlanmıştır. A ve B bulanık kümelerinin cebirsel çarpımı $\{(x, \mu_{A \cdot B})\}$ şeklinde gösterilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

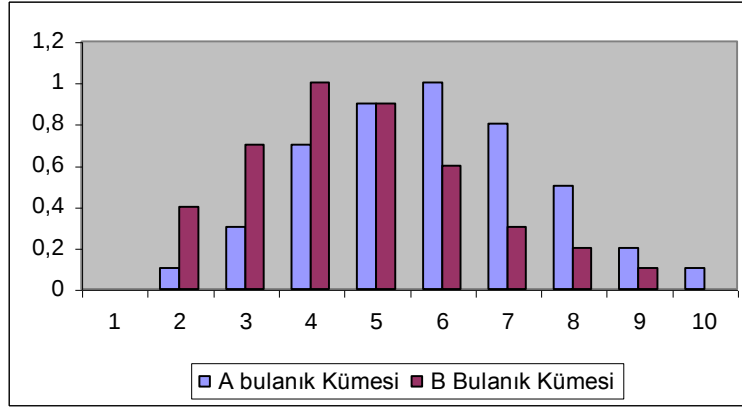
$$\mu_{A \cdot B} = (\mu_A)(\mu_B) \quad (4.15)$$

Örnek 3.4 Cebirsel çarpım operatörünü bir örnek üzerinde görebilmek için $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerini tanımlamak gerekir;

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0,1}{2} + \frac{0,3}{3} + \frac{0,7}{4} + \frac{0,9}{5} + \frac{1}{6} + \frac{0,8}{7} + \frac{0,5}{8} + \frac{0,2}{9} + \frac{0,1}{10} \right\}$$

$$\tilde{B} = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0,4}{2} + \frac{0,7}{3} + \frac{1}{4} + \frac{0,9}{5} + \frac{0,6}{6} + \frac{0,3}{7} + \frac{0,2}{8} + \frac{0,1}{9} + \frac{0}{10} \right\}$$

Şekil 4.4'te $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Örnekteki bulanık kümelerin grafik gösterimi

Verilen $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ 'ye göre $\mu_{\tilde{A} \cdot \tilde{B}}$ aşağıdaki gibi oluşmuştur:

$$\tilde{A} \cdot \tilde{B} = \left\{ \frac{0,04}{1} + \frac{0,21}{2} + \frac{0,7}{3} + \frac{0,81}{4} + \frac{0,9}{5} + \frac{0,6}{6} + \frac{0,24}{7} + \frac{0,1}{8} + \frac{0,02}{9} + \frac{0}{10} \right\}$$

hesap yapılırken (4.15)'ten yararlanılmış ve örneğin $\mu_{\tilde{A} \cdot \tilde{B}}(7)$ 'yi bulmak için

$$\tilde{A}(7) \tilde{B}(7) = 0,8 * 0,3 = 0,24 \text{ bulunmuştur.}$$

4.2.3.2 Sınırlandırılmış Çarpım

Sınırlandırılmış çarpım kümelerin kesişimini bulmak için bir başka yöntemdir. $\tilde{A}$ ve

$\tilde{B}$ bulanık kümelerinin sınırlandırılmış çarpımı $\{(x, \mu_{\tilde{A}(\cdot) \cdot \tilde{B}})\}$ şeklinde gösterilir ve

şöyle hesaplanır:

$$\mu_{\tilde{A}(\cdot) \cdot \tilde{B}} = \text{enb}(0, \mu_{\tilde{A}} + \mu_{\tilde{B}} - 1) \quad (4.16)$$

Örnek 3.5 Örnek 3.4'teki $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerini kullanarak $\mu_{\tilde{A}(\cdot)\tilde{B}}$ hesaplanırsa;

$$\tilde{A}(\cdot)\tilde{B} = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0}{2} + \frac{0}{3} + \frac{0,7}{4} + \frac{0,8}{5} + \frac{0,6}{6} + \frac{0,1}{7} + \frac{0}{8} + \frac{0}{9} + \frac{0}{10} \right\} \text{ bulunur.}$$

Örneğin $\mu_{\tilde{A}(\cdot)\tilde{B}}(5)$ 'nin hesabı $\text{enb}(0;0,9+0,9-1) = \text{enb}(0;0,8)=0,8$ olarak yapılmıştır.

4.2.3.3 Hamacher En Küçük Operatörü

Hamacher tarafından geliştirilen en küçük operatörü parametrik bir kesişim ifade eder, $\tilde{A} \gamma \tilde{B}$ şeklinde yazılmış ve aşağıdaki gibi karakterize edilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A} \gamma \tilde{B}} = [(\mu_{\tilde{A}})(\mu_{\tilde{B}})] / [\gamma + (1-\gamma)(\mu_{\tilde{A}} + \mu_{\tilde{B}} - \mu_{\tilde{A}}\mu_{\tilde{B}})] \quad \gamma \in [0, \infty] \quad (4.17)$$

verilen $(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}})$ çifti için;

$$\mu_{\tilde{A} \gamma \tilde{B}} \in [T_w(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}}), (\mu_{\tilde{A}})(\mu_{\tilde{B}}) / (\mu_{\tilde{A}} + \mu_{\tilde{B}} - \mu_{\tilde{A}}\mu_{\tilde{B}})] \quad (4.18)$$

elde edilir, burada;

$$T_w(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}}) = \begin{cases} \mu_{\tilde{A}}, & \text{if } \mu_{\tilde{B}} = 1 \\ \mu_{\tilde{B}}, & \text{if } \mu_{\tilde{A}} = 1 \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.19)$$

$\gamma=1$ iken, $\mu_{\tilde{A} \gamma \tilde{B}} = (\mu_{\tilde{A}})(\mu_{\tilde{B}})$ olur. Eğer $(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}})$ ikilisinden biri 0 ise $\mu_{\tilde{A} \gamma \tilde{B}} = 0$ olur.

Eğer $\mu_{\tilde{A}} = 1$ ve $\mu_{\tilde{B}} \neq 0$ ise $\mu_{\tilde{A} \gamma \tilde{B}} = \mu_{\tilde{B}}$ 'ye eşit olur ve tersi de doğrudur. $\mu_{\tilde{A} \gamma \tilde{B}}$, $\gamma \rightarrow 0$ 'da kendi üst sınırına yaklaşır.

Örnek 3.6 Örnek 3.4'teki $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerini kullanarak ve $\gamma = 0,5$ alınarak

$\mu_{\tilde{A} \gamma \tilde{B}}$ hesaplanırsa;

$$\tilde{A} \gamma \tilde{B} = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0,05}{2} + \frac{0,23}{3} + \frac{0,7}{4} + \frac{0,81}{5} + \frac{0,6}{6} + \frac{0,26}{7} + \frac{0,13}{8} + \frac{0,03}{9} + \frac{0}{10} \right\}$$

elde edilir. Burada örnek bir hesaplama olarak $\mu_{\tilde{A} \gamma \tilde{B}}(3)$ bulunursa;
 $[0,3*0,7]/[0,5+0,5*(0,3+0,7-0,3*0,7)] = 0,21 / 0,895 = 0,2346$ dır.

4.2.3.4 Yager En Küçük Operatörü

Yager en küçük operatörü şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\mu_{\tilde{A} q \tilde{B}} = 1 - \text{enk}\left(1, \left[(1 - \mu_{\tilde{A}})^q + (1 - \mu_{\tilde{B}})^q\right]^{1/q}\right), \quad q \geq 1. \quad (4.20)$$

$\mu_{\tilde{A} q \tilde{B}}$, q'ya göre artar. q'ya farklı değerler vererek çeşitli bulanık kesişim operatörleri türetilebilir. q parametresi “ve”nin gücüyle ters ilişkilidir denebilir. Şöyle ki; q ne kadar küçükse ilişkideki “ve” de o kadar güçlüdür. Bunun yardımıyla q'da değişiklikler yapılarak bulanık sayılar arasındaki ilişki düzenlenebilir.

Örnek 3.7 Örnek 3.4'teki $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerini kullanarak ve $q = 5$ alınarak $\mu_{\tilde{A} q \tilde{B}}$ hesaplanırsa;

$$\mu_{\tilde{A} q \tilde{B}} = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0,08}{2} + \frac{0,3}{3} + \frac{0,7}{4} + \frac{0,89}{5} + \frac{0,6}{6} + \frac{0,3}{7} + \frac{0,19}{8} + \frac{0,02}{9} + \frac{0}{10} \right\} \text{ bulunur.}$$

Örnek bir hesaplama: $\mu_{\tilde{A} q \tilde{B}}(8) = 1 - \text{enk}(1; ((1-0,5)^5 + (1-0,2)^5)^{1/5}) = 1 - \text{enk}(1; (0,03125 + 0,32768)^{0,2}) = 1 - \text{enk}(1; 0,81) = 0,19$

4.2.3.5 Dubois ve Prade En Küçük Operatörü

Dubois ve Prade en küçük operatörü aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\mu_{\tilde{A} \lambda \tilde{B}} = (\mu_{\tilde{A}})(\mu_{\tilde{B}}) / [\text{enk}(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}}, \lambda)], \quad \lambda \in [0,1] \quad (4.21)$$

Değeri λ 'nın değerine göre düşer. λ 'nın uç değerlerinde çıkan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

λ	$\mu_{\tilde{A} \lambda \tilde{B}}$
0	$\text{enk}(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}})$
1	$(\mu_{\tilde{A}})(\mu_{\tilde{B}})$

Örnek 3.8 Örnek 3.4'teki $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri için $\lambda=0,5$ alınarak $\mu_{\tilde{A} \lambda \tilde{B}}$ hesaplanırsa;

$$\tilde{A} \lambda \tilde{B} = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0,08}{2} + \frac{0,3}{3} + \frac{0,7}{4} + \frac{0,9}{5} + \frac{0,6}{6} + \frac{0,3}{7} + \frac{0,2}{8} + \frac{0,04}{9} + \frac{0}{10} \right\} \text{ elde edilir.}$$

Örnek bir hesaplama: $\mu_{\tilde{A} \lambda \tilde{B}}(9) = 0,2 * 0,1 / \text{enb}(0,2;0,1;0,5) = 0,02/0,5 = 0,4$

Tablo 4.1 Toplu olarak örnek 3.4-3.8’lerdeki sonuçlar

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tilde{A}$	0.0	0.1	0.3	0.7	0.9	1.0	0.80	0.50	0.20	0.10
$\tilde{B}$	0.0	0.4	0.7	1.0	0.9	0.6	0.30	0.20	0.10	0.00
En küçük	0.0	0.1	0.3	0.7	0.90	0.6	0.30	0.20	0.10	0.00
Cebirsel çarpım	0.0	0.04	0.21	0.7	0.81	0.6	0.24	0.10	0.02	0.00
Sınırlandırılmış çarpım	0.0	0.0	0.00	0.7	0.8	0.6	0.10	0.00	0.00	0.00
Hamacher min($\gamma=0,5$)	0.0	0.05	0.23	0.7	0.81	0.6	0.26	0.13	0.03	0.00
Yager enk ($q=5$)	0.0	0.08	0.3	0.7	0.89	0.6	0.30	0.19	0.02	0.00
Dubois ve Prade ($\lambda=0,5$)	0.0	0.08	0.3	0.7	0.9	0.6	0.30	0.20	0.04	0.00

En küçük operatörü, cebirsel çarpım ve sınırlandırılmış çarpım bulanık kümelerin kesişimi için temel operatörler olarak görülebilir. Tablo 4.1’de de görülebileceği gibi her birinden çıkan sonuçlar farklı olabilir, bunun nedeni her birinin karar uzayında “ve”nin farklı derecelerini ölçmek için kullanılmasıdır. Bu yüzden bazen hangi operatörün kullanılacağına karar verilmesi güç olabilir. Bu güçlüğü bertaraf etmek için bahsedilen diğer Hamacher, Yager, Dubois ve Prade operatörleri kullanmak daha uygun olacaktır. Çünkü bu operatörler parametrik olup, işlemi yapacak olan kimsenin kafasındaki “ve”nin gücüne göre değiştirilebilirler.

4.2.3.6 Cebirsel Toplam

Cebirsel toplam bulanık kümelerin birleşimini ifade etmek için tanımlanmıştır. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinin cebirsel toplamı aşağıdaki gibi karakterize edilir:

$$\mu_{\tilde{A}+\tilde{B}} = \mu_{\tilde{A}} + \mu_{\tilde{B}} - \mu_{\tilde{A}} \mu_{\tilde{B}} \quad (4.22)$$

Cebirsel toplam olasılık yaklaşımlı bir birleşim operatörüdür.

Örnek 3.9 Örnek 3.4’teki $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerini kullanarak (4.22)’ye göre $\mu_{\tilde{A}+\tilde{B}}$ hesaplanmıştır:

$$\tilde{A} + \tilde{B} = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0,46}{2} + \frac{0,79}{3} + \frac{1}{4} + \frac{0,99}{5} + \frac{1}{6} + \frac{,86}{7} + \frac{0,6}{8} + \frac{0,28}{9} + \frac{0,1}{10} \right\}$$

Örnek hesaplama: $\mu_{\tilde{A}+\tilde{B}}(7) = 0,8+0,3-0,24 = 0,86$.

4.2.3.7 Sınırlandırılmış Toplam

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinin sınırlandırılmış toplamı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu_{\tilde{A}(+)\tilde{B}} = \text{enk}(1, \mu_{\tilde{A}} + \mu_{\tilde{B}}) \quad (4.23)$$

bu bulanık kümelerin birleşimini göstermek için başka bir yoldur. Operatör için fiziksel bir anlam tanımlanmamıştır.

Örnek 3.10 Örnek 3.4'teki $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerini kullanarak $\mu_{\tilde{A}(+)\tilde{B}}$ hesaplanmıştır:

$$\mu_{\tilde{A}(+)\tilde{B}} = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0,5}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{0,7}{8} + \frac{,30}{9} + \frac{0,1}{10} \right\}$$

Örnek hesaplama: $\mu_{\tilde{A}(+)\tilde{B}}(5) = \text{enk}(1; 0,9+0,9) = 1$.

4.2.3.8 Hamacher En Büyük Operatörü

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri için Hamacher en büyük operatörü şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\mu_{\tilde{A}\gamma'\tilde{B}} = \frac{(1-\gamma')\mu_{\tilde{A}}\mu_{\tilde{B}} + \gamma'(\mu_{\tilde{A}} + \mu_{\tilde{B}})}{\gamma' + \mu_{\tilde{A}}\mu_{\tilde{B}}}, \quad \gamma' \geq 0. \quad (4.24)$$

Herhangi bir $(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}})$ çifti için

$$\mu_{\tilde{A}\gamma'\tilde{B}} \in \left[\frac{\mu_{\tilde{A}} + \mu_{\tilde{B}}}{\mu_{\tilde{A}}\mu_{\tilde{B}} + 1}, 1 \right] \text{ elde edilir.}$$

Ayrıca (4.24)'ki fonksiyonun değeri γ' 0'a yaklaştıkça artar.

Örnek 3.11 Örnek 3.4'teki $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerini kullanarak ve $\gamma' = 0,5$ alınarak

$\mu_{\tilde{A}\gamma'\tilde{B}}$ hesaplanmıştır:

$$\mu_{\tilde{A}\gamma'\tilde{B}} = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0,5}{2} + \frac{0,85}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{0,91}{7} + \frac{0,67}{8} + \frac{0,31}{9} + \frac{0,1}{10} \right\}$$

Örnek hesaplama:

$$\mu_{\tilde{A} \tilde{q}' \tilde{B}}(9) = [0,5*0,2*0,1+0,5*(0,2+0,1)] / [0,5+0,2*0,1] = 0,16 / 0,52 = 0,31.$$

4.2.3.9 Yager En Büyük Operatörü

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri için Yager en büyük operatörü aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\mu_{\tilde{A} \tilde{q}' \tilde{B}} = enk\left(1, \left(\mu_{\tilde{A}}^{q'} + \mu_{\tilde{B}}^{q'}\right)^{1/q'}\right), \quad q' \geq 1. \quad (4.25)$$

q' için özel durumlar incelenirse aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

q'	$\mu_{\tilde{A} \tilde{q}' \tilde{B}}$
1	$enk(1, \mu_{\tilde{A}} + \mu_{\tilde{B}})$
∞	$enb(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}})$

$\mu_{\tilde{A} \tilde{q}' \tilde{B}}$ üyelik fonksiyonu birleşim operatörünün genel halidir. q' 'ye farklı değerler vererek çeşitli bulanık birleşim operatörleri elde edilebilir. q' parametresi bire yaklaştıkça çok hafif bir “veya” işlemi, ve q' sonsuza yaklaştıkça da daha güçlü “veya” işlemi elde edilir.

Örnek 3.12 Örnek 3.4'teki $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerini kullanarak ve $q' = 5$ alınarak

$\mu_{\tilde{A} \tilde{q}' \tilde{B}}$ hesaplanmıştır:

$$\mu_{\tilde{A} \tilde{q}' \tilde{B}} = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0,4}{2} + \frac{0,7}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{0,8}{7} + \frac{0,5}{8} + \frac{0,2}{9} + \frac{0,1}{10} \right\}$$

$$\text{Örnek hesaplama: } \mu_{\tilde{A} \tilde{q}' \tilde{B}}(5) = enk(1; (0,9^5 + 0,9^5)^{1/5}) = enk(1; 1,18^{0,2}) = 1$$

4.2.3.10 Dubois ve Prade En büyük Operatörü

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri için Dubois ve Prade en büyük operatörü aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A} \tilde{\lambda}' \tilde{B}} = \frac{\mu_{\tilde{A}} + \mu_{\tilde{B}} - (\mu_{\tilde{A}})(\mu_{\tilde{B}}) - enk(1 - \lambda', \mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}})}{enb(1 - \mu_{\tilde{A}}, 1 - \mu_{\tilde{B}}, \lambda')} \quad (4.26)$$

$\lambda' = 1$ için $\mu_{\tilde{A}\tilde{\lambda}'\tilde{B}}$ cebirsel toplama ($\mu_{\tilde{A}+\tilde{B}}$) eşit olur. Üyelik değeri $\mu_{\tilde{A}\tilde{\lambda}'\tilde{B}}$, λ' sıfıra yaklaşıırken düşer.

Örnek 3.13 Örnek 3.4'teki $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerini kullanarak ve $\lambda' = 0,5$ alınarak $\mu_{\tilde{A}\tilde{\lambda}'\tilde{B}}$ hesaplanmıştır:

$$\mu_{\tilde{A}\tilde{\lambda}'\tilde{B}} = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0,4}{2} + \frac{0,7}{3} + \frac{1}{4} + \frac{0,98}{5} + \frac{1}{6} + \frac{0,8}{7} + \frac{0,5}{8} + \frac{0,2}{9} + \frac{0,1}{10} \right\}$$

Örnek hesaplama: $\mu_{\tilde{A}\tilde{\lambda}'\tilde{B}}(3) = [0,3 + 0,7 - 0,3*0,7 - \text{enk}(1-0,5 ; 0,3 ; 0,7)] / \text{enb}(1-0,3 ; 1-0,7 ; 0,5) = [1 - 0,21 - 0,3] / 0,7 = 0,49 / 0,7 = 0,7$.

Tablo 4.2 Örneklerin toplu sonuçları

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tilde{A}$	0.00	0.10	0.30	0.70	0.90	1.00	0.80	0.50	0.20	0.10
$\tilde{B}$	0.00	0.40	0.70	1.00	0.90	0.60	0.30	0.20	0.10	0.00
En Büyük	0.00	0.40	0.70	1.00	0.90	1.00	0.80	0.50	0.20	0.10
Cebirsel Toplam	0.00	0.46	0.79	1.00	0.99	1.00	0.86	0.60	0.28	0.10
Sınırlandırılmış toplam	0.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.30	0.10
Hamacher Enb ($\gamma'=0,5$)	0.00	0.50	0.85	1.00	1.00	1.00	0.91	0.67	0.31	0.10
Yager Enb ($q'=5$)	0.00	0.40	0.70	1.00	1.00	1.00	0.80	0.50	0.20	0.10
Dubois ve Prade Enb ($\lambda'=0,5$)	0.00	0.40	0.70	1.00	0.98	1.00	0.80	0.50	0.20	0.10

En büyük operatörü, cebirsel toplam ve sınırlandırılmış toplam bulanık kümelerin birleşimi için temel operatörler olarak görülebilir. Tablo 4.2'de de görülebileceği gibi her birinden çıkan sonuçlar farklı olabilir, bunun nedeni her birinin karar uzayında “veya”nın farklı derecelerini ölçmek için kullanılmasıdır. Bu yüzden bazen hangi operatörün kullanılacağına karar verilmesi güç olabilir. Bu güçlüğü bertaraf etmek için bahsedilen diğer Hamacher, Yager, Dubois ve Prade operatörleri kullanmak daha uygun olacaktır. Çünkü bu operatörler parametrik olup, işlemi yapacak olan kimsenin kafasındaki “veya”nın güncüne göre değiştirilebilirler.

4.2.3.11 Zimmermann ve Zysno θ operatörü

Bu operatör kesişim ve birleşimi ayırt etmez; θ parametresi birleşim ve kesişim arasındaki değiş-tokuşu belirler. $(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}})$ çifti için θ operatörü aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\mu_{A \theta B} = [(\mu_{A \cap B})^{1-\theta}] [(\mu_{A \cup B})^\theta], \quad 0 \leq \theta \leq 1 \quad (4.27)$$

Eğer kesişim ve birleşim için sırasıyla cebirsel çarpım ve cebirsel toplam kullanılırsa aşağıdaki fonksiyon elde edilir.

$$\mu_{A \theta B} = [(\mu_A)(\mu_B)]^{1-\theta} [1 - (1 - \mu_A)(1 - \mu_B)]^\theta \quad (4.28)$$

θ parametresi kullanılmak istenen operatörün “mantıksal ve” ve “mantıksal veya” arasında nerede olduğunu belirtir.

Örnek 3.13 Örnek 3.4’teki A ve B bulanık kümelerini kullanarak ve $\theta = 0,1 ; 0,5 ; 0,9$ alınarak $\mu_{A \theta B}$ hesaplanmıştır:

Tablo 4.3 θ ’nın çeşitli değerleri için Zimmerman Zysno operatörünün değerleri

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0.1	0.3	0.7	0.9	1	0.8	0.5	0.2	0.1
B	0	0.4	0.7	1	0.9	0.6	0.3	0.2	0.1	0
$\theta = 0.1$	0.00	0.05	0.24	0.73	0.83	0.63	0.27	0.12	0.03	0.00
$\theta = 0.5$	0.00	0.14	0.41	0.84	0.90	0.77	0.45	0.24	0.07	0.00
$\theta = 0.9$	0.00	0.36	0.69	0.96	0.97	0.95	0.76	0.50	0.22	0.00

Görüldüğü gibi Zimmerman Zysno operatörü θ ’nın küçük değerleri için kesişimi, büyük değerleri için de birleşimi daha çok temsil etmektedir.

4.3 Genelleme İlkesi

Önceki konularda bağıntıdan bahsedilmişti. Fonksiyon kavramı da bağıntı üzerine kurulmuştur. Bir A kümesinin elemanlarına B kümesinin tek bir elemanını karşılık getiren bir bağıntıya A kümesinin B kümesine tasviri; A kümesini B kümesine dönüştüren tasvire de fonksiyon denir [4]. Mühendislikte, matematikte ve diğer bir çok bilim dalında fonksiyonlar modellemenin önemli elemanlarıdır. İlk defa Zadeh tarafından geliştirilen genelleme ilkesinin amacı klasik matematikteki fonksiyon kavramının bulanık küme ve sayılar için genelleştirilmesidir [1,2].

Genelleme ilkesinin tanımı aşağıda verilmiştir [3].

Verilen bir f fonksiyonu $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ deki elemanları Y uzayına eşlesin $\{ y = f(x_1, x_2 \dots x_n) - \text{burada; } y \in Y \text{ ve } x_i \in U_i, \forall i \text{ 'dir} \}$ yani;

$$f: U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n \longrightarrow Y.$$

Y içerisindeki $\tilde{M}$ bulanık kümesi şu şekilde tanımlanır:

$$\tilde{M} = \{(y, \mu_{\tilde{M}}(y)) \mid y = f(x_1, x_2 \dots x_n), (x_1, x_2 \dots x_n) \in U\} \quad (4.29)$$

burada

$$\mu_{\tilde{M}}(y) = \begin{cases} y = \sup_{f(x_1, x_2 \dots x_n)} \text{enk}(\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n)), & \text{eger } f^{-1} \neq \emptyset \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.30)$$

Belirtilen formülleri örnek üzerinde incelenmiştir.

Örnek 3.14 Aşağıdaki gibi $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ tanımlanmıştır.

x_1, x_2	1	2	3	4	5	6	7
$\mu_{\tilde{A}}(x_1)$	0	0,1	0,5	0,8	1	0,6	0,3
$\mu_{\tilde{B}}(x_2)$	0	0,9	1	0,4	0,7	0,8	0

Klasik fonksiyon olan $f(x) = x_1 + x_2$ dikkate alınarak aşağıdaki sonuç elde edilir:

$y = x_1 + x_2$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$\mu_{\tilde{M}}(y)$	0	0	0,1	0,5	0,8	0,9	1	0,7	0,8	0,8	0,6	0,3	0

Burada $\mu_{\tilde{M}}(9)$ 'un nasıl hesaplandığı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Önce $x_1 + x_2 = 9$ 'u sağlayan (x_1, x_2) çiftleri bulunur. Bunlar $(2,7); (7,2); (3,6); (6,3); (4,5); (5,4)$ çiftleridir. Belirlenen her bir çift için üyelik derecelerinin en küçüğü alınır ve daha sonra tüm çiftlerden elde edilen değerlerin en büyüğü alınarak sonuç elde edilir, yani:

(x_1, x_2)	2;7	7;2	3;6	6;3	4;5	5;4
$\mu_{\tilde{A}}(x_1)$	0.1	0.3	0.5	0.6	0.8	1
$\mu_{\tilde{B}}(x_2)$	0	0.9	0.8	1	0.7	0.4
$\mu_{\tilde{A}}(x_1) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x_1)$	0.1	0.3	0.5	0.6	0.7	0.4

Son olarak çiftlerin kesişiminden elde edilen değerlerin en büyüğü alınır.

$\mu_{\tilde{M}}(9) = \text{enb}(0.1 ; 0.3 ; 0.5 ; 0.6 ; 0.7; 0.4) = 0,7$ olarak bulunur.

4.4 Bulanık Sayı Aritmetiği

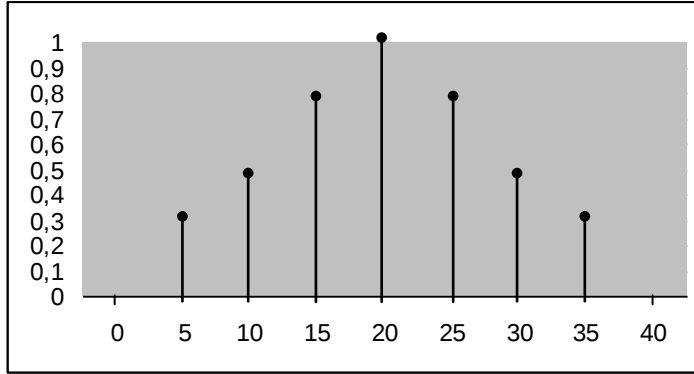
Bulanık sayı aritmetiği genelleme ilkesinin doğrudan bir uygulamasıdır. Bu bölümde ilk önce bulanık sayının ne olduğu tanımlanacak daha sonra bulanık sayılarda toplama çıkarma, çarpma ve bölme işlemleri ele alınacaktır.

4.4.1 Bulanık Sayı

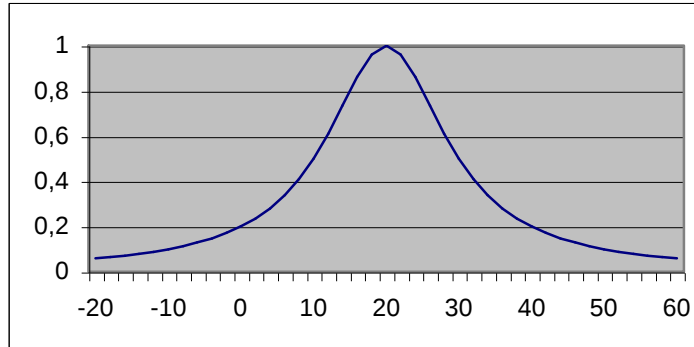
Bulanık sayılar kesin olmayan nümerik büyüklüklerin ifade edilmesinde kullanılır. Örneğin “yaklaşık 5”, “ 8’in civarı”, “birkaç” gibi belirsizlik arz eden büyüklükler için bulanık sayılar kullanılır. [3]’te bulanık sayının tanımı şu şekilde yapılmıştır: “herhangi bir $M = \{(x, \mu_M(x))\}$ alt kümesi, burada $x \in \mathbb{R}$ reel sayılar kümesinde $\mu_M(x)$ de $[0,1]$ aralığında değerler alır”. Üyelik fonksiyonu M ’nin belli bir x ’ sayısını alma doğruluk derecesini belirtir. İki bulanık sayı yalnız ve yalnız üyelik fonksiyonları eşit ise eşittir[3]. Bulanık sayılar kesikli veya sürekli olabilirler. Örnek olarak “yaklaşık 20” bulanık sayısı kesikli ve sürekli ifadeleri verilmiş ve Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da şekil üzerinde gösterilmişlerdir.

Kesiklikli: $M = \{ (0,0) , (5,0.3), (10,0.5) (15,0.8) (20,1) (25,0.8) (30,0.5) (35,0.3) (40,0) \}$

Sürekli: $M = \{(x, \mu_M(x)) \mid x \in \mathbb{R} , \mu_M(x) = \left(1 + \left(\frac{x-20}{10}\right)^2\right)^{-1}\}$



Şekil 4.5 “yaklaşık 20” bulanık sayısının kesikli gösterimi



Şekil 4.6 “yaklaşık 20” bulanık sayısının sürekli gösterimi

Sonraki bölümlerde bulanık sayılar arasındaki aritmetik işlemler irdelenecektir.

4.4.2 Bulanık Sayılarda Toplama

Bulanık sayılar iki farklı yöntemle toplanabilir: (i) α -kesim kullanılması ve (ii) enb-
enk kıvrımı kullanılması.

(i) α -kesim kullanılması. Bu yöntemde önce M ve N bulanık sayıları için güven aralıklarını kullanarak α düzey kümeleri tanımlanır.

$$M_\alpha = [m_1, m_2] \text{ ve } N_\alpha = [n_1, n_2] \text{ olsun,}$$

M ve N bulanık sayılarının toplamı

$$M_\alpha (+) N_\alpha = [m_1 + n_1, m_2 + n_2] \quad (4.31)$$

şeklinde ifade edilir.

Örnek 3.15 M “yaklaşık 9” N de “yaklaşık 4” bulanık sayıları olsun ve şu şekilde tanımlansın:

$$\mu_{\tilde{M}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 5 \\ \frac{x-5}{4}, & 5 < x \leq 9 \\ \frac{13-x}{4}, & 9 < x \leq 13 \\ 0, & x > 13 \end{cases} \quad \mu_{\tilde{N}}(y) = \begin{cases} 0, & x \leq 2 \\ \frac{x-2}{2}, & 2 < x \leq 4 \\ \frac{6-x}{2}, & 4 < x \leq 6 \\ 0, & x > 6 \end{cases}$$

Şimdi $M_\alpha = [m_1, m_2]$ ve $N_\alpha = [n_1, n_2]$ ifadeleri elde edilmelidir. Öyle ki; bazı α düzeyinde x, hem m_1 hem de m_2 ve y de hem n_1 hem de n_2 olabilmelidir. Bu yüzden eğer $\mu_{\tilde{M}}(x)$ için $\alpha = (x-5) / 4$ alınırsa, $\alpha = (m_1-5) / 4$ ($m_1 = 4\alpha + 5$) elde edilir. Benzer hesaplamalarla $M_\alpha = (4\alpha + 5 ; 13 - 4\alpha)$, $N_\alpha = (2\alpha + 2 ; 6 - 2\alpha)$ bulunur.

$M + N = [(4\alpha + 5) + (2\alpha + 2) ; (13 - 4\alpha) + (6 - 2\alpha)] = (6\alpha + 7 ; 19 - 6\alpha)$ olur.

Toplam T_α olarak alınıp, m ve n’leri bulmak için yapılan işlemlerin tersi uygulanırsa; $6\alpha + 7 = t_1 ; 19 - 6\alpha = t_2$ denklemleri çözülür, $\alpha = (t_1 - 7) / 6$ ve $\alpha = (19 - t_2) / 6$ bulunur ve

$$\mu_{\tilde{T}}(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 7 \\ \frac{z-7}{6}, & 7 < z \leq 13 \\ \frac{19-z}{6}, & 13 < z \leq 19 \\ 0, & z > 19 \end{cases} \text{ olarak elde edilir.}$$

(ii) *enb-enk kıvrımı kullanılması* $\forall x,y,z, \in R$ için M ve N bulanık sayılarının toplamı

şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\mu_{M(+)N}(z) = \underset{z=x+y}{enb}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)) \quad (4.32)$$

görüldüğü gibi yukarıdaki formülüzasyon genelleme ilkesinin bir örneğidir. Enb-enk kıvrımı yöntemi kullanılarak bir örnek çözülecektir.

Örnek 3.16 M “ 4’e yakın tam sayılar” N de “ 6’ye yakın tam sayılar olsun ve üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi verilsin:

x, y	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\mu_{\tilde{M}}(x)$	0	0,3	0,5	0,8	1	0,8	0,6	0,2	0,1	0	0	0
$\mu_{\tilde{N}}(y)$	0	0	0	0,1	0,2	0,6	1	0,9	0,7	0,4	0,1	0

$\mu_{M(+)N}(z)$ ’yi hesaplamak için $z = x+y$ ’yi sağlayan tüm (x,y) çiftleri bulunur ve çiftlerin kendi içlerinde en küçük değerleri alınır. Tüm çiftlerden gelen en küçük değerlerin en büyüğü aranan sonuçtur. Örnek olarak $\mu_{M(+)N}(11)$ hesaplanmıştır. Toplamı 11 olan çiftler (0;11), (11;0), (1;10), (10;1), (2;9), (9;2), (8;3), (3;8), (4;7), (7;4), (5;6), (6;5)’dir. Bu çiftlerin üyelik dereceleri ve en küçük değerleri (kesişimleri) aşağıdaki gibidir.

(x ; y)	(0;11)	(11;0)	(1;10)	(10;1)	(2;9)	(9;2)	(8;3)	(3;8)	(4;7)	(7;4)	(5;6)	(6;5)
$\mu_{\tilde{M}}(x)$	0	0	0,3	0	0,5	0	0,1	0,8	1	0,2	0,8	0,6
$\mu_{\tilde{N}}(y)$	0	0	0,1	0	0,4	0	0,1	0,7	0,9	0,2	1	0,6
$\mu_{\tilde{M}}(x) \wedge \mu_{\tilde{N}}(y)$	0	0	0,1	0	0,4	0	0,1	0,7	0,9	0,2	0,8	0,6

En alt satırdaki değerlerin en büyüğü olan 0.9 aranan $\mu_{M(+)N}(11)$ in değeridir.

Aynı işlemler uygulanarak $\mu_{M(+)N}(z)$ şu şekilde hesaplanmıştır.

Z=x+y	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$\mu_{M(+)N}(z)$	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1

Chen ve Hwang yukarıda tanımları verilen iki toplama yönteminin de aynı işlemi tarif ettikleri ispat etmişlerdir [3]. Ayrıca aynı kaynakta bulanık sayılar üzerine tanımlanan toplama işleminin değişme, birleşme, etkisiz eleman ve simetrik olmama özelliklerinin olduğu söylenmektedir.

4.4.3 Bulanık Sayılarda Çıkarma

Toplamada olduğu gibi çıkarmada da aynı mantıkla tanımlanan iki yöntem vardır.

(i) *α-kesim kullanılması*. Bu yöntemde önce M ve N bulanık sayıları için güven aralıklarını kullanarak α düzey kümeleri tanımlanır.

$$M_\alpha = [m_1, m_2] \text{ ve } N_\alpha = [n_1, n_2] \text{ olsun,}$$

M ve N bulanık sayılarının farkı

$$M_\alpha (-) N_\alpha = [m_1 - n_1, m_2 - n_2] \quad (4.33)$$

şeklinde ifade edilir.

Örnek 3.17 Örnek 3.15’da tanımlanan M ve N bulanık sayılarının farkı bulunacaktır. Aynı örnekte bu bulanık sayıların α düzey kümeleri $M_\alpha = (4\alpha + 5 ; 13 - 4\alpha)$, $N_\alpha = (2\alpha + 2 ; 6 - 2\alpha)$ olarak bulunmuştu.

$$M - N = [(4\alpha + 5) - (2\alpha + 2) ; (13 - 4\alpha) - (6 - 2\alpha)] = (2\alpha + 3 ; 7 - 2\alpha) \text{ olur.}$$

Fark Z_α olarak alınırsa; $2\alpha + 3 = z_1$; $7 - 2\alpha = z_2$ denklemleri çözülür, $\alpha = z_1 - 3 / 2$ ve $\alpha = 7 - z_2 / 2$ bulunur ve

$$\mu_{\tilde{z}}(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 3 \\ \frac{z-3}{2}, & 3 < z \leq 5 \\ \frac{7-z}{2}, & 5 < z \leq 7 \\ 0, & z > 7 \end{cases} \text{ olarak elde edilir.}$$

(ii) *enb-enk kıvrımı kullanılması*: $\forall x, y, z, \in R$ için M ve N bulanık sayılarının toplamı (4.34)’te tanımlanmıştır:

$$\mu_{M(-)N}(z) = \underset{z=x-y}{enb}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)) \quad (4.34)$$

N bulanık sayısının görüntüsü aşağıdaki gibi verildiği için

$$\mu_{-N}(x) = \mu_N(-x) \quad , \forall x$$

(4.34)’teki denklem şu şekilde yazılabilir:

$$\mu_{M(-)N}(z) = \underset{z=x+(-y)}{enb}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(-y)) = \underset{z=x+y}{enb}(\mu_M(x) \wedge \mu_{-N}(y)) \quad (4.35)$$

M ve N bulanık sayılarının farkı $\{ M(-)N \}$; N'nin görüntüsüyle M'nin toplamına $\{M(+)(-N)\}$ eşdeğerdir.

Örnek 3.18 Örnek 3.16'da tanımlanan M ve N sayıları için $M(-)N$ bulunmak istensin. $\mu_{M(-)N}(z)$ 'yi hesaplamak için $z = x-y$ 'yi sağlayan tüm (x,y) çiftleri bulunur ve çiftlerin kendi içlerinde en küçük değerleri alınır. Tüm çiftlerden gelen en küçük değerlerin en büyüğü aranan sonuçtur. Örnek olarak $\mu_{M(-)N}(2)$ hesaplanmıştır. $x-y=2$ çiftler (2,0), (3,1), (4,2), (5,3), (6,4), (7,5), (8,6), (9,7), (10,8) 'dir. Bu çiftlerin üyelik dereceleri ve kesişimlerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

(x ; y)	2;0	3;1	4;2	5;3	6;4	7;5	8;6	9;7	10;8	11;9
$\mu_{\tilde{M}}(x)$	0,5	0,8	1	0,8	0,6	0,2	0,1	0	0	0
$\mu_{\tilde{N}}(y)$	0	0	0	0,1	0,2	0,6	1	0,9	0,7	0,4
$\mu_{\tilde{M}}(x) \wedge \mu_{\tilde{N}}(y)$	0	0	0	0,1	0,2	0,2	0,1	0	0	0

Son olarak bulunun en küçük değerlerin en büyüğü alınır ve $\mu_{M(-)N}(2) = 0.2$ olarak bulunur. Aynı işlemler uygulanarak $\mu_{M(-)N}(z)$ şu şekilde hesaplanmıştır.

Z=x-y	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
$M_{M(-)N}(z)$	0.1	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1	0.8	0.6	0.6	0.2	0.2	0.1	0.1

4.4.4 Bulanık Sayılarda Çarpma

Bulanık Sayıların çarpılması biraz karmaşıktır çünkü işaretleri dikkate alınmalıdır. Bu karmaşıklıktan kurtulmak için çarpanların her ikisinin de pozitif bulanık sayılar olduğu kabul edilmiştir. Z, M ve N gibi iki bulanık sayının çarpılmasında çarpım olsun. $\mu_Z(z)$ en üst noktanın ($\mu_Z(z)=1$) solunda monoton artan, sağında monoton azalan olduğu için çarpma işlemi aşağıdaki yolla yapılır:

- (1) Solda, $xy \leq z$ durumunu sağlayan tüm (x,y) çiftleri göz önüne alınır. Yani $\mu_Z(z)$ 'nin sol tarafı şu şekilde tanımlanır:

$$\mu_{M(\cdot)N}(z) = \text{enb}_{xy \leq z}(\mu_{\tilde{M}}(x) \wedge \mu_{\tilde{N}}(y)) \quad (4.36a)$$

- (2) Sağda ise, $xy \geq z$ durumunu sağlayan tüm (x,y) çiftleri göz önüne alınır. $\mu_Z(z)$ 'nin sağ tarafı şu şekilde tanımlanır:

$$\mu_{M(\cdot)N}(z) = \text{enb}_{xy \geq z}(\mu_{\tilde{M}}(x) \wedge \mu_{\tilde{N}}(y)) \quad (4.36b)$$

(3) Süreci basitleştirmek için $\mu_M(x)$ veya $\mu_N(y)$ 'lerin sıfıra eşit olduğu çiftler elenir ve $\mu_{M(\cdot)N}(z) = 1$ durumundaki z hesaplanır. Böylece sağ taraf sol taraf ayrımı yapılmış olur.

Eğer M ve N her ikisi de sürekli üyelik fonksiyonlarına sahipse, aralarındaki çarpma işlemi şu şekilde tanımlanır:

$$M_{\alpha}(\cdot) N_{\alpha} = [m_1 \cdot n_1, m_2 \cdot n_2] \quad (4.37)$$

denklemler (4.36) ve (4.37) eşdeğerlerdir.

Örnek 3.18 Örnek 3.16'da tanımlanan M ve N bulanık sayılarının çarpımı hesaplanacaktır. Önce $\mu_{M(\cdot)N}(z) = 1$ durumunu sağlayan z bulunur. Kolayca görülebileceği gibi $z = 24$ olunca çarpım 1 olur. Hesaplama kolaylığı için Tablo 4.4 hazırlanır:

Tablo 4.4 Uygun x ve y değerleri için z ve $\mu(z)$ değerleri

$y \setminus x$	1	2	3	4	5	6	7	8
3	3 / 0,1*	6 / 0,1*	9 / 0,1*	12 / 0,1	15 / 0,1	18 / 0,1	21 / 0,1	24 / 0,1
4	4 / 0,2*	8 / 0,2*	12 / 0,2*	16 / 0,2	20 / 0,2	24 / 0,2	28 / 0,2	32 / 0,1
5	5 / 0,3*	10 / 0,5*	15 / 0,6	20 / 0,6	25 / 0,6	30 / 0,6	35 / 0,2	40 / 0,1
6	6 / 0,3*	12 / 0,5*	18 / 0,8	24 / 1	30 / 0,8	36 / 0,6	42 / 0,2	48 / 0,1
7	7 / 0,3*	14 / 0,5	21 / 0,8	28 / 0,9	35 / 0,8	42 / 0,6	49 / 0,2	56 / 0,1!
8	8 / 0,3*	16 / 0,5	24 / 0,7	32 / 0,7	40 / 0,7	48 / 0,6	56 / 0,2!	64 / 0,1!
9	9 / 0,3*	18 / 0,4	27 / 0,4	36 / 0,4	45 / 0,4	54 / 0,4!	63 / 0,2!	72 / 0,1!
10	10 / 0,1*	20 / 0,1	30 / 0,1	40 / 0,1	50 / 0,1	60 / 0,1!	70 / 0,1!	80 / 0,1!

Tablo 4.4'de en üst satırda $\mu_M(x) \neq 0$ olan x değerleri, en soldaki sütunda da $\mu_N(y) \neq 0$ olan y değerleri bulunmaktadır. Tablonun içinde üstteki x ve soldaki y 'ler için ilk değer xy , ikinci değer ise $(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y))$ 'dir.

$z < 24$ için $\mu_{M(\cdot)N}(z) = \text{enb}_{xy \leq z}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y))$ dikkate alınacaktır. Örneğin $\mu_{M(\cdot)N}(12)$ 'yi hesaplamak için $xy \leq 12$ 'yi sağlayan (1;3), (1;4), (1;5), (1;6), (1;7), (1;8), (1;9), (1;10), (2;3), (2;4), (2;5), (2;6), (3;3), (3;4), (4;2) (tabloda * işaretli) çiftlerinin $(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y))$ değerlerinin en büyüğü alınacaktır. $\mu_{M(\cdot)N}(12) = 0.5$ bulunacaktır.

$z > 24$ için $\mu_{M(\cdot)N}(z) = \text{enb}_{xy \geq z}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y))$ dikkate alınacaktır. Örneğin $\mu_{M(\cdot)N}(51)$ 'i hesaplamak için $xy \geq 51$ 'i sağlayan (7;8), (8;7), (8;8), (9;6), (9;7), (9;8),

(10;6), (10;7), (10;8) (tabloda ! işaretli) çiftlerinin $(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y))$ değerlerinin en büyüğü alınacaktır. $\mu_{M(\cdot)N}(51) = 0,4$ bulunacaktır. Diğer z'ler için de benzer işlemler yapılırsa Tablo 4.5'deki sonuçlar elde edilir.

Tablo 4.5 M ve N bulanık sayılarının çarpımı sonuçları

z	$\mu_z(z)$	z	$\mu_z(z)$	z	$\mu_z(z)$	z	$\mu_z(z)$	z	$\mu_z(z)$	z	$\mu_z(z)$
3	0,1	16	0,6	29	0,8	42	0,6	55	0,2	68	0,1
4	0,2	17	0,6	30	0,8	43	0,6	56	0,2	69	0,1
5	0,3	18	0,8	31	0,8	44	0,6	57	0,2	70	0,1
6	0,3	19	0,8	32	0,8	45	0,6	58	0,2	71	0,1
7	0,3	20	0,8	33	0,8	46	0,6	59	0,2	72	0,1
8	0,3	21	0,8	34	0,8	47	0,6	60	0,2	73	0,1
9	0,3	22	0,8	35	0,8	48	0,6	61	0,2	74	0,1
10	0,5	23	0,8	36	0,7	49	0,4	62	0,2	75	0,1
11	0,5	24	1	37	0,7	50	0,4	63	0,2	76	0,1
12	0,5	25	0,9	38	0,7	51	0,4	64	0,1	77	0,1
13	0,5	26	0,9	39	0,7	52	0,4	65	0,1	78	0,1
14	0,5	27	0,9	40	0,7	53	0,4	66	0,1	79	0,1
15	0,6	28	0,9	41	0,6	54	0,4	67	0,1	80	0,1

Belirtilmeyen z'ler ($z \in Z$) için ($z < 3$ ve $z > 80$) $\mu_z(z) = 0$ 'dır.

4.4.5 Bulanık Sayılarda Bölme

M gibi pozitif bir bulanık sayının N gibi pozitif bir bulanık sayıya bölümü aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$M(\cdot)N$ 'nin sol tarafında;

$$\mu_{M(\cdot)N}(z) = \text{enb}_{z \geq x/y}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)), \forall x, y, z \text{ için.} \quad (4.38a)$$

$M(\cdot)N$ 'nin sol tarafında;

$$\mu_{M(\cdot)N}(z) = \text{enb}_{z \leq x/y}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)), \forall x, y, z \text{ için.} \quad (4.38b)$$

Eğer M ve sürekli üyelik fonksiyonlarına sahipse;

$$M_{\alpha}(\cdot)N_{\alpha} = [m_1/n_2, m_2/n_1], \quad n_2 > 0 \quad (4.39)$$

şeklinde tanımlanır.

Bölme işlemi çarpmanın bir başka şeklidir. Şöyle ki; $M(\cdot)N = M(\cdot)N^{-1}$ dir. Burada N'nin tersi olan N^{-1} şu şekilde tanımlanır:

$$\mu_N^{-1}(y) = \mu_N(1/y) \quad (4.40)$$

veya

$$N_{\alpha}^{-1} = [1/n_2, 1/n_1] \quad (4.41)$$

Buna göre (4.38a) ve (4.38b) yeniden düzenlenirse;

$$\mu_{M(\cdot)N^{-1}}(z) = \underset{z \geq x(1/y)}{enb}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(1/y)) = \underset{z \geq xy}{enb}(\mu_M(x) \wedge \mu_{N^{-1}}(y)) \quad (4.42)$$

$$\mu_{M(\cdot)N^{-1}}(z) = \underset{z \leq xy}{enb}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(1/y)) = \underset{z \leq xy}{enb}(\mu_M(x) \wedge \mu_{N^{-1}}(y)) \quad (4.43)$$

elde edilir ve sürekli üyelik fonksiyonlular için (4.39) aşağıdaki gibi olur:

$$M_{\alpha}(\cdot)N_{\alpha}^{-1} = [m_1 \cdot (1/n_2), m_2 \cdot (1/n_1)] \quad (4.44)$$

Örnek 3.18’de iki kesikli bulanık sayının çarpımı hesaplanmıştı. Bulanık sayılarda tanımlanan bölme ve çarpma işlemleri benzer yapıda oldukları için örneklerde çeşitliliği sağlamak üzere bölme işleminin örneğinde sürekli bulanık sayılar kullanılacaktır.

Örnek 3.19 Örnek 3.15’de tanımlanan sürekli M ve N bulanık sayılarını bölümü hesaplanacaktır. $M_{\alpha} = (4\alpha+5 ; 13-4\alpha)$, $N_{\alpha} = (2\alpha+2 ; 6-2\alpha)$ idiyse;

$$M_{\alpha}(\cdot)N_{\alpha} = \left(\frac{4\alpha+5}{6-2\alpha} ; \frac{2\alpha+2}{13-4\alpha} \right) \text{ olur.}$$

$$M_{\alpha}(\cdot)N_{\alpha} = Z_{\alpha} \text{ olarak kabul edilirse;}$$

$$\frac{4\alpha+5}{6-2\alpha} = z \text{ 'ten } \alpha = \frac{6z-5}{14+2z} \text{ , } \frac{2\alpha+2}{13-4\alpha} = z \text{ 'ten de } \alpha = \frac{13z-2}{2+4z} \text{ elde edilir ve}$$

$$\mu_z(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 5/6 \\ \frac{6z-5}{14+2z}, & 5/6 < z \leq 9/4 \\ \frac{13z-2}{2+4z}, & 9/4 < z \leq 13/2 \\ 0, & z > 13/2 \end{cases} \text{ olarak bulunur.}$$

4.5 Özel Bulanık Sayılar

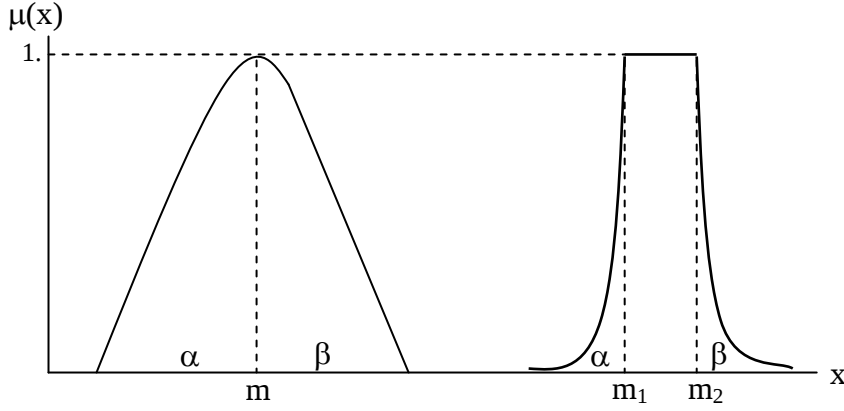
Bir çok durumda genelleme ilkesi işlemlerini kullanmak yapılan işlemleri hantallaştırabilir. Bu yüzden bir çok karmaşık işlemi kolaylaştırmak için özel bulanık sayılar öngörülmüştür. Daha sonraki bölümlerde kullanılacak olanlar şu şekilde özetlenebilir: üçgen bulanık sayılar, yamuk bulanık sayılar, Sol-Sağ yamuk bulanık sayılar, Sol-Sağ üçgen bulanık sayılar.

4.5.1 Sol-Sağ Bulanık Sayılar

Sağ ya da sol olarak gösterilen bir fonksiyon yalnız ve yalnız şu özellikleri taşıyorsa bulanık sayıların referans fonksiyonudur: (1) $Sol(x) = Sol(-x)$; (2) $Sol(0)=1$; (3) Sol $[0, +\infty)$ aralığında artmayan.

Bir M bulanık sayısı Sol-Sağ özelliği taşıması için aşağıdaki gibi tanımlanmalıdır.

$$\mu_M(x) = \begin{cases} Sol((m-x)/\alpha), & x \leq m, \alpha > 0, \\ Sağ((x-m)/\beta), & x \geq m, \beta > 0, \end{cases} \quad (4.45)$$



Şekil 4.7 Sol-Sağ bulanık sayılar [3] s.88

Burada m, M bulanık sayısının orta değeri ve α, β ise sırasıyla sol ve sağ uçlar arası genişliklerdir. $\alpha=\beta=0$ olursa M klasik m sayısına eşit olur. Genelde M bulanık sayısı $M=(m, \alpha, \beta)$ olarak yazılır.

Eğer tepe tek değilse yani bulanık sayıda üyelik derecesi 1'e eşit olan değerler birden fazla ise Sol-Sağ bulanık sayısı yassı bir alana sahip olur. Bu şu şekilde yazılabilir:

$$M'=(m_1, m_2, \alpha, \beta)$$

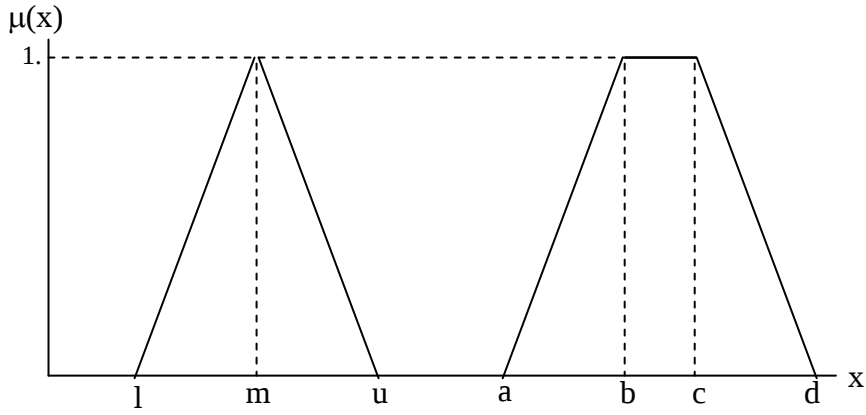
Şekil 4.7'de sol-sağ bulanık sayılar grafik üzerinde gösterilmiştir.

4.5.2 Üçgen ve Yamuk Bulanık Sayılar

$x, l, m, u \in \mathbb{R}$ için M üçgen bulanık sayısı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l, \\ (x-l)/(m-l), & l < x \leq m, \\ (u-x)/(u-m), & m < x \leq u, \\ 0, & x > u. \end{cases} \quad (4.46)$$

Şekil 4.8’de tanımlanan üçgen bulanık sayı gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Üçgen ve yamuk bulanık sayılar [3] s.88

Yukarıda tanımlanan M bulanık sayısı l ve u alt ve üst sınırlar olmak üzere $M = (l, m, u)$ şeklinde ifade edilir. Eğer birden çok tepe noktası varsa M,

$M = (a, b, c, d)$ şeklinde ifade edilir.

$[b, c]$ aralığında üyelik derecesi 1’dir, a’dan küçük ve d’den büyük değerler için ise üyelik derecesi 0’a eşittir. Bu şekilde tanımlanmış bulanık sayıya yamuk bulanık sayı denir. Şekil 4.8’de yamuk bulanık sayılara bir örnek grafik üzerinde gösterilmiştir.

Cebirsel işlemler her bir tip bulanık sayı için ayrı ayrı hesaplanmış ve genel formüller çıkarılmıştır. Aşağıda $M = (l, m, u)$ ve $N = (a, b, c)$ üçgen bulanık sayıları için toplama çıkarma ve bölme işlemleri verilmiştir.

Toplama: $M (+) N = (l+a, m+b, u+c)$

Çıkarma: $M (-) N = (l-c, m-b, u-a)$

Çarpma işlemleri: $M > 0, N > 0$ ise $M (\bullet) N = (l \cdot a, m \cdot b, u \cdot c)$

$M < 0, N > 0$ ise $M (\bullet) N = (l \cdot c, m \cdot b, u \cdot a)$

$M < 0, N < 0$ ise $M (\bullet) N = (u \cdot c, m \cdot b, l \cdot a)$

Bölme işlemleri: $M > 0, N > 0$ ise $M (:) N = (l/c, m/b, u/a)$

$M < 0, N > 0$ ise $M (:) N = (u/c, m/b, l/a)$

$M < 0, N < 0$ ise $M (:) N = (u/a, m/b, l/c)$

İşlemlerin ayrıntıları Chen ve Hwang [3]’te görülebilir.

Buraya kadar esas çalışmada kullanılacak teknik olan çok ölçütlü bulanık modelleme için gerekli bulanık mantık ve bulanık küme bilgileri verilmiştir. Sonraki bölümde esas teknik çok ölçütlü bulanık modelleme üzerinde durulacaktır.

5 ÇOK ÖLÇÜTLÜ BULANIK MODELLER

Çok Ölçütlü Bulanık Modelleri inceleyebilmek için önce klasik çok ölçütlü model yapısının bilinmesi gerekir. Bölüm içerisinde ilk olarak çok ölçütlü karar verme incelenecektir.

5.1 Çok Ölçütlü Karar Verme

Çok Ölçütlü karar verme (ÇÖKV) genelde birbiriyle çelişen ölçütlerin varlığında karar vermeyi içerir. Çok amaçlı karar vermeden (ÇAKV) farkı ÇAKV’de sürekli olan karar uzayının ÇÖKV’de kesikli olmasıdır. Yani ÇÖKV’de belirli ve sonlu sayıdaki seçenekler arasından seçim yapılırken ÇAKV’de kısıtlar tarafından daraltılan bir uzayda en iyi nokta aranır.

ÇÖKV’nin temel unsurları alternatifler, birden çok ve genelde birbirleriyle çelişen ölçütler, farklı ölçekler, karar ağırlıkları ve karar matrisidir [3].

Alternatifler karar vermede göz önüne alınan ve en sonunda bir veya bir kaç üzerinde uzlaşılarak seçilen seçeneklerdir. Alternatifler deyince akla adaylar ve işlemin sebebi gelmelidir. ÇÖKV için önemli olan unsur alternatiflerin sonlu sayıda olmasıdır.

Ölçüt karar verme işleminde alternatifleri değerlendirmek için kullanılan alternatiflerin özellikleridir. Bir ÇÖKV probleminde birden çok ölçüt olmalıdır. Çeşitli kaynaklarda ölçüt yerine amaç veya kriter de kullanılmaktadır. Ölçütlerin çok fazla olduğu durumlarda ölçütler hiyerarşik bir yapı ile temsil edilebilir. Ana amaç, ölçütleri temsil etmek için başlıca ölçütleri belirlemek ve bu ölçütlerle ilişkilendirilerek diğer alt ölçütleri ve bunların da alt ölçütlerini belirleyerek bir yapı oluşturmaktır.

ÇÖKV’de bir çok ölçüt genelde birbirleriyle çelişir. Aksi halde aynı ölçüt ile gösterilmeleri gerekebilir. Bunun bir uç durumu olan tüm ölçütlerin benzer olmasında, tüm ölçütler sadece bir ölçüte indirgenebilir ve ÇÖKV yapısına uymayabilir.

ÇÖKV’de genelde ölçütlerin ölçülmesi için gerekli ölçekler birbirlerinden farklıdır. Bu yüzden ölçütlerin tümünü dikkate alarak bir toplu puan elde etmek ÇÖKV için çok önemli bir aşamadır.

Karar ağırlıkları her ölçütün birbirlerine göre göreceli önemlerini ifade etmek için kullanılır. Alternatiflerin toplu puanlarını oluşturmak için ölçütlerin karar ağırlıklarının ortaya koyulması gerekir. Genelde göreceli önem düzeyleri toplamı bir olacak şekilde normalize edilmiş ağırlıklar kümesi olarak gösterilir. Ağırlık kümesi n adet ölçüt olduğu durumda

$$\underline{w}^T = (w_1, w_2, \dots, w_n) \quad \text{ve} \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1 \text{ 'dir.}$$

Ağırlıklar karar verici tarafından doğrudan verilebileceği gibi özvektör veya ağırlıklandırılmış en küçük kareler gibi yöntemlerle de hesaplanabilir.

Bir ÇÖKV problemi matris biçiminde gösterilebilir. Karar matrisi D (m×n) matris olacak, x_{ij} elemanı j. ölçüte göre i. alternatifin performansını gösterecektir. Aşağıda örnek bir karar matrisi verilmiştir.

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 & \dots & X_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Bir ÇÖKV probleminin bahsedilen karar matrisi ve karar ağırlıklarıyla verilmesi modelleme için yeterli olacaktır.

Örnek bir model üzerinde bir ÇÖKV problemi incelenmiştir.

Bir baba ailesi için bir araba almak istemektedir. Kendisine uygun gelen 5 ayrı markanın aile arabalarında birini seçme durumundadır. Arabalardan birini seçmek için kullanacağı kriterler şunlardır: fiyat (x_1), konfor (x_2), motor gücü (x_3) ve güvenlik(x_4). Baba, seçimini ÇÖKV tekniklerine göre yapabilir. Burada 5 farklı markadaki arabalar alternatiflerdir. Fiyat, konfor, motor gücü ve güvenlik farklı ölçütlerdir ve birbirleriyle çelişirler. Örneğin haliyle karar verici konforun artmasını ister fakat konfor arttıkça fiyat da artar ve fiyatın çok olması istenmeyen bir özelliktir. Bu ölçütleri ölçmek için farklı ölçekler kullanılır: fiyat (milyar TL), konfor (yüksek düşük ölçeği), motor gücü (beygir gücü) ve güvenlik (yüksek düşük ölçeği).

Problemin çözülmesi için karar verici tarafından ölçütlerin ağırlıkları belirlenmelidir. Örneğin ağırlıklar şöyle belirlenmiş olsun: $\underline{w}^T = (0,3;0,2;0,1;0,4)$. Görülebileceği gibi ağırlıkların toplamı 1'e eşittir. Son olarak da karar matrisi aşağıdaki gibi oluşturulsun:

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \\ A_5 \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccc} 25 & \text{Düşük} & 108 & \text{Orta} \\ 27 & \text{Düşük} & 112 & \text{Çok Düşük} \\ 32 & \text{Orta} & 104 & \text{Düşük} \\ 45 & \text{Yüksek} & 135 & \text{Çok yüksek} \\ 60 & \text{Çok yüksek} & 160 & \text{Orta} \end{array} \right] \end{matrix}$$

Böylece bir ÇAKV problemi oluşturulmuş oldu. İleriki bölümlerde böyle bir problemin oluşturulmasından çözülmesine yani karara varılmasına kadar olan süreç daha ayrıntılı incelenecektir.

Klasik ÇÖKV incelendikten sonra çok ölçütlü bulanık modellemeye (ÇÖBM) geçilebilir. ÇAKV'de ve genel olarak karar verme modellerinde alternatiflerin performanslarının ifade edilmesinde kesin olmayan veriler bulunabilir. Bunun Ribeiro [6]'ya göre 3 önemli nedeni vardır: (1) tamamlanmamış olmak (verilerin yetersiz olduğu durumlarda, örneğin alternatif veya ölçütler kayıpsa) (2) bulanıklık (özellik, alternatif ve kriterler için kesin kavramların elde edilemediği durumlarda, örnekteki konfor ölçütü gibi) (3) doğrulukta yanılgı (hatalı, yanlış sonuçlar bulmayla ilgilidir örneğin yukarıdaki örnekte pahalı bir arabaya yüksek performans puanı verildiği için seçilmesi durumu).

Bahsedilen nedenlerden dolayı kesin olmayan durumlar söz konusu olabilir. ÇÖBM kesin olmayan durumları modelleye bilmek için geliştirilmiştir. ÇÖBM, ÇÖKV'de olduğu gibi karar ağırlıkları ve karar matrisi ile ifade edilebilir. Farklı olan karar ağırlıkları ve karar matrisinin içindeki sayıların bulanık sayılar olmasıdır. Bir başka deyişle; yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı kesinliğin ve doğruluğun olmadığı durumlarda karar ağırlıklarının ve alternatiflerinin ölçütlere göre performans değerlerinin bulanık sayılarla gösterilmesidir. Tabii ki kesin olan değerlerde bulanık sayılar kullanılmaz ve bu ÇÖBM için bir sorun teşkil etmez.

Zimmerman [5]'a göre ÇÖKV'deki çoğu yaklaşım iki aşamadan oluşmaktadır: (1) tüm ölçütleri dikkate alarak her alternatif için puanların toplanması (2) toplanmış puanlara göre alternatiflerin sıralanması.

Klasik ÇÖKV problemlerinde çoğunlukla birinci aşama üzerinde durulur. Çünkü klasik modellerde birinci aşama sonunda elde edilen puan bir reel sayıdır. Böyle olunca da ikinci aşama çok önemli sorunlar yaratmaz. Fakat ÇÖBM’de elde edilen puan bulanık bir sayı olabilir, bulanık sayıların sıralaması ise reel sayılarda olduğu gibi pek kolay değildir. Bulanık sayıların sıralanması için bir çok çalışma yapılmış ve yöntemler geliştirilmiştir. Bir sonraki bölüm bulanık sayıların sıralanması için geliştirilen yöntemleri içermektedir.

5.2 Bulanık Sıralama Yöntemleri

Gerçek hayattan bir karar verme probleminde alternatiflerin performans değerleri belirgin, bulanık veya sözel olabilir. Böyle bir problemde en son karar vermede veya alternatifleri sıralamada kullanılacak tüm ölçütleri ve ağırlıklarını dikkate alarak elde edilen toplu puan da bulanık olacaktır. Bulanık sayılar bir çok reel sayıyı farklı üyelik dereceleriyle temsil ettikleri için toplu puanların karşılaştırılması kolay olmayacaktır. Bu yüzden ÇÖKV’de toplu puanlar bulanık olduğunda en iyi alternatifini diğerlerinden ayırt etmek oldukça güçtür.

Bu güçlüğü gidermek için bir çok bilimadamı kendi yaklaşımlarını önermişlerdir. Böylece bir çok yöntem ortaya çıkmıştır. Chen ve Hwang [3]’ta bulanık sıralama yöntemlerini kullandıkları araçlara göre dörde ayırmıştır: (1) Tercih ilişkisi kullanan yöntemler (2) bulanık ortalama ve yayılım kullanan yöntemler (3) bulanık puanlama kullanan yöntemler (4) sözel anlatım kullanan yöntemler. Ayrıca her bir ana sınıf da kullanılan tekniklere göre alt sınıflara ayrılmıştır. Şekil 5.1’de bulanık sıralama yöntemlerinin taksonomisi verilmiştir.

Şekil 5.1’de verilen yöntemlerin hiç biri mükemmel değildir. Her birinin güçlü ve zayıf yönleri mevcuttur. Kullanılacak alana ve sıralanacak bulanık sayılara göre hangi yöntemin seçileceğine karar verilmelidir [3].

Bulanık Sıralama -----	Tercih İlişkisi Kullanan Yöntemler
----	En İyi Durum Derecesi
---	Baas ve Kwakernaak Yaklaşımı
---	Watson vd. Yaklaşımı
---	Baldwin ve Guild Yaklaşımı
----	Hamming Uzaklığı
---	Yager Yaklaşımı
---	Kerre Yaklaşımı
---	Nakamura Yaklaşımı
---	Kolodziejczyk Yaklaşımı
----	α -kesim
---	Adamo Yaklaşımı
---	Buckley ve Chanas Yaklaşımı
---	Mabuchi Yaklaşımı
----	Karşılaştırma Fonksiyonu
---	Dubois ve Prade Yaklaşımı
---	Tsukamoto vd. Yaklaşımı
---	Delgado vd. Yaklaşımı
-----	Bulanık Ortalama ve Yayılım Kullanan Yöntemler
----	Olasılık Dağılımı
---	Lee ve Li Yaklaşımı
-----	Bulanık Puanlama Kullanan Yöntemler
----	En İyiye Oran
---	McCahone Yaklaşımı
----	Sağ-Sol Puanlar
---	Jain Yaklaşımı
---	Chen Yaklaşımı
---	Chen ve Hwang Yaklaşımı
----	Merkezi Gösterge
---	Yager Yaklaşımı
---	Murakami vd. Yaklaşımı
----	Alan Hesaplaması
---	Yager Yaklaşımı
-----	Sözel Anlatım Kullanan Yöntemler
----	Sezgisel Yöntem
---	Efstathiou ve Tong Yaklaşımı
----	Sözel Tahmin Yöntemi
---	Tong ve Bonissone Yaklaşımı

Şekil 5.1 Bulanık sıralama yöntemlerinin taksonomisi [3] s.104

İleriki bölümlerde bulanık sıralama yöntemleri incelenecektir. Önce kullanılan teknikler genel olarak tanıtılacak daha sonra da bu tekniği kullanan yaklaşımlar incelenecektir. Yaklaşımlar için genel bir yöntem açıklaması yapılacak ve yöntem bir sayısal örnek üzerinde uygulanacaktır. Yaklaşımlar arasındaki farkı daha iyi görebilmek üzere hepsi aynı örnek üzerinde uygulanacaktır. Hepsinde uygulanacak örnek aşağıda tanıtılmıştır.

Örnek 5.1

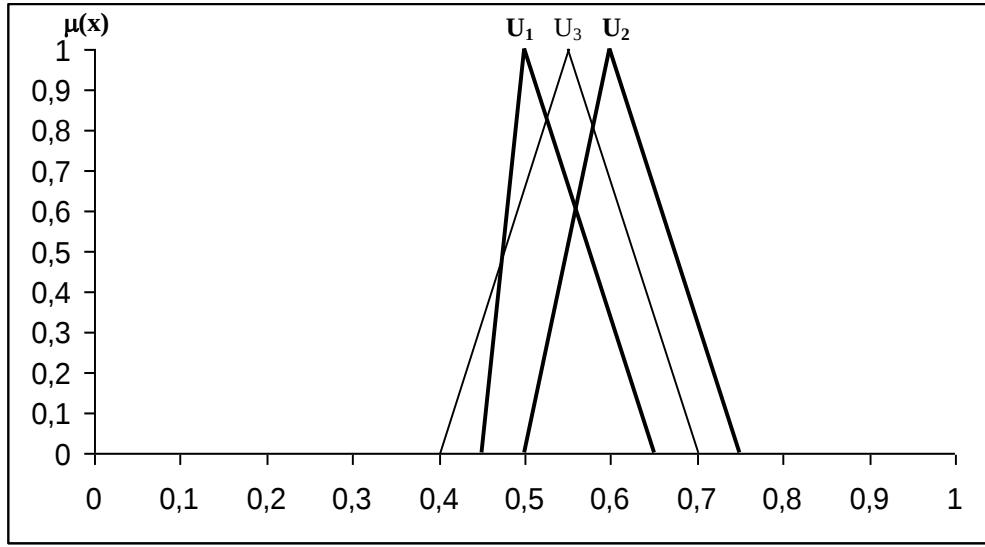
U_1, U_2, U_3 üçgen bulanık kümeler olmak üzere;

$$U_1 = (0,45; 0,50; 0,65)$$

$$U_2 = (0,50; 0,60; 0,75)$$

$$U_3 = (0,40; 0,55; 0,70)$$

olsun. Şekil 5.2’de bahsedilen bulanık kümeler grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Örnekteki bulanık sayıların grafik üzerinde gösterimi

Üyelik dereceleri açık olarak ifadesi aşağıda verilmiştir:

$$\mu_{U_1} = \begin{cases} \frac{x-0,45}{0,05} & 0,45 \leq x \leq 0,50 \\ \frac{0,65-x}{0,15} & 0,50 \leq x \leq 0,65 \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.1)$$

$$\mu_{U_2} = \begin{cases} \frac{x-0,50}{0,10} & 0,50 \leq x \leq 0,60 \\ \frac{0,75-x}{0,15} & 0,60 \leq x \leq 0,75 \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.2)$$

$$\mu_{U_3} = \begin{cases} \frac{x-0,40}{0,15} & 0,40 \leq x \leq 0,55 \\ \frac{0,70-x}{0,15} & 0,55 \leq x \leq 0,70 \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.3)$$

İleriki bölümlerde tanıtılacak yöntemler hep aynı örnek kullanılarak irdelenecektir. Artık kullandıkları teknikler temel alınarak sınıflandırılan yöntemleri incelemeye geçilebilir.

5.2.1 En İyi Durum Derecesi Kullanarak Sıralama

Bu gruba giren yöntemler bulanık kümeler için tercih göstergesi hesaplarlar [3]. Yüksek tercih göstergesi değerine sahip küme tercih edilir. çalışmada en iyi durum derecesi kullanarak sıralama yapan iki yaklaşım incelenecektir: (1) Baas ve Kwakernaak yaklaşımı, (2) Baldwin ve Guild yaklaşımı.

5.2.1.1 Baas ve Kwakernaak Yaklaşımı

Bu yöntemde önce tercih edilen bulanık kümeler belirlenir. Sonra bu kümeler için tercih puanı (P) hesaplanır. Tercih puanı bir bulanık kümenin diğerlerinden ne kadar iyi olduğunu gösterir. Bulanık kümeler kendileri için hesaplanan tercih puanlarına göre sıralanırlar [3].

Algoritma

$M_i = \{(r_i, \mu_{M_i}(r_i))\}$, $i = 1, \dots, m$, bulanık kümeleri verilsin. Burada $r_i \in \mathbb{R}$ ve $\mu_{M_i}(r_i) \in [0,1]$ 'dir. Baas ve Kwakernaak yönteminde sıralama için aşağıdaki adımlar kullanılır:

Adım1 Önce bir koşullu bulanık küme olan $I \mid U = \{(i, \mu_{I \mid U}(i \mid r_1, \dots, r_m))\}$ tanımlanır. $I = \{1, \dots, m\}$ ve $U = \{\text{reel sayı}\}$ 'dir. Üyelik fonksiyonu şu şekilde tanımlanır:

$$\mu_{I \mid U}(i \mid r_1, \dots, r_m) = \begin{cases} 1, & \text{eger } r_i \geq r_j, \forall j \in I, \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.4)$$

Bu koşullu üyelik fonksiyonu M_i 'nin en iyi olabilmesi için yalnız ve yalnız $r_i \geq r_j$, $\forall j \in I$ olması gerektiğini gösterir.

Adım 2 O , tercih edilen bulanık kümelerin kümesi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\mu_O(i) = \sup_{r_1, \dots, r_m} \{\mu_{I \mid U}(i \mid r_1, \dots, r_m), \text{enk}[\mu_{M_j}(r_j)]\} \quad (5.5)$$

ya da şu şekilde yazılabilir:

$$\mu_O(i) = \sup_{\substack{r_1, \dots, r_m \\ r_i \geq r_j, \forall j \in I}} \{\text{enk}[\mu_{M_j}(r_j)]\} \quad (5.6)$$

Bu üyelik fonksiyonu i 'inci bulanık kümenin birinci sıralanma derecesini gösterir. Eğer sadece bir M_i için $\mu_O(i) = 1$ ise M_i kesin olarak diğerlerinden üstündür denir ve algoritma sona erer. Fakat aşağıdaki durumlardan herhangi biri veya ikisi birden gerçekleştiğinde adım 3'e geçilir.

- (1) Karar verici M_i 'nin M_j 'den ($\forall j \neq i$) ne kadar iyi olduğunu öğrenmek istediğinde,
- (2) Birden çok M_i için $\mu_O(i) = 1$ olduğunda hangi bulanık kümenin daha iyi olduğu bulunmak istendiğinde.

Adım3 M_i 'nin performans puanı $P_i = \{(v_i, \mu_{P_i}(v_i))\}$ aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\mu_{P_i}(v_i) = \sup_{\substack{r_1, \dots, r_m \\ v_i = h(r_1, \dots, r_m)}} \text{enk}_j[\mu_{M_j}(r_j)], \forall j \in I \quad (5.7)$$

burada

$$h(r_1, \dots, r_m) = r_i - \frac{1}{m-1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m r_j \quad (5.8)$$

$\mu_{P_i}(v_i)$ üyelik fonksiyonu M_i 'nin diğer tüm bulanık kümeler üzerindeki tercih edilirliliğini karakterize eder. Karşılaştırılan bulanık kümeler az ise (10'dan az), adım 3.1 kullanılabilir. Değilse adım 3.2 tavsiye edilir. Lakin unutulmamalıdır ki her iki adımda anlatılan yöntemler aynı sonucu vermelidir.

Adım3.1 $\mu_{P_i}(v_i)$ üyelik fonksiyonu, $\mu_{M_i}(r_i)$, $\forall i$, parçalı sürekli türevi alınabilir ve $h(r_1, \dots, r_m)$ de sürekli türevi alınabilir olduğunda doğrudan elde edilemez. Bu problem α -kesim kullanılarak çözülebilir.

α_o , $\mu_{P_i}(v_i)$ 'nin önceden belirlenmiş üyelik değeri olsun ($\mu_{P_i}(v_i) = \alpha_o$). v_i 'nin ilgili en büyük alt sınırı ve en küçük üst sınırı $[v_{i_{enk}}, v_{i_{enb}}]$ 'nı bulmak için önce aşağıdaki

denklemleri sağlayan uygun $\hat{r}_1, \hat{r}_2, K, \hat{r}_m$ değerlerinin bulunması gerekir;

$$\mu_{M_1}(\hat{r}_1) = \mu_{M_2}(\hat{r}_2) = \Lambda = \mu_{M_m}(\hat{r}_m) = \alpha_o \quad (5.9)$$

M_i bulanık kümesi için yukarıdaki denkliği sağlayan birden çok $\hat{r}_i$ değeri olabilir. v_i 'nin en büyük alt sınırı ve en küçük üst sınırını, $[v_{i_{enk}}, v_{i_{enb}}]$, elde edebilmek için (5.9)'da verilen denkliği tüm olası $\hat{r}_1, \hat{r}_2, K, \hat{r}_m$ kombinasyonları için uygulamak gerekir. Uygulandığında elde edilen sonuçların en düşüğü ve en yükseği sırasıyla $v_{i_{enk}}$ ve $v_{i_{enb}}$ değerlerini verecektir.

Adım3.2 Eğer karşılaştırılan sayıların sayısı artarsa adım 3,1'i uygulamak oldukça zorlaşır çünkü $(\hat{r}_1, \hat{r}_2, K, \hat{r}_m)$ kombinasyonları sayısı geometrik olarak artmaktadır. Baas ve Kwekernaak bunu bertaraf edebilmek için aşağıdaki işlemleri önermişlerdir.

$$\mu'_{M_j}(r_j) = d\mu'_{M_j}(r_j) / dr_j, \forall j \neq i,$$

$$\mu'_{U_i}(\hat{r}_i) = d\mu'_{M_i}(r_i).$$

Eğer tümü aynı işaretli $\mu'_{M_j}(r_j)$, $\forall j \neq i$, ve $\mu'_{U_i}(\hat{r}_i)$ ters işaretli $(\hat{r}_1, \hat{r}_2, K, \hat{r}_m)$ kombinasyonları bulunabilirse; bu $(\hat{r}_1, \hat{r}_2, K, \hat{r}_m)$ kombinasyon kümesi $v_{i_{enk}}$ veya $v_{i_{enb}}$ 'yi verir. Çeşitli α_0 değerleri vererek, yaklaşık bir $\mu_{P_i}(v_i)$ üyelik fonksiyonu elde edilir. Her $\mu_{P_i}(v_i)$ M_i 'nin tercih puanını verir.

Sayısal Örnek

Algoritma Örnek 5.1'e uygulanacaktır. Karşılaştırılacak bulanık kümeler $U_1 = (0,45; 0,50; 0,65)$, $U_2 = (0,50; 0,60; 0,75)$ ve $U_3 = (0,40; 0,55; 0,70)$ 'dir.

Adım1 Denklem (5.4) kullanarak koşullu bulanık küme elde edilir:

i	1	2	3
$\mu_{I U}(x)$	1	1	1

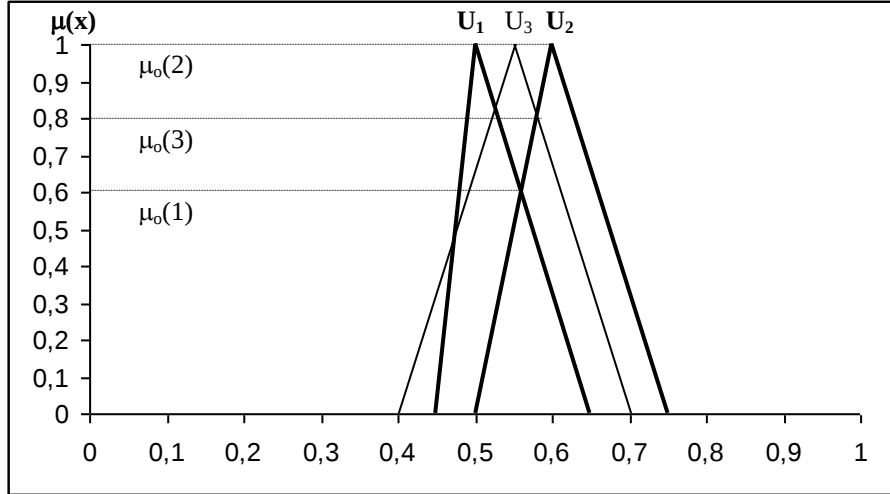
Örneğin Şekil 5.3'de de görülebileceği gibi r_1 [0,45;0,65], r_2 [0,50;0,75] ve r_3 [0,40;0,70] aralıklarında değer alabilirler. Böylece her bulanık küme için $r_i \geq r_j, j \neq i$, olan en az bir tane r_i , $i=1,2,3$, değerinin olduğu ortaya çıkar. Somutlaştırmak gerekirse; $r_1 = 0,65$ ve $r_2 = 0,50$; $r_3 = 0,40$ alınırsa $\mu_{I|U}(1) = 1$ olduğu ortaya çıkar.

Adım2 Denklem (5.5) uygulandığında tercih edilen bulanık kümelerin kümesi aşağıdaki gibi elde edilir.

i	1	2	3
$\mu_o(i)$	0,6	1	0,8

Sonuçlar Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

Sadece bir tane i için $\mu_o(i) = 1$ sağlandığından $\mu_o(i)$ değerlerine bakılarak sıralama yapılır ve algoritma burada kesilebilir. Sıralama $U_2 > U_3 > U_1$ şeklinde oluşmuştur.



Şekil 5.3 Sayısal örnek uygulanan bulanık kümeler

Adım3 Karar vericinin U_2 'ün diğerlerinden ne kadar iyi olduğuyla ilgilendiği varsayalım. Bunun için $P_i = \{(v_i, \mu_{P_i}(v_i))\}$, $i = 2$ 'ün hesaplanması gerekir. Tüm bulanık sayılar parçalı doğrusal ve karşılaştırılacak bulanık küme sayısı sadece 3 olduğu için bulanık tercih değeri adım 3.1 ile hesaplanabilir. α -kesim yöntemi kullanılarak ilk önce $\alpha_0=0$ alınsın. Yani $\mu_{P_2}(v_2)=0$ düzeyi hesaplınsın. Bunun için öyle $(\hat{r}_1, \hat{r}_2, \hat{r}_3)$ değerleri bulunmalıdır ki $v_{2_{enk}}$ ve $v_{2_{enb}}$ elde edilebilsin. Tablo 5.1'de $\mu_{U_i}(r_i) = 0$ 'ı sağlayan $(\hat{r}_1, \hat{r}_2, \hat{r}_3)$ kombinasyonları için v_3 değerleri hesaplanmış; $v_{2_{enk}} = -0,175$ ve $v_{2_{enb}} = 0,325$ olarak bulunmuştur.

Tablo 5.1 $\mu_{P_2}(v_2)=0$ 'ı sağlayan $\hat{r}_1, \hat{r}_2, \hat{r}_3$ kombinasyonları için v_3 değerleri

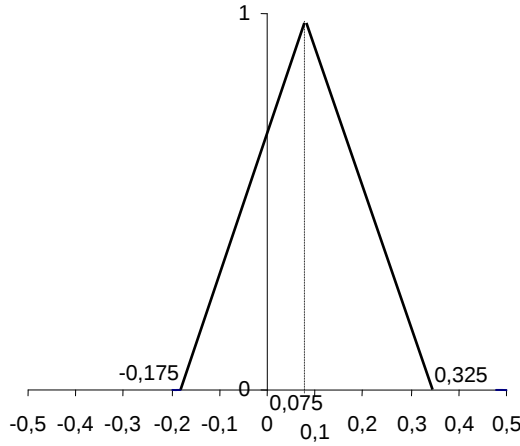
$\hat{r}_2$	$\hat{r}_1$	$\hat{r}_3$	v_3	
0,50	0,45	0,40	0,075	$(= v_{2_{enk}})$
		0,70	-0,075	
		0,40	-0,025	
	0,65	0,70	-0,175	
		0,40	0,325	
		0,70	0,175	
0,75	0,45	0,40	0,225	$(= v_{2_{enb}})$
	0,65	0,70	0,075	
		0,40	0,075	

Örnek bir hesaplama yapılırsa; $v_{2_{enb}} = 0,75 - [0,45+0,40]/2 = 0,325$ olarak hesaplanır.

Bir sonraki $\alpha_0=1$ olarak alınırsa; sadece bir tane $(\hat{r}_1, \hat{r}_2, \hat{r}_3)$ kombinasyon vardır.

$(0,50;0,60;0,55)$ 'de $v_{2_{enk}} = v_{2_{enb}} = 0,60 - (0,50+0,55)/2 = 0,075$ elde edilir. İki α_0

değeri için elde edilen sonuçlara göre Şekil 5.4'teki $\mu_{P_2}(v_2)$ fonksiyonu elde edilir.



Şekil 5.4 $\mu_{P_2}(v_2)$ fonksiyonu

$\alpha_0 = 0$ ve $\alpha_0=1$ değerleri için $\mu_{P_2}(v_2)$ Şekil 5.4'teki gibi tahmin edilmiştir. Başka durumlarda daha çok α düzeyi için işlem yapılması gerekebilirdi fakat örnekteki bulanık sayıların üyelik fonksiyonları parçalı doğrusal oldukları için sadece iki α düzeyi yeterli olmuştur. Dikkat edilecek olursa ortaya çıkan grafik de bir bulanık kümedir ve “ U_2 diğerlerinden tamamıyla değil genelde daha iyidir” şeklinde bir anlam yüklenebilir.

5.2.1.2 Baldwin ve Guild Yaklaşımı

Baldwin ve Guild, Baas ve Kwekernaak yönteminin yanlış ve sezgiye aykırı sonuçlar verdiğini keşfederek, iki boyutlu tercih ilişkisine dayanan bir yöntem önermişlerdir [3]. İki boyutlu tercih ilişkisi P_{ij} , x_i reel sayısının x_j reel sayısına tercih edilme derecesini gösterirse;

$$P_{ij} = \{((x_i, x_j), \mu_{P_{ij}}(x_i, x_j))\}, \forall j \neq i \quad (5.10)$$

olarak ifade edilir.

burada $\mu_{P_j}(x_i, x_j)$ karar vericinin riske karşı tutumuna göre değişir. Aşağıda karar vericinin farklı tavırları için $\mu_{P_j}(x_i, x_j)$ 'nin hesaplanması verilmiştir.

$$\mu_{P_j}(x_i, x_j) = \begin{cases} (x_i)^{0.5} - (x_j)^{0.5}, \forall j \neq i & \text{(az risk)} \\ x_i - x_j, \forall j \neq i & \text{(orta risk)} \\ (x_i)^2 - (x_j)^2, \forall j \neq i & \text{(yüksek risk)} \end{cases} \quad (5.11)$$

$M_i = \{(x_i, \mu_{M_i}(x_i))\}$ ve $M_j = \{(x_j, \mu_{M_j}(x_j))\}$ bulanık kümeleri verilsin, M_i 'nin M_j üzerinde tercih derecesi;

$$\mu_{O_j}(i) = \sup_{x_i, x_j} \{ \text{enk}[\mu_{M_i}(x_i), \mu_{M_j}(x_j), \mu_{P_j}(x_i, x_j)] \} \quad (5.14)$$

olarak hesaplanır. m tane bulanık küme olduğunda $(M_1, M_2, \dots, M_m)$ yukarıdaki formül her bir (M_i, M_j) çiftine uygulanacak ve en küçük operatörü ile birleştirilecektir. Şöyle ki;

$$\mu_O(i) = \text{enk}_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \mu_{O_j}(i) \quad (5.15)$$

olur. Bu formül M_i 'nin en iyi rakibine göre tercih edilmesini temsil eder.

Yukarıdaki iki formül (5.14) ve (5.15) birleştirilirse

$$\mu_O(i) = \text{enk}_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \left[\sup_{x_i, x_j} [\mu_{M_i}(x_i) \wedge \mu_{M_j}(x_j) \wedge \mu_{P_j}(x_i, x_j)] \right] \quad (5.16)$$

elde edilir. Denklem (5.16)'nın bir başka şekilde yazımı ise şöyledir:

$$\mu_O(i) = \sup_{x_i, \wedge, x_m} \left\{ \left[\bigwedge_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \mu_{M_j}(x_j) \right] \wedge \left[\bigwedge_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \mu_{P_j}(x_i, x_j) \right] \right\} \quad (5.17)$$

$\mu_{M_i}(x_i)$ ve $\mu_{P_j}(x_i, x_j)$ parçalı sürekli türevi alınabilir fonksiyonlar olduğunda $\mu_O(i)$ doğrudan elde edilemez. Bu hesaplama güçlüğüne bertaraf etmek için Baldwin ve Guild bir yöntem geliştirmişlerdir. Genel olarak $\mu_O(i)$ 'nin bulunabilmesi için aşağıdaki denklemleri $(m-1)$ kez çözülmesi gerekir:

$$z = \mu_{M_i}(x_i), z = \mu_{M_j}(x_j), z = \mu_{P_j}(x_i, x_j)$$

ve sonra

$$\mu_o(i) = \text{enk}(z)_j.$$

Eğer $\mu_{M_i}(x_i)$, $\mu_{M_j}(x_j)$ ve $\mu_{P_{ij}}(x_i, x_j)$ Şekil 5.5'daki gibi parçalı doğrusal fonksiyonlar ise yukarıdaki fonksiyonlar aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir. Burada $M_i = (a, b, c)$ ve $M_j = (d, e, f)$ bulanık üçgen sayıları için z_{ij} hesaplanacaksa $\alpha = d$; $\beta = e$; $\gamma = b$; $\delta = c$ değerlerini alırlar. (Hesap kolaylığı için karar vericinin orta risk düzeyinde tutum gösterdiği varsayılmış, böylece işlemler denklem (5.12)'ye göre yapılmıştır.):

$$z = \frac{\delta - x_i}{\delta - \gamma} \quad (= \mu_{M_i}(x_i)),$$

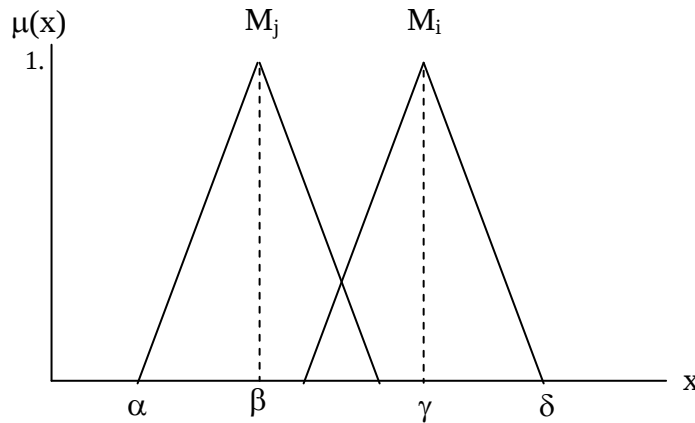
$$z = \frac{x_j - \alpha}{\beta - \alpha} \quad (= \mu_{M_j}(x_j)),$$

$$z = x_i - x_j \quad (= \mu_{P_{ij}}(x_i, x_j)),$$

bu üç denklemden;

$$z = \frac{\delta - \alpha}{1 + (\delta - \gamma) + (\beta - \alpha)} \quad (5.18)$$

elde edilir. Son olarak da $\mu_o(i) = \text{enk}(z)_j$ 'nin hesaplanması gerekir.



Şekil 5.5 Doğrusal M_i ve M_j bulanık kümelerinin karakterize edilmesi [3]s.129

Sayısal Örnek

Balwin ve Guild yöntemi *Örnek 5.1*'e uygulanacaktır. Karşılaştırılacak bulanık kümeler $U_1 = (0,45; 0,50; 0,65)$, $U_2 = (0,50; 0,60; 0,75)$ ve $U_3 = (0,40; 0,55; 0,70)$ 'dir.

Karar vericinin orta risk tutumlu olduğu varsayılırsa, tüm üyelik fonksiyonları parçalı doğrusal oldukları için (5.18) kullanılabilir ve aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

i	1	2	3
$\mu_O(i)$	0,12	0,25	0,17

Buna göre sıralama $U_2 > U_3 > U_1$ şeklinde olur.

Ayrıntılı bir inceleme için $\mu_O(1)$ hesaplanırsa;

$$z_{12} = \frac{\delta - \alpha}{1 + (\delta - \gamma) + (\beta - \alpha)} = \frac{0,65 - 0,50}{1 + (0,65 - 0,50) + (0,60 - 0,50)} = 0,12$$

$$z_{13} = \frac{0,65 - 0,40}{1 + (0,65 - 0,50) + (0,55 - 0,40)} = 0,19$$

$$\mu_O(1) = \text{enk}(z_{1j})_{j=2,3} = \text{enk}(0,12; 0,19) = 0,12 \text{ bulunur.}$$

5.2.1.3 En İyi Durum Derecesi Kullanan Yöntemlerin Değerlendirmesi

Baas ve Kwakernaak yönteminde en iyi bulanık küme tepe noktasına göre belirlendiği görülmüştür. Yani en büyük x değerinde $\mu_{U_i}(x) = 1$ 'i sağlayan küme en iyi olarak bulunur. Diğer kümeler için sıralama en iyi küme ile kesişim noktalarına göre belirlenir. Şekil 5.3'te görülebileceği gibi U_2 en yüksek tepe noktasına sahip olduğu için en iyidir; U_1 ve U_3 'ün tercih puanları ise en iyi küme olan U_2 ile kesişim noktalarıdır. Bu şekildeki bir yaklaşım bazı durumlarda yanlış - sezgiye aykırı sonuçlar verebilir.

Baldwin ve Guild yaklaşımı Baas ve Kwakernaak yönteminin yanlış sonuçları değerlendirilerek önerilmiştir. Yöntemin temel fikri bulanık kümelerin ikiye bölünebilir olarak karşılaştırılması ve elde edilen karşılaştırmaların birleştirilmesiyle bütünsel bir sonuç elde etmektir.

Baas ve Kwakernaak yönteminde tercih göstergesi ($\mu_{P_i}(v_i)$) α kesim kullanarak deneme yanılma tahmin edilirken Baldwin ve Guild yaklaşımında $\mu_O(i)$ göstergesi m-1 denklemi çözerek kesin olarak bulunur. Ayrıca Baldwin ve Guild

yaklaşımında eğer sıralanacak bulanık küme veya sayılar doğrusal kesikli üyelik fonksiyonlarına sahiplerse tercih göstergesi kolayca hesaplanabilmektedir.

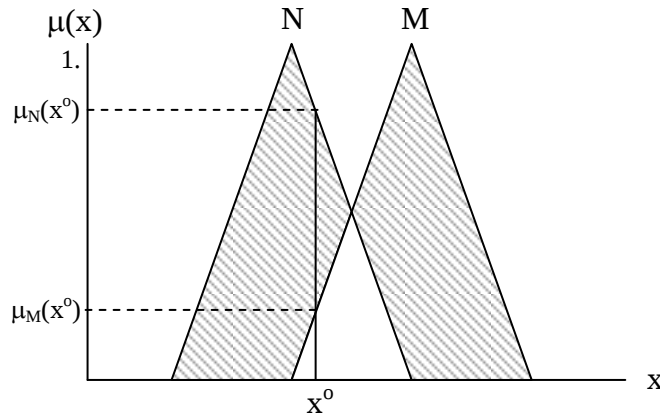
5.2.2 Hamming Uzaklığı Kullanarak Sıralama

Bu gruba giren yöntemler iki bulanık küme arasındaki Hamming uzaklığının ölçülmesini içerir [3]. Hamming uzaklığı M ve N gibi iki bulanık küme için aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$d(M,N) = \int_{-\infty}^{+\infty} |\mu_M(x) - \mu_N(x)| dx \quad \{\text{sürekli fonksiyonlar için}\} \quad (5.19)$$

$$d(M,N) = \sum_{i=0}^K |\mu_M(x) - \mu_N(x)| \quad \{\text{kesikli fonksiyonlar için}\} \quad (5.20)$$

M ve N Şekil 5.6'daki gibi sürekli fonksiyonlar ise şekildeki taralı alanlar da Hamming uzaklığını gösterir.



Şekil 5.6 M ve N bulanık kümeleri arasındaki Hamming uzaklığı. [3]s.134

Çalışma içerisinde Hamming uzaklığını kullanan iki yöntem incelenecektir: (1) Yager Yaklaşımı, (2) Kerre Yaklaşımı

5.2.2.1 Yager Yaklaşımı

Yager birim aralıktaki bulanık kümeler için bir sıralama yöntemi önermiştir. Yöntemde ilk önce sıralanacak bulanık sayılar için bulanık sayıların en büyüklüğü (BEB) belirlenir. Sonra her bir bulanık kümeyle BEB arasındaki Hamming uzaklığı bulunur. BEB ile arasındaki uzaklığın en küçük olduğu bulanık küme sıralamada ilk sırayı alır [3].

Yager BEB'i $\{(x, \mu_{beb}(x))\}$ olarak tanımlamıştır. x ve $\mu_{beb}(x)$ $[0,1]$ aralığında değer almak üzere üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\mu_{beb}(x) = x. \quad (5.21)$$

Şekil 5.7'de sürekli ve kesikli fonksiyonlar için Yager BEB verilmiştir.

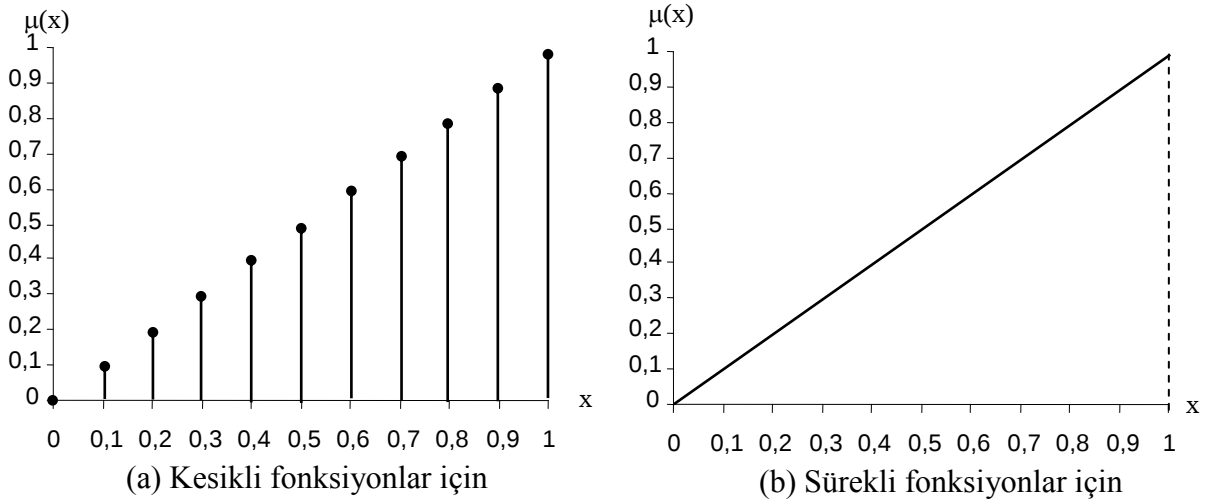
BEB tanımlandıktan sonra her bir bulanık kümenin BEB'e uzaklıkları hesaplanabilir.

Örneğin M ve N bulanık sayıları aşağıdaki gibi verilsin:

x,y	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\mu_{beb}(x)$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\mu_M(x)$	0	0	0	0,3	0,8	1	0,8	0,3	0	0	0
$\mu_N(x)$	0	0,2	0,8	1	0,8	0,3	0	0	0	0	0

$$d(beb, M) = |0-0| + |0,1-0| + |0,2-0| + |0,3-0,3| + |0,4-0,8| + |0,5-1| + |0,6-0,8| + |0,7-0,3| + |0,8-0| + |0,9-0| + |1-0| = 4,5$$

ve benzer hesaplamayla $d(beb, N) = 6,0$ bulunur. $d(beb, M)$ $d(beb, N)$ 'den daha küçük olduğu için $M > N$ denebilir.



Şekil 5.7 Kesikli ve sürekli fonksiyonlar için Yager en büyüklükleri [3] s.138

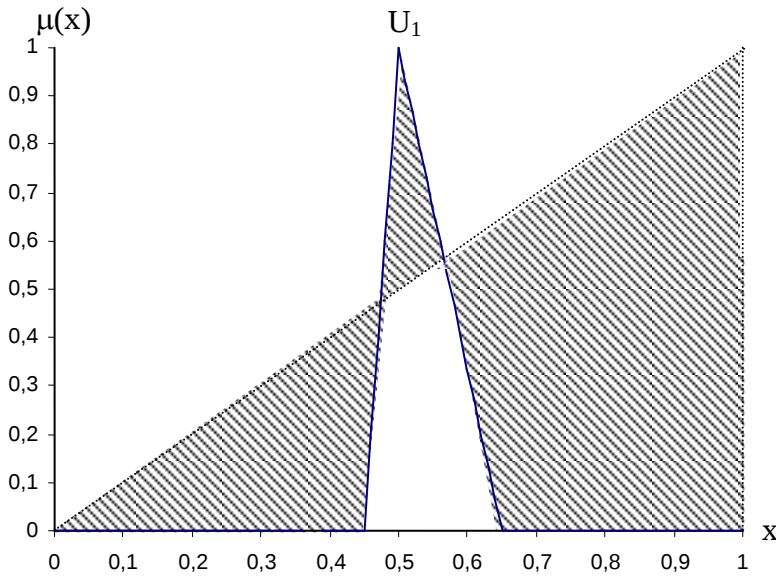
Sayısal Örnek

Örnek 5.1'deki U_1, U_2 ve U_3 bulanık kümelerini sıralamak için denklem (5.19) kullanılarak bu kümelerle Yager'in BEB aralarındaki Hamming uzaklığını hesaplamak gerekir. Örneğin U_1 için BEB ile arasındaki Hamming uzaklığı, $d(beb, U_1)$, Şekil 5.8'teki taralı alandır. Aşağıda bahsedilen alanın hesabı verilmiştir.

$$\begin{aligned}
d(\text{beb}, U_1) &= \int_0^1 |\mu_{\text{beb}}(x) - \mu_{U_1}(x)| dx \\
&= \int_0^{0,474} x dx - \int_{0,45}^{0,474} \frac{x-0,45}{0,05} dx + \int_{0,474}^{0,5} \frac{x-0,45}{0,05} dx + \int_{0,5}^{0,565} \frac{0,65-x}{0,15} dx - \int_{0,474}^{0,565} x dx \\
&\quad + \int_{0,565}^1 x dx - \int_{0,565}^{0,65} \frac{0,65-x}{0,15} dx \\
&= 0,446
\end{aligned}$$

Benzer hesaplamalarla diğer kümeler için BEB'le aralarındaki Hamming uzaklığı bulunmuştur:

$d(\text{beb}, U_1) = 0,446$; $d(\text{beb}, U_2) = 0,414$; $d(\text{beb}, U_3) = 0,412$ olarak bulunur.



Şekil 5.8 U1 ile Yager'in en büyüğü arasındaki Hamming uzaklığı

Sıralama Yager BEB'e uzaklığı en düşük olandan uzaklığı en büyük olana doğru olacağından $U_3 > U_2 > U_1$ olarak ortaya çıkar. Görüldüğü gibi ortaya çıkan sıralama sezgiye aykırı bir sonuçtur. Bu yüzden Yager'in yaklaşımı çok güvenilir bir yöntem değildir.

5.2.2.2 Kerre Yaklaşımı

Kerre'nin önerdiği yaklaşım BEB'in tanımı dışında Yager'in yaklaşımıyla aynıdır. Yani bu yöntemde de ilk önce BEB belirlenir, sonra her bir bulanık kümeyle BEB arasındaki Hamming uzaklığı bulunarak BEB ile arasındaki uzaklığın en küçük

olduğu bulanık küme sıralamada ilk sıraya koyulur. Kerre'nin BEB'i Yager'inki gibi sabit bir üyelik fonksiyonu yoktur [3]. Karşılaştırılacak küme veya sayılara göre değişir. M ve N bulanık kümeler olmak üzere Kerre'nin BEB, $\{(z, \mu_{beb}(z))\}$, aşağıdaki gibi tanımlamıştır.

$$\mu_{beb}(z) = \sup_{z=(x \vee y)} [\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)] \quad (5.22)$$

Yager yaklaşımında kullanılan M ve N bulanık kümeleri Kerre yöntemiyle sıralanmak istenirse önce BEB'in hesaplanması gerekir. $\mu_{beb}(z)$ 'yi hesaplamak için her bir z değeri için $z = (x \vee y)$ 'yi sağlayan x,y çiftleri bulunmalı ve bu çiftlerin bulanık kesişimleri alınarak kesişimlerden elde edilen sonuçların en büyüğü $\mu_{beb}(z)$ olarak belirlenmelidir. Örnek olarak $z = 0,4$ için $0,4 = (x \vee y)$ 'yi sağlayan x,y çiftleri bulunur, bunlar (0,4 ; 0), (0,4 ; 0,1), (0,4 ; 0,2), (0,4 ; 0,3), (0,4 ; 0,4), (0,3 ; 0,4), (0,2 ; 0,4), (0,1 ; 0,4) ve (0 ; 0,4)'tür. Sonra bu çiftler için $\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)$ hesaplanır:

(x;y)	(0,4;0)	(0,4;0,1)	(0,4;0,2)	(0,4;0,3)	(0,4;0,4)	(0,3;0,4)	(0,2;0,4)	(0,1;0,4)	(0;0,4)
$\mu_M(x)$	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	0	0	0
$\mu_N(y)$	0	0,2	0,8	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
$\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)$	0	0,2	0,8	0,8	0,8	0,3	0	0	0

Sonrada $\mu_{beb}(z = 0,4) = \sup[\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)] = 0,8$ olarak bulunur. Benzer hesaplamalarla $\mu_{beb}(z)$ aşağıdaki gibi bulunmuştur:

x,y	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\mu_{beb}(x)$	0	0	0	0,3	0,8	1	0,8	0,3	0	0	0
$\mu_M(x)$	0	0	0	0,3	0,8	1	0,8	0,3	0	0	0
$\mu_N(x)$	0	0,2	0,8	1	0,8	0,3	0	0	0	0	0

Sıralama için son olarak M ve N'nin BEB ile Hamming uzaklıkları $d(beb,M) = 0$ ve $d(beb,N)=3,5$ olarak bulunur ve $M > N$ denir.

Sayısal Örnek

Kerre yaklaşımı Örnek 5.1'e uygulanırsa U_1, U_2 ve U_3 bulanık kümeleri için Kerre'nin BEB'i U_3 'e eşit olur. $d(beb,U_3) = 0$ olacağı için de U_3 en iyi seçim olacaktır. Sıralama yapabilmek için diğer kümelerle BEB arasındaki uzaklıklar alınır aşağıdaki sonuç elde edilir:

$d(beb;U_1)$	$d(beb;U_2)$	$d(beb;U_3)$
0,135	0	0,115

Sonuçlara göre sıralama BEB’den Hamming uzaklığı en az olan en iyi olacağından $U_2 > U_3 > U_1$ şeklinde olur.

5.2.2.3 Hamming Uzaklığı Kullanan Yöntemlerin Değerlendirmesi

Yager önce BEB’i tanımlamış, sonra her bir bulanık kümeyle BEB arasındaki Hamming uzaklığını bulmuş ve BEB ile arasındaki uzaklığın en küçük olduğu bulanık kümeyle en iyi demiştir.

Kerre Yager’inkine benzer bir yöntem önermiş, sadece BEB’i farklı tanımlamıştır. Yager’de değişmeyen bir BEB üyelik fonksiyonu varken Kerre yönteminde karşılaştırılacak her bulanık küme için farklı BEB’ler olacaktır.

Her iki yöntemin de sezgiye aykırı sonuçlar verdiği durumlar mevcuttur. Bunun en büyük nedeni yöntemlerin alan hesaplamaya dayanmasıdır. Oysa bir bulanık sayının büyüklüğü alanıyla doğrudan ilişkili değildir. Örneğin belirgin 1 sayısının Yager indisi 0,5 iken *Örnek 5.1*’deki U_1 ’in Yager indisi 0,446’dır. Yani Yager yaklaşımı mantığın tam tersine U_1 ’in daha büyük olduğunu söylemektedir.

5.2.3 α -Kesim Kullanarak Sıralama

Bu gruba giren yöntemler bulanık kümeleri veya bulanık sayıları karşılaştırmak için α -kesim’den yararlanırlar [3]. Bir M bulanık kümesinin α -kesimi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

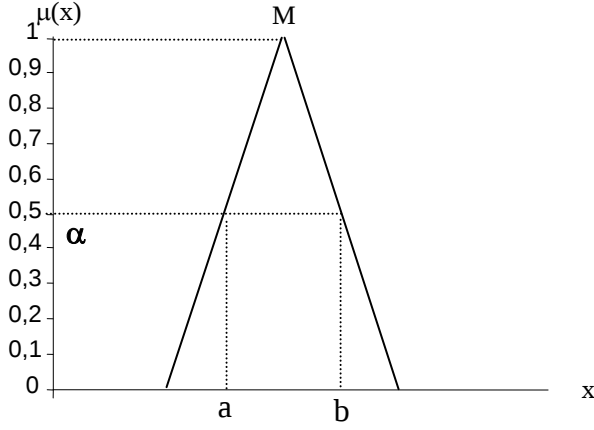
$$M_\alpha = \{ x \in U \mid \mu_M(x) \geq \alpha \}, \alpha \in [0,1] \quad (5.23)$$

Örneğin aşağıdaki M bulanık kümesinde $\alpha = 0,5$ için M_α bulunacak olursa;

x	1	2	3	4	5	6	7	8
$\mu_M(x)$	0	0,3	0,5	0,8	1	0,8	0,5	0,3

$M_{0,5} = \{3,4,5,6,7\}$ olur.

Eğer $\mu_M(x)$ sürekli bir fonksiyon ise M_α bir aralık olarak gösterilir. Örneğin Şekil 5.9’deki M bulanık kümesi $\alpha = 0,5$ düzeyi, $M_\alpha, [a,b]$ aralığı olarak gösterilir.



Şekil 5.9 α -düzeyi kümesi, $M_\alpha = [a, b]$ [3] s.165

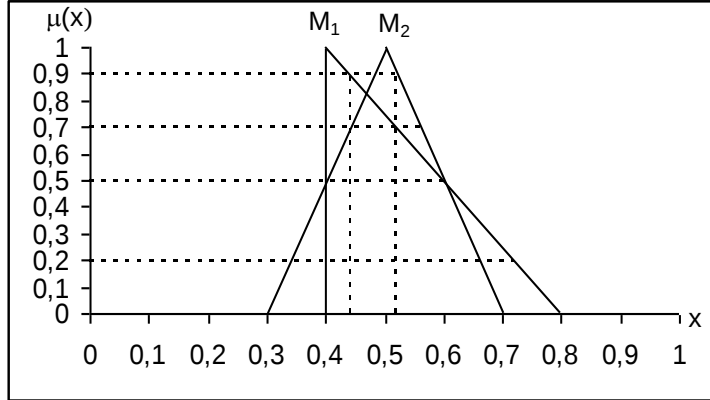
Sıralama için α -kesim kullanan (1) Adamo, (2) Buckley ve Chanas ve (3) Mabuchi yaklaşımları ayrıntılı olarak incelenecektir.

5.2.3.1 Adamo Yaklaşımı

Adamo α -kesim fikrini α -tercih indisi elde etmek için şu şekilde kullanır (M bir bulanık sayıdır) [3]:

$$F_\alpha(M) = \text{enb } \{ x \in U \mid \mu_M(x) \geq \alpha \}, \alpha \in [0,1]. \quad (5.24)$$

Burada α karar verici tarafından kabul edilebilir bir eşik değeri olarak verilir.



Şekil 5.10 Adamo Yönteminin Gösterimi [3] s.166

Şekil 5.10'te verilen M_1 ve M_2 bulanık kümeleri için (M_1 (0,4;0,4;0,8)'e; M_2 (0,3;0,5;0,7) bulanık sayılarına karşılık gelen bulanık kümelerdir) $\alpha = 0,9$ düzeyinde Adamo tercih indisi aşağıda verilmiştir.

$$F_{0,9}(M_1) = 0,42 \quad F_{0,9}(M_2) = 0,56$$

Bu değerler dikkate alınırsa $\alpha = 0,9$ düzeyinde (5.24)'e göre en iyi çözüm; M_2 'dir.

Adamo yaklaşımında α -kesim kullanımı güvenilir bir sıralama vermez. Çünkü farklı α değerleri için sıralama değişebilir. Örneğin yukarıdaki örnekte $\alpha = 0,9$ 'de $M_2 > M_1$ iken, $\alpha = 0,5$ 'te $M_2 = M_1$ ve $\alpha = 0,2$ 'de $M_2 < M_1$ olur. Bu yüzden bu yöntem ciddi bir sıralama yöntemi olarak görülmemelidir.

Sayısal Örnek

Örnek 5.1'deki bulanık kümeler için $\alpha=0,8$ düzeyinde karşılaştırma değerleri aşağıdaki gibi bulunur:

	U_1	U_2	U_3
$F_{0,8}(U_i)$	0,53	0,63	0,58

Örneğin $F_{0,8}(U_1)$ 'i bulmak için $\mu_{U_1}(x) = 0,8$ 'i sağlayan en büyük x değeri alınmıştır. Bu x değeri U_1 üçgen bulanık kümesinin sağ bacağı üzerinde $\mu_{U_1}(x) = 0,8$ 'i sağlayan $x=0,53$ noktasıdır. Elde edilen değerlere göre sıralama $U_2 > U_3 > U_1$ şeklinde olur.

5.2.3.2 Buckley ve Chanas Yaklaşımı

Buckley ve Chanas " $M_{1\alpha} > M_{2\alpha}$ " önerisini için daha kısıtlayıcı şartlar koymuşlardır

[3]. M_1 ve M_2 bulanık sayıları bunların α düzeyi kümeleri

$$M_{1\alpha} = [a_1, b_1] \quad , \quad M_{2\alpha} = [a_2, b_2] \text{ ise}$$

sıralama şartı aşağıdaki gibidir:

$$M_1 > M_2 \quad \Leftrightarrow \quad a_1 > b_2 \quad (5.25)$$

Örneğin Şekil 3,14'teki bulanık sayılar için $\alpha = 0,9$ seçilirse;

$$M_{10,9} = [0,4 ; 0,42] \quad , \quad M_{20,9} = [0,52 ; 0,56]$$

bulunur ve $M_2 > M_1$ denebilir çünkü $a_2 = 0,52 > b_1 = 0,42$ 'dir.

Bu yöntem de Adamo yöntemi gibi tutarsız sonuçlar verebilmektedir. Ayrıca bazı durumlarda işlevselliğini kaybetmektedir. Örneğin Şekil 5.10'daki bulanık sayılar için $\alpha = 0,7$ seçilirse M_2 ve M_1 ile ilgili hiçbir yargıya varılamamaktadır.

Sayısal Örnek

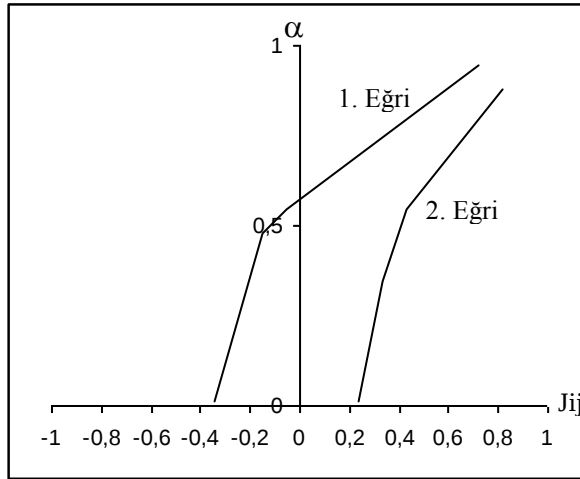
Örnek 5.1'deki bulanık kümeler için yöntemde tanımlanan α düzey kümeleri $\alpha=0,8$ için aşağıda verilmiştir:

$U_{1,0,8}$	$U_{2,0,8}$	$U_{3,0,8}$
[0,49; 0,53]	[0,58;0,63]	[0,52;0,58]

Sıralama elde edilen değerler kullanılarak denklem (5.25)'e göre yapılır. $U_2 > U_1$ 'dir çünkü $0,58 > 0,53$ aynı şekilde $U_2 > U_3$ 'tür. Fakat U_1 ve U_3 için hiçbir şey söylenemez çünkü her ikisi için de alt sınırları diğerinin üst sınırından büyük değildir. Sonuçta sadece en iyi seçenek olarak diğerlerinden büyük olduğu tespit edilen U_2 belirlenebilmiştir. Tam bir sıralama gerçekleştirilememiştir.

5.2.3.3 Mabuchi Yaklaşımı

Mabuchi yalnızca bir tane α -kesim kullanmanın tutarsızlıklara sebep olabileceğini fark ederek bulanık sayıları birçok α -kesim değeri kullanarak karşılaştıran bir yöntem geliştirmiştir [3].



Ş

Yöntemde ilk önce karşılaştırılan bulanık kümelerin M_i 'nin M_j üzerindeki baskınlığını karakterize eden fonksiyonel tipte göstergeye, $J_{ij}(\alpha)$, dönüştürülmesi gerekir. Her $J_{ij}(\alpha)$ fonksiyonu α - J_{ij} eğrisine sözel ifade yükleyerek sözel olarak belirtilmelidir. 'de α - J_{ij} eğrilerine örnekler vardır. Burada 1. eğri “ M_i ortalama bir karmaşıklıkta oldukça baskın”, 2. eğri ise “ M_i daha çok karmaşıklıkta tamamıyla baskın” ifadelerini göstermektedir.

İkinci olarak $J_{ij}(\alpha)$ 'dan tek bir J_{ij}^0 türetilir. J_{ij}^0 , M_i 'nin M_j üzerindeki baskınlığının ağırlıklandırılmış ortalamasıdır. Ağırlıklar α değerleridir. J_{ij}^0 karşılaştırma sonucunu elde etmek için kullanılabilir. Yöntem önceki iki α -kesişim yöntemleri gibi basit değildir. Yöntemin hesaplama kısmında kullanılan algoritma üç adım içerir

Algoritma

M_i ve M_j gibi iki bulanık sayıyı karşılaştırmak üç adımda gerçekleşir.

Adım1 M_i ve M_j 'nin farkı bir bulanık sayı olan $D = \{(v, \mu_D(v))\}$ 'dir. Buradaki $\mu_D(v)$ şu şekilde hesaplanır:

$$\mu_D(v) = \sup_{v=x-y} \text{enk}[\mu_{M_i}(x), \mu_{M_j}(y)] \quad (5.26)$$

D 'nin ortaya konulmasıyla M_i ve M_j bulanık kümelerinin karşılaştırması D bulanık kümesinin belirgin 0 sayısı ile karşılaştırmasına dönüşmüştür.

Adım2 D 'nin α düzeyi kümesi $D_\alpha = [v^-, v^*]$ ve v^-, v^* değerleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$v^* = \sup_{v \in D_\alpha} v, \quad (5.27)$$

$$v^- = \inf_{v \in D_\alpha} v \quad (5.28)$$

Ayrıca $[v^-, v^*]$ aralığının pozitif ve negatif bölümlerinin uzunlukları olarak L^* ve L^- tanımlanırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$J_{ij}(\alpha) = \frac{L^* - L^-}{L^* + L^-} \quad (5.29)$$

eğer aralığın uzunluğu sıfırsa, $J_{ij}(\alpha)$ aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$J_{ij}(\alpha) = \begin{cases} 1, & \text{eger } v^* = v^- > 0 \\ -1, & \text{eger } v^* = v^- < 0 \\ 0, & \text{eger } v^* = v^- = 0 \end{cases} \quad (5.30)$$

$J_{ij}(\alpha)$ daha sonra α düzeyinde M_i 'nin M_j üzerindeki baskınlığının derecesi olarak kullanılır. Yüksek $J_{ij}(\alpha)$ değeri daha güçlü " $M_i \geq M_j$ " anlamına gelir.

$$J_{ij}(\alpha) = \mu_{M_i > M_j}(\alpha) \quad (5.31)$$

olduğunda aşağıdaki denklik sağlanır:

$$\alpha = \mu_{M_i > M_j}(J) \quad (5.32)$$

Denklem (5.32)'deki üyelik fonksiyonu “J’de $M_i \geq M_j$ ” ifadesinin α ’nın doğruluk derecesine sahip olduğunu gösterir.

α -J eğrisi daha çok J’nin pozitif bölgesinde (özellikle α ’nın büyük değerlerinde) ise M_i ’nin M_j üzerinde oldukça baskın olduğu söylenebilir. Eğri genel olarak pozitif ve negatif bölgelere dağılmışsa kesin bir sonuca varılamaz.

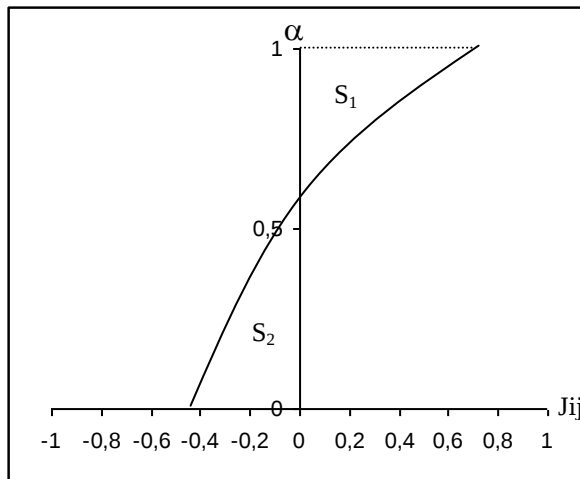
Bir çok α değerleri kullanıldığı için $J_{ij}(\alpha)$ bir çok – değerli gösterge olarak görülebilir. Bulanık karşılaştırmada basit bir sınıflamaya ihtiyaç duyulursa üçüncü adım uygulanır.

Adım3 Tek gösterge J^0 aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$J^0 = 2 \int_0^{h(D)} \alpha J(\alpha) d\alpha, J^0 \in [-1,1] \quad (5.33)$$

burada $h(D)$ $\mu_D(v)$ ’nin üst sınırıdır. Bu gösterge M_i ’nin M_j üzerindeki baskınlığının ağırlıklandırılmış ortalamasıdır.

Formülde de görülebileceği gibi J^0 ’ın değeri eğriyle α eksenindeki alana eşittir. Dikkat edilmesi gereken nokta pozitif bölümde yer alan alanların pozitif, negatif bölümde yer alan alanların negatif olarak hesaba katılmasıdır. Şekil 5.11 J^0 ’ın türetilmesiyle ilgilidir. Şekilde de S_1 ve S_2 α ekseninin farklı taraflarındadırlar. Bunların farkları J^0 ’ı belirler ($S_1 - S_2$). Görülebileceği gibi J^0 ’ın değeri pozitif veya negatif olabilir.



Şekil 5.11 J^0 ’ın türetilmesi [3]s.172

Bazı durumlarda J^0 'ın yukarıda belirtilen formülden hesaplanması güç olabilir. Bu yüzden J^0 'ın yaklaşık hesaplaması şu şekilde verilmiştir: $[0, h(D)]$ aralığı K tane alt aralığa bölünür ve formül aşağıdaki gibi yeniden yazılır:

$$J^0 = \frac{2}{K^2} \left[\sum_{i=0}^K i * J\left(\frac{i * h}{K}\right) - \frac{K}{2} * J(h) \right] \quad (5.34)$$

burada $h = h(D)$ ve $J^0 \in [-1, 1]$ 'dir. K sayısının seçimi karar vericinin tercihine bağlıdır. K büyük seçilirse hesaplama güçlüğü artar fakat gerçek J^0 değerine yaklaşılr, K 'ya daha küçük değer atanırsa hesaplama kolaylaşsa da gerçek J^0 'dan uzaklaşılr. Karar verici bu değerlere karar verirken bahsedilen değiş-tokuşa dikkat etmelidir.

Yöntemin algoritması iki bulanık kümenin karşılaştırmasını içerir. Mabuchi yöntemi ikiden çok bulanık kümenin karşılaştırılmasında da kullanılabilir. Bunun için $M_1, \dots, M_m$ bulanık kümelerinde her bir (M_i, M_j) çifti için $J_{ij}(\alpha)$ hesaplanır ve bir tercih ilişkileri matrisi oluşturulur. Sonra sıralama gerçekleştirilir.

İkiden çok bulanık kümenin karşılaştırılmasında başka bir yol da bulanık en küçük kullanmaktır. Bulanık en küçük aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\mu_{enk}(v) = \sup_{v=x_1 \wedge \dots \wedge x_m} enk[\mu_{M_1}(x_1), \dots, \mu_{M_m}(x_m)] \quad (5.35)$$

sonra her $\mu_{M_i}(x_i), \forall i, \mu_{enk}(v)$ ile karşılaştırılır. Her $\mu_{M_i}(x_i), \forall i, \mu_{enk}(v)$ için $J_{ei}(\alpha)$ elde edilir. $J_{ei}(\alpha)$ değeri yüksek olan bulanık küme sıralamada yukarıda yer alacaktır.

Yukarıda incelenen algoritma kesikli üyelik fonksiyonlarına sahip bulanık kümelerde uygulanabilir. Mabuchi sürekli üyelik fonksiyonlarına sahip bulanık kümeler için de bir yöntem önermiştir. Bu yöntem burada değinilmeyecektir. Ayrıntılı bilgi Chen ve Hwang [3]'den elde edilebilir.

Sayısal Örnek

M ve N iki bulanık küme olsun ve üyelik dereceleri aşağıdaki gibi verilsin:

x, y	1	2	3	4	5	6	7
$\mu_M(x)$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	0
$\mu_N(y)$	0	0,3	0,6	1	0,6	0,3	0

Adım1 D bulanık fark kümesi denklem (5.26) kullanılarak oluşturulur:

v	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
$\mu_D(v)$	0	0,2	0,3	0,4	0,6	0,6	0,8	1	0,6	0,3	0

Örneğin $v = 1$ hesaplanırken önce $v = x - y = 1$ 'i sağlayan (x, y) çiftleri bulunmuştur: $(2;1), (3;2), (4;3), (5;4), (6;5), (7;6)$ Sonra her çift için $\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)$ hesaplanmıştır:

$(x; y)$	(2;1)	(3;2)	(4;3)	(5;4)	(6;5)	(7;6)
$\mu_M(x)$	0,2	0,4	0,6	0,8	1	0
$\mu_N(y)$	0	0,3	0,6	1	0,6	0,3
$\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)$	0	0,3	0,6	0,8	0,6	0

Son olarak da çıkan değerlerin en büyüğü alınır: $\mu_D(1) = \text{enb}(0; 0,3; 0,6; 0,8; 0,6; 0) = 0,8$ olarak bulunur.

Adım2 $\alpha = 0$ alınırsa;

$$D_{\alpha=0} = [-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5],$$

$$v^* = \sup_{v \in D_{\alpha=0}} v = 5 \text{ ve}$$

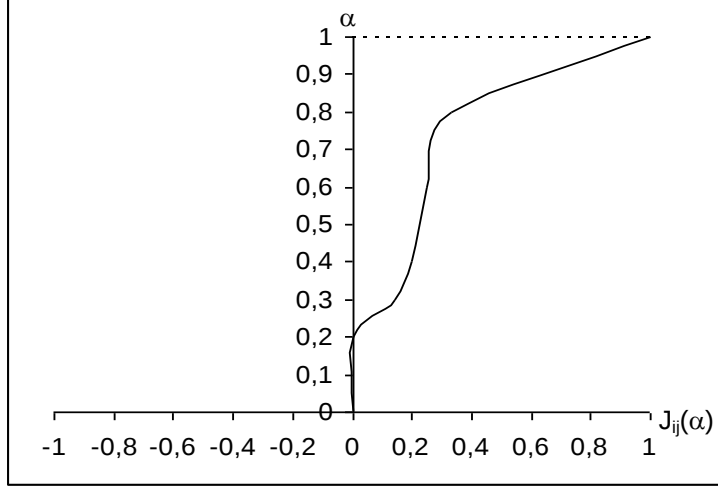
$$v^- = \inf_{v \in D_{\alpha=0}} v = -5 \text{ bulunur.}$$

Sonuç olarak $L^* = 5$ ve $L^- = -5$ olur. Böylece $J(\alpha = 0) = (5 - (-5)) / (5 + (-5)) = 0$ olarak hesaplanır. Bu $\alpha = 0$ seviyesinde “M’nin N’den büyük olma” derecesinin 0’a eşit olduğunu gösterir. Benzer şekilde işlemler yapılırsa çeşitli α değerleri için çıkan sonuçlar Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2 Çeşitli α seviyeleri için $J(\alpha)$ değerleri

α	D_α	v^*	v^-	L^*	L^-	$J(\alpha)$
0	$[-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5]$	5	-5	5	-5	0
0,2	$[-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4]$	4	-4	4	-4	0
0,3	$[-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4]$	4	-3	4	-3	1/7
0,4	$[-2, -1, 0, 1, 2, 3]$	3	-2	3	-2	1/5
0,6	$[-1, 0, 1, 2, 3]$	3	-1	3	-1	1/4
0,8	$[1, 2]$	2	1	2	1	1/3
1	$[2]$	2	2	2	2	1

Tablo 5.2’deki değerler oluşturulurken $J(1)$ dışındakilerde denklem (5.29) kullanılmıştır. $\alpha=1$ ’de $v^* = v^-$ olduğu için $J(1)$, denklem (5.30)’a göre hesaplanmış ve $J(1) = 1$ bulunmuştur.



Şekil 5.12 M ve N bulanık kümeleri için α - J_{ij} grafiği

Şekil 5.12’te α - J_{ij} grafiği verilmiştir. Bu grafikten “ M_i az karmaşıklıkta N üzerinde az baskın” anlamı çıkarılabilir.

Adım3 Farklı α seviyeleri için tercih sırası değişebilir. Bu yüzden tek bir göstergeye, J^0 , ihtiyaç vardır. J^0 denklem (5.34) kullanılarak hesaplanmıştır ($h=1$ ve $K=4$ alınmıştır):

$$J^0 = \frac{2}{5^2} \left[\sum_{i=0}^5 i * J\left(\frac{i}{5}\right) - \frac{5}{2} * J(1) \right] = 0,398$$

J^0 ’ın pozitif olması M’nin N’ye baskın olduğunu gösterir. Fakat J^0 değeri 0,5’ten küçük olduğu için baskınlık azdır. Elde edilen grafiğin ve J^0 değerinin yorumlanmasıyla ilgili olarak Chen ve Hwang [3]’tan ayrıntılı bilgi elde edilebilir.

5.2.3.4 α -Kesim Kullanan Yaklaşımların Değerlendirmesi

Adamo yaklaşımı bulanık kümeleri; karar verici tarafından belirlenen tek bir α düzeyinde, karşılaştırılacak kümeleri üyelik derecesi α ’ya eşit veya α ’dan yüksek en büyük elemanlarıyla temsil ettirerek karşılaştırır. Buckley ve Chanas yaklaşımında ise kümeleri temsil eden eleman sayısı, üyelik derecesi α ’ya eşit veya α ’dan yüksek en küçük elemanın eklenmesiyle ikiye çıkar. Bu yüzden Buckley ve Chanas yaklaşımında yargıya varılamayan durumlar olabilir (örnek: Şekil 5.10’da $\alpha=0,7$ durumu ve yöntemin sayısal örneğinde U_1 ve U_3 ’ün karşılaştırılamaması).

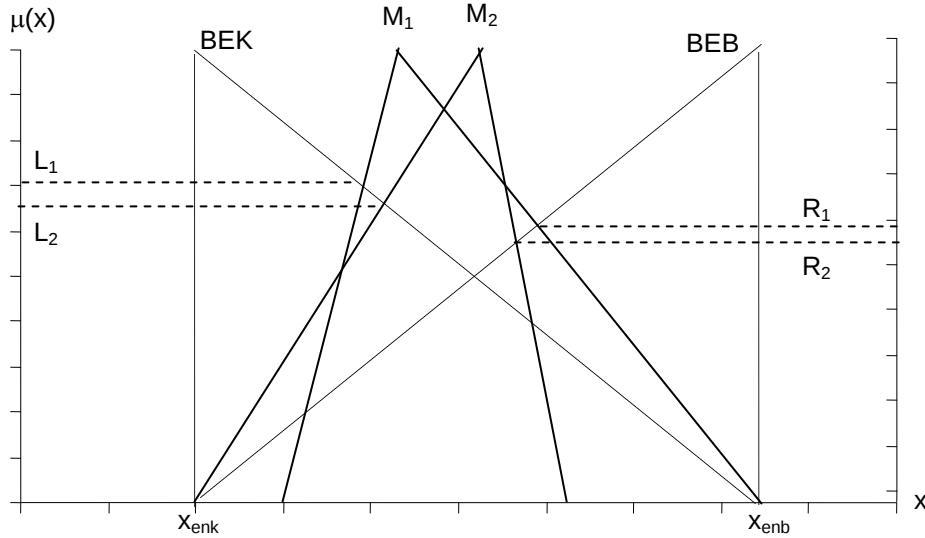
Ayrıca her iki yaklaşım da farklı α düzeylerinde farklı sonuçlar verebildikleri için ciddi birer sıralama yöntemi olarak görülmeleri yanlış olur.

α -kesim kullan yöntemlerden gerçek bir sıralama elde edilebilecek tek yaklaşım Mabuchi yaklaşımı olarak görünmektedir. Mabuchi yaklaşımında bulanık kümelerin çeşitli α düzeylerindeki birbirlerine baskınlıkları toplam bir karşılaştırma göstergesi olarak birleştirilir. Böylece herhangi bir α düzeyine bağlı olmayan bütünsel bir karşılaştırma mümkün olur.

5.2.4 Sağ-Sol Puanlar Kullanarak Sıralama

$M_1, \dots, M_m$ bulanık sayıları verildiğinde, sol ve sağ puanlar, M_i bulanık sayısının sırasıyla bulanık sayıların enküçüğü (BEK) ve bulanık sayıların enbüyüğü (BEB) ile kesiştiği noktalardır [3]. Şekil 5.13’de verilen örnekte Chen’in BEB ve BEK kullanılarak sol puanlar (L_i , $i=1,2$) ve sağ puanlar (R_i , $i=1,2$) bulunmuş ve şekil üzerinde gösterilmiştir.

Bu kategoriye giren yöntemler sağ puanı ve her iki sağ ve sol puanları kullanarak her bir bulanık sayı için toplam puan türetirler. Toplam puanı yüksek olan bulanık sayı daha iyi olarak kabul edilir.



Şekil 5.13 Sağ ve sol puanların şekil üzerinde gösterimi. [3] s.233

Sağ ve sol puanları kullanan yaklaşımlardan önce sadece sağ puan kullanan (1) Jain yaklaşımı ve sonra da her iki sağ ve sol puanları kullanan (2) Chen ve (3) Chen ve Hwang yaklaşımları incelenecektir.

5.2.4.1 Jain Yaklaşımı

Jain her bulanık sayı için bir belirgin puan bulan bir sıralama yöntemi önermiştir. Belirgin puan, bulanık sayının artmayan kısmı ile BEB'in kesişim noktasının hesaplanmasıyla bulunur [3].

Jain, bulanık sayıları adamakıllı karşılaştırabilmek için karşılaştırılacak bulanık sayılarla ilişkili BEB ve bulanık sayıların kendilerinin dikkate alınması gerektiğini düşünmüştür. Bu açıdan $M_1, \dots, M_m$ gibi bulanık sayılar için BEB'i aşağıdaki gibi tanımlamıştır:

$$\mu_{beb}(x) = [x / x_{enb}]^k, k > 0, \quad (5.36)$$

burada k , karar vericinin riske karşı tutumunu gösteren bir tam sayı ve x_{enb} M_i 'nin destek kümesinin en büyük x değeridir. x_{enb} ve M_i 'nin destek kümesi, $S(M_i)$, aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$x_{enb} = \sup_{i=1}^n [\bigvee S(M_i)] \quad (5.37)$$

$$S(M_i) = \{x \mid \mu_{M_i}(x) > 0\} \quad (5.38)$$

Jain'in BEB'inde x , x_{enb} 'e yaklaştıkça $\mu_{enb}(x)$ 1'e yakın değerler alır. x x_{enb} 'ten uzaklaştıkça $\mu_{enb}(x)$ 0'a yaklaşır. k karar vericinin riske karşı tutumuna göre ayarlanır. Eğer karar verici risk almak istemiyorsa $k < 1$ seçilmeli, karar verici risk alma taraftarıysa $k > 1$ olmalıdır. Karar verici orta risk düzeyinde ise $k = 1$ alınabilir.

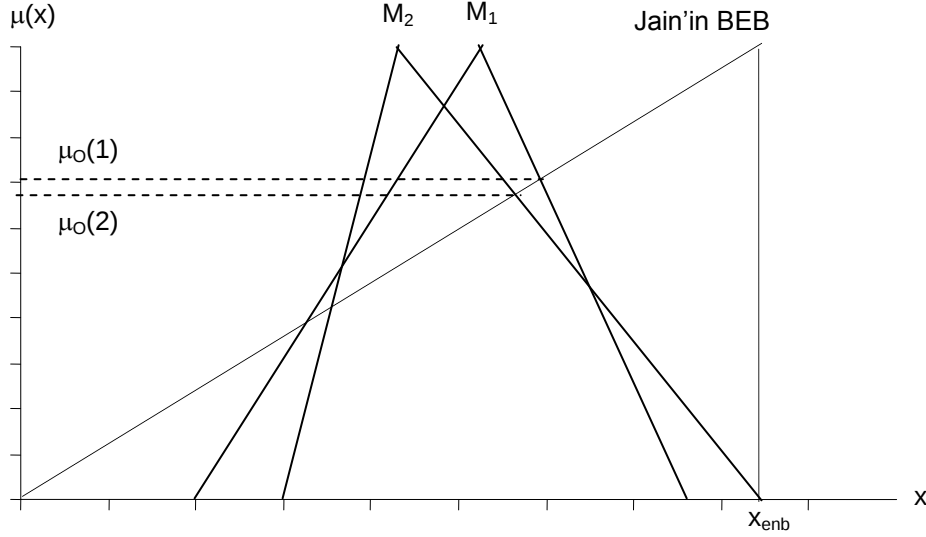
Jain'in BEB'e karar verildikten sonra her M_i bulanık sayısı için en iyi küme, $O(i)$, oluşturulur. $O(i)$ 'nin üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\mu_O(i) = \sup_x [\mu_{beb}(x) \wedge \mu_{M_i}(x)] \quad (5.39)$$

$\mu_O(i)$, M_i bulanık sayısının en iyilik derecesini gösterir. Bu $[0,1]$ aralığında bir sayı olduğu için M_i bulanık sayısının puanı olarak kullanılabilir.

Grafik üzerinde incelenirse Şekil 5.14'deki M_1 ve M_2 bulanık sayılarının belirgin puanları sırasıyla $\mu_O(1)$ ve $\mu_O(2)$ 'dir. Bunlar M_1 ve M_2 'nin Jain'in BEB ile kesişim noktalarıdır. $\mu_O(1) > \mu_O(2)$ olduğu için M_1 M_2 'den daha iyidir denebilir.

Birçok kez Jain yaklaşımının sezgiye aykırı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun en önemli nedeni yöntemde sadece bulanık sayıların bir kısmının (artmayan kısmının) dikkate alınmasıdır.



Şekil 5.14 M_1 ve M_2 bulanık sayılarının Jain belirgin puanları [3]s.462

Sayısal Örnek

Jain yaklaşımı Örnek 5.1'e uygulanacaktır. İlk yapılması gereken Jain'in BEB'e karar vermektir. Denklem (5.38) kullanılarak karşılaştırılacak kümelerin destek kümeleri bulunur:

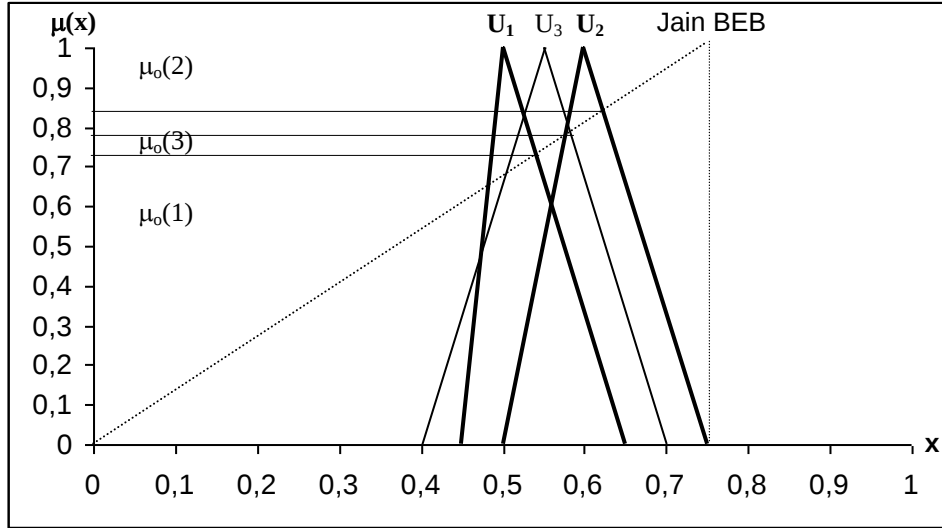
$$S(U_1) = [0,45;0,65] \quad S(U_2) = [0,5;0,75] \quad S(U_3) = [0,4;0,7]$$

Elde edilen destek kümelerine göre $x_{enb}=0,75$ 'tir. Denklem (5.36)'da $k=1$ varsayılarak x_{enb} değeri yerine konursa

$$\mu_{beb}(x) = [x / x_{enb}]^k \Rightarrow \mu_{beb}(x) = (x/0,75)$$

olarak elde edilir. Şimdi sırada Jain BEB'i kullanarak karşılaştırılacak her bulanık küme için belirgin puanlar etmek vardır. Şekil 5.15'da Jain BEB ve bulanık kümeler verilmiştir.

Belirgin puanlar denklem (5.39) kullanılarak hesaplanacaktır. Şekil 5.15'da dikkat edilirse $\mu_0(i)$ değeri U_i 'nin üyelik fonksiyonunun sağ bacağı ile Jain BEB'in kesiştiği noktadır. Hesaplama da bu özellikten yararlanılmıştır. Örneğin $\mu_0(1)$ 'i hesaplamak için U_1 'in sağ bacağına ifade eden fonksiyon $\{ (0,65-x)/0,15 \}$ ile Jain BEB'in $\{x/0,75\}$ kesişimi alınmış, $x = 0,54$ ve $\mu_0(1) = \mu(0,54) = 0,72$ olarak bulunmuştur.



Şekil 5.15 U_1 , U_2 ve U_3 için Jain belirgin puanları

Diğer bulanık kümeler için de benze işlemler yapılarak aşağıdaki değerler elde edilir:

i	1	2	3
$\mu_o(i)$	0,72	0,83	0,78

Buna göre sıralama $U_2 > U_3 > U_1$ şeklinde olur.

Jain yaklaşımının en büyük sorunu bulanık kümenin sadece artmayan kısmını (örnek: üçgen bulanık sayının sağ bacağı) dikkate almasıdır. Böylece bulanık sayının bir kısım bilgisi dikkate alınmamış olmuştur. Yöntemin bir başka sorunu ise sadece en büyük x değerine göre BEB'i belirlemesidir. Bir bulanık kümenin destek kümesinin negatif olması durumunda en büyük x değeri negatif olabilir; bu durumda BEB üyelik fonksiyonunda 1'den büyük değerler olacaktır. Bu bulanık küme tanımlarına aykırı bir durumdur.

5.2.4.2 Chen Yaklaşımı

Chen, Jain yaklaşımından kaynaklanan tutarsızlıkları BEB'i sadece en büyük x değerine göre belirleme ve bulanık kümenin sadece artmayan kısmını hesaba katma) fark ederek aynı yaklaşıma çeşitli değişiklikler önermiştir [3]. İlk önce BEB'in problemdeki bulanık sayılarla ilgili en küçük ve en büyük x değerlerini içermesi gerektiğini düşünmüştür ve $M_1, \dots, M_m$ gibi bulanık sayılar için BEB'i aşağıdaki gibi tanımlamıştır.

$$\mu_{beb}(x) = \left[\frac{x - x_{enk}}{x_{enb} - x_{enk}} \right]^k, \quad k > 0, \quad x_{enk} \leq x \leq x_{enb} \quad (5.40)$$

burada k, karar vericinin riske karşı tutumunu gösteren bir tam sayı ve x_{enb} ve x_{enk} M_i 'nin tanımı denklem (5.38)'de verilen destek kümesinin, $S(M_i)$, en büyük ve en küçük değerleridir. Aşağıda tanımları verilmiştir:

$$x_{enb} = \sup_{i=1}^n [\bigvee S(M_i)] \quad (5.41)$$

$$x_{enk} = \inf_{i=1}^n [\bigvee S(M_i)] \quad (5.42)$$

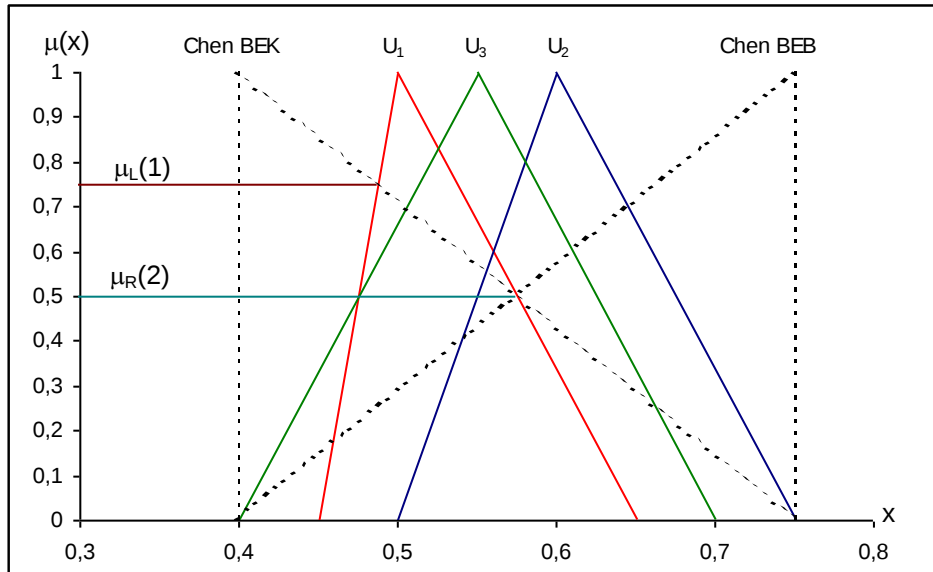
İkinci olarak bulanık sayının sol tarafındaki bilgiyi sıralama işlemine katmak için BEK tanımlanmıştır:

$$\mu_{bek}(x) = \left[\frac{x - x_{enk}}{x_{enb} - x_{enk}} \right]^k, \quad x_{enk} \leq x \leq x_{enb} \quad (5.43)$$

k, x_{enb} ve x_{enk} denklem (5.40)'da tanımlandığı gibidir. Şekil 5.16'de Chen'in tanımladığı BEB ve BEK gösterilmiştir. Her M_i bulanık sayısı ile ilgili 2 puan söz konusudur: sağ puan, $\mu_R(i)$, ve sol puan, $\mu_L(i)$. Bunlar şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\mu_R(i) = \sup_x [\mu_{bek}(x) \wedge \mu_{M_i}(x)] \quad (5.44)$$

$$\mu_L(i) = \sup_x [\mu_{beb}(x) \wedge \mu_{M_i}(x)] \quad (5.45)$$



Şekil 5.16 Örnekteki bulanık sayıların Chen BEK ve BEB'e göre sağ sol puanlar

M_i sürekli, konveks ve normal bulanık sayı olduğunda $\mu_R(i)$, $\mu_{M_i}(x)$ 'nin artmayan kısmı ile $\mu_{beb}(x)$ 'nin kesişiminin, $\mu_L(i)$ ise $\mu_{M_i}(x)$ 'nin azalmayan kısmı ile $\mu_{bek}(x)$ 'in kesişiminin alınmasıyla bulunabilir.

$\mu_R(i)$ ve $\mu_L(i)$ birlikte M_i içerisindeki bilginin tam olarak kullanıldığını garanti ederler. Yüksek $\mu_R(i)$ ve düşük $\mu_L(i)$ değerleri daha iyi bulanık sayıları belirttikleri için M_i 'nin toplam puanı aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\mu_T(i) = [\mu_R(i) + 1 - \mu_L(i)] / 2. \quad (5.46)$$

Böylece tüm karşılaştırılacak bulanık sayılar için bir belirgin puan elde edilebilir ve belirlenen toplam puan sıralamada kullanılabilir.

Bazı durumlarda Chen yaklaşımı ayırt etme yetisini kaybedebilir. Ayrıca verilen formüller normal bulanık sayılar için geçerlidir. Yöntemin ayırt etme yetisini kaybettiği durumlar ve normal olmayan bulanık sayılar için geliştirdiği formüller Chen ve Hwang [3]'da bulunabilir.

Sayısal Örnek

Chen yaklaşımı *Örnek 5.1*'e uygulanacaktır. İlk önce x_{enb} ve x_{enk} tespit edilir. $U_1 = (0,45; 0,50; 0,65)$, $U_2 = (0,50; 0,60; 0,75)$ ve $U_3 = (0,40; 0,55; 0,70)$ olduğu için $x_{enb} = 0,75$ ve $x_{enk} = 0,40$ olarak bulunur. Denklemler (5.40) ve (5.43) kullanılarak ($k=1$ kabul edilmiştir);

$$\mu_{beb}(x) = \left[\frac{x - x_{enk}}{x_{enb} - x_{enk}} \right]^k = \left[\frac{x - 0,40}{0,75 - 0,40} \right]^1 = (x - 0,40) / 0,35 \quad ; 0,4 \leq x \leq 0,75$$

$$\mu_{bek}(x) = \left[\frac{x - x_{enb}}{x_{enk} - x_{enb}} \right]^k = \left[\frac{x - 0,75}{0,40 - 0,75} \right]^1 = (0,75 - x) / 0,35 \quad ; 0,4 \leq x \leq 0,75$$

olarak elde edilir. Şekil 5.16'de bulunan değerler ve U_1 'in sağ ve sol puanları grafik üzerinde gösterilmiştir.

Denklem (5.1)'deki U_1 'in üyelik derecesi kullanılırsa; üyelik derecesi fonksiyonunun sol bacağı ile $\mu_{enk}(x)$ 'in kesişimi alınarak $\mu_{so}(1) = 0,75$ olarak bulunur. Üyelik derecesi fonksiyonunun sağ bacağı ile $\mu_{enb}(x)$ 'in kesişimi alınarak $\mu_{sa}(1) = 0,5$ bulunur. Son olarak da U_1 'in toplam puanını denklem (5.46) kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur:

$$\mu_T(1) = [\mu_{sa}(1) + 1 - \mu_{so}(1)] / 2 = [0,5 + 1 - 0,75] / 2 = 0,375.$$

Benzer hesaplamalarla tüm $\mu_T(i)$ 'ler hesaplanmıştır:

i	$\mu_{sa}(i)$	$\mu_{so}(i)$	$\mu_T(i)$
1	0,5	0,75	0,375
2	0,7	0,56	0,57
3	0,6	0,7	0,45

$\mu_T(i)$ 'ler karşılaştırılarak $U_2 > U_3 > U_1$ olduğu söylenebilir.

5.2.4.3 Chen ve Hwang Yaklaşımı

Chen ve Hwang, Jain yönteminin sezgiye aykırı sonuçlar verebileceğini ve Chen yönteminin de bulanık sayıların mutlak yerlerini dikkate almadığını bulmuştur. Bu sorunları gidermek için Chen ve Hwang BEB ve BEK'yı karşılaştırılan bulanık kümelerden bağımsız olarak aşağıdaki gibi yeniden tanımlamışlardır [3]:

$$\mu_{beb}(x) = \begin{cases} x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{diger} \end{cases} \quad (5.47)$$

$$\mu_{bek}(x) = \begin{cases} 1-x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{diger} \end{cases} \quad (5.48)$$

Chen ve Hwang'ın BEB'i bölüm 5.2.2.1 anlatılan Yager'in BEB'i ile (denklem (5.21)) ile aynıdır. Tanımlanan BEB ve BEK sayesinde bulanık sayıların mutlak yerleri karşılaştırma işlemine sokulmuştur. BEB ve BEK farklı tanımlandıktan sonra yöntem Chen yaklaşımıyla (Bölüm 5.2.4.2) aynıdır. Yani BEB ve BEK kullanılarak sağ sol puanlar elde edilir (Denklemler (5.44) ve (5.45)). Daha sonra da bu sağ sol puanlar kullanılarak denklem (5.46)'ya göre toplam puan hesaplanır. Sıralama toplam puana göre yapılır.

Sayısal Örnek

Chen ve Hwang yaklaşımı *Örnek 5.1*'e uygulanmıştır. Denklemler (5.44), (5.45) ve (5.46) kullanarak $\mu_T(U_1)$ aşağıdaki gibi hesaplanır:

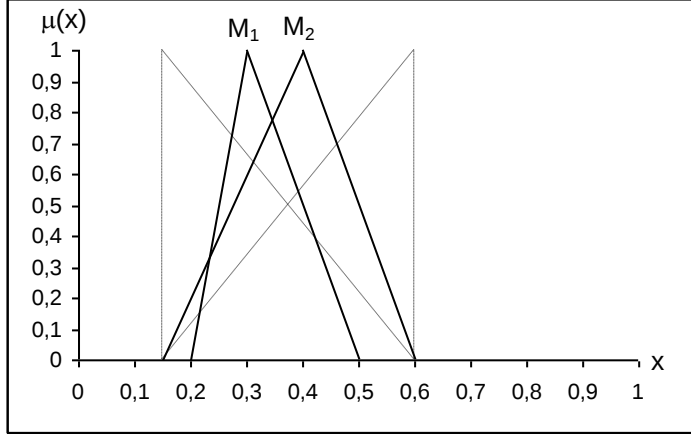
$$\mu_R(U_1) = \sup_x [\mu_{beb}(x) \wedge \mu_{U_1}(x)] = 0,565$$

$$\mu_L(U_1) = \sup_x [\mu_{bek}(x) \wedge \mu_{U_1}(x)] = 0,524$$

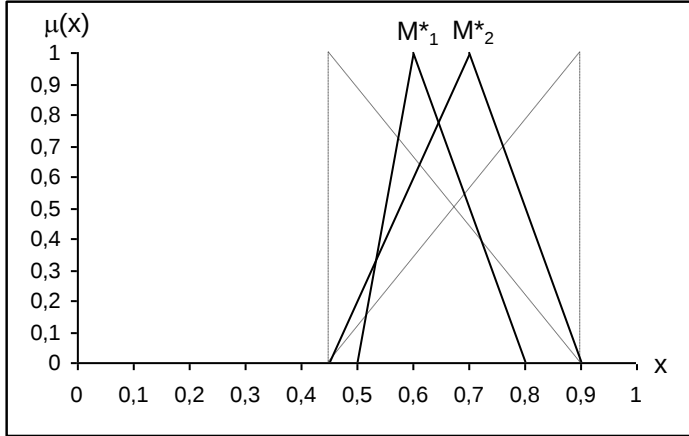
$$\mu_T(i) = [\mu_{sa}(i) + 1 - \mu_{so}(i)] / 2 = (0,565 + 1 - 0,524) / 2 = 0,521.$$

Diğer bulanık kümeler için de benzer hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar verilmiştir:

değerlerine göre tanımlandığı için karşılaştırılan bulanık sayıların mutlak yerleri göz ardı edilmiş olur. Örneğin Şekil 5.18’da verilen M_1 , M_2 , M^*_1 ve M^*_2 bulanık sayıları ikili olarak (birinci kısım kendi içinde ve ikinci kısım kendi içinde) karşılaştırıldıklarında $M_1 = M^*_1$ ve $M_2 = M^*_2$ çıkacaktır. M_1 ve M^*_1 birbirinden farklı bulanık sayılar oldukları için belirgin puanlarının aynı olması mantığa aykırıdır. Bu yüzden Chen yöntemi sadece verilen bulanık sayıları karşılaştırmak için uygun olabilir. Elde edilen puanlar başka sıralama işlemlerinde kullanılamaz.



Şekil 5.18(a) Chen yaklaşımının yanlış sonuç örneği – birinci kısım



Şekil 5.18(b) Chen yaklaşımının yanlış sonuç örneği – ikinci kısım

Chen ve Hwang yaklaşımında Chen yaklaşımının bulanık sayıların mutlak yerlerini ihmal ettiği ortaya koyularak karşılaştırılan her bulanık sayı için değişmeyen sabit BEB ve BEK'ler tanımlanmıştır. Böylece bulanık sayılar için farklı sıralama işlemlerinde değişmeyecek belirgin puanlar hesaplanmıştır

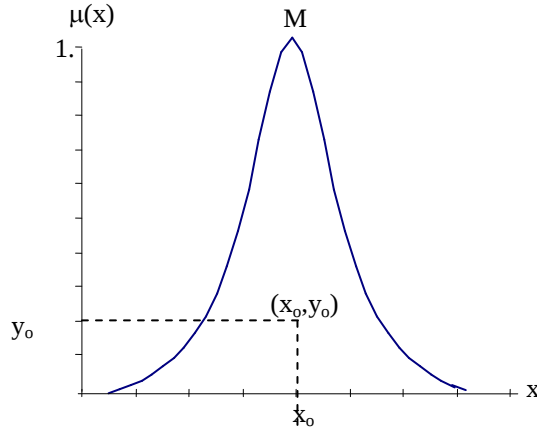
Aşağıda Örnek 4.1'deki bulanık sayıların üç yaklaşımdan elde edilen puanları verilmiştir.

	i	1	2	3
Jain	$\mu_o(i)$	0,72	0,83	0,78
Chen	$\mu_T(i)$	0,375	0,57	0,45
Chen ve Hwang	$\mu_T(i)$	0,521	0,599	0,543

Tüm yaklaşımlara göre aynı sıralama sonucu elde edilmiştir: $U_2 > U_3 > U_1$. Jain’de elde edilen puanlar sadece sağ puanları içerdikleri için diğerlerinden elde edilen puanlardan yüksektir. Chen’den elde edilen puanlar mutlak değerler olmadıkları için sadece bu karşılaştırma sürecinde geçerli olacaktır. Chen ve Hwang’tan elde edilen sonuçlar mutlak puanlardır. Yani U_1 bulanık kümesi her durumda 0,521 belirgin puanı ile temsil edilebilir.

5.2.5 Merkezi Gösterge Kullanarak Sıralama

Bu kategoriye giren yöntemler bulanık sayının geometrik merkezini bulur. Her geometrik merkez yatay eksendeki x değeri ve düşey eksendeki y değeri ile ifade edilir [3]. Şekil 5.19’de M bulanık sayısının merkez noktası ve merkezin koordinatları (x_o, y_o) gösterilmiştir. Bulanık sayıların sıralaması yalnız x_o değeriyle (Yager yaklaşımı) veya her iki x_o ve y_o değerlerini kullanarak (Murakami, Maeda ve Imamura yaklaşımı) olabilir. Her iki yöntemde ayrıntılı olarak incelenecektir.



Şekil 5.19 M bulanık sayısının merkez noktası [3]s.252

5.2.5.1 Yager Merkezi Göstergesi

Yager aşağıdaki sıralama göstergesini tanımlamıştır [3]:

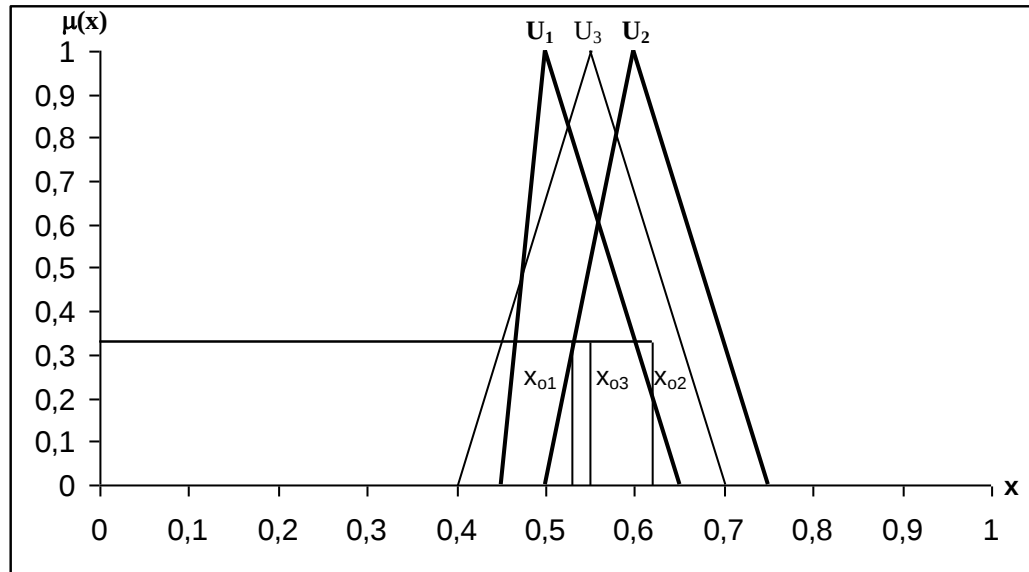
$$x_o = \frac{\int_0^1 g(x) \mu_{M_i}(x) dx}{\int_0^1 \mu_{M_i}(x) dx} \quad (5.49)$$

Denklem (5.49)'da $g(x)$ x değerinin önemini ölçen ağırlık fonksiyonu olarak alınmıştır. Paydadaki değer ise μ_{M_i} üyelik fonksiyonu altında kalan alan olup bir normalizasyon etkenidir. $g(x)=x$ (doğrusal ağırlık) olduğunda denklem (5.49) geometrik merkezin x_0 'ını verir. x_0 M_i bulanık sayısının ağırlıklı ortalama değeri olarak görülebilir. Yüksek x_0 değerine sahip bulanık sayı daha iyi olarak kabul edilir. Yager'in x_0 göstergesi bir bulanık sayı için genel bir ortalama değer verir. Bu yüzden x_0 değeri yalnız başına pek ayırt edici bir özellik taşımaz.

Sayısal Örnek

Yager merkezi göstergesi Örnek 5.1'e uygulanmıştır. U_1 bulanık sayısı aşağıdaki üyelik fonksiyonu ile gösterilebilir:

$$\mu_{U_1} = \begin{cases} \frac{x-0,45}{0,05} & 0,45 \leq x \leq 0,5 \\ \frac{0,65-x}{0,15} & 0,50 \leq x \leq 0,65 \end{cases}$$



Şekil 5.20 Örnekteki bulanık sayıların x_0 değerleri

x_{01} 'ın merkezi göstergesi, denklem (5.49)'da $g(x) = x$ alınarak şöyle hesaplanır:

$$x_{01} = \frac{\int_0^1 x \mu_{U_1}(x) dx}{\int_0^1 \mu_{U_1}(x) dx} = \frac{\int_{0,45}^{0,5} (x * \frac{x-0,45}{0,05}) dx + \int_{0,5}^{0,65} (x * \frac{0,65-x}{0,15}) dx}{\int_{0,45}^{0,5} \frac{x-0,45}{0,05} dx + \int_{0,5}^{0,65} \frac{0,65-x}{0,15} dx} = \frac{0,012 + 0,041}{0,1} = 0,53.$$

Diğerleri için de benzer işlemlerle $x_{02} = 0,62$ ve $x_{03} = 0,55$ olarak bulunur. Şekil 5.20’de örnekteki bulanık sayılarının Yager merkezi göstergeleri gösterilmiştir. Sonuç olarak sıralama $U_2 > U_3 > U_1$ şeklinde elde edilir.

5.2.5.2 Murakami vd. Yaklaşımı

Murakami vd. her bir bulanık sayı için geometrik merkezi (x_o, y_o) bulmak üzere bir sıralama yöntemi önermiştir. Bulanık sayıların sıralaması her iki x_o ve y_o değerini kullanarak yapılır. Yüksek x_o , ve/veya y_o değerleri tercih edilecek bulanık sayıları belirler [3]. Murakami vd. merkez noktasını (x_o, y_o) aşağıdaki gibi tanımlamıştır:

$$x_o = \frac{\int_0^1 x \mu_M(x) dx}{\int_0^1 \mu_M(x) dx} \quad (5.50)$$

$$y_o = \frac{\int_0^1 x \mu_M(x) d\mu_M(x)}{\int_0^1 \mu_M(x) dx} \quad (5.51)$$

Her iki denklemde paydadaki değerler $\mu_M(x)$ üyelik fonksiyonu altında kalan alan olup bir normalizasyon etkenidir. Yönteme göre en iyi seçim herhangi bir ekseninde en büyük değere sahip bulanık sayıdır. Örneğin $M_1, \dots, M_n$ gibi n bulanık sayı olduğunda M_k ’nın en iyi olabilmesi için $x_{ok} = \text{enb}_i[x_{oi}]$ veya $y_{ok} = \text{enb}_i[y_{oi}]$ olmalıdır. Buradan çıkan sonuç bazen en iyi seçimin tek olmayacağıdır. Örneğin M_k en büyük x_{oi} , M_l de en büyük y_{oi} değerine sahip olabilir. Bu durumda en iyinin M_k veya M_l olacağı açık değildir. Bu soruna çözüm öneren Murakami vd., karar vericinin öznel bir seçim yaparak hangi göstergenin daha önemli olduğunu belirlemesi gerektiğini söylemişlerdir. Böylece karar vericinin belirlediği göstergeye yüksek değer alan bulanık sayı en iyi olarak seçilecektir.

Sayısal Örnek

Murakami vd. yaklaşımı *Örnek 5.1* üzerinde incelenmiştir. Yönteme göre sıralama için sıralanacak her bulanık sayı için geometrik merkezin (x_o, y_o) bulunması gerekir. Örnekteki bulanık sayıların x_o değerleri denklem (5.50)’e göre hesaplanır. Dikkat edilirse Yager merkezi göstergesi x_o ’ın denkleminde (denklem (5.49)) $g(x) = x$

alınırsa denklem(5.50) elde edilir. Yager merkezi göstergesinin örneğinde $g(x) = x$ varsayıldığı için örnekteki bulanık sayıların x_0 değerleri Yager merkezi göstergesi ile aynı sonucu verir. y_0 'lar ise tüm üçgen bulanık sayılar oldukları için $1/3$ 'e eşittir. Bunun nedeni üçgenlerin ağırlık merkezinin her zaman üçgenin yüksekliğinin üçte birinde olmasıdır. Öyleyse örnekteki bulanık sayılar için aşağıdaki değerler elde edilir:

i	1	2	3
x_{oi}	0,53	0,62	0,55
y_{oi}	0,33	0,33	0,33

Sonuç olarak y_0 değerleri hepsinde aynı olduğu için x_0 değerlerine göre sıralama yapılır ve $U_2 > U_3 > U_1$ olur.

5.2.5.3 Merkezi Gösterge Kullanan Yaklaşımların Değerlendirmesi

Merkezi gösterge kullanan yöntemler bulanık kümelerin bir çeşit ağırlık merkezlerini bularak, ağırlık merkezlerinin koordinat değerlerini bulanık sayıların belirgin puanları olarak oluştururlar. Murakami yaklaşımında doğrudan ağırlık merkezi kullanılır. Yager yaklaşımında ise kümenin elemanlarının (x 'ler) ağırlıkları bir fonksiyon ($g(x)$) ile ifade edilebilir. $g(x)=x$ alınırsa bulanık kümenin ağırlık merkezi elde edilir.

Murakami yöntemini üçgen bulanık sayılarda kullanmak pek kullanışlı değildir, çünkü tüm üçgen bulanık sayıların y_0 göstergesi ağırlık merkezlerinden dolayı $1/3$ 'e eşittir. Yani sıralama Yager yaklaşımında olduğu gibi x_0 göstergesine göre yapılır. Ayrıca Murakami yaklaşımında x_0 ve y_0 'a göre sıralama farklı olursa hangi sıralamanın seçilmesi gerektiği çok açık belirtilmemiştir.

5.2.6 Alan Hesaplaması Kullanarak Sıralama

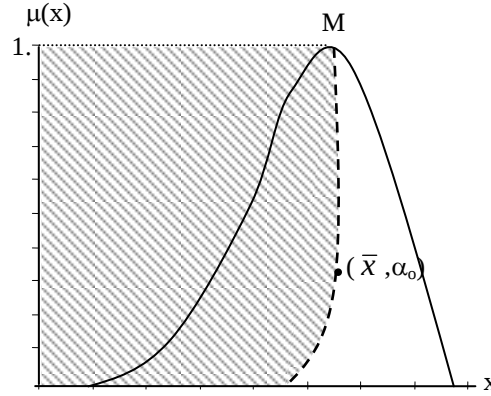
5.2.6.1 Yager Yaklaşımı

Yager bulanık kümeleri sıralamak için üyelik fonksiyonun ortası ile 0 belirgin sayısı arasında kalan alanı hesaplayan bir sıralama göstergesi, F , önermiştir. Şekil 5.21'de M bulanık sayısı ve μ_M üyelik fonksiyonu gösterilmiştir. F sıralama göstergesi kesikli çizgiler ve dikey eksen arasındaki taralı alanı hesaplar. Kesikli çizgi üzerindeki $(\bar{x}, \alpha_0)$ noktası x eksenindeki en az α_0 üyelik değerine sahip elemanların ortalama değerini temsil etmektedir. Kesikli çizgi çeşitli α seviyelerindeki x elemanlarının tüm ortalama değerlerini temsil etmektedir. Yüksek gösterge değerine sahip bulanık kümeler tercih edilen olarak kabul edilir [3].

M bulanık sayısı için Yager göstergesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

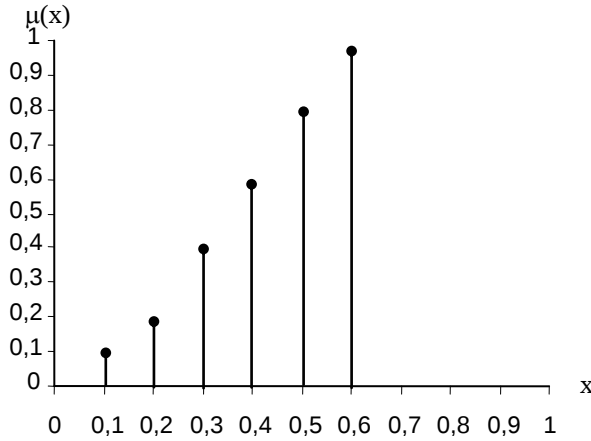
$$F(M) = \int_0^{\alpha_{enb}} \bar{x}(M_\alpha) d\alpha \quad (5.52)$$

burada $\alpha_{enb} = \sup_x \mu_M(x)$ ve $\bar{x}(M_\alpha)$ en az α üyelik derecesine sahip elemanların değerlerinin ortalamalarını temsil etmektedir.



Şekil 5.21 Yager F göstergesinin gösterimi

Örnek olarak Şekil 5.22'daki M kesikli bulanık sayısı için F(M) hesaplanmıştır.



Şekil 5.22 Kesikli M bulanık sayısı [3]s.260

Çeşitli α düzeyleri için en az α üyelik derecesine sahip elemanların kümesi, M_α , aşağıdaki gibi oluşturulur::

$$\begin{aligned} M_\alpha &= \{ 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 \} & 0 < \alpha \leq 0,2 \\ M_\alpha &= \{ 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 \} & 0,2 < \alpha \leq 0,4 \\ M_\alpha &= \{ 0,4; 0,5; 0,6 \} & 0,4 < \alpha \leq 0,6 \\ M_\alpha &= \{ 0,5; 0,6 \} & 0,6 < \alpha \leq 0,8 \end{aligned}$$

$$M_\alpha = \{ 0,6 \}$$

$$0,8 < \alpha \leq 1,0$$

Belirlenen M_α 'ların elemanlarının ortalaması, $\bar{x}(M_\alpha)$, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\bar{x}(M_\alpha) = 2,1 / 6 = 0,35$$

$$0 < \alpha \leq 0,2$$

$$\bar{x}(M_\alpha) = 1,8 / 4 = 0,45$$

$$0,2 < \alpha \leq 0,4$$

$$\bar{x}(M_\alpha) = 1,5 / 3 = 0,50$$

$$0,4 < \alpha \leq 0,6$$

$$\bar{x}(M_\alpha) = 1,1 / 2 = 0,55$$

$$0,6 < \alpha \leq 0,8$$

$$\bar{x}(M_\alpha) = 0,6 / 1 = 0,60$$

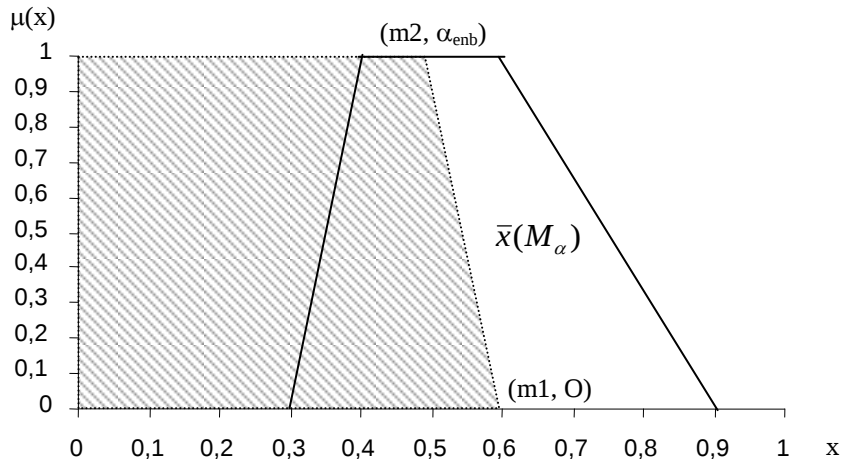
$$0,8 < \alpha \leq 1,0$$

Son olarak $F(x)$ hesaplanır:

$$F(M) = \int_0^1 \bar{x}(M_\alpha) d\alpha = \int_0^{0,2} 0,35 d\alpha + \int_{0,2}^{0,4} 0,45 d\alpha + \int_{0,4}^{0,6} 0,50 d\alpha + \int_{0,6}^{0,8} 0,55 d\alpha + \int_{0,8}^1 0,60 d\alpha$$

$$= 0,35 \cdot 0,20 + 0,45 \cdot 0,20 + \dots + 0,60 \cdot 0,20 = 0,49.$$

M bulanık sayısı Şekil 5.23'deki gibi parçalı doğrusal olursa; $\bar{x}(M_\alpha)$ kolayca $(m_1, 0)$ ve (m_2, α_{enb}) noktalarından geçen doğru olarak hesaplanabilir.



Şekil 5.23 Sürrekli M bulanık sayısı

$\bar{x}(M_\alpha)$ α -kesim kullanarak da hesaplanabilir. Şöyle ki; M_α 'nın α düzey kümesi $M_\alpha = [m_1, m_2]$ şeklinde tanımlanırsa; $\bar{x}(M_\alpha) = (m_1 + m_2) / 2$ olarak hesaplanır.

Örnek olarak Şekil 5.23'deki M bulanık kümesinin F göstergesi α -kesim kullanarak hesaplanmıştır. Önce M üyelik fonksiyonu ifade edilir:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} x-3, & 3 \leq x \leq 4 \\ 1, & 4 < x \leq 6 \\ \frac{9-x}{3}, & 6 < x \leq 9 \end{cases}$$

M bulanık sayısının α -kesimi $M_\alpha = [\alpha+3, 9-3\alpha]$ olarak gösterilebilir. ve

$$\bar{x}(M_\alpha) = [\alpha+3+9-3\alpha] / 2 = -\alpha+6$$

olur. Son olarak denklem (5.52)'de bulunan değer konursa

$$F(M) = \int_0^{\alpha_{emb}} \bar{x}(M_\alpha) d\alpha = 5,5$$

olarak elde edilir. Şekil 5.23'de taralı alan geometrik işlemlerle hesaplandığında da aynı sonuca ulaşılabilir.

Sayısal Örnek

Örnek 5.1'deki bulanık sayılar için Yager F sıralama göstergesi hesaplanmıştır. U_1 için α -kesim ve ilgili $\bar{x}(U_{1\alpha})$ aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$U_{1\alpha} = [0,05\alpha+0,45 ; 0,65-0,15\alpha]$$

$$\bar{x}(U_{1\alpha}) = -0,05\alpha + 0,55$$

buradan,

$$F(U_1) = \int_0^1 \bar{x}(U_{1\alpha}) d\alpha = \int_0^1 (-0,05\alpha + 0,55) d\alpha = 0,525$$

olarak bulunur. Benzer şekilde $i=2,3$ için $F(U_i)$ değerleri hesaplanırsa aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

i	1	2	3
$F(U_i)$	0,525	0,613	0,55

Bu değerlere göre yüksek $F(U_i)$ değerli olan daha iyi kabul edildiğinden, sıralama $U_2 > U_3 > U_1$ şeklinde olur.

M normal yamuk bulanık sayı olduğunda $F(M)$ değerinin

$$F(M) = (m_1 + m_2) \quad (5.53)$$

şeklinde elde edilebilir. Burada m_1 M'nin destek kümesinin m_2 ise $\alpha=1$ 'i sağlayan x değerinin ortalamasıdır.

5.2.7 Sözel Sıralama Yöntemleri

Birçok bilimadaminin matematiksel sıralama işlemleri için ortak eleştirisi bu yöntemlerin her bulanık küme için bir gerçel sayı hesaplayarak problemi netleştirme çalışmaları yani bulanık kümeleri kesin bir ölçeğe çevirmeleri olmuştur. Fakat netleştirme bulanık kümenin içerdiği birçok bilgiyi yok saydığı için sezgiye aykırı sonuçlar verebilir. Böylece bu sorundan en az etkilenmek için sözel sıralama yöntemleri geliştirilmiştir. Yöntemin arkasındaki temel fikir, öznel veriler sözel olarak verildiği için çıktıların da sözlü yapıda olması gerektiği böylece de orijinal bilginin doğru sonuçlar elde etmek için daha iyi kullanılacağıdır [3].

İlk Zadeh benzer bir fikri tanıtmıştır. Freeling bu fikrin bulanık sıralama için en uygun yaklaşım olduğunu belirtmiştir. Sonra da sözel sıralamanın gerçekleştirilebileceği iki yol önermiştir. Birinci yolun ortaya koyduğu yapı şu şekildedir: M ve N gibi iki bulanık kümenin karşılaştırılmasında “M, N’den iyidir” gibi bir tercih ilişkisinin sözel dereceleme sıfatlarıyla (“çok”, “aşağı yukarı”, “neredeyse” vb.) birleştirilerek karşılaştırma sonuçları için çeşitli sözel ifadeler oluşturmak. İkinci yol ise “(M, N’ye tercih edilir” τ ’dir” şeklindeki karar cümlesini oluşturmak için sözel tahmin kullanır. Burada τ “çok doğru”, “aşağı yukarı doğru” gibi sözel doğruluk değeridir. Fakat bu önerilen kavramların çalışan bir algorithma uygulanması bu kavramları ortaya koyanlar tarafından gerçekleştirilememiştir [3].

Bahsedilen fikirleri benimseyip fikirlerin uygulamaya döken bir algoritma geliştiren Efstathiou ve Tong’un yaklaşımları sözel sıralama yöntemlerine örnek olması için çalışmada incelenmiştir.

5.2.7.1 Efstathiou ve Tong Yaklaşımı

Efstathiou ve Tong matematiksel olarak belirtilen ilişkilerin, tercih sıralamasında kesin olmama esasını kaçırdıklarını ortaya koymuşlardır. Bu yüzden seçeneklerin bulanık son puanlarının sıralamasına sözel bir yaklaşım öngörmüşlerdir. Bu yaklaşımda alternatifleri sıralamak için bulanık tercih ilişkisi özelliklerini koruyan, girdilerini etkileşimli bir algoritma kullanarak karar vericiden alan bir sözel tercih ilişkisi tanımlanır ve sıralama bu sözel tercih ilişkisi üzerinde yapılır [3].

Efstathiou ve Tong'un önerdikleri yöntemin arkasındaki fikir şudur: Karar vericinin riske karşı tutumu seçim yapmakta önemli bir rol oynadığı için karar verici sıralama sürecinde yer almalıdır. Bu soru cevap düzenindeki etkileşimli karar yardımı ile yapılır. Karar vericiden iki bulanık son değerden tercih ettiğini açıklaması istenir. Etkileşimli karar yardımı tüm alternatif çiftleri için kullanılır ve bir bulanık ilişkiler matrisi oluşturulur. Sonra bu bulanık ilişkinin bulanık tercih bağıntısı olup olmadığı kontrol edilir. Eğer öyleyse alternatifler arasında doğrusal bir sıra belirlenebilir. Diğer durumda eğer doğrusal bir sıralama isteniyorsa bulanık ilişki yeniden oluşturulmalıdır.

Sözel Tercih Bağıntısı

X nesneleri kümesindeki L sözel tercih bağıntısı, bir elemanın diğerine tercih durumu $[0,1]$ arasındaki bir reel sayı yerine sözel olarak ifade edildiği bir bulanık bağıntıdır. Örneğin M ve N gibi bulanık sayılar için karar verici M'nin N'den biraz iyi olduğunu düşünüyorsa sözel tercih bağıntısı $L(M,N) = \text{"biraz"}$ elde edilir. L bağıntısı aşağıdaki özellikleri korur:

- (1) Antirefleksiv: x nesnesinde bir bulanık bağıntı antirefleksiv olması için $\mu_R(x,x), \forall x$ olmalıdır. Bu M bulanık sayısı için $L(M,M) = \text{"tercik yok"}$ anlamına gelir.
- (2) Antisimetrik: x ve y nesnelerinde bir bulanık bağıntı antisimetrik olması için $\mu_R(x,y) > 0$ ve $\mu_R(y,x) > 0$ ise $x = y$ olmalıdır. Bu M ve N bulanık sayıları için $L(M,N) \neq \text{"tercik yok"}$ ise $L(N,M) = \text{"tercik yok"}$ a eşittir anlamına gelir.
- (3) Transitif: x, y ve z nesnelerinde bir bulanık bağıntı transitif olması için

$$\mu_R(x, z) \geq \inf_y (\mu_R(x, y), \mu_R(y, z)) \quad (5.54)$$

olmalıdır.

Bu K, M ve N bulanık sayıları için eğer $M \geq N$ ve $N \geq K$ ise M'nin K üzerinde tercih edilme gücü en az; M'nin N üzerinde ve N'nin K üzerinde tercih edilme güçlerinin en büyüğü kadar olması anlamına gelir.

K, M ve N bulanık sayıları için bu özellikler şunları sağlar: (a) M'nin M üzerinde tercihi yoktur (b) eğer M N'ye tercih ediliyorsa N M'ye tercih edilemez ve (c) M N'ye tercih ediliyor ve N de K'ya tercih ediliyorsa M K'ya tercih edilir.

L sözel tercih bağıntısının elde edilmesi karar vericinin tercihlerini belirlemekle eşdeğerdir. L bağıntısı bulanık son değerlerin ikili olarak karar vericiye sorulması ile oluşturulur. Sorulan sorular aşağıdaki beş faktörü çevreleyen sorular olmalıdır:

- (1) Destek kümelerinin üst üste bindirilmesi
- (2) Tepe değerlerinin ayrılması
- (3) Daha iyi ve daha kötü çıktılar arası değiş tokuş
- (4) Eşik değerlerine yakınlık
- (5) Bulanık kümelerin göreceli yüksekliği

Yukarıdan aşağıya faktörlerin ayırt etme özellikleri düşer. İlk soruların daha ayırt edici olması için kümelerin üst üste binip binmediğiyle ilgili olması gerekir. Eğer hiçbir küme birbirinin üstüne binmiyorsa kesin bir sıralama hemen gerçekleştirilebilir. Aksi durumda kümelerin tepe değerleri dikkate alınmalıdır ve süreç bu şekilde faktörler üzerinden yukarıdan aşağıya doğru yürütülmelidir. Faktörler teker teker kullanılmalıdır.

Algoritma

$M_1, \dots, M_m$ bulanık sayıları için algoritmanın ana adımları aşağıda açıklanmıştır.

Adım1 Karar verici için gerekli olan çeşitli tercih dereceleri kapsayan terimler kümesi tanımlanır. Örneğin {kesin, biraz, çok fazla, tercih yok ...} gibi bir terimler kümesi olabilir. Her probleme ve/veya karar vericiye göre terimler kümesi değişebilir.

Adım2 Karar vericiye her bulanık küme çifti için tercihinin belirtmesi istenir. Bu m adet bulanık sayı için L, ikili tercih matrisi olarak sonuçlanır.

$$L = \begin{matrix} & \begin{matrix} M_1 & \dots & M_i & \dots & M_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} M_1 \\ \vdots \\ M_i \\ \vdots \\ M_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1i} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & & & & \\ r_{i1} & \dots & r_{ii} & \dots & r_{im} \\ \vdots & & & & \\ r_{m1} & \dots & r_{mi} & \dots & r_{mm} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Burada r_{ij} , $\forall i, j$ sözel tercih ilişkileridir. $r_{ii} = \text{“tercih yok”}$, $\forall i$ olmalıdır. Eğer $r_{ij} = \text{“tercih yok”}$ tan başka bir tercih terimi ise $r_{ji} = \text{“tercih yok”}$ olur.

Adım3 M_i 'ler arasında doğrusal bir sıra olması için L matrisi aşağıdaki özellikleri taşımalıdır:

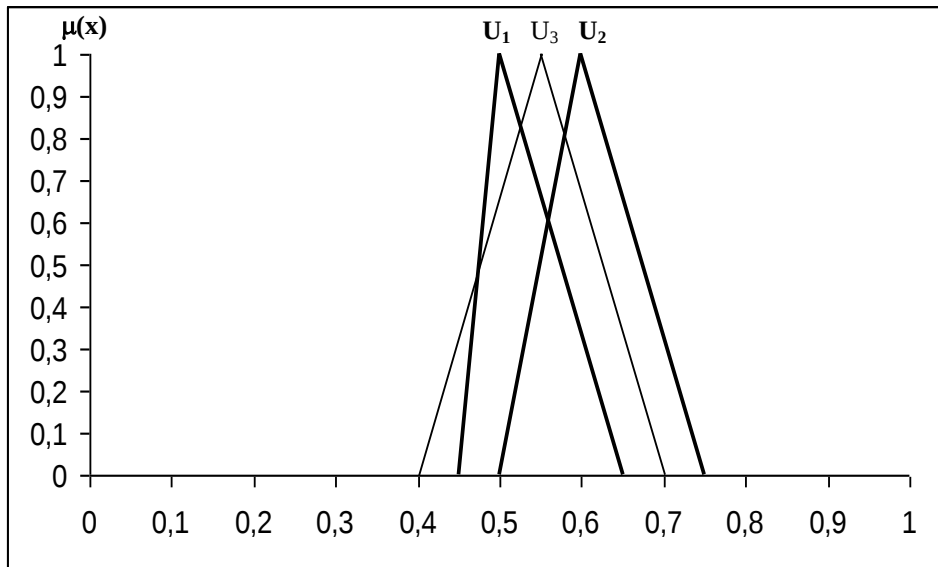
- (1) Antirefleksiv: $L(M_i, M_i) = \text{"tercih yok"}$ olmasıdır. 2. adımda matrisi oluştururken $r_{ii} = \text{"tercih yok"}$, $\forall i$ olması dikkate alındığı için burada sorun çıkmaz.
- (2) Antisimetrik: Eğer $L(M_i, M_j)$ "tercih yok"tan başka bir değer aldıysa $L(M_j, M_i)$ 'nin "tercih yok" olmasıdır. Bu da 2. adımda matris oluşturulurken dikkate alınması gereken bir durum.
- (3) Transitif: bir sözel tercih bağıntısı transif olması için aşağıdaki özellikleri taşıması gerekir:

$$r_{ij} \geq (r \text{ or})_{ij} \quad (5.55)$$

burada

$$(r \text{ or})_{ij} = \text{enk}_k(r_{ik} + r_{kj}) \quad (5.56)$$

r_{ik} ve r_{kj} anlamları bulanık kümelerle ifade edilebilen sözel terimlerdir. Eğer L tüm üç özelliği de taşırsa M_i , $\forall i$ bulanık sayıları için doğrusal bir sıra elde edilir. Özellikler sağlanmıyorsa bulanık sayıların bir kısmı için sıralama gerçekleştirilebilir. Böyle bir durumda tam bir doğrusal sıralama isteniyorsa; tekrar karar vericiye dönülüp sürecin baştan yürütülmesi gerekir.

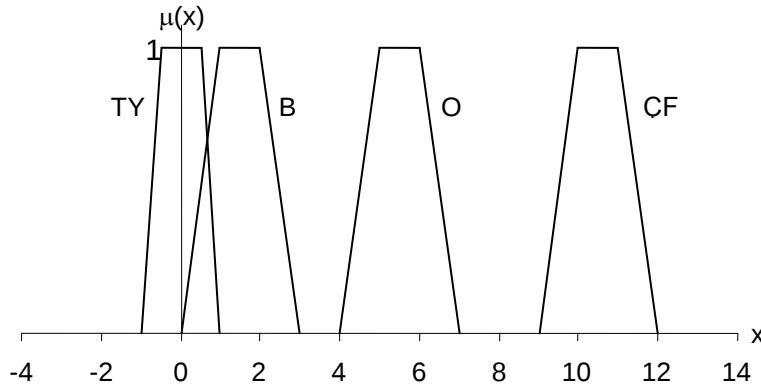


Şekil 5.24 Bulanık son değerler

Sayısal Örnek

A_1 , A_2 , A_3 alternatiflerinin bulanık toplu puanları *Örnek 5.1*'de verilen bulanık kümeler olsun. Bu yöntemde örnekteki bulanık kümelerin sayısal değerlerinden çok şekilleriyle ilgilenecektir. Şekil 5.24'de örnekteki bulanık sayılar tekrar verilmiştir.

Adım1 Karar verici için gerekli olan çeşitli tercih dereceleri kapsayan terimler kümesi şu şekilde tanımlanmış olsun: tercih yok (TY), Biraz (B), oldukça (O), çok fazla (ÇF). Bu sözel ifadelerin yorumları Şekil 5.25'te gösterilmiştir.



Şekil 5.25. Sözel terimlerin anlamları [3]s.270

Adım2 Karar vericiden bulanık kümeleri tanımlanan terimlerle karşılaştırması ve tercihini belirtmesi istenir. Bunun yapıldığını ve ikili tercih matrisinin aşağıdaki gibi oluşturulduğunu varsayalım:

$$L = \begin{matrix} & \begin{matrix} U_1 & U_2 & U_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} TY & TY & TY \\ O & TY & O \\ B & TY & TY \end{bmatrix} \end{matrix}$$

L matrisi algorithmada bahsedilen beş faktör dikkate alınarak oluşturulmuştur. L matrisinin elde edilme sürecini anlayabilmek için örnek olarak $L(U_2, U_3)$ 'ün oluşturulması incelenmiştir. Önce ilk faktör yani destek kümelerinin üstüste binmesine bakılmıştır; Şekil 5.24'e göre U_2 ve U_3 tamamıyla birbirlerinden ayrılmış değillerdir. İkinci olarak tepe noktalarına bakılacak olursa tepe noktaları birbirinden ayrı olduğu görülebilir. İyi ve kötü çıktı değiş-tokuşu analiz edildiğinde; U_3 'ün kötü çıktı ve orta derecede çıktı verme olasılıkları yaklaşık olarak aynıdır. U_2 'nin ise iyi çıktı verme olasılığı daha yüksektir. Sonuç olarak A_2 alternatifi A_3 'e oldukça tercih edilir ve $L(U_2, U_3)$ =“oldukça” denir

Adım3 Elde edilen L bağıntısının alternatiflerin doğrusal sıralanması için gerekli olan özellikleri taşıyıp taşımadığı kontrol edilmelidir.

Tüm $i = 1,2,3$ için $L(U_i, U_i) = \text{“tercih yok”}$ olduğu için L antirefleksivdir.

L antisimetriktir çünkü $L(U_i, U_j) \neq \text{“tercih yok”}$ olduğunda $L(U_j, U_i) = \text{“tercih yok”}$ tur.

Örneğin $L(U_2, U_3)=O$ iken $L(U_3, U_2)=TY$ 'dir.

L'nin transitifliğini kontrol etmek için denklem (5.56)'ya göre L bağıntısının kendisiyle oluşumu elde edilmelidir.

$$L^{\circ}L = \begin{bmatrix} TY+TY & TY+TY & TY+TY \\ O+TY & TY+TY & O+TY \\ B+TY & TY+TY & TY+TY \end{bmatrix}$$

Örnek olarak $(r \text{ or})_{21}$ hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} (r \text{ or})_{21} &= \text{enk}_k(r_{2k} + r_{k1}) = \text{enk}[(r_{21}+r_{11}), (r_{22}+r_{21}), (r_{23}+r_{31})] \\ &= \text{enk}[(O+TY), (TY+O), (O+B)] \\ &= (O+TY) \end{aligned}$$

Transitiflik için $r_{ij} \geq (r^{\circ}r)_{ij}$, $\forall i,j$ olmalıdır.

Sözel terimlerin birleştirilmesi tam olarak tanımlanmıştır. Yöntemde herhangi bir terime “TY” eklemenin o terimin anlamını değiştirmeyeceğini varsayılmıştır. Buna göre $L^{\circ}L$ aşağıdaki şekli alır:

$$L^{\circ}L = \begin{bmatrix} TY & TY & TY \\ O & TY & O \\ B & TY & TY \end{bmatrix}$$

$L^{\circ}L$ 'deki tüm elemanlar L'deki karşılık gelen elemana eşittir. Yani $r_{ij} = (r^{\circ}r)_{ij}$ 'dir. $\forall i,j$ için $r_{ij} \geq (r \text{ or})_{ij}$ sağlandığı için L bağıntısı transitiftir. Böylece L'nin gerekli tüm özellikleri taşıdığı ortaya koyulmuş olur ve doğrusal bir sıralama gerçekleştirilebilir. Sıralama şu şekildedir:

U_2 oldukça $>$ U_3 biraz $>$ U_1 .

Efstathiou ve Tong yöntemi çok kullanışlı bir yöntem değildir. Çünkü eğer karar vericinin kafasında karşılaştırılan sayılarla ilgili sözel tercih bağıntısı koşullarını (antirefleksif, antisimetrik ve transitif) sağlayan bir tercih varsa sıralama hiçbir işleme gerek kalmadan doğrudan yapılabilir.

5.2.8 Bulanık Sıralama Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Bölüm 5.2’de bulanık sıralama yöntemleri incelenmiştir. Genel olarak bakıldığında yöntemler biri dışında her bulanık sayı için bir veya iki belirgin puan atayarak sıralamayı gerçekleştirmeye çalışırlar. Elde edilen yüksek belirgin puanlar çoğu yaklaşımda daha iyi bulanık sayıyı işaret eder. Bazılarında ise düşük belirgin puan daha iyidir. Bazı yaklaşımlarda bir bulanık küme veya sayı için hesaplanan belirgin puan karşılaştırılan diğer bulanık kümelerden bağımsız olarak hesaplanır yani her bulanık sayı için değişmeyen sabit bir puan hesaplanır, bazı yöntemlerde ise belirgin puanlar karşılaştırılan diğer bulanık kümelerle bağlıdır. Tablo 5.3’te bahsedilen konularda yöntemlerin özellikleri ve Örnek 5.1’deki bulanık kümeler için elde edilmiş belirgin puanlar verilmiştir.

Tablo 5.3 Sıralama yöntemlerinin özellikleri ve sonuçları⁸

	Değişmeme ⁹	U ₁	U ₂	U ₃
En İyi Durum Derecesi Kullanarak Sıralama				
Baas ve Kwakernaak Yaklaşımı	Yok	0,6	1	0,8
Baldwin ve Guild Yaklaşımı	Yok	0,12	0,25	0,17
Hamming Uzaklığı Kullanarak Sıralama				
Yager Yaklaşımı *	Var	0,446	0,414	0,412
Kerre Yaklaşımı *	Yok	0,135	0	0,115
α-Kesim Kullanarak Sıralama				
Adamo Yaklaşımı ($\alpha=0,8$)	Var	0,53	0,63	0,58
Buckley ve Chanas Yaklaşımı ($\alpha=0,8$)**	Var	[0,49;0,53]	[0,58;0,63]	[0,52;0,58]
Mabuchi Yaklaşımı ***	Yok			
Sağ-Sol Puanlar Kullanarak Sıralama				
Jain Yaklaşımı	Yok	0,72	0,83	0,78
Chen Yaklaşımı	Yok	0,375	0,57	0,45
Chen ve Hwang Yaklaşımı	Var	0,521	0,599	0,543
Merkezi Gösterge Kullanarak Sıralama				
Yager Merkezi Göstergesi	Var	0,53	0,62	0,55
Murakami vd. Yaklaşımı (x_0)	Var	0,53	0,62	0,55
Murakami vd. Yaklaşımı (y_0)	Var	0,33	0,33	0,33
Alan Hesaplaması Kullanarak Sıralama				
Yager Yaklaşımı	Var	0,525	0,613	0,55
Sözel Sıralama Yöntemleri				
Efstathiou ve Tong Yaklaşımı ****	Yok			

Bulanık sayıları temsil eden belirgin puanların değişmez olmazı Chen ve Hwang [3]’ta iyi bir özellik olarak tanıtılmıştır. Bunun anlamı her bulanık sayının bir belirgin sayı ile gösterileceğidir. Burada bir çelişki ortaya çıkmaktadır. Eğer bulanık

⁸ İşaret konulmamış yaklaşımlarda yüksek puanlı bulanık kümeler daha iyidir. (*) işaretli olanlarda düşük puanlı bulanık kümeler daha iyidir. (**) işaretli Buckley yaklaşımında sıralama için iki gösterge birlikte kullanılır. (***) işaretli Mabuchi yaklaşımı Örnek 5.1’e uygulanmamıştır. (****) işaretli Efstathiou ve Tong Yaklaşımının sonuçları sayısal değil sözeldir.

⁹ Değişmeme; yöntemde bir bulanık sayı veya küme için hesaplanan puanın karşılaştırılan diğer küme veya sayılara göre değişmemesi durumunu göstermektedir.

kümeler belirgin sayılarla temsil edilecekse bulanık kümeler değil belirgin sayıların kullanılması daha uygun olur. ÇÖKV sürecinde elde edilen fayda değerleri bulanık sayılar olduğunda bunlara atanan belirgin puanlar sadece sıralama için kullanılacaksa; o zaman da belirgin puanların değişmez veya karşılaştırılan kümelere bağlı olması karar verme aşamasında hiçbir farklılığa neden olmaz. Sonuç olarak bulanık sayıları temsil eden belirgin puanların değişken veya sabit olması iyi veya kötü özellik olarak nitelendirilemez.

Yaklaşımların sonuçları incelendiğinde ikisi dışında hepsinde $U_2 > U_3 > U_1$ sıralaması elde edilmiştir. Hamming uzaklığı kullanan Yager yaklaşımında sıralama diğerlerinden farklı olarak $U_3 > U_2 > U_1$ şeklinde olurken Buckley ve Chanas yaklaşımında ise herhangi bir sıralama elde edilememiştir.

ÇÖKV'deki çoğu yaklaşımın alternatif puanların elde edilmesi ve elde edilen puanlara göre alternatifleri sıralama olmak üzere iki aşamadan oluştuğundan bahsedilmişti. Bölüm 5.2'de ikinci aşama olan alternatif puanlarının sıralaması için geliştirilen yöntemler incelenmiştir. Bir sonraki bölümde ilk aşama yani alternatiflerin tüm ölçütlerden elde edilen puanlarını toplayıp tek bir puan elde etme aşaması için kullanılan yöntemler incelenecektir.

5.3 Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri

ÇÖKV problemi aşağıdaki gibi modellenebilir:

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 & \dots & X_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.57)$$

$$\underline{w}^T = (w_1, w_2, \dots, w_n)$$

burada A_i , $i=1, \dots, m$ alternatifler; x_{ij} , $j=1, \dots, n$ alternatif performansının ölçüldüğü ölçütler; x_{ij} elemanı j . ölçüte göre i . alternatifin performansını gösteren puanlar ve w_j , $j=1, \dots, n$ ölçütlerin göreceli önem düzeyleridir.

Klasik ÇÖKV çözüm yöntemleri tüm x_{ij} ve w_j 'leri kesin sayılar olduğunu varsayarlar. Yöntemler genel olarak karar vericinin bir fayda fonksiyonu tanımlamasını, her A_i alternatifi için x_{ij} performans puanları kullanılarak bir

toplanmış puan (son fayda puanı), U_i , elde edilmesini ve alternatiflerin U_i 'ye göre sıralanmasını içerir.

Fakat Bölüm 5.1'de bahsedildiği gibi x_{ij} ve w_j değerleri gerçek hayatta olduğu gibi kesin sayılar olmayabilir. Bu değerlerin kesin sayı olmadığı, bulanık sayı olduğu, durumlarda ÇÖKV problemlerine bulanık ölçütlü karar verme (BÇÖKV) problemi denir. BÇÖKV problemlerini çözmek üzere bir çok yöntem önerilmiştir. Bir önceki konuda elde edilen U_i fayda puanlarının bulanık olması durumunda sıralamanın nasıl yapılacağını öneren yöntemler incelenmişti. Burada ise girdi değerlerinin (x_{ij} ve w_j) bulanık olması durumunda U_i 'nin elde edilme sürecini tanımlayan yöntemler irdelenecektir.

Chen ve Hwang [3] BÇÖKV yöntemlerini dört etkeni göz önüne alarak sınıflandırmıştır. Bunlar (1) büyük problemleri çözebilme becerileri, (2) izin verilen veri tipi, (3) ilgili klasik ÇÖKV yöntemi ve (4) kullandıkları teknik. Sonraki bölümlerde BÇÖKV yöntemleri incelenecektir. Yöntemler Chen ve Hwang [3]'ün sınıflandırmasındaki dördüncü etken yani kullandıkları teknik göz önüne alınarak gruplandırılmıştır.

5.3.1 Basit Ağırlık Toplama Yöntemleri

Klasik basit ağırlık toplama yöntemleri matematiksel olarak şu şekilde tanımlanmıştır. Karar vericinin x_j , $j=1,...,n$ ölçütlerine $\underline{w}=(w_1, w_2, ..., w_n)$ ağırlık kümesini verdiği varsayılırsa, A_i alternatifinin performansı aşağıdaki gibi elde edilir:

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} / \sum_{j=1}^n w_j \quad (5.58)$$

burada r_{ij} i'inci alternatifin sayısal olarak ölçülebilen bir ölçekte j'inci ölçütteki değeridir. En çok tercih edilen alternatif, A^* şu şekilde seçilir:

$$A^* = \left\{ A_i \mid \max_i U_i \right\} \quad (5.59)$$

Verilerin bulanık kümelerle ifade edildiği durumlarda benzer bir yaklaşım izlenir. w_j ve r_{ij} aşağıdaki gibi tanımlanmış bulanık kümeler ise;

$$w_j = \{(y_j, \mu_{w_j}(y_j))\}, \forall j$$

ve

$$r_{ij} = \{(x_{ij}, \mu_{r_{ij}}(x_{ij}))\}, \forall i, j$$

burada y_j ve x_{ij} reel sayılardır ve $\mu_{w_j}(y_j)$ ve $\mu_{r_{ij}}(x_{ij}) [0,1]$ arasında değerler alırlar. A_i alternatifinin fayda değerini, $U_i = \{(u_i, \mu_{U_i}(u_i))\}$, hesaplamak için u_i ve $\mu_{U_i}(u_i)$ 'nin bulunması gerekir:

$$u_i = \sum_{j=1}^n y_j x_{ij} / \sum_{j=1}^n y_j \quad (5.60)$$

$$\mu_{U_i}(u_i) = \sup_v \{ [\bigwedge_{j=1}^n \mu_{w_j}(y_j)] \wedge [\bigwedge_{j=1}^n \mu_{r_{ij}}(x_{ij})] \} \quad (5.61)$$

burada $v = (y_1, \dots, y_n, x_{i1}, \dots, x_{in})$ 'dir.

$\mu_{U_i}(u_i)$ üyelik fonksiyonu $\mu_{w_j}(y_j)$ ve $\mu_{r_{ij}}(x_{ij})$ sürekli parçalı türevi alınabilir fonksiyonlar olduğunda doğrudan elde edilemez. Bu güçlüğü yenmek ve basit ağırlık toplama yönteminin sadeliğini korumak için çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir. Çalışma içerisinde (1) Baas ve Kwakernaak, (2) Kwakernaak, (3) Dubois ve Prade ve (4) Bonissone yöntemleri ayrıntılı olarak incelenecektir.

5.3.1.1 Baas ve Kwakernaak Yaklaşımı

Baas ve Kwakernaak $\mu_{U_i}(u_i)$ 'nin bulunmasındaki hesaplama sorununu ilk tanımlayanlardır. Bu zorluğu yenmek için bulanık fayda U_i 'nin elde edilmesinde α -kesim kullanılmasını önermişlerdir. Yöntemde önce $\mu_{U_i}(u_i)$ için α_o değeri atanır. Sonra denklem (5.60) kullanılarak ilgili u_i değerleri bulunur. Farklı α_o değerleri için bu süreç işletilerek bulanık fayda U_i tahmin edilir.

Algoritma

$\mu_{w_j}(y_j)$ ve $\mu_{r_{ij}}(x_{ij})$ fonksiyonlarının normalize edildiği varsayılır. Aşağıdaki adımlar kullanılarak A_i , $\forall i$ alternatifleri için bulanık fayda U_i tahmin edilecektir.

Adım1 $\mu_{U_i}(u_i)$ için bir α_o değeri atanır.

Adım2 $\mu_{U_i}(u_i) = \alpha_o$ 'yi oluşturduktan sonra aşağıdaki denkliği sağlayan y_j ve x_{ij} değerlerini bulunur:

$$\mu_{w_j}(y_j) = \mu_{r_{ij}}(x_{ij}) = \alpha_0, \forall i,j \quad (5.62)$$

$\mu_{w_j}(y_j) = \alpha_0$ 'ı ve $\mu_{r_{ij}}(x_{ij}) = \alpha_0$ 'ı sağlayan birden çok y_j ve x_{ij} değerleri olabilir.

Adım3 Önceki adımdan elde edilen y_j ve x_{ij} değerleri kullanılarak $\mu_{U_i}(u_i) = \alpha_0$ 'ı sağlayan birçok u_i değeri elde edilebilir. Yöntem için gerekli olan u_{ienb} ve u_{ienk} uç noktalarıdır. Problemdeki değişken sayısı (denkem (5.62)'i sağlan toplam y_j ve x_{ij} sayısı) az ise tüm kombinasyonlar (2^n , n = değişken sayısı) denenerek u_{ienb} ve u_{ienk} değerleri bulunabilir. Fakat değişken sayısı arttıkça tüm kombinasyonları denemek güçleşebilir, örneğin beş ölçek ve beş ağırlık olduğu durumda kombinasyon sayısı $2^{10}=1024$ olacaktır.

Bu yüzden Baas ve Kwakernaak $\mu_{U_i}(u_i) = \alpha_0$ 'ı sağlayan tüm u_i değerlerini bulmak yerine şu süreci önermiştir. $(\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_n, \hat{x}_{i1}, \dots, \hat{x}_{in})$ şeklinde bir reel sayı kümesi verilsin, değerleri aşağıda verilen $\mu_{r_i}(\hat{x}_{ij})$ ve $[\mu'_{w_j}(\hat{y}_j)/(\hat{x}_{ij} - u_i)], \forall i, j$ aynı işarete sahip olduklarında, elde edilen u_i , u_{ienb} veya u_{ienk} değerlerinden biridir.

$$\mu_{r_i}(\hat{x}_{ij}) = d\mu_{r_i}(x_{ij})/dx_{ij} \quad (5.63)$$

$$\mu'_{w_j}(\hat{y}_j) = d\mu_{w_j}(y_j)/dy_j \quad (5.64)$$

Adım3 Her iki u_{ienb} veya u_{ienk} değerleri elde edildiğinde α_0 için işlemler bitmiş olur. Sonra algoritma başka bir α değeri için adım1'e geri döner. $\mu_{U_i}(u_i)$ 'yi tahmin etmek için birkaç α değeri için süreç işletilmelidir. Verilecek α değerlerinin sayısı tahmin edilen $\mu_{U_i}(u_i)$ değerinin gerçeğe ne kadar yakın olmasının istendiğiyle ilgilidir. Eğer çok sayıda α değeri için süreç yürütülürse tahmin edilen $\mu_{U_i}(u_i)$ değeri gerçeğe o kadar yakın olacaktır. Fakat denenen α değerleri attıkça yapılacak işlem ve hesaplamalar da artacaktır. Bu yüzden uygulanacak α miktarı seçilirken işlem miktarı gerçeğe yaklaşma arasındaki değiş-tokuşa dikkat edilmelidir.

Yöntemde u_{ienb} ve u_{ienk} deneme yanılma işlemi uygulanarak bulunur. Yani herhangi bir $(\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_n, \hat{x}_{i1}, \dots, \hat{x}_{in})$ için $\mu_{r_i}(\hat{x}_{ij})$ ve $[\mu'_{w_j}(\hat{y}_j)/(\hat{x}_{ij} - u_i)], \forall i, j$ hesaplanır, hesaplanan değerler aynı işaretlilerse u_{ienb} veya u_{ienk} 'dir denir. Chen ve Hwang [3] deneme yanılma işlemi yerine sistematik olarak tüm u_i 'lerin bilgisayar yardımıyla hesaplanmasını daha uygun bulmuşlardır. Tüm u_i 'ler hesaplanınca da aralarından

enbüyük ve enküçük değerler seçilecektir. Fakat alternatif ve ölçüt miktarı arttıkça bilgisayar da çözüm için hızlı sonuçlar üretemeyebilir. Bu yüzden Chen ve Hwang [3] ölçüt sayısının 10'u geçtiği durumlarda Baas ve Kwakernaak yaklaşımının uygulanmamasını önermektedir.

Sayısal Örnek

Bir öğrencinin öğle yemeği için gittiği lokantada iki porsiyon pilav (A_1) veya bir porsiyon musakka (A_2) yiyecek kadar parası vardır. Yani ikisinden birini seçme durumundadır. İki arasında seçim yaparken iki unsura dikkat etmektedir: tat (X_1) ve doyuruculuk (X_2). Öğrenci önceki tecrübelerine dayanarak gittiği lokantada pilavın tadının kötü musakkanın ise iyi olduğunu bilmektedir. Doyuruculuk bakımından pilavdan iki porsiyon alacağı için pilavınki yüksek, musakkanınki ise bol ekmekle yiyecek olmasına rağmen orta düzeyde olacaktır. Öğrencinin karnı aç olduğu için yiyeceği yemeğin doyurucu olması çok önemlidir. Ama yine de tat bakımından da çok taviz vermek istememektedir yani tat da doyuruculuk kadar olmasa bile önemlidir.

Öğrencinin hangi yemeği yemesi gerektiğine Baas ve Kwakernaak yöntemiyle çözüm aranacaktır. Önce problem için karar matrisi hazırlanır:

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} \text{Kötü} & \text{Yüksek} \\ \text{İyi} & \text{Orta} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$\underline{w}$ = (önemli, çok önemli)

burada $[r_{11}, r_{12}] = [\text{kötü}, \text{yüksek}]$, $[r_{21}, r_{22}] = [\text{iyi}, \text{orta}]$ ve ağırlıklar da $[w_1, w_2] = [\text{önemli}, \text{çok önemli}]$ 'dir. Sözel ifadelerin bulanık sayı karşılıkları Şekil 5.26'deki gibi varsayılmıştır.

Aşağıda da sözel ifadelerin üçgen bulanık sayılar ile ifadeleri verilmiştir (Sözel ifadelerin bulanık sayı karşılıklarının bulunması incelenen yöntemin bir parçası olmadığı için burada ayrıntılı olarak irdelenmemiştir.). İleriki bölümlerde (Bölüm 5.3.6) Chen ve Hwang yaklaşımı içerisinde sözel ifadelerin bulanık sayılara dönüştürülmesi kapsamlı olarak verilecektir.)

$$[r_{11}, r_{12}] = [\text{kötü}, \text{yüksek}] = [(0, 1; 0, 25; 0, 4), (0, 6; 0, 75; 0, 9)]$$

$$[r_{21}, r_{22}] = [\text{iyi}, \text{orta}] = [(0, 6; 0, 75; 0, 9), (0, 3; 0, 5; 0, 7)]$$

$$[w_1, w_2] = [\text{önemli}, \text{çok önemli}] = [(0, 4; 0, 6; 0, 8), (0, 6; 0, 8; 1)]$$

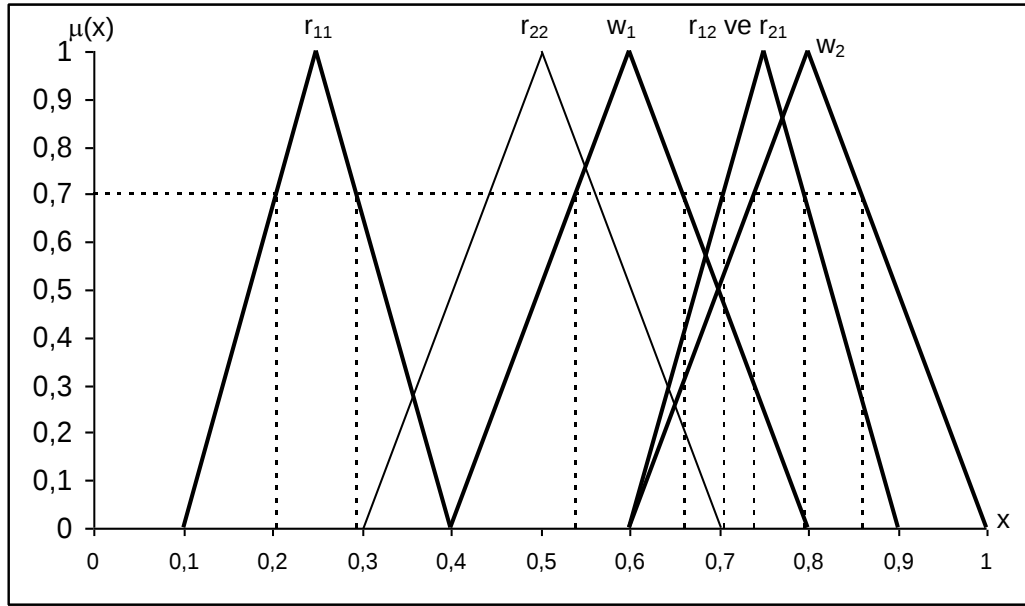
A_1 'in bulanık faydası aşağıdaki adımlara göre hesaplanır:

Adım1 $\alpha_0 = 0,7$ seçilsin.

Adım2 $\mu_{w_1}(\hat{y}_1) = \mu_{w_2}(\hat{y}_2) = \mu_{r_{11}}(\hat{x}_{11}) = \mu_{r_{12}}(\hat{x}_{12}) = 0,7$ 'yi sağlayan $\hat{x}_{11}, \hat{x}_{12}, \hat{y}_1, \hat{y}_2$ değerleri bulunur:

$\hat{x}_{11}$	$\hat{x}_{12}$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$
0,205	0,705	0,54	0,74
0,295	0,795	0,66	0,86

Bulunan noktalar Şekil 5.26'de gösterilmiştir.



Şekil 5.26 Sözel terimlerin bulanık sayılarla ifadesi

Adım3 $(\hat{x}_{11}, \hat{x}_{12}, \hat{y}_1, \hat{y}_2)$ 'nin toplam $2^4=16$ olası kombinasyonu vardır. Denklem (5.60) elde edilen kombinasyonlara uygulanırsa Tablo 5.4'deki sonuçlar elde edilir. Kolayca görülebileceği gibi $u_{1enk}=0,469$ ve $u_{1enb}=0,602$ 'dir.

Hesaplama yöntemini görmek için tablonun ilk satırındaki $u_1=0,494$ 'ün nasıl hesaplandığı verilmiştir: $(\hat{x}_{11}, \hat{x}_{12}, \hat{y}_1, \hat{y}_2)=(0,205; 0,705; 0,54; 0,74)$ alınmıştır.

$$u_1 = [\hat{x}_{11}\hat{y}_1 + \hat{x}_{12}\hat{y}_2] / [\hat{y}_1 + \hat{y}_2] = [0,205*0,54 + 0,705*0,74] / [0,54 + 0,74] = 0,494.$$

Olası kombinasyon sayısı 16 olduğu için tüm kombinasyonlardan elde edilen u_i değerleri kolayca bulunabildi. Fakat kombinasyon sayısı çok fazla olsaydı hepsinin hesaplanması zor olabilirdi. Bu yüzden yöntem tanıtılırken adım3'te verildiği gibi $\mu_{r_i}(\hat{x}_{ij})$ ve $[\mu'_{w_j}(\hat{y}_j) / (\hat{x}_{ij} - u_i)]$, $\forall i, j$ 'ni aynı işaretli olup olmadığı kontrol edilebilir.

Tablo 5.4 Olası y_j ve x_{ij} kombinasyonları ve her kombinasyon için u_i değerleri

$\hat{x}_{11}$	$\hat{x}_{12}$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	u_1
0,205	0,705	0,54	0,74	0,494
			0,86	0,512
		0,66	0,74	0,469 (enk)
			0,86	0,488
	0,795	0,54	0,74	0,546
			0,86	0,567
		0,66	0,74	0,517
			0,86	0,539
0,295	0,705	0,54	0,74	0,532
			0,86	0,547
		0,66	0,74	0,512
			0,86	0,527
	0,795	0,54	0,74	0,584
			0,86	0,602 (enb)
		0,66	0,74	0,559
			0,86	0,578

Tablodaki birinci satır ($\hat{x}_{11}, \hat{x}_{12}, \hat{y}_1, \hat{y}_2$)=(0,205; 0,705; 0,54; 0,74) için yapılırsa;

$$\mu'_{r11}(0,205) = +6,67$$

$$\mu'_{r12}(0,705) = +6,67$$

$$[\mu'_{w1}(0,54)/(\hat{x}_{11} - u_1)] = 5 / -0,289 = -17,3$$

$$[\mu'_{w2}(0,74)/(\hat{x}_{12} - u_1)] = +5 / 0,211 = +23,7$$

görüldüğü gibi $\mu'_{r_i}(\hat{x}_{ij})$ ve $[\mu'_{w_j}(\hat{y}_j)/(\hat{x}_{ij} - u_i)]$, $\forall i, j$ aynı işaretli değildir. Bu yüzden ($\hat{x}_{11}, \hat{x}_{12}, \hat{y}_1, \hat{y}_2$)=(0,205; 0,705; 0,54; 0,74) u_1 'in bir uç noktasını vermez.

Şimdi ($\hat{x}_{11}, \hat{x}_{12}, \hat{y}_1, \hat{y}_2$)=(0,205; 0,705; 0,66; 0,74) için aynı hesaplamalar yapılırsa:

$$\mu'_{r11}(0,205) = +6,67$$

$$\mu'_{r12}(0,705) = +6,67$$

$$[\mu'_{w1}(0,66)/(\hat{x}_{11} - u_1)] = -5 / -0,264 = +18,94$$

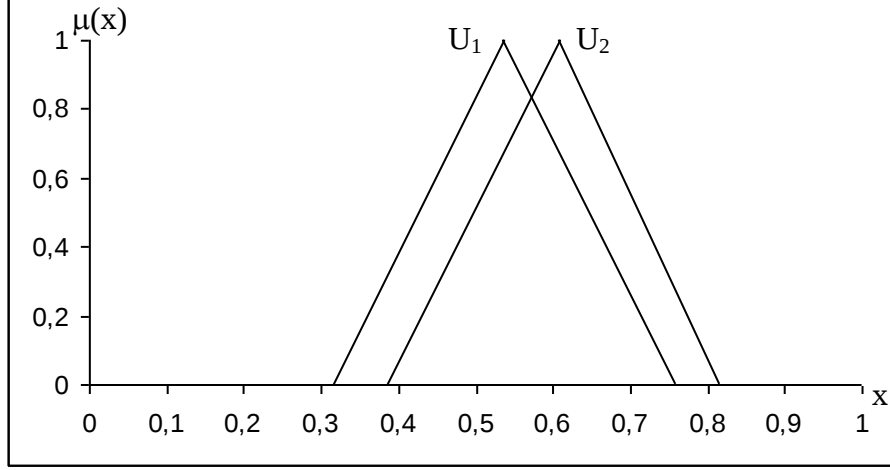
$$[\mu'_{w1}(0,74)/(\hat{x}_{12} - u_1)] = +5 / 0,236 = +21,19$$

hepsi aynı işareti aldılar (+), böylece bu kombinasyonun bir uç nokta olduğu ortaya çıkar. Zaten tabloda görülebileceği gibi burada u_{1enk} elde edilir.

$\alpha_o = 0,7$ için u_{1enk} ve u_{1enb} bulunmuştur. U_1 'in tamamen ortaya çıkarılabilmesi için farklı α_o değerleri için de aynı sürecin işletilmesi gerekir. aşağıda farklı α_o değerleri için elde edilen sonuçlar verilmiştir:

$\mu_{u1}(U_1) = \alpha_o$	0	0,3	0,5	0,7	1
u_{1enk}	0,314	0,381	0,425	0,469	0,536
u_{1enb}	0,757	0,691	0,646	0,602	0,536

Farklı α düzeyleri için çeşitli u_1 değerleri bulunmuştur. Bunlara göre tahmin edilen U_1 fayda fonksiyonu yaklaşık olarak (0,314; 0,536; 0,757) üçgen bulanık sayısı ile temsil edilebilir. Benzer işlemler U_2 fayda fonksiyonunu tahmin etmek için de kullanılmış ve U_2 yaklaşık olarak (0,386; 0,607; 0,814) üçgen bulanık sayısına eşit çıkmıştır. Şekil 5.27’de elde edilen fayda fonksiyonları grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.27 Baas ve Kwakernaak Yaklaşımı örneği bulanık faydalar

Son olarak elde edilen fayda değerlerine göre alternatiflerin sıralanması gerekir. sıralama önceki konularda tanıtılan herhangi bir yöntemle yapılabilir. Burada açık olarak görüldüğü için hiçbir yöntem uygulanmadan doğrudan $U_2 > U_1$ yargısına varılabilir. Yani öğrenci ikinci alternatif olan bir porsiyon musakka yemelidir.

5.3.1.2 Kwakernaak Yaklaşımı

Kwakernaak yaklaşımı Baas ve Kwakernaak yaklaşımının yeniden düzenlenmiş halidir. Kwakernaak istenen u_i değerlerinin deneme yanılma yöntemiyle bulunmasının etkin olmadığını belirleyerek algoritmayı geliştirmiştir.

Bulanık ağırlıklar $w_j = \{(y_j, \mu_{w_j}(y_j))\}$ ve A_i alternatifi için bulanık ölçüt $r_{ij} = \{(x_{ij}, \mu_{r_{ij}}(x_{ij}))\}$ şeklinde verilirse; bulanık fayda $U_i = \{(u_i, \mu_{U_i}(u_i))\}$ 'i elde etmek için aşağıdaki adımlar uygulanır:

Adım1 Bir α_o düzeyi seçilir.

Adım2 A_i alternatifi için aşağıdaki reel sayıları oluşturulur Şekil 5.28’de formülü verilen değerler grafik üzerinde gösterilmiştir:

$$x_{ij}^- = \text{enk}\{x_{ij} \in R \mid \mu_{r_{ij}}(x_{ij}) \geq \alpha_o\}, \forall j, \quad (5.65)$$

$$x_{ij}^* = \text{enb}\{x_{ij} \in R \mid \mu_{r_{ij}}(x_{ij}) \geq \alpha_o\}, \forall j, \quad (5.66)$$

$$y_j^- = \text{enk}\{y_j \in R \mid \mu_{w_j}(y_j) \geq \alpha_o\}, \forall j, \quad (5.67)$$

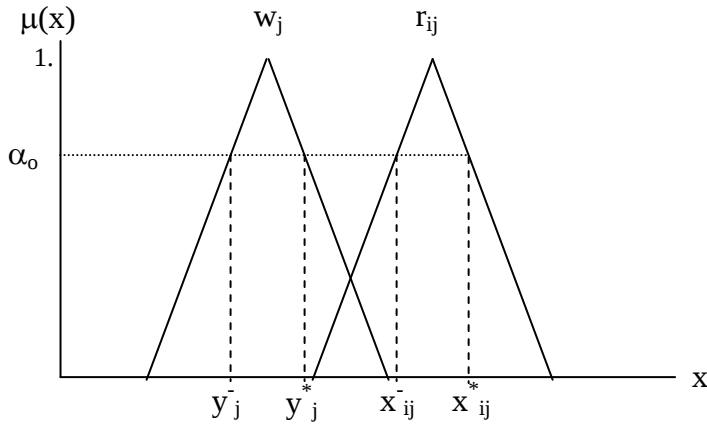
$$y_j^* = \text{enb}\{y_j \in R \mid \mu_{w_j}(y_j) \geq \alpha_o\}, \forall j. \quad (5.68)$$

Adım3 α_o düzeyinde r_{ij} $[x_{ij}^-, x_{ij}^*]$ ile temsil edilebilir. $m_1^- = \text{enk}_j x_{ij}^-$ ve $m_n^- = \text{enb}_j x_{ij}^-$ olmak üzere aşağıdaki gibi sıralanır:

$$m_1^- \leq m_2^- \leq \Lambda \leq m_n^- \quad (5.69)$$

İlgili y_j^- değerleri de aşağıdaki gibi sıraya koyulur:

$$z_1^- \leq z_2^- \leq \Lambda \leq z_n^- \quad (5.70)$$



Şekil 5.28 w_j ve r_{ij} için α düzey kümeleri

Benzer şekilde x_{ij}^* 'ler de sıralanır:

$$m_1^* \leq m_2^* \leq \Lambda \leq m_n^* \quad (5.71)$$

burada $m_1^* = \text{enk}_j x_{ij}^*$ ve $m_n^* = \text{enb}_j x_{ij}^*$ olacaktır. İlgili y_j^* değerleri de aşağıdaki gibi sıraya koyulur:

$$z_1^* \leq z_2^* \leq \Lambda \leq z_n^*. \quad (5.72)$$

Adım4 α_o düzeyindeki bulanık fayda, U_1 , $C_{\alpha o} = [a_{\alpha o}, b_{\alpha o}]$ olsun. Buradaki $a_{\alpha o}, b_{\alpha o}$ şu şekilde tanımlanmıştır:

$$a_{\alpha_o} = \underset{0 \leq j \leq n}{enk} \left[\frac{\sum_{k=1}^j z_k^* m_k^- + \sum_{k=j+1}^n z_k^- m_k^-}{\sum_{k=1}^j z_k^* + \sum_{k=j+1}^n z_k^-} \right] \quad (5.73)$$

$$b_{\alpha_o} = \underset{0 \leq j \leq n}{enb} \left[\frac{\sum_{k=1}^j z_k^- m_k^* + \sum_{k=j+1}^n z_k^* m_k^*}{\sum_{k=1}^j z_k^- + \sum_{k=j+1}^n z_k^*} \right] \quad (5.74)$$

Alt sınır olan a_{α_o} hesabındaki mantık şöyledir: Denklem (5.60) göz önüne alınırsa x_{ij} denklemin sadece payında yer almaktadır. Bu yüzden en küçük x_{ij} değeri, $\forall j, (x_{ij}^-)$ kullanılarak u_i in en küçük olması güvence altına alınır. Fakat $u_{ienk}, y_j, \forall j$, 'ye y_j^- değeri verildiğinde elde edilmeyebilir. Bu yüzden tüm y_j^- ve y_j^* kombinasyonları dikkate alınmalı ve elde edilen sonuçların en küçüğü u_{ienk} olarak nitelenmelidir. Benzer bir yaklaşım denklem (5.74)'nin oluşturulmasında da kullanılmıştır.

Böylece α_o için üst ve alt sınırlar elde edilir. Sonra algoritma farklı α değerleri pek çok kez uygulanır ve elde edilen alt ve üst sınırlar yardımıyla U_i tahmin edilir.

Sayısal Örnek

Önceki bölümde verilen aç öğrenci problemi göz önüne alınmıştır.

Adım1 $\alpha_o = 0,7$ seçilsin.

Adım2 Denklemler (5.65)-68) kullanılarak r_{ij} performans puanları için $[x_{ij}^-, x_{ij}^*]$ ve w_j ağırlıkları için de $[y_j^-, y_j^*]$ aralıkları belirlenir:

r_{11}	r_{12}	w_1	w_2
$[0,205; 0,295]$	$[0,705; 0,795]$	$[0,54; 0,66]$	$[0,74; 0,86]$

$[x_{11}^-, x_{11}^*]$ aralığı şu şekilde elde edilmiştir:

$$x_{11}^- = enk\{x_{11} \in R \mid \mu_{r_{11}}(x_{11}) \geq 0,7\} = 0,205,$$

$$x_{11}^* = enb\{x_{11} \in R \mid \mu_{r_{11}}(x_{11}) \geq 0,7\} = 0,295.$$

Adım3 x_{ij}^- ve x_{ij}^* 'ler düzenlenir:

m_1^-	m_2^-	m_1^*	m_2^*
0,205	0,705	0,295	0,795

Benzer şekilde sıralanan y_j^- ve y_j^* 'ler aşağıda verilmiştir.

$\bar{z}_1$	$\bar{z}_2$	z_1^*	z_2^*
0,54	0,74	0,66	0,86

Adım4 $\alpha_0 = 0,7$ düzeyinde $a_{\alpha=0,7}$ ve $b_{\alpha=0,7}$ elde edilir:

$$a_{0,75} = \text{enk} \left[\frac{z_1^- m_1^- + z_2^- m_2^-}{z_1^- + z_2^-}, \frac{z_1^* m_1^- + z_2^- m_2^-}{z_1^* + z_2^-}, \frac{z_1^* m_1^- + z_2^* m_2^-}{z_1^* + z_2^*} \right]$$

$$= \text{enk} [0,494; 0,469; 0,488] = 0,469.$$

$$b_{0,75} = \text{enb} \left[\frac{z_1^* m_1^* + z_2^* m_2^*}{z_1^* + z_2^*}, \frac{z_1^- m_1^* + z_2^* m_2^*}{z_1^- + z_2^*}, \frac{z_1^- m_1^* + z_2^- m_2^*}{z_1^- + z_2^-} \right]$$

$$= \text{enk} [0,578; 0,602; 0,584] = 0,602.$$

Böylece $C_{0,7} = [a_{\alpha=0,7}; b_{\alpha=0,7}] = [0,469; 0,602]$ bulunur. Bunun anlamı $\mu_{u1}(0,469) = \mu_{u1}(0,602) = 0,7$ 'dir. Görülebileceği gibi sonuç Baas ve Kwakernaak yaklaşımı ile aynıdır.

Farklı α düzeyleri belirleyerek U_1 ve U_2 faydaları Şekil 5.27'deki gibi bulunur. Elde edilen fayda fonksiyonları önceki yöntemde elde edilenlerle aynı olduğu için alternatiflerin sıralaması da aynı olur: $U_1 < U_2$.

5.3.1.3 Dubois ve Prade Yaklaşımı

Dubois ve Prade, Baas ve Kwakenaak yaklaşımının sadece iki ölçütlü problemleri çözmeye etkili olduğunu ortaya koyarak alternatif bir yaklaşım önermişlerdir. Yaklaşım α -kesim tekniğini kullanmakla birlikte u_i değerlerini elde etmede daha etkin bir yöntem sağlamaktadır. Algoritma tüm bulanık ağırlıkların w_j ve bulanık değerlerin r_{ij} normalize edilmiş bulanık sayılar olduğunu varsayar. Bir α düzeyinde her ağırlık ve performans değeri için α düzey kümesi elde edilir. Daha sonra α düzey kümeleri klasik basit ağırlık toplama yöntemlerini baz alarak bulanık faydaların türetilmesinde kullanılır.

Algoritma

Adım1 Bir α_0 düzeyi belirlenir ve w_j ve r_{ij} için aşağıdaki gibi α düzey kümeleri oluşturulur:

$$w_{j\alpha} = [y_j^-, y_j^*], \forall j, \quad (5.75)$$

$$r_{ij\alpha} = [x_{ij}^-, x_{ij}^*], \forall i, j. \quad (5.76)$$

Adım2 Normalize edilmiş bulanık ağırlıklar, $P_j, \forall j$ hesaplanır. w_j 'nin α düzey kümeleri $[y_j^-, y_j^*], j=1...n$ olarak verildiğinde, normalize edilmiş bulanık ağırlıkların, $P_j, \forall j$ n tane α düzey kümeleri $[P_j^-, P_j^*]$ aşağıdaki gibi elde edilir:

$$P_j^* = y_j^* / (y_j^* + \sum_{k \neq j} y_k^-) \quad (5.77)$$

$$P_j^- = y_j^- / (y_j^- + \sum_{k \neq j} y_k^*) \quad (5.78)$$

$q_j \in [P_j^-, P_j^*], \forall j$ olursa aşağıdaki koşul sağlanmalıdır:

$$\sum_{j=1}^n q_j = 1. \quad (5.79)$$

Adım3 A_i alternatifi için r_{ij} değeri denklem (5.76)'daki gibi α düzey kümesi ile temsil edilebilir. $j=1...n$ için tüm x_{ij}^- 'ler aşağıdaki gibi sıralanacaktır:

$$m_1^- \leq m_2^- \leq \Lambda \leq m_n^- \quad (5.80)$$

Burada $m_1^- = \text{enk } x_{ij}^-$ ve $m_n^- = \text{enb } x_{ij}^-$ olur ve benzer şekilde x_{ij}^* 'ler de sıralanır:

$$m_1^* \leq m_2^* \leq \Lambda \leq m_n^* \quad (5.81)$$

denklemden $m_1^* = \text{enk } x_{ij}^*$ ve $m_n^* = \text{enb } x_{ij}^*$ olacaktır.

Adım4 U_i 'nin en küçük üst sınırı ve en büyük alt sınırı $[u_{ienb}, u_{ienc}]$ aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanır:

$$u_{i_{enk}} = (\sum_{j=1}^{d-1} P_j^* m_j^-) + [1 - \sum_{j=1}^{d-1} P_j^* - \sum_{j=d+1}^n P_j^-] m_d^- + \sum_{j=d+1}^n P_j^- m_j^- \quad (5.82)$$

$$u_{i_{enb}} = (\sum_{j=1}^{e-1} P_j^- m_j^*) + [1 - \sum_{j=1}^{e-1} P_j^- - \sum_{j=e+1}^n P_j^*] m_e^* + \sum_{j=e+1}^n P_j^* m_j^* \quad (5.83)$$

(5.82) ve (5.83) denklemlerindeki bilinmeyenler d ve e parametreleridir. d ve e parametreleri aşağıdaki koşul sağlandığında elde edilir:

$$1 - \sum_{j=1}^{d-1} P_j^* - \sum_{j=d+1}^n P_j^- = z_d \in [P_d^-, P_d^*] \quad (5.84)$$

Denklem (5.84)'i sağlayan d değeri deneme yanılma yöntemiyle bulunur. Deneme süreci d'ye 1 vererek başlatılır. Eğer denklem (5.84)'e göre elde edilen z_d değeri $z_d \in [P_j^-, P_j^*]$ 'yi sağlıyorsa $d = 1$ alınır ve u_{ienk} hesaplanır. Aksi durumda $d=2$ alınarak işlem tekrarlanır ve bu süreç (5.84)'deki koşulu sağlayan bir değer bulununcaya kadar devam eder. Bulunan d değeri denklem (5.82)'te u_{ienk} 'nin hesabında kullanılır. Benzer şekilde e parametresine karar vermek için aşağıdaki koşulu sağlayan e değeri aranır:

$$1 - \sum_{j=1}^{e-1} P_j^- - \sum_{j=e+1}^n P_j^* = z_e \in [P_e^-, P_e^*] \quad (5.85)$$

Denklem (5.85)'u sağlayan e değeri d'nin bulunmasındaki deneme yanılma işlemleri ile benzer şekilde elde edilir. Yani $e=1$ 'den başlayarak; denklem (5.85)'u sağlayan e değeri bulununcaya kadar e birer arttırılarak denenir. e'ye verilen en son değer aranan sonuçtur. e değeri elde edilince denklem (5.83)'de kullanılarak u_{ienb} hesaplanır.

Adım5 Herhangi bir α düzeyinde bulanık fayda U_i , $[u_{ienb}, u_{ienk}]$ aralığı ile temsil edilebilir. Karar verici çeşitli α değerleri algoritmayı tekrar edebilir. Böylece yaklaşık olarak bulanık fayda U_i türetilir.

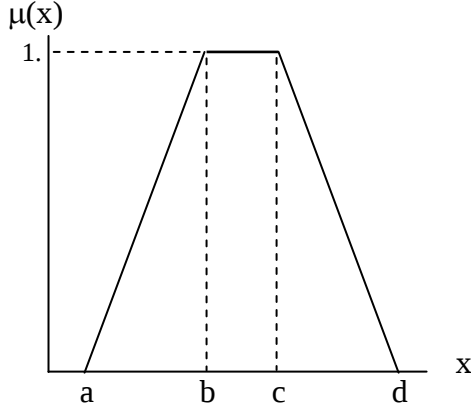
Sayısal Örnek

Yeni emekli olmuş bir devlet memuru emekli ikramiyesiyle bir ev almak istemektedir. Yaptığı araştırmalar sonucunda seçenek sayısını üçe indirmiştir. Bu üç seçenek arasından seçimini üç unsuru dikkate alarak yapacaktır: büyüklük (X_1), modern donanım (X_2) ve merkezi bölgelere yakınlık (X_3). Emeklinin her evi inceleyerek yaptığı incelemeler sonucunda verdiği bilgilerle aşağıdaki karar matrisini oluşturulmuştur.

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 & X_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} \text{Çok küçük} & \text{Çok} & \text{Orta yakın} \\ \text{Büyük} & \text{Az} & \text{Çok yakın} \\ \text{Çok büyük} & \text{Orta} & \text{Uzak} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Ve her ölçütün ağırlığı şöyledir:

$\underline{w} = [\text{önemli}, \text{çok önemli}, \text{önemsiz}]$.



Şekil 5.29 (a,b,c,d) yamuk bulanık sayısı

Her sözel ifade Şekil 5.29'te örneği verilen benzeri (a,b,c,d) biçiminde bir yamuk bulanık sayı ile temsil edilecektir. Aşağıda karar matrisinin yeniden düzenlenmiş hali verilmiştir.

Tablo 5.5 Emekli örneği karar matrisi

	X_1	X_2	X_3
$D = A_1$	(0;0;0,1;0,2)	(0,6;0,8;1;1)	(0,3;0,5;0,5;0,7)
A_2	(0,6;0,75;0,75;0,9)	(0;0;0,2;0,4)	(0,8;0,9;1;1)
A_3	(0,8;0,9;1;1)	(0,2;0,5;0,5;0,8)	(0,1;0,25;0,25;0,4)
W	(0,3;0,5;0,5;0,7)	(0,6;0,75;0,75;0,9)	(0,1;0,25;0,25;0,4)

Artık yöntemi uygulamak için algoritmaya geçilebilir, ilk önce tüm adımlar A_1 alternatifinin fayda fonksiyonunu bulmak için yürütülecektir.

Adım1 α düzeyi 0,7 kabul edilirse $w_{j\alpha} = [y_j^-, y_j^*]$ ve $r_{ij\alpha} = [x_{ij}^-, x_{ij}^*]$ $j=1,2,3$ aşağıdaki gibi bulunur:

$w_{1\alpha}$	$w_{2\alpha}$	$w_{3\alpha}$
[0,44;0,56]	[0,705;0,795]	[0,205;0,295]
$r_{11\alpha}$	$r_{12\alpha}$	$r_{13\alpha}$
[0;0,13]	[0,74;1]	[0,44;0,56]

Adım2 Denklemler (5.77) ve (5.78) kullanılarak bulanık ağırlıklar normalize edilir ve $P_j, \forall j$ üç tane α düzey kümesi $[P_j^-, P_j^*]$ hesaplanır. Örnek olarak P_1 'in α düzey kümesi hesaplanmıştır:

$$P_1^* = \frac{y_1^*}{y_1^* + y_2^- + y_3^-} = \frac{0,56}{0,56 + 0,705 + 0,205} = 0,381$$

$$P_1^- = \frac{y_1^-}{y_1^- + y_2^* + y_3^*} = \frac{0,44}{0,44 + 0,795 + 0,295} = 0,288$$

j=2,3 için de benzer işlemler yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

$P_{1\alpha}$	$P_{2\alpha}$	$P_{3\alpha}$
[0,288;0,381]	[0,452;0,552]	[0,131;0,205]

Adım3 α düzey kümeleri bulunduğu için üç alt limit (x_{ij}^- 'ler) sıralanabilir:

$$0 < 0,44 < 0,74 \Leftrightarrow m_1^- < m_2^- < m_3^-,$$

ve üç üst limit (x_{ij}^* 'ler) sıralanır:

$$0,13 < 0,56 < 1 \Leftrightarrow m_1^* < m_2^* < m_3^*.$$

Adım4 Denklemler (5.84) ve (5.85)'yi sağlayan d ve e parametrelerini bulunur. Önce d=1 alınır ve $z_{d=1}$ hesaplanır:

$$1 - (P_2^- + P_3^-) = 1 - 0,452 - 0,131 = 0,417 = z_{d=1} \notin [P_1^-; P_1^*]$$

$z_{d=1} \notin [0,288;0,381]$ olduğu için d=1'dir. Denemek için d=2'ye geçilir:

$$1 - P_1^* - P_3^- = 1 - 0,381 - 0,131 = 0,488 = z_{d=2} \in [P_2^-; P_2^*]$$

böylece d=2 olarak bulunur. Buna göre w_j ağırlıkları aşağıdaki gibi alınacaktır:

W_1	w_2	W_3
P_1^*	$z_{d=2}$	P_3^-
0,381	0,488	0,131

Artık d=2 alınıp denklem (5.82) kullanılarak u_{ienk} hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} u_{ienk} &= (P_1^* m_1^-) + (1 - P_1^* - P_3^-) m_2^- + P_3^- m_3^- \\ &= 0,381 \cdot 0 + 0,488 \cdot 0,44 + 0,131 \cdot 0,74 = 0,312 \end{aligned}$$

burada m_1^- , m_2^- , m_3^- değerleri üçüncü adımda bulunan 0; 0,44 ve 0,74 değerleridir.

e parametresini hesaplamak için de benzer adımlar izlenir. Önce e=1 alınır.

$$1 - (P_2^* + P_3^*) = 1 - 0,552 - 0,205 = 0,243 = z_{e=1} \notin [P_1^-; P_1^*]$$

İstenen koşul sağlanmadığı için e=2'ye geçilir:

$$1 - P_1^- - P_3^* = 1 - 0,288 - 0,205 = 0,507 = z_{e=2} \in [P_2^-; P_2^*] \text{ ise}$$

e=2 olarak bulunur. w_j ağırlıkları aşağıdaki gibi varsayılabilir:

W_1	W_2	W_3
P_1^-	$z_{e=2}$	P_3^*
0,288	0,507	0,205

Denklem (5.83)'de e=2 alınarak u_{ienb} hesaplanabilir:

$$u_{ienb} = (P_1^- m_1^*) + (1 - P_1^- - P_3^*) m_2^* + (P_3^* m_2^*)$$

$$= 0,288*0,13+0,507*0,56+0,205*1 = 0,526$$

burada m_1^* , m_2^* , m_3^* değerleri üçüncü adımda bulunan 0,13; 0,56 ve 1 değerleridir.

Böylece U_1 'in α -düzey kümesi $[u_{ienk}, u_{ienb}]$ $\alpha=0,7$ 'de elde edilmiş olur:

$$U_{1\alpha=0,7} = [0,312; 0,526].$$

Adım5 $U_{1\alpha=0,7}$ 'nin elde edilişi gibi $\alpha=0$ ve $\alpha=1$ düzeyleri için $U_{1\alpha=0}$ ve $U_{1\alpha=1}$ hesaplanabilir. Aşağıda bu α düzeyleri için hesaplanan düzey kümeleri verilmiştir.

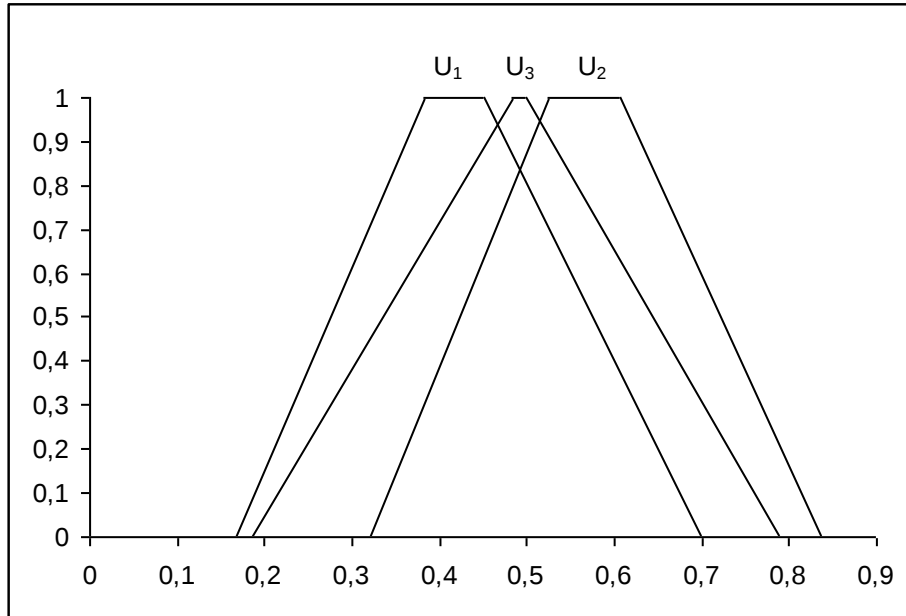
α	0	0,7	1
$U_{1\alpha}$	[0,168; 0,699]	[0,312; 0,526]	[0,383; 0,45]

$U_{1\alpha}$ yaklaşık olarak (0,168; 0,383; 0,45; 0,699) yamuk bulanık sayısı ile ifade edilebilir.

Birinci adımdan itibaren aynı işlemler ikinci ve üçüncü alternatiflere uygulanmış ve alternatiflerin bulanık faydaları oluşturulmuştur (değerler bulanık yamuk sayılardır)

Şekil 5.30'te elde edilen fayda puanları gösterilmiştir. :

U_1	(0,168; 0,383; 0,45; 0,699)
U_2	(0,312; 0,525; 0,608; 0,837)
U_3	(0,185; 0,483; 0,5; 0,787)



Şekil 5.30 Dubois ve Prade Yaklaşımı örneği bulanık fayda puanları

Bulanık fayda puanları belirtilen şekilde elde edildikten sonra en iyi alternatifin seçilebilmesi için sıralanmalıdırlar. Sıralama önceden incelenen herhangi bir bulanık sıralama yöntemiyle yapılabilir. Burada sezgisel bir yaklaşımla şekil üzerinden

yorumlayarak $U_2 > U_3 > U_1$ sonucuna varılabilir. Bu sonuca göre emeklinin ikinci evi seçmesi gerektiği söylenebilir.

5.3.1.4 Bonissone Yaklaşımı

Bonissone karar vermedeki bulanık ve kesin bilgilerin parametrik olarak temsil edilebileceğini varsaymıştır ve bunun için yamuk bulanık sayıları kullanmıştır. Böylece yamuk bulanık sayıların aritmetik işlemlere olanak veren özelliğinden yararlanmıştır. Bölüm 3.5'te yamuk bulanık sayılar tanıtılmıştı fakat aritmetik işlemler verilmemişti. Bu bölümde kullanılacak yamuk bulanık sayılar için toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemleri verilecektir.

Şekil 5.31'deki biçimde tanımlanan $M = (a, b, \alpha, \beta)$ ve $N = (c, d, \gamma, \delta)$ yamuk bulanık sayıları için aritmetik işlemler aşağıda verilmiştir:

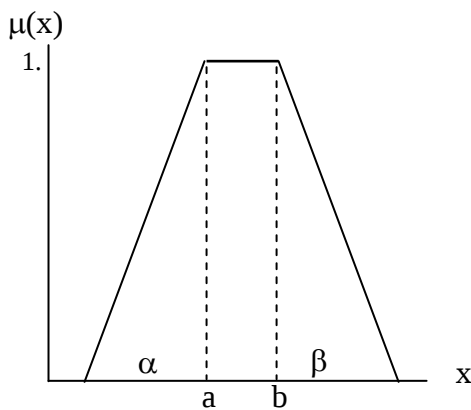
$$M(+)N = (a+c, b+d, \alpha+\gamma, \beta+\delta) \quad (5.86)$$

$$M(-)N = (a-d, b-c, \alpha+\delta, \beta+\gamma) \quad (5.87)$$

$$M(\cdot)N = (ac, bd, a\gamma+c\alpha-\alpha\gamma, b\delta+d\beta-\beta\delta) \quad (5.88)$$

$$M(\div)N = \left(\frac{a}{d}, \frac{b}{c}, \frac{a\delta+d\alpha}{d(d+\delta)}, \frac{b\gamma+c\beta}{c(c-\gamma)} \right) \quad (5.89)$$

Burada sadece denklem (5.86) kesin sonuç verir. Diğerleri kesine çok yakın olmakla beraber yaklaşık sonuçlar verirler.



Şekil 5.31 $M = (a, b, \alpha, \beta)$ yamuk bulanık sayısı

Yaklaşık cebirsel işlemler yardımıyla A_i alternatifinin x_j $j=1..n$, ölçeklerine göre performansı aşağıdaki formül kullanılarak kolay bir şekilde hesaplanabilir.

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad (5.90)$$

burada w_j ve r_{ij} yamuk sayı biçiminde yazılan bulanık veya kesin sayılar olabilir.

Sayısal Örnek

Önceki konudaki emekli örneği yöntemi irdelemek için kullanılacaktır. Tablo 5.5’de verilen karar matrisinde kullanılan yamuk bulanık sayıların gösterimi Bonissone yöntemindekinden farklıdır (fark açıkça Şekil 5.29 ve Şekil 5.31 incelenerek görülebilir). Bu yüzden burada Tablo 5.5 aşağıdaki karar matrisine dönüştürülmüştür:

	X_1	X_2	X_3
A_1	(0,0,1;0,0,1)	(0,8;1;0,2;0)	(0,5;0,5;0,2;0,2)
A_2	(0,75;0,75;0,15;0,15)	(0;0,2;0;0,2)	(0,9;1;0,1;0)
A_3	(0,9;1;0,1;0)	(0,5;0,5;0,3;0,3)	(0,25;0,25;0,15;0,15)
w	(0,5;0,5;0,2;0,2)	(0,75;0,75;0,15;0,15)	(0,25;0,25;0,15;0,15)

Şimdi denklem (5.90) kullanılarak her alternatif için fayda fonksiyonları elde edilebilir:

Örnek olarak U_1 hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= \sum_{j=1}^3 w_j r_{1j} = (0,5;0,5;0,2;0,2) * (0;0,1;0;0,1) + (0,75;0,75;0,15;0,15) * (0,8;1;0,2;0) + \\
 &\quad (0,25;0,25;0,15;0,15) * (0,5;0,5;0,2;0,2) \\
 &= (0; 0,05; 0; 0,09) + (0,6; 0,75; 0,24; 0,15) + (0,125; 0,125; 0,095; 0,155) \\
 &= (0,725; 0,925; 0,335; 0,395)
 \end{aligned}$$

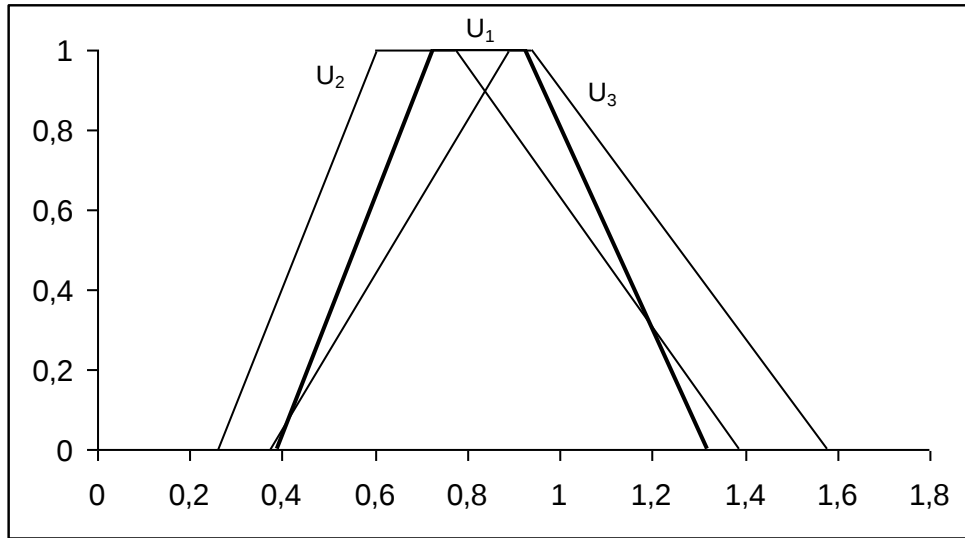
hesaplamalarda toplama için denklem (5.86) ve çarpma için de denklem (5.88) kullanılmıştır.

Tüm alternatifler bulanık fayda değerleri hesaplanmış ve aşağıda verilmiştir:

U_1	(0,725; 0,925; 0,335; 0,395)
U_2	(0,6; 0,775; 0,34; 0,615)
U_3	(0,888; 0,938; 0,518; 0,643)

Şekil 5.32’de elde edilen bulanık faydalar grafik üzerinde gösterilmiştir.

Her alternatif için fayda değerleri elde edildikten sonra alternatiflerin sıralamasına geçilebilir. Sıralama için önceki bölümlerde anlatılan bulanık sıralama yöntemlerinden biri kullanılabilir. Burada gözleme dayanan sezgisel bir yaklaşımla $U_3 > U_1 > U_2$ elde edilmiştir.



Şekil 5.32 Bonissone Yaklaşımı örneğinde elde edilen U_i bulanık fayda puanları

5.3.1.5 Basit Ağırlık Toplama Yöntemlerinin Değerlendirmesi

Çalışmada incelenen BÇÖKV problemlerini basit ağırlık toplama mantığıyla çözmeye çalışan yöntemlerden Bonissone yaklaşımında yamuk bulanık sayılar ve onlar için tanımlanmış özel bulanık aritmetik işlemleri kullanılarak U_i fayda puanları doğrudan hesaplanır. Bu yüzden Bonissone'nin yaklaşımı bu gruba giren diğer yaklaşımlara göre uygulaması daha kolaydır. Diğer üç yöntemde (Baas ve Kwakernaak, Kwakernaak, ve Dubois ve Prade yaklaşımları) ise α kesim tekniği kullanılarak çeşitli α düzeylerinde U_i değerleri bulup esas U_i üyelik fonksiyonunu tahmin edilir.

α kesim tekniği kullanan yöntemlerde önce belirlenen α_0 düzeyinde $\mu_{w_j}(y_j) = \mu_{r_{ij}}(x_{ij}) = \alpha_0$ 'ı sağlayan y_j ağırlıkları ve x_{ij} performans puanları bulunur. Eğer birer tane y_j ve x_{ij} değeri varsa doğrudan denklem (5.91) yardımıyla belirlenen α_0 düzeyinde U_i üyelik derecesi bulunur.

$$U_i = \sum_{j=1}^n y_j x_{ij} / \sum_{j=1}^n y_j \quad (5.91)$$

Birden çok y_j ve x_{ij} değerleri mevcut ise farklı y_j , x_{ij} kombinasyonları için farklı U_i değerleri elde edileceğinden U_i için bir aralık belirlenir. Bunun için denklem (5.91)'i sağlayan enbüyük ve enküçük U_i değerlerinin elde edildiği y_j , x_{ij} kombinasyonları belirlenmelidir. İncelenen α kesim yaklaşımlarının farklılığı burada ortaya çıkar. Baas ve Kwakernaak tüm kombinasyonları deneyerek enbüyük ve enküçük U_i

değerine ulaşır. Kwakernaak denklem (5.91)'i iki parçaya üzerinde düşünmüştür: x_{ij} ve y_j kısımları. Denklemi en küçüklemek için x_{ij} değerlerinin en küçük olması gerektiğini söyler (bölümün payında olduğu için) ve uygun y_j 'yi belirlenen x_{ij} değerleriyle deneyerek bulur (çünkü y_i hem payda hem de paydada vardır). Enbüyük U_i 'yi de benzer yaklaşımla en büyük x_{ij} 'lerle y_j 'leri deneyerek bulur. Dubois ve Prade uygun x_{ij} ve y_j değerlerini bir seferde bulur. Bunu yaparken x_{ij} değerlerini sıralar ve belirlediği ağırlıklarla çarpar.

Üç yöntemdeki deneme sayılarına bakılacak olursa; Bass ve Kwakernaak yaklaşımında ikişer y_j ve x_{ij} değerleri olduğu düşünülürse her alternatif için bir α düzeyinde 2^{m+n} tane (m alternatif, n ölçüt sayısıdır) U_i hesaplanır. Kwakernaak yaklaşımında bu sayı 2^n 'e Dubois ve Prade yaklaşımında ise 1'e düşer.

Yöntemler ayrıntılı olarak incelenince Kwakernaak yaklaşımında mantıksal bir hatanın olduğu belirlenmiştir. Yöntemin algoritmasının üçüncü adımında x_{ij} ve y_{ij} değerleri sıralandığında ölçütlerin ağırlıkları ile alternatiflerin ölçütlerden aldıkları puanların karıştığı belirlenmiştir. Yani x_{ij} i'inci alternatifin j'inci ölçütten aldığı puan ve y_j de j'inci ölçütün ağırlığı olduğu bilinirken; m_j 'lerin alternatifin hangi ölçütten aldığı puan olduğu ve z_j 'leri de hangi ölçütün ağırlığından geldiği bilinemez. Bu yüzden adım4'teki hesaplamalarda z_k 'ların m_k 'larla çarpılmasında alternatifin herhangi bir performans puanı ile herhangi bir ölçütün ağırlığı çarpılmış olacağından yanlış sonuçlar verebilir. Örneğin incelenen sayısal örnekte w_1 ve w_2 yer değiştirdiği zaman yani ağırlıklar değiştiği zaman z değerleri değişmez ve sonuç da verilen örnektekiyle aynı olur. Bu mantıksız bir durumdur. Bu sorunu gidermek için adım3'te x_{ij} 'ler küçükten büyüğe sıralandıktan sonra y_j 'ler değerlerine göre değil ilgili x_{ij} 'lere göre sıralanmalıdır. Örneğin $m_1 = x_{ik}$ olarak bulunmuşsa $z_1 = y_k$ olmalıdır. Böylece ölçütün performans değeri o ölçütün ağırlığı ile işleme sokulabilir.

Dubois ve Prade yaklaşımında da benzer bir yanlışlık vardır. Önceden belirtildiği gibi yöntemde x_{ij} değerlerini sıralanır ve yeniden hesaplanan ağırlıklarla çarpılır. Fakat hesaplanan ağırlıkların x_{ij} değeriyle ilgili olması garanti değildir. Yani alternatifin birinci ölçütten aldığı puan iki ölçütün ağırlığı ile çarpılabilir. Örneğin; sayısal örnekteki A_1 alternatifi ve A_1 alternatifi ile birinci ölçütten aldığı puan aynı X_2 ve X_3 'den aldığı puan yer değişmiş olarak verilmiş bir A_1^* alternatifi olsun.

	X_1	X_2	X_3
A_1^*	(0;0;0,1;0,2)	(0,6;0,8;1;1)	(0,3;0,5;0,5;0,7)
A_1^*	(0;0;0,1;0,2)	0,3;0,5;0,5;0,7)	(0,6;0,8;1;1)
W	(0,3;0,5;0,5;0,7)	(0,6;0,75;0,75;0,9)	(0,1;0,25;0,25;0,4)

A_1^* 'in ağırlığı daha yüksek olan X_2 'den aldığı puan daha yüksek olduğu için A_1 , A_1^* 'dan daha iyidir denebilir. Fakat Dubois ve Prade yönteminde iki alternatif de birbirine eşit çıkacaktır. Çünkü ağırlıklar aynı olduğu için P değerleri aynı olacaktır ve m değerleri bulunurken x_{ij} 'leri sıralaması göz önüne alındığı için m değerleri de aynı çıkacaktır. Böylece bu yöntemin yanlış sonuçlar verebileceği ortaya çıkar.

Sayısal örneklerin sonuçları incelendiğinde de aynı sonuca varılabilir. Dubois ve Prade yaklaşımındaki örnekte $U_2 > U_3 > U_1$ şeklinde bir sıralama oluşurken Bonissone yaklaşımında bu sıralama $U_3 > U_1 > U_2$ düzenindedir. Bulanık faydaların gösterildiği Şekil 5.30 ve Şekil 5.32 incelendiğinde de farklılık ortaya çıkar.

5.3.2 Analitik Hiyerarşi Sürecine Bulanık Yaklaşımlar

Analitik hiyerarşi süreci (AHS) bir ÇÖKV problemini hiyerarşik bir sistem olarak ayrıştırır ve bu sistemi çözmeye çalışır. Yöntemin en önemli özelliklerinden birisi karar vericiyi karar verme sürecine dahil etmesidir. Yöntemde alternatiflerin ölçütlere göre aldığı puanlar veya verilerden yararlanılsa bile bunlar doğrudan kullanılmaz. Karar vericinin bunlardan yararlanarak alternatifleri ölçütler bazında ikili karşılaştırmaları istenir. Bir başka deyişle AHS karar vericiden her ölçüt için $A_1, A_2, \dots, A_m$ alternatifleri arasındaki ikili karşılaştırmayı gösteren a_{ij} oranlarını tedarik etmesi istenir. İkili karşılaştırma ölçütler arasında da yapılır. Bunun sonunda n ölçüt olduğu durumda n+1 tane pozitif ikili karşılaştırma matrisi elde edilir. Matrisler biçim olarak aşağıdaki gibidir [3,7].

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (5.92)$$

A tüm a_{ij} 'ler pozitif olan bir eşlenik matristir. a_{ij} oranı karar vericiye göre A_i 'nin A_j 'ye göreceli önemini gösterir. Örneğin karar verici A_1 'in A_5 'ten daha önemli olduğunu düşünüyorsa, a_{15} 3/1 veya 5/1 veya 7/1 veya 9/1'e eşit olabilir. Oranlar için genelde Tablo 5.6'de verilen önem dereceleri kullanıldığından $a_{15} = s_1/s_2$, $s_1, s_2 \in \{1,2,\dots,9\}$ olabilir. Dikkat edilmesi gereken nokta eğer $a_{15} = 3/1$ ise $a_{51} = 1/3$ olması gerektiridir, zaten bu yüzden A matrisi eşlenik olarak nitelenmiştir.

Tablo 5.6 Analitik hiyerarşi yönteminde kullanılan ölçek [7]s.57

Önem derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
3	Birinin diğerine göre orta derecede daha önemli olması	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor.
5	Kuvvetli önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli derecede tercih ettiriyor.
7	Çok kuvvetli düzeyde önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor
9	Aşırı düzeyde önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahip
2,4,6,8	Ortalama değerleri	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasına düşen değerler.

AHS yönteminde her ölçüt için hazırlanmış ikili karşılaştırma matrisleri A_i alternatifinin X_j 'ye göre performans puanını (r_{ij}) hesaplamak için kullanılır. Ölçütler arasındaki ikili karşılaştırma matrisi ise ölçütlerin ağırlıklarını tespit etmek için kullanılır. Sonuç olarak aşağıda verilen karar matrisi ve ağırlıklar elde edilir:

$$D = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & & X_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & & & \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \underline{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n) \quad (5.93)$$

Klasik AHS'de (5.92)'den (5.93)'ya geçiş özvektör yöntemiyle gerçekleştirilir. (5.93) elde edildikten sonra A_i alternatiflerinin faydaları U_i 'yi bulmak için klasik basit ağırlık toplama yöntemi (bölüm 5.3.1) uygulanır.

AHS yöntemi ilk olarak Saaty tarafından önerilmiştir. Saaty iki çeşit bulanıklık olduğunu söylemiştir: (1) algıda bulanıklık ve (2) anlamda bulanıklık. Birincisi bir seferde kavranmayan nesnelerin veya fikirlerin karmaşıklığından kaynaklanmaktadır. İkincisi ise anlamın göreceliğiyle ilgilidir. AHS işte bu bulanıklıkları temsil etmek üzere geliştirilmiştir. Fakat yöntemin açıklamasında da görülebileceği gibi a_{ij} , $\forall i,j$, ikili karşılaştırma oranları reel sayılardır. Yani bulanık bilgileri ifade etmek için doğrudan bulanık sayılar veya üyelik fonksiyonları kullanılmamıştır. Bu yüzden klasik AHS'ne tam olarak bir bulanık modelleme denemez.

Klasik AHS (1)Laarhoven ve Pedrycz ve (2) Buckley tarafından bulanık durumlar için genişletilmiştir.

5.3.2.1 Laarhoven ve Pedrycz Yaklaşımı

Laarhoven ve Pedrycz klasik AHS yönteminde sözel ifadelerin bulanık sayılarla doğrudan temsil edilmesini sağlayan bir algoritma önermiştir. Klasik AHS’de bulanıklık, doğrudan temsil edilmek yerine eşlenik matris kullanarak dolaylı yolla modellenir. Laarhoven ve Pedrycz’in önerdiği yöntemde AHS’de kullanılan eşlenik matrisin elemanları üçgen bulanık sayılarla gösterilir. Hesaplama adımları AHS’dekilerle aynıdır. Bulanık ağırlıkları ve performans puanlarını elde etmek için Lootsma logaritmik en küçük kare yöntemi kullanılır. Bulanık faydaları hesaplamada üçgen bulanık sayılar için geliştirilen aritmetik işlemler uygulanır. Ayrıca eşlenik matriste birden çok karar vericinin fikirleri modellenebilir. Yöntem incelenirken önce Lootsma logaritmik en küçük kare yöntemine sonra üçgen bulanık sayılar için geliştirilen aritmetik işlemlere ve son olarak da algoritmaya değinilecektir.

Lootsma Logaritmik En Küçük Kare Yöntemi

Ağırlık değerlendirme yöntemi olarak Lootsma logaritmik en küçük kare yöntemi seçilmiştir çünkü bu yöntem birden çok karar vericinin fikirlerini ele almak için uygundur ve bulanık model için kolayca genişletilebilmektedir.

A pozitif eşlenik matrisi aşağıdaki gibi gösterilsin:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Burada a_{ij} reel sayılardır. $\underline{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ vektörü (5.94) en küçükleyerek elde edilir:

$$\sum_{i < j} (\ln a_{ij} - \ln(w_i / w_j))^2. \quad (5.94)$$

Birden çok karar verici olduğunda $\underline{w}$ ağırlık vektörü (5.95) en küçükleyerek türetilir:

$$\sum_{i < j} \sum_{k=1}^{P_{ij}} (\ln a_{ijk} - \ln(w_i / w_j))^2 \quad (5.95)$$

burada a_{ijk} , $k=1,2,\dots,P_{ij}$, w_i / w_j için P_{ij} adet tahmindir. P_{ij} , a_{ij} için fikir belirten karar verici sayısıdır. P_{ij} sıfır olabilir (hiç karşılaştırma oranı belirtilmediyse), 1 olabilir ve birden çok olabilir (çeşitli karar vericiler kendi karşılaştırma oranlarını belirtirler).

Eğer $y_{ijk} = \ln(a_{ijk})$, $z_i = \ln(w_i)$ ve $z_j = \ln(w_j)$ konursa, en küçüklenecek fonksiyon şu hale gelir:

$$\sum_{i < j} \sum_{k=1}^{P_{ij}} (y_{ijk} - z_i + z_j)^2 \quad (5.96)$$

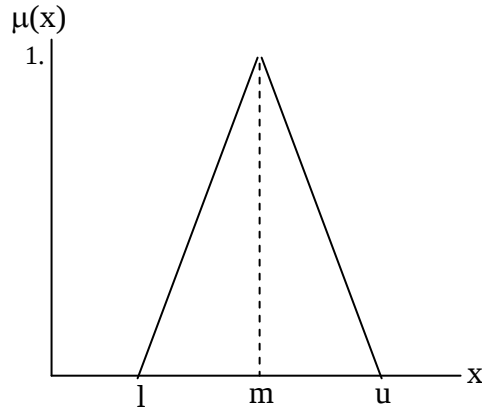
Denklem (5.96) aşağıdaki denklemlerin z_i için çözülmesiyle en küçüklenir:

$$z_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n P_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n P_{ij} z_j = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \sum_{k=1}^{P_{ij}} y_{ijk}, \forall i \quad (5.97)$$

e üzeri z_i 'ler alınarak ve çıkan sonuçlar normalize edilerek $\underline{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ ağırlık vektörleri için tahminler oluşturulur.

Üçgen Bulanık Sayılar İçin Geliştirilen Aritmetik İşlemler

Laarhoven ve Pedrycz eşlenik matrisin elemanlarını üçgen bulanık sayılarla temsil etmiştir (Şekil 5.33'te örnek bir bulanık üçgen sayı verilmiştir). Bu yüzden hesaplamalarda gerekli olan üçgen bulanık sayılar için oluşturulan toplama ve çarpma işlemlerinin bilinmesi gerekir.



Şekil 5.33 (l, m, u) bulanık üçgen sayısı

Aşağıda $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ bulanık üçgen sayıları için toplama ve çarpma işlemleri verilmiştir:

$$(l_1, m_1, u_1) (+) (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (5.98)$$

$$(l_1, m_1, u_1) (\cdot) (l_2, m_2, u_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \quad (5.99)$$

Algoritma

Adım1 Karar vericilere danışılarak $n+1$ bulanık eşlenik matris elde edilir. Elde edilen matrisler aşağıdaki biçimde olmalıdır.

$$D = \begin{bmatrix} (1,1,1) & a_{121} & \dots & a_{1n1} \\ & a_{222} & & a_{1n2} \\ & \vdots & & \vdots \\ & a_{12P_{12}} & & a_{1nP_{1n}} \\ \hline a_{211} & (1,1,1) & \dots & a_{2n1} \\ a_{212} & & & a_{2n2} \\ \vdots & & & \vdots \\ a_{21P_{21}} & & & a_{2nP_{2n}} \\ \hline \vdots & & & \\ a_{n11} & a_{n21} & \dots & \\ a_{n12} & a_{n22} & \dots & (1,1,1) \\ \vdots & \vdots & & \\ a_{n1P_{n1}} & a_{n2P_{n2}} & & \end{bmatrix}$$

Burada $a_{ijP_{ij}}$ değerleri çok sayıda karar verici tarafından belirtilen bulanık oranlardır.

Adım2 $z_i = (l_i, m_i, u_i)$ olursa aşağıdaki doğrusal denklemler çözülür:

$$l_i \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n P_{ij} \right) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n P_{ij} u_j = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \sum_{k=1}^{P_{ij}} [\ln l_{ijk}], \forall i \quad (5.100)$$

$$m_i \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n P_{ij} \right) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n P_{ij} m_j = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \sum_{k=1}^{P_{ij}} [\ln m_{ijk}], \forall i \quad (5.101)$$

$$u_i \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n P_{ij} \right) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n P_{ij} l_j = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \sum_{k=1}^{P_{ij}} [\ln u_{ijk}], \forall i \quad (5.102)$$

$\ln(l_{ijk})$ ve $\ln(u_{ijk})$; $\ln(a_{ijk}) = -\ln(a_{jik})$ değerlerinin alt ve üst değerleri olduğundan aşağıdaki eşitlikler sağlanmalıdır:

$$\ln(l_{ijk}) + \ln(l_{jik}) = \ln(u_{ijk}) + \ln(u_{jik}) = 0, \forall i, j, k$$

bu yüzden denklemler (5.100) ve (5.102) lineer bağımlıdır. Aynı konu denklem (5.101) için de geçerlidir. Genel olarak (5.100), (5.102) ve (5.101) denklemleri için çözüm t_1 ve t_2 keyfi olarak seçilirse şöyledir:

$$z_i = (l_i + t_1, m_i + t_2, u_i + t_1)$$

Adım3 Hatırlanacağı gibi yukarıdaki lineer sistemde tüm sağ taraf değerleri logaritmik fonksiyonlardı. Bu yüzden bulanık ağırlıkları almak için e üzeri l_i , m_i ve u_i 'ler hesaplanmalıdır.

$$w_i = (\lambda_1 \exp(l_i), \lambda_2 \exp(m_i), \lambda_3 \exp(u_i)) \quad (5.103)$$

denklemdaki λ 'ların değerleri şöyledir:

$$\lambda_1 = \left(\sum_{i=1}^n \exp(u_i) \right)^{-1}, \quad \lambda_2 = \left(\sum_{i=1}^n \exp(m_i) \right)^{-1}, \quad \lambda_3 = \left(\sum_{i=1}^n \exp(l_i) \right)^{-1}.$$

Denklem (5.103) r_{ij} performans puanlarını elde etmek için de kullanılabilir.

Adım4 Tüm eşlenik matrisler bulununcaya kadar adım1'den adım3'e kadarki süreç tekrarlanır. Bulanık ağırlıklar ve performans puanları hesaplanınca bulanık fayda belirlenebilir. A_i alternatifi için U_i bulanık faydası aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad (5.104)$$

Üçgen bulanık sayılar arasındaki işlemler denklem (5.98) ve (5.99)'e göre yapılır.

Sayısal Örnek

Önceki bölümlerdeki emekli örneği genişletilerek Laarhoven ve Pedrycz yaklaşımıyla çözülecektir. Emekli memur 3 ev arasından büyüklük (X_1), modern donanım (X_2) ve ulaşım (X_3) ölçütlerine göre birini seçmek istemektedir. Emekli kararı tek başına vermektense iki emlakçıya daha danışarak vermenin daha doğru olduğunu düşünmektedir. Böylece toplam karar verici sayısı üç olmuştur. Problem için algoritma adımları uygulanmıştır.

Adım1 Önce ölçütler bazında tüm alternatiflerin ve ölçütlerin kendi aralarında ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur (Tablo 5.7'den Tablo 5.10'e kadar oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri verilmiştir.

Dikkat edilecek olursa matrislerde eksik olan yerler vardır. Bunun anlamı herhangi bir karar vericinin matrisin o bölümüyle ilgili fikir belirtmemiş olmasıdır. Matrislerin tüm elemanları üçgen bulanık sayılardan oluşmaktadır.

Tablo 5.7 X_1 'e göre alternatiflerin ikili karşılaştırması

	A1	A2	A3
A1	(1, 1, 1)	(2/7, 1/3, 2/5) (2/5, 1/2, 2/3)	(2/9, 1/4, 2/7) (2/11, 1/5, 2/9) (2/9, 1/4, 2/7)
A2	(5/2, 3, 7/2) (3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3) (2/5, 1/2, 2/3)
A3	(7/2, 4, 9/2) (9/2, 5, 11/2) (7/2, 4, 9/2)	(3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)

Tablo 5.8 X2'ye göre alternatiflerin ikili karşılaştırması

	A1	A2	A3
A1	(1, 1, 1)	(5/2, 3, 7/2) (7/2, 4, 9/2)	(2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2)
A2	(2/7, 1/3, 2/5) (2/9, 1/4, 2/7)	(1, 1, 1)	-
A3	(2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2)	-	(1, 1, 1)

Tablo 5.9 X3'e göre alternatiflerin ikili karşılaştırması

	A1	A2	A3
A1	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2)
A2	(3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2)
A3	(2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3)	(2/5, 1/2, 2/3) (2/7, 1/3, 2/5)	(1, 1, 1)

Tablo 5.10 Ölçütlerin ikili karşılaştırması

	A1	A2	A3
A1	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3) (2/5, 1/2, 2/3)	(3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2)
A2	(2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2)
A3	(2/5, 1/2, 2/3) (2/5, 1/2, 2/3)	(2/5, 1/2, 2/3) (2/7, 1/3, 2/5)	(1, 1, 1)

Adım2 $z_i = (l_i, m_i, u_i)$ denir ve Tablo 5.7'e denklemler (5.100), (5.101) ve (5.102)

uygulanır. Aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$5l_1 - 2u_2 - 3u_3 = -6,882 \quad (5.105)$$

$$4l_2 - 2u_1 - 2u_3 = -0,511$$

$$5l_3 - 3u_1 - 2u_2 = 4,821$$

$$5m_1 - 2m_2 - 3m_3 = -6,174$$

$$4m_2 - 2m_1 - 2m_3 = 0,405$$

$$5m_3 - 3m_1 - 2m_2 = 5,768$$

$$5u_1 - 2l_2 - 3l_3 = -0,5331$$

$$4u_2 - 2l_1 - 2l_3 = 1,358$$

$$5u_3 - 3l_1 - 2l_2 = 6,545$$

Örnek olarak, (5.105)'deki denklemlerin oluşturulmasını görebilmek için birinci denklemin nasıl oluşturulduğu incelenmiştir:

$$l_1 \left(\sum_{j=2}^3 P_{1j} \right) - \sum_{j=2}^3 P_{1j} u_j = \sum_{j=2}^3 \sum_{k=1}^{P_{1j}} [\ln l_{1jk}]$$

$$5l_1 - 2u_2 - 3u_3 = \ln(2/7) + \ln(2/5) + \ln(2/9) + \ln(11/2) + \ln(2/9) = -6,882.$$

(5.105)'de belirtilen denklemler çözülmüş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

i	l_i	m_i	u_i
1	-0,809	-0,780	-0,735
2	-0,104	0,068	0,246
3	0,621	0,713	0,782

Adım3 Yukarıda elde edilen l_i , m_i , u_i değerlerinin e üzerleri alınmalıdır.

i	$\exp(l_i)$	$\exp(m_i)$	$\exp(u_i)$
1	0,445	0,458	0,479
2	0,901	1,070	1,278
3	1,861	2,039	2,186

Elde edilen değerleri denklem (5.103)'da yerlerine koyarak bulanık performans puanları r_{11} hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} r_{11} &= (\lambda_1 \exp(l_i), \lambda_2 \exp(m_i), \lambda_3 \exp(u_i)) \\ &= (0,133; 0,128; 0,149) \end{aligned}$$

hesaplama da kullanılan λ_1 şöyle hesaplanmıştır:

$$\lambda_1 = \left(\sum_{i=1}^3 \exp(u_i) \right)^{-1} = 0,254$$

benzer şekilde $\lambda_2 = 0,280$ ve $\lambda_3 = 0,312$ bulunur. r_{12} ve r_{13} bulanık performans puanları r_{11} 'in hesabındaki benzer işlemlerle bulunmuştur:

r_{11}	r_{12}	r_{13}
(0,133; 0,128; 0,149)	(0,288; 0,300; 0,399)	(0,472; 0,572; 0,682)

Adım4 Tüm bulanık ağırlıklar ve performans puanlarını elde etmek için birden üçe kadar olan adımlar Tablo 5.8, Tablo 5.9 ve Tablo 5.10'a uygulanır. Aşağıdaki tablo oluşturulur:

	X1	X2	X3
A1	(0,113; 0,128; 0,149)	(0,372; 0,480; 0,609)	(0,207; 0,278; 0,380)
A2	(0,228; 0,300; 0,399)	(0,113; 0,139; 0,170)	(0,425; 0,518; 0,615)

$$A3 \mid (0,472; 0,572; 0,682) (0,252; 0,381; 0,577) (0,160; 0,204; 0,269) \mid$$

$$\underline{w} = [(0,242; 0,329; 0,450), (0,371; 0,490; 0,632), (0,149; 0,181; 0,231)]$$

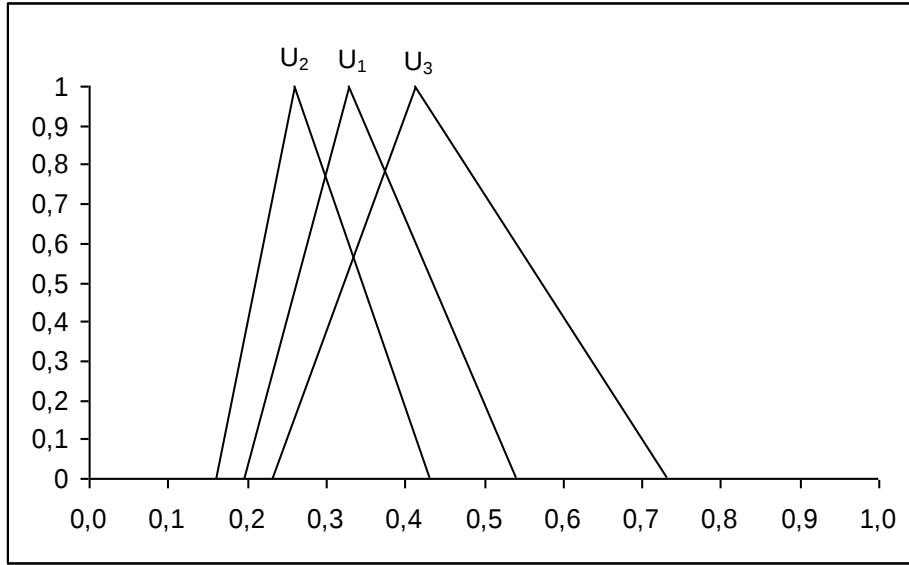
Böylece BÇÖKV modeli elde edilmiş olundu. Denklem (5.104) uygulanarak bulanık faydalar hesaplanabilir. Örnek olarak U_1 hesaplanmıştır:

$$U_1 = \sum_{j=1}^3 w_j r_{1j} = (0,196; 0,328; 0,540)$$

U_2 ve U_3 de benzer şekilde hesaplanmıştır:

U_1	(0,196; 0,328; 0,540)
U_2	(0,161; 0,260; 0,429)
U_3	(0,232; 0,412; 0,733)

Şekil 5.34'de elde edilen bulanık faydalar şekil üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre şekil üzerinde $U_3 > U_2 > U_1$ olduğu görülebilir. İstenirse sıralama işlemi herhangi bir bulanık sıralama yöntemi kullanılarak yapılabilir.



Şekil 5.34 Laarhoven ve Pedrycz yaklaşımı örneği bulanık fayda puanları

Adım2'de (5.105)'deki denklemlerin bir tane çözüm kümesi olmayabilir. Örnekte yapılan hesaplamalarda farklı birçok $z_i = (l_i, m_i, u_i)$ elde edilmiştir. Fakat farklı $z_i = (l_i, m_i, u_i)$ değerlerinden elde edilen r_{ij} performans puanları birbirleriyle aynıdır.

5.3.2.2 Buckley Yaklaşımı

Buckley klasik AHS yöntemini bulanık karşılaştırma oranlarını kullanarak genişletmiştir. Laathoven ve Pedrycz'in yönteminin ise iki önemli sorunu olduğunu belirlemiştir. Bu sorunlardan ilki (5.100), (5.101) ve (5.102) numaralı denklemlerden her zaman tek bir çözüm elde edilememesidir. İkincisi ise yöntemin ağırlıklar için

üçgen bulanık sayı elde etmek için direktmesidir. Üçgen bulanık sayıların cebirsel işlemleri sonucunda üçgen bulanık sayı elde etme gerekliliği olmadığı için Laathoven ve Pedrycz bulanık sayı şeklini korumaya yönelik yöntemler uygulamıştır.

Buckley bu sorunları ortadan kaldırmak için bulanık ağırlıkları ve performans puanlarını türetirken geometrik ortalama yöntemini kullanır. Bu yöntemi seçmesinin nedeni yöntemin bulanık modele uygun olması ve eşlenik karşılaştırma matrisine tek çözüm bulmayı garanti etmesidir. Buckley karar verici tarafından belirtilen bulanık oranları temsil etmek için üçgen bulanık sayı yerine yamuk bulanık sayı kullanmıştır. Fakat bulanık faydaların gösterimi yamuk sayılarla kısıtlanmamıştır.

Geometrik Ortalama Yöntemi

Pozitif karşılaştırma matrisi aşağıdaki gibi verilirse;

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Her satırın geometrik ortalaması şu şekilde hesaplanır:

$$z_i = \left[\prod_{j=1}^n a_{ij} \right]^{1/n} \quad (5.106)$$

w_i ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$w_i = z_i / (z_1 + \dots + z_n), \forall i. \quad (5.107)$$

Bulanık ağırlıkların, bulanık performans puanlarının ve bulanık faydaların hesaplamasını sağlamak için aritmetik operasyonlar verilecektir.

Yamuk Bulanık Sayılar için Toplama ve Çarpma İşlemleri

Yamuk bulanık sayıların Şekil 5.29'teki biçimde gösterildikleri ve Tüm $\bar{a}_{ij}$, $\forall i,j$ karşılaştırma oranlarının $(a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$ yamuk bulanık sayılar olduğu varsayılarak toplama ve çarpma işlemleri aşağıda tanımlanmıştır.

$M_1 = (a_1, b_1, c_1, d_1)$ ve $M_2 = (a_2, b_2, c_2, d_2)$ yamuk bulanık sayılar ise bunların toplamı Q aşağıdaki gibi bulunur:

$$Q = M_1 + M_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2) \quad (5.108)$$

$\mu_Q(x)$ de bir yamuk bulanık sayı olacaktır.

Aynı M_1 ve M_2 sayıları için çarpma işlemi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$Q = M_1 \times M_2 = [a(L_1, L_2), b, c, d(R_1, R_2)] \quad (5.109)$$

Buradaki değerlerin hesabı şöyledir:

$$\begin{aligned} a &= a_1 a_2, & b &= b_1 b_2, \\ c &= c_1 c_2, & d &= d_1 d_2, \\ L_1 &= (b_1 - a_1)(b_2 - a_2), & L_2 &= a_2(b_1 - a_1) + a_1(b_2 - a_2), \\ R_1 &= (d_1 - c_1)(d_2 - c_2), & R_2 &= -[d_2(d_1 - c_1) + d_1(d_2 - c_2)]. \end{aligned}$$

$\mu_Q(x)$ artık yamuk bulanık sayı değildir. Yatay eksendeki tek bir x için $\mu_Q(x)$ aşağıdaki gibi olabilir:

X	$\mu_Q(x)$
$\leq a$	0
$\geq d$	0
$b \leq x \leq c$	1
$a \leq x \leq b$	$\alpha \in [0, 1]$
$c \leq x \leq d$	$\alpha \in [0, 1]$

$a \leq x \leq b$ olduğunda x şöyle tanımlanır: $x_1 = [a_1, b_1]$ ve $x_2 = [a_2, b_2]$ verilsin, burada

$$x_i = (b_i - a_i)\alpha + a_i, \quad i=1,2 \text{ 'dir.} \quad (5.110)$$

$x = x_1 x_2$ çarpımı aşağıdaki formu alır:

$$x = L_1 \alpha^2 + L_2 \alpha + a, \quad \alpha \in [0, 1] \quad (5.111)$$

benzer şekilde $c \leq x \leq d$ olduğunda x aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$x = R_1 \alpha^2 + R_2 \alpha + a, \quad \alpha \in [0, 1] \quad (5.112)$$

$(a_i[L_{i1}, L_{i2}], b_i, c_i, d_i[R_{i1}, R_{i2}])$ Bulanık Sayıları için Toplama İşlemi

Q_1 ve Q_2 bulanık sayıları aşağıdaki gibi olsun:

$$\begin{aligned} Q_1 &= (a_1[L_{11}, L_{12}], b_1, c_1, d_1[R_{11}, R_{12}]) \\ Q_2 &= (a_2[L_{21}, L_{22}], b_2, c_2, d_2[R_{21}, R_{22}]) \end{aligned}$$

Q_1 ve Q_2 bulanık sayılarının toplamı şu şekilde tanımlanır:

$$Q' = \{(a_1 + a_2)[L_{11} + L_{21}, L_{12} + L_{22}], (b_1 + b_2), (c_1 + c_2),$$

$$(d_1 + d_2)[R_{11} + R_{21}, R_{12} + R_{22}] \quad (5.113)$$

x yatay ekseninde reel sayılar olsun, $\mu_Q(x)$ üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır:

X	$\mu_Q(x)$
$\leq (a_1 + a_2)$	0
$\geq (d_1 + d_2)$	0
$(b_1 + b_2) \leq x \leq (c_1 + c_2)$	1
$(a_1 + a_2) \leq x \leq (b_1 + b_2)$	$\alpha \in [0,1]$
$(c_1 + c_2) \leq x \leq (d_1 + d_2)$	$\alpha \in [0,1]$

$(a_1 + a_2) \leq x \leq (b_1 + b_2)$ olduğunda x şu şekilde oluşturulur:

$$x_i = L_{i1}\alpha^2 + L_{i2}\alpha + a_i, i=1,2$$

olduğu için $x = x_1 + x_2$ toplamı aşağıdaki biçimdedir:

$$x = (L_{11} + L_{21})\alpha^2 + (L_{12} + L_{22})\alpha + a_1 + a_2 \quad (5.114)$$

benzer şekilde $(c_1 + c_2) \leq x \leq (d_1 + d_2)$ olduğunda x'in hesabı şöyledir:

$$x = (R_{11} + R_{21})\alpha^2 + (R_{12} + R_{22})\alpha + d_1 + d_2 \quad (5.115)$$

Algoritma

Algoritma bir veya daha çok karar verici için uygulanabilir. Burada algoritmanın adımları tek bir karar verici olduğu varsayılarak düzenlenmiştir.

Adım1 Karar vericiye danışarak A karşılaştırma matrisi elde edilir. A'nın elemanları $\bar{a}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}), \forall i,j$ yamuk bulanık sayılardır.

Adım2 w_i bulanık ağırlıklarını hesaplamak için önce her satır için geometrik ortalamalar bulunur:

$$z_i = (\bar{a}_{i1} \otimes \Lambda \otimes \bar{a}_{in})^{1/n}, \forall i \quad (5.116)$$

$\otimes$ işareti bulanık çarpmayı temsil etmektedir. w_i bulanık ağırlık şu şekilde verilir:

$$w_i = z_i \otimes (z_1 \oplus \Lambda \oplus z_n)^{-1} \quad (5.117)$$

$\oplus$ bulanık toplama için kullanılmıştır.

w_i bulanık ağırlığının türetilmesiyle ilgili detaylar verilecek olursa; $\bar{a}_{ij}$ 'nin sağ ve sol ayakları sırasıyla tanımlanmıştır:

$$f_i(\alpha) = \left[\prod_{j=1}^n ((b_{ij} - a_{ij})\alpha + a_{ij}) \right]^{1/n}, \alpha \in [0,1], \quad (5.118)$$

$$g_i(\alpha) = \left[\prod_{j=1}^n ((c_{ij} - d_{ij})\alpha + b_{ij}) \right]^{1/n} \alpha \in [0,1]. \quad (5.119)$$

ayrıca

$$a_i = \left[\prod_{j=1}^n a_{ij} \right]^{1/n} \quad (5.120)$$

ve

$$a = \sum_{i=1}^m a_i \quad (5.121)$$

olur. Benzer şekilde b_i ve b , c_i ve c , d_i ve d tanımlanırsa; w_i bulanık ağırlığı aşağıdaki gibi belirlenir:

$$w_i = \left(\frac{a_i}{d}, \frac{b_i}{c}, \frac{c_i}{b}, \frac{d_i}{a} \right), \forall i, \quad (5.122)$$

burada $\mu_{w_i}(x)$ üyelik fonksiyonunun tanımı; x yatay ekseninde bir reel sayı olmak üzere aşağıdaki gibi özetlenebilir:

x	$\mu_{w_i}(x)$
$\leq (a_i/d)$	0
$\geq (d_i/a)$	0
$[b_i/c, c_i/b]$	1
$[a_i/d, b_i/c]$	$\alpha \in [0,1]$
$[c_i/b, d_i/a]$	$\alpha \in [0,1]$

$x \in [a_i/d, b_i/c]$ olduğunda x aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$x = f_i(\alpha) / g(\alpha); \quad (5.123)$$

$x \in [c_i/b, d_i/a]$ olduğunda ise x 'i bulmak için aşağıdaki formül kullanır:

$$x = g_i(\alpha) / f(\alpha). \quad (5.124)$$

(5.123) ve (5.124)'teki $f(\alpha)$ ve $g(\alpha)$ 'lar aşağıda tanımlanmıştır:

$$f(\alpha) = \sum_{i=1}^m f_i(\alpha) \quad (5.125)$$

$$g(\alpha) = \sum_{i=1}^m g_i(\alpha) \quad (5.126)$$

2. adım benzer usulle r_{ij} , $\forall i,j$, bulanık performans puanları elde edilinceye kadar tekrarlanır.

Adım3 Bulanık ağırlıklar ve bulanık performans puanları BÇÖKV problemindeki gibi toplanır. $U_i, \forall i$, bulanık faydalar aşağıdaki denkleme göre hesaplanır:

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij}, \forall i. \quad (5.127)$$

Bulanık sayıların çarpma ve toplama işlemleri önceden tanıtilan (5.108), (5.109) ve (5.113) denklemlerine göre yapılır.

Sayısal Örnek

Önceki bölümdeki emekli örneğinin düzenlenmiş hali Buckley yaklaşımıyla çözülecektir. Problem özetlenirse; emekli memur 3 ev arasından büyüklük (X_1), modern donanım (X_2) ve ulaşım (X_3) ölçütlerine dikkat ederek birini seçmek istemektedir. Burada sadece kendi değerlendirmelerine göre seçim yapacağı varsayılmıştır (tek karar verici).

Adım1 Karar vericiden (emekli memurdan) alternatiflerin her ölçüte göre ve ölçütlerin kendi aralarında ikili karşılaştırmalı göreceli ağırlık oranları istenmiş ve Tablo 5.11 - Tablo 5.14'deki değerler elde edilmiştir. Tablolardaki veriler (a,b,c,d) yamuk bulanık sayılardır (Örnek (a,b,c,d) yamuk bulanık sayısı Şekil 5.29'de görülebilir).

Tablo 5.11 X_1 'e göre göreceli ağırlık oranları

	A1	A2	A3
A1	1	(1/6,1/5,1/5,1/4)	(1/7,1/6,1/6,1/6)
A2	(4,5,5,6)	1	(1/2,1/2,1,1)
A3	(6,6,6,7)	(1,1,2,2)	1

Tablo 5.12 X_2 'e göre göreceli ağırlık oranları

	A1	A2	A3
A1	1	(4,5,5,5)	(2,2,2,2)
A2	(1/5,1/5,1/5,1/4)	1	(1/3,1/3,1/2,1/2)
A3	(1/2,1/2,1/2,1/2)	(2,2,3,3)	1

Tablo 5.13 X₃'e göre göreceli ağırlık oranları

	A1	A2	A3
A1	1	(1/6,1/5,1/5,1/5)	(2,2,2,3)
A2	(1,2,2,3)	1	(4,5,5,6)
A3	(1/3,1/2,1/2,1/2)	(1/6,1/5,1/5,1/4)	1

Tablo 5.14 Ölçütlerin göreceli ağırlık oranları

	X1	X2	X3
X1	1	(1/6,1/5,1/5,1/5)	(2,2,2,3)
X2	(1,2,2,3)	1	(4,5,5,6)
X3	(1/3,1/2,1/2,1/2)	(1/6,1/5,1/5,1/4)	1

Adım2 Tablo 5.11'deki için geometrik ortalama aşağıdaki gibi bulunur:

$$a_1 = \left(\prod_{j=1}^3 a_{1j} \right)^{1/3} = (a_{11} * a_{12} * a_{13})^{1/3} = (1 * 1/6 * 1/7)^{1/3} = 0,288$$

$$a_2 = \left(\prod_{j=1}^3 a_{2j} \right)^{1/3} = 1,260,$$

$$a_3 = \left(\prod_{j=1}^3 a_{3j} \right)^{1/3} = 1,817,$$

ve

$$a = \sum_{i=1}^3 a_i = 3,365.$$

Benzer hesaplamalarla b_i, c_i ve d_i ve b, c, d aşağıdaki gibi elde edilir:

i	1	2	3
a _i	0,288	1,260	1,817
b _i	0,322	1,357	1,817
c _i	0,322	1,710	2,289
d _i	0,347	1,817	2,410

Ve (a,b,c,d) = (3,365; 3,496; 4,321; 4,574) olarak elde edilir.

r_{ij} performans puanları aşağıdaki gibi oluşturulur:

$$r_{11} = \left(\frac{a_1}{d}, \frac{b_1}{c}, \frac{c_1}{b}, \frac{d_1}{a} \right) = (0,063; 0,074; 0,092; 0,103)$$

$$r_{21} = \left(\frac{a_2}{d}, \frac{b_2}{c}, \frac{c_2}{b}, \frac{d_2}{a} \right) = (0,275; 0,314; 0,489; 0,540)$$

$$r_{31} = \left(\frac{a_3}{d}, \frac{b_3}{c}, \frac{c_3}{b}, \frac{d_3}{a} \right) = (0,397; 0,421; 0,655; 0,716)$$

Adım2 diğer tüm matrisler için uygulanır ve r_{12} , r_{13} ve w_j bulanık sayıları elde edilir.

Adım3 Bahsedilen bulanık sayılar hesaplanmış ve problem ÇÖKV modeli haline dönüştürülmüştür:

$$\begin{array}{c|ccc} & X1 & X2 & X3 \\ \hline A1 & (0,063; 0,074; 0,092; 0,103) & (0,526; 0,572; 0,605; 0,633) & 0,149; 0,179; 0,179; 0,223 \\ A2 & (0,275; 0,314; 0,489; 0,540) & (0,107; 0,108; 0,130; 0,147) & 0,584; 0,709; 0,709; 0,871 \\ A3 & (0,397; 0,421; 0,655; 0,716) & (0,263; 0,266; 0,322; 0,336) & 0,082; 0,113; 0,113; 0,132 \end{array}$$

$$\underline{w} = [(0,246; 0,276; 0,421; 0,535), (0,309; 0,398; 0,607; 0,742), (0,107; 0,152; 0,184; 0,234)].$$

Sırada U_i bulanık faydaların hesaplanması vardır. Hesaplama yöntemini incelemek için U_1 'in elde edilmesi ayrıntılandırılacaktır. Öncelikle denklem (5.109) kullanılarak $w_j \times r_{1j}$, $j=1,2,3$ hesaplanmalıdır. Örneğin;

$$\begin{aligned} w_1 \times r_{11} &= [(a_1 a_2)(L_1, L_2), b_1 b_2, c_1 c_2, d_1 d_2(R_1, R_2)] \\ &= [0,01545 (0,00035; 0,00474); 0,02053; 0,03876; 0,0551 (0,00125; -0,0176)] \end{aligned}$$

$$\text{Burada } r_{11} = (0,063; 0,074; 0,092; 0,103) = (a_1, b_1, c_1, d_1)$$

$$w_1 = (0,246; 0,276; 0,421; 0,535) = (a_2, b_2, c_2, d_2)$$

$$L_1 = (b_1 - a_1)(b_2 - a_2), \quad L_2 = a_2(b_1 - a_1) + a_1(b_2 - a_2),$$

$$R_1 = (d_1 - c_1)(d_2 - c_2), \quad R_2 = -[d_2(d_1 - c_1) + d_1(d_2 - c_2)]$$

Olarak alınmıştır. Benzer şekilde $w_2 r_{12}$ ve $w_3 r_{13}$ elde edilmiştir. Sonuçlar aşağıdadır:

J	$w_j r_{1j}$
1	[0,01545 (0,00035; 0,00474); 0,02053; 0,03876; 0,0551 (0,00125; -0,01760)]
2	[0,16288 (0,00406; 0,06068); 0,22762; 0,36748; 0,46919 (0,00369; -0,10540)]
3	[0,01601 (0,00131; 0,00978); 0,02710; 0,03285; 0,05200 (0,00219; -0,02133)]

Denklem (5.113) kullanılarak yukarıdaki bulanık sayılar toplanır ve A_1 alternatifinin bulanık faydası U_1 elde edilir:

$$U_1 = [0,19433 (0,00572; 0,07521); 0,27525; 0,43908; 0,57629 (0,00712; -0,14433)]$$

Belirtilen U_1 ifadesinin üyelik fonksiyonu $\mu_{U_1}(x)$ şöyledir:

X	$\mu_{U_1}(x)$
$\leq 0,19433$	0
$\geq 0,57629$	0
$0,27525 \leq x \leq 0,43908$	1
$0,19433 \leq x \leq 0,27525$	$\alpha \in [0,1]$
$0,43908 \leq x \leq 0,57629$	$\alpha \in [0,1]$

$0,19433 \leq x \leq 0,27525$ olduğunda x şu şekilde oluşturulur:

$$x = 0,00572\alpha^2 + 0,07521\alpha + 0,19433$$

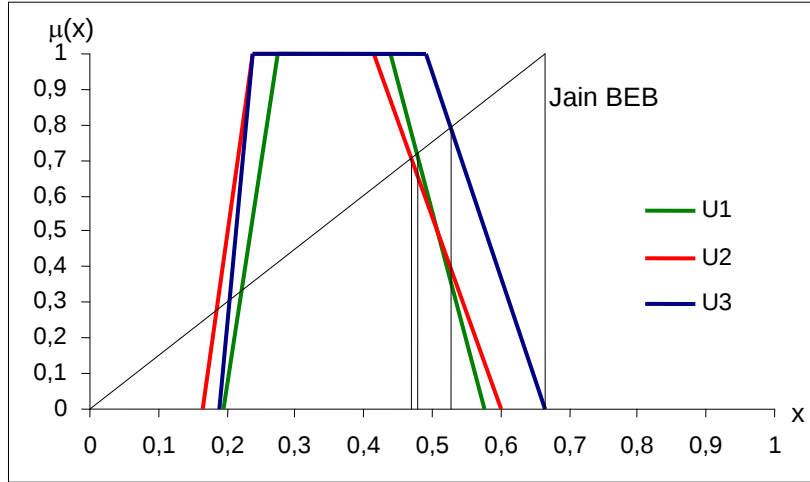
$0,43908 \leq x \leq 0,57629$ olduğunda ise x 'in hesabı şöyledir:

$$x = 0,00712\alpha^2 + (-0,14433)\alpha + 0,57629.$$

Diğer bulanık faydalar da benzer hesaplamalarla elde edilmiştir:

$$U_2 = [0,1633 (0,0068; 0,0688); 0,2370; 0,4154; 0,6013 (0,0161; -0,2019)]$$

$$U_3 = [0,1878 (0,0023; 0,0486); 0,2387; 0,4916; 0,6632 (0,0099; -0,1815)]$$



Şekil 5.35 Buckley yaklaşımı örneği bulanık faydaları

Şekil 5.35'da elde edilen bulanık faydalar şekil üzerinde gösterilmiştir. Son olarak alternatifleri temsil eden bulanık faydaların sıralanması gerekir. Sıralama için önceki bölümlerde anlatılan herhangi bir yöntem kullanılabilir. Burada diğer sıralama yöntemlerine göre daha az işlem gerektirdiği için Jain yaklaşımı (Bölüm 5.2.4.1) kullanılmıştır. Jain yaklaşımına göre bulanık faydalar için belirgin puanlar hesaplanmıştır. Her bir bulanık faydanın belirgin puanı Şekil 5.35'da gösterilen Jain BEB ile bulanık faydanın sağ bacağının kesişim noktasıdır. Aşağıda hesaplanan puanlar verilmiştir:

U_1	0,4775
U_2	0,4697
U_3	0,5269

Elde edilen sonuçlara göre sıralama $U_3 > U_1 > U_2$ şeklinde olur. Bu sıralama dikkate alınırsa emekli memur üçüncü evi seçmelidir.

5.3.2.3 Analitik Hiyerarşi Süreci Yaklaşımlarının Değerlendirmesi

Saaty tarafından geliştirilen klasik AHS yönteminde karar vericinin belirlediği ikili karşılaştırma ilişkileri belirgin sayılarla ifade edilmiştir. Yine de ikili karşılaştırma ilişkileri sürecin başında sözel olarak ifade edildikleri ve sonradan sözel ifadeler

belirgin sayılara dönüştürüldüğü için klasik AHS bulanık bir modelleme olarak görülebilir. Fakat esas bulanık yöntem olarak değerlendirilen yaklaşımlar “Laarhoven ve Pedrycz” ve Buckley tarafından geliştirilmiştir.

Laarhoven ve Pedrycz yaklaşımında karşılaştırma ilişkileri karar vericiden klasik AHS’deki gibi sözel olarak alınır. Fakat sözel ifadeler ikili karşılaştırma matrislerinde belirgin sayılarla değil üçgen bulanık sayılarla temsil edilir. Buckley yaklaşımında ise karar vericinin sözel ifadeleri yamuk bulanık sayılarla gösterilir. Laarhoven ve Pedrycz yaklaşımında her alternatifin bulanık faydası üçgen bulanık sayı olarak çıkar fakat Buckley yaklaşımında bulanık faydaların bulanık yamuk sayı olma zorunluluğu yoktur.

Klasik AHS’de özvektör yöntemiyle gerçekleştirilen karşılaştırma matrislerinden performans puanları ve ölçüt ağırlıklarına geçiş Laarhoven ve Pedrycz yaklaşımında Lootsma logaritmik en küçük kare yöntemiyle; Buckley yaklaşımında ise geometrik ortalama yöntemiyle gerçekleştirilir. Tablo 5.15’de bahsedilen konular özetlenmiştir.

Tablo 5.15 AHS yaklaşımlarının değerlendirmesi

	Klasik AHS	Laarhoven ve Pedrycz	Buckley
Sözel ikili karşılaştırmaların temsil edilmesi	Belirgin sayılarla	Üçgen bulanık sayılar	Yamuk bulanık sayılarla
Alternatiflerin fayda değerleri	Belirgin sayılar	Üçgen bulanık sayılar	Özel tanımlı bulanık sayılar
Ağırlık değerlendirme yöntemi	Özvektör yöntemi	Lootsma logaritmik en küçük kare yöntemi	Geometrik ortalama yöntemi

Önceden değinildiği gibi Laarhoven ve Pedrycz yaklaşımında ikinci adımda geçen (5.100), (5.101) ve (5.102) numaralı denklemlerin birden çok çözüm kümesi olabilir. Yöntem incelenirken verilen örnek için yapılan hesaplamalarda birçok farklı $z_i = (l_i, m_i, u_i)$ elde edilmiştir. Fakat farklı $z_i = (l_i, m_i, u_i)$ değerlerinden elde edilen r_{ij} performans puanları birbirleriyle aynıdır. Bu yüzden bahsedilen denklemlerin birden çok çözümünün olması yöntemin bir sorunu olarak görülmemelidir.

Laarhoven ve Pedrycz yaklaşımın en önemli sorunu $z_i = (l_i, m_i, u_i)$ olarak edilen değerlerin her zaman üçgen bulanık sayı vermeyeceğidir. Şöyle ki; bağımsız olarak hesaplandıkları için l_i m_i ’den veya m_i u_i ’den büyük çıkabilir. Ayrıca yöntemin başka bir sorunlu yanı çok fazla işlem içermesidir. Yöntemde sonuca ulaşabilmek için çok sayıda denklem çözmek ve dönüşüm yapmak gerekmektedir.

Buckley yaklaşımı Laarhoven ve Pedrycz yaklaşımının sorunlarını gidermek için önerilmiştir. Girdi olarak yamuk bulanık sayıları kullanmasına rağmen algoritmanın ilerleyen safhalarında yamuk bulanık sayı elde etmeye direktmemesi, farklı yapıda bir bulanık sayı kullanabilmesi işlemlerin doğruluğunu garanti altına alır. İncelenen sayısal örnekte elde edilen bulanık faydalar yönteminde tanımlanan bulanık sayı ((5.113)'deki gibi) biçiminde olmasına rağmen yaklaşık olarak yamuk bulanık sayılara eşit oldukları görülmüştür.

İncelen yöntemlerdeki sayısal örneklerin sonuçlarını karşılaştırmak çok doğru olmaz. Çünkü iki örnekte benzer olmasına rağmen aynı veriler kullanılmamıştır.

5.3.3 Negi Yaklaşımı

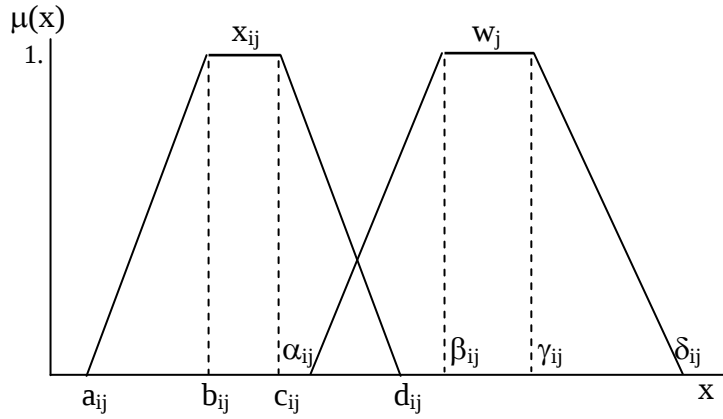
Negi bulanık veri içeren ÇÖKV problemlerinin klasik ÇÖKV algoritmalarında bulanık verinin yamuk bulanık sayılarla ifade edilebileceğini ve problemin bulanık sayı matematiği kullanılarak çözülebileceğini öngörmüştür. Yöntem klasik ÇÖKV algoritmaları üzerinde tanımlandığı için yeni bir algoritma içermemektedir. Önerilen yöntem çok geneldir ve herhangi bir bulanık veri içeren ÇÖKV problem çeşidine uygulanabilir. Negi, hangi ÇÖKV algoritmasının kullanılması gerektiğine karar verilmesini sistem analizcisine bırakmıştır.

Chen ve Hwang [3] çok bilinen ÇÖKV yöntemi olan TOPSIS'i kullanarak Negi yaklaşımını incelemiştir. Çalışma kapsamında Negi yaklaşımının TOPSIS'e uyarlanması ayrıntılı olarak incelenecektir.

Önce çözülecek problem tanımlanmıştır: D $m \times n$ boyutlu karar matrisi olsun.

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 & & X_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & & & \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

burada x_{ij} , $\forall i,j$ belirgin (klasik) veya bulanık olabilir. Eğer x_{ij} bulanık ise $x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$ şeklindeki yamuk bulanık sayı ile temsil edilir. Bulanık ağırlıklar da $w_{ij} = (\alpha_{ij}, \beta_{ij}, \gamma_{ij}, \delta_{ij})$ olarak ifade edilir. Şekil 5.36'te x_{ij} ve w_{ij} 'nin şekil üzerinde gösterimi örneklenmiştir.



Şekil 5.36 Negi yönteminde kullanılan yamuk bulanık sayılar

Algoritma

Adım1 D karar matrisi normalize edilir. Böylece elemanlar birimden bağımsız hale getirilir. TOPSIS'te kullanılan karmaşık normalizasyon formülü yerine doğrusal ölçek dönüşümü kullanılır. x_j^* , j'inci ölçütten alınan enbüyük puan x_j^- , j'inci ölçütten alınan enküçük puan olmak üzere doğrusal ölçek dönüşümü, x_{ij} , $\forall i, j$, için aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\begin{cases} r_{ij} = x_{ij} / x_j^*, \forall j, X_j \text{ fayda ölçütü} \\ r_{ij} = x_j^- / x_{ij}, \forall j, X_j \text{ maliyet ölçütü} \end{cases} \quad (5.128)$$

Denklem (5.128) uygulanarak başta tanımlanan karar matrisi yeniden yazılır:

$$D' = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 & \dots & X_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

x_{ij} belirgin olunca ilgili r_{ij} de belirgin olacaktır. x_{ij} bulanık olunca ilgili r_{ij} de bulanık olmalıdır. x_{ij} bulanık olması durumunda dönüşüm denklem (5.128) yerine aşağıdaki denklem kullanılarak gerçekleştirilir. $x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$ ve $x_j^* = (a_j^*, b_j^*, c_j^*, d_j^*)$ olursa;

$$\begin{cases} r_{ij} = x_{ij} (\div) x_j^* = \left(\frac{a_{ij}}{d_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{b_j^*}, \frac{d_{ij}}{a_j^*} \right) \\ r_{ij} = x_j^- (\div) x_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{d_{ij}}, \frac{b_j^-}{c_{ij}}, \frac{c_j^-}{b_{ij}}, \frac{d_j^-}{a_{ij}} \right) \end{cases} \quad (5.129)$$

Adım2 Ağırlıklandırılmış normal karar matrisi elde edilir. r_{ij} ve w_{ij} belirgin olduklarında bahsedilen matris aşağıdaki gibi elde edilir:

$$v_{ij} = r_{ij} w_{ij}, \forall i, j \quad (5.130)$$

eğer r_{ij} ve w_{ij} 'den herhangi biri veya ikisi birden bulanık ise denklem (5.130) yerine aşağıdakiler kullanılır:

$$v_{ij} = r_{ij}(\cdot) w_j = \left(\frac{a_{ij}}{d_j^*} \alpha_j, \frac{b_{ij}}{c_j^*} \beta_j, \frac{c_{ij}}{b_j^*} \gamma_j, \frac{d_{ij}}{a_j^*} \delta_j \right) \quad (5.131)$$

$$v_{ij} = r_{ij}(\cdot) w_j = \left(\frac{a_j^-}{d_{ij}} \alpha_j, \frac{b_j^-}{c_{ij}} \beta_j, \frac{c_j^-}{b_{ij}} \gamma_j, \frac{d_j^-}{a_{ij}} \delta_j \right) \quad (5.132)$$

Denklem (5.131) j'inci ölçüt fayda ölçütü ise ve denklem (5.132) de j'inci ölçüt maliyet ölçütü ise kullanılır. Denklemler (5.131) ve (5.132)'in uygulanmasıyla çıkan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

$$V = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 & & X_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & & & \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Adım3 Pozitif ideal çözüm (PIÇ), A^* ve Negatif ideal çözüm (NIÇ), A^- elde edilir. PIÇ ve NIÇ aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$A^* = [v_{11}^*, \dots, v_{1n}^*],$$

$$A^- = [v_{11}^-, \dots, v_{1n}^-].$$

Burada $v_j^* = \max_i v_{ij}$ ve $v_j^- = \min_i v_{ij}$ 'dir.

Belirgin veri için v_j^* ve v_j^- doğrudan elde edilebilir. Bulanık veri için ise v_j^* ve v_j^- çeşitli sıralama işlemleriyle (bölüm 4.2'de verilenler gibi) hesaplanır. Negi sıralama için Lee ve Li sıralama yöntemini kullanmıştır (çalışma içerisinde incelenmemiştir). Fakat çalışma içerisinde tanıtılan herhangi bir sıralama yöntemi ile de sonuçlar elde edilebilir. Lee ve Li sıralama yönteminde sıralama için kullanılan genel ortalama v_{ij} $\forall i, j$, bulanık sayısı için aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$M(v_{ij}) = \frac{(-a_{ij}^2 - b_{ij}^2 + c_{ij}^2 + d_{ij}^2 - a_{ij}b_{ij} + c_{ij}d_{ij})}{[3(-a_{ij} - b_{ij} + c_{ij} + d_{ij})]} \quad (5.133)$$

Adım4 S_i^* ve S_i^- ayırma ölçüleri elde edilir. Klasik (belirgin) durum için ayırma ölçüleri şu şekilde tanımlanmıştır:

$$S_i^* = \sum_{j=1}^n D_{ij}^*, i = 1, \dots, m \quad (5.134)$$

$$S_i^- = \sum_{j=1}^n D_{ij}^-, i = 1, \dots, m \quad (5.135)$$

belirgin veri için fark ölçüleri D_{ij}^* ve D_{ij}^- aşağıdaki gibidir:

$$D_{ij}^* = |v_{ij} - v_j^*|$$

$$D_{ij}^- = |v_{ij} - v_j^-|$$

Hesaplamalar doğrudan yapılır. Bulanık veri için Negi $\mu_{vij}(x)$ ve $\mu_{v^*j}(x)$ gibi iki bulanık sayı arasındaki farkı aşağıdaki gibi tanımlamıştır:

$$D_{ij}^* = 1 - \{\sup_x [\mu_{v_{ij}}(x) \wedge \mu_{v_j^*}(x)]\} = 1 - L_{ij}, \forall i, j \quad (5.136)$$

burada L_{ij} , v_{ij} ve v_j^* 'nin en yüksek benzerlik derecesidir.

Benzer şekilde $\mu_{vij}(x)$ ve $\mu_{v^-j}(x)$ arasındaki fark aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$D_{ij}^- = 1 - \{\sup_x [\mu_{v_{ij}}(x) \wedge \mu_{v_j^-}(x)]\}, \forall i, j \quad (5.137)$$

Dikkat edilirse D_{ij}^* ve D_{ij}^- belirgin sayılardır.

Adım5 İdeal çözümlere göreceli yakınlık hesaplanır. Bu gösterge 4. adımda hesaplanan S_i^* ve S_i^- indislerini birleştirmek için kullanılır. S_i^* ve S_i^- belirgin sayılar oldukları için şu şekilde birleştirilebilirler:

$$C_i = S_i^- / (S_i^* + S_i^-) \quad (5.138)$$

Son olarak da alternatifler azalan C_i endeksi sırasına göre sıralanırlar (en yüksek C_i değerine sahip olan en iyi olacaktır).

Sayısal Örnek

Dördüncü bölümün başında ÇÖKV modeline örnek olarak verilen aile arabası problemi Negi'nin TOPSIS'e getirdiği bulanık yaklaşımla çözülecektir. Örnekte bir baba ailesi için bir araba almak istemektedir. Dört ayrı araba arasından yapacağı seçimi dört ölçüte göre yapacaktır: fiyat (x_1), motor gücü (x_2), konfor (x_3) ve güvenlik(x_4). Alternatiflerin ölçütlere göre değerlerini gösteren karar matrisi aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 \\ \text{(milyar TL)} \end{matrix} & \begin{matrix} X_2 \\ \text{Beygir gücü} \end{matrix} & \begin{matrix} X_3 \end{matrix} & \begin{matrix} X_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 27 & 112 & \text{Düşük} & \text{Çok Düşük} \\ 32 & 104 & \text{Orta} & \text{Düşük} \\ 45 & 135 & \text{Yüksek} & \text{Çok yüksek} \\ 60 & 160 & \text{Çok yüksek} & \text{Orta} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$\underline{w}$ = [önemli; önemsiz; orta önemli; çok önemli]

Karar matrisi belirgin ve bulanık veri içerir. Sözel terimlerin yamuk bulanık sayılarla temsil edilebileceği varsayılırsa karar matrisi yeniden oluşturulur:

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 27 & 112 & (0,1;0,25;0,25;0,4) & (0;0;0,1;0,2) \\ 32 & 104 & (0,3;0,5;0,5;0,7) & (0,1;0,25;0,25;0,4) \\ 45 & 135 & (0,6;0,75;0,75;0,9) & (0,8;0,9;1;1) \\ 60 & 160 & (0,8;0,9;1;1) & (0,3;0,5;0,5;0,7) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$\underline{w}$ = [(0,6;0,75;0,75;0,9); (0,1;0,25;0,25;0,4); (0,3;0,5;0,5;0,7); (0,8;0,9;1;1)]

Adım1 Nomalize edilmiş karar matrisi elde edilir. Bulanık sayılar $\in [0;1]$ olduğu için yalnızca X_1 ve X_2 alternatifleri için normalizasyon yapılır. Bunun için denklem (5.128) kullanılarak normalize edilmiş karar matrisi aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0,7 & (0,1;0,25;0,25;0,4) & (0;0;0,1;0,2) \\ 0,844 & 0,65 & (0,3;0,5;0,5;0,7) & (0,1;0,25;0,25;0,4) \\ 0,6 & 0,844 & (0,6;0,75;0,75;0,9) & (0,8;0,9;1;1) \\ 0,45 & 1 & (0,8;0,9;1;1) & (0,3;0,5;0,5;0,7) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$\underline{w}$ = [(0,6;0,75;0,75;0,9); (0,1;0,25;0,25;0,4); (0,3;0,5;0,5;0,7); (0,8;0,9;1;1)]

Adım2 Ağırlıklandırılmış normal karar matrisi elde edilir. en azından ağırlıkların hepsi bulanık sayı olduğu için denklemler (5.131) ve (5.132) kullanılmıştır. Sonuç aşağıda verilmiştir.

$$V = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} (0,6;0,75;0,75;0,9) & (0,07;0,175;0,175;0,28) \\ (0,506;0,633;0,633;0,760) & (0,065;0,1625;0,1625;0,26) \\ (0,36;0,45;0,45;0,54) & (0,0844;0,211;0,211;0,3376) \\ (0,27;0,338;0,338;0,405) & (0,1;0,25;0,25;0,4) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

X3	X4
(0,03;0,125;0,125;0,28)	(0;0;0,1;0,2)
(0,09;0,25;0,25;0,49)	(0,08;0,225;0,25;0,4)
(0,18;0,375;0,375;0,63)	(0,64;0,81;1;1)
(0,24;0,45;0,5;0,7)	(0,24;0,45;0,5;0,7)

Örneğin v_{13} (A1 X3) şöyle elde edilir.

$$v_{13} = r_{13} \times w_3 = (0,1;0,25;0,25;0,4) \times (0,3;0,5;0,5;0,7) = (0,03;0,125;0,125;0,28)$$

Adım3 Pozitif ve negatif ideal sonuçlar elde edilir. Önce denklem (5.133)'ya göre $M(v_{ij}) \forall i,j$, değerleri hesaplanır ve bu sıralama değerlerine göre A^* ve A^- kümeleri tespit edilir.

	X1	X2	X3	X4
A1	0,750*	0,175	0,145 ⁻	0,078 ⁻
A2	0,633	0,163 ⁻	0,277	0,239
A3	0,450	0,211	0,395	0,858*
A4	0,338 ⁻	0,250*	0,472*	0,472

Örneğin $v_{32} = (0,0844;0,211;0,211;0,3376)$ için $M(v_{32})$ değeri şöyle hesaplanır:

$$M(v_{32}) = \frac{(-0,0844^2 - 0,211^2 + 0,211^2 + 0,3376^2 - 0,0844 * 0,211 + 0,211 * 0,3376)}{[3(-0,0844 - 0,211 + 0,211 + 0,3376)]}$$

$$= 0,211$$

tüm i ve j 'ler için tüm v_{ij} değerleri hesaplandığına göre v_j^* ve v_j^- 'ler kolayca ayırt edilebilir.

$$A^* = (v_1^*, v_2^*, v_3^*, v_4^*) = (v_{11}, v_{42}, v_{43}, v_{34})$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, v_3^-, v_4^-) = (v_{41}, v_{22}, v_{13}, v_{14})$$

Adım4 S_i^* ve S_i^- ayırma ölçülerini elde etmek için önce fark ölçüleri D_{ij}^* ve D_{ij}^- değerlerinin denklemler (5.136) ve (5.137)'e göre hesaplanmıştır.

	X1	X2	X3	X4
A1	0	0,294	0,762	1
A2	0,422	0,352	0,4	1
A3	1	0,141	0,149	0
A4	1	0	0	0,756

Örnek hesaplama:

$$D_{12}^* = 1 - \{\sup_x [\mu_{v_{12}}(x) \wedge \mu_{v_1^*}(x)]\} = 1 - L_{12} = 0,422$$

	X1	X2	X3	X4
A1	1	0,059	0	0
A2	1	0	0,375	0,565
A3	0,714	0,214	0,714	1
A4	0	0,352	0,762	1

Örneğin; $D_{23}^- = 1 - \{\sup_x [\mu_{23}(x) \wedge \mu_{v_3^-}(x)]\} = 1 - 0,625 = 0,375$

olarak bulunur. A_1 alternatifi için S_1^* ve S_1^- ayırma ölçüleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$S_1^* = \sum_{j=1}^4 D_{1j}^* = 0 + 0,294 + 0,762 + 1 = 2,056$$

$$S_1^- = \sum_{j=1}^4 D_{1j}^- = 1 + 0,059 + 0 + 0 = 1,059$$

diğer alternatifler için de benzer işlemlerle aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

i	1	2	3	4
S_i^*	2,056	2,174	2,29	1,756
S_i^-	1,059	1,94	2,642	2,114

Adım5 Denklem (5.138)'de hesaplanan S_i^* ve S_i^- indisleri kullanılarak C_i ideallere göreceli yakınlıklar belirlenir.

$$C_1 = S_1^- / (S_1^* + S_1^-) = 1,059 / (1,059 + 2,056) = 0,340$$

Diğer alternatifler için de hesaplanmış ve sonuçlar verilmiştir:

i	1	2	3	4
C_i	0,340	0,472	0,536	0,546

C_i değerlerine göre alternatiflerin sıralaması şöyle gerçekleşmiştir: $A_4 > A_3 > A_2 > A_1$.

Negi Yaklaşımının Değerlendirmesi

Negi kendisi yeni bir model geliştirmemiştir. Klasik ÇÖKV modellerinin bulanık veri kullanılarak algoritma değiştirilmeden yeniden düzenlenebileceğini önermiştir. Bu yaklaşım sadece TOPSIS'e değil diğer tüm ÇÖKV modellerine uygulanabilir.

Bir ÇÖKV modelinde veriler yamuk bulanık sayılarla temsil edilebiliyorsa Negi yaklaşımını uygulanabilir. Fakat incelenen sistemdeki bulanıklık sadece belirgin sayılar yerine bulanık sayıların kullanılmasıyla tam olarak modellenemeyebilir. Modelin içinde de bulanıklıkla baş edebilecek yapıların olması şarttır. Örneğin Negi yaklaşımının TOPSIS'e uygulanmasında elde edilen algoritmanın üçüncü adımında pozitif ve negatif ideal sonuçlar klasik TOPSIS mantığıyla belirlenir. Yani bir ölçütten enbüyük değere sahip olan alternatifin değeri PİÇ, enküçük değere sahip alternatifin değeri de NİÇ olarak alınır. İlk bakışta bu mantıklı görünebilir fakat bulanık sayılar için uygulanması yanlış sonuçlar verebilir. Çünkü bulanık sayılar için bir tanesi diğerlerinden tüm üyelik derecelinde (α -kesimlerde) üstün olacak diye bir

şart yoktur. Yani mutlak bir enbüyük ve enküçük yoktur. Bu yüzden PİÇ ve NİÇ değerleri alternatiflerin aldığı değerlerden biri değil hepsinin kesişiminden oluşan bir yapma değer olabilir. Örneğin Kerre sıralama yaklaşımında (bölüm 5.2.2.2) tanımlanan bulanık enbüyük (BEB) ve benzer şekilde tanımlanan bulanık en küçük (BEK), PİÇ ve NİÇ olarak belirlenebilir.

Sonuç olarak Negi yaklaşımı tüm klasik ÇÖKV yöntemlerine uygulanabildiği için iyi bir yöntemdir. Fakat uygulama aşamasında sadece belirgin sayılar yerine bulanık sayılar kullanmak ve algoritmadaki tüm işlemleri aynen almak doğru olmayabilir. Bu yüzden yaklaşımın uygulandığı yöntemin algoritmasının da baştan gözden geçirilmesi ve bulanık mantık çerçevesinde yeniden düzenlenmesi gerekir.

5.3.4 Bulanık Üstünlük Yöntemleri

$A_k \rightarrow A_l$ alternatiflerinin üstünlük ilişkisi matematiksel olarak k ve l birbirlerine baskın olmasalar bile karar vericinin “ A_k A_l tamamen daha iyidir”i kabul etme riskini göze aldığını gösterir. İki den çok alternatif karşılaştırıldığında tüm alternatiflerin üstünlük ilişkileri ikili olarak çıkarıldıktan sonra diğerleri tarafından üstünlük kurulmuş alternatifler elenir. Geri kalan alternatifler diğerlerinden üstün olarak kabul edilir. Klasik üstünlük yöntemlerinde alternatif çiftleri arasında üstünlük ilişkisi oluşturmak kilit konudur. Bulanık üstünlük yaklaşımlarının ayrıntılarına geçmeden önce bazı temel tanımlar verilmiştir.

Üstünlük İlişkisi

A_k ve A_l alternatifleri için “ A_k A_l ’dan üstündür” ifadesi karar vericiye göre A_k ’nın en azından A_l kadar iyi olduğu anlamına gelir. Yani A_k A_l ’ye tercih edilir veya eşit görülür.

“ A_k A_l ’dan üstün değildir” ise “ A_k en azından A_l kadar iyidir” yargısına varılamayacağını; bir başka ifadeyle “ A_l en azından A_k kadar iyidir” ifadesinin lehine iddiaların olduğunu belirtir.

Bulanık Üstünlük İlişkileri

Bulanık üstünlük ilişkisi $s^d(k,l)$, $\mu(k,l)$ üyelik fonksiyonu ile karakterize edilebilir. $\mu(k,l)$ üyelik fonksiyonu (A_k, A_l) alternatif çiftlerinin üstünlük derecesini gösterir. Burada $\mu(k,l)$, A_k ’nın A_l ’den üstün olma şiddetini değil A_k ’nın A_l ’den üstün olma tercihinin güvenilirliğini göstermektedir. $\mu(k,l)$ aşağıdaki özellikleri taşımalıdır:

- (1) $\mu(k,l)$ 'nin değeri A_k 'nın A_l üzerindeki üstünlüğünün güvenilirliği arttıkça artar. Bu yüzden $\mu(k,l)$ r_{lj} 'nin azalmayan ve r_{kj} 'nin artmayan fonksiyonudur. r_{lj} ve r_{kj} A_k ve A_l 'nin j 'inci ölçüte göre performanslarını temsil ederler.
- (2) $\mu(k,l) = 1$ ifadesi A_k 'nın A_l üzerindeki kesin üstünlüğünü gösterir. $\mu(k,l) = 0$ ise A_k 'nın A_l 'den üstün olmadığını veya üstün olma lehine iddiaların tamamen yok olduğunu ifade eder.

Sonuç olarak $\mu(k,l) \in [0,1]$ 'dir.

Bulanık üstünlük ilişkisi $s^d(k,l)$ şu özellikleri taşımaktadır:

- (1) Refleksif: $s^d(k,k) = 1, \forall k$
- (2) Simetrik olmayan: $s^d(k,l)$ 'nin $s^d(l,k)$ 'ya eşit olması gerekli değildir.
- (3) Transitif: $s^d(k,l) \geq \bigwedge_{h=1, \dots, m} \bigvee_{h \neq k, l} [s^d(k,h), s^d(h,l)], \forall k, l$

Bu özellikler kullanılarak bazı tercih ilişkileri elde edilebilir:

A_k A_l 'ye tercih edilir yalnız ve yalnız $s^d(k,l) > s^d(l,k)$ ise;

A_k A_l 'den farklı değildir yalnız ve yalnız $s^d(k,l) = s^d(l,k) > 0$ ise;

A_k A_l ' ile karşılaştırılmaz yalnız ve yalnız $s^d(k,l) = s^d(l,k) = 0$ ise.

Bulanık üstünlük yöntemlerimden (1) Roy yaklaşımı, (2)Sistos vd. yaklaşımı, (3) Brans vd. yaklaşımı ve (4) Aouam vd. yaklaşımı ayrıntılı olarak incelenmiştir.

5.3.4.1 Roy Yaklaşımı

Roy bulanık üstünlük ilişkisi oluşturmak için uyum ve uyumsuzluk göstergelerini kullanmıştır. Yöntemde üç tane eşik tanımlanmıştır: (1) t^i (farklı olmama eşiği) (2) t^p (tercih edilme eşiği) (3) t^v (veto eşiği). Bu eşiklerin j 'inci ölçüt X_j için yorumu aşağıda verilmiştir [3]:

$r_{kj} \geq r_{lj} + t_j^i$ A_k 'nın en az A_l kadar iyi olduğunu gösterir,

$r_{kj} \geq r_{lj} + t_j^p$ A_k 'nın A_l 'ya kesin olarak tercih edildiğini,

$r_{kj} \geq r_{lj} + t_j^v$ A_k 'nın A_l 'den çok daha iyi olduğunu gösterir.

Herhangi bir j ölçütü için $0 \leq t^i \leq t^p \leq t^v$ 'dir.

Uyum ve Uyumsuzluk Dereceleri

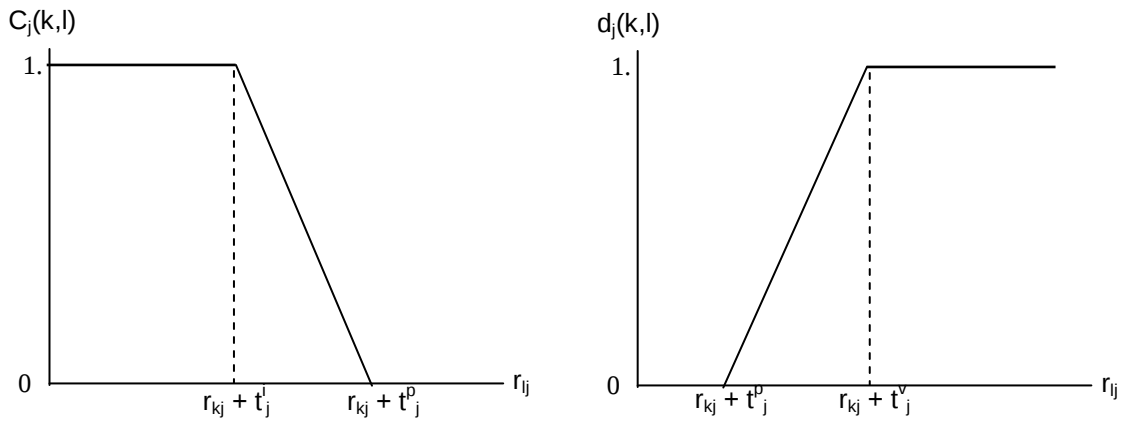
j'inci ölçüte göre “ A_k A_l 'den üstündür” yargısının güvenilirliğini belirten uyum derecesi (C_j) aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$C_j(k,l) = \begin{cases} 1 & r_{kj} + t_j^i \geq r_{lj} \\ \frac{r_{lj} - (r_{kj} + t_j^p)}{t_j^i - t_j^p} & r_{kj} + t_j^i \leq r_{lj} \leq r_{kj} + t_j^p \\ 0 & r_{lj} \geq r_{kj} + t_j^p \end{cases} \quad (5.139)$$

Benzer şekilde “ A_k en az A_l kadar iyi değildir” yargısının güvenilirliğini belirten uyum uyumsuzluk göstergesi (d_j) şu şekilde tanımlanmıştır:

$$d_j(k,l) = \begin{cases} 0 & r_{kj} + t_j^p \geq r_{lj} \\ \frac{r_{lj} - (r_{kj} + t_j^p)}{t_j^v - t_j^p} & r_{kj} + t_j^p \leq r_{lj} \leq r_{kj} + t_j^p \\ 1 & r_{lj} \geq r_{kj} + t_j^v \end{cases} \quad (5.140)$$

Şekil 5.37’da uyum ve uyumsuzluk fonksiyonları grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.37 Bulanık uyum ve uyumsuzluk fonksiyonları [3]s.412

Uyum ve uyumsuzluk göstergeleri her alternatif çifti için bir ölçüte göre tanımlanmıştır. Bir sonraki adım her ölçüt göre elde edilmiş uyum ilişkilerinin (C_j , $\forall j$) tek bir ilişki (C) oluşturmak üzere toplanmasıdır:

$$C(k,l) = \sum_{j=1}^n w_j C_j(k,l), \forall k,l \quad (5.141)$$

burada w_j 'ler karar verici tarafından her ölçüt için belirlenen ağırlıklardır. Benzer şekilde her ölçüt için ayrı ayrı oluşturulmuş uyumsuzluk göstergelerinin de tek bir

(D) uyumsuzluk göstergesine dönüştürülmesi gerekir. D'nin fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$D(k,l) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n f(d_j(k,l), C(k,l)) \quad (5.142)$$

burada

$$f[d_j(k,l), C(k,l)] = \begin{cases} 1, & d_j(\cdot) < C(\cdot) \\ \frac{1-d_j(\cdot)}{1-C(\cdot)}, & d_j(\cdot) > C(\cdot), C(\cdot) \neq 1 \end{cases} \quad (5.143)$$

dir. Son olarak uyum ve uyumsuzluk göstergeleri birleştirilerek $s^d(k,l)$ bulanık üstünlük ilişkisi elde edilir:

$$s^d(k,l) = C(k,l) \cdot D(k,l), \forall k,l. \quad (5.144)$$

Algoritma

Adım1 Karar verici her ölçüt için farklı olmak üzere eşik değerlerini oluşturmalıdır: Farklı olmama eşiği (t_j^i), tercih edilme eşiği (t_j^p) ve veto eşiği (t_j^v) $\{j = 1, \dots, n\}$.

Adım2 j'inci ölçüt (X_j) için denklem (5.139)'e göre C_j uyum göstergeleri oluşturulur.

Adım3 j'inci ölçüt (X_j) için denklem (5.140) kullanılarak d_j uyumsuzluk göstergeleri oluşturulur.

Adım4.1 Her ölçüt için ayrı olarak oluşturulan uyum göstergeleri ($C_j, \forall j$) kullanılarak C toplu uyum göstergesi denklem (5.141) kullanılarak elde edilir.

Adım4.2 Her ölçüt için ayrı oluşturulan uyumsuzluk göstergeleri ($d_j, \forall j$) kullanılarak D toplu uyumsuzluk göstergesi, denklem (5.142) ve (5.143)'ye göre elde edilir.

Adım5 Denklem (5.144) kullanılarak toplu uyum göstergesi (C) ve toplu uyumsuzluk göstergesi (D) birleştirilerek bulanık üstünlük ilişkisi s^d elde edilir.

Adım6 Elde edilen s^d bulanık üstünlük ilişkileri alternatifleri karşılaştırmak için kullanılır. Bunun için üç ayrı yöntem kullanılabilir: Dichotomy, trichotomy ve sıralama. Dichotomy en iyi alternatifi seçmek için, trichotomy genelde görüntüleme amacıyla ve Sıralama ise alternatifleri büyükten küçüğe sıralamak için kullanılır.

Sayısal Örnek

Üniversitenin bir bölümüne araştırma görevlisi pozisyonuna başvuran dört kişiden biri seçilecektir. Seçim Les puanı (X1), lisans mezuniyet puanı (X2) ve mülakat puanı (X3) olmak üzere üç kritere göre yapılacaktır. Adayların bu kriterlere göre durumlarını gösteren karar matrisi aşağıda verilmiştir:

	X ₁	X ₂	X ₃
A ₁	76,51	3,65	4
A ₂	72,48	3,42	6
A ₃	78,95	3,03	3
A ₄	73,21	3,25	7

Bölüm politikası gereği kriterlerin ağırlıklarını şöyle belirlenmiştir:

$$\underline{w} = (0,20; 0,45; 0,35)$$

Karar matrisinde Les puanı (X1) 80, lisans mezuniyet puanı (X2) 4 ve mülakat puanı (X3) de 7 üzerinden verilmiş değerlerdir.

Adım1 Eşik değerleri bölüm tarafından aşağıdaki gibi belirlenmiş olsun:

j	t _i ⁱ	t _i ^p	t _i ^v
1	1	4	7
2	0,1	0,3	0,5
3	1	2,5	4,5

Adım2 Denklem (5.139) kullanılarak C_i tek ölçüte göre uyum matrisleri oluşturulur.

X₁'e göre hazırlanan C₁ uyum matrisi aşağıda verilmiştir:

$$C_1 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0,52 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0,23 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Örneğin C₁(1,3) hesaplanırken;

$$r_{13} + t_1^i < r_{31} < r_{13} + t_1^p \Leftrightarrow (176,5+1) < 78,95 < (176,5+4) \text{ olduğu için}$$

$$C_1(1,3) = \frac{r_{31} - (r_{13} + t_1^p)}{t_1^i - t_1^p} = \frac{78,95 - (76,51 + 4)}{1 - 4} = 0,52$$

olarak hesaplanır. Ayrıca C₁(3,2)=1 denilir çünkü r₃₂ + t₁ⁱ > r₂₃ sağlanır. Benzer şekilde C₂ ve C₃ hesaplanır:

$$C_2 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0,35 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0,4 \\ 0 & 0,65 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$C_3 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0,33 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Adım3 Denklem (5.140) kullanılarak d_j uyumsuzluk göstergeleri oluşturulur.

$$d_1 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,01 & 0 & 0,823 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,58 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Burada örneğin $d_1(2,3)$ için aşağıdaki denklem çözülür.

$$d_1(2,3) = \frac{r_{31} - (r_{21} + t_1^p)}{t_1^v - t_1^p} = \frac{78,95 - (72,48 + 4)}{7 - 4} = 0,823$$

Benzer işlemlerle d_2 ve d_3 hesaplanır:

$$d_2 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,45 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$d_3 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0,25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,25 & 0 & 0,75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Adım4.1 C toplu uyum göstergesi denklem (5.141) kullanılarak elde edilir:

$$C = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0,767 & 0,904 & 0,65 \\ 0,5075 & 1 & 0,8 & 1 \\ 0,55 & 0,2 & 1 & 0,38 \\ 0,397 & 0,843 & 0,8 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Örneğin $C(4,3)$ şöyle hesaplanır:

$$C(4,3) = w_1 C_1(4,3) + w_2 C_2(4,3) + w_3 C_3(4,3) = 0,20*0 + 0,45*1 + 0,35*1 = 0,8.$$

Adım4.2 D toplu uyumsuzluk göstergesi denklemler (5.142) ve (5.143) kullanılarak elde edilir.

$$D = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0,962 & 1 \\ 0,67 & 0,875 & 1 & 0,801 \\ 0,943 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Örnek hesaplama $D(3,2)$:

$$D(3,2) = \frac{[f(d_1(3,2), C(3,2)) + f(d_2(3,2), C(3,2)) + f(d_3(3,2), C(3,2))]}{3}$$

$$= \left(1 + \frac{1-0,45}{1-0,2} + \frac{1-0,25}{1-0,2} \right) / 3 = 0,875.$$

Adım5 Denklem (5.144) kullanılarak toplu uyum göstergesi (C) ve toplu uyumsuzluk göstergesi (D) birleştirilerek bulanık üstünlük ilişkisi s^d elde edilir.

$$s^d = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0,767 & 0,904 & 0,65 \\ 0,508 & 1, & 0,77 & 1, \\ 0,369 & 0,175 & 1, & 0,304 \\ 0,374 & 0,843 & 0,8 & 1, \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Adım6 s^d bulanık üstünlük ilişkilerinden yararlanarak üç yolla alternatifler karşılaştırılabilir: dichotomy, trichotomy ve sıralama.

Dichotomy en iyi alternatifi seçmek için kullanılır. Önce bir α düzeyi belirlenir ve düzeye göre belirgin bir üstünlük ilişkisi elde edilir. Üstünlük kurulmayan alternatifler seçilir. Örneğin $\alpha=0,8$ olarak belirlenirse aşağıdaki belirgin üstünlük matrisi elde edilir:

$$s^d_{0,8} = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Burada sadece A_1 'e diğerleri üstünlük kuramamıştır. Öyleyse A_1 en iyi alternatiftir denebilir.

Trichotomy yöntemine göre karar verici alternatifleri sınıflamak için üç ayrı eşik belirler: λ^1 (kabul edilebilir), λ^2 (kabul edilemez), λ^3 (karar verilemez). Tüm λ değerleri $[0,1]$ aralığındadır. Önce $s^d > \lambda^1$ 'yi sağlayan alternatifler ayrılır sonra kalanlar diğer λ^2 ve λ^3 'e göre tekrar gruplanır ve sonuç olarak bir karar ağacı oluşturulur.

Sıralama yönteminde alternatifler diğerleri tarafından üstünlük kurulamamalarına göre sıralanırlar. Örneğin $\alpha=0,9$ seçilir, bu düzeyde $\{A_1, A_2\}$ 'ye üstünlük kuran yoktur. Öyleyse bu iki alternatif birinci sıraya gelmeye adaydırlar. Sonra α değeri düşürülerek iki alternatiften biri seçilmeye çalışılır. Örneğin $\alpha = 0,8$ yapılır bu düzeyde A_4, A_2 'ye üstünlük kurmuştur. Böylece ilk sıraya A_1 ve ikinci sıraya da A_2

geçmiş olur. A_3 ile A_4 'ü sıralamaya katmak için $\alpha = 0,95$ seçilebilir. Bu düzeyde A_3 hiçbir alternatif tarafından üstünlük kurulmamış olmasına rağmen A_4 , A_2 tarafından üstünlük kurulmuştur. Böylece sıralama belirlenir: $A_1 > A_2 > A_3 > A_4$.

Örnekte araştırma görevlisi pozisyonu için bir kişi seçileceği için dichonomy veya sıralama yöntemlerinden biri kullanılabilir. Sonuç olarak birinci alternatif A_1 'in pozisyona en uygun aday olduğu belirlenir.

5.3.4.2 Sistos vd. Yaklaşımı

Sistos vd., Roy yöntemine benzer bir yaklaşım önermişlerdir. Bu iki yöntem arasında iki önemli fark vardır. Farklardan ilki uyum ve uyumsuzluk göstergelerinin elde edilmesindedir. İkincisi ise Sisko vd. yaklaşımında üstünlük ilişkisi oluşturulduktan sonra en iyi alternatifi seçmek için bulanık baskınlığın ve sonra bulanık basıklığın ortaya koyulmasıdır.

Bulanık Parçalı Uyum İlişkisi $C_j(k,l)$

Uyum göstergesi $C_j(k,l)$, A_k alternatifinin A_l alternatifine X_j ölçütüne göre üstünlüğünün derecesini gösterir. Uyum göstergesindeki belirsizlik $|r_{kj} - r_{lj}|$ farkının çok küçük olduğu ve anlamsız olarak kabul edilebilir olduğu zaman meydana gelir.

Bahsedilen fikri uygulamak için enbüyük anlamlı olmayan eşik, t_j , tanımlanmıştır. j 'inci ölçüte göre A_k ve A_l arasındaki farkın anlamlı olabilmesi için $|r_{kj} - r_{lj}| \geq t_j$ olmalıdır. Ve şu açıktır ki; r_{lj} , $[r_{kj}, r_{kj}+t_j]$ aralığında olduğu sürece A_k alternatifi azalan bir güvenilirlikle “en az A_l alternatifi kadar iyi” olmaya devam eder. t_j eşiği karar vericiye alternatifleri karşılaştırırken kendinden kaynaklanan belirsizliği modelde belirtmesini sağlar.

Değerlendirmedeki enbüyük belirsizlikten kaynaklanan hatayı temsil eden bir araç olan t_j eşiği kullanılarak parçalı uyum ilişkisi $C_j(k,l)$ aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$C_j(k,l) = \begin{cases} 1, & r_{lj} - r_{kj} \leq 0, \\ 0, & r_{lj} - r_{kj} \geq t_j \\ \left[1 - \frac{r_{lj} - r_{kj}}{t_j}\right]^L, & L > 0, \text{ diger durumlarda} \end{cases} \quad (5.145)$$

$C_j(k,l)$ 'nin düşüşü doğrusal enterpolasyon ile ($L=1$ alınır) veya başka bir biçimde ($L \neq 1$) temsil edilebilir. t_j eşiği her ölçüt için farklı değerler alabilir.

Bulanık Uyum İlişkisi $C(k,l)$

n tane parçalı bulanık üstünlük ilişkisi elde edilince (n ölçüt sayısıdır) tüm parçalı bulanık üstünlük ilişkilerinden her ölçütün ağırlığını da dikkate alan tek bir toplu uyum ilişkisi oluşturulabilir. Toplama formülü basit ağırlıklı toplamdır. Böylece yeni bir bulanık ilişki olan bulanık uyum ilişkisi tanımlanır:

$$C(k,l) = \sum_{j=1}^n w_j C_j(k,l)$$

burada $C(k,l)$, A_k 'nin A_l üzerindeki toplu baskınlık derecesidir.

Bulanık Parçalı Uyumsuzluk Göstergesi $d_j(k,l)$

A_k alternatifinin A_l alternatifine üstünlüğü ile ilişkili olarak istenmeyen $[r_{lj}-r_{kj}]$ farkı j ölçütü için anlamlı hale geldiğinde ($[r_{lj}-r_{kj}] > t_j$), j ölçütü aşağı yukarı uyumsuzluk gösterir denir. Burada diğer ölçütlerin hepsinin A_k 'nin A_l 'den üstün olduğunu onaylaması durumu değiştirmez. Farkın çok yüksek ve hiç istenmeyen boyutta olduğunda iki alternatif için “karşılaştırılmaz” olgusu ortaya çıkar ve j ölçütü diğer ölçütlere hükmedip, tek başına A_k 'nin A_l 'den üstün olmadığına karar verilmesini sağlar. Alternatiflerin karşılaştırılmazlıklarını hesaba katmak için veto eşiği, v_j tanımlanmıştır. Buna göre $[r_{lj}-r_{kj}] > v_j$ ise A_k hiçbir zaman A_l 'den üstün olamaz yargına varılabilir. Verilen bilgiler ışığında bulanık uyumsuzluk göstergesi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$d_j(k,l) = \begin{cases} 1, & r_{lj} - r_{kj} \geq v_j, \\ 0, & r_{lj} - r_{kj} \leq t_j, \\ \left[\frac{(r_{lj} - r_{kj}) - t_j}{v_j - t_j} \right]^L, & L > 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.146)$$

(A_k , A_l) uyumsuzluğunun artması doğrusal enterpolasyon ile ($L=1$ alınır) veya başka bir biçimde ($L \neq 1$) belirlenebilir. Bazen karar verici için tüm v_j değerlerine kesin olarak karar vermek zor olabilir. Böyle bir durumda eğer bir değer bulanıksa ve

bir aralıkta değişiyorsa v_j 'ye o aralıktaki en büyük değer atanarak kesin olmayan ve hileli karşılaştırılabilirlik önlenir.

Bulanık Üstünlük İlişkisi $s^d(k,l)$

Bulanık üstünlük ilişkisi $s^d(k,l)$, bulanık uyum matrisi ve bulanık uyumsuzluk matrisleri kullanılarak elde edilir. Aşağıda belirtilenler önemlidir:

Eğer	İse
$C(k,l)=1, \forall k,l$	$C_j(k,l)=1$ ve $d_j(k,l)=0$
$C(k,l)<1, \forall k,l$	$d_j(k,l)>0$

Uyumsuz ölçüt etkisi, $d_j(k,l)$, $C(k,l)$ 'ya göre çok büyük değilse, yani;

$$d_j(k,l) \leq C(k,l), \forall j$$

ise bulanık üstünlük ilişkisi $s^d(k,l) = C(k,l)$ olarak kabul edilmiştir. Matematiksel tanımını aşağıda verilmiştir:

$$s^d(k,l) = \begin{cases} C(k,l), & C(k,l) \geq d_j(k,l), \forall j \\ \left(\prod_{j^*} [1 - d_{j^*}(k,l)] \right) \frac{C(k,l)}{1 - C(k,l)}, & \{j \mid C(k,l) < d_{j^*}(k,l)\} \text{ için} \end{cases} \quad (5.147)$$

yukarıdaki formülün ikinci kısmı $s^d(k,l)$ 'yi hesaplarken sadece çok anlamlı düzeydeki uyumsuzlukların dikkate alınmasını sağlar. Eğer en az bir ölçüt için $d_j(k,l)=1$ olursa X_j ölçütleri A_k 'nın A_l 'ye üstünlüğünde hükmeden rolü oynar ((5.147)'da uygulanırsa $s^d(k,l)=0$ çıkacaktır). $s^d(k,l)$ 'nin özellikleri aşağıda özetlenmiştir:

- (i) refleksif: $s^d(k,k)=1, \forall k$.
- (ii) Simetrik olmayan: $s^d(k,l)$ 'nin $s^d(l,k)$ 'ya eşit olması gerekli değildir.
- (iii) Transitif: $s^d(k,l) \geq \inf_{\substack{q=1,\dots,m \\ q \neq k,l}} [s^d(k,q), s^d(q,l)], \forall k,l$

Bu özellikler temel alınarak bazı tercih ilişkileri elde edilebilir:

A_k A_l 'ye tercih edilir yalnız ve yalnız $s^d(k,l) > s^d(l,k)$ ise;

A_k A_l 'den farklı değildir yalnız ve yalnız $s^d(k,l) = s^d(l,k) > 0$ ise;

A_k A_l ile karşılaştırılmaz yalnız ve yalnız $s^d(k,l) = s^d(l,k) = 0$ ise.

Baskınlık ve Basıklık İlişkileri

$\mu_D(k,l)$ üyelik fonksiyonu ile tanımlanan bulanık baskınlık ilişkisi üstünlük şiddetini ölçer. Aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\mu_D(k,l) = \begin{cases} s^d(k,l) - s^d(l,k), & \text{eger } s^d(k,l) > s^d(l,k) \text{ ise} \\ 0, & \text{diger durumda} \end{cases} \quad (5.148)$$

$\mu_D(k,l)$, A_k tarafından basılan $A_l, \forall l$, alternatiflerinin bulanık kümesi olduğu için $\mu_D(k,l)$ 'nin tamamlayıcısı olan basıklık ilişkisinin tanımlanması doğaldır. Aşağıda basıklık ilişkisinin tanımı verilmiştir.

$$\mu_{ND}(k,l) = 1 - \mu_D(k,l). \quad (5.149)$$

$\mu_{ND}(l,k)$, A_l tarafından basılmamış $A_k, \forall k$ alternatiflerinin kümesidir. Tüm alternatifler için tüm $\mu_{ND}(l,k)$ 'lerin kesişimi hiçbir alternatif tarafından basılmayan alternatiflerin kümesini ortaya çıkaracaktır. Böylece $\mu^*(A_k)$ basılmamış alternatif kümesi elde edilir. aşağıda $\mu^*(A_k)$ 'nin tanımı verilmiştir:

$$\begin{aligned} \mu^*(A_k) &= \text{enk}_{\substack{l=1, \dots, m \\ l \neq k}} \mu_{ND}(l,k) \\ &= \text{enk}[1 - \mu_D(l,k)] \\ &= 1 - \text{enb}[\mu_D(l,k)] \\ &= 1 - \text{enb}[s^d(l,k) - s^d(k,l)]. \end{aligned} \quad (5.150)$$

En iyi alternatif ise aşağıdaki gibi oluşturulur:

$$\begin{aligned} \mu^*(A_k) &= \text{enb}_{k=1, \dots, m} \mu^*(A_k) \\ \mu^*(A_k) &= \text{enb}_{k=1, \dots, m} \left\{ \text{enb}_{\substack{l=1, \dots, m \\ l \neq k}} [s^d(l,k) - s^d(k,l)] \right\} \end{aligned} \quad (5.151)$$

Algoritma

Adım1 Karar vericiden enbüyük anlamsızlık eşiği (t_j), veto eşiği (v_j) ve her ölçüt için ağırlık (w_j) değerleri istenir.

Adım2 Parçalı bulanık uyum matrisleri oluşturulur.

Adım3 Parçalı bulanık uyum matrisleri toplanarak bulanık uyum matrisi elde edilir.

Adım4 Bulanık uyumsuzluk matrisi oluşturulur.

Adım5 Bulanık uyum matrisi ve bulanık uyumsuzluk matrisleri kullanılarak bulanık üstünlük matrisi oluşturulur.

Adım6 Bulanık üstünlük ilişkisi kullanılarak bulanık baskınlık ilişkisi elde edilir.

Adım7 Bulanık basıklık ilişkisi oluşturulur.

Adım8 $\mu_k^*(A)$ kullanılarak basılmayan alternatifler kümesi elde edilir.

Adım9 A^* en iyi alternatifi denklem (5.151) kullanılarak seçilir.

Algoritma bir sayısal örnek üzerinde uygulanarak ayrıntılı olarak incelenecektir.

Sayısal Örnek:

Roy yaklaşımında verilen örnek Sistos vd. yaklaşımının için de kullanılacaktır. Örnekte bir üniversite bölümüne araştırma görevlisi pozisyonuna başvuran dört kişiden biri seçilecektir. Seçim Les puanı (X_1), lisans mezuniyet puanı (X_2) ve mülakat puanı (X_3) olmak üzere üç kritere göre yapılacaktır. Adayların bu kriterlere göre durumlarını gösteren karar matrisi ve ölçütlerin ağırlıkları aşağıda verilmiştir:

$$\begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{array} \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ 76,51 & 3,65 & 4 \\ 72,48 & 3,42 & 6 \\ 78,95 & 3,03 & 3 \\ 73,21 & 3,25 & 7 \end{bmatrix}$$

$\underline{w} = (0,20; 0,45; 0,35)$

Adım1 Yöntem gereği ilk önce anlamsızlık eşiği, t_j ve veto eşiği, v_j , değerleri belirlenir.

i	t_i	v_i
1	2	7
2	0,25	0,5
3	2,5	4,5

Adım2 Birinci ölçüt (X_1) için parçalı bulanık uyum matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur ($L=1$ varsayılmıştır):

$$C_1 \begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{array} \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0,635 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Burada denklem (5.145)'e göre $C_1(1,2)$, $(r_{21}-r_{11}) < 0$ olduğu için 1'e; $C_1(2,4)$, $r_{21}+t_1 < r_{41} < r_{21}$ olduğu için $1 - \frac{r_{1j} - r_{kj}}{t_j} = 0,635$ 'e eşit olarak hesaplanır. Benzer

hesaplamalarla C_2 ve C_3 parçalı bulanık uyum matrisleri hesaplanır.

$$C_2 \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ A_1 & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ A_2 & \begin{bmatrix} 0,08 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ A_3 & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0,12 \end{bmatrix} \\ A_4 & \begin{bmatrix} 0 & 0,32 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$C_3 \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ A_1 & \begin{bmatrix} 1 & 0,2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ A_2 & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0,6 \end{bmatrix} \\ A_3 & \begin{bmatrix} 0,6 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ A_4 & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Adım3 Adım2'de elde edilen parçalı bulanık uyum matrisleri ağırlıklar dikkate alınarak toplanır ve bulanık uyum matrisi elde edilir.

$$C \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ A_1 & \begin{bmatrix} 1 & 0,72 & 0,8 & 0,65 \end{bmatrix} \\ A_2 & \begin{bmatrix} 0,386 & 1 & 0,8 & 0,787 \end{bmatrix} \\ A_3 & \begin{bmatrix} 0,41 & 0,2 & 1 & 0,254 \end{bmatrix} \\ A_4 & \begin{bmatrix} 0,35 & 0,694 & 0,8 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} \text{Örneğin; } C(2,4) &= w_1 C_1(2,4) + w_2 C_2(2,4) + w_3 C_3(2,4) \\ &= 0,20 * 0,635 + 0,45 * 1 + 0,35 * 0,6 = 0,787 \end{aligned}$$

şeklinde hesaplanır.

Adım4 Denklem (5.146) kullanılarak bulanık uyumsuzluk matrisleri oluşturulur.

$$d_1 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ A_1 & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0,088 & 0 \end{bmatrix} \\ A_2 & \begin{bmatrix} 0,406 & 0 & 0,894 & 0 \end{bmatrix} \\ A_3 & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ A_4 & \begin{bmatrix} 0,26 & 0 & 0,748 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Örneğin $d_1(1,2) = 0$ olur çünkü $(r_{21}-r_{11}) < t_1$ $\{72,48-76,51 < 2\}$ 'dir ve $d_1(1,3)$ denklem (5.146)'da üçüncü önermeyi sağladığı için yani $t_1 < (r_{31}-r_{11}) < v_1$ olduğu için şöyle hesaplanır:

$$d_1(1,3) = \frac{(r_{31} - r_{11}) - t_1}{v_1 - t_1} = \frac{(78,95 - 76,51) - 2}{7 - 2} = 0,088.$$

Hesaplanan diğer bulanık uyumsuzluk matrisleri aşağıda verilmiştir.

$$d_2 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,56 & 0 & 0 \\ 0,6 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$d_3 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0,25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,25 & 0 & 0,75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Adım5 Elde edilen bulanık uyum matrisi ve bulanık uyumsuzluk matrisleri kullanılarak bulanık üstünlük matrisi oluşturulur.

$$s^d = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0,72 & 0,8 & 0,65 \\ 0,373 & 1 & 0,424 & 0,787 \\ 0 & 0,11 & 1 & 0,085 \\ 0,215 & 0,694 & 0,8 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Burada $s^d(2,1)$ denklem (5.147) kullanılarak şöyle hesaplanır: $C(2,1) < d_1(2,1)$, $C(2,1) > d_2(2,1)$ ve $C(2,1) > d_3(2,1)$, olduğu için hesaplamada sadece $d_1(2,1)$ kullanılır ve

$$s^d(2,1) = [1-d_1(2,1)] * C(2,1) / (1- C(2,1)) = (1-0,46)*0,386/(1-0,386) = 0,373$$

olarak bulunur.

Adım6 Elde edilen bulanık üstünlük ilişkisinden denklem (5.148) uygulanarak bulanık baskınlık ilişkisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\mu_D = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0,347 & 0,8 & 0,435 \\ 0 & 0 & 0,314 & 0,093 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,715 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$\mu_D(1,2)$ hesaplanırken $s^d(1,2) > s^d(2,1)$ olduğu için $\mu_D(1,2) = s^d(1,2) - s^d(2,1) = 0,72 - 0,373 = 0,347$ olarak bulunur. Aynı zamanda $s^d(2,1) > s^d(1,2)$ sağlanmadığı için $\mu_D(2,1)=0$ 'dır.

Adım7 Denklem (5.149) kullanılarak bulanık basıklık ilişkisi oluşturulur.

$$\mu_{ND} = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0,653 & 0,2 & 0,565 \\ 1 & 1 & 0,686 & 0,907 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0,285 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$\mu_{ND}(1,2) = 1-\mu_D(1,2) = 1-0,347 = 0,653 \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

Adım8 $\mu_k^*(A)$ kullanılarak basılmayan alternatifler kümesi elde edilir. Birinci alternatif için diğer alternatifler tarafından basılmama derecesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\mu^*(A_1) = \text{enk}[\mu_{ND}(2,1); \mu_{ND}(3,1); \mu_{ND}(2,1)] = 1.$$

Diğer alternatifler için de aynı işlem yapılarak tüm basılmama dereceleri hesaplanmıştır.

k	1	2	3	4
$\mu^*(A_k)$	1	0,653	0,2	0,565

Adım9 Denklem (5.151) uygulanır ve A^* en iyi alternatif olarak A_1 belirlenir.

$$\mu^*(A_k^*) = \text{enb}_{k=1,\dots,4} \mu^*(A_k) = \text{enb}(1; 0,653; 0,2; 0,565) = 1$$

ve $\mu^*(A_k)=1$ olan alternatif birinci alternatif (A_1)'dir.

5.3.4.3 Brans vd. Yaklaşımı

Brans, Mraechal ve Vincke PROMETHEE adı verdikleri üstünlük yöntemleri geliştirmişlerdir. Promethee yöntemleri Promethee I, PrometheeII, Promethee III ve Promethee IV'ten oluşmaktadır. Promethee I ile parçalı sıralama, Promethee II ile tam sıralama ve Promethee III ile aralık sıralaması elde edilir. Promethee IV ise çok amaçlı karar verme problemleri ile ilgilidir. Bu yüzden çalışma içerisinde incelenmemiştir.

Genel olarak bu yöntemler üç aşamadan oluşurlar:

- (1) Her X_j ölçütü için P tercih fonksiyonuna göre bir genellenmiş kriter $\{X_j, H(d)\}$ oluşturulur.
- (2) Karar vericinin tercihini yansıtan üstünlük ilişkisi elde etmek için çok ölçütlü tercih indeksi tanımlanır.
- (3) Her alternatif için giren ve çıkan akışlar dikkate alınarak üstünlük ilişkisi değerlendirilir.

Yöntem açıklanırken önce genellenmiş kriterin oluşturulması anlatılacak sonra da algoritma incelenecektir.

Genellenmiş Kriter

X_j bir fayda ölçütü olsun (büyük değerlisi daha iyi). A_k ve A_l alternatifleri X_j 'ye göre karşılaştırıldıklarında netice bir tercih olarak belirtilmelidir. Bu yüzden A_k 'nın A_l 'ye

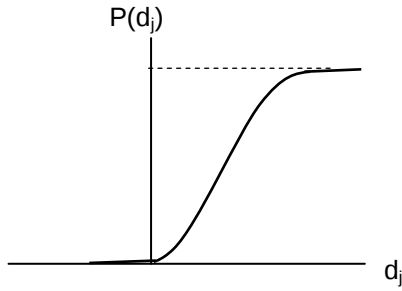
ne kadar tercih edildiğini gösteren bir tercih fonksiyonu $P(k,l)$ tanımlanır. Sıfır ile bir arasında değişen değerler alan $P(k,l)$ aldığı değerlere göre tercih ilişkilerinin anlamları aşağıda verilmiştir:

- (i) $P(k,l)=0$: A_k A_l 'ye tercih edilmez.
- (ii) $P(k,l)$ 0'a yakın: A_k A_l 'ye az tercih edilir.
- (iii) $P(k,l)$ 1'e yakın: A_k A_l 'ye güçlü bir şekilde tercih edilir.
- (iv) $P(k,l)=1$: A_k A_l 'ye kesinlikle tercih edilir.

A_k ve A_l arasındaki fark

$$d_j = r_{kj} - r_{lj}$$

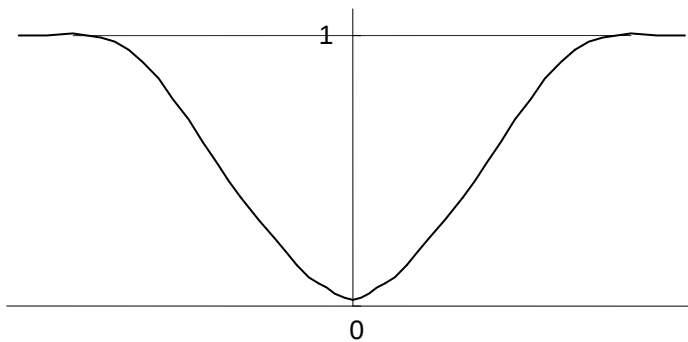
olarak tanımlanırsa j 'inci ölçüte göre tercih fonksiyonu $P(k,l)$, Şekil 5.38'deki $P(d_j)$ fonksiyonu ile karakterize edilebilir.



Şekil 5.38 $P(d)$ tercih ilişkisi

A_k 'nin A_l üzerine tercih fonksiyonu ($d>0$) ve A_l 'nin A_k üzerine tercih fonksiyonu ($d<0$) verildiğinde Şekil 5.39'de gösterilen $H(d)$ fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$H(d) = \begin{cases} P(k,l), & \text{eger } d \geq 0 \\ P(l,k), & \text{eger } d \leq 0 \end{cases}$$

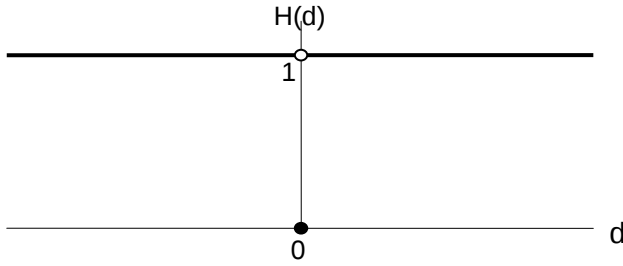


Şekil 5.39 $H(d)$ fonksiyonu

$H(d)$ fonksiyonu karar vericinin A_k 'nın A_1 üzerindeki tercihinin yapısını gösterir. Karar vericinin tercih yapısı her ölçüt için farklı olacağından $H(d)$ fonksiyonu da her ölçüt için farklı tanımlanacaktır. Karar vericinin j 'inci ölçüte göre tercih yapısını temsil eden fonksiyon $\{X_j, H(d)\}$ şeklinde gösterilir ve buna genellenmiş kriter denir.

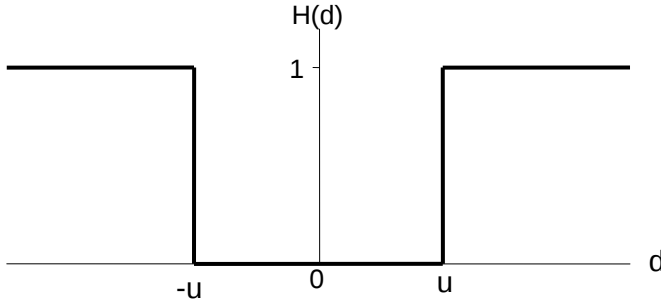
Her X_j ölçütüne genellenmiş kriter tanımlaya bilmek için altı çeşit genel kriter yapısı vardır. Aşağıda bunlar fonksiyon tanımları ve grafik gösterimleriyle verilmiştir:

$$H(d) = \begin{cases} 0, & d = 0, \\ 1, & |d| > 0. \end{cases} \quad (\text{Şekil 5.40}) \quad (5.152)$$



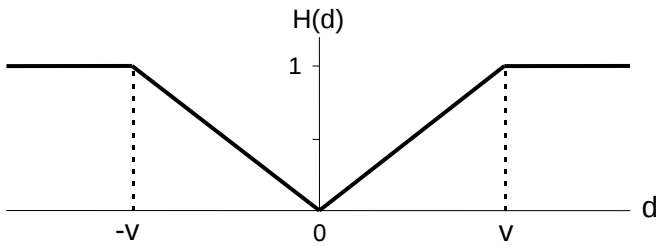
Şekil 5.40 I.çeşit genel kriter: olağan kriter

$$H(d) = \begin{cases} 0, & |d| \leq u, \\ 1, & \text{.diger durumlarda} \end{cases} \quad (\text{Şekil 5.41}) \quad (5.153)$$



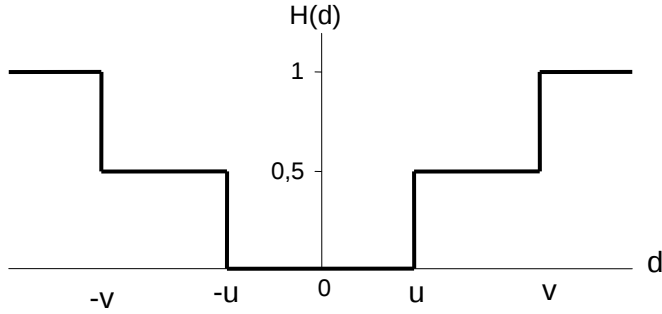
Şekil 5.41 II. çeşit kriter: kuasi kriteri

$$H(d) = \begin{cases} |d|/v, & |d| \leq v, \\ 1, & \text{diger durumlarda.} \end{cases} \quad (\text{Şekil 5.42}) \quad (5.154)$$



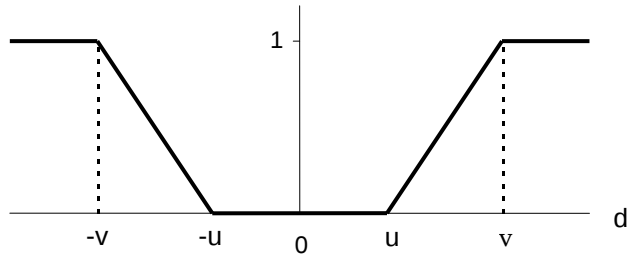
Şekil 5.42 III. çeşit kriter: doğrusal tercih

$$H(d) = \begin{cases} 0, & |d| \leq u, \\ 0,5, & u \leq |d| \leq v, \\ 1 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (\text{Şekil 5.43}) \quad (5.155)$$



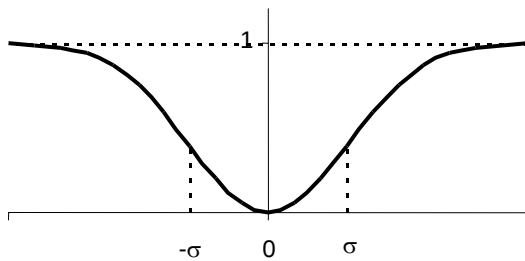
Şekil 5.43 IV. çeşit genel kriter: düzey kriteri

$$H(d) = \begin{cases} 0, & |d| \leq u, \\ \frac{|d| - u}{v - u} & u \leq |d| \leq v, \\ 1 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (\text{Şekil 5.44}) \quad (5.156)$$



Şekil 5.44 V. çeşit genel kriter: doğrusal tercihli ve fark alanlı kriter

$$H(d) = 1 - \exp\left(-\frac{d^2}{2\sigma^2}\right) \quad (\text{Şekil 5.45}) \quad (5.157)$$



Şekil 5.45 VI. çeşit genel kriter: Gauss kriteri

Tüm şekiller kolayca tanımlanabilir çünkü sadece bir veya iki parametrenin belirlenmesi yeterlidir. Parametrelerin anlamları aşağıdaki gibidir:

- (1) u_j aldırılmazlık eşliğidir. Yani karar vericinin alternatifler arasında fark olmadığını düşüneceği en büyük d_j değeri.
- (2) v_j kesin tercih eşliğidir. Yani karar vericinin kesin bir fark olduğunu düşüneceği en küçük d_j değeri.
- (3) σ_j normal dağılımın standart sapmasıdır.

Tüm $H(d)$ fonksiyonları için yukarıda tanımlanan formüllerin kullanılması gerekmez. $H(d)$ 'yi temsil etmek için farklı şekilli formüller de kullanılabilir.

Eğer X_g fayda değil de maliyet ölçütü ise yani küçük değerli alternatifler daha iyi ise A_k ve A_l arasındaki fark aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$d_g = r_{lg} - r_{kg} > 0$$

X_g 'nin genellenmiş kriteri $\{X_g, H(d_g)\}$ olarak tanımlanır. $H(d_g)$, $H(d_j)$ için tanımlananlar gibi şekiller alabilir. $H(d_g)$ için parametreler u_g , v_g ve σ_g 'dir. Bunların anlamı fayda ölçütlerinde tanımlananla aynıdır.

Brans vd. yaklaşımı algoritma üzerinde incelenecektir.

Algoritma

Adım1 Karar vericiyle müzakereler sonucunda $H(d)$ fonksiyon çeşidi ve gerekliyse fonksiyonların parametre değerleri (u , v , σ) saptanır.

Adım2 Alternatif çiftleri arasındaki fark hesaplanır. X_g maliyet veya X_j fayda ölçütlerine göre A_k ve A_l alternatifleri arasındaki fark aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\left\{ \begin{array}{l} d_g = r_{lg} - r_{ig} > 0, \forall i \\ yada \\ d_j = r_{ij} - r_{lj} > 0, \forall i \end{array} \right. \quad (5.158)$$

Adım3 Üstünlük ilişkisi matrisi oluşturulur. Üstünlük ilişkisi matrisindeki her eleman, $s^d(k,l) \in [0;1]$, n tane ölçüt olduğunda denklem (5.159)'deki gibi tanımlanmıştır.

$$s^d(k,l) = \frac{1}{n} \left\{ \left[\sum_j H(d_j) \right] + \left[\sum_g H(d_g) \right] \right\}, d_g, d_j \geq 0, \forall g, j \quad (5.159)$$

burada $s^d(k,l)$ 0'a yaklaşıırken A_k A_l 'den çok az üstündür, $s^d(k,l)$ 1'e yaklaşıırken A_k A_l 'den güçlü bir şekilde üstündür. Tüm $s^d(k,l)$ değerleri hesaplandıktan sonra üstünlük ilişkisi matrisi oluşturulur:

$$s^d = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & \dots & A_m \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & s^d(1,2) & \dots & s^d(1,m) \\ s^d(2,1) & - & \dots & s^d(2,m) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s^d(m,1) & s^d(m,2) & \dots & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Adım4 Eniyilik derecesi belirlenir. Alternatifleri değerlendirmek için önce üstünlük derecesi ($F^+(k)$ -denklem (5.160)), sonra baskınlık derecesi ($F^-(k)$ -denklem (5.161)) ve son olarak da eniyilik derecesi($F(k)$ -denklem (5.162)) hesaplanır.

$$F^+(k) = \sum_{\substack{l=1,\dots,n \\ l \neq i}} s^d(k, l), \forall k, \quad (5.160)$$

$$F^-(k) = \sum_{\substack{l=1,\dots,n \\ l \neq k}} s^d(l, k), \forall k, \quad (5.161)$$

$$F(k) = F^+(k) - F^-(k), \forall k \quad (5.162)$$

$F^+(k)$ A_k 'nın diğer tüm alternatifler üzerindeki üstünlüğünü, $F^-(k)$ A_k 'nın diğer alternatifler tarafından üstünlük kurma derecesini ve $F(k)$ da A_k 'nın diğer alternatifler arasındaki performansını gösterir.

Adım5 Alternatifler sıralanır.

Sıralama aşağıdaki yöntemlerin biriyle yapılır:

(1) Promethee I: A_k ve A_l arasındaki ilişkiyi belirlemek için aşağıdaki karar kuralları kullanılır.

Eğer	İse
$F^+(k) > F^+(l)$	$A_k P^+ A_l$
$F^+(k) = F^+(l)$	$A_k I^+ A_l$
$F^-(k) < F^-(l)$	$A_k P^- A_l$
$F^-(k) = F^-(l)$	$A_k I^- A_l$
$[A_k P^+ A_l]$ ve $[A_k P^- A_l]$	$A_k A_l$ 'den üstündür
$[A_k P^+ A_l]$ ve $[A_k I^- A_l]$	$A_k A_l$ 'den üstündür
$[A_k I^+ A_l]$ ve $[A_k P^- A_l]$	$A_k A_l$ 'den üstündür
$[A_k I^+ A_l]$ ve $[A_k I^- A_l]$	$A_k A_l$ 'den farksızdır
Belirtilen koşulların hiçbiri yoksa	A_k ve A_l karşılaştırılmaz

(2) Promethee II: A_k ve A_l arasındaki ilişkiyi belirlemek için iki genel kural uygulanır.

Eğer	İse
$F(k) > F(l)$	$A_k A_l$ 'den üstündür
$F(k) = F(l)$	$A_k A_l$ 'den farksızdır

(3) Promethee III: A_k için $[Z_k, Y_k]$ aralığı tanımlanır:

$$Z_k = \bar{F}(k) - \alpha \sigma_k \quad (5.163)$$

$$Y_k = \bar{F}(k) + \alpha \sigma_k \quad (5.164)$$

burada $\alpha < 0$ kesin üstünlüğü kontrol eder ve denklemlerdeki diğer bilinmeyenler aşağıda tanımlandığı gibidir:

$$\bar{F}(k) = \frac{1}{m} \sum_{\substack{\forall l \\ l \neq k}} [s^d(k, l) - s^d(l, k)] = \frac{1}{m} F(k) \quad (5.165)$$

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{m} \sum_{\substack{\forall l \\ l \neq k}} [s^d(k, l) - s^d(l, k) - \bar{F}(k)]^2. \quad (5.166)$$

Dikkat edilirse görülür ki; $[Z_k, Y_k]$ aralığının merkezi $F(k)$ 'nin ortalamasına eşittir. Ve $[Z_k, Y_k]$ 'nin uzunluğu $[s^d(k, l) - s^d(l, k)]$ dağılımının standart hatasıyla orantılıdır. α değerinin seçimi uygulamaya göre belirlenir. Genel olarak $\alpha = 0,15$ alınabilir.

Aralıklar bulunduğundan sonra A_k ve A_l arasındaki ilişki aşağıdaki gibi belirlenir:

Eğer	İse sonra
$Z_k > Y_l$	$A_k A_l$ 'den üstündür
$[Z_k \leq Y_l] \text{ ve } [Z_l \leq Y_k]$	$A_k A_l$ 'den farksızdır

Sayısal Örnek:

Brans vd. yaklaşımı Roy yaklaşımında verilen örnek üzerinde incelenecektir. Örnek hatırlanacak olursa; araştırma görevlisi pozisyonuna başvuran dört kişiden birini seçilecektir. Seçim Les puanı (X_1), lisans mezuniyet puanı (X_2) ve mülakat puanı (X_3) olmak üzere üç kritere göre yapılacaktır. Adayların bu kriterlere göre durumlarını gösteren karar matrisi ve ölçütlerin ağırlıkları aşağıdaki gibidir.

	X_1	X_2	X_3
A_1	76,51	3,65	4
A_2	72,48	3,42	6
A_3	78,95	3,03	3
A_4	73,21	3,25	7

Tüm ölçütlerin büyük puanlıları daha iyi alternatifi göstermektedir. Yani tüm ölçütler fayda ölçütüdür.

Adım1 Başlangıçta her ölçüt için $H(d)$ fonksiyonları belirlenir. Ölçütler için belirlenmiş $H(d)$ fonksiyonları ve fonksiyonların parametre değerleri Tablo 5.16'de verilmiştir.

Tablo 5.16 Brans Yaklaşımı örneğindeki ölçütlerin H(d) fonksiyon çeşitleri

Ölçüt	H(d) çeşidi	Parametreler
X ₁	II	u = 2
X ₂	VI	σ = 0,2
X ₃	IV	u =1; v =3

Adım2 Alternatif çiftleri arasındaki farklar hesaplanır. Tüm ölçütler fayda ölçütü olduğu için (5.158)'deki denklemlerden ilki kullanılır. Hesaplanan farklar Tablo 5.17'de verilmiştir.

Tablo 5.17 Alternatiflerin her ölçüt için farkları

H(d) çeşidi	II	VI	IV
d _j	X ₁	X ₂	X ₃
(A ₁ , A ₂)	4,03	0,23	-2
(A ₁ , A ₃)	-2,44	0,62	1
(A ₁ , A ₄)	3,30	0,40	-3
(A ₂ , A ₁)	-4,03	-0,23	2
(A ₂ , A ₃)	-6,47	0,39	3
(A ₂ , A ₄)	-0,73	0,17	-1
(A ₃ , A ₁)	2,44	-0,62	-1
(A ₃ , A ₂)	6,47	-0,39	-3
(A ₃ , A ₄)	5,74	-0,22	-4
(A ₄ , A ₁)	-3,30	-0,40	3
(A ₄ , A ₂)	0,73	-0,17	1
(A ₄ , A ₃)	-5,74	0,22	4

Örneğin ikinci ölçüte göre A₂ ile A₃ arasındaki fark denklem (5.158)'ye göre

$$d_2 = 3,42 - 3,03 = 0,39 \quad \text{olarak bulunur.}$$

Adım3 Denklem (5.159) kullanılarak üstünlük ilişkisi matrisi (s^d) oluşturulur. Bunun için önce ikinci adımda hesaplanan farklar birinci adımda belirlenen fonksiyonlarda kullanılarak H(d_j) değerleri bulunur ve her alternatif çifti için H(d_j) değerleri toplanarak s^d(k,l) elde edilir. Örnek olarak s^d(2,3)'ün hesabı aşağıda verilmiştir.

$$s^d(k,l) = \frac{1}{n} \left\{ \left[\sum_j H(d_j) \right] + \left[\sum_g H(d_g) \right] \right\}, d_g, d_j \geq 0, \forall g, j$$

burada g'ler maliyet ölçütleri temsil ederler, örnekte maliyet ölçütü olmadığı için H(d_g) değeri de yoktur. (A₂,A₃) için pozitif d_j farkları ise d₂ ve d₃'tür. Buna göre

$$s^d(2,3) = \frac{1}{3} (H(d_2) + H(d_3)) = 1/3 (0,85+0,5) = 0,45$$

şeklinde bulunur. Burada H(d₂), VI. çeşit fonksiyon olduğu için denklem (5.157) ve H(d₃) ise IV. çeşit fonksiyon olduğu için denklem (5.155)'a göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$H(d_2) = 1 - \exp\left(-\frac{d^2}{2\sigma^2}\right) = 1 - \exp(-0,39^2 / 2*0,2^2) = 0,85;$$

$$H(d_3) = \begin{cases} 0, & |d| \leq u, \\ 0,5, & u \leq |d| \leq v, \\ 1 & \text{diger durumlarda} \end{cases} = \begin{cases} 0, & |d| \leq 1, \\ 0,5, & 1 \leq |d| \leq 3, \\ 1 & \text{diger durumlarda} \end{cases} = 0,5.$$

Tüm $s^d(k,l)$ değerleri benzer şekilde hesaplanarak s^d , üstünlük ilişkisi matrisi elde edilir:

$$S^d = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & 0,495 & 0,331 & 0,622 \\ 0,167 & - & 0,450 & 0,101 \\ 0,333 & 0,333 & - & 0,333 \\ 0,167 & 0 & 0,485 & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Adım4 Eniyilik derecesi belirlenir. Önce denklem (5.160)'e göre üstünlük derecesi hesaplanır. Örneğin A_1 alternatifi için üstünlük derecesi;

$$F^+(1) = \sum_{l=2,3,4} s^d(1,l) = 0,495 + 0,331 + 0,622 = 1,448$$

olarak hesaplanır. İkinci olarak basıklık derecesi denklem (5.161) kullanılarak bulunur. Birinci alternatif için basıklık derecesi verilmiştir.

$$F^-(1) = \sum_{\substack{l=1,\dots,4 \\ l \neq i}} s^d(k,l) = 0,167 + 0,333 + 0,167 = 0,667.$$

Son olarak denklem (5.162)'ya göre eniyilik derecesi hesaplanır. Birinci alternatifin eniyilik derecesi aşağıdadır.

$$F(1) = F^+(1) - F^-(1) = 1,448 - 0,667 = 0,781.$$

Benzer şekilde diğer alternatifler için hesaplanan değerler aşağıda verilmiştir.

	$F^+(k)$	$F^-(k)$	$F(k)$
A_1	1,448	0,667	0,781
A_2	0,718	0,828	-0,11
A_3	0,999	1,266	-0,267
A_4	0,652	1,056	-0,404

Adım5 Alternatiflerin sıralaması üç ayrı Promethee yöntemine göre elde edilmiştir.

Promethee I'de sıralama $F^+(k)$ ve $F^-(k)$ değerlerine göre yöntemin açıklamasında verilen unsurlara göre yapılır. Örneğin $A_1 > A_2$ denebilir çünkü

$$1,448 = F^+(1) > F^+(2) = 0,718 \quad \text{ve} \quad 0,667 = F^-(1) < F^-(2) = 0,828$$

'dir. Benzer karşılaştırmalar yapılarak $A_1 > A_2$; $A_1 > A_3$; $A_1 > A_4$ ve $A_2 > A_4$ ilişkileri elde edilir. Bunlara göre en iyi alternatifin A_1 ve A_2 'nin A_4 'ten daha iyi bir seçenek olduğu söylenebilir. A_3 'ün A_2 ve A_4 ile ilişkileri elde edilememiştir.

Promethee II'de sıralama doğrudan eniyilik derecesine $\{F(k)\}$ göre yapılır ve $A_1 > A_2 > A_3 > A_4$ sonucuna varılır.

Promethee III'de sıralama alternatifler için aralıklar belirleyerek gerçekleştirilir. Örnek olarak A_1 alternatifi için aralık oluşturulmuştur. Bunun için önce aralığın ortası denklem (5.165)'a göre belirlenir.

$$\bar{F}(1) = \frac{1}{m} F(1) = 1/4 * (0,781) = 0,195$$

Ardından A_1 'in varyansı denklem (5.166) kullanılarak hesaplanır.

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{4} \sum_{l=2,3,4} [s^d(1,l) - s^d(l,1) - \bar{F}(1)]^2 = 0,031$$

Buradan standart hata σ_1^2 'nin karekökü alınarak bulunur: $\sigma_1 = 0,176$.

$\alpha = 0,15$ seçilirse aralığın üst ve alt sınırları denklemler (5.163) ve (5.164) kullanılarak hesaplanır.

$$Z_1 = \bar{F}(1) - \alpha \sigma_1 = 0,195 - 0,15*0,176 = 0,169$$

$$Y_1 = \bar{F}(1) + \alpha \sigma_1 = 0,195 + 0,15*0,176 = 0,222$$

Benzer şekilde tün alternatifler için aralıklar hesaplanmıştır:

	A_1	A_2	A_3	A_4
Z_k	0,169	-0,054	-0,076	-0,134
Y_k	0,222	-0,001	-0,058	-0,068

Aralıklar oluşturulduktan sonra sıralama yapılır. Bir alternatifin diğerinden iyi olduğuna karar verebilmek için o alternatifin alt sınırının diğerinin üst sınırından büyük olması gerekir. Örneğin $A_1 > A_2$ olur çünkü $Z_1 > Y_2$ 'dir. Sonuç olarak elde edilen aralıklara göre A_1 en iyi, A_2 , A_3 ve A_4 'ten iyi ve A_3 A_4 birbirinden farksız olarak belirlenir.

$$A_1 > A_2 > \begin{matrix} A_3 \\ \vdots \\ A_4 \end{matrix}$$

5.3.4.4 Aouam vd. Yaklaşımı

Yöntemde (a,b) çifti için $f(a,b)$ üstünlük fonksiyonu tanımlanmaktadır. Bu fonksiyon a'nın b üzerinde tercih edilmesinin güvenilirliğini yansıtır. Burada alternatiflerin çok kriterli performansları karşılaştırılmaktadır. Böylece $g(a)$ ve $g(b)$, a ve b alternatiflerinin performanslarının normalize vektörleri olduğunda $f(a,b)$ aşağıdaki gibi tanımlanır [19]:

$$f(a,b) = f[g(a) - g(b)], \forall (a,b) \in A \times A \quad (5.167)$$

Denklem (5.167)'in uygulanabilmesi için tüm ölçütlerin karşılaştırılabilir ölçekte olması gerekir.

Yöntem üç adımdan oluşmaktadır. (1) Alternatifler arasındaki farkı değerlendirmek için d_j , D_j ve C bulanık sayılarının hesaplanması, (2) önceki adımda hesaplanan bulanık sayıları karşılaştırmak ve uyum (dC) ve uyumsuzluk (dD) fonksiyonları tanımlamak için bulanık sıralama yöntemi (OERI)'nin uygulanması ve (3) karar vermeyi sağlayacak gösterge değeri hesaplamak için dC ve dD 'nin birleştirilerek f üstünlük fonksiyonunun ve toplam üstülük yoğunluğu I nın elde edilmesi.

Yöntemde kullanılması kolay ve bulanıklığı yeterinde modellemeyi sağladığı için üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır.

Adım1. d_j , D_j ve C bulanık sayılarının hesaplanması

$d_j(a,b)$ kısmi üstünlük bulanık sayısı j 'inci ölçüte göre b'nin a tarafından üstünlük kurulma derecesini gösterir. j 'inci ölçüt için en büyük anlamlı eşik değeri s_j olarak gösterilirse (a, b) alternatif çiftleri, $a \neq b$, için j 'inci ölçüte göre kısmi üstünlük bulanık sayısı aşağıdaki gibi tanımlanır:

j 'inci ölçüt belirgin ise;

$$d_j(a,b) = ((g_j(a) - g_j(b))^+, (g_j(a) - g_j(b))^+, (g_j(a) - g_j(b))^+ + s_j), \quad (5.168)$$

j 'inci ölçüt bulanık ise;

$$d_j(a,b) = ((g_j(a)^L - g_j(b)^L)^+, (g_j(a)^M - g_j(b)^M)^+, (g_j(a)^R - g_j(b)^R)^+ + s_j), \quad (5.169)$$

olarak tanımlanır. Burada üzerinde + olarak gösterilen fonksiyon $x^+ = \max(0, x)$ fonksiyonudur ve $g_j(a)^L$, $g_j(a)^M$, $g_j(a)^R$ şeklinde gösterilen sayılar $g_j(a)$ üçgen bulanık sayısının sırasıyla sol, orta ve sağ değerleridir.

a'nın b'ye üstünlüğünün göstergesi olan $C(a,b)$ bulanık uyum değeri kısmi üstünlük derecelerinin toplanmasıyla bulunur. p_j j'inci ölçüte atanan ağırlık ise (a, b) alternatif çiftleri, $a \neq b$, için bulanık üstünlük değeri aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$C(a,b) = \sum_{j=1}^n p_j^c * d_j(a,b) \quad (5.170)$$

denklemdaki p_j^c 'nin değeri şöyledir:

$$p_j^c = \begin{cases} p_j, & g_j(a) - g_j(b) \geq 0 \text{ ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.171)$$

$d_j(a,b)$ değerleri üçgen bulanık sayı olduğu için $C(a,b)$ 'nin değeri de üçgen bulanık sayı olarak elde edilir.

j'inci ölçüte göre a'nın b'ye üstünlüğünün uyumsuzluğunu gösteren $D_j(a,b)$ uyumsuzluk değeri, (a, b) alternatif çiftleri, $a \neq b$, için aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

j'inci ölçüt belirgin ise;

$$D_j(a,b) = (g_j(b) - g_j(a), g_j(b) - g_j(a), g_j(b) - g_j(a) + s_j), \quad (5.172)$$

j'inci ölçüt bulanık ise;

$$D_j(a,b) = (g_j(b)^L - g_j(a)^L, g_j(b)^M - g_j(a)^M, g_j(b)^R - g_j(a)^R + s_j), \quad (5.173)$$

$D_j(a,b)$ değeri a'nın b'ye üstünlüğünün uyumsuzluğunu gösteren $dD_j(a,b)$ göstergesinin hesabında kullanılacaktır.

Adım2. dC ve dD fonksiyonlarının tanımlanması

Uyum ve uyumsuzluk fonksiyonlarını tanımlamak için uyum ve uyumsuzluk değerleri kullanılır. Fakat bulanık sayıların sıralaması veya karşılaştırılması kolay olmadığı için yöntem bulanık uzaklıkların kullanılmasını uygun görmüştür. Bulanık uzaklık yaklaşımlarından OERI kullanılmıştır. OERI n tane bulanık kümeyi sıralamak için her bulanık kümeye bir gösterge (A_j) atar. Gösterge değeri aşağıdaki gibi bulunur:

$$OM(A_j) = \int_0^{W_{hgt}^*} g_j(\{\mu_{A_j}^{-1}(w)\})dw \quad (5.174)$$

Burada $W_{hgt}^* = \text{enk}_j[hgt(A_j)]$ ve $\{\mu_{A_j}^{-1}(w)\} = \{x_j / \mu_{A_j}(x_j) = w\}$

Eğer $x_j''(w) = \sup\{x_j / \mu_{A_j}(x_j) = w\}$ ve $x_j'(w) = \inf\{x_j / \mu_{A_j}(x_j) = w\}$ ise fonksiyon aşağıdaki gibi olur:

$$g_j(\{\mu_{A_j}^{-1}(w)\}) = \omega(w)[\chi_1(w)x_j'(w) + \chi_2(w)x_j''(w)] \quad (5.175)$$

burada w , üyelik derecesine karşılık gelen bulunma düzeyi, $\omega(w)$ karar verici tarafından belirlenen w 'nin ağırlık fonksiyonu, $\chi_1(w)$ ve $\chi_2(w)$ ise w düzeyinde $x'(w)$ ve $x''(w)$ için belirlenen ağırlık faktörleridir.

Denklem (5.174) ve (5.175)'da tüm w 'ler için $\omega(w)=1$; $\chi_1(w) = \chi_2(w) = 0,5$ alınırsa ve değerlendirilecek bulanık kümelerin üçgen bulanık sayı olduğu düşünülürse gösterge değeri aşağıdaki gibi belirlenir:

$$\begin{aligned} OM(A_j) &= \frac{1}{2} \int_0^1 [(A_j^M - A_j^L(1-w)) + (A_j^M + A_j^R(1-w))] dw \\ &= \frac{4A_j^M - A_j^L + A_j^R}{4} \end{aligned} \quad (5.176)$$

burada $A_j = (A_j^L, A_j^M, A_j^R)$ 'dir.

A_1 ve A_2 gibi arasındaki iki bulanık sayı arasındaki fark ise şöyle oluşur:

$$Fark(A_1, A_2) = OM(A_1) - OM(A_2) \quad (5.177)$$

Bu fark fonksiyonu bulanık uyum ve uyumsuzluk ilişkilerinin karşılaştırılmasında kullanılacaktır.

Şöyle ki; bulanık uyum fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} dC(a,b) &= Fark(C(a,b), C(b,a)) \text{ veya} \\ dC(a,b) &= OM(C(a,b)) - OM(C(b,a)) \end{aligned} \quad (5.178)$$

eğer $dC(a,b) > 0$ ise a 'nın b 'ye üstünlük kurması uyumludur denir ve uyum derecesi $dC(a,b)$ 'ye eşittir.

Yöntemde uyumsuzluk göstergesini hesaplamak için veto eşiği (v_j) tanımlanmıştır. Sistos vd. yaklaşımındaki veto eşiğiyle aynı vazifeyi görür fakat bulanık sayılarla tanımlanmıştır. Buna göre bulanık uyumsuzluk göstergesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$dD(a,b) = \bigoplus_{j \in \{1,2,\dots,n\}} (dD_j(a,b)), \quad (5.179)$$

burada

$$dD_j(a,b) = \begin{cases} \frac{OM(D_j(a,b))}{OM(v_j)} & g_j(b) - g_j(a) > 0 \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.180)$$

Eğer $dD(a,b) > dD(b,a)$ ise a'ya karşı b'nin üstünlüğünün uyumsuzluk derecesi b'ye karşı a'nın üstünlüğünün uyumsuzluk derecesinden büyüktür denir.

Adım3. $f(a,b)$ ve $I(a)$ değerlerinin hesaplanması

$f(a,b)$ bulanık üstünlük fonksiyonu, $dC(a,b)$ bulanık uyum fonksiyonu ve $dD(a,b)$ bulanık uyumsuzluk fonksiyonları ile bulunur. Yöntemde $f(a,b)$ 'nin hesaplanmasında karar vericinin uyum ve uyumsuzluğa verdiği önem de dikkate alınır. β etkeni karar vericinin uyumsuzluğun etkisine verdiği önemi göstermek üzere $f(a,b)$ aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$f(a,b) = \begin{cases} dC * [1 - (\beta * dD)] & dC > 0 \text{ ise} \\ dC & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.181)$$

β değeri 0 ile 1 arasında değişir ve arttığında uyumsuzluk tarafına daha çok önem verildiğini gösterir. Ortalama kötümser bir karar verici için $\beta = 0,5$ alınması yeterli sonuçları verir. Hesaplamalar sonucunda eğer $f(a,b) > f(b,a)$ ise a b'den üstündür denir.

Bazı durumlarda toplam üstünlük göstergesine ihtiyaç duyulabilir. Bunun için önce a'nın b'ye üstünlük kurma yoğunluğu tanımlanmıştır:

$$d f(a,b) = f(a,b) - f(b,a) \quad (5.182)$$

Toplam üstünlük yoğunluğu $I(a)$ ise a alternatifinin diğer tüm alternatiflere üstünlük kurma yoğunlukları toplamına eşittir.

$$I(a) = \sum_{b \in A} d f(a,b), \quad b \neq a \quad (5.183)$$

Buna göre en iyi alternatif en yüksek toplam üstünlük yoğunluğu değerine sahip olanıdır.

Sayısal Örnek

Diğer üstünlük yöntemlerinde verilen örnek Aouam vd. yaklaşımı için de kullanılacaktır. Örnekte bir üniversite bölümüne araştırma görevlisi pozisyonuna başvuran dört kişiden biri seçilecektir. Seçim Les puanı (X1), lisans mezuniyet puanı (X2) ve mülakat puanı (X3) olmak üzere üç kritere göre yapılacaktır. Adayların bu kriterlere göre durumlarını gösteren karar matrisi ve ölçütlerin ağırlıkları aşağıda verilmiştir:

$$\begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{array} \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ 76,51 & 3,65 & 4 \\ 72,48 & 3,42 & 6 \\ 78,95 & 3,03 & 3 \\ 73,21 & 3,25 & 7 \end{bmatrix}$$

$$\underline{w} = (0,20; 0,45; 0,35)$$

Öncelikle ölçütlerin karşılaştırılabilir ölçeklere getirilmesi gerekir. Bunun için Les Puanının 70-80 arasında; lisans mezuniyet puanının 3-4 arasında ve mülakat puanının da 0-10 arasında değiştiği varsayılarak hepsi 0-10 ölçeğine çevrilmiştir.

$$\begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{array} \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ 6,51 & 6,5 & 4 \\ 2,48 & 4,2 & 6 \\ 8,95 & 0,3 & 3 \\ 3,21 & 2,5 & 7 \end{bmatrix}$$

Yöntemde kullanılacak anlamsızlık eşiği, s_j ve veto eşiği, v_j , değerleri aşağıdaki gibi öngörülmüştür.

i	s_i	v_i
1	2	(6,7,8)
2	2,5	(4; 5;6)
3	2,5	(4;4,5;5)

Artık yöntemin uygulamasına geçilebilir.

Adım1. d_j , D_j ve C bulanık sayılarının hesaplanması

d_j değerleri tüm ölçüt değerleri belirgin olduğu için denklem (5.168)'ye göre elde edilir. Sonuçlar aşağıda verilmiştir. Örneğin $d_1(A_1, A_2)$ şöyle hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned} d_1(A_1, A_2) &= ((g_1(A_1) - g_1(A_2))^+, (g_1(A_1) - g_1(A_2))^+, (g_1(A_1) - g_1(A_2))^+ + s_1) \\ &= ((6,51 - 2,48)^+, (6,51 - 2,48)^+, (6,51 - 2,48)^+ + 2) \\ &= (4,03; 4,03; 6,03) \end{aligned}$$

$$d_1 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & (4,03;4,03;6,03) & (0;0;2) & (3,3;3,3;5,3) \\ (0;0;2) & - & (0;0;2) & (0;0;2) \\ (2,44;2,44;4,44) & (6,47;6,47;8,47) & - & (5,74;5,74;7,74) \\ (0;0;2) & (0,73;0,73;2,73) & (0;0;2) & (0;0;2) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$d_2 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & (2,3;2,3;4,8) & (6,2;6,2;8,7) & (4;4;6,5) \\ (0;0;2,5) & - & (3,9;3,9;6,4) & (1,7;1,7;4,2) \\ (0;0;2,5) & (0;0;2,5) & - & (0;0;2,5) \\ (0;0;2,5) & (0;0;2,5) & (2,2;2,2;4,7) & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$d_3 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & (0;0;2,5) & (1;1;3,5) & (0;0;2,5) \\ (2;2;4,5) & - & (3;3;5,5) & (0;0;2,5) \\ (0;0;2,5) & (0;0;2,5) & - & (0;0;2,5) \\ (3;3;5,5) & (1;1;3,5) & (4;4;6,5) & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

D_j uyumsuzluk değerleri tüm ölçüt değerleri belirgin olduğu için denklem (5.172)'ya göre elde edilir. Sonuçlar aşağıda verilmiştir. Örneğin $D_1(A_1, A_3)$ şöyle hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned} D_1(A_1, A_3) &= (g_1(A_3) - g_1(A_1), g_1(A_3) - g_1(A_1), g_1(A_3) - g_1(A_1) + s_1) \\ &= (8,95 - 6,51, 8,95 - 6,51, 8,95 - 6,51 + 2) \\ &= (2,44; 2,44; 4,44) \end{aligned}$$

$$D_1 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & (-4,03;- & & \\ & 4,03;-2,03) & (2,44;2,44;4,44) & (-3,3;-3,3;-1,3) \\ (4,03;4,03;6,03) & - & (6,47;6,47;8,47) & (0,73;0,73;2,73) \\ (-2,44;-2,44;- & (-6,47;- & & (-5,74;-5,74;- \\ 0,44) & 6,47;-4,47) & - & 3,74) \\ & (-0,73;- & & \\ (3,3;3,3;5,3) & 0,73;1,27) & (5,74;5,74;7,74) & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$D_2 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & (-2,3;-2,3;0,2) & (-6,2;-6,2;-3,7) & (-4;-4;-1,5) \\ (2,3;2,3;4,8) & - & (-3,9;-3,9;-1,4) & (-1,7;-1,7;0,8) \\ (6,2;6,2;8,7) & (3,9;3,9;6,4) & - & (2,2;2,2;4,7) \\ (4;4;6,5) & (1,7;1,7;4,2) & (-2,2;-2,2;0,3) & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$D_3 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & (2;2;4,5) & (-1;-1;1,5) & (3;3;5,5) \\ (-2;-2;0,5) & - & (-3;-3;-0,5) & (1;1;3,5) \\ (1;1;3,5) & (3;3;5,5) & - & (4;4;6,5) \\ (-3;-3;-0,5) & (-1;-1;1,5) & (-4;-4;-1,5) & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

C göstergesi, elde edilen d_j değerleri ve denklem (5.171)'e göre belirlenen p_j^c değerlerinin denklem (5.170)'e uygulanmasıyla bulunur. Örneğin $C(A_3, A_4)$ 'ü hesabında önce p_j^c değerleri belirlenir: $p_1^c = 0,20$; $p_2^c = 0$; $p_3^c = 0$ çünkü üçüncü

alternatif sadece birinci ölçüte göre dördüncüden büyüktür ve birinci ölçütün ağırlığı 0,20'dir. Buna göre

$$\begin{aligned} C(A_3, A_4) &= 0,20*(5,74;5,74;7,74) + 0*(0;0;2,5) + 0*(0;0;2,5) \\ &= (1,15;1,15;1,55) \end{aligned}$$

olarak belirlenir. Diğer sonuçlar aşağıda verilmiştir.

$$C = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & (1,84;1,84;3,37) & (3,14;3,14;5,14) & (2,46;2,46;3,99) \\ (0,7;0,7;1,58) & - & (2,81;2,81;4,81) & (0,77;0,77;1,89) \\ (0,49;0,49;0,89) & (1,29;1,29;1,69) & - & (1,15;1,15;1,55) \\ (1,05;1,05;1,93) & (0,50;0,50;1,77) & (2,39;2,39;4,39) & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Adım2. dC ve dD fonksiyonlarının tanımlanması

Bulanık uyum fonksiyonu dC önceki adımda elde edilen uyum değerlerinin denklem (5.178)'ye koyulmasıyla bulunur. Örnek olarak dC(A₁,A₂) hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned} dC(A_1, A_2) &= OM(C(A_1, A_2)) - OM(dC(A_2, A_1)) \\ &= OM((1,84;1,84;3,37)) - OM((0,7;0,7;1,58)) \\ &= \frac{4*1,84 - 1,84 + 3,37}{4} - \frac{4*0,7 - 0,7 + 1,58}{4} \\ &= 0,130 \end{aligned}$$

OM fonksiyonunun değerleri denklem (5.176)'a göre bulunmuştur. Diğer sonuçlar aşağıda verilmiştir.

$$dC = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & 1,30 & 3,05 & 1,57 \\ -1,30 & - & 1,91 & 0,23 \\ -3,05 & -1,91 & - & -1,64 \\ -1,57 & -0,23 & 1,64 & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

dD uyumsuzluk fonksiyonunu bulmak için önce dD_j değerleri denklem (5.180)'e göre hesaplanır sonrada bu değerler denklem (5.179)'te kullanılır. Örneğin dD(A₂,A₁)'yi hesaplamak için önce dD₁(A₂,A₁), dD₂(A₂,A₁) ve dD₃(A₂,A₁) değerlerinin hesaplanması gerekir. Aşağıda dD₁(A₂,A₁)'in bulunuşu verilmiştir.

g₁(A₁)- g₁(A₂) > 0 olduğu için

$$dD_1(A_2, A_1) = \frac{OM(D_1(A_2, A_1))}{OM(v_1)} = OM(4,03;4,03;6,03) / OM(6,7,8) = 0,604$$

olarak hesaplanır. Benzer işlemlerle $dD_2(A_2, A_1) = 0,532$ ve $dD_3(A_2, A_1) = 0$ bulunur ve bu değerler denklem (5.179)'e konursa

$$dD(A_2, A_1) = \text{enb}_{j \in \{1,2,3\}} (dD_j(A_2, A_1)) = 0,604$$

olarak bulunur. Tüm alternatif çiftleri için uyumsuzluk göstergeleri aşağıda verilmiştir.

$$dD = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & 0,55 & 0,39 & 0,76 \\ 0,60 & - & 0,93 & 0,34 \\ 1,24 & 0,82 & - & 0,97 \\ 0,84 & 0,42 & 0,83 & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Adım3. $f(a,b)$ ve $I(a)$ değerlerinin hesaplanması

f üstünlük fonksiyonu denklem (5.181)'e göre elde edilen uyum ve uyumsuzluk göstergelerine göre hesaplanır. Örneğin $f(A_1, A_2)$ $dC(A_1, A_2)$ ve $dD(A_1, A_2)$ kullanılarak ve $\beta=0,5$ alınarak şöyle bulunur ($dC(A_1, A_2) > 0$ olduğu için işlem, denklem (5.181)'in üst kısmıyla yapılmıştır.)

$$\begin{aligned} f(A_1, A_2) &= dC(A_1, A_2) * [1 - (\beta * dD(A_1, A_2))] \\ &= 1,3 * [1 - (0,5 * 0,55)] = 0,943 \end{aligned}$$

tüm çiftler için hesaplanan üstünlük fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

$$f = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & 0,943 & 2,454 & 0,972 \\ -1,304 & - & 1,023 & 0,192 \\ -3,052 & -1,911 & - & -1,642 \\ -1,573 & -0,232 & 0,959 & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Son olarak toplam üstünlük yoğunluğu I değerleri denklem (5.183)'ye göre hesaplanır. Örneğin A_2 için $I(A_2)$ göstergesi aşağıdaki gibi bulunur.

$$\begin{aligned} I(A_2) &= f(A_2, A_1) + f(A_2, A_3) + f(A_2, A_4) \\ &= -1,304 + 1,023 + 0,192 \\ &= -0,089 \end{aligned}$$

diğer alternatifler için üstünlük yoğunluk gösterge değerleri aşağıda verilmiştir.

	$I(A)$
A_1	4,370
A_2	-0,089
A_3	-6,605
A_4	-0,845

Bu sonuçlara göre en iyi alternatif A_1 'dir ve diğerleri $A_2 > A_4 > A_3$ şeklinde sıralanırlar.

5.3.4.5 Bulanık Üstünlük Yöntemlerinin Değerlendirmesi

Bulanık üstünlük yöntemlerinin diğer yöntemlerden farklı olarak en önemli özelliği bulanıklığı modele, verileri bulanık küme veya sayılarla temsil ederek değil çeşitli eşik değerleriyle yansıtmasıdır. Sadece Aouam vd. yaklaşımında hem bulanık sayılar hem de eşik değerleri birlikte kullanılmıştır. Genel olarak tüm bulanık üstünlük yöntemlerinde bir alternatifin diğerinden üstün olarak nitelenmesi için o alternatifin karşılaştırılan diğer alternatiften belli bir eşğin üstünde daha iyi olması gerekir. Böylece performans değerlerindeki bulanıklık göz ardı edilmemiş olur.

Birbirleriyle benzer özellikler taşıyan Roy ve Sistos yaklaşımlarının farklı yönleri mevcuttur. Roy yaklaşımında üç eşik kullanılır: (1) t^i (farklı olmama eşiği) (2) t^p (tercih edilme eşiği) (3) t^v (veto eşiği). Sistos vd. yaklaşımında ise iki eşik kullanılır: (1) t_j (enbüyük anlamlı olmayan eşik) ve (2) v_j (veto eşiği). Sistos vd. yöntemindeki t_j ve v_j eşikleri Roy yaklaşımındaki t^p ve t^v eşikleriyle aynı amaca yönelik kullanılmaktadır. Sistos yaklaşımında Roy yaklaşımındaki t^i eşiği 0 olarak kabul edilmiştir. Bu açıdan bakıldığında iki yöntemde her bir ölçüt için hazırlanan uyum ve uyumsuzluk matrisleri birbirleriyle aynıdır. Fakat yöntemlerde toplu (her ölçüt için elde edilen üstünlük matrislerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan) uyum ve uyumsuzluk ilişkileri ve bulanık üstünlük ilişkisinin ($s^d(k,l)$) hazırlanması farklı olarak yapılır. Roy yaklaşımında önce toplu uyum ve uyumsuzluk ilişkileri hazırlanır sonra bunlar kullanılarak bulanık üstünlük ilişkisi elde edilir. Sistos vd. yaklaşımında ise sadece toplu uyum ilişkisi hazırlanır, bulanık üstünlük ilişkisi toplu uyum ilişkisi ve her ölçüt için hazırlanmış uyumsuzluk ilişkileri ile elde edilir. İki yöntem sıralama konusunda da birbirinden farklıdır. Roy yaklaşımında sıralama bulanık üstünlük ilişkisi üzerinde gerçekleştirilirken Sistos vd. yaklaşımında sıralama baskınlık ve basıklık ilişkileri oluşturularak elde edilir.

Brans vd. yaklaşımı Roy ve Sistos vd. yaklaşımlarından farklı özellikler taşır. Yöntemde bulanık üstünlük ilişkilerini oluşturmak için $H(d)$ fonksiyonlarından yararlanılır. $H(d)$ fonksiyonları diğer yöntemlerin eşik değerleri oluşturarak yapmak istediklerini temsil eden bir yapıdır. Fakat üstünlük ilişkileri sadece $H(d)$ fonksiyonlarına göre bulunduğu için diğer yöntemlerde dikkate alınan uyumsuzluk ilişkileri kullanılmamış olur. Ayrıca yöntemde ölçütlerin ağırlıkları dikkate

alınmamaktadır. Bu yöntemin en önemli eksikliğidir. Ölçütlerin ağırlıkları, bulanık üstünlük ilişkilerinin hesabında (denklem (5.159)) $H(d)$ değerlerin ölçütlerin ağırlıkla çarparak hesaba katılabilir.

Ölçütlerin ağırlıklarını yöntemle sokmak için yeniden hazırlanmış $s^d(k,l)$ formülü aşağıda verilmiştir.

$$s^d(k,l) = \sum_j w_j H(d_j) + \sum_g w_g H(d_g), d_g, d_j \geq 0, \forall g, j \quad (5.184)$$

burada w_j fayda ölçütlerinin w_g maliyet ölçütlerinin ağırlıklarıdır.

Brans vd. yaklaşımına göre sıralama farklı Promethee yöntemleri için farklıdır. Sıralama için uygulaması en kolay yöntem doğrusal bir sıralama elde etmek için tercih edilen Promethee II'dir. Fakat doğrusal sıralama her zaman gerçekleri yansıtmaz, bazı durumlarda gerçekten farksız, birbirine çok yakın veya karşılaştırılmaz alternatifler olabilir. Promethee II bu yönden zayıftır. Promethee I bahsedilen farksızlık ve çok yakınlık durumlarını ayırt etmek için uygundur. Aynı zamanda uygulaması da kolaydır. Promethee III ise uygulaması diğerlerine göre daha çok işlem gerektirir. Fakat karar vericinin isteğine göre α değerini değiştirerek sıralamanın istenen şekilde (farklılıkları ayırt etme düzeyi) yapılmasını sağlar.

Aouam vd. yöntemi diğerlerinden farklı olarak girdi değerlerinin bulanık sayı olmasına izin verir. Yöntemde aynı zamanda anlamsızlık ve veto eşik değerleri de kullanılmaktadır. Anlamsızlık eşiği kısmi üstünlük değerinin, veto eşiği ise uyumsuzluk göstergesinin hesabında sürece katılmıştır. Yöntemin açık olmayan yanları da mevcuttur. Örneğin denklem (5.171) ve (5.180)'te $\{g_j(a)-g_j(b)>0\}$ 'a karar vermek gerekmektedir. Bu değerlerin bulanık sayılarla ifade edildiğinde nasıl karar verileceği yöntemde belirtilmemiştir. Bunun için elde edilen değerlerin nerede kullanılacağı dikkate alınarak performans değerlerinin bulanık üçgen sayı olması durumunda denklem (5.171) ve (5.180) yerine kullanılabilecek denklemler önerilmiştir:

$g_j(a)-g_j(b) = (x,y,z) - \{\text{üçgen bulanık sayısı}\}$ olarak alınırsa; denklem (5.171)

$$p_j^c = \begin{cases} 0, & x < 0, y < 0, z < 0 \text{ ise} \\ p_j, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.185)$$

şeklinde, denklem (5.180) ise

$$dD_j(a,b) = \begin{cases} 0 & x \leq 0, y \leq 0, z \leq 0 \text{ ise} \\ \frac{OM(dD_j(a,b))}{OM(v_j)} & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.186)$$

şeklinde değiştirilebilir.

5.3.5 Maksimin Yöntemleri

Klasik maksimin yönteminde alternatifler arasından en iyi olanı, A^* , şöyle seçilir:

$$A^* = \{A_i \mid \text{enb enk } x_{ij} \} j=1,...,n; i=1,...,m.$$

burada x_{ij} 'lerin hepsi ortak bir ölçektir.

Maksimine göre önce her alternatifin puanı o alternatifin en düşük ölçütüne göre belirlenir ve elde edilen değerlerden en büyüğüne sahip alternatif en iyi olarak nitelenir. Yöntem karar vermede kötümser bir yaklaşımdır.

Maksimin yöntemi için karar matrisi aşağıdaki gibi verilir:

$$\begin{matrix} & x_1 & \dots & x_j & \dots & x_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \mu_1(x_1) & \dots & \mu_1(x_j) & \dots & \mu_1(x_n) \\ \vdots & & & & \\ \mu_i(x_1) & \dots & \mu_i(x_j) & \dots & \mu_i(x_n) \\ \vdots & & & & \\ \mu_m(x_1) & \dots & \mu_m(x_j) & \dots & \mu_m(x_n) \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.187)$$

Burada $\mu_i(x_j) \in [0,1]$ A_i alternatifinin X_j ölçütünü ne kadar iyi sağladığını gösterir. Karar vericinin öznel bir değerlendirmesini temsil ettiği için bulanıktır. En iyi alternatif A^* şu şekilde belirlenir:

$$A^* = \{A_i \mid \text{enb enk } \mu_i(x_j) \} j=1,...,n; i=1,...,m.$$

Klasik ÇÖKV problemlerinde ölçütlerin ölçekleri farklı olabilir. Bu tip problemlerde maksimin yöntemini uygulayabilmek için değerler normalize edilir ve karşılaştırılabilir hale getirilir. Bulanık modellemede ise normalizasyona gerek yoktur çünkü tüm değerler alternatiflerin ölçütleri sağlama durumunu gösteren sözel ifadelerdir.

Çalışma kapsamında bulanık maksimin yöntemlerine örnek olması için Yager yaklaşımı irdelenecektir.

5.3.5.1 Yager Yaklaşımı

Yager her ölçüte karar vericinin görüşlerini yansıtan bir ağırlık atanması fikrini temel alan bir yöntem önermiştir. Ağırlıklar AHS yöntemindeki gibi hesaplanır. En iyi alternatifi seçerken aşağıdaki fonksiyonu kullanılır.

$$enb\ enk(\mu_i(x_j)^{w_j}) \quad (5.188)$$

Burada her alternatifin ölçütlere göre performansını belirlerken alternatif için ölçüt bazında verilen değerin ölçüt ağırlığı katı alınmıştır.

Algoritma

ÇÖKV problemi (5.187)'daki gibi verilmiş olsun;

Adım1 Her ölçütün göreceli önem düzeyi (ağırlıkları) belirlenir. Ölçütlerin ikili önem düzeyi karşılaştırmaları karar vericiden alındıktan sonra $w_j, \forall j$, ağırlığını hesaplamak için klasik AHS'deki gibi özvektör yöntemi kullanılır (bkz. Bölüm5.3.2).

Adım2 Ağırlıklandırılmış karar matrisi oluşturulur. Ağırlıklar karar matrisini yeniden oluşturmak için kullanılır. (5.189)'te ağırlıklandırılmış karar matrisi verilmiştir.

$$A_i \begin{bmatrix} X_1 & \dots & X_j & \dots & X_n \\ \mu_{i1}^{w_1} & \dots & \mu_{ij}^{w_j} & \dots & \mu_{in}^{w_n} \\ \vdots & \vdots & & & \\ A_i & \mu_{i1}^{w_1} & \dots & \mu_{ij}^{w_j} & \dots & \mu_{in}^{w_n} \\ \vdots & \vdots & & & \\ A_m & \mu_{m1}^{w_1} & \dots & \mu_{mj}^{w_j} & \dots & \mu_{mn}^{w_n} \end{bmatrix} \quad (5.189)$$

Burada $\mu_{ij} = \mu_i(x_j)$ ve w_j de birinci adımda elde edilen ağırlıktır.

Adım3 Bir uzlaşık çözüm seçilir. İdeali tüm ölçütlere göre en yüksek üyelik derecesine sahip alternatifi seçmektir. Fakat bu çok sık gerçekleşmez. Bir ölçütte yüksek puan alan diğerinden düşük alabilir. Böyle durumlarda uzlaşık bir çözüm bulmak için Yager maksimin yöntemini kullanmıştır. Seçilecek alternatif, alternatiflerin tüm ölçütlere göre en düşük üyelik dereceleriyle temsil edildiğinde en yüksek en düşük üyelik derecesine sahip olandır. Yani (5.190)'i sağlayan alternatiftir.

$$enb\ enk(\mu_{ij}^{w_j}) \quad (5.190)$$

Sayısal Örnek

Bölüm 5.3.3'te verilen araba örneği verileri Yager yöntemine uydurularak incelenecektir. Örnekte bir baba ailesi için bir araba almak istemektedir. Dört ayrı araba arasından yapacağı seçimi dört ölçüte göre yapacaktır: fiyat (x1), motor gücü (x2), konfor (x3) ve güvenlik(x4). Alternatiflerin ölçütleri karşılama dereceleri tek elemanlı bulanık küme ile ifade edilecektir. Aşağıda karar matrisi verilmiştir:

$$D = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,9 & 0,7 & 0,2 & 0,15 \\ 0,8 & 0,6 & 0,4 & 0,3 \\ 0,6 & 0,8 & 0,7 & 0,85 \\ 0,5 & 0,9 & 0,8 & 0,4 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Problem aşağıdaki adımlara göre çözülür.

Adım1 Ağırlıklar elde edilir. Ölçütlerin eşlenik karşılaştırma matrisi aşağıdaki oluşturulduğu varsayılmıştır:

$$\begin{matrix} & X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \\ \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{matrix} & \begin{vmatrix} 1 & 4 & 2 & 1/2 \\ 1/4 & 1 & 1/2 & 1/7 \\ 1/2 & 2 & 1 & 3 \\ 2 & 7 & 4 & 1 \end{vmatrix} \end{matrix}$$

Özvektör yöntemi kullanılarak ağırlıklar aşağıdaki gibi elde edilir:

$$w = (0,288; 0,073; 0,324; 0,314)$$

Adım2 Ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir. Bunun için karar matrisindeki her elemanın ilgili ağırlık kadar üssü alınır. Örneğin $\mu_1(x_3)$ şöyle hesaplanır:

$$\mu_1(x_3) = (\mu_{13})^{w_3} = 0,2^{0,324} = 0,594$$

Aşağıda tüm değerleri hesaplanmış matris verilmiştir.

$$\begin{matrix} & X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,970 & 0,974 & 0,594 & 0,551* \\ 0,938 & 0,963 & 0,743 & 0,685* \\ 0,863* & 0,984 & 0,891 & 0,950 \\ 0,819 & 0,992 & 0,930 & 0,750* \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Adım3 Bir alternatif seçilir. Alternatif seçmek için maksimin yöntemi kullanılır. Yani önce her alternatifin ölçütlerden aldığı enküçük puan alınır ve enbüyük enküçük puana sahip olan alternatif en iyi olarak belirlenir. Burada alternatiflerin enküçük değerleri sırasıyla [0,551; 0,685; 0,863; 0,750] olarak bulunur (* işaretli değerler).

Buna göre de enbüyük enküçük puana (0,863) sahip olan A_3 alternatifi en iyi seçenek olarak belirlenir.

Yager Yönteminin Değerlendirmesi

Yager yaklaşımında bulanıklığı modelleyebilmek için karar matrisinde alternatiflerin ölçütlere göre performans puanları yerine alternatiflerin ölçütleri sağlama dereceleri kullanılır. Fakat alternatiflerin ölçütleri sağlama derecelerini temsil etmek için sadece bir elemanlı bulanık kümeler kullanılır. Yani yöntemin yaptığı bir belirgin sayı yerine başka bir belirgin sayı kullanmaktan başka bir şey değildir. Bu yüzden bulanıklığın yöntemde tam olarak modellenemediği söylenemez.

5.3.6 Chen ve Hwang Yaklaşımı

Chen ve Hwang [3] mevcut yöntemleri inceleyerek başlıca sorunlarını belirlemişlerdir. Kısaca belirtilecek olursa sorunların ilki yöntemlerin hantal hesaplamalar içermesidir. Bu tip yöntemlerle en fazla on ölçütlü problemler çözülebilmektedir. Ölçüt sayısı onun üstüne çıkınca çözüme ulaşmak için çok fazla zaman ve çaba harcanması gerekmektedir. Belirlenen ikinci önemli sorun çoğu yöntemin sadece bulanık veri ile kullanılabilmesidir. Bu yöntemler belirgin verileri probleme sokmak için bulanık hale getirmektedirler. Fakat belirgin sayıları bulanık hale getirmek hesap güçlüğü yaratmakta ve problemlerin çözülebilirliğini azaltmaktadır. Tespit edilen son sorun ise bazı yöntemlerin bulanık veriyi sadece tek bir üyelik fonksiyonunu içeren bir kümeyle ifade etmesidir. Böyle olunca kurulan modelin klasik ÇÖKV modelinden farkı kalmamıştır [3].

Chen ve Hwang [3] yukarıda belirtilen sorunları gidermek bir ÇÖKV problemini anlamlı ve etkin olarak çözülebilen bir yöntem önermişlerdir. Yöntemin en önemli varsayımı bulanık veya belirgin veri içerebilmesidir. Ayrıca bulanık veri de sözel ifade veya bulanık sayı olabilir.

Yöntem iki ana aşamadan oluşur. Birinci aşamada bulanık veri belirgin puanlara dönüştürülür. Bulanık veriler sözel terimler, bulanık kümeler veya bulanık sayılar olabilir. Eğer bulanık veriler sözel terimlerse önce bulanık sayıya çevrilirler. Sonra tüm bulanık sayılar ve/veya kümelere belirgin puanlar atanır. Birinci aşama sonucunda içeriğindeki tümü belirgin sayılar olan bir karar matrisi elde edilir. İkinci aşamada klasik ÇÖKV yöntemleri kullanılarak alternatiflerin sırası belirlenir. Böylece matematiksel hesaplamalar asgari düzeye indirilmiş olur.

Sözel Terimlerin Bulanık Sayılara Dönüştürülmesi

Sistematik olarak sözel terimleri ilgili bulanık sayılara dönüştürmek için sayısal tahmin sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem sekiz ayrı çevrim ölçeği içerir. Ek-A’da yöntemde kullanılan çevrim ölçekleri verilmiştir. Ayrıca çevrim ölçeklerinde kullanılan terimler Tablo 5.18’de özetlenmiştir. Dikkat edilecek olursa terim sayısı aynı olsa bile kullanılan terimler farklılık arz edebilir. Bununla beraber ayrı ölçeklerdeki aynı terimler farklı bulanık sayılarla ifade edilebilir. Bunun anlamı sözel terimlerin farklı durumlarda farklı anlamlara gelebilmesidir.

Tablo 5.18 Sistemde kullanılan sözel terimler [3]s.470

Ölçek No	1	2	3	4	5	6	7	8
Kullanılan terim sayısı	iki	üç	beş	beş	altı	yedi	dokuz	Onbir
yok								X
çok düşük			X		X	X	X	X
düşük-çok düşük						X	X	
düşük		X	X	X	X	X	X	X
düşüğün üstü				X	X		X	X
aşağı yukarı düşük						X		X
orta	X	X	X	X		X	X	X
aşağı yukarı orta						X		X
yükseğin altı				X	X		X	X
yüksek	X	X	X	X	X	X	X	X
yüksek-çok yüksek							X	X
çok yüksek			X		X	X	X	X
mükemmel								X

Sistemin ilkesi karar verici tarafından verilen, terimlerin olduğu şekli alıp bu şekildeki bulanık sayıları sözel terimlerin anlamlarını ifade etmek için kullanmaktır. Örneğin bir problemde karar verici bir ölçüte göre alternatiflerin değerlendirmesini {orta, çok yüksek, yüksek, düşük} olarak yaptıysa bunun için üçüncü ölçek kullanılarak sözel ifadeler bulanık sayılara dönüştürülebilir. Kullanılan sözel ifadelerden yararlanılarak hangi ölçeğin seçileceği tam olarak tanımlanmamıştır ve sezgiye dayanır. Ayrıca sözel terim olarak verilen ifadeler tam olarak tanımlanan

ölçeklerde belirtilen terimlere uymayabilir. Böyle durumlarda eldeki ifadelerin benzerleri tabloda aranmalıdır. Örneğin bir arabanın hızını ifade ederken “hızlı”, “çok hızlı”, “yavaş” gibi ifadeler kullanılmışsa bunları bulanık sayıya dönüştürmek için kullanılan terimler yerine sırasıyla “yüksek”, “çok yüksek” ve “düşük” terimlerin geçebileceği düşünülüp üçüncü ölçek seçilmelidir.

Bulanık Sayıların Belirgin Puanlara Dönüştürülmesi

Chen ve Hwang [3] bulanık sayıları belirgin puanlara dönüştüren bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemde bulanık sayılar için hesaplanan belirgin puan Bölüm 5.2.4.3’te verilen Chen ve Hwang sıralama yaklaşımında elde edilen toplam puandır. Tekrar gözden geçirilecek olunursa; M bulanık sayısının belirgin puanı sağ ve sol puanları kullanılarak hesaplanır. sağ ve sol puanları elde etme için bulanık sayıların en büyüğü (BEB) ve bulanık sayıların en küçüğünün (BEK) tanımlanması gerekir. yöntemde BEB ve BEK aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$\mu_{beb}(x) = \begin{cases} x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.191)$$

$$\mu_{bek}(x) = \begin{cases} 1-x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.192)$$

M’nin sağ puanı şu şekilde bulunur:

$$\mu_R(M) = \sup_x [\mu_M(x) \wedge \mu_{beb}(x)] \quad (5.193)$$

M’nin sol puanı şöyle bulunur:

$$\mu_L(M) = \sup_x [\mu_M(x) \wedge \mu_{enk}(x)] \quad (5.194)$$

M’nin sağ ve sol puanları elde edildikten sonra bunlar kullanılarak M’nin toplam puanı hesaplanabilir:

$$\mu_T(M) = [\mu_R(M) + 1 - \mu_L(M)]/2 \quad (5.195)$$

Yöntem için gerekli sözel terimleri bulanık sayılara dönüştürme ve bulanık sayıları belirgin puanlara dönüştürme teknikleri verildikten sonra yöntemin nasıl uygulandığını incelemek için algoritması verilmiştir.

Algoritma

Adım1 Sözel ifadeler her ölçüt için bulanık sayılara çevrilir. Bir ölçüt altında kullanılan tüm sözel terimlerle bir tane ölçek (Tablo 5.18'dekiler) eşleştirilir. Eğer birden çok ölçek tanılanırsa az sayıda terim sayısına sahip olan seçilir. İşlem tüm ölçütlerin altındaki sözel terimler bulanık sayılara dönüştürülünceye kadar sürdürülür.

Adım2 Tüm bulanık sayılara denklemler (5.193), (5.194) ve (5.195) kullanılarak belirgin puanlar atanır.

Adım3 Buraya kadar bulanık elemanlı bir karar matrisi reel sayılı olana dönüştürüldü yani BÇÖKV problemi klasik bir ÇÖKV problemine çevrildi. Artık çözüm herhangi bir klasik ÇÖKV yöntemiyle elde edilebilir. Çalışmada verilecek örnekte basit ağırlık toplama yöntemi kullanılarak çözüm aranacaktır.

Sayısal Örnek

Chen ve Hwang yaklaşımının irdelenmesinde Negi yaklaşımında verilen sayısal örnek kullanılacaktır. Örnekte bir baba ailesi için bir araba almak istemektedir. Dört ayrı araba arasından yapacağı seçimi dört ölçütü dikkate alarak yapacaktır: fiyat (x_1), motor gücü (x_2), konfor (x_3) ve güvenlik(x_4). Alternatiflerin ölçütlere göre değerlerini gösteren karar matrisi ve ölçütlerin ağırlıkları aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.:

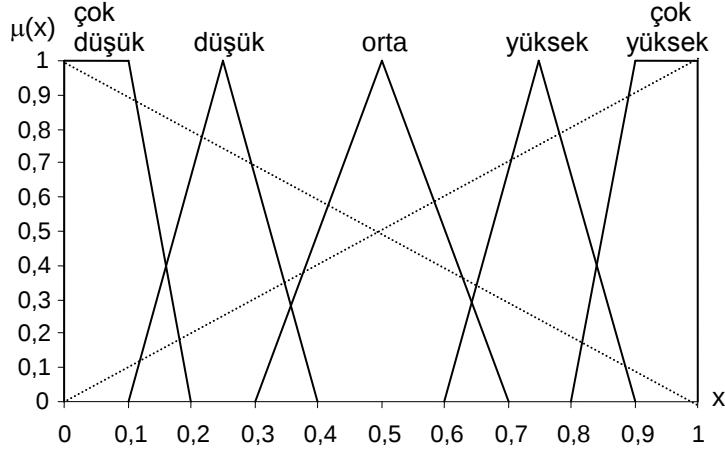
	x_1 (milyar TL)	x_2 (Beygir gücü)	x_3	x_4
$D =$				
A_1	27	112	Düşük	Çok Düşük
A_2	32	104	Orta	Düşük
A_3	45	135	Yüksek	Çok yüksek
A_4	60	160	Çok yüksek	Orta

$\underline{w} = [\text{önemli; önemsiz; orta önemli; çok önemli}]$

Adım1 x_3 , x_4 ve w sözel terimler içermektedir. Bu yüzden bulanık sayılara çevrilmeleri gerekir. Her iki ölçüt ve ağırlıklar için Şekil 5.46'te gösterilen üçüncü ölçek kullanılabilir. Üçüncü ölçek kullanılarak alternatiflerin x_3 ve x_4 ölçütlerine göre puanları ve ağırlık puanları yamuk bulanık sayı olarak aşağıda verilmiştir:

	x_3	x_4
A_1	(0,1;0,25;0,25;0,4)	(0;0;0,1;0,2)
A_2	(0,3;0,5;0,5;0,7)	(0,1;0,25;0,25;0,4)
A_3	(0,6;0,75;0,75;0,9)	(0,8;0,9;1;1)
A_4	(0,8;0,9;1;1)	(0,3;0,5;0,5;0,7)

$\underline{w} = [(0,6;0,75;0,75;0,9); (0,1;0,25;0,25;0,4); (0,3;0,5;0,5;0,7); (0,8;0,9;1;1)]$



Şekil 5.46 Chen ve Hwang'ın üçüncü ölçeği [3] s.467

Adım2 Bulanık sayılara belirgin puanlar atamak için bulanık sayıların sağ ve sol puanları bulunur (denklemler (5.193) ve (5.194)) ve denklem (5.195) kullanılarak bir toplam puan belirlenir. Sağ ve sol puanlar bulunurken kullanılan μ_{enb} ve μ_{enk} üyelik fonksiyonları Şekil 5.46'te kesikli olarak gösterilmiştir. Örnek olarak D_{13} hesaplanmıştır:

$$\mu_R(D_{13}) = \sup_x [\mu_{D_{13}}(x) \wedge \mu_{enb}(x)] = 0,348$$

$$\mu_L(D_{13}) = \sup_x [\mu_{D_{13}}(x) \wedge \mu_{enk}(x)] = 0,783$$

$$\mu_T(D_{13}) = [\mu_R(D_{13}) + 1 - \mu_L(D_{13})] / 2 = 0,283$$

Benzer hesaplamalarla problemdeki bulanık sayılara belirgin puanlar atanır ve aşağıdaki karar matrisi ve ağırlıklar elde edilir:

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 27 & 112 & 0,283 & 0,091 \\ 32 & 104 & 0,500 & 0,283 \\ 45 & 135 & 0,717 & 0,909 \\ 60 & 160 & 0,909 & 0,500 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$\underline{w} = [0,717; 0,283; 0,500; 0,909]$$

Adım3 Bu noktaya kadar elemanları reel sayılar olan bir karar matrisi ve ağırlıklar elde edildi. Artık problem bir ÇÖKV modeli gibi çözülebilir. Bunun için herhangi bir çözüm yöntemi kullanılabilir. Burada basit ağırlık toplama yöntemi uygulanacaktır. Yöntemin kullanılabilmesi için önce ölçütlerin birbirleriyle toplanabilir hale getirilmesi gerekir. Bunun için karar matrisinin her satırı normalize edilmiştir. Aşağıda elde edilen sonuçlar verilmiştir.

$$D = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0,7 & 0,283 & 0,091 \\ 0,844 & 0,65 & 0,500 & 0,283 \\ 0,6 & 0,844 & 0,717 & 0,909 \\ 0,45 & 1 & 0,909 & 0,500 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$\underline{w} = [0,717; 0,283; 0,500; 0,909]$$

Yönteme göre her alternatif için

$$U(A_i) = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} / \sum_{j=1}^n w_j \quad (5.196)$$

toplam fayda puanı hesaplanır ve en yüksek puana sahip alternatif en iyi olarak belirlenir. Örneğin A_1 'in fayda puanı şöyle hesaplanır:

$$\begin{aligned} U(A_1) &= \sum_{j=1}^n w_j x_{1j} / \sum_{j=1}^n w_j \\ &= \frac{(1 * 0,717) + (0,7 * 0,283) + (0,283 * 0,5) + (0,091 * 0,909)}{0,717 + 0,283 + 0,500 + 0,909} = 0,473 \end{aligned}$$

diğer alternatifler için fayda puanları aynı yolla aşağıdaki gibi bulunmuştur.

	A_1	A_2	A_3	A_4
$U(A_i)$	0,473	0,538	0,770	0,629

Bu sonuçlara göre A_3 alternatifi en iyi seçenek olarak belirlenir.

Chen ve Hwang Yaklaşımının Değerlendirmesi

Yöntem iki sorunu gidermek için geliştirilmiştir: BÇÖKV modelinin çözümündeki matematiksel hesaplamaları azaltmak ve belirgin verileri bulanık sayı veya kümeye dönüştürmeden doğrudan kullanmak. Bunun için bulanık sayı, bulanık küme veya sözel ifade olabilen tüm veriler netleştirilir yani belirgin sayılarla temsil edilir ve mevcut belirgin verilerle beraber klasik ÇÖKV modelinde uygulanır. Yani yöntemin amacı bulanık verileri belirgin verilere dönüştürüp klasik ÇÖKV modelinde kullanılabilecek hale getirmektir.

Genel bir bakış açısıyla yöntemin en önemli sorunu yöntemin amacı olarak gözlemlenen bulanık verileri netleştirmesidir. Çünkü bulanık veriler netleştirilirken verinin bir kısım içeriği yok sayılmış olur. Böylece bulanık mantığın kullanım amacı ortadan kalkmış olur ve verileri kaynağından belirgin almak daha doğru sonuçlar verebilir. Örneğin sayısal örnekteki modelde konfor ölçütü için karar vericiden “düşük, orta, yüksek, çok yüksek” ifadeleri yerine yöntemde bu ifadeler için atanan

“0,283; 0,500; 0,717 ve 0,909” sayılarından birini seçmesi istenebilir. Böylece yüksek veya düşük olma dereceleri de karar verici tarafından göz önüne alınır ve belirtilen değerler dışında ara değerler de kullanılarak karar vericinin düşünceleri daha doğru bir şekilde modellenenir.

Yöntemin literatür için en önemli ve kullanışlı bölümü sözel ifadelerin bulanık sayılara dönüştürülme tekniğidir. Önceki hiçbir yöntemde sözel ifadelerin bulanık sayılara dönüştürülmesiyle ilgili kesin tanımlanmış belli bir prosedüre göre işleyen bir teknik yoktur. Chen ve Hwang yaklaşımında neredeyse tüm sözel değerlendirmeleri kapsayan sekiz ölçek için ölçek değerlerinin bulanık sayı karşılıkları tanımlanmıştır.

Sonuç olarak Chen ve Hwang yaklaşımı bir BÖKV yöntemi olarak değil sözel ifadeleri bulanık sayılara dönüştürme ve bulanık sayıları netleştirme yöntemi olarak görülmelidir.

5.3.7 Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

BÇÖKV yöntemleri klasik ÇÖKV yöntemlerinin bulanık sayıların kullanımıyla genişletilmiş hali olarak görülebilir. Klasik ÇÖKV tekniklerinin bir çoğunu oluşturan basit ağırlık toplama yöntemleri, AHS, TOPSIS ve üstünlük yöntemleri bulanık mantık çerçevesinde yeniden düzenlenmişlerdir. Bunun nedeni kesin ve açık olamayan girdi verilerine göre karar vermeyi sağlamaktır. Tablo 5.19’da çalışmada incelenen BÖKV yöntemleri verilmiştir.

Tablo 5.19 Çalışmada incelenen BÇÖKV yaklaşımları

Basit Ağırlık Toplama Yöntemleri
Baas ve Kwakernaak Yaklaşımı
Kwakernaak Yaklaşımı
Dubois ve Prade Yaklaşımı
Bonissone Yaklaşımı
Analitik Hiyerarşi Yöntemine Bulanık Yaklaşımlar
Laarhoven ve Pedrycz Yaklaşımı
Buckley Yaklaşımı
Negi Yaklaşımı
Bulanık Üstünlük Yöntemleri
Roy Yaklaşımı
Sistos vd. Yaklaşımı
Brans vd. Yaklaşımı
Aouam vd. Yaklaşımı
Maksimin Yöntemleri
Yager Yaklaşımı
Chen ve Hwang Yaklaşımı

Çalışmada incelenen yöntemlerin çoğu (Baas ve Kwakernaak, Buckley, Negi; Roy vb.) problemin boyutu büyüdükçe hantallaşan yöntemlerdir. Bu yöntemler genel olarak çok fazla işlem gerektirir ve alternatif ve ölçüt sayısı arttıkça işlem miktarı geometrik olarak artar.

Gerçek hayattaki ÇÖKV modelleri genellikle hem bulanık hem de kesin veriler içerir. Basit ağırlık toplama yöntemleri ve Negi yaklaşımında bu tip problemleri modellemek için kesin veriler bulanıkmış gibi işleme sokulur. Fakat bu, hesap gücünü yaratmakta ve problemlerin çözülebilirliğini azaltmaktadır. Chen ve Hwang yaklaşımında ise bulanık veriler netleştirilerek yöntem uygulanır. Burada ise bulanık mantığın yapısına uymayan ve veri kaybına yol açan bir durum söz konusudur. Sonuç olarak yapılması gereken bulanık verileri bulanık olarak, kesin verileri belirgin olarak modelleyebilmektir. Bu Aouam vd. yaklaşımında biraz gerçekleştirilmesine rağmen tam anlamıyla bu mantıkla çalışan bir yöntem mevcut değildir.

Bulanık AHS yöntemleri ve Bulanık üstünlük yöntemleri kendilerine has özellikleri ve uygulama alanları olan yöntemlerdir. AHS ölçmek için kesin ölçütlerin olmadığı, karar vericinin sözel olarak alternatifleri ikişerli karşılaştırdığı durumlarda kullanılır. Bulanık üstünlük yöntemleri bulanıklığı çeşitli eşik değerleri kullanarak modele katmıştır. Bu yöntemler alternatiflerin birbirine olan üstünlük veya zayıflıklarına göre değerlendirilmesinin gerektiği koşullarda uygundur.

Yöntemlerle ilgili daha ayrıntılı değerlendirme genel yöntem tekniklerinin yer aldığı bölümlerin sonunda yapılmıştır.

Sonraki bölümde SK'yı ölçmek için çalışmada önerilen model irdelenmiştir.

6 TÜRKİYE’NİN SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMADAKİ GÖRELİ YERİNİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ BİR BULANIK MODELLE İRDELENMESİ

Çalışmanın amacı Türkiye’nin SK’daki yerinin diğer ülkelere göre tespit edilmesidir. Bu amaç doğrultusunda bu bölüme kadar SK, ülkelerin görelî SK karşılaştırmalarına yönelik model yaklaşımları, SK’nın kesin ve açık olmayan yapısına uygun modellemeyi sağlayacağı düşünülen bulanık mantık ve karar verme modeli olarak BÇÖKV yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Bu bölümde ise mevcut SK değerlendirme yöntemlerinin açıklarını gidereceğini öngören bir yöntem önerilecektir.

Mevcut yöntemler SK değerlendirmesinde kesin veri olduğunu kabul etmişler ve kesin yargılarda bulunmuşlardır. Fakat SK’yı ölçmek için gerekli veriler kesin olmayabilir, hiç olmayabilir veya yoruma açık olabilir. Bu yüzden SK’nın tanımlanması da oldukça güçtür. Ayrıca sürdürülebilirlik sadece şimdiki veya geçmişteki durumla değil belirsiz gelecekle de ilgilidir. Bu nedenle sürdürülebilirlik için çeşitli belirteçlerde belirlenen hedefler ve sınırlar gerçekte doğru olmayabilir [9,22]. Sonuç olarak sürdürülebilirliğin modellenmesinde bahsedilen durumlar dikkate alınmalıdır. Önerilen yöntemde bunun için bulanık mantık kullanılmıştır.

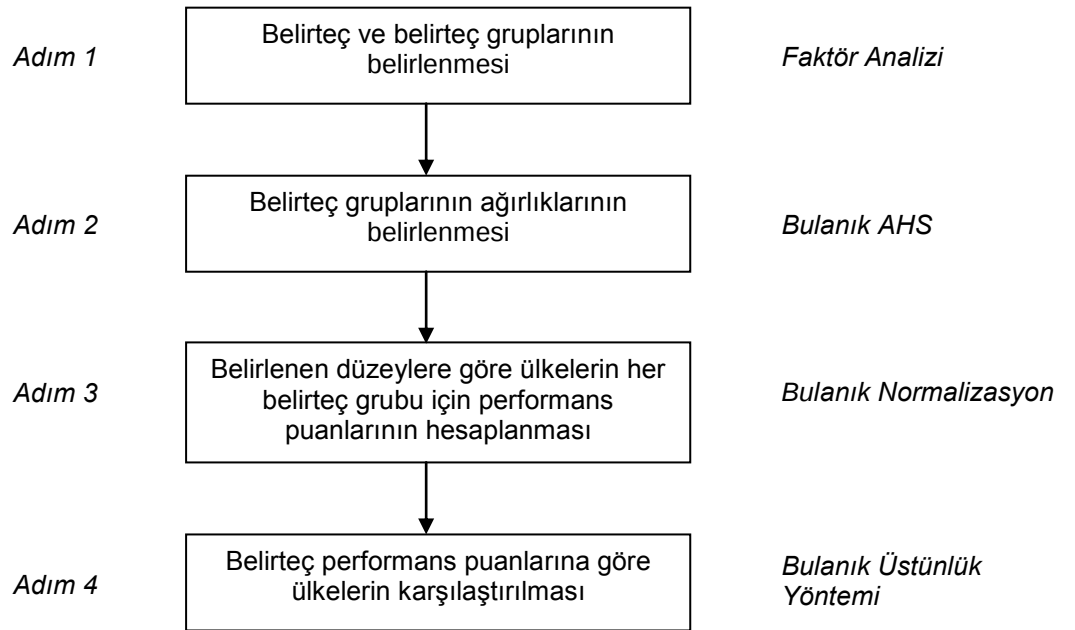
Mevcut yöntemler SK’yı; onu oluşturan parçalara bölmüşler ve değerlendirmeleri bu parçalardaki performanslara göre yapmışlardır. Fakat parçaların kendi aralarındaki ilişkileri hesaba katmamışlardır. Önerilen yöntemde sürdürülebilirlik bir bütün olarak görülmüş, bu bütünü ölçmek için doğrudan (hiyerarşik bir yapı oluşturmada) belirteçlerden yararlanılmıştır. Bununla birlikte sadece tema veya alt sistem bileşenlerine bağlı kalınmadan belirteçlerin birbirleriyle ilişkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu belirlenen belirteçler (SKK belirteçleri) arasında faktör analizi uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Sürdürülebilirliği bütün olarak değerlendirmenin başlıca koşullarından birisi onu oluşturan parçaların her birindeki belli ilerlemeyi modele yansıtmaktır. Bir başka deyişle parçaların birbirlerini ikame etmeleri belli düzeylere kadar mümkün

olmamalıdır. Bunun için önerilen yöntemde belirteçler için bulanık en küçük değerler tanımlanmış ve bu değerlerin altındaki veriler en düşük puanı almışlardır.

Ülkelerin sürdürülebilirliklerinin karşılaştırılması için belirteç puanlarını hesapladıktan sonra bunların birleştirilmesi gerekir. Birleştirme belirteçlerinin sürdürülebilirliğe katkıları farklı olabileceğinden dolayı her belirteç için farklı ağırlıklar kullanılarak yapılmıştır. Bu ağırlıklar SK uzmanlarının görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir.

Yapılan açıklamalar çerçevesinde modelin yapısı ve her adımda kullanılan teknikler Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1 Önerilen yöntemin adımları ve kullanılan teknikler

Önerilen yöntemin birinci adımında önce uygun belirteçler seçilir sonra da birbirleriyle ilişkili olan belirteçleri bir araya toplamak için faktör analizi uygulanır. İkinci adımda konunun uzmanlarının görüşleri Laarhoven ve Pedrycz bulanık AHS yöntemi [3] kullanılarak belirteç gruplarının ağırlıklarını tespit edilir. Üçüncü adımda belirteçlere göre ülkelerin performans puanlarının hesaplanmasında kullanılacak belirteçlerin hedef değerleri ve belirtecin yapısına göre (büyük veya küçük değerli olmasının sürdürülebilirliğe katkısının az veya çok olmasına göre) sürdürülebilirlik için sağlaması gereken en küçük veya en büyük eşik değerleri belirlenir . Bu değerler kesin ve açık olmadığı için bulanık sayılarla ifade edilir. Sonra da belirlenen hedef ve en küçük veya en büyük eşiklere göre bulanık normalizasyon uygulanarak belirteçlerin performans puanları hesaplanır. Dördüncü ve son adımda ise belirlenen

performans puanları ve ağırlıklara göre bulanık üstünlük yöntemi olan Aouam vd. yaklaşımı temel alınarak oluşturulan bir yöntem kullanılarak ülkeler karşılaştırılır. Sonraki bölümlerde önerilen yöntemin adımları daha ayrıntılı olarak irdelenecek ve yöntem uygulanarak Türkiye'nin SK'daki göreceli yeri belirlenecektir.

6.1 Önerilen Yöntem ve Yöntemde Kullanılan Teknikler

Çalışmada önerilen model yaklaşımı Şekil 6.1'de verilen adımlardan oluşmaktadır. Modeli uygulamadan önce karşılaştırılacak ülkelerin seçilmesi gerekir. Bu seçim modeli uygulayanların ve karar vericilerin isteklerine ve amaçlarına göre yapılabilir. Ülke seçiminde dikkat edilmesi gereken nokta seçilen ülkeler için veri bulunabilmesi ve istenilen homojen dağılımın elde edilebilmesidir. Örneğin bir ülke Dünya'daki diğer tüm ülkelerle karşılaştırılmak isteniyorsa az gelişmiş ve SK bakımından düşük seviyede olan ülkelerin verisi olmadığı için yığılma çözümleri değerlendirilmeyi amacından uzaklaştırabilir.

Değerlendirmeye alınacak ülkeler seçildikten sonra bu ülkeler için SK belirteçleri veri seti oluşturulmalıdır. SK belirteçleri olarak SK'nın tüm boyutlarını içerdiği ve ulusal değerlendirmeler için geliştirildiğinden SKK belirteçleri en uygun veri kümesidir. Fakat istenirse başka veri kümeleri de kullanılabilir. Daha sonra bu veri setine göre seçilen ülkelerin belli bir yüzdesi için veri bulunamayan belirteçler değerlendirmeden çıkarılmalıdır. Sağlıklı sonuç elde edebilmek için %90 üzerinde verisi olan belirteçler modele dahil edilmelidir. Ülke ve belirteç seçimi istenilirse bütünsel olarak yapılabilir. Bir başka deyişle seçilen ülkelerin homojenliğini bozmamak kaydıyla daha fazla verisi olan ülkeler daha az verisi olanlarla belirteçlerin belirlenme safhasında yer değiştirilebilir. Burada amaç başta istenen karşılaştırmayı sağlayacak ülkeler için en fazla belirteci sürece dahil etmek olmalıdır.

Ülkeler, belirteçler ve veri seti oluşturulduktan sonra modelin uygulanmasına geçilebilir. Birinci adımda birbiriyle ilişkili belirteçleri bir araya toplamak ve birbirinden bağımsız belirteç grupları elde etmek için faktör analizi uygulanır. Faktör analizi, başlıca amacı veri matrisinin temelindeki yapıyı tanımlamak olan çok değişkenli istatistik yöntemlerine verilen genel isimdir. Çok sayıdaki değişkenlerin birbirleri arasındaki ilişkilerin yapısını analiz etme problemine çözüm arar. Bunu faktör olarak bilinen temel boyutları tanımlayarak sağlar. Faktör analizi ile önce birbirinden farklı boyutlar oluşturulur ve sonra her değişkenin her boyutla ne

düzeyde açıklanabileceği belirlenir. Böylece veri kümesi belirlenen faktörler ile temsil edilerek veri indirimine gidilebilir [28].

Yöntemde faktör analizi sonucunda veri setini temsil edecek birbirinden bağımsız faktörler ortaya çıkmaktadır. Verileri bakımından birbiriyle ilişkili belirteçler aynı faktör içerisinde yer almaktadır. Daha sonra faktör içerisinde yer alan belirteçlerin neyi temsil edebilecekleri, bir bütün olarak neyin göstergesi olabilecekleri araştırılmalıdır. Buna göre faktörlere isim verilip bu faktörü temsil etmek için temsilci belirteçler belirlenmelidir. Temsilci belirteçler sonraki adımlarda verileri kullanılacak olan belirteçlerdir. Eğer bir faktör içerisinde yer alan belirteçlerin ilişkileri açıklanamıyor ise o faktörden birden çok temsilci belirteç seçilebilir. Burada amaç veri kümesini en az sayıdaki belirteçle en yüksek seviyede değerlendirmeye sokabilmektir. Sonraki adımlarda sadece bu adımda belirlenen temsilci belirteçler için işlemler yapılacaktır.

İkinci adımda önceki adımda belirlenen temsilci belirteçler için ağırlıklar belirlenir. Ağırlıklar belirteçlerin SK'ya katkılarının ne seviyede olduğunu göstergesidir. Ağırlıkların belirlenmesi belirteçlerin SK içerisindeki yerlerinin tam olarak bilinmemesinden, belirteç değerlerinin SK'ya nasıl katkı sağlayacağını açık olarak ortaya koyulamamasından ve ağırlık belirlemenin büyük oranda öznellik taşımasından dolayı pek kolay değildir. Yöntemde, vurgulanan zorluklarla baş edebilmek için ağırlık belirlemede SK konusundaki uzmanların görüşlerinden yararlanılması öngörülmektedir. Bunun için SK'nın üç ana boyutu olan ekonomik, sosyal ve çevresel konularda uzman en az üç kişinin görüşleri alınmalıdır.

Yöntemde uzman görüşlerinin alınması ve bu görüşlerden ağırlıkların tespit edilmesi için teknik olarak Laarhoven ve Pedrycz AHS yaklaşımı benimsenmiştir (Ayrıntılar için bkz.Bölüm 5.3.2.1). AHS'nin seçilmesinin çeşitli nedenleri vardır. Öncelikle uzmanların öznel görüşleri alınacağından belirteçlerin ikili karşılaştırmalarla değerlendirilmesi uygun olacaktır. Ayrıca karşılaştırmaların sözel olarak yapılması, belirteçlerin SK'ya katkılarının sayısal olarak kestirilmesinin zor olacağından dolayı uzmanlara esneklik kazandıracaktır. AHS yöntemlerinden Laarhoven ve Pedrycz yaklaşımı uygulanacaktır. Çünkü bu yaklaşımın uzmanların görüşlerindeki bulanıklığı modele yeterli miktarda yansıtabileceği düşünülmektedir. Ayrıca yaklaşım bir çok uzmanın görüşlerini birleştirebilecek niteliktedir ve sonuçta

oluşacak üçgen bulanık sayılar, modelin devamındaki yöntemlerde girdi olarak kullanılabilir.

Yöntemde üçüncü adım ülkelerin belirteç değerlerinin normalize edilerek performans puanlarının oluşturulmasıdır. Yöntemde normalizasyon iki amaçla uygulanmaktadır: bu amaçlar belirteç verileri için (1) sürdürülebilirliği oluşturan belirteç gruplarının belli düzeylere kadar birbirlerini ikame etmeleri engelleyecek ve (2) tüm belirteçlerin puanlarını ortak bir ölçeğe dönüştürebilecek bir performans puanı elde etmektir.

Sürdürülebilirliği oluşturan belirteç gruplarının belli düzeylere kadar birbirlerini ikame etmeleri engelleyebilmek için her temsilci belirtece hedef değerleri ve en küçük veya en büyük sürdürülebilirlik değerleri belirlenmiştir. Belirteç için en küçük veya en büyük sürdürülebilirlik değerleri belirtecin maliyet veya fayda ölçütü olmasına göre değişir. Eğer belirteç maliyet ölçütü, bir başka deyişle en küçüklenmek istenen bir belirteç ise (İşsizlik v.b.), belirteç için hedef değeri küçük olacak ve sürdürülebilirliği sağlama eşiği en büyük değer olarak belirlenecektir. Eğer belirteç fayda ölçütü ise, yani en büyüklenmek istenen bir ölçütse (GSMH v.b.), hedef yüksek bir değer olacak ve sürdürülebilirliği sağlama eşiği en küçük değer olarak saptanacaktır.

Tüm belirteçlerin puanlarını ortak bir ölçeğe dönüştürebilmek için SAFE yöntemindekine [9] (Bölüm 3.3) benzer bir normalizasyon uygulanacaktır. Fakat önerilen normalizasyonun SAFE yöntemdeki normalizasyondan iki farkı vardır. Birincisi sadece hedef değerleri değil en küçük sürdürülebilirliği sağlama düzeyleri de işleme katılmıştır. İkincisi ise, hedef değerleri ve sürdürülebilirliği sağlama düzeyleri kesin olarak belirlenemeyeceği düşünülerek bulanık üçgen sayılar ile ifade edilmiştir. Hedef değerleri ve sürdürülebilirliği sağlama düzeylerinin bulanık üçgen sayılarla ifade edilmesiyle hem bu değerlerdeki hem de verilerin ölçülmesindeki bulanıklık, hata veya eksiklikler daha iyi modellenmiştir. Sonraki bölümde önerilen bulanık normalizasyon yöntemi ayrıntılı olarak incelenecektir.

Ülkelerin her temsilci belirtece göre normalize değerleri bulunduğundan sonra ülkelerin bu performans puanlarına göre sıralamasına geçilebilir. Önerilen yöntemde sıralama için bulanık üstünlük yöntemlerinden Aouam vd. yaklaşımının [19] (Bölüm 5.3.4.4) düzeltilmiş hali kullanılacaktır.

Modelde bulanık üstünlük yönteminin kullanılma nedeni ülkelerin karşılaştırılmasının söz konusu olmasıdır. Böylece ülkeler ikili olarak karşılaştırılarak diğerleri tarafından üstünlük kurulmayan veya diğerlerine en fazla üstünlük kuran ülkeler en iyi olarak belirlenebilecektir. Bulanık üstünlük yöntemlerinden Aouam vd. yaklaşımının seçilmesinin nedeni ise bulanık verileri girdi olarak kabul etmesidir. Bu sayede verilerdeki ve hedef ve sürdürülebilirlik eşik değerlerindeki bulanıklık modele yansıtılabilecektir.

Aouam vd. yaklaşımı incelendiğinde çeşitli eksikliklerinin olduğu görülmüştür. Bu eksiklikler verilerin bulanık sayı olduğunda ortaya çıkmaktadır. Sonraki bölümde düzenlenmiş Aouam vd. yaklaşımı mevcut yöntemden farklılıkları irdelenerek verilecektir.

6.1.1 Önerilen Yöntemde Kullanılan Bulanık Normalizasyon Yöntemi

Herhangi bir ülke verisinin bir belirtece göre performans puanını bulmak için sürdürülebilirliği sağlama düzeyi ve hedef değeri kullanılarak bir normalizasyon yapılacaktır. Problem ÇÖKV modeli olarak düşünüldüğünde ülkeler alternatifler, belirteçler de ölçütler olacaktır. Bu yüzden bundan sonra yöntemin anlatımında ülke yerine alternatif, belirteç yerine ölçüt kavramları kullanılacaktır. Aşağıda fayda ve maliyet ölçütleri için normalizasyon formülü verilmiştir.

Fayda ölçütü ise (büyük değerler daha yüksek performans puanı alıyorsa)

$$N_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} < AL_j \\ \frac{x_{ij} - AL_j}{H_j - AL_j} & AL_j \leq x_{ij} < H_j \\ 1 & x_{ij} \geq H_j \end{cases} \quad (6.1)$$

Maliyet ölçütü ise (küçük değerler daha yüksek performans puanı alıyorsa)

$$N_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} > UL_j \\ \frac{UL_j - x_{ij}}{UL_j - H_j} & UL_j \geq x_{ij} > H_j \\ 1 & x_{ij} \leq H_j \end{cases} \quad (6.2)$$

Burada N_{ij} , A_i alternatifinin normalizasyon değeri, x_{ij} , i 'inci alternatifin j 'inci ölçüte göre değeri, AL_j , j fayda ölçütünün alt sınırı, UL_j , j maliyet ölçütünün üst sınırı ve H_j , j ölçütünün hedef değeridir.

Modeldeki problemde alternatiflerin ölçütlerden aldığı puanlar klasik sayılarla ifade edilmelerine rağmen hedef, alt limit ve üst limit değerleri bulanık sayılarla gösterilebilmektedir. Bu yüzden (6.1) ve (6.2) denklemlerinin hedef, alt limit ve üst limit değerlerinin bulanık olması durumunda büyüktür ve küçüktür sorgularının doğrudan yapılamamasından dolayı kullanılamayacakları görülmüştür. Bu nedenle (6.1) ve (6.2) belirtilen durumlarda kullanmak üzere düzenlenmiştir.

Denklemlerde sorun büyüktür ve küçüktür sorgularının bulanık sayılar söz konusu olduğunda kolayca yapılamamasıdır. Bunun için bulanık sıralama yöntemlerinden faydalanılmıştır. Sıralama yöntemi olarak bölüm 5.2.4.2’de incelenen Chen yaklaşımı benimsenmiştir. Bunun en önemli nedeni Chen yaklaşımında karşılaştırılacak bulanık sayıların değer kümesinin 0-1 arasında değişmek zorunda olmamasıdır. Bu durum mevcut problemin yapısına uygundur.

Normalizasyon işlemlerindeki karşılaştırmalarda x_{ij} değerleri belirgin sayı ve hedef, alt limit ve üst limit değerleri ise üçgen bulanık sayılardır. Öyleyse iki tür karşılaştırmanın sonucu aranmaktadır. Bunlar $x > M(a,b,c)$ ve $x < M(a,b,c)$ önermeleridir (x belirgin sayıyı $M(a,b,c)$ ise üçgen bulanık sayıyı göstermektedir).

Bu önermeler için eğer $x > c$ ise $x > M(a,b,c)$ ve $x < a$ ise $x < M(a,b,c)$ ’dir.

$a \leq x \leq c$ ise Chen yöntemi uygulanır. Yöntemde öncelikle BEB ve BEK tanımlanmalıdır. Aşağıda BEB ve BEK’in üyelik dereceleri fonksiyonları verilmiştir.

$$\mu_{beb}(x) = \left[\frac{x - x_{enk}}{x_{enb} - x_{enk}} \right]^k \quad k > 0, x_{enk} \leq x \leq x_{enb} \quad (6.3)$$

$$\mu_{bek}(x) = \left[\frac{x - x_{enb}}{x_{enk} - x_{enb}} \right]^k \quad k > 0, x_{enk} \leq x \leq x_{enb} \quad (6.4)$$

burada $x_{enb} = \sup_{i=1}^n [\bigvee S(M_i)]$ ve $x_{enk} = \inf_{i=1}^n [\bigvee S(M_i)]$ şeklinde belirlenir. x ve

$M(a,b,c)$ sayılarının karşılaştırılmasında $x_{enb} = c$ ve $x_{enk} = a$ olacaktır. Buna göre $k=1$ alınırsa BEB ve BEK aşağıdaki gibi olur.

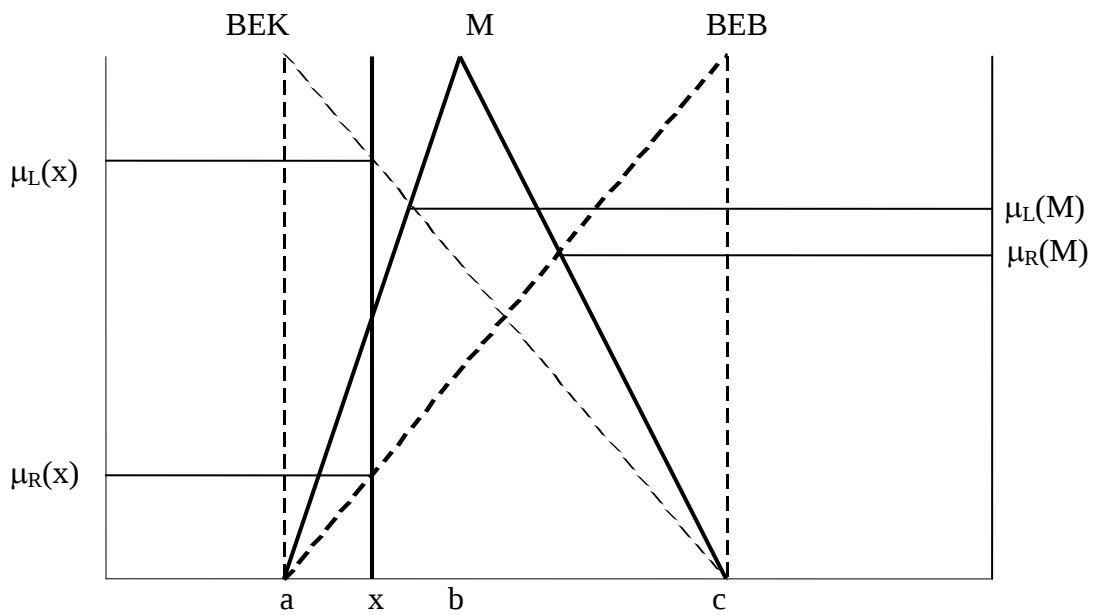
$$\mu_{beb}(x) = \left[\frac{x - a}{c - a} \right] \quad a \leq x \leq c \quad (6.5)$$

$$\mu_{bek}(x) = \left[\frac{x-c}{a-c} \right] \quad a \leq x \leq c \quad (6.6)$$

sonraki adımda karşılaştırılacak sayıların sağ ve sol puanları bulunacaktır. Yöntemde sağ ve sol puanlar aşağıdaki gibi bulunur.

$$\mu_R(i) = \sup_x [\mu_{beb}(x) \wedge \mu_{M_i}(x)] \quad (6.7)$$

$$\mu_L(i) = \sup_x [\mu_{bek}(x) \wedge \mu_{M_i}(x)] \quad (6.8)$$



Şekil 6.2 x ve M(a,b,c) sayılarının Chen BEK ve BEB ve göre sağ ve sol puanları

(6.7) ve (6.8)'e göre gerekli işlemler yapıldığında x ve $M(a,b,c)$ için sağ ve sol puanlar şöyle oluşur (Şekil 6.2'de karşılaştırılan sayılar için Chen sağ ve sol puanları gösterilmiştir):

$$\mu_R(M) = \frac{c-a}{2c-b-a} \qquad \mu_L(M) = \frac{c-a}{b+c-2a}$$

$$\mu_R(X) = \frac{x-a}{c-a} \qquad \mu_L(M) = \frac{c-2a-x}{c-a}$$

Son olarak sayıları karşılaştırmada kullanılacak toplam puanlar hesaplanır. Yöntemde toplam puan aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\mu_T(i) = [\mu_R(i) + 1 - \mu_L(i)] / 2. \quad (6.9)$$

(6.9)'a göre $M(a,b,c)$ ve x sayıları için toplam puanlar şöyledir.

$$\begin{aligned}
\mu_T(M) &= [\mu_R(M) + 1 - \mu_L(M)] \\
&= \left[\frac{c-a}{2c-b-a} + 1 - \frac{c-a}{b+c-2a} \right] / 2 \\
&= \left[\frac{c-a}{2c-b-a} + \frac{b-a}{b+c-2a} \right] / 2
\end{aligned} \tag{6.10}$$

$$\begin{aligned}
\mu_T(x) &= [\mu_R(x) + 1 - \mu_L(x)] \\
&= \left[\frac{x-a}{c-a} + 1 - \frac{c-x}{c-a} \right] / 2 \\
&= \frac{x-a}{c-a}
\end{aligned} \tag{6.11}$$

(6.10) ve (6.11)'den şu sonuca varılır:

$$\begin{cases} \frac{x-a}{c-a} \geq \left[\frac{c-a}{2c-b-a} + \frac{b-a}{b+c-2a} \right] / 2 & \text{ise } x \geq M \\ \frac{x-a}{c-a} \leq \left[\frac{c-a}{2c-b-a} + \frac{b-a}{b+c-2a} \right] / 2 & \text{ise } x \leq M \end{cases} \tag{6.12}$$

(6.12) düzenlenirse x ile $M(a,b,c)$ 'nin karşılaştırılmasının x ile

$$Kar(M(a,b,c)) = a + \frac{(c-a) \left(\frac{c-a}{2c-b-a} + \frac{b-a}{b+c-2a} \right)}{2} \tag{6.13}$$

'nın karşılaştırılmasına dönüştüğü görülebilir. Burada Kar fonksiyonu $M(a,b,c)$ üçgen bulanık sayısı ile bir klasik sayıyı karşılaştırırken M yerine kullanılacak değeri verir. Bir başka deyişle x ($x \in [a,c]$) ile $M(a,b,c)$ bulanık sayısı karşılaştırılırken, M yerine denklem (6.13)'teki ifade kullanılabilir.

Buna göre denklem (6.1) ve (6.2) $AL_j(a_{ALj}, b_{ALj}, c_{ALj})$, $UL_j(a_{ULj}, b_{ULj}, c_{ULj})$, ve $H_j(a_{Hj}, b_{Hj}, c_{Hj})$ bulanık sayıları kullanılarak yeniden düzenlenmiştir.

Denklem (6.1) yerine (fayda ölçütleri için)

$$N_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} \leq a_{ALj} \\ 0 & a_{ALj} < x_{ij} \leq c_{ALj} \text{ ve } x_{ij} < \text{Kar}(AL_j) \text{ ise} \\ \frac{x_{ij} - AL_j}{H_j - AL_j} & a_{ALj} < x_{ij} \leq c_{ALj} \text{ ve } x_{ij} \geq \text{Kar}(AL_j) \text{ ise} \\ \frac{x_{ij} - AL_j}{H_j - AL_j} & c_{ALj} < x_{ij} \leq a_{Hj} \\ \frac{x_{ij} - AL_j}{H_j - AL_j} & a_{Hj} \leq x_{ij} < c_{Hj} \text{ ve } x_{ij} < \text{Kar}(H_j) \text{ ise} \\ 1 & a_{Hj} \leq x_{ij} < c_{Hj} \text{ ve } x_{ij} \geq \text{Kar}(H_j) \text{ ise} \\ 1 & x_{ij} \geq c_{Hj} \end{cases} \quad (6.14)$$

Denklem (6.2) yerine (maliyet ölçütleri)

$$N_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} > c_{ULj} \\ 0 & a_{ULj} < x_{ij} \leq c_{ULj} \text{ ve } x_{ij} > \text{Kar}(UL_j) \text{ ise} \\ \frac{UL_j - x_{ij}}{UL_j - H_j} & a_{ULj} < x_{ij} \leq c_{ULj} \text{ ve } x_{ij} \leq \text{Kar}(UL_j) \text{ ise} \\ \frac{UL_j - x_{ij}}{UL_j - H_j} & c_{Hj} < x_{ij} \leq a_{ULj} \\ \frac{UL_j - x_{ij}}{UL_j - H_j} & a_{Hj} \leq x_{ij} < c_{Hj} \text{ ve } x_{ij} > \text{Kar}(H_j) \text{ ise} \\ 1 & a_{Hj} \leq x_{ij} < c_{Hj} \text{ ve } x_{ij} \leq \text{Kar}(H_j) \text{ ise} \\ 1 & x_{ij} \leq c_{Hj} \end{cases} \quad (6.15)$$

geliştirilmiştir. Denklemlerde kullanılan Kar fonksiyonu denklem (6.13)'de tanımlanan karşılaştırma değeridir. Denklem (6.14) ve (6.15) incelendiğinde fonksiyonların değer kısımlarında bulanık üçgen sayıların belirgin veya başka bir üçgen bulanık sayı ile çıkarma ve bölme işlemleri bulunmaktadır. Bu işlemler üçgen bulanık sayılar için geliştirilen çarpma ve bölme işlemleri ile gerçekleştirilebilir. Aşağıda bunlar verilmiştir:

$$\text{Çıkarma: } M (-) N = (l-c, m-b, u-a) \quad (6.16)$$

Bölme işlemleri:

$$\left\{ \begin{array}{l} M > 0, N > 0 \text{ ise } M(:)N = (l/c, m/b, u/a) \\ M < 0, N > 0 \text{ ise } M(:)N = (u/c, m/b, l/a) \\ M < 0, N < 0 \text{ ise } M(:)N = (u/a, m/b, l/c) \end{array} \right\} \quad (6.17)$$

Denklem (6.13) matematiksel olarak incelendiğinde değerinin a ve c arasında değiştiği görülür. Öyleyse denklem (6.13) sadece $x \in [a, c]$ için değil diğer x'ler için de bir bulanık sayıyla karşılaştırıldığında o bulanık sayının yerine kullanılabilir. Şöyle ki M bulanık sayısı ve x karşılaştırılıyor olsun; eğer $x < a$ ise $Kar(M)$ 'nin değeri a ile c arasında bir değer alacağından başta kabul edilen $M > a$ sonucunu verecektir. $x > c$ olduğu zaman ise yine fonksiyondan elde edilen değerle $x > M$ sonucuna varılır. Bu çıkarım ve üçgen bulanık sayılar için geliştirilen çıkarma ve bölme işlemleri denklem (6.14) ve (6.15)'e uygulanırsa yeni normalizasyon formülleri elde edilir.

Fayda ölçütleri için normalizasyon fonksiyonu:

$$N_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} < Kar(AL_j) \text{ ise} \\ \left(\frac{x_{ij} - c_{ALj}}{c_{Hj} - a_{ALj}}, \frac{x_{ij} - b_{ALj}}{b_{Hj} - b_{ALj}}, \frac{x_{ij} - a_{ALj}}{a_{Hj} - c_{ALj}} \right) & Kar(AL_j) \leq x_{ij} < Kar(H_j) \text{ ise} \\ 1 & x_{ij} \geq Kar(H_j) \end{cases} \quad (6.18)$$

Maliyet ölçütleri için normalizasyon fonksiyonu:

$$N_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} > Kar(UL_j) \text{ ise} \\ \left(\frac{a_{ULj} - x_{ij}}{c_{ULj} - a_{Hj}}, \frac{b_{ULj} - x_{ij}}{b_{ULj} - b_{Hj}}, \frac{c_{ULj} - x_{ij}}{a_{ULj} - c_{Hj}} \right) & Kar(H_j) < x_{ij} \leq Kar(UL_j) \\ 1 & x_{ij} \leq Kar(H_j) \end{cases} \quad (6.19)$$

Sayısal Örnek

Üç alternatif ve 2 ölçüt için veriler ve eşik değerleri aşağıda verildiği gibi olsun; ve ölçütlerin eşit değerlerine göre normalize değerleri elde edilmek istensin.

	X_1 (maliyet ölçütü)	X_2 (fayda ölçütü)
A_1	5	10
A_2	9	21
A_3	11	15
H_i	$H_1(4,5,6)$	$H_2(17,20,22)$
AL_j	-	$AL_2(7,10,13)$
UL_j	$UL_1(9,10,12)$	-

X_1 ölçütü maliyet ölçütü olduğu için bu ölçüte göre normalizasyon denklem (6.19) kullanılarak gerçekleştirilir. Önce $Kar(H_1)$ ve $Kar(UL_1)$ değerleri denklem (6.13)'e göre şöyle bulunur:

$$Kar(H_1(a,b,c)) = a + \frac{(c-a) \left(\frac{c-a}{2c-b-a} + \frac{b-a}{b+c-2a} \right)}{2}$$

$$= 4 + \frac{(6-4) \left(\frac{6-4}{2*6-5-4} + \frac{5-4}{5+6-2*4} \right)}{2}$$

$$= 5$$

$$\text{Kar}(\text{UL}_1(a,b,c)) = 9 + \frac{(12-9) \left(\frac{12-9}{2*12-10-9} + \frac{10-9}{10+12-2*9} \right)}{2}$$

$$= 10,275$$

Elde edilen değerler denklem (6.19)'e uygulanırsa;

$\{x_{11} = 5 \leq 5 = \text{Kar}(H_1)\}$ olduğu için $N_{11}=1$,

$\{5 = \text{Kar}(H_1) < x_{21} = 9 \leq \text{Kar}(\text{UL}_1) = 10,275\}$ olduğu için

$$N_{21} = N_{21} \left(\frac{9-9}{12-4}, \frac{10-9}{10-5}, \frac{12-9}{9-6} \right) = N_{21}(0; 0,2; 1)$$

$x_{31} = 11 > 10,275$ olduğu için $N_{31} = 0$ olarak bulunur.

X_2 ölçütü fayda ölçütü olduğu için denklem (6.18) kullanılarak normalizasyon gerçekleştirilir. Önce X_1 ölçütünde olduğu gibi $\text{Kar}(H_2)$ ve $\text{Kar}(\text{AL}_2)$ değerleri denklem (6.13)'e göre bulunur. Gerekli işlemler yapılsa;

$\text{Kar}(H_2) = 19,72$ ve $\text{Kar}(\text{AL}_2) = 10$ olarak elde edilir. Bunlara göre normalizasyon değerleri aşağıdaki gibi bulunur.

$$N_{12} = N_{12}(-0,2; 0; 0,75)$$

$$N_{22} = 1$$

$$N_{32} = N_{32}(0,13; 0,5; 2)$$

Sonuç olarak Alternatiflerin ölçütlere göre normalize değerleri oluşturulmuştur. Aşağıda sonuçlar toplu halde verilmiştir.

	X_1 (maliyet ölçütü)	X_2 (fayda ölçütü)
A_1	1	$N_{12}(-0,2; 0; 0,75)$
A_2	$N_{21}(0;0,2;1)$	1
A_3	0	$N_{32}(0,13; 0,5; 2)$

6.1.2 Önerilen Yöntemde Kullanılan Bulanık Üstünlük Yöntemi

Önerilen bulanık üstünlük yöntemi ana hatları itibarıyla Aouam vd. yaklaşımı [19] ile aynıdır. Sadece Aouam vd. yaklaşımındaki bazı eksiklikleri gidermek için çeşitli teknikler öngörülmektedir.

Yöntemin Aouam vd. yaklaşımından farkı d_j , kısmi üstünlük bulanık sayısı, $C(a,b)$, bulanık uyum değeri ve $dD_j(a,b)$, bulanık uyumsuzluk değeri hesaplamalarıdır. Yöntemin safhaları aşağıda verilmiştir.

Yöntemde Aouam vd. yaklaşımındaki gibi (a,b) çifti için $f(a,b)$ üstünlük fonksiyonu tanımlanmaktadır. Bu fonksiyon a 'nın b üzerinde tercih edilmesinin güvenilirliğini yansıtır.

Yöntem üç adımdan oluşmaktadır. (1) Alternatifler arasındaki farkı değerlendirmek için d_j , D_j ve C bulanık sayılarının hesaplanması, (2) önceki adımda hesaplanan bulanık sayıları karşılaştırmak ve uyum (dC) ve uyumsuzluk (dD) fonksiyonları tanımlamak için bulanık sıralama yöntemi (OERI)'nin uygulanması ve (3) karar vermeyi sağlayacak gösterge değeri hesaplamak için dC ve dD 'nin birleştirilerek f üstünlük fonksiyonun ve toplam üstünlük yoğunluğu I nin elde edilmesi.

Yöntemde kullanılması kolay ve bulanıklığı modellemeyi yeterince sağladığı için üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır.

Adım1. d_j , D_j ve C bulanık sayılarının hesaplanması

$d_j(a,b)$ kısmi üstünlük bulanık sayısı j 'inci ölçüte göre b 'nin a tarafından üstünlük kurulma derecesini gösterir. j 'inci ölçüt için en büyük anlamlı eşik değeri s_j olarak gösterilirse (a,b) alternatif çiftleri, $a \neq b$, için j 'inci ölçüte göre kısmi üstünlük bulanık sayısı aşağıdaki gibi tanımlanır:

j 'inci ölçüt belirgin ise;

$$d_j(a,b) = ((g_j(a) - g_j(b))^+, (g_j(a) - g_j(b))^+, (g_j(a) - g_j(b))^+ + s_j), \quad (6.20)$$

j 'inci ölçüt bulanık ise;

$$d_j(a,b) = ((g_j(a)^L - g_j(b)^R)^+, (g_j(a)^M - g_j(b)^M)^+, (g_j(a)^R - g_j(b)^L)^+ + s_j), \quad (6.21)$$

olarak tanımlanır. Burada üzerinde $+$ olarak gösterilen fonksiyon $x^+ = \max(0, x)$ fonksiyonudur ve $g_j(a)^L$, $g_j(a)^M$, $g_j(a)^R$ şeklinde gösterilen sayılar $g_j(a)$ üçgen bulanık

sayısının sırasıyla sol, orta ve sağ değerleridir. Denklem (6.21) Aouam vd. yaklaşımında denklem (6.22)'deki gibi tanımlanmıştır.

$$d_j(a,b) = ((g_j(a)^L - g_j(b)^L)^+, (g_j(a)^M - g_j(b)^M)^+, (g_j(a)^R - g_j(b)^R)^+ + s_j), \quad (6.22)$$

Burada bir çıkarma işlemi söz konusudur. Fakat Aouam vd. yaklaşımında önerilen fonksiyon üçgen bulanık sayılardaki çıkarma işlemi ile uyuşmamaktadır (bulanık sayılarda çıkarma işlemi için bölüm 4.5.2 incelenebilir). Bu yüzden bu çalışmada (6.21)'de verilen yeni bir fonksiyon tanımlanmıştır

a'nın b'ye üstünlüğünün göstergesi olan $C(a,b)$ bulanık uyum değeri kısmi üstünlük derecelerinin toplanmasıyla bulunur. p_j j'inci ölçüte atanan üçgen bulanık sayı olarak gösterilen ağırlık ise (a, b) alternatif çiftleri, $a \neq b$, için bulanık üstünlük değeri aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$C(a,b) = \left(\sum_{j=1}^n (p_j^c)^L * d_j(a,b)^L, \sum_{j=1}^n (p_j^c)^M * d_j(a,b)^M, \sum_{j=1}^n (p_j^c)^R * d_j(a,b)^R \right) \quad (6.23)$$

denklemdaki $(p_j^c)^L$, $(p_j^c)^M$, $(p_j^c)^R$, p_j^c üçgen bulanık sayısının sağ, orta ve sol değerleridir. p_j^c 'nin değeri ise şöyledir:

$$p_j^c = \begin{cases} p_j, & g_j(a) - g_j(b) \geq 0 \text{ ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (6.24)$$

Denklem (6.24)'de $g_j(a)$ ve $g_j(b)$ değerlerinin bulanık sayı olması durumunda karşılaştırılma için bulanık sıralama yöntemi kullanılacaktır. Aouam vd. yaklaşımında bunun için bir yol gösterilmemiştir. Önerilen yöntemde karşılaştırma, Baldwin ve Guild bulanık sıralama yaklaşımı (Bölüm 5.2.1.2) ile gerçekleştirilecektir [3]. Bu yaklaşımın seçilme nedeni yöntemin iki üçgen bulanık sayıyı karşılaştırmak için tercih ilişkisi kullanması ve pratik bir yol önermesidir.

Baldwin ve Guild bulanık sıralama yaklaşımı M_i ve M_j bulanık sayıları karşılaştırmak için $\mu_{O_j}(i)$ tercih ilişkisini tanımlamıştır. Birden çok bulanık sayı karşılaştırılırken her bulanık sayının diğerlerine göre tercih edilme derecesi belirlenir ve en küçüğü alınarak o bulanık sayı için karşılaştırılan bulanık sayılara göre tercih edilme derecesi, $\mu_{O_j}(i)$, belirlenir. Sonra bulanık sayılar en büyük tercih edilme derecelerine göre sıralanır.

Yöntemde sadece iki bulanık sayının karşılaştırılması gerekmektedir. Bu yüzden sadece birbirleri arasındaki tercih ilişkileri hesaplanarak elde edilen değerlere göre sıralama yapılabilir. M_i ve M_j parçalı sürekli türevi alınabilir fonksiyonlar olduğunda, ki üçgen bulanık sayılar buna uygundur, $\mu_{O_j}(i)$ aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\mu_{O_j}(i) = \frac{\delta - \alpha}{1 + (\delta - \gamma) + (\beta - \alpha)} \quad (6.25)$$

burada δ , M_i üçgen bulanık sayısının sağ değerini, γ , M_i üçgen bulanık sayısının orta değerini, α , M_j üçgen bulanık sayısının sol değerini ve β , M_j üçgen bulanık sayısının orta değerini göstermektedir. Elde edilen saptamalar Denklem (6.24)'e uygulanırsa aşağıdaki sonuç elde edilir.

$$p_j^c = \begin{cases} p_j, & \mu_o(g_j(a)) - \mu_o(g_j(b)) \geq 0 \text{ ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (6.26)$$

burada $\mu_o(g_j(a))$ ve $\mu_o(g_j(b))$ değerleri iki bulanık sayı karşılaştırıldığı için şöyle tanımlanmıştır:

$$\mu_o(g_j(a)) = \frac{g_j(a)^R - g_j(b)^L}{1 + [g_j(a)^R - g_j(a)^M] + [g_j(b)^M - g_j(b)^L]} \quad (6.27)$$

$$\mu_o(g_j(b)) = \frac{g_j(b)^R - g_j(a)^L}{1 + [g_j(b)^R - g_j(b)^M] + [g_j(a)^M - g_j(a)^L]} \quad (6.28)$$

j 'inci ölçüte göre a 'nın b 'ye üstünlüğünün uyumsuzluğunu gösteren $D_j(a,b)$ uyumsuzluk değeri, (a, b) alternatif çiftleri, $a \neq b$, için aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

j 'inci ölçüt belirgin ise;

$$D_j(a,b) = (g_j(b) - g_j(a), g_j(b) - g_j(a), g_j(b) - g_j(a) + s_j), \quad (6.29)$$

j 'inci ölçüt bulanık ise;

$$D_j(a,b) = (g_j(b)^L - g_j(a)^R, g_j(b)^M - g_j(a)^M, g_j(b)^R - g_j(a)^L + s_j), \quad (6.30)$$

Denklem (6.30) Aouam vd. yaklaşımında farklı tanımlanmıştır. Çünkü $d_j(a,b)$ değerinin hesaplanmasında olduğu gibi Aouam vd. yaklaşımında tanımlanan uyumsuzluk değeri üçgen bulanık sayılar için geliştirilen çıkarma işlemine uygun değildir. Bu yüzden değiştirilmiştir.

$D_j(a,b)$ değeri a 'nın b 'ye üstünlüğünün uyumsuzluğunu gösteren $dD_j(a,b)$ göstergesinin hesabında kullanılacaktır.

Adım2. dC ve dD fonksiyonlarının tanımlanması

Yöntemde dC , bulanık uyum fonksiyonu ve dD , uyumsuzluk göstergesi değerlerinin hesaplanabilmesi için Aouam vd. yaklaşımında olduğu gibi OERI bulanık uzaklık yaklaşımı kullanılmıştır. OERI bulanık uzaklık yaklaşımında her bulanık sayı için belirlenen $OM(A_j)$ değeri bulanık sayıları karşılaştırmak için kullanılır. Üçgen bulanık sayılarda büyük ve üyelik derecelerinin ağırlıkları eşit kabul edilirse $OM(A_j)$ değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$OM(A_j) = \frac{4A_j^M - A_j^L + A_j^R}{4} \quad (6.31)$$

burada $A_j = (A_j^L, A_j^M, A_j^R)$ 'dir (Ayrıntılar için bölüm 5.3.4.4 incelenebilir).

A_1 ve A_2 gibi iki bulanık sayı arasındaki fark ise şöyle oluşur:

$$Fark(A_1, A_2) = OM(A_1) - OM(A_2) \quad (6.32)$$

Bu fark fonksiyonu bulanık uyum ve uyumsuzluk ilişkilerinin karşılaştırılmasında kullanılacaktır.

Şöyle ki; bulanık uyum fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$dC(a,b) = Fark(C(a,b), C(b,a)) \text{ veya}$$

$$dC(a,b) = OM(C(a,b)) - OM(C(b,a)) \quad (6.33)$$

eğer $dC(a,b) > 0$ ise a 'nın b 'ye üstünlük kurması uyumludur denir ve uyum derecesi $dC(a,b)$ 'ye eşittir.

Yöntemde uyumsuzluk göstergesini hesaplamak için veto eşiği (v_j) tanımlanmıştır. Veto eşiği, A_1 alternatifinin A_2 'den farkının bir ölçüte göre veto eşiğinden büyük olması durumunda, diğer ölçütlerin değerleri ne olursa olsun, A_1 'in A_2 'den üstün olamamasını göstermek için kullanılır. Buna göre bulanık uyumsuzluk göstergesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$dD(a,b) = \bigvee_{j \in \{1,2,\dots,n\}} (dD_j(a,b)), \quad (6.34)$$

burada

$$dD_j(a,b) = \begin{cases} \frac{OM(D_j(a,b))}{OM(v_j)} & \mu_o(g_j(b)) - \mu_o(g_j(a)) > 0 \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (6.35)$$

burada $\mu_o(g_j(a))$ ve $\mu_o(g_j(b))$ değerleri denklem (6.27) ve (6.28)'e göre belirlenir. Denklem (6.35) Aouam vd. yaklaşımından farklıdır. Çünkü Aouam vd. yaklaşımında bulanık sayıların karşılaştırması için bir yöntem önerilmemiştir. Yöntemde karşılaştırma için denklem (6.26)'nın elde edilmesindekine benzer şekilde Baldwin ve Guild yaklaşımı kullanılmıştır.

Eğer $dD(a,b) > dD(b,a)$ ise a'ya karşı b'nin üstünlüğünün uyumsuzluk derecesi b'ye karşı a'nın üstünlüğünün uyumsuzluk derecesinden büyüktür denir.

Adım3. $f(a,b)$ ve $I(a)$ değerlerinin hesaplanması

Yöntemin bundan sonraki adımları Aouam vd. yaklaşımı ile aynıdır. $f(a,b)$ bulanık üstünlük fonksiyonu, $dC(a,b)$ bulanık uyum fonksiyonu ve $dD(a,b)$ bulanık uyumsuzluk fonksiyonları ile bulunur. $f(a,b)$ 'nin hesaplanmasında karar vericinin uyum ve uyumsuzluğa verdiği önem de dikkate alınır. β etkeni karar vericinin uyumsuzluğun etkisine verdiği önemi göstermek üzere $f(a,b)$ aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$f(a,b) = \begin{cases} dC * [1 - (\beta * dD)] & dC > 0 \text{ ise} \\ dC & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (6.36)$$

β değeri 0 ile 1 arasında değişir ve arttığında uyumsuzluk tarafına daha çok önem verildiğini gösterir. Ortalama kötümser bir karar verici için $\beta = 0,5$ alınması yeterlidir. Hesaplamalar sonucunda eğer $f(a,b) > f(b,a)$ ise a b'den üstündür denir.

Bazı durumlarda toplam üstünlük göstergesine ihtiyaç duyulabilir. Bunun için önce a'nın b'ye üstünlük kurma yoğunluğu tanımlanmıştır:

$$d f(a,b) = f(a,b) - f(b,a) \quad (6.37)$$

Toplam üstünlük yoğunluğu $I(a)$ ise a alternatifinin diğer tüm alternatiflere üstünlük kurma yoğunlukları toplamına eşittir.

$$I(a) = \sum_{b \in A} d f(a,b), \quad b \neq a \quad (6.38)$$

Buna göre en iyi alternatif en yüksek toplam üstünlük yoğunluğu değerine sahip olandır.

Sayısal Örnek

Aşağıda 4 alternatifin 3 kritere göre üçgen bulanık sayılarla ifade edilen normalize değerleri ve ölçütlerin ağırlıkları verilmiştir. Önerilen yöntem ile alternatifler karşılaştırılmak istenmektedir.

	X_1	X_2	X_3
A_1	(0,4; 0,65; 0,7)	(0; 0,2; 1)	(0,3; 0,4; 0,6)
A_2	(0,2; 0,25; 0,3)	(0,4; 0,45; 0,48)	(0,6; 0,8; 0,9)
A_3	(0,4; 0,8; 1,1)	0	(0,2; 0,3; 0,35)
A_4	(0,25; 0,35; 0,4)	(0,1; 0,2; 0,4)	(0,7; 0,85; 0,9)
p_i	(0,15; 0,2; 0,25)	(0,4; 0,45; 0,55)	(0,25; 0,35; 0,4)

Çözüm yöntemdeki adımlar takip edilerek elde edilir.

Adım1. d_j , D_j ve C bulanık sayılarının hesaplanması

Her ölçüt için alternatifler arasındaki $d_j(A_l, A_k)$ kısmi üstünlük bulanık sayısı, en büyük anlamlı eşik değeri $s_j=0,2$, $j=1,2,3$ olarak kabul edilirse denklem (6.21) kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$d_1(A_l, A_k)$ $l, k = 1, 2, 3, 4$ ve $l \neq k$

Ölçüt 1	A_1	A_2	A_3	A_4
A_1	-	(0,1; 0,4; 0,7)	(0; 0; 0,5)	(0; 0,3; 0,65)
A_2	(0; 0; 0,2)	-	(0; 0; 0,2)	(0; 0; 0,25)
A_3	(0; 0,15; 0,9)	(0,1; 0,55; 1,1)	-	(0; 0,45; 1,05)
A_4	(0; 0; 0,2)	(0; 0,1; 0,4)	(0; 0; 0,2)	-

$d_2(A_l, A_k)$ $l, k = 1, 2, 3, 4$ ve $l \neq k$

Ölçüt 2	A_1	A_2	A_3	A_4
A_1	-	(0; 0; 0,8)	(0; 0,2; 1,2)	(0; 0; 1,1)
A_2	(0; 0,25; 0,68)	-	(0,4; 0,45; 0,68)	(0; 0,25; 0,58)
A_3	(0; 0; 0,2)	(0; 0; 0,2)	-	(0; 0; 0,2)
A_4	(0; 0; 0,6)	(0; 0; 0,2)	(0,1; 0,2; 0,6)	-

$d_3(A_l, A_k)$ $l, k = 1, 2, 3, 4$ ve $l \neq k$

Ölçüt 3	A_1	A_2	A_3	A_4
A_1	-	(0; 0; 0,2)	(0; 0,1; 0,6)	(0; 0; 0,2)
A_2	(0; 0,4; 0,8)	-	(0,25; 0,5; 0,9)	(0; 0; 0,4)
A_3	(0; 0; 0,25)	(0; 0; 0,2)	-	(0; 0; 0,2)
A_4	(0,1; 0,45; 0,8)	(0; 0,050; 0,5)	(0,35; 0,55; 0,9)	-

Örneğin $d_2(A_2, A_1) = ((A_2^L - A_1^R)^+, (A_2^M - A_1^M)^+, (A_2^R - A_1^L)^+ + s_2)$

$$\begin{aligned}
&= ((0,4 - 1)^+, (0,45 - 0,2)^+, (0,48 - 0)^+ + 0,2) \\
&= (0; 0,25; 0,68)
\end{aligned}$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Hesaplanan kısmi üstünlük bulanık sayıları $C(A_l, A_k)$ bulanık uyum değerlerinin elde edilmesinde kullanılır. İşlemler denklem (6.23) ve (6.26)'ya göre yapılır. Aşağıda elde edilen $C(A_l, A_k)$ değerleri matris üzerinde verilmiştir.

C	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
A ₁	-	(0,015; 0,08; 0,175)	(0; 0,125; 0,9)	(0; 0,06; 0,768)
A ₂	(0; 0,253; 0,694)	-	(0,223; 0,378; 0,73)	(0; 0,113; 0,319)
A ₃	(0; 0,03; 0,225)	(0,015; 0,11; 0,275)	-	(0; 0,09; 0,2625)
A ₄	(0,025; 0,158; 0,32)	(0; 0,038; 0,3)	(0,128; 0,283; 0,69)	-

Örnek olarak $C(A_1, A_2)$ hesaplanmıştır. Öncelikle denklem (6.26)'nın uygulanabilmesi için her ölçüte göre $\mu_o g_j(A_1)$ ve $\mu_o g_j(A_2)$ tercih değerinin hesaplanması ve buna göre alternatiflerin karşılaştırılması gerekir. Birinci ölçüt için $\mu_o g_1(A_1)$ ve $\mu_o g_1(A_2)$ değerleri denklem (6.27) kullanılarak şöyle bulunur.

$$\begin{aligned}
\mu_o(g_1(A_1)) &= \frac{g_1(A_1)^R - g_1(A_2)^L}{1 + [g_1(A_1)^R - g_1(A_1)^M] + [g_1(A_2)^M - g_1(A_2)^L]} \\
&= \frac{0,7 - 0,2}{1 + (0,7 - 0,65) + (0,25 - 0,2)} = 0,455 \\
\mu_o(g_1(A_2)) &= \frac{g_1(A_2)^R - g_1(A_1)^L}{1 + [g_1(A_2)^R - g_1(A_2)^M] + [g_1(A_1)^M - g_1(A_1)^L]} \\
&= \frac{0,3 - 0,4}{1 + (0,3 - 0,25) + (0,65 - 0,4)} = -0,077
\end{aligned}$$

Bu sonuçlara göre $\mu_o g_1(A_1) > \mu_o g_1(A_2)$ 'dir ve $p_1^c = p_j$ olur. Benzer işlemler A_1 ve A_2 alternatiflerinin ikinci ve üçüncü ölçüt değerleri için yapılırsa $p_2^c = p_3^c = 0$ bulunur. Buradan $C(A_1, A_2)$ 'nin hesaplanmasına geçilebilir. Elde edilen $d_j(A_1, A_2)$ kısmi uyum değerleri ve ağırlıklar denklem (6.23)'de uygulanırsa;

$$\begin{aligned}
C(A_1, A_2) &= \left(\sum_{j=1}^n (p_j^c)^L * d_j(A_1, A_2)^L, \sum_{j=1}^n (p_j^c)^M * d_j(A_1, A_2)^M, \sum_{j=1}^n (p_j^c)^R * d_j(A_1, A_2)^R \right) \\
&= (0,1 * 0,15 + 0 * 0 + 0 * 0; 0,4 * 0,2 + 0 * 0 + 0 * 0; 0,7 * 0,25 + 0 * 0,8 + 0 * 0,2) \\
&= (0,015; 0,08; 0,175)
\end{aligned}$$

olarak belirlenir.

$D_j(A_l, A_k)$ uyumsuzluk değerleri performans puanları bulanık üçgen sayı olduğu için denklem (6.30)'e göre hesaplanır. Aşağıda her ölçüt için ayrı olan uyumsuzluk değerleri verilmiştir.

$D_1(A_l, A_k)$ $l, k = 1, 2, 3, 4$ ve $l \neq k$

Ölçüt 1	A_1	A_2	A_3	A_4
A_1	-	$(-0,5; -0,4; 0,1)$	$(-0,3; 0,15; 0,9)$	$(-0,45; -0,3; 0,2)$
A_2	$(0,1; 0,4; 0,7)$	-	$(0,1; 0,55; 1,1)$	$(-0,05; 0,1; 0,4)$
A_3	$(-0,7; -0,15; 0,5)$	$(-0,9; -0,55; 0,1)$	-	$(-0,85; -0,45; 0,2)$
A_4	$(0; 0,3; 0,65)$	$(-0,2; -0,1; 0,25)$	$(0; 0,45; 1,05)$	-

$D_2(A_l, A_k)$ $l, k = 1, 2, 3, 4$ ve $l \neq k$

Ölçüt 2	A_1	A_2	A_3	A_4
A_1	-	$(-0,6; 0,25; 0,68)$	$(-1; -0,2; 0,2)$	$(-0,9; 0; 0,6)$
A_2	$(-0,48; -0,25; 0,8)$	-	$(-0,48; -0,45; -0,2)$	$(-0,38; -0,25; 0,2)$
A_3	$(0; 0,2; 1,2)$	$(0,4; 0,45; 0,68)$	-	$(0,1; 0,2; 0,6)$
A_4	$(-0,4; 0; 1,1)$	$(0; 0,25; 0,58)$	$(-0,4; -0,2; 0,1)$	-

$D_3(A_l, A_k)$ $l, k = 1, 2, 3, 4$ ve $l \neq k$

Ölçüt 3	A_1	A_2	A_3	A_4
A_1	-	$(0; 0,4; 0,8)$	$(-0,4; -0,1; 0,25)$	$(0,1; 0,45; 0,8)$
A_2	$(-0,6; -0,4; 0,2)$	-	$(-0,7; -0,5; -0,05)$	$(-0,2; 0,050; 0,5)$
A_3	$(-0,05; 0,1; 0,6)$	$(0,25; 0,5; 0,9)$	-	$(0,35; 0,55; 0,9)$
A_4	$(-0,6; -0,45; 0,1)$	$(-0,3; -0,05; 0,4)$	$(-0,7; -0,55; -0,15)$	-

$$\begin{aligned}
 \text{Örneğin } d_2(A_1, A_2) &= (A_2^L - A_1^R, A_2^M - A_1^M, A_2^R - A_1^L + s_2) \\
 &= ((0,4 - 1), (0,45 - 0,2), (0,48 - 0)^+ + 0,2) \\
 &= (-0,6; 0,25; 0,68)
 \end{aligned}$$

şeklinde hesaplanır.

Adım2. dC ve dD fonksiyonlarının tanımlanması

dC, bulanık uyum fonksiyonu denklem (6.33) kullanılarak hesaplanır. Örneğin $dC(A_1, A_2)$ 'yi hesaplamak için $OM(A_1)$ ve $OM(A_2)$ değerlerinin denklem (6.31)'e göre belirlenmesi gerekir.

$$\begin{aligned}
 OM(C(A_1, A_2)) &= \frac{4 * (C(A_1, A_2))^M - (C(A_1, A_2))^L + (C(A_1, A_2))^R}{4} \\
 &= \frac{4 * 0,08 - 0,015 + 0,175}{4} = 0,12
 \end{aligned}$$

$$OM(C(A_2, A_1)) = \frac{4 * (C(A_2, A_1))^M - (C(A_2, A_1))^L + (C(A_2, A_1))^R}{4}$$

$$= \frac{4 * 0,253 - 0 + 0,694}{4} = 0,426$$

$$dC(A_1, A_2) = OM(C(A_1, A_2)) - OM(C(A_2, A_1))$$

$$= 0,12 - 0,426 = -0,306$$

Diğer alternatif çiftleri için de benzer işlemler yapılarak tüm $dC(A_l, A_k)$ $l \neq k$ değerleri elde edilmiş ve aşağıda verilmiştir.

dC	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
A ₁	-	-0,306	0,264	0,021
A ₂	0,306	-	0,330	0,080
A ₃	-0,264	-0,330	-	-0,268
A ₄	-0,021	-0,080	0,268	-

$dD(A_l, A_k)$ uyumsuzluk göstergesini hesaplamak için denklem (6.35)'ten elde edilen değerler denklem (6.34)'e uygulanır. Örneğin $dD(A_1, A_2)$ için öncelikle $dD_j(A_1, A_2)$ $j=1,2,3$ değerleri belirlenmelidir. Bunun için alternatiflerin ölçütlerden aldıkları puanlar karşılaştırılır. Karşılaştırmada denklem (6.27)'de tanımlanan tercih ilişkisi kullanılır. A_1 ve A_2 için

$$\mu_{og_1}(A_1) = 0,455; \mu_{og_2}(A_1) = 0,324; \mu_{og_3}(A_1) = 0;$$

$$\mu_{og_1}(A_2) = -0,077; \mu_{og_2}(A_2) = 0,390; \mu_{og_3}(A_2) = 0,5;$$

değerleri belirlenir. Bunlara göre

$$dD_1(A_1, A_2) = 0;$$

$$dD_2(A_1, A_2) = \frac{OM(D_2(A_1, A_2))}{OM(v_2)}$$

$$dD_3(A_1, A_2) = \frac{OM(D_3(A_1, A_2))}{OM(v_3)}$$

şeklinde belirlenmelidir. $v_j = (0,5; 0,6; 0,7)$ $j=1,2,3$ olduğu kabul edilirse

$$dD_2(A_1, A_2) = \frac{OM(D_2(A_1, A_2))}{OM(v_2)}$$

$$= \frac{(4 * 0,25 - (-0,6) + 0,68)/4}{(4 * 0,6 - 0,5 + 0,7)/4} = 0,877$$

olarak hesaplanır. Benzer işlemlerle $dD_3(A_1, A_2) = 0,923$ bulunarak

$$dD(A_1, A_2) = \text{Enb}[dD_1(A_1, A_2); dD_2(A_1, A_2); dD_3(A_1, A_2)] \\ = 0,923$$

elde edilir. İşlemler tüm alternatif çiftleri için tekrarlanarak $dD(A_l, A_k)$, $l \neq k$, uyumsuzluk göstergeleri aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

dD	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
A ₁	-	0,923	0,692	0,962
A ₂	0,846	-	1,231	0,346
A ₃	0,769	1,019	-	1,058
A ₄	0,712	0,608	1,096	-

Adım3. $f(a, b)$ ve $I(a)$ değerlerinin hesaplanması

$f(a, b)$ üstünlük fonksiyonu uyum ve uyumsuzluk göstergeleri kullanılarak denklem (6.36)'ya göre belirlenir. Örneğin $dC(A_1, A_2) = -0,306 < 0$ olduğundan

$$f(A_1, A_2) = -306$$

olur. $f(A_2, A_1)$ ise $\beta=0,5$ kabul edilirse;

$$f(A_2, A_1) = dC(A_2, A_1) * [1 - \beta * dD(A_2, A_1)] \\ = 0,306 * [1 - 0,5 * 0,846] \\ = 0,177$$

olarak hesaplanır. Diğer çiftler için üstünlük fonksiyon değerleri aşağıda verilmiştir.

f	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
A ₁	-	-0,306	0,172	0,011
A ₂	0,177	-	0,127	0,066
A ₃	-0,264	-0,330	-	-0,268
A ₄	-0,021	-0,080	0,121	-

Buna göre ikili karşılaştırmalarla $A_2 > A_1 > A_4 > A_3$ sonucuna varılabilir. Her zaman sonuçlar bu kadar açık görülemeyebilir. Bu durumda toplam üstünlük yoğunluğu $I(A)$ hesaplanmalıdır. $I(A)$, alternatif çiftleri için üstünlük fonksiyonu değerlerinin farklarının alınıp toplam üstün olma düzeyinin hesaplanmasıyla elde edilir.

Bunun için önce denklem (6.37)'de tanımlanan $df(A_l, A_k)$ değerleri belirlenmelidir. Örneğin

$$df(A_1, A_2) = f(A_1, A_2) - f(A_2, A_1) \\ = -0,306 - 0,177 = -0,483$$

şeklinde hesaplanır. Diğer hesaplamalar yapılmış ve sonuçları aşağıda verilmiştir.

df	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
A ₁	-	-0,483	0,436	0,031
A ₂	0,483	-	0,457	0,146
A ₃	-0,436	-0,457	-	-0,388
A ₄	-0,031	-0,146	0,388	-

Son olarak (6.38) kullanılarak $I(A_k)$ değerleri belirlenir. Örneğin

$$\begin{aligned}
 I(A_1) &= df(A_1, A_2) + df(A_1, A_3) + df(A_1, A_4) \\
 &= -0,483 + 0,436 + 0,031 \\
 &= -0,015
 \end{aligned}$$

olarak bulunur diğer alternatiflerin üstünlük yoğunlukları aşağıda verilmiştir.

	$I(A_i)$
A ₁	-0,015
A ₂	1,086
A ₃	-1,282
A ₄	0,211

Bu sonuçlara göre $A_2 > A_4 > A_1 > A_3$ olarak oluşur. Görüldüğü gibi alternatiflerin birbirlerine olan üstünlüklerine ya da üstünlük derecelerine göre sıralama farklı olabilmektedir. Hangi sıralamanın benimseneceği karar vericinin tutumuna göre değişir. Üstünlük kurma derecesi daha önemli ise üstünlük yoğunlukları, sadece üstünlük kurma durumu önemseniyorsa üstünlük fonksiyonundan çıkan sonuç kabul edilmelidir.

6.2 Önerilen Model Yaklaşımının Türkiye'nin Sürdürülebilir Kalkınmadaki Görelî Yerinin Tespit Edilmesine Uygulanması

Çalışmada amaç Türkiye'nin diğer ülkelere göre SK'daki yerinin tespit edilmesidir. Burada diğer ülkelerden kastedilmek istenen Dünya üzerindeki tüm ülkelerdir. Fakat Dünya'daki tüm ülkelerin değerlendirmeye alınması verilerin bulunabilmesi ve işlemlerin etkin bir şekilde yürütülmesi için mümkün değildir. Bu yüzden Dünya'daki tüm ülkeleri SK bakımından temsil edebilecek ülkelerin seçilmesi gerekmiştir. Bu bağlamda tüm gelişmiş, gelişmekte olan ve az gelişmiş dünya ülkelerini temsil edebilecek ve SK açısından SK'yı başarmakta olandan çok başarısız olana kadar tüm düzeylerden ülkeler seçilmiştir. Bunun için Refah Değerlendirmesi göstergesine göre puanlanan 180 ülkeden çeşitli sıralarda olanlar verilerinin

bulunabilirliğine göre belirlenmiştir. Bu ülkeler ve Refah Değerlendirme göstergesine göre sıraları Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Değerlendirmeye alınan ülkeler ve Refah Değerlendirmesi sıraları [27]

Ülke	RD sırası	Ülke	RD sırası	Ülke	RD sırası
İsveç	1	Arjantin	55	Tayland	127
İsviçre	7	İspanya	61	Türkiye	129
Uruguay	11	Hırvatistan	64	Bangladeş	131
Danimarka	13	Bulgaristan	67	Tanzanya	132
Peru	19	Jamaika	68	Kenya	143
ABD	27	Panama	69	Guatemala	148
Fransa	29	Kolombiya	81	Meksika	150
Belçika	34	Brezilya	92	Ürdün	151
Hollanda	38	Romanya	97	Mozambik	155
Ekvator	41	Malezya	99	Gana	168
Sri Lanka	49	Filipinler	116	Hindistan	172
Polonya	54	Moldavya	118	Uganda	177

Yöntemde bundan sonraki aşamalarda yapılacak değerlendirmelerle bu ülkeler karşılaştırılacaktır.

6.2.1 Belirteç Kümesinin ve Belirteç Gruplarının Belirlenmesi

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi SK düzeyinin ölçülmesinde SK belirteçleri kullanılır. Çalışmada SK’nın tüm boyutlarını içerdiği ve ulusal değerlendirmeler için geliştirildiği için SKK belirteçlerinin temel alınması uygun görülmüştür. SKK’nın belirlediği 60 adet belirteç mevcuttur. Fakat seçtiğimiz ülkeler için mevcut verilerin bulunamamasından dolayı belirteçlerin bir kısmı değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 6.2’de tüm SKK belirteçleri, belirteçlerin çalışma içerisinde bundan sonra kullanılacak kısa isimleri, birimleri, seçilen ülkelere kaç tanesi için verinin mevcut olduğu ve değerlendirmeye alınıp alınmama durumu (DAD=1 ise değerlendirme alınmış anlamına gelir) gösterilmiştir. Veriler Birleşmiş Milletler [23,24], Dünya Bankası [25], OECD [14] gibi uluslararası kaynaklardan ve Avrupa Komisyonunun SK değerlendirme veri bankasından [26] elde edilmiştir. Elde edilebilen verilere göre 36 ülkeden %90 ve daha fazlası için veri olan belirteçler değerlendirmeye alınmıştır. Değerlendirmeye alınmayan belirteçler şunlardır: K/E maaşları, Yetersiz Beslenmiş Çocuk, Kalabalık, Suç Oranı, Diğer Gazlar, Çölleşme, Gecekondu, Dışkısız Koliform, Tehlikeli Atık, Nükleer Atık, Araba Kullanımı, Arge Harcamaları, Doğal Afet– Ekonomik.

Belirteç kümesi belirlendikten sonra birbiriyle ilişkili olan belirteçleri belirlemek ve ilgili olanları birlikte değerlendirmek için seçilen ülke verilerine göre faktör analizi

uygulanmıştır. Faktör analizi sonucunda 12 faktör oluşmuş ve tüm veri kümesinin 14 belirteçle temsil edilmesi kararlaştırılmıştır. Oluşan 12 faktör toplam varyansın % 83'ünü açıklamaktadır. SPSS veri analiz paket programı kullanılarak elde edilen faktör analizi sonuçları Ek-B'de görülebilir.

Birinci faktör GSYH, İnternet, Enerji Tüketimi, Telefon, SK Üyeliği, Atık Yeniden Kullanma, Katı atık, Gübre, Orta öğretim ve Gecekondu belirteçlerini kapsamaktadır. Bu belirteçlere bakıldığında ekonomik gelişmişlikle ilgili olduğu görülür bu yüzden birinci faktör “Ekonomik Refah” olarak adlandırılmış ve faktör yüklemesi en yüksek olan GSYH belirteci ile temsil edilmesi uygun görülmüştür.

İkinci faktör Okuma-Yazma oranı, Yoksulluk, İlköğretim, Sağlık Bakım, Nüfus Artışı, SK Stratejisi, Çocuk aşılınması, Sağlık Koruma ve Kent havası belirteçlerinden oluşmaktadır. Bu faktör sosyal refahla ilgili olduğu için “Sosyal Refah” olarak adlandırılmış ve Okuma-Yazma Oranı belirteci ile temsil edilmesi düşünülmüştür.

Üçüncü faktör RKY, İşsizlik, Çocuk Ölüm Oranında Azalma, Ortalama Ömür, Temiz Su, Doğum Kontrolü, CO2 Azalması ve Dış Borç belirteçlerini kapsar. “Yaşam Kalitesi” olarak adlandırılabilir ve faktör yüklemesi en yüksek olan İşsizlik belirteci ile temsil edilebilir.

Dördüncü faktör Su Tüketimi, Fosfor, CFCLar, Malzeme Kullanımı ve Kilit Ekosistemler belirteçlerini içerir. Görüldüğü gibi bu belirteçlerin hepsi çevresel tehditlerin göstergesi veya çevreyi koruma önlemleridir. Bu yüzden faktör “Çevresel Tehditler” olarak nitelenmiştir. Faktörü temsil etmek için kullanımı diğerlerine göre daha yaygın olduğu için CFCLar belirteci seçilmiştir.

Beşinci faktör Doğal Afet-İnsan ve Kültür Balık Üretimi belirteçlerini kapsar ve Doğal Afet-İnsan belirteci ile temsil edilecektir. Altıncı faktörde gerçek hayatta birbiriyle ilişkisinin ne olduğu anlaşılamayan Gelir Dağılımı ve Ağaç Kesimi belirteçleri vardır. Bu belirteçlerin ilişkisi açıklanamadığı için her ikisi ayrı olarak değerlendirmeye dahil edilmiştir.

Yedinci faktörde yer alan Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, Korunmuş Alanlar ve İthalat İhracat Dengesi belirteçleri birbirleriyle açıkça görülen bir ilişkileri yoktur. Bu yüzden bu faktörü temsil etmek için Korunmuş Alanlar ve Cari İşlemler Dengesi belirteçleri beraber kullanılmıştır.

Tablo 6.2 SKK belirteçleri ve çalışmada kullanılan belirteçler

Belirteçler	Kısa İsmi	Birimi	Verisi olan Ülke sayısı	DAD ¹⁰
Yoksulluk sınırının altında yaşayan nüfus oranı	Yoksulluk	% nüfus	33	1
Gelir eşitsizliği Gini katsayısı	Gelir Dağılımı	katsayı	36	1
İşsizlik oranı	İşsizlik	% toplam işgücü	34	1
Ortalama kadın çalışan maaşının erkek çalışan maaşına oranı	K/E Maaşları	% erkek maaşı	20	
Yetersiz beslenmiş çocuk oranı	Yetersiz Beslenmiş Çocuk	% toplam çocuk sayısı	27	
5 yaşın altında çocukların ölüm oranındaki azalma	Çocuk Ölüm Oranında Azalma	% 1990-2000 arası değişim	36	1
Ortalama ömür uzunluğu	Ortalama Ömür	yıl	36	1
Pis su temizleme tesislerine sahip nüfus oranı	Sağlık Koruma	% nüfus	36	1
Temiz içme suyuna erişen nüfus oranı	Temiz Su	% nüfus	36	1
Birincil derece sağlık bakım tesislerine erişen nüfus oranı	Sağlık Bakım	% nüfus	33	1
Bulaşıcı çocukluk dönemi hastalıklarına karşı aşılama	Çocuk Aşılama	% 12aylığın altındaki bebekler	36	1
Doğum kontrolü oranı	Doğum Kontrolü	% 15-49 yaşa arası bayanlar	35	1
İlköğretim 5. sınıfa gelen çocuk sayısı	İlköğretim	% ilköğretim seviyesinde olanlar	35	1
Yetişkin ikincil eğitim başarı oranı	Orta Öğretim	% yetişkin nüfusu	36	1
Yetişkinlerde okuma-yazma oranı	Okuma-Yazma Oranı	% 15yaş ve üzeri olanlar	36	1
Kişi başı iskan sahası	Kalabalık	kişi başı m2	25	
100.000 kişide kayıtlı suç sayısı	Suç Oranı	100.000 kişi başına	22	
Nüfus artış oranı	Nüfus Artışı	% 1995-1999 arası değişim	36	1
Kentsel resmi ve resmi olmayan yerleşim nüfusu	Kentleşme	% nüfus	36	1
CO2 emisyonundaki azalma	CO2 Azalması	% 1990-2000 arası değişim	36	1
Diğer sera gazı emisyonları	Diğer Gazlar	kişi başı ton	11	
Ozon tahrip eden maddelerin tüketimi (CFClar)	CFClar	kişi başı gram	36	1
Kent alanlarındaki hava kirleticilerinin ortam konsantrasyonları	Kent Havası	m3 başı mikrogram	36	1
Tarıma uygun ve sürekli ekilebilir toprak alandaki artış	Ekilebilir Alandaki Artış	% 1990-2000 arası artış	36	1
Gübre kullanımı	Gübre	bir hektar ekilmiş alan başına 100gram	36	1
Zirai böcek zehri kullanımı	Böcek Zehri	bir hektar ekilebilir alan başına kg	36	1
Orman alanının toplam alana oranının azalması	Ormansızlaşma	% 1990-2000 arası azalma	36	1
Ağaç kesim yoğunluğu	Ağaç Kesimi	m3 olarak kesimlerin ormanlara oranı (%)	32	1
Çölleşmiş alan	Çölleşme	% toplam alan	30	
Yasal olmayan kent yerleşimi	Gecekondü	% şehir nüfusu	25	
Sahil bölgelerindeki alg konsantrasyonu (fosfor)	Fosfor	mg/Litre	36	1
Sahil bölgelerinde yaşayanların toplam nüfusa oranı	Sahil Nüfusu	% nüfus	36	1

¹⁰ DAD: Değerlendirmeye Alınma Durumu, belirteç değerlendirmeye alınmışsa 1 değeri ile gösterilmiştir.

Tablo 6.2 SKK belirteçleri ve çalışmada kullanılan belirteçler (devamı)

Belirteçler	Kısa İsmi	Birimi	Verisi olan Ülke sayısı	DAD
Kültür üretiminin toplam balık üretimine oranı	Kültür Balık Üretimi	% toplam balık üretimi	36	1
Yıllık yerüstü ve yer altı su tüketiminin yenilenebilir suya oranı	Su Tüketimi	% kullanılabilir su	34	1
Su kaynaklarındaki biyokimyasal oksijen ihtiyacı	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı	işçi başına gün başına kg	36	1
Tatlı sulardaki dışkısal koliform konsantrasyonları	Dışkısal Koliform	100 ml'deki sayısı	19	
Seçilmiş kilit ekosistemlerin alanı	Kilit Ekosistemler	% korunmuş alan	36	1
Koruma altına alınmış bölgelerin toplam alana oranı	Korunmuş Alanlar	% toplam alan	36	1
Kilit türlerin bolluğu	Türlerin Bolluğu	10,000 km2 başına	36	1
Kişi başı GSYH	GSYH	Atlas yöntemi (2000 ABD \$)	36	1
Yatırımın GSYH'ya oranı	Yatırımlar	% GSYH	36	1
Hizmet ve ürünlerdeki cari işlemler dengesi	Cari İşlemler Dengesi	% GSYH	36	1
Dış borç GSMH oranı	Dış Borç	% GSMH	35	1
GSMH'nin yüzdesi olarak toplam alınan ve verilen resmi kalkınma yardımı	RKY	% GSMH	36	1
Malzeme kullanım yoğunluğu	Malzeme Kullanımı	% GSMH	36	1
Ticari enerji tüketimi	Enerji Tüketimi	kişi başı 1 kg petrol eşdeğeri	35	1
Yenilenebilir enerji kaynağı tüketiminin toplam tüketime oranı	Yenilenebilir Enerji	% enerji tüketimi	36	1
Enerji verimliliği	Enerji Verimliliği	1 kg petrol eşdeğeri başına 1995 ABD \$'ı	35	1
Endüstriyel ve belediyelere ait katı atık oluşumu	Katı Atık	% toplam	33	1
Tehlikeli atık oluşumu	Tehlikeli Atık	GSYH (\$) başına gram	18	
Radioaktif atık oluşumu	Nükleer Atık	Z-puanları	19	
Atık dönüşümü ve yeniden kullanılması	Atık Yeniden Kullanma	% toplam atık oluşumu	34	1
İşe şahsi araçla gitme	Araba Kullanımı	% işe gidişler	31	
Ulusal sürdürülebilir salkınma stratejisi	SK Stratejisi	plan sayısı (enbüyük 4)	36	1
Onaylı global anlaşmaların uygulanması	SK Üyeliği	100 anlaşma içerisindeki sayısı	36	1
1.000 kişide İnternet kullanıcısı sayısı	İnternet	1,000 kişi başına	36	1
1.000 kişide telefon hattı sayısı	Telefon	1,000 kişi başına	36	1
GSYH'nın oranı şeklinde araştırma ve geliştirme harcamaları	Arge Harcamaları	% GSMH	31	
Doğal afetlerde yaşanan insan kayıpları	Doğal Afet İnsan	% nüfus	35	1
Doğal afetlerde yaşanan ekonomik kayıplar	Doğal Afet Ekonomik	% GSMH	31	

Sekizinci faktör Türlerin Çeşitliliği ve Ormansızlaşma belirteçlerini içerir, Ormansızlaşma belirteciyle temsil edilecektir. Dokuzuncu faktör Yatırımlar ve Sahil Nüfusu belirteçlerini kapsar, Yatırımlar belirteciyle temsil edilecektir.

Tablo 6.3 Faktörler ve onları temsil edecek belirteçler

Faktör İsmi	Temsilci Belirteç	Diğer Belirteçler
Ekonomik Refah	GSYH	İnternet, Enerji Tüketimi, Telefon, SK Üyeliği, Atık Yeniden Kullanma, Katı atık, Gübre, Orta öğretim ve Gecekondu
Sosyal Refah	Okuma-Yazma oranı	Yoksulluk, İlköğretim, Sağlık Bakım, Nüfus Artışı, SK Stratejisi, Çocuk aşılama, Sağlık Koruma ve Kent havası
Yaşam Kalitesi	İşsizlik	RKY, Çocuk Ölüm Oranında Azalma, Ortalama Ömür, Temiz Su, Doğum Kontrolü, CO2 Azalması ve Dış Borç
Çevresel Tehditler	CFClar	Su Tüketimi, Fosfor, , Malzeme Kullanımı ve Kilit Ekosistemler
Faktör 5	Doğal Afet-İnsan	Kültür Balık Üretimi
Gelir dağılımı	Gelir dağılımı	
Ağaç Kesimi	Ağaç Kesimi	
Faktör 7	Korunmuş Alanlar, Cari İşlemler Dengesi	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
Faktör 8	Ormansızlaşma	Türlerin Çeşitliliği
Faktör 9	Yatırımlar	Sahil Nüfusu
Böcek Zehri	Böcek Zehri	
Ekilebilir Alandaki Artış	Ekilebilir Alandaki Artış	
Yenilenebilir Enerji	Yenilenebilir Enerji	

Diğer faktörler sadece bir belirteç içerirler ve bu belirteçlerle temsil edileceklerdir. Bu belirteçler şunlardır: Gübre, Ekilebilir Alandaki Artış ve Yenilenebilir Enerji. Tablo 6.3’de tüm faktörler, faktörleri temsil edecek belirteçler ve faktörler içinde yer alan diğer belirteçler toplu olarak gösterilmiştir.

Sonuç olarak 47 tane belirteci temsil etmek için 14 tanesi seçilmiştir. Sonraki bölümlerde işlemler seçilen 14 belirteç ile yürütülecektir.

6.2.2 Temsilci Belirteçlerin Ağırlıklarının Belirlenmesi

Önerilen yaklaşımda, belirteç grupları oluşturulduktan sonra bunların SK’ya katkılarının ne kadar olacağı her temsilci belirtece atanacak olan ağırlıklarla belirlenmektedir. Bu çalışmada SK ve özellikle SK’nın üç ana boyutu (çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlar) konularında ehil üç uzmanın görüşleri birleştirilerek ağırlıklar belirlenmeye çalışılmıştır.

Uzmanlardan görüş alınırken, önce onlara çalışmanın amacı, belirteçler, belirteç grupları (Tablo 6.2 ve Tablo 6.3’deki bilgiler) ve önerilen modelle ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir. Daha sonra temsilci belirteçleri temsil ettikleri faktörleri de göz önüne alarak SK’ya katkılarına göre ikili olarak karşılaştırmaları istenmiştir. Karşılaştırma Tablo 6.4’deki ölçeğe göre yapılmıştır.

Tablo 6.4 Belirteç gruplarının karşılaştırılmasında kullanılan ölçek

Önem derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önem	İki belirteç grubu SK'ya eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
3	Birinin diğerine göre orta derecede daha önemli olması	Tecrübe ve yargı bir belirteç grubunu SK'ya diğerinden orta derecede daha fazla katkı yapıyor.
5	Kuvvetli önem	Tecrübe ve yargı bir belirteç grubunu SK'ya diğerinden kuvvetli derecede katkı sağlıyor.
7	Çok kuvvetli düzeyde önem	Bir belirteç grubunu SK'ya güçlü bir şekilde katkı sağlıyor. Baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor
9	Aşırı düzeyde önem	Bir belirteç grubunun diğerine göre AK'ya katkısına ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahip
2,4,6,8	Ortalama değerleri	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasına düşen değerler.

Uzmanlardan görüşlerini Şekil 6.3'de örneği verilen ikili karşılaştırma matrisi üzerinde belirtmeleri istenmiştir. Üç uzmandan alınan değerlendirmeler Ek-C'de verilmiştir.

		BELİRTEÇ GRUPLARI													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
BELİRTEÇ GRUPLARI	Ekonomik Refah	1													
	Sosyal Refah	x	1												
	Yaşam Kalitesi	x	x	1											
	Çevresel Tehditler	x	x	x	1										
	Faktör 5	x	x	x	x	1									
	Eşitlik	x	x	x	x	x	1								
	Ağaç Kesimi	x	x	x	x	x	x	1							
	Korunmuş Alanlar	x	x	x	x	x	x	x	1						
	Cari İşlemler Dengesi	x	x	x	x	x	x	x	x	1					
	Faktör 8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1				
	Faktör 9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1			
	Zirai Böcek Zehri	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1		
	Ekilebilir Alandaki Artış	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	
	Yinelenabilir Enerji	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1

Şekil 6.3 Uzmanların belirteç gruplarını karşılaştırdıkları matris

Karşılaştırmalar ikili olarak yapıldığı ve öznel görüşleri içerdiği için değerlendirmelerde tutarsızlıkların olması doğaldır. Fakat bu tutarsızlıkları değerlendirmeyi engelleyecek ve kesin karara varılamayacak düzeyde olması istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden ikili karşılaştırmalar matrisleri uzmanlar tarafından doldurulduktan sonra her matrise tutarlılık testi uygulanmıştır. Tutarlılık

testleri sonucunda iki uzmanın değerlendirmesinin %10'dan daha fazla tutarsız olduğu görülmüştür. Bu matrislerde uzmanlara tekrar danışılarak küçük değişiklikler yapılmış ve %10'luk tutarsızlık seviyesinin altına çekilmiştir.

Üç uzmanın görüşleri doğrultusunda oluşturulan karşılaştırma matrisleri Laarhoven ve Pedrycz AHS'ne uygulanarak belirteç gruplarının ağırlıkları belirlenmiştir.

Tablo 6.5 Temsilci belirteçlerin ağırlıkları

Belirteç veya Belirteç Grubu	w_j
Ekonomik Refah (GSYH)	$w_1(0,106; 0,137; 0,167)$
Sosyal Refah (Okuma yazma oranı)	$w_2(0,092; 0,119; 0,148)$
Yaşam Kalitesi (işsizlik)	$w_3(0,088; 0,113; 0,14)$
Çevresel Tehditler (CFClar)	$w_4(0,031; 0,041; 0,051)$
Faktör 5 (Doğal afet İnsan)	$w_5(0,025; 0,031; 0,038)$
Gelir Dağılımı	$w_6(0,077; 0,098; 0,13)$
Ağaç Kesimi	$w_7(0,021; 0,028; 0,037)$
Korunmuş Alanlar	$w_8(0,022; 0,029; 0,038)$
Cari İşlemler Dengesi	$w_9(0,08; 0,101; 0,129)$
Faktör 8 (Ormansızlaşma)	$w_{10}(0,025; 0,032; 0,044)$
Faktör 9 (Yatırımlar)	$w_{11}(0,116; 0,141; 0,175)$
Böcek İlacı Kullanımı	$w_{12}(0,018; 0,021; 0,026)$
Ekilebilir Alandaki Artış	$w_{13}(0,018; 0,022; 0,029)$
Yenilenebilir Enerji	$w_{14}(0,064; 0,079; 0,103)$

Hesaplamalar Ms Office uygulamalarından Excell programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Önce veriler tablolar halinde programa girilmiş ve sonra da gerekli denklem çözümleri Excell tabanlı çalışan Çözücü alt programı yardımıyla elde edilerek her belirteç için ağırlıklar oluşturulmuştur. $w_j(a,b,c)$ j'inci temsilci belirtecin üçgen bulanık sayı olarak gösterimi olmak üzere ağırlıklar Tablo 6.5'te verilmiştir

Bu bölümde uzman görüşlerinden yararlanılarak belirteç gruplarının ağırlıkları elde edilmiştir. Sonraki aşamada seçilen temsilci belirteçler için hedef değerleri ve en büyük veya en küçük sürdürülebilirliği sağlama sınırları belirlenerek, bu değerlere göre ülke verilerinin normalizasyonu gerçekleştirilecektir.

6.2.3 Belirteç Değerlerinin Normalizasyonu

Belirteç değerlerini normalize edebilmek için öncelikle belirteçlerin hedef ve sürdürülebilirlik eşik değerlerinin belirlenmesi gerekir. Sonraki bölümde eşik değerlerinin belirlenme süreci ayrıntılı olarak verilmiştir.

6.2.3.1 Belirteçlerin Hedef ve Sürdürülebilirlik Eşik Değerlerinin Belirlenmesi

Belirteçlerin hedef ve sürdürülebilirlik eşik değerleri uluslararası standartlara ve anlaşmalara göre belirlenmeye çalışılmıştır. Fakat her belirteç için sayısal hedefler bulunamamıştır. Böyle durumlarda belirteçler için oluşturulmuş genel amaçlar doğrultusunda verilerin incelenmesiyle saptamalar yapılmıştır. Aşağıda her temsil belirteç için hedef ve sürdürülebilirlik eşik değerlerinin nasıl belirlendiği verilmiştir.

Ekonomik refah faktörü kişi başı GSYH belirteci ile temsil edilecektir. GSYH bir fayda ölçüdür. Bu yüzden hedef değeri yüksek bir seviyede olmalı ve sürdürülebilirlik eşiği alt sınır olarak belirlenmelidir. Bilim çevrelerinde GSYH'nın performans puanına dönüştürülmesiyle ilgili genel kabul gören bir yöntem yoktur [20]. Bu yüzden hedef ve alt sınır belirlenmesi de oldukça güçtür. Çalışmada Dünya Bankası'nın ülkeleri GSYH'larına göre sınıflaması temel alınarak hedef ve alt sınır değerleri belirlenmiştir. Tablo 6.6'da bahsedilen sınıflama verilmiştir.

Tablo 6.6 Dünya Bankası GSYH'ya göre ülke sınıfları [29]

	1993 Kişibaşı GSYH (ABD \$)	1994 Kişibaşı GSYH (ABD \$)	1997 Kişibaşı GSYH (ABD \$)	2000 Kişibaşı GSYH (ABD \$)
Düşük Gelirli Ülkeler	0-750	0-730	0-786	0-755
Düşük ve Orta Gelirli Ülkeler	751-2900	731-3020	787-3125	756-2995
Yüksek Orta Gelirli Ülkeler	2901-8300	3021-8210	3126-9655	2996-9265
Yüksek Gelirli Ülkeler	>8301	>8211	>9655	>9266

Tablo 6.6'ya göre düşük gelirli olma üst sınırı 755\$ ve yüksek gelirli olma alt sınırı 9266\$'dır. Buna göre SK için düşük gelirli olmak hiç istenmeyen bir durum olduğu ve yüksek gelirli olmak amaç olarak görülebileceğinden; yaklaşık 750\$ alt sınır ve yaklaşık 9250\$ hedef değeri olarak belirlenmiştir. Bu değerler bulanık üçgen sayılarla $H_1 = (8750, 9250, 9750)$ ve $AL_1 = (650, 750, 850)$ olarak oluşturulmuştur.

Sosyal refah faktörü okuma yazma oranı belirteci ile temsil edilecektir. Okuma yazmanın incelen tüm kaynaklarda hedef değeri %100 olarak belirlenmiştir. Fakat okuma yazma oranı SK ilişkisi doğrudan incelenmediğinden alt sınır değeriyle ilgili bir veri elde edilememiştir. Bu yüzden Dünya ülkelerinin okuma yazma oranları incelenerek yaklaşık %60 değeri alt sınır olarak belirlenmiştir. Sayısal olarak $H_2 = 100$, ve $AL_1 = (55, 60, 65)$ olarak oluşturulmuştur.

Yaşam kalitesi faktörünü ölçmek için İşsizlik belirteci kullanılır. İşsizlik en küçüklenmek istenen bir göstergedir. Bu yüzden hedef küçük bir değer olacak ve sürdürülebilirlik eşiği üst sınır olarak belirlenecektir. İşsizlik incelendiğinde iki türlü

işsizlik olduğu görülmektedir: keyfi işsizlik ve iş olmamasından kaynaklanan işsizlik. Keyfi işsizliğin sürdürülebilirliğe doğrudan etkisi yoktur. Sürdürülebilirlik için ekonomik sebeplerden dolayı iş olmaması ve bunun sosyal etkileri önemlidir. Hedef belirlenirken keyfi işsizlik oranı düşünülerek karar verilmiştir. Keyfi işsizlik oranı yaklaşık %4 olarak görülmüş ve hedef bu oran olarak belirlenmiştir. Üst sınır için verilerin incelenmesi gerekmiştir. Ülkelerin işsizlik verileri incelendiğinde yaklaşık %20 ve üzeri işsizlik olduğunda sürdürülebilirliğin sağlanamayacağı saptanmıştır. Bu çıkarımlara göre $H_3 = (3,4,5)$ ve $UL_3 = (18, 20, 22)$ olarak oluşturulmuştur.

Çevresel tehditler faktörü CFC belirteci ile temsil edilir. CFC'lar çeşitli uluslararası antlaşmalara göre çoğu ülkede tümüyle yasaklanmıştır [15]. Bu yüzden hedef değeri 0'dır. Üst sınır değeri için kesin bilgi elde edilememiştir. Ülkelerin bu belirteçten elde ettikleri değerler incelenerek üst sınırın yaklaşık %45 olacağı öngörülmüştür. Böylece $H_4 = 0$ ve $UL_4 = (40, 45, 50)$ olur.

Faktör 5 için doğal afetlerdeki insan kayıpları belirteci kullanılmıştır. Bu belirteç için herhangi bir standart veya hedef yoktur. Eşik değerleri verisi bulunabilen tüm ülkelerin veri sıklığına göre belirlenmiştir. $H_5 = (0; 0,25; 0,5)$ ve $UL_5 = (2; 2,5; 3)$ olarak alınmıştır.

Gelir dağılımını ölçmek için Gini katsayısı kullanılır. Gini katsayısı 0'a yaklaştıkça gelir dağılımının daha homojen olduğunu gösterir. Bu belirtecin hedef ve üst sınır eşiklerinin belirlenmesi için konunun uzmanıyla görüşülmüştür [30]. Alınan bilgiler Gini katsayısı için sayısal hedef veya standardın olmadığı yönündedir. Görüşme neticesinde SK'da daha iyi durumda olan ülkelerin Gini katsayıları düzeyi hedef olarak ve en düşük Gini katsayılı ülkelerin düzeyleri yaklaşık üst sınır olarak belirlenmiştir. $H_6 = (25; 30; 35)$ ve $UL_6 = (54; 57; 60)$ değerleri oluşturulmuştur.

Ağaç kesimi belirteci en küçüklenmesi istenen bir göstergedir. Belirteç ormanların doğal üretkenlik limitlerine göre kullanılıp kullanılmadıklarını gösterir. Eğer oran bir veya daha küçükse ülke ormanın doğal artışından daha az veya eşit kesim yapıyor demektir. Eğer oran birden büyükse kesimler artıştan fazladır ve bu ormanların uzun dönemde tükeneceğini gösterir. Yani sürdürülebilirlik sağlanamaz. Uluslararası standartlarda SK için belirteç değerinin en çok bir olması gerektiği kabul edilmektedir. Bazı gelişmiş ülkeler kendi ulusal programlarında bu sınır değerini %70-80 civarlarına indirmeyi planlamaktadırlar[15]. Buna göre hedef değeri $H_7 =$

(0,7; 0,8;1) olarak belirlenebilir. Sürdürülebilirlik üst limiti verilerin analizinden $UL_7 = (2,25; 2,5;2,75)$ şeklinde oluşturulmuştur.

Korunmuş alanlar belirteci çevre ve doğal yaşamla ilgili olup SK'yı sağlamak için en yüksek düzeyde olmalıdır [15]. Belirteç değeri koruma altına alınmış alanların toplam yüz ölçüme oranı olarak bulunmasına rağmen hedefler kilit ekosistemlerin oranı olarak belirlenmiştir. Bu yüzden bu hedeflerin kullanılması doğru olmaz. Belirteç için hedef ve alt sınır eşikleri verilerin analizinden çıkarılmıştır. $H_8 = (25; 27,5; 30)$ ve $AL_8 = (2; 2,5; 3)$ olarak belirlenmiştir.

Cari işlemler dengesi belirteci dış ekonomilere bağımlılığın göstergesidir. Bu yüzden düşük değerleri dış ekonomiye bağımlı olmamanın göstergesidir. Belirteçle ilgili uluslararası bir hedef yoktur. Ülke verilerinin incelenmesiyle ortalama belirteç değeri olan -2,9 yaklaşık sürdürülebilirlik sınırı ve 7,5 hedef olarak belirlenmiştir. Bulanık sayı gösterimleriyle $AL_9 = (-3,3; -2,9;-2,5)$ ve $H_9 = (7; 7,5; 8)$ 'dir.

Faktör 8'i temsil etmek için 1990'dan 2000'e kadar % olarak ormanlardaki azalmayı gösteren ormansızlaşma belirteci kullanılır. Uluslararası otoriteler sürdürülebilirlik için ormanların en azından azalmaması gerektiğini söylemektedirler [15]. On yıl için yaklaşık %5'in üzerindeki orman kayıpları sürdürülebilirliğin uzun vadede sağlanamayacağını göstergesidir. Bu çıkarımlara göre $H_{10} = (-1;0;0)$, $UL_{10} = (4; 5; 6)$ olarak belirlenmiştir.

Faktör 9'u temsil etmek için yatırımlar belirteci kullanılır. Dünya Bankası verilerine göre SK için yatırımların %30 seviyesinde olması gerekir [23]. Sürdürülebilirliği sağlama alt sınır değeri verilerin incelenmesinden elde edilmiştir. $H_{11} = (27; 30; 33)$ ve $AL_{11} = (12; 14; 16)$ olarak belirlenmiştir.

Böcek ilacı kullanımı belirtecini değeri SK'yı sağlamak için düşük seviyede olması gerekir. Belirteç için uluslararası standart yoktur. Hedef ve üst limit değeri verilerin incelenmesiyle şöyle öngörülmüştür: $H_{12} = (750;1000;1250)$, $UL_{12} = (4800; 5000; 5200)$.

Ekilebilir alandaki artış belirteci tarım için kullanılan toprakların 1990 ile 2000 yılları arasındaki artışını gösterir. İnsan nüfusunun artması, buna bağlı olarak besin ihtiyacının ve tarım alanlarının artmasını gerektir. Buna göre tarım alanlarındaki artışın nüfus artışı kadar olması hedef olarak görülebilir. 1990-200 yılları arasında nüfus artışı yaklaşık %15 olmuştur. Öyleyse tarım alanlarındaki artış hedefi olarak

bu değer belirlenebilir. Sürdürülebilirlik alt limiti ise verilerin incelenmesiyle yaklaşık %4 olarak belirlenmiştir. Bulanık sayı değerleri ile $H_{13} = (13; 15; 17)$ ve $AL_{11} = (3; 4; 5)$ olarak alınmıştır.

Yenilenebilir enerji belirteci için Avrupa Birliğinin sürdürülebilirlik hedefini %12 olarak belirlenmiştir[31]. Ülkelerin belirteç değerlerinin ortalaması olan %1,1 yaklaşık alt sınır olarak öngörülmüştür. Değerlendirmede $H_{14} = (10; 12; 14)$ ve $AL_{14} = (0,9; 1,1; 1,3)$ değerleri kullanılacaktır.

Tablo 6.7 Normalizasyonda kullanılacak hedef, alt limit ve üst limit değerleri

Temsilci Belirteç	Alt Limit	Hedef	Üst Limit
GSYH	$AL_1 = (650, 750, 850)$	$H_1 = (8750, 9250, 9750)$	-
Okuma-Yazma oranı	$AL_1 = (55, 60, 65)$	$H_2 = 100$	-
İşsizlik	-	$H_3 = (3,4,5)$	$UL_3 = (18, 20, 22)$
CFClar	-	$H_4 = 0$	$UL_4 = (40, 45, 50)$
Doğal Afet-İnsan	-	$H_5 = (0; 0,25; 0,5)$	$UL_5 = (2; 2,5; 3)$
Gelir dağılımı	-	$H_6 = (25; 30; 35)$	$UL_6 = (54; 57; 60)$
Ağaç Kesimi	-	$H_7 = (0,7; 0,8;1)$	$UL_7 = (2,25; 2,5;2,75)$
Korunmuş Alanlar	$AL_8 = (2; 2,5; 3)$	$H_8 = (25; 27,5; 30)$	-
Cari İşlemler Dengesi	$AL_9 = (-3,3; -2,9;-2,5)$	$H_9 = (7; 7,5; 8)$	-
Ormansızlaşama	-	$H_{10} = (-1;0;0)$	$UL_{10} = (4; 5; 6)$
Yatırımlar	$AL_{11} = (12; 14; 16)$	$H_{11} = (27; 30; 33)$	-
Böcek Zehri	-	$H_{12} = (750;1000;1250)$	$UL_{12} = (4800; 5000; 5200)$
Ekilebilir Alandaki Artış	$AL_{11} = (3; 4; 5)$	$H_{13} = (13; 15; 17)$	-
Yenilenebilir Enerji	$AL_{14} = (0,9; 1,1; 1,3)$	$H_{14} = (10; 12; 14)$	-

Böylece tüm belirteçler için eşik değerleri belirlenmiş olur. Tablo 6.7’de normalizasyonda kullanılacak tüm eşik değerleri verilmiştir. Sonraki bölümde bu değerlere göre ülke verilerinin normalizasyonu verilecektir.

6.2.3.2 Verilerin Normalizasyonu

Ülkelerin belirteçlere göre değerleri önceki adımda belirlenen hedef ve eşik değerlerine göre normalize edilirler. Böylece ülkelerin faktörlere göre performans puanları elde edilir ve puanlar sonraki aşamada karşılaştırma için kullanılabilir.

Ülkelerin belirteç değerleri Ek-D’de verilmiştir. Bu değerler, belirteçlerin hedef ve sürdürülebilirlik eşik değerleri kullanılarak MsOffice programlarından Excell üzerinde normalize edilmişlerdir. Hesaplamalar Bölüm 6.1.1’de ayrıntılı olarak tanımlanan bulanık normalizasyon yöntemine göre yapılmıştır. Normalleştirilmiş belirteç değerleri Ek-E’de verilmiştir. Aşağıda 2 örnek hesaplama verilecektir.

Örnek Hesaplamalar

Örnek olarak Türkiye'nin GSYH ve CFClar belirteç değerlerinin normalizasyonu hesaplanacaktır. Türkiye için GSYH = 3022,4 ve CFClar = 58,93'tür.

GSYH belirteci fayda ölçütü olduğu için denklem (6.18) kullanılarak normalizasyon uygulanır. Öncelikle denklem (6.18)'deki karşılaştırmaları yapabilmek için $Kar(H_1)$ ve $Kar(AL_1)$ değerleri denklem (6.13)'e hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 Kar(H_1(a,b,c)) &= a + \frac{(c-a) \left(\frac{c-a}{2c-b-a} + \frac{b-a}{b+c-2a} \right)}{2} \\
 &= 8750 + \frac{(9750-8750) \left(\frac{(9750-8750)}{2*9750-9250-8750} + \frac{9250-8750}{9250+9750-2*8750} \right)}{2} \\
 &= 9250 \\
 Kar(AL_1) &= 650 + \frac{(850-650) \left(\frac{850-650}{2*850-750-650} + \frac{750-650}{850+750-2*650} \right)}{2} \\
 &= 750.
 \end{aligned}$$

Elde edilen değerler ile denklem (6.18) örnek için aşağıdaki gibi oluşur:

$$N_{i1} = \begin{cases} 0 & x_{i1} < 750 \text{ ise} \\ \left(\frac{x_{i1} - c_{AL1}}{c_{H1} - a_{AL1}}, \frac{x_{i1} - b_{AL1}}{b_{H1} - b_{AL1}}, \frac{x_{i1} - a_{AL1}}{a_{Hj} - c_{AL1}} \right) & 750 \leq x_{i1} < 9250 \text{ ise} \\ 1 & x_{i1} \geq 9250 \end{cases} \quad (6.39)$$

Türkiye'nin (AL33) GSYH değeri 3022,4 olduğundan normalize değeri (6.39)'a göre şöyle hesaplanır:

$$\begin{aligned}
 N_{33,1} &= \left(\frac{x_{33,1} - c_{AL1}}{c_{H1} - a_{AL1}}, \frac{x_{33,1} - b_{AL1}}{b_{H1} - b_{AL1}}, \frac{x_{33,1} - a_{AL1}}{a_{H1} - c_{AL1}} \right) \\
 &= \left(\frac{3022,4 - 850}{9750 - 650}, \frac{3022,4 - 750}{9250 - 750}, \frac{3022,4 - 650}{8750 - 850} \right) \\
 &= (0,239; 0,267; 0,300)
 \end{aligned}$$

CFClar maliyet ölçütü olduğu için denklem (6.19) kullanılır. İlk önce $Kar(UL_4)$ belirlenmelidir. $Kar(H_4)$ değeri hesaplanmayacaktır çünkü belirtecin hedef değeri bulanık sayı değildir. $Kar(UL_4)$ değerleri yukarıdakilerle benzer işlemler yürütülerek 45 bulunur ve CFClar belirteci için normalizasyon fonksiyonu aşağıdaki gibi oluşur:

$$N_{i4} = \begin{cases} 0 & x_{i4} > 45 \text{ ise} \\ \left(\frac{a_{UL4} - x_{i4}}{c_{UL4} - a_{H4}}, \frac{b_{UL4} - x_{i4}}{b_{UL4} - b_{H4}}, \frac{c_{UL4} - x_{i4}}{a_{UL4} - c_{H4}} \right) & 0 < x_{i4} \leq 45 \\ 1 & x_{i4} \leq 0 \end{cases} \quad (6.40)$$

Türkiye'nin belirteç değeri 58,93 (> 45) olduğu için $N_{33,4} = 0$ elde edilir.

Veriler normalize edildikten sonra ülkelerin karşılaştırılmasına geçilebilir. Sonraki bölümde bulanık üstünlük yöntemi ile seçilen ülkeler karşılaştırılacaktır.

6.2.4 Bulanık Üstünlük Yöntemi İle Ülkelerin Karşılaştırılması

Ülkelerin karşılaştırılması önceki adımlarda belirlenen ülkelerin normalleştirilmiş belirteç değerleri ve belirteçlerin ağırlıklarına göre gerçekleştirilmiştir. Bu değerler Bölüm 6.1.2'de ayrıntıları verilen bulanık üstünlük yöntemine uygulanmıştır.

Tablo 6.8 Ülkelerin toplam üstünlük yoğunluğu değerleri ve sıralamaları

Ülke	$I(A_k)$	Sıra	Ülke	$I(A_k)$	Sıra
A1 Arjantin	0,929	16	A19 Moldavya	-2,699	22
A2 Bangladeş	-2,576	21	A20 Mozambik	-7,447	29
A3 Belçika	13,912	5	A21 Hollanda	18,726	1
A4 Brezilya	-6,448	28	A22 Panama	-1,783	19
A5 Bulgaristan	-3,470	25	A23 Peru	-2,094	20
A6 Kolombiya	-19,700	36	A24 Filipinler	0,986	15
A7 Hırvatistan	4,385	10	A25 Polonya	9,700	8
A8 Danimarka	13,201	6	A26 Romanya	2,401	12
A9 Ekvator	-10,653	31	A27 İspanya	9,400	9
A10 Fransa	13,057	7	A28 Sri Lanka	-0,976	18
A11 Gana	-8,867	30	A29 İsveç	14,681	4
A12 Guatemala	-12,311	32	A30 İsviçre	18,579	2
A13 Hindistan	-4,272	26	A31 Tanzanya	-12,575	33
A14 Jamaika	-0,579	17	A32 Tayland	1,897	13
A15 Ürdün	-3,394	24	A33 Türkiye	1,311	14
A16 Kenya	-18,203	35	A34 Uganda	-15,700	34
A17 Malezya	3,635	11	A35 ABD	14,759	3
A18 Meksika	-2,895	23	A36 Uruguay	-4,920	27

Hesaplamalarda tüm belirteçler için en büyük anlamlı eşik değeri, $s_j = 0,2$ $j=1,...,14$ ve veto eşiği, $v_j = (0,5; 0,6; 0,7)$ $j=1,...,14$ olarak alınmıştır. İşlemler Ms Office

Şekil 6.4’de görülebileceği gibi ilk 9 ülkeden sonra toplam üstünlük yoğunluk değerlerinde ani bir düşüş vardır. Bu sınırdan önceki ülkelerin SK bakımından diğerlerine göre çok üstün oldukları söylenebilir. Bu devletler SK’yı en iyi sağlayanlar olarak nitelendirilebilir.

Türkiye’nin diğer ülkelere göre durumunu ayrıntılı olarak irdeleyebilmek için uyum ve uyumsuzluk göstergelerinden yararlanılmıştır. Tablo 6.9’da Türkiye’nin diğer ülkelere üstün olma uyum ve uyumsuzluk göstergeleri ve üstünlük fonksiyon değerleri verilmiştir.

Tablo 6.9 Türkiye ile diğer ülkelerin karşılaştırma göstergeleri

i	$dC(A_{33},i)$	$dD(A_{33},i)$	$f(A_{33},i)$	i	$dC(A_{33},i)$	$dD(A_{33},i)$	$f(A_{33},i)$
Arjantin	-0,003	1,112	-0,003	Moldavya	0,098	1,462	0,026
Bangladeş	0,111	1,556	0,025	Mozambik	0,168	1,747	0,021
Belçika	-0,229	1,373	-0,229	Hollanda	-0,366	1,373	-0,366
Brazilya	0,177	1,615	0,034	Panama	0,059	1,615	0,011
Bulgaristan	0,107	1,615	0,021	Peru	0,136	1,351	0,044
Kolombiya	0,363	1,021	0,178	Filipinler	0,047	1,615	0,009
Hırvatistan	-0,099	1,615	-0,099	Polonya	-0,171	1,501	-0,171
Danimarka	-0,312	1,615	-0,312	Romanya	0,024	1,250	0,009
Ekvator	0,259	1,086	0,118	İspanya	-0,196	1,373	-0,196
Fransa	-0,217	1,373	-0,217	Sri Lanka	0,006	1,319	0,002
Gana	0,286	1,696	0,044	İsveç	-0,236	1,373	-0,236
Guatemala	0,347	1,351	0,113	İsviçre	-0,380	1,684	-0,380
Hindistan	0,131	1,550	0,030	Tanzanya	0,303	1,615	0,058
Jamaika	0,000	1,615	0,000	Tayland	-0,058	1,217	-0,058
Ürdün	0,083	0,889	0,046	Türkiye	0,000	0,000	0,000
Kenya	0,408	1,490	0,104	Uganda	0,350	1,771	0,040
Malezya	-0,132	1,217	-0,132	ABD	-0,249	1,458	-0,249
Meksika	0,067	0,658	0,045	Uruguay	0,146	0,929	0,078

Veriler incelendiğinde Türkiye’nin $dC(A_{33},i) > 0$ olan ülkelere (Bangladeş, Brezilya, Bulgaristan, Kolombiya, Ekvator, Gana, Guatemala, Hindistan, Ürdün, Kenya, Meksika, Moldavya, Mozambik, Panama, Peru, Filipinler, Romanya, Sri Lanka, Tanzanya, Uganda) üstün olması uyumlu gözükmektedir. Fakat $dC(A_{33},i) > 0$ iken $dD(A_{33},i)$ değerlerinin genel olarak büyük olduğu saptanmıştır. Bu Türkiye’nin diğerlerinden üstünlüğünün güvenilir olmadığını gösterir.

Türkiye’nin uyum göstergesine göre üstünlüğünün uyumlu olduğu ülkelere hiçbir OECD üyesi ve Romanya dışında hiçbir Avrupa ülkesi değildir. Sıralamada 36 ülke içerisinde 14’üncü olması Türkiye için iyi bir gösterge olarak görülse de SK

bakımından hedeflenen Avrupa Birliği ve gelişmişlik düzeyinin uzağında olduğu sonucuna varılabilir.

Yöntemde ülkeleri SK boyutlarına göre değerlendirmek için normalleştirilmiş belirteç değerlerini incelemek gerekir. Belirteçler çeşitli faktörleri (belirteç gruplarını) temsil ettiklerinden SK'nın tüm boyutlarıyla ilgili saptamalar normalleştirilmiş belirteç değerleri ile yapılabilir.

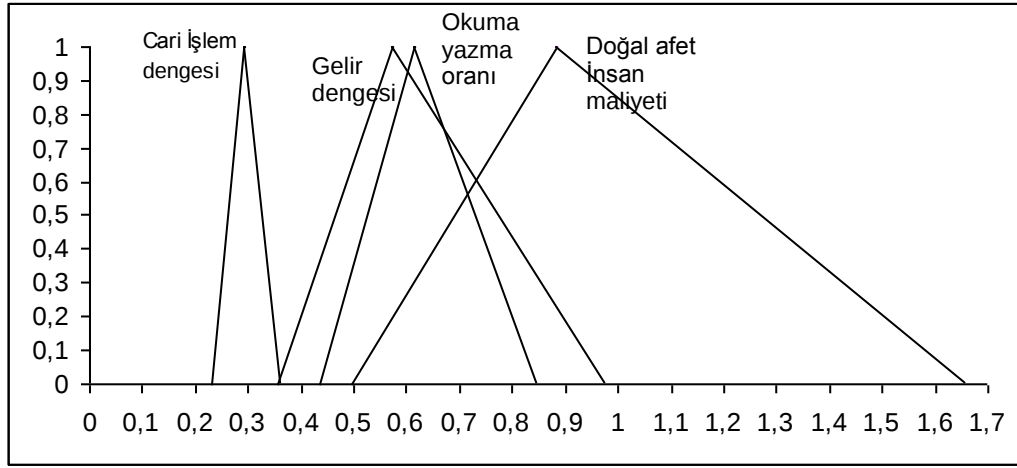
Türkiye için temsilci belirteçlere göre performans değerleri (normalleştirilmiş belirteç değerleri) Tablo 6.10'de verilmiştir. Ayrıca Şekil 6.5'de 0 ve 1 olmayan belirteç değerleri görülebilir.

Tablo 6.10 Türkiye'nin temsilci belirteçlere göre performans puanları

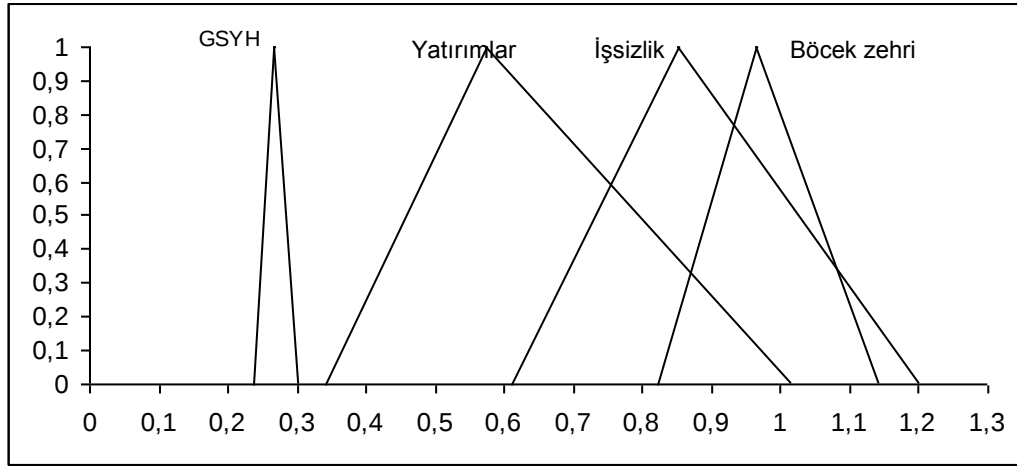
Temsilci Belirteç	Performans puanı
GSYH	(0,238; 0,267; 0,3)
Okuma-Yazma oranı	(0,434; 0,614; 0,844)
İşsizlik	(0,612; 0,852; 1,202)
CFCLar	(0; 0; 0)
Doğal Afet-İnsan	(0,495; 0,882; 1,657)
Gelir dağılımı	(0,356; 0,572; 0,972)
Ağaç Kesimi	(1; 1; 1)
Korunmuş Alanlar	(0; 0; 0)
Cari İşlemler Dengesi	(0,232; 0,29; 0,36)
Ormansızlaşma	(1; 1; 1)
Yatırımlar	(0,342; 0,574; 1,017)
Böcek Zehri	(0,821; 0,963; 1,142)
Ekilebilir Alandaki Artış	(0; 0; 0)
Yenilenebilir Enerji.	(0; 0; 0)

Bu değerlere göre CFClar (çevresel tehditler faktörü), korunmuş alanlar, ekilebilir alanlardaki artış ve yenilenebilir enerji faktörleri bakımından Türkiye'nin sürdürülebilirlik eşik değerlerinden daha alt seviyede olduğu görülebilir. Bunlar genel olarak çevreyle ilgili konulardır. Buradan Türkiye'nin SK bakımından daha çok çevresel boyutta kötü durumda olduğu sonucuna varılabilir.

Türkiye'nin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaştığı iki belirteç vardır: ormansızlaşma (türlerin çeşitliliğini de temsil eder) ve ağaç kesimi. Diğer çevresel faktörlere göre kötü durumda olmasına rağmen ormanlarla ilgili bileşenlerinin iyi durumda olması dikkat çekici bir noktadır. Buradan Türkiye'de orman çevrelerine diğer çevresel konulara göre daha çok önem verildiği sonucuna varılabilir.



Şekil 6.5 Türkiye'nin belirteçle göre performans puanları (a)



Şekil 6.5 Türkiye'nin belirteçlere göre performans puanları (b)

Diğer belirteçler incelenirse Türkiye'nin ekonomik refah bakımından idare eder, sosyal refah, gelir dağılımı ve yatırımlar konularında orta ve yaşam kalitesi, doğal afet ve böcek zehri boyutlarında iyi durumda olduğu görülmüştür. Buradan sosyal ve ekonomik olarak Türkiye'nin orta seviyede olduğu çıkarılabilir.

SK'nın boyutları açısından Türkiye, sosyal ve ekonomik olarak orta sürdürülebilirlik seviyesindedir. Ancak çevresel bakımdan sürdürülebilirliği sağlamak mevcut durum ve eğilimlere göre mümkün görülmemektedir.

Sonuç olarak Türkiye'nin SK bakımından tüm dünya ülkelerine göre orta seviyede olduğu söylenebilir. Fakat Türkiye'nin hedefi gelişmiş ülkeler seviyesine çıkmak olmalıdır. Bu hedefi somutlaştırmak gerekirse; çalışmada incelenen devletlerden SK'yı en iyi sağlayanlar olarak nitelendirilen ilk 9 arasına girmek hedef olarak görülebilir.

Sonraki bölümde Türkiye'nin belirtilen hedefe ulaşması için öncelik vermesi gereken konular belirlenmeye çalışılacaktır.

6.4 Çeşitli Belirteç Değerlerindeki Değişimlerin Türkiye'nin Sürdürülebilirliğine Etkilerinin İncelenmesi

Önceki bölümde tespit edildiği gibi Türkiye SK bakımından hedeflenen düzeyde değildir. Bu bölümde çeşitli belirteç değerlerindeki artışın Türkiye'nin sürdürülebilirliğine etkileri incelenerek hedeflenen düzeye bu belirteçlerle çıkılıp çıkılamayacağı araştırılacaktır. Türkiye'nin SK'da ilerlemesi için iki yol öngörülmüştür: (1) Türkiye'nin zayıf yanlarının iyileştirilmesi ve (2) SK bakımından yüksek önemli boyutların daha iyi duruma getirilmesi.

Türkiye'nin SK bakımından zayıf yanları önceki bölümde saptandığı gibi çevresel konulardır. Belirteç değerleri, çevresel tehditler, korunmuş alanlar, ekilebilir alanlardaki artış ve yenilenebilir enerji faktörlerinde sürdürülebilirlik eşiğinin altındadır. Bu faktörlerden en yüksek ağırlığa sahip olan yenilenebilir enerji faktöründeki ilerlemenin SK'ya etkisi incelenecektir.

Türkiye'nin yenilenebilir enerji belirteç değeri % 0,126'dır. Bu değer in sürdürülebilirlik alt sınır değerinden daha yüksek olan %3, %5 ve %7 seviyelerine çıkarılmasının Türkiye'nin SK düzeyini nasıl etkileyeceği belirlenmek istenmiştir. Bu durumlarda belirtec in normalize değeri aşağıdaki gibi olur.

Belirteç Olası Değeri	Normalize Değer
%3	(0,129; 0,174; 0,241)
%5	(0,282; 0,357; 0,471)
%7	(0,435; 0,541; 0,701)

Bu normalize değerlerle karşılaştırma yapıldığında toplam üstünlük yoğunluğu değerleri $I(A_{33})$ Tablo 6.11'deki gibi elde edilmiştir.

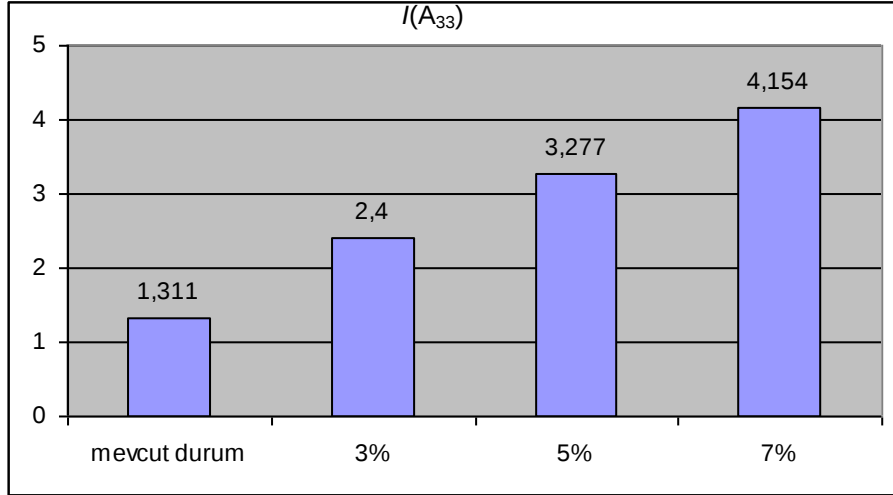
Tablo 6.11 Yenilenebilir enerjideki değişimin Türkiye'nin sürdürülebilirliğine etkisi

Yenilenebilir Enerji Belirteç Değeri	$I(A_{33})$	Diğer Ülkelere Göre Sıralama
%0,126 (mevcut durum)	1,311	14
%3	2,400	12
%5	3,277	12
%7	4,154	11

Tablo 6.11'deki değerler ve Şekil 6.6 incelendiğinde yenilenebilir enerji kullanımındaki değişimin Türkiye'nin sürdürülebilirliğine doğrudan etkisi olduğu

görülebilir. Bu etki (atış) sürdürülebilirlik alt sınırının üzerine çıkılan ilk seviyede (%3 seviyesinde) en yüksek düzeydedir.

Bahsedilen nedenlerle yenilenebilir enerji Türkiye'deki SK için öncelikli konulardan biri olarak görülebilir.



Şekil 6.6 Yenilenebilir enerjideki değişimin Türkiye'nin sürdürülebilirliğine etkisi

SK bakımından yüksek önemli boyutların etkisini inceleyebilmek için ağırlıkları en yüksek olan Yatırımlar ve GSYH belirteçleri kullanılacaktır.

Türkiye'nin yatırımlar GSYH'a oranı belirteci mevcut değeri % 23,19'dur. Bu belirtecin hedef değeri ise $H_{11}(27,30,33)$ 'tür. Türkiye için bu değer %25, %27 ve %30 olması durumunda sürdürülebilirlik düzeyi belirlenecektir. Bu durumlarda belirtecin normalize değeri aşağıdaki gibi olur.

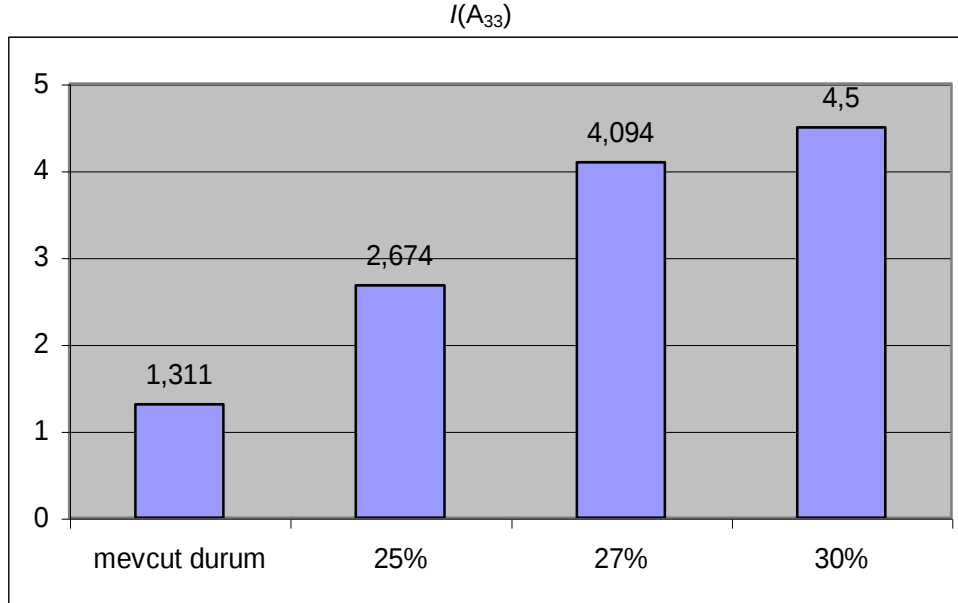
Belirteç Olası Değeri	Normalize Değer
%25	(0,428; 0,687; 1,181)
%27	(0,523; 0,812; 1,363)
%30	1

Bu normalize değerlerle bulanık üstünlük yöntemi uygulanmış ve Tablo 6.12'deki sonuçlar elde edilmiştir. Toplam üstünlük yoğunluğundaki değişim Şekil 6.7'da görülebilir.

Tablo 6.12 Yatırımlar'daki Değişimin Türkiye'nin Sürdürülebilirliğine etkisi

Yatırım oranı	$I(A_{33})$	Diğer Ülkelere Göre Sıralama
%23,19 (mevcut durum)	1,311	14
%25	2,674	12
%27	4,094	11
%30	4,5	10

Türkiye'nin mevcut durumunda belirteç değeri hedefe yakın bir değerdir. Buna rağmen belirteç değerinin artırılması hem sıralamadaki yerini iyileştirmiş hem de üstünlük yoğunlu değeri anlamlı düzeyde artmasını sağlamıştır.



Şekil 6.7 Yatırımlar'daki Değişimin Türkiye'nin sürdürülebilirliğine etkisi

Belirteç değeri %25, %27 ve %30 olduğunda üstünlük yoğunluk değerindeki artış düşmektedir. Yatırım oranı %30'dan fazla olması durumunda ise normalize değeri değişmeyip 1 olacağından sürdürülebilirliği etkilemeyecektir.

GSYH belirteci için de benzer bir yaklaşım uygulanmıştır. Türkiye'nin mevcut GSYH değeri 3022,4 \$'dır. Bu değer 4000\$, 5000\$, 6000\$ ve 7000\$ seviyelerine çıkarılması durumunda sürdürülebilmenin ne olacağı araştırılacaktır. Bu seviyeler için belirteç normalize değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Belirteç Olası Değeri	Normalize Değer
4000\$	(0,346; 0,382; 0,424)
5000\$	(0,456; 0,5; 0,55)
6000\$	(0,565; 0,617; 0,677)
7000\$	(0,675; 0,735; 0,803)

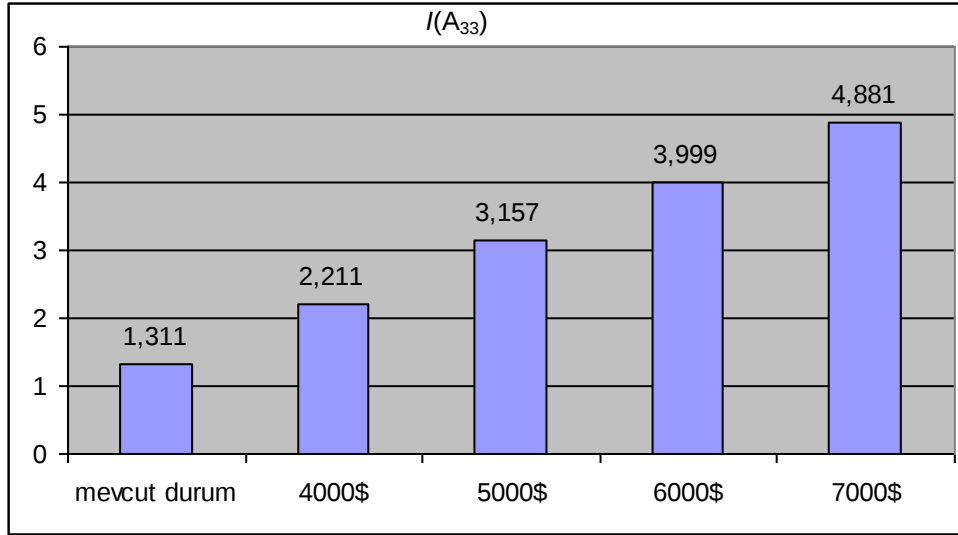
GSYH için yukarıdaki normalize değerler kullanılarak bulanık üstünlük yöntemi uygulanarak Tablo 6.13'de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Görüldüğü gibi Türkiye'nin GSYH'sındaki artışların sürdürülebilmeye oldukça yüksek seviyede katkısı olacaktır. Her 1000\$'lık artışın üstünlük yoğunluğu değerini yaklaşık 0,9 puan arttırdığı saptanmıştır.

Tablo 6.13 GSYH'daki değişimin Türkiye'nin sürdürülebilirliğine etkisi

Yatırım Oranı	$I(A_{33})$	Diğer Ülkelere Göre Sıralama
3022,4\$ (mevcut durum)	1,311	14
4000\$	2,211	13
5000\$	3,157	12
6000\$	3,999	11
7000\$	4,881	10

Şekil 6.8'de denenen GSYH düzeyleri için toplam üstünlük yoğunlukları verilmiştir.



Şekil 6.8 GSYH'daki değişimin Türkiye'nin sürdürülebilirliğine etkisi

Bu değerlendirmelerde bahsedilen belirteç değerlerindeki artış ile sadece bu belirteçlerin yükseltilmesi gerektiği düşünülmemelidir. Bu belirteçlerin SK içerisinde çeşitli belirteçlerden oluşan faktörleri temsil ettikleri unutulmamalıdır. Örneğin GSYH belirteci ekonomik refah faktörünü temsil etmektedir. Sadece GSYH değerini arttırmakla belirlenen SK düzeylerindeki artış elde edilemeyebilir. GSYH arttırılırken, bu belirtecin temsil ettiği İnternet, Enerji Tüketimi, Telefon, SK Üyeliği, Atık Yeniden Kullanma, Katı atık, Gübre, Orta öğretim ve Gecekondu belirteçlerinin de paralel olarak yüksek sürdürülebilirlik düzeylerine çıkarılması gerekir. Yapılan hesaplamalar belirteç değerinin faktördeki artışa paralel olarak yükseldiği varsayımına dayanmaktadır.

Çalışmada yenilenebilir enerji, yatırımlar ve GSYH belirteçlerinin Türkiye'nin sürdürülebilirliğine etkileri incelenmiştir. Yenilenebilir enerjinin %3, yatırımların %25 ve GSYH'nın 4000\$ seviyelerine çıkarılması SK bakımından yaklaşık olarak aynı iyileştirmeyi sağlamaktadırlar. Burada önemli olan konu bu değerlere ulaşabilmenin maliyetidir. Örneğin yatırım oranını %25'e çekmek GSYH'yı 4000\$'a

yükseltmekten daha zor veya daha kolay olabilir. Bu yüzden politika yapıcıların bahsedilen maliyet gelir analizini iyi yapmaları gerekir.

Bu bölümde Türkiye'nin SK'daki yerini belirlemek için bir model yaklaşımı önerilerek Türkiye'nin diğer ülkelere göre SK düzeyi belirlenmiş ve çeşitli belirteçlerin bu düzeye etkileri incelenmiştir. Çalışma içerisindeki son bölüm olan sonraki bölümde çalışma genel olarak değerlendirilecek ve konuyla ilgili gelecek çalışma olanakları tartışılacaktır.

7 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmada karmaşık ve kesin olmayan yapısından dolayı değerlendirilmesi oldukça zor olan SK'yı ölçmek için bir model yaklaşımı önerilmiş ve bu model yaklaşımı ile Türkiye'nin diğer ülkelere göre sürdürülebilirlik düzeyi belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmada önerilen modelin alt yapısını oluşturması için BÇÖKV ve bulanık sıralama yöntemleri örnek problemlerle ayrıntılı olarak incelenmiştir. Böylece önerilen model yaklaşımda kullanılacak tekniklerin seçimi incelenen yöntemlerin değerlendirmelerine göre en iyi şekilde yapılabilmektedir. Ayrıca modelde gerek görüldüğü için bir bulanık normalizasyon yaklaşımı önerilmiş ve bir BÇÖKV yaklaşımı yeniden düzenlenmiştir.

Çalışmada ilk önce SK ile ilgili bilgi edinilerek ülkeler seviyesinde SK'yı ölçmek için önerilmiş yaklaşımlar incelenmiştir. İncelemede mevcut yaklaşımlarda çeşitli eksiklikler olduğu saptanmıştır. Bu eksiklikler, mevcut yöntemlerin

- ✓ SK'yı onu oluşturan parçalara bölerek değerlendirmeleri ve parçaların kendi aralarındaki ilişkileri göz ardı etmeleri,
- ✓ Kesin değerlendirme ve yargılara gereksinim duymaları,
- ✓ En küçük sürdürülebilirlik düzeyini hesaba katmayarak SK'yı oluşturan parçaların birbirini ikame etmesini engelleyememeleri,
- ✓ Belirteç ve bileşenlerin ağırlıklarını göz ardı etmeleri

şeklinde özetlenebilir. Çalışmada, daha sonra, bu eksiklikleri gidermek için bir model yaklaşımı önerilmiştir.

Önerilen model, mevcut yöntemlerin aksine SK'yı hiyerarşik parçalara bölmeden doğrudan belirteçler düzeyinde ölçmeyi amaçlamaktadır. Modelde belirteçler arasındaki verisel ilişkiler belirlenerek birbirinden bağımsız faktörler (belirteç grupları) oluşturulmakta ve sonraki değerlendirmeler bu faktörleri temsil etmek üzere belirlenen belirteçlere göre yapılmaktadır.

Önerilen modelde belirteçlerin SK'ya katkılarını ölçebilmek için belirteçlerin hedef ve en düşük sürdürülebilirlik düzeylerinden yararlanılmıştır. Fakat bu düzeylerin

sayısal olarak belirlenmesi teşhislerin öznellik taşımasından ve belirteçlerin sürdürülelebilmeye katkılarının karmaşık ve bulanık olmasından dolayı oldukça güçtür. Modelde bu güçlüğün üstesinden gelebilmek ve belirteç değerlerinin ölçülmesinden kaynaklanabilecek hataların modeli en düşük seviyede etkilemesini sağlamak için bulanık normalizasyon önerilmiştir. Belirteç değerlerinden elde edilen normalleşmiş değerler performans ölçütü olarak kullanılmıştır.

Daha sonra elde edilen performans değerlerinin birleştirilebilmesi için ağırlık belirleme gereği ortaya çıkmıştır. Performans ölçütleri için ağırlıklar uzmanların görüşleri doğrultusunda bulanık AHS yöntemi ile belirlenmiştir.

Son olarak da performans ölçütleri ve ağırlıklar kullanılarak bulanık üstünlük yöntemiyle ülkelerin SK'ya göre karşılaştırılmaları gerçekleştirilmiştir.

Ortaya konulan yapısıyla model, mevcut yaklaşımların sorunlarını gidermektedir. Modelin, özellikle, sürdürülelebilmeyi yukarıdan aşağıya hiyerarşik bir yapı yerine doğrudan belirteçler ile ölçmesi SK değerlendirmelerine değişik bir bakış açısı sunmaktadır. Ayrıca belirteçlerden performans puanı hesaplamada hedef ve sürdürülebilme eşiklerinin kullanılması belli düzeye kadar SK boyutlarının birbirlerini ikame etmelerini engellemektedir.

Modelin önemli yönlerinden birisi de sürdürülebilirliğin karmaşık ve kesin olmayan yapısını bulanık mantık yaklaşımları ile en iyi şekilde modelleyebilmesidir. Böylece kesin değerlendirme ve yargılara gerek kalmamıştır. Verilerin ölçülmesindeki ve yorumlanmasındaki hatalar değerlendirmeyi daha az seviyede etkilemiştir.

Modelin bahsedilen iyi yanları olduğu gibi uygulanmasında karşılaşılan çeşitli sorunlar da mevcuttur. Model uygulanırken veriler setinin oluşturulmasında, faktörlerin belirteçlerle temsil edilmesinde ve ağırlıkların belirlenmesinde sorunlar yaşanmıştır.

Uygulamada karşılaşılan önemli sorunlardan birisi tüm ülkeler için belirteç veri setinin oluşturulamamasıdır (özellikle düşük gelir düzeyli ülkelerin verileri bulunamamaktadır). Önerilen yöntemde bu sorun için ülkelerin seçilmesinde homojenliğin bozulmaması gerektiği belirtilse de bazı durumlarda istenmeden homojenliğin bozulabilme ihtimali vardır. Fakat bu, SK'yı ölçmek için belirteçler kullanıldıkça tüm yöntemlerde karşılaşılabilecek bir problemdir.

Önerilen yöntemde belirteçler verisel ilişkilerine göre gruplanmaktadır. Fakat bazen verilerine göre gruplanan belirteçlerin gerçek hayatta birbirleriyle hiçbir ilişkisi olmadığı görülmüştür. Böyle durumlarda faktörlerin birden çok belirteç ile temsil edilmesi çözüm olabilir. Ancak bu, değerlendirmede birbirinden bağımsız belirteçlerin kullanılması öngörüsüne ters düşmektedir.

Modelin sorun oluşturabilecek yanlarından birisi de faktörleri bir belirteçle temsil etmesi ve sonraki adımlarda hedef ve sürdürülebilirlik düzeylerinin bu belirtece göre belirlenmesidir. Burada aynı faktör içerisinde yer alan belirteçlerin genel olarak benzer hedef ve sürdürülebilirlik düzeyleri olduğu varsayılmıştır. Fakat bu, her zaman gerçeği yansıtmayabilir. Birbirinden eşik değerleri bakımından çok farklı belirteçler aynı faktör içerisinde yer alarak değerlendirmeyi olumsuz etkileyebilir.

Uygulamada bir başka sorun faktörlerin ağırlıklarının belirlenmesi safhasında uzman görüşleri alınırken tecrübe edilmiştir. Uzmanların oluşturulan 14 faktörü değerlendirmeleri 105 ikili karşılaştırma gerektirmektedir. Bu, AHS için belirlenen en fazla değerlendirme seviyesinin üstündedir. Bu yüzden uzmanlar faktörleri ikişerli karşılaştırırken bir süre sonra tutarsız değerlendirmelerde bulunabilmektedir. Üç uzmandan ikisinin ilk değerlendirmelerinin %10'dan fazla tutarsız olması bunun göstergesidir.

Konuyla ilgili gelecekte yapılacak çalışmalarda modelin iyi işleyen uygulamaları korunarak sorunlu yanlarına çözüm üretilebilir. Bunun için sürdürülebilirliğe belirteç düzeyinden bakış açısı ve bulanık mantık yaklaşımlarının korunarak belirteçlerin gruplanmasından sonra temsil edilmesi ve ağırlıkların belirlenmesi için yeni yaklaşımlar geliştirilebilir.

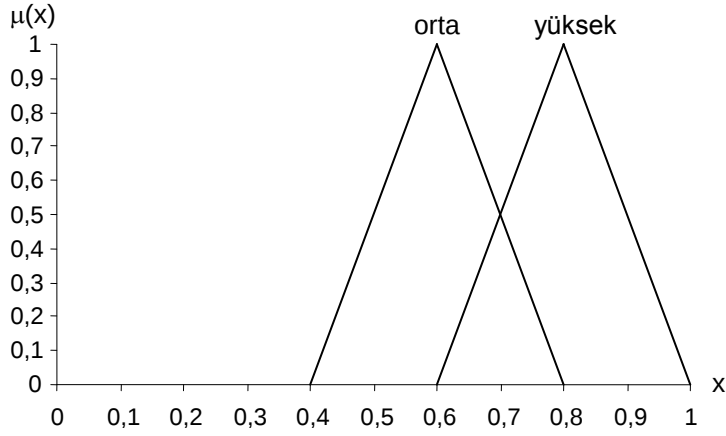
KAYNAKLAR

- [1] **Ross, T.J.**, 1995. Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill Inc., USA.
- [2] **Carlsson, C. and Fullér, R.**, 2002. Fuzzy Reasoning In Decision Making and Optimization, Physica-Verlag, Germany.
- [3] **Chen, S. and Hwang, C.**, 1992. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, Germany.
- [4] **Altan, M.E.**, 1985. Lineer Cebir, Mimar Sinan Üniv. Yayın no: 13, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- [5] **Zimmerman, H.J.**, 1994. Fuzzy Set Theory and It's Applications, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- [6] **Ribeiro, R.A.**, 1996. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: A Review and New Preference Elicitation Techniques, *Fuzzy Sets and Systems*, **78**, 155-181.
- [7] **Evren, R., ve Ülengin, F.**, 1992, Yönetimde Karar Verme, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu.
- [8] **Carson, W.H.**, 1996. Measuring Sustainability: Indicators Trends and Performance”, in *Building Sustainable societies: A Blue Print for a Post-Industrial World*, pp. 325-352, Eds. Pirages, D., M.E. Sharpe Inc., Newyork
- [9] **Phillis, Y.A. and Andriantiantaholainaina, L.A.** 2001. Sustainability: An Ill-Defined Concept and Its Assesment Using Fuzzy Logic, in *Ecological Economies*, **37**, 435-456
- [10] **Dellink, R., Bennis M., and Verbruggen H.**, 1999. Sustainable Economic Structures, in *Ecological Economies*, **29**, 141-154
- [11] **Quaddus, M.A. and Siddique M.A.B.**, 2001. Modelling Sustainable Development Planning: A Multicriteria Decision Conferencing Approach, in *Environment International*, **27**, 89-95.
- [12] **Kelly, K.L.**, 1998. A System Approach to Identifying Decisive Information for Sustainable Development, in *European Journal of Operational Research*, **109**, 452-464.
- [13] **Cornelissen, A.M.G., Berg, J., Koops W.J., Grossman M., and Udo H.M.J.**, 2001. Assessment of The Contribution of Sustainability Indicators Tosustainable Development: A Novel Approach Using Fuzzy Set Theory, *Agriculture Ecosystems and Environment*, **86**, 173-185.
- [14] **Organisation for Economic Co-operation and Development**, 2001. OECD Environmental Indicators Towards Sustainable Development.

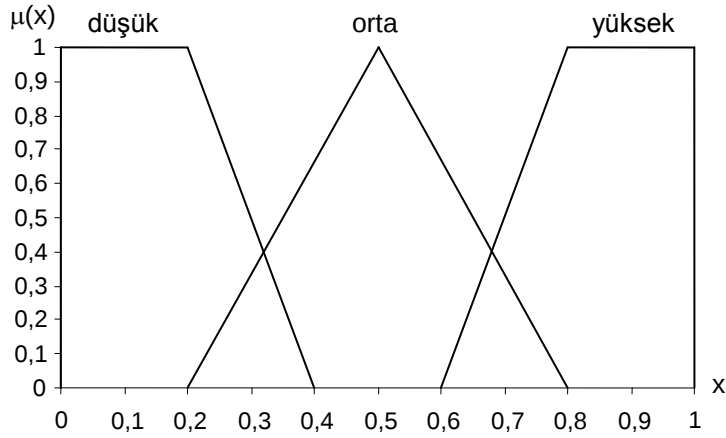
- [15] **United Nations**, 2001. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies, New York.
- [16] **Barrera-Roldan, A. and Saldivar-Valdes A.**, 2002 Proposal and Application of a Sustainable Development Index, in *Ecological Indicators*, **2**, 251-256
- [17] **T.C. Çevre Bakanlığı**, 2003. Çevre Terimler Sözlüğü
<http://www.cevre.gov.tr/genelbilgiler/cevresozlugu.htm>
- [18] **Prescott-Allen, R.**, 2002. Assessing the Wellbeing of the Central and North Coast of British Columbia, Government of British Columbia,
<http://srnwww.gov.bc.ca>
- [19] **Aouam, T., Chang S.I. and Lee E.S.**, 2003. Fuzzy MADM: An outranking method, in *European Journal of Operational Research*, **145**, 317-328.
- [20] **Pearce, D.**, 2004. Environment and Economic Development, Basımevi h  n  z belli değil
- [21] **Wefering, F.M., Danielson, L.E. and White N.M.** 2000. Using The AMOEBA Approach to Measure Progress Toward Ecosystem Sustainability Within A Shellfish Restoration Project In North Carolina, in *Ecological Modelling*, **130**, 157-166.
- [22] **Harrison, N.E.**, 2000. Constructing Sustainable Development, State University of New York Press, ABD
- [23] **The World Bank**, 2001. 2001 World Development Indicators, USA.
- [24] **Birleşmiş Milletler Besin ve Tarım   rg  t   (FAO)**, 2003. AQUASTAT Online Database,
<http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/dbase/index2.jsp>.
- [25] **The World Bank**, 2003, World development Indicators, www.worldbank.org
- [26] **O'Connor, J.**, 2003. Dashboard of Sustainability,
<http://esl.jrc.it/envind/dashbrds.htm>.
- [27] **Prescott-Allen, R.**, 2002. Wellbeing of Nations Index,
http://www.iucn.org/info_and_news/press/wbon.html
- [28] **Hair, J.F., Anderson R.E., Tatham R.L., and Black W.C.**, 1995. Multivariate Data Analysis with Readings, Prentice-Hall International Inc., New Jersey
- [29] **Heildheus, F.**, 2003. Poverty and Development Strategies, http://www.uni-hohenheim.de/~i490a/lectures/M5101/m5101_1.pdf
- [30] **Selim R.**, 2003. Kişisel g  r  şme
- [31] **10 Downing Street**, 2003. Renewable Energy, <http://www.number-10.gov.uk/output/Page1452.asp>

EKLER

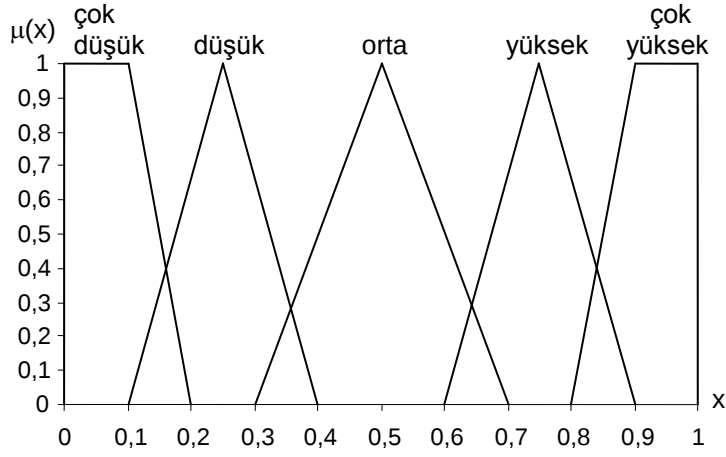
EK-A Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçekleri



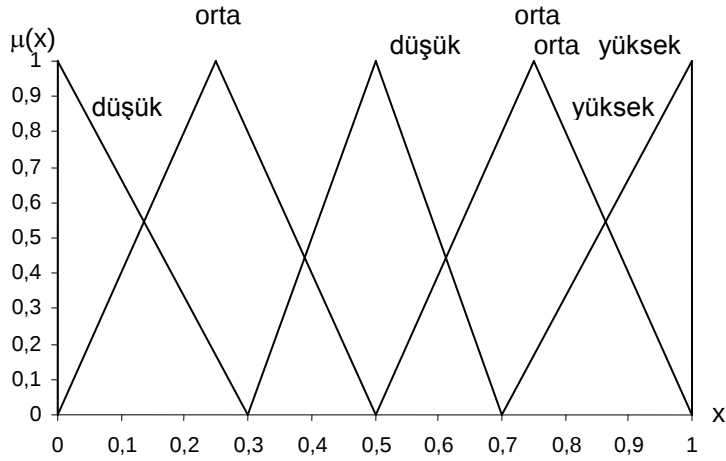
Şekil A.1 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği - 1



Şekil A.2 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği - 2

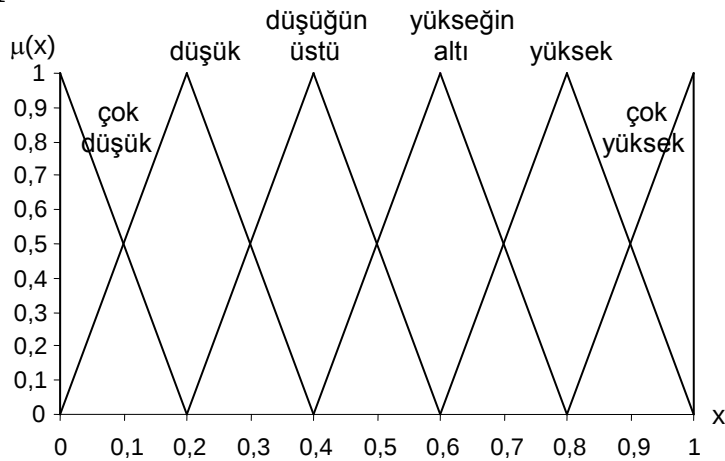


Şekil A.3 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği - 3

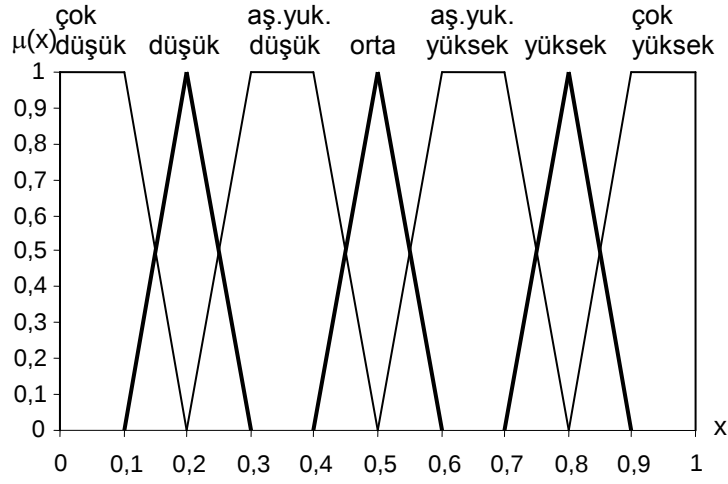


Şekil A.4 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği - 4

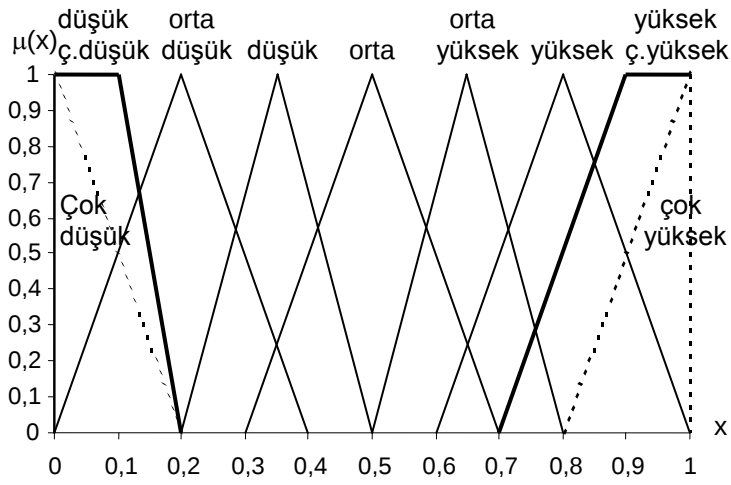
7.1



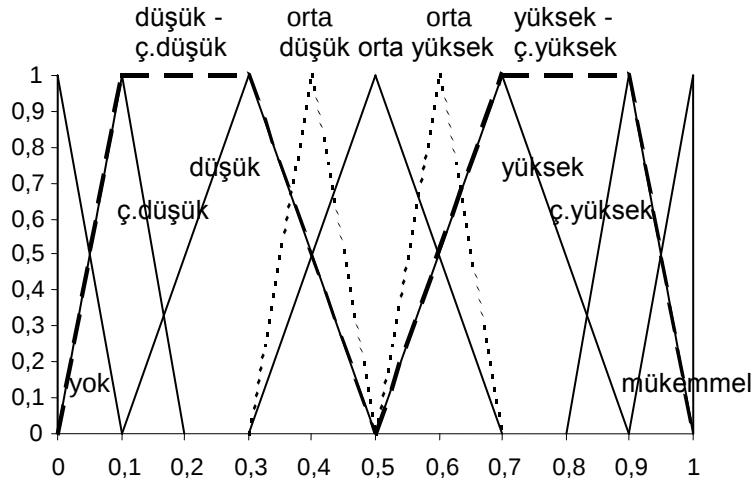
Şekil A.5 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği - 5



Şekil A.6 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği - 6



Şekil A.7 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği - 7



Şekil A.8 Chen ve Hwang Sözel Terimleri Bulanık Sayıya Çevirme Ölçeği - 8

EK-B Faktör Analizi Sonuçları

Total Variance Explained									
Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	15,444	32,859	32,859	15,444	32,859	32,859	7,715	16,414	16,414
2	4,056	8,629	41,488	4,056	8,629	41,488	7,004	14,903	31,317
3	3,834	8,158	49,646	3,834	8,158	49,646	5,322	11,324	42,642
4	2,759	5,870	55,515	2,759	5,870	55,515	2,892	6,154	48,796
5	2,624	5,584	61,099	2,624	5,584	61,099	2,442	5,195	53,991
6	2,156	4,588	65,687	2,156	4,588	65,687	2,209	4,699	58,690
7	1,782	3,791	69,478	1,782	3,791	69,478	2,152	4,578	63,268
8	1,604	3,412	72,890	1,604	3,412	72,890	2,128	4,527	67,795
9	1,438	3,060	75,950	1,438	3,060	75,950	2,045	4,351	72,146
10	1,369	2,913	78,863	1,369	2,913	78,863	1,991	4,237	76,383
11	1,250	2,660	81,522	1,250	2,660	81,522	1,827	3,886	80,269
12	1,082	2,301	83,824	1,082	2,301	83,824	1,670	3,554	83,824
13	,951	2,023	85,846						
14	,839	1,785	87,631						
15	,708	1,507	89,138						
16	,685	1,457	90,595						
17	,664	1,414	92,009						
18	,579	1,232	93,241						
19	,502	1,068	94,309						
20	,443	,943	95,252						
21	,340	,723	95,975						
22	,320	,682	96,657						
23	,298	,634	97,291						
24	,273	,581	97,871						
25	,214	,455	98,326						
26	,176	,375	98,701						
27	,142	,302	99,003						
28	,127	,270	99,273						
29	9,3E-02	,197	99,471						
30	8,3E-02	,177	99,648						
31	6,0E-02	,128	99,776						
32	3,6E-02	7,694E-02	99,853						
33	3,4E-02	7,216E-02	99,925						
34	2,1E-02	4,534E-02	99,970						
35	1,4E-02	2,966E-02	100,000						
36	7,9E-16	1,674E-15	100,000						
37	5,6E-16	1,192E-15	100,000						
38	4,1E-16	8,729E-16	100,000						
39	3,3E-16	7,022E-16	100,000						
40	2,2E-16	4,661E-16	100,000						
41	7,8E-17	1,660E-16	100,000						
42	-1,E-17	-2,783E-17	100,000						
43	-1,E-16	-3,148E-16	100,000						
44	-4,E-16	-8,824E-16	100,000						
45	-5,E-16	-1,019E-15	100,000						
46	-7,E-16	-1,430E-15	100,000						
47	-1,E-15	-3,168E-15	100,000						

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Şekil B.1 Faktör Analizi Sonuçları – Toplam açıklanan varyans

Rotated Component Matrix

	Component											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GNP	,908											
INTERNET	,871											
energy use	,796	,408										
Telephones	,790	,489										
SD membership	,710											
energy efficiency	,685											
Recycling	,662											
Secondary schools	,612	,527										
Fertilizer	,610									,610		
Municipal waste	,494											
Urbanization	,471	,460										
Illiteracy		,835										
POVERTY		-,827										
primary schools		,740										
health care		,718										
Population growth		-,708										
SD strategy		-,662						,457				
Child Immunization		,580	,432									
Sanitation		,544			,474							
Urban air	-,403	-,530										
ODA		-,418	-,799									
Unemployment			-,765						-,400			
decrease in child mortality			,734									
Life expectancy		,573	,664									
Safe water	,448		,637									
contraception		,543	,634									
external debt			-,615									
decrease in CO2(%)			-,514		-,402							
water usage				,870								
Phosphorus				,711								
CFCS				,610								
Materials				,586								
Key ecosystems	-,422			-,436								-,430
Disaster human cost					-,832							
Aquaculture					-,782							
Wood harvesting						-,745						
EQUITY						,561						
BOD							,795					
Protected area							,576	,461				
CAB							-,537					
deforestation								,837				
Mammals & birds						,406	,435	,440				
GDFI									,868			
Coastal Population									,615			
Pesticides										,820		
increase in crop land(%)											-,752	
Renewable energy												,916

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

a. Rotation converged in 25 iterations.

Şekil B.2 Faktör Analizi Sonuçları – Döndürülmüş parça matrisi

EK-C Uzmanların Faktörleri Değerlendirmeleri

		BELİRTEÇ GRUPLARI													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		Ekonomik Refah	Sosyal Refah	Yaşam Kalitesi	Çevresel Tehditler	Faktör 5	Gelir Dağılımı	Ağaç Kesimi	Korunmuş Alanlar	Cari İşlemler Dengesi	Faktör 8	Faktör 9	Zirai Böcek Zehri	Ekilebilir Alandaki Artış	Yinelenabilir Enerji
1	Ekonomik Refah	1	2	4	5	1	2	3	2	3	4	1/5	6	2	2
2	Sosyal Refah	x	1	2	2	3	1	3	4	2	2	1/4	7	3	4
3	Yaşam Kalitesi	x	x	1	4	6	1	4	5	6	4	1/2	4	5	3
4	Çevresel Tehditler	x	x	x	1	1	1/4	1	1	1/2	1	1/7	2	2	2
5	Faktör 5	x	x	x	x	1	1/5	1/2	3	1/4	2	1/4	2	1	1
6	Gelir Dağılımı	x	x	x	x	x	1	4	5	2	6	1/2	4	3	4
7	Ağaç Kesimi	x	x	x	x	x	x	1	1	1/2	1	1/6	3	2	1
8	Korunmuş Alanlar	x	x	x	x	x	x	x	1	1/4	1	1/5	6	1	1/2
9	Cari İşlemler Dengesi	x	x	x	x	x	x	x	x	1	3	1/5	6	4	1
10	Faktör 8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1/7	3	1	1/3
11	Faktör 9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	5	4	3
12	Zirai Böcek Zehri	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1/3	1/4
13	Ekilebilir Alandaki Artış	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1/3
14	Yinelenabilir Enerji	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1

Şekil C.1 Prof. Dr. Burç Ülengin'in faktörleri değerlendirmesi

BELİRTEÇ GRUPLARI

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		Ekonomik Refah	Sosyal Refah	Yaşam Kalitesi	Çevresel Tehditler	Faktör 5	Gelir Dağılımı	Ağaç Kesimi	Korunmuş Alanlar	Cari İşlemler Dengesi	Faktör 8	Faktör 9	Zirai Böcek Zehri	Ekilebilir Alandaki Artış	Yinelenabilir Enerji
1	Ekonomik Refah	1	1	3	5	5	1	4	5	1	5	1	7	7	3
2	Sosyal Refah	x	1	1	3	6	2	5	4	1	5	1/3	4	4	1
3	Yaşam Kalitesi	x	x	1	3	5	1	6	6	1	6	1	7	5	3
4	Çevresel Tehditler	x	x	x	1	1	1/5	1	5	1/5	1	1/6	3	3	1/5
5	Faktör 5	x	x	x	x	1	1/5	1/3	3	1/6	1	1/5	4	3	1/4
6	Gelir Dağılımı	x	x	x	x	x	1	3	5	1	7	1/2	6	6	1/4
7	Ağaç Kesimi	x	x	x	x	x	x	1	1	1/5	1	1/7	1	1	1/6
8	Korunmuş Alanlar	x	x	x	x	x	x	x	1	1/3	1	1/5	1	1	1/4
9	Cari İşlemler Dengesi	x	x	x	x	x	x	x	x	1	3	1	5	8	4
10	Faktör 8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1/3	3	4	1/3
11	Faktör 9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	3	5	4
12	Zirai Böcek Zehri	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1/7
13	Ekilebilir Alandaki Artış	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1/5
14	Yinelenabilir Enerji	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1

Şekil C.2 Prof. Dr. Lerzan Özkale'nin faktörleri değerlendirmesi

		BELİRTEÇ GRUPLARI													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		Ekonomik Refah	Sosyal Refah	Yaşam Kalitesi	Çevresel Tehditler	Faktör 5	Gelir Dağılımı	Ağaç Kesimi	Korunmuş Alanlar	Cari İşlemler Dengesi	Faktör 8	Faktör 9	Zirai Böcek Zehri	Ekilebilir Alandaki Artış	Yinelenabilir Enerji
1	Ekonomik Refah	1	1	1	4	6	2	5	4	2	4	3	5	4	1
2	Sosyal Refah	x	1	3	5	4	1	4	3	3	5	2	6	1	2
3	Yaşam Kalitesi	x	x	1	2	4	1	4	3	1	4	1/2	3	4	1
4	Çevresel Tehditler	x	x	x	1	2	1	4	3	1/3	2	1/4	2	3	1/2
5	Faktör 5	x	x	x	x	1	1/5	3	1/3	1/6	1	1/3	1/2	3	1/4
6	Gelir Dağılımı	x	x	x	x	x	1	2	1	1/2	2	1/3	4	5	1
7	Ağaç Kesimi	x	x	x	x	x	x	1	1	1/5	1/2	1/5	1/2	1	1/3
8	Korunmuş Alanlar	x	x	x	x	x	x	x	1	1/4	1	1/3	1	3	1/3
9	Cari İşlemler Dengesi	x	x	x	x	x	x	x	x	1	3	1	5	7	1
10	Faktör 8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	2	2	1/4
11	Faktör 9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	3	1/2
12	Zirai Böcek Zehri	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	4	1/4
13	Ekilebilir Alandaki Artış	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1/7
14	Yinelenabilir Enerji	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1

Şekil C.3 Prof.Dr. Seval Sözen'in faktörleri değerlendirmesi

EK-D Değerlendirilen Ülkelerin Belirteç Değerleri

Tablo D.1 Değerlendirilen ülkelerin belirteç değerleri

	GSYH	Okuma- Yazma oranı	İşsizlik	CFClar	Doğal Afet- İnsan	Eşitlik	Ağaç Kesimi	Korunmuş Alanlar	Cari İşlemler Dengesi	Ormansızla şama	Yatırımlar	Böcek Zehri	Ekilebilir Alandaki Artış	Yenilenebili r Enerji
Arjantin	7918,2	96,73	14,08	28,87	0,116	33,05	0,278	4,58	-4,61	7,603	19,35	1266	0,00	0,093
Bangladeş	351,3	40,77	2,50	6,44	0,968	33,63	1,470	0,75	-0,72	-14,115	21,91	176	-9,77	0,000
Belçika	23675,7	99,60	8,75	11,49	0,001	25,16	0,790	2,63	4,78	1,754	20,93	6654	7,67	0,439
Brazilya	3726,9	84,87	8,05	56,80	0,445	58,33	0,093	6,20	-4,52	4,013	19,63	836	15,06	1,463
Bulgaristan	1549,3	98,30	17,70	0,00	0,004	31,86	0,453	4,52	-3,01	-5,852	13,76	966	9,12	0,042
Kolombiya	2297,4	91,50	17,55	30,84	0,452	57,27	0,052	9,02	-2,67	3,699	15,48	6134	-12,95	0,376
Hırvatistan	4773,2	98,17	19,13	20,08	0,025	28,45	0,487	7,53	-7,43	-1,134	23,28	3060	21,63	0,005
Danimarka	31880,8	99,60	5,45	11,49	0,005	36,95	2,998	32,52	0,27	-2,247	19,94	2200	-10,71	6,719
Ekvator	1225,1	90,97	12,25	21,05	0,090	45,14	0,196	17,71	-2,99	11,501	17,91	1696	2,60	0,000
Fransa	23500,5	99,60	11,17	11,49	0,395	29,00	0,553	13,48	2,58	-4,183	18,66	2926	1,72	0,375
Gana	338,6	70,30	20,00	2,56	0,229	33,26	1,608	5,58	-7,47	15,926	22,22	2333	31,75	0,000
Guatemala	1532,4	68,07	7,50	12,10	0,167	59,60	0,341	19,98	-5,51	15,855	17,28	574	6,65	2,070
Hindistan	457,3	56,47	4,52	6,61	1,561	34,57	2,690	4,81	-0,83	-0,598	21,73	436	0,15	0,082
Jamaika	2870,5	86,40	15,75	75,02	0,003	37,18	0,977	8,93	-4,16	14,248	28,36	4730	25,11	3,218
Jordan	1681,1	89,20	15,00	171,45	0,831	36,42	0,520	3,35	2,56	0,000	20,62	1495	2,27	0,000
Kenya	364,8	81,47	50,00	8,27	2,022	44,54	0,838	7,83	-1,54	5,164	13,13	3233	0,44	4,953
Malezya	3752,8	86,97	3,10	107,10	0,016	48,50	0,266	4,65	14,55	10,978	24,42	5982	10,22	0,000
Meksika	4969,5	91,07	2,15	34,71	0,123	53,09	0,366	9,59	-3,37	10,252	20,96	3474	5,45	2,008
Moldovya	311,3	98,73	11,10	9,03	7,347	35,31	0,104	1,44	-11,09	-2,201	20,43	1434	-0,63	0,000
Mozambik	210,6	43,17	21,00	1,15	0,859	39,61	0,536	8,40	-11,20	2,039	28,01	566	1,52	0,000
Hollanda	23561,9	99,60	3,53	11,49	0,004	31,90	0,508	14,23	3,91	-2,740	21,99	11842	5,33	1,246
Panama	3471,2	91,67	12,90	123,21	0,028	53,97	0,035	41,58	-13,49	15,287	28,86	3468	0,15	0,461
Peru	2042,9	89,57	7,85	12,11	0,412	47,72	0,046	5,28	-4,95	3,959	22,71	1534	8,29	0,270
Filipinler	911,3	95,07	9,67	33,85	0,966	44,53	1,043	4,79	6,34	13,286	19,98	4156	2,10	15,748
Polonya	4096,9	99,70	13,60	7,97	0,018	32,97	0,646	9,62	-6,21	-1,196	25,30	490	-2,54	0,138
Romanya	1720,5	98,00	7,35	25,97	0,039	30,97	0,383	4,73	-5,34	-2,333	18,92	1617	-2,10	0,000
İspanya	13749,2	97,57	16,27	11,49	0,001	29,35	0,487	10,17	-1,43	-6,366	23,33	4232	-8,41	1,183
Sri Lanka	843,3	91,40	9,70	12,99	0,988	34,36	1,520	12,98	-2,29	15,216	26,13	6271	0,19	0,000
İsveç	26414,5	99,60	6,53	11,49	0,000	26,76	0,743	8,85	2,23	-0,022	16,20	509	-3,62	1,821
İsviçre	35181,7	99,60	2,87	5,65	0,009	33,83	1,338	26,87	10,70	-3,720	20,07	4576	6,07	1,244
Tanzanya	255,8	74,70	34,12	5,32	0,847	38,10	0,317	29,72	-8,21	2,298	16,61	580	5,69	0,000
Tayland	1956,6	95,27	3,86	61,78	1,330	41,36	2,139	13,85	11,46	7,075	21,57	1116	-15,33	0,540
Türkiye	3022,4	84,57	6,37	58,93	0,514	41,53	0,513	1,55	0,13	-2,199	23,19	1145	-4,02	0,126
Uganda	289,0	66,07	42,27	0,47	0,307	39,16	1,533	24,94	-11,02	17,891	15,75	17	1,53	0,000
ABD	34237,8	99,60	4,23	9,15	0,022	37,20	0,649	21,27	-3,05	-1,747	20,26	1599	-4,67	1,034
Uruguay	6379,0	97,70	11,80	58,19	0,043	45,44	0,891	0,27	-2,53	-63,338	14,75	1316	0,19	0,248

EK-E Ülkelerin Normalleştirilmiş Belirteç Değerleri

Tablo E.1 Ülkelerin normalleştirilmiş belirteç değerleri

	GSYH	Okum-Yazma oranı	İşsizlik	CFClar	Doğal Afet-İnsan	Eşitlik	Ağaç Kesimi
Arjantin	0,777 0,843 0,920	0,705 0,918 1,192	0,206 0,370 0,609	0,223 0,358 0,528	1,000 1,000 1,000	0,599 0,887 1,418	1,000 1,000 1,000
Bangladeş	0,000 0,000 0,000	0,000 0,000 0,000	1,000 1,000 1,000	0,671 0,857 1,089	0,344 0,681 1,355	0,582 0,866 1,388	0,380 0,606 1,024
Belçika	1,000 1,000 1,000	0,769 0,990 1,274	0,487 0,703 1,019	0,570 0,745 0,963	1,000 1,000 1,000	1,000 1,000 1,000	1,000 1,000 1,000
Brazilya	0,316 0,350 0,389	0,441 0,622 0,853	0,524 0,747 1,073	0,000 0,000 0,000	0,518 0,913 1,703	0,000 0,000 0,000	1,000 1,000 1,000
Bulgaristan	0,077 0,094 0,114	0,740 0,958 1,237	0,016 0,144 0,331	1,000 1,000 1,000	1,000 1,000 1,000	0,633 0,931 1,481	1,000 1,000 1,000
Kolombiya	0,159 0,182 0,209	0,589 0,788 1,043	0,024 0,153 0,342	0,183 0,315 0,479	0,516 0,910 1,699	0,000 0,000 0,000	1,000 1,000 1,000
Hirvatistan	0,431 0,473 0,522	0,737 0,954 1,233	-0,060 0,054 0,221	0,398 0,554 0,748	1,000 1,000 1,000	1,000 1,000 1,000	1,000 1,000 1,000
Danimarka	1,000 1,000 1,000	0,769 0,990 1,274	0,661 0,909 1,273	0,570 0,745 0,963	1,000 1,000 1,000	0,487 0,742 1,213	0,000 0,000 0,000
Ekvator	0,041 0,056 0,073	0,577 0,774 1,028	0,303 0,484 0,750	0,379 0,532 0,724	1,000 1,000 1,000	0,253 0,439 0,782	1,000 1,000 1,000
Fransa	1,000 1,000 1,000	0,769 0,990 1,274	0,360 0,552 0,833	0,570 0,745 0,963	0,535 0,935 1,737	1,000 1,000 1,000	1,000 1,000 1,000
Gana	0,000 0,000 0,000	0,118 0,258 0,437	-0,105 0,000 0,154	0,749 0,943 1,186	1,000 1,000 1,000	0,593 0,879 1,408	0,313 0,525 0,914
Guatemala	0,075 0,092 0,112	0,068 0,202 0,373	0,553 0,781 1,115	0,558 0,731 0,947	1,000 1,000 1,000	0,000 0,000 0,000	1,000 1,000 1,000
Hindistan	0,000 0,000 0,000	0,000 0,000 0,000	0,710 0,968 1,345	0,668 0,853 1,085	0,146 0,417 0,960	0,555 0,831 1,339	0,000 0,000 0,000
Jamaika	0,222 0,249 0,281	0,476 0,660 0,897	0,118 0,266 0,481	0,000 0,000 0,000	1,000 1,000 1,000	0,481 0,734 1,201	0,621 0,896 1,418
Jordan	0,091 0,110 0,131	0,538 0,730 0,977	0,158 0,313 0,538	0,000 0,000 0,000	0,390 0,742 1,446	0,502 0,762 1,241	1,000 1,000 1,000
Kenya	0,000 0,000 0,000	0,366 0,537 0,756	0,000 0,000 0,000	0,635 0,816 1,043	-0,007 0,212 0,652	0,270 0,461 0,814	0,689 0,978 1,530
Malezya	0,319 0,353 0,393	0,488 0,674 0,913	1,000 1,000 1,000	0,000 0,000 0,000	1,000 1,000 1,000	0,157 0,315 0,605	1,000 1,000 1,000
Meksika	0,453 0,496 0,547	0,579 0,777 1,030	1,000 1,000 1,000	0,106 0,229 0,382	1,000 1,000 1,000	0,026 0,145 0,364	1,000 1,000 1,000
Moldovya	0,000 0,000 0,000	0,750 0,968 1,250	0,363 0,556 0,838	0,619 0,799 1,024	0,000 0,000 0,000	0,534 0,803 1,299	1,000 1,000 1,000
Mozambik	0,000 0,000 0,000	0,000 0,000 0,000	0,000 0,000 0,000	0,777 0,974 1,221	0,380 0,729 1,427	0,411 0,644 1,073	1,000 1,000 1,000
Hollanda	1,000 1,000 1,000	0,769 0,990 1,274	1,000 1,000 1,000	0,570 0,745 0,963	1,000 1,000 1,000	0,631 0,930 1,479	1,000 1,000 1,000
Panama	0,288 0,320 0,357	0,593 0,792 1,048	0,268 0,444 0,700	0,000 0,000 0,000	1,000 1,000 1,000	0,001 0,112 0,317	1,000 1,000 1,000
Peru	0,131 0,152 0,176	0,546 0,739 0,988	0,534 0,759 1,088	0,558 0,731 0,947	0,529 0,928 1,726	0,180 0,344 0,646	1,000 1,000 1,000
Filipinler	0,007 0,019 0,033	0,668 0,877 1,145	0,439 0,646 0,949	0,123 0,248 0,404	0,345 0,682 1,356	0,271 0,462 0,814	0,589 0,857 1,366
Polonya	0,357 0,394 0,436	0,771 0,993 1,277	0,232 0,400 0,646	0,641 0,823 1,051	1,000 1,000 1,000	0,601 0,890 1,423	1,000 1,000 1,000
Romanya	0,096 0,114 0,136	0,733 0,950 1,229	0,561 0,791 1,127	0,281 0,423 0,601	1,000 1,000 1,000	0,658 0,964 1,528	1,000 1,000 1,000
İspanya	1,000 1,000 1,000	0,724 0,939 1,216	0,091 0,233 0,441	0,570 0,745 0,963	1,000 1,000 1,000	1,000 1,000 1,000	1,000 1,000 1,000
Sri Lanka	-0,001 0,011 0,024	0,587 0,785 1,040	0,437 0,644 0,946	0,540 0,711 0,925	0,337 0,672 1,342	0,561 0,839 1,349	0,356 0,576 0,984
İsveç	1,000 1,000 1,000	0,769 0,990 1,274	0,604 0,842 1,190	0,570 0,745 0,963	1,000 1,000 1,000	1,000 1,000 1,000	1,000 1,000 1,000
İsviçre	1,000 1,000 1,000	0,769 0,990 1,274	1,000 1,000 1,000	0,687 0,875 1,109	1,000 1,000 1,000	0,576 0,858 1,377	0,445 0,683 1,129
Tanzanya	0,000 0,000 0,000	0,216 0,368 0,563	0,000 0,000 0,000	0,694 0,882 1,117	0,384 0,735 1,435	0,454 0,700 1,153	1,000 1,000 1,000
Tayland	0,122 0,142 0,165	0,673 0,882 1,150	1,000 1,000 1,000	0,000 0,000 0,000	0,223 0,520 1,113	0,361 0,579 0,981	0,054 0,212 0,489
Türkiye	0,239 0,267 0,300	0,435 0,614 0,845	0,612 0,852 1,203	0,000 0,000 0,000	0,495 0,883 1,657	0,356 0,573 0,972	1,000 1,000 1,000
Uganda	0,000 0,000 0,000	0,024 0,152 0,316	0,000 0,000 0,000	0,791 0,990 1,238	0,564 0,975 1,796	0,424 0,661 1,097	0,350 0,569 0,974
ABD	1,000 1,000 1,000	0,769 0,990 1,274	0,725 0,985 1,367	0,617 0,797 1,021	1,000 1,000 1,000	0,480 0,733 1,200	1,000 1,000 1,000
Uruguay	0,608 0,662 0,725	0,727 0,943 1,220	0,326 0,512 0,785	0,000 0,000 0,000	1,000 1,000 1,000	0,244 0,428 0,766	0,663 0,947 1,487

Tablo E.1 Ülkelerin normalleştirilmiş belirteç değerleri (devamı)

	Korunmuş Alanlar			Cari İşlemler Dengesi			Ormansızlaşma			Yatırımlar			Böcek Zehri			Ekilebilir Alandaki Artış			Yenilenebilir Enerji.		
Arjantin	0,056	0,083	0,117	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,160	0,335	0,669	0,794	0,934	1,108	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Bangladeş	0,000	0,000	0,000	0,158	0,210	0,272	1,000	1,000	1,000	0,282	0,495	0,901	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Belçika	-0,013	0,005	0,028	0,644	0,738	0,851	0,321	0,649	1,061	0,235	0,433	0,812	0,000	0,000	0,000	0,191	0,334	0,584	0,000	0,000	0,000
Brazilya	0,114	0,148	0,191	0,000	0,000	0,000	-0,002	0,197	0,497	0,173	0,352	0,694	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,012	0,033	0,065
Bulgaristan	0,054	0,081	0,115	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	0,294	0,465	0,764	0,000	0,000	0,000
Kolombiya	0,215	0,261	0,319	-0,015	0,023	0,067	0,043	0,260	0,575	-0,025	0,093	0,316	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hırvatistan	0,162	0,201	0,251	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	0,347	0,580	1,026	0,391	0,485	0,603	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000
Danimarka	1,000	1,000	1,000	0,245	0,305	0,376	1,000	1,000	1,000	0,188	0,371	0,722	0,584	0,700	0,845	0,000	0,000	0,000	0,414	0,515	0,669
Ekvator	0,525	0,608	0,714	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,091	0,244	0,537	0,698	0,826	0,987	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fransa	0,374	0,439	0,522	0,450	0,527	0,619	1,000	1,000	1,000	0,127	0,291	0,606	0,421	0,518	0,640	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Gana	0,092	0,123	0,163	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,296	0,514	0,929	0,554	0,667	0,808	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000
Guatemala	0,607	0,699	0,817	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,061	0,205	0,480	1,000	1,000	1,000	0,118	0,241	0,457	0,059	0,089	0,134
Hindistan	0,065	0,093	0,128	0,148	0,200	0,261	1,000	1,000	1,000	0,273	0,483	0,885	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Jamaika	0,212	0,257	0,315	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,589	0,898	1,487	0,016	0,067	0,132	1,000	1,000	1,000	0,146	0,194	0,266
Jordan	0,013	0,034	0,061	0,447	0,525	0,616	0,571	1,000	1,500	0,220	0,414	0,783	0,743	0,876	1,044	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Kenya	0,173	0,213	0,265	0,085	0,131	0,186	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,352	0,442	0,554	0,000	0,000	0,000	0,279	0,354	0,466
Malezya	0,059	0,086	0,120	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,401	0,651	1,129	0,000	0,000	0,000	0,373	0,566	0,903	0,000	0,000	0,000
Meksika	0,235	0,283	0,345	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,236	0,435	0,815	0,298	0,381	0,486	0,032	0,132	0,307	0,054	0,083	0,127
Moldovya	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	0,211	0,402	0,766	0,756	0,892	1,061	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mozambik	0,193	0,236	0,291	0,000	0,000	0,000	0,280	0,592	0,990	0,572	0,876	1,456	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hollanda	0,401	0,469	0,556	0,567	0,654	0,758	1,000	1,000	1,000	0,285	0,499	0,908	0,000	0,000	0,000	0,024	0,121	0,291	-0,004	0,013	0,040
Panama	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,612	0,929	1,533	0,299	0,383	0,488	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Peru	0,081	0,111	0,149	0,000	0,000	0,000	0,006	0,208	0,510	0,320	0,544	0,974	0,734	0,867	1,033	0,235	0,390	0,661	0,000	0,000	0,000
Filipinler	0,064	0,092	0,127	0,782	0,888	1,015	0,000	0,000	0,000	0,189	0,374	0,725	0,145	0,211	0,294	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000
Polonya	0,237	0,285	0,346	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	0,443	0,706	1,209	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Romanya	0,062	0,089	0,124	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	0,139	0,307	0,629	0,715	0,846	1,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
İspanya	0,256	0,307	0,371	0,095	0,142	0,197	1,000	1,000	1,000	0,349	0,583	1,030	0,128	0,192	0,273	0,000	0,000	0,000	-0,009	0,008	0,033
Sri Lanka	0,356	0,419	0,499	0,019	0,059	0,106	0,000	0,000	0,000	0,482	0,758	1,284	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
İsveç	0,209	0,254	0,312	0,419	0,493	0,582	0,575	1,004	1,506	0,009	0,137	0,382	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,040	0,066	0,106
İsviçre	0,853	0,975	1,131	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,194	0,380	0,734	0,050	0,106	0,176	0,077	0,189	0,384	-0,004	0,013	0,040
Tanzanya	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,243	0,540	0,925	0,029	0,163	0,419	1,000	1,000	1,000	0,050	0,154	0,337	0,000	0,000	0,000
Tayland	0,388	0,454	0,539	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,265	0,473	0,870	0,828	0,971	1,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Türkiye	0,000	0,000	0,000	0,232	0,291	0,361	1,000	1,000	1,000	0,342	0,574	1,017	0,821	0,964	1,142	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Uganda	0,784	0,898	1,043	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,012	0,109	0,341	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ABD	0,652	0,751	0,876	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	0,203	0,391	0,751	0,719	0,850	1,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Uruguay	0,000	0,000	0,000	-0,002	0,036	0,082	1,000	1,000	1,000	-0,059	0,047	0,250	0,783	0,921	1,094	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

EK-F Uygulama dC Uyum Göstergeleri

Tablo F.1 Uygulamada dC uyum göstergeleri değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
A1	0,000	0,094	-0,369	0,130	0,100	0,405	-0,080	-0,324	0,248	-0,265	0,266	0,273	0,104	0,107	0,141	0,399	-0,030	0,088
A2	-0,094	0,000	-0,311	0,103	-0,020	0,265	-0,188	-0,265	0,152	-0,284	0,045	0,192	0,119	-0,075	0,013	0,277	-0,192	0,010
A3	0,369	0,311	0,000	0,422	0,376	0,649	0,221	0,014	0,533	0,096	0,478	0,518	0,328	0,328	0,433	0,628	0,156	0,299
A4	-0,130	-0,103	-0,422	0,000	-0,012	0,199	-0,228	-0,519	0,070	-0,341	0,092	0,132	-0,081	-0,134	-0,106	0,206	-0,286	-0,189
A5	-0,100	0,020	-0,376	0,012	0,000	0,190	-0,100	-0,396	0,099	-0,359	0,173	0,137	0,031	-0,058	-0,025	0,282	-0,153	-0,030
A6	-0,405	-0,265	-0,649	-0,199	-0,190	0,000	-0,388	-0,682	-0,159	-0,630	-0,077	-0,086	-0,249	-0,292	-0,276	0,044	-0,394	-0,273
A7	0,080	0,188	-0,221	0,228	0,100	0,388	0,000	-0,238	0,271	-0,213	0,346	0,297	0,204	0,077	0,176	0,408	-0,005	0,150
A8	0,324	0,265	-0,014	0,519	0,396	0,682	0,238	0,000	0,560	0,081	0,436	0,607	0,300	0,359	0,308	0,671	0,196	0,340
A9	-0,248	-0,152	-0,533	-0,070	-0,099	0,159	-0,271	-0,560	0,000	-0,484	0,028	0,070	-0,134	-0,148	-0,128	0,168	-0,240	-0,165
A10	0,265	0,284	-0,096	0,341	0,359	0,630	0,213	-0,081	0,484	0,000	0,449	0,466	0,303	0,303	0,332	0,597	0,135	0,270
A11	-0,266	-0,045	-0,478	-0,092	-0,173	0,077	-0,346	-0,436	-0,028	-0,449	0,000	0,064	-0,010	-0,242	-0,133	0,134	-0,306	-0,124
A12	-0,273	-0,192	-0,518	-0,132	-0,137	0,086	-0,297	-0,607	-0,070	-0,466	-0,064	0,000	-0,169	-0,251	-0,208	0,060	-0,395	-0,253
A13	-0,104	-0,119	-0,328	0,081	-0,031	0,249	-0,204	-0,300	0,134	-0,303	0,010	0,169	0,000	-0,093	0,002	0,257	-0,199	-0,002
A14	-0,107	0,075	-0,328	0,134	0,058	0,292	-0,077	-0,359	0,148	-0,303	0,242	0,251	0,093	0,000	-0,001	0,336	-0,066	0,032
A15	-0,141	-0,013	-0,433	0,106	0,025	0,276	-0,176	-0,308	0,128	-0,332	0,133	0,208	-0,002	0,001	0,000	0,353	-0,151	-0,071
A16	-0,399	-0,277	-0,628	-0,206	-0,282	-0,044	-0,408	-0,671	-0,168	-0,597	-0,134	-0,060	-0,257	-0,336	-0,353	0,000	-0,388	-0,257
A17	0,030	0,192	-0,156	0,286	0,153	0,394	0,005	-0,196	0,240	-0,135	0,306	0,395	0,199	0,066	0,151	0,388	0,000	0,131
A18	-0,088	-0,010	-0,299	0,189	0,030	0,273	-0,150	-0,340	0,165	-0,270	0,124	0,253	0,002	-0,032	0,071	0,257	-0,131	0,000
A19	-0,033	-0,082	-0,410	0,108	0,050	0,327	-0,112	-0,312	0,215	-0,265	0,112	0,194	-0,064	0,010	0,024	0,300	-0,136	-0,017
A20	-0,208	-0,078	-0,445	-0,021	-0,153	0,128	-0,234	-0,468	0,023	-0,411	0,022	0,061	-0,061	-0,258	-0,164	0,167	-0,192	-0,082
A21	0,435	0,492	0,142	0,552	0,432	0,722	0,312	0,144	0,600	0,195	0,541	0,630	0,503	0,385	0,509	0,687	0,263	0,461
A22	-0,085	0,038	-0,347	0,097	0,032	0,319	-0,089	-0,384	0,124	-0,309	0,210	0,212	0,054	0,061	0,067	0,264	-0,107	0,003
A23	-0,054	0,023	-0,291	0,181	0,028	0,288	-0,159	-0,379	0,156	-0,275	0,211	0,227	0,046	-0,041	0,074	0,282	-0,133	0,017
A24	-0,005	0,070	-0,327	0,195	0,096	0,398	-0,096	-0,268	0,273	-0,177	0,216	0,275	0,089	0,039	0,070	0,437	-0,070	0,065
A25	0,205	0,255	-0,124	0,305	0,238	0,512	0,127	-0,098	0,356	-0,101	0,429	0,384	0,271	0,193	0,299	0,504	0,137	0,222
A26	0,047	0,081	-0,254	0,166	0,163	0,390	-0,067	-0,322	0,294	-0,168	0,260	0,321	0,098	0,085	0,136	0,393	-0,062	0,050
A27	0,227	0,286	-0,108	0,330	0,243	0,555	0,168	-0,125	0,384	-0,093	0,462	0,409	0,302	0,189	0,278	0,525	0,083	0,274
A28	-0,052	0,012	-0,356	0,131	0,022	0,301	-0,069	-0,310	0,233	-0,270	0,226	0,206	0,140	0,016	0,108	0,343	-0,049	0,072
A29	0,303	0,314	-0,019	0,418	0,386	0,629	0,238	-0,055	0,465	0,011	0,481	0,487	0,336	0,322	0,361	0,615	0,158	0,279
A30	0,380	0,393	0,083	0,564	0,448	0,737	0,281	0,173	0,621	0,170	0,499	0,653	0,473	0,395	0,455	0,720	0,297	0,414
A31	-0,341	-0,187	-0,586	-0,156	-0,217	0,067	-0,378	-0,598	-0,097	-0,534	-0,088	-0,010	-0,170	-0,303	-0,298	0,113	-0,336	-0,207
A32	-0,004	0,051	-0,207	0,240	0,107	0,395	-0,097	-0,224	0,302	-0,166	0,199	0,343	0,105	0,015	0,150	0,427	-0,033	0,152
A33	-0,003	0,111	-0,229	0,177	0,107	0,363	-0,099	-0,312	0,259	-0,217	0,286	0,347	0,131	0,000	0,083	0,408	-0,132	0,067
A34	-0,409	-0,266	-0,638	-0,220	-0,255	-0,001	-0,426	-0,646	-0,165	-0,576	-0,171	-0,119	-0,230	-0,375	-0,345	0,027	-0,400	-0,278
A35	0,271	0,249	-0,045	0,459	0,342	0,618	0,184	-0,015	0,515	0,050	0,393	0,545	0,293	0,246	0,268	0,592	0,194	0,317
A36	-0,116	-0,062	-0,433	0,060	0,023	0,285	-0,143	-0,468	0,107	-0,399	0,128	0,143	-0,045	-0,025	-0,014	0,246	-0,128	-0,006

Tablo F.1 Uygulamada dC uyum göstergeleri değerleri (devamı)

	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34	A35	A36
A1	0,033	0,208	-0,435	0,085	0,054	0,005	-0,205	-0,047	-0,227	0,052	-0,303	-0,380	0,341	0,004	0,003	0,409	-0,271	0,116
A2	0,082	0,078	-0,492	-0,038	-0,023	-0,070	-0,255	-0,081	-0,286	-0,012	-0,314	-0,393	0,187	-0,051	-0,111	0,266	-0,249	0,062
A3	0,410	0,445	-0,142	0,347	0,291	0,327	0,124	0,254	0,108	0,356	0,019	-0,083	0,586	0,207	0,229	0,638	0,045	0,433
A4	-0,108	0,021	-0,552	-0,097	-0,181	-0,195	-0,305	-0,166	-0,330	-0,131	-0,418	-0,564	0,156	-0,240	-0,177	0,220	-0,459	-0,060
A5	-0,050	0,153	-0,432	-0,032	-0,028	-0,096	-0,238	-0,163	-0,243	-0,022	-0,386	-0,448	0,217	-0,107	-0,107	0,255	-0,342	-0,023
A6	-0,327	-0,128	-0,722	-0,319	-0,288	-0,398	-0,512	-0,390	-0,555	-0,301	-0,629	-0,737	-0,067	-0,395	-0,363	0,001	-0,618	-0,285
A7	0,112	0,234	-0,312	0,089	0,159	0,096	-0,127	0,067	-0,168	0,069	-0,238	-0,281	0,378	0,097	0,099	0,426	-0,184	0,143
A8	0,312	0,468	-0,144	0,384	0,379	0,268	0,098	0,322	0,125	0,310	0,055	-0,173	0,598	0,224	0,312	0,646	0,015	0,468
A9	-0,215	-0,023	-0,600	-0,124	-0,156	-0,273	-0,356	-0,294	-0,384	-0,233	-0,465	-0,621	0,097	-0,302	-0,259	0,165	-0,515	-0,107
A10	0,265	0,411	-0,195	0,309	0,275	0,177	0,101	0,168	0,093	0,270	-0,011	-0,170	0,534	0,166	0,217	0,576	-0,050	0,399
A11	-0,112	-0,022	-0,541	-0,210	-0,211	-0,216	-0,429	-0,260	-0,462	-0,226	-0,481	-0,499	0,088	-0,199	-0,286	0,171	-0,393	-0,128
A12	-0,194	-0,061	-0,630	-0,212	-0,227	-0,275	-0,384	-0,321	-0,409	-0,206	-0,487	-0,653	0,010	-0,343	-0,347	0,119	-0,545	-0,143
A13	0,064	0,061	-0,503	-0,054	-0,046	-0,089	-0,271	-0,098	-0,302	-0,140	-0,336	-0,473	0,170	-0,105	-0,131	0,230	-0,293	0,045
A14	-0,010	0,258	-0,385	-0,061	0,041	-0,039	-0,193	-0,085	-0,189	-0,016	-0,322	-0,395	0,303	-0,015	0,000	0,375	-0,246	0,025
A15	-0,024	0,164	-0,509	-0,067	-0,074	-0,070	-0,299	-0,136	-0,278	-0,108	-0,361	-0,455	0,298	-0,150	-0,083	0,345	-0,268	0,014
A16	-0,300	-0,167	-0,687	-0,264	-0,282	-0,437	-0,504	-0,393	-0,525	-0,343	-0,615	-0,720	-0,113	-0,427	-0,408	-0,027	-0,592	-0,246
A17	0,136	0,192	-0,263	0,107	0,133	0,070	-0,137	0,062	-0,083	0,049	-0,158	-0,297	0,336	0,033	0,132	0,400	-0,194	0,128
A18	0,017	0,082	-0,461	-0,003	-0,017	-0,065	-0,222	-0,050	-0,274	-0,072	-0,279	-0,414	0,207	-0,152	-0,067	0,278	-0,317	0,006
A19	0,000	0,118	-0,490	0,032	-0,015	-0,041	-0,258	-0,074	-0,223	-0,107	-0,351	-0,452	0,253	-0,115	-0,098	0,321	-0,260	0,103
A20	-0,118	0,000	-0,512	-0,174	-0,076	-0,150	-0,312	-0,217	-0,354	-0,141	-0,446	-0,527	0,042	-0,145	-0,168	0,100	-0,414	-0,101
A21	0,490	0,512	0,000	0,413	0,425	0,396	0,204	0,372	0,205	0,429	0,166	0,025	0,638	0,379	0,366	0,694	0,145	0,516
A22	-0,032	0,174	-0,413	0,000	0,003	-0,112	-0,164	-0,106	-0,194	0,010	-0,347	-0,428	0,218	-0,105	-0,059	0,289	-0,325	-0,059
A23	0,015	0,076	-0,425	-0,003	0,000	-0,035	-0,249	-0,087	-0,276	-0,055	-0,350	-0,440	0,219	-0,104	-0,136	0,281	-0,326	0,011
A24	0,041	0,150	-0,396	0,112	0,035	0,000	-0,167	-0,055	-0,179	0,082	-0,252	-0,433	0,282	-0,116	-0,047	0,375	-0,321	0,151
A25	0,258	0,312	-0,204	0,164	0,249	0,167	0,000	0,119	0,007	0,149	-0,130	-0,170	0,448	0,169	0,171	0,499	-0,043	0,224
A26	0,074	0,217	-0,372	0,106	0,087	0,055	-0,119	0,000	-0,125	0,102	-0,256	-0,385	0,348	-0,029	-0,024	0,402	-0,277	0,179
A27	0,223	0,354	-0,205	0,194	0,276	0,179	-0,007	0,125	0,000	0,203	-0,119	-0,182	0,487	0,193	0,196	0,540	-0,060	0,244
A28	0,107	0,141	-0,429	-0,010	0,055	-0,082	-0,149	-0,102	-0,203	0,000	-0,348	-0,456	0,278	-0,047	-0,006	0,365	-0,258	0,088
A29	0,351	0,446	-0,166	0,347	0,350	0,252	0,130	0,256	0,119	0,348	0,000	-0,140	0,509	0,201	0,236	0,616	-0,016	0,433
A30	0,452	0,527	-0,025	0,428	0,440	0,433	0,170	0,385	0,182	0,456	0,140	0,000	0,656	0,351	0,380	0,723	0,116	0,531
A31	-0,253	-0,042	-0,638	-0,218	-0,219	-0,282	-0,448	-0,348	-0,487	-0,278	-0,509	-0,656	0,000	-0,272	-0,303	0,149	-0,539	-0,166
A32	0,115	0,145	-0,379	0,105	0,104	0,116	-0,169	0,029	-0,193	0,047	-0,201	-0,351	0,272	0,000	0,058	0,346	-0,230	0,149
A33	0,098	0,168	-0,366	0,059	0,136	0,047	-0,171	0,024	-0,196	0,006	-0,236	-0,380	0,303	-0,058	0,000	0,350	-0,249	0,146
A34	-0,321	-0,100	-0,694	-0,289	-0,281	-0,375	-0,499	-0,402	-0,540	-0,365	-0,616	-0,723	-0,149	-0,346	-0,350	0,000	-0,593	-0,218
A35	0,260	0,414	-0,145	0,325	0,326	0,321	0,043	0,277	0,060	0,258	0,016	-0,116	0,539	0,230	0,249	0,593	0,000	0,404
A36	-0,103	0,101	-0,516	0,059	-0,011	-0,151	-0,224	-0,179	-0,244	-0,088	-0,433	-0,531	0,166	-0,149	-0,146	0,218	-0,404	0,000

Ek-G. Uygulama dD Uyumsuzluk Göstergeleri

Tablo G.1 Uygulamada dD uyumsuzluk göstergeleri değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
A1	0,000	1,615	1,360	1,615	1,615	0,682	1,615	1,615	0,981	1,615	1,615	1,129	1,615	1,615	1,973	1,056	1,615	1,201
A2	1,677	0,000	1,794	1,615	1,741	1,463	1,736	1,794	1,441	1,794	1,615	1,234	0,272	1,615	1,369	1,220	1,336	1,445
A3	1,634	1,615	0,000	1,615	1,615	0,526	1,253	1,624	1,459	0,959	1,253	1,615	1,615	1,359	1,541	0,834	0,915	0,738
A4	1,757	1,719	1,615	0,000	1,836	0,675	1,615	1,504	1,028	1,615	1,743	1,351	1,656	1,484	1,861	1,490	1,615	0,678
A5	1,299	1,515	1,485	1,337	0,000	0,417	1,231	1,612	0,984	1,485	1,111	1,395	1,710	1,803	0,949	0,693	1,615	1,515
A6	1,757	1,719	1,615	1,615	1,836	0,000	1,615	1,599	1,459	1,615	1,743	1,615	1,697	1,792	1,777	1,119	1,612	1,502
A7	0,969	1,640	1,388	1,462	0,951	0,459	0,000	1,736	1,019	1,133	0,979	1,520	1,835	1,172	0,949	0,772	1,640	1,640
A8	1,615	1,257	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	0,000	1,615	1,615	1,615	1,615	0,793	1,762	1,615	1,904	1,615	1,615
A9	1,356	1,615	1,542	1,615	1,615	0,682	1,615	1,615	0,000	1,615	1,615	0,922	1,615	1,615	1,973	0,804	1,615	1,042
A10	0,921	0,948	0,741	1,615	0,973	0,000	1,615	1,044	0,746	0,000	1,615	0,902	1,143	1,615	0,828	0,693	1,151	0,948
A11	1,429	1,715	1,615	1,537	1,615	1,190	1,615	1,811	1,168	1,615	0,000	1,595	1,910	1,256	1,973	1,328	1,715	1,715
A12	1,757	1,719	1,615	1,374	1,836	1,270	1,615	1,615	1,248	1,615	1,743	0,000	1,656	1,649	1,973	0,996	1,615	1,252
A13	1,677	1,257	1,794	1,615	1,741	1,615	1,736	1,794	1,615	1,794	1,615	1,615	0,000	1,762	1,615	1,904	1,615	1,615
A14	1,575	1,615	1,373	1,556	1,615	0,682	1,615	1,615	1,400	1,615	1,696	1,556	1,615	0,000	1,973	1,490	1,615	1,346
A15	1,276	1,556	1,462	1,615	1,615	1,197	1,615	1,582	1,052	1,462	1,696	1,351	1,550	1,615	0,000	1,490	1,281	1,281
A16	1,542	1,615	1,615	1,865	1,615	1,859	1,615	1,712	1,542	1,905	1,615	1,542	1,810	1,803	1,973	0,000	1,615	1,615
A17	1,634	1,615	1,373	1,615	1,615	0,682	1,615	1,615	1,459	1,615	1,696	1,615	1,615	1,172	1,973	1,490	0,000	0,736
A18	1,664	1,625	1,522	1,518	1,743	0,682	1,615	1,615	0,945	1,615	1,650	1,106	1,615	1,518	1,973	1,244	1,615	0,000
A19	1,615	1,513	1,615	1,938	1,615	1,932	1,615	1,615	1,615	1,978	1,615	1,615	1,137	1,615	1,624	0,693	1,615	1,615
A20	1,677	1,615	1,794	1,615	1,741	1,463	1,736	1,794	1,441	1,794	1,615	1,495	1,810	1,615	1,369	1,053	1,615	1,615
A21	1,634	1,615	0,659	1,615	1,615	0,394	1,532	1,254	1,459	0,959	1,532	1,615	1,615	1,532	1,541	0,834	1,068	0,736
A22	1,706	1,668	1,564	1,615	1,785	0,682	1,615	1,615	1,028	1,615	1,696	1,351	1,615	1,615	1,973	1,490	1,615	1,099
A23	1,408	1,489	1,399	1,179	1,489	0,556	1,489	1,489	0,940	1,489	1,394	1,089	1,489	1,218	1,846	0,693	1,615	0,660
A24	1,410	1,615	1,596	1,615	1,615	1,272	1,615	1,615	1,192	1,615	1,615	1,348	1,615	1,615	1,973	1,216	1,151	0,956
A25	0,854	1,159	1,292	1,615	0,973	0,394	1,615	1,256	0,689	1,040	1,615	1,039	1,354	1,615	0,949	0,693	1,615	1,159
A26	1,269	1,028	1,455	1,615	1,088	0,405	1,615	1,502	0,972	1,455	1,615	1,121	1,022	1,615	0,949	0,962	1,615	0,716
A27	1,394	1,392	1,140	1,615	1,376	0,394	1,615	1,488	1,219	0,885	1,615	1,376	1,586	1,615	1,301	0,697	1,437	1,392
A28	1,634	1,615	1,608	1,615	1,615	1,284	1,615	1,615	1,459	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,973	1,259	1,559	0,970
A29	0,719	1,008	0,897	1,615	0,973	0,394	1,615	1,264	0,734	0,641	1,615	0,882	0,988	1,735	0,862	0,616	1,291	0,900
A30	1,519	1,501	0,827	1,501	1,501	0,827	1,444	1,139	1,344	0,844	1,444	1,501	1,501	1,444	1,426	1,116	0,983	0,827
A31	1,429	1,615	1,615	1,489	1,309	1,206	1,489	1,712	1,009	1,615	1,489	1,495	1,810	1,702	1,404	0,693	1,615	1,615
A32	1,456	1,615	1,456	1,615	1,615	1,474	1,615	1,615	1,456	1,615	1,696	1,456	1,615	1,615	1,973	1,745	1,456	1,456
A33	1,112	1,556	1,373	1,615	1,615	1,021	1,615	1,615	1,086	1,373	1,696	1,351	1,550	1,615	0,889	1,490	1,217	0,658
A34	1,556	1,615	1,674	1,615	1,620	1,342	1,615	1,712	1,320	1,674	1,615	1,495	1,810	1,771	1,973	1,269	1,615	1,615
A35	0,906	0,867	1,292	1,615	0,985	0,394	1,615	0,968	0,000	0,953	1,615	0,578	0,805	1,615	0,949	0,693	1,615	0,577
A36	1,299	1,556	1,373	1,615	1,615	0,675	1,615	1,615	1,086	1,373	1,696	1,351	1,550	1,850	1,076	1,490	1,592	1,015

Tablo G.1 Uygulamada dD uyumsuzluk göstergeleri değerleri (devamı)

	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34	A35	A36
A1	1,615	1,445	1,615	1,540	1,044	1,615	1,615	1,615	1,615	1,232	1,980	1,615	1,511	1,615	1,615	1,453	1,615	1,615
A2	1,759	1,242	1,794	1,615	1,384	1,615	1,798	1,729	1,711	1,459	1,794	1,794	1,615	1,617	1,223	1,558	1,794	1,717
A3	1,566	1,615	0,902	1,624	1,525	1,615	1,615	1,491	0,902	1,107	1,615	1,692	1,624	1,695	1,683	1,615	1,498	1,614
A4	1,607	1,747	1,833	1,518	1,351	1,584	1,762	1,895	1,615	1,670	1,868	1,705	1,596	1,615	1,504	1,771	1,504	1,504
A5	1,015	1,764	1,515	1,859	1,358	1,615	1,458	1,411	1,485	1,551	1,497	1,615	1,514	1,615	1,515	1,456	1,740	1,011
A6	1,607	1,753	1,833	1,848	1,525	1,615	1,762	1,895	1,615	1,670	1,785	1,705	1,615	1,695	1,683	1,615	1,727	1,614
A7	1,140	1,133	1,640	1,340	1,483	1,615	0,951	1,536	0,922	1,288	1,622	1,640	1,340	1,640	1,639	1,282	1,864	1,066
A8	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,694	1,615	1,615	1,615	1,205	1,615	1,392	1,615	1,197	1,615	1,192	1,615	1,850
A9	1,615	1,560	1,615	1,655	0,962	1,615	1,615	1,615	1,615	1,347	1,980	1,615	1,171	1,615	1,615	1,085	1,615	1,615
A10	0,852	1,500	0,948	1,595	0,902	1,615	1,194	0,844	0,971	1,287	0,930	1,064	0,996	0,982	0,970	1,073	1,173	0,900
A11	1,615	1,261	1,715	1,453	1,558	1,615	1,615	1,615	1,615	1,363	1,980	1,715	1,453	1,715	1,715	1,395	1,940	1,615
A12	1,615	1,610	1,833	1,705	1,191	1,533	1,762	1,895	1,615	1,670	1,980	1,705	1,422	1,615	1,615	1,352	1,615	1,615
A13	1,759	1,615	1,794	1,615	1,635	1,694	1,798	1,729	1,711	1,459	1,794	1,794	1,615	1,617	1,615	1,721	1,794	1,850
A14	1,615	1,747	1,615	1,259	1,466	1,533	1,615	1,615	1,615	1,319	1,980	1,615	1,596	1,636	1,624	1,771	1,615	1,615
A15	1,462	1,747	1,462	1,582	1,351	1,615	1,501	1,177	1,462	1,319	1,462	1,650	1,596	1,281	1,280	1,771	1,506	0,988
A16	1,615	1,764	1,615	1,859	1,892	1,441	1,615	1,615	1,615	1,551	1,980	1,615	1,538	1,615	1,809	1,977	1,840	1,615
A17	1,615	1,747	1,615	1,507	1,525	1,615	1,615	1,615	1,615	1,358	1,980	1,615	1,615	1,695	1,683	1,771	1,615	1,615
A18	1,615	1,501	1,740	1,413	1,106	1,533	1,669	1,802	1,615	1,577	1,980	1,615	1,351	1,615	1,615	1,526	1,615	1,615
A19	0,000	1,602	1,615	1,615	1,965	1,615	1,615	1,615	1,615	1,497	1,615	1,684	1,615	1,615	1,882	2,050	1,615	1,615
A20	1,759	0,000	1,794	1,470	1,458	1,615	1,798	1,729	1,711	1,459	1,794	1,794	1,290	1,617	1,615	1,331	1,840	1,717
A21	1,566	1,615	0,000	1,331	1,525	1,612	1,615	1,491	0,707	1,023	1,615	1,021	1,615	1,695	1,683	1,615	1,498	1,614
A22	1,615	1,747	1,782	0,000	1,351	1,615	1,711	1,844	1,615	1,619	1,980	1,654	1,596	1,615	1,615	1,771	1,615	1,615
A23	1,489	1,178	1,489	1,470	0,000	1,615	1,489	1,545	1,489	1,321	1,854	1,615	1,470	1,615	1,489	1,412	1,489	1,489
A24	1,615	1,474	1,615	1,499	1,305	0,000	1,615	1,615	1,615	1,183	1,980	1,615	1,499	1,428	1,615	1,498	1,615	1,615
A25	0,660	0,972	1,159	1,219	1,002	1,615	0,000	1,055	1,040	0,807	1,141	1,615	1,219	1,615	1,159	1,161	1,384	0,586
A26	0,935	1,480	1,455	1,575	0,882	1,615	1,174	0,000	1,455	1,267	1,455	1,615	1,502	1,615	0,936	1,444	1,455	0,981
A27	1,326	1,376	1,392	1,225	1,285	1,620	1,376	1,287	0,000	1,039	1,376	1,437	1,376	1,455	1,443	1,376	1,616	1,374
A28	1,615	1,615	1,615	1,025	1,525	1,615	1,615	1,615	1,615	0,000	1,980	1,615	1,615	1,695	1,683	1,615	1,615	1,615
A29	0,841	1,696	1,017	1,791	1,098	1,539	1,390	0,670	1,167	1,483	0,000	1,332	1,264	0,969	1,152	1,206	0,966	0,312
A30	1,451	1,501	0,827	1,483	1,410	1,612	1,501	1,376	0,859	1,175	1,501	0,000	1,501	1,580	1,568	1,501	1,384	1,499
A31	1,327	1,663	1,615	1,758	1,458	1,615	1,367	1,511	1,615	1,450	1,615	1,615	0,000	1,615	1,615	1,324	1,840	1,285
A32	1,615	1,747	1,615	1,456	1,507	1,615	1,615	1,615	1,615	1,319	1,980	1,615	1,596	0,000	1,615	1,771	1,615	1,691
A33	1,462	1,747	1,373	1,615	1,351	1,615	1,501	1,250	1,373	1,319	1,373	1,684	1,615	1,217	0,000	1,771	1,458	0,929
A34	1,638	1,732	1,674	1,827	1,458	1,615	1,678	1,615	1,615	1,519	1,980	1,674	1,171	1,615	1,615	0,000	1,840	1,615
A35	0,756	1,373	1,157	1,468	0,841	1,615	1,067	1,043	0,844	1,160	0,899	1,615	0,546	1,615	0,829	0,701	0,000	0,419
A36	1,462	1,811	1,375	1,906	1,351	1,615	1,505	1,437	1,373	1,598	1,373	1,684	1,615	1,592	1,267	1,771	1,458	0,000

EK- H Uygulamada f üstünlük fonksiyonu Değerleri

Tablo H.1 Uygulamada f üstünlük fonksiyonu değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
A1	0,000	0,018	-0,369	0,025	0,019	0,267	-0,080	-0,324	0,126	-0,265	0,051	0,119	0,020	0,021	0,002	0,188	-0,030	0,035
A2	-0,094	0,000	-0,311	0,020	-0,020	0,071	-0,188	-0,265	0,042	-0,284	0,009	0,073	0,103	-0,075	0,004	0,108	-0,192	0,003
A3	0,068	0,060	0,000	0,081	0,072	0,478	0,082	0,003	0,144	0,050	0,178	0,100	0,063	0,105	0,099	0,366	0,085	0,189
A4	-0,130	-0,103	-0,422	0,000	-0,012	0,132	-0,228	-0,519	0,034	-0,341	0,012	0,043	-0,081	-0,134	-0,106	0,053	-0,286	-0,189
A5	-0,100	0,005	-0,376	0,004	0,000	0,150	-0,100	-0,396	0,050	-0,359	0,077	0,042	0,004	-0,058	-0,025	0,185	-0,153	-0,030
A6	-0,405	-0,265	-0,649	-0,199	-0,190	0,000	-0,388	-0,682	-0,159	-0,630	-0,077	-0,086	-0,249	-0,292	-0,276	0,019	-0,394	-0,273
A7	0,041	0,034	-0,221	0,061	0,053	0,299	0,000	-0,238	0,133	-0,213	0,177	0,071	0,017	0,032	0,093	0,250	-0,005	0,027
A8	0,062	0,099	-0,014	0,100	0,076	0,131	0,046	0,000	0,108	0,016	0,084	0,117	0,181	0,043	0,059	0,032	0,038	0,065
A9	-0,248	-0,152	-0,533	-0,070	-0,099	0,105	-0,271	-0,560	0,000	-0,484	0,005	0,038	-0,134	-0,148	-0,128	0,100	-0,240	-0,165
A10	0,143	0,149	-0,096	0,066	0,184	0,630	0,041	-0,081	0,303	0,000	0,086	0,256	0,130	0,058	0,195	0,390	0,057	0,142
A11	-0,266	-0,045	-0,478	-0,092	-0,173	0,031	-0,346	-0,436	-0,028	-0,449	0,000	0,013	-0,010	-0,242	-0,133	0,045	-0,306	-0,124
A12	-0,273	-0,192	-0,518	-0,132	-0,137	0,032	-0,297	-0,607	-0,070	-0,466	-0,064	0,000	-0,169	-0,251	-0,208	0,030	-0,395	-0,253
A13	-0,104	-0,119	-0,328	0,016	-0,031	0,048	-0,204	-0,300	0,026	-0,303	0,002	0,032	0,000	-0,093	0,000	0,012	-0,199	-0,002
A14	-0,107	0,014	-0,328	0,030	0,011	0,192	-0,077	-0,359	0,044	-0,303	0,037	0,056	0,018	0,000	-0,001	0,086	-0,066	0,010
A15	-0,141	-0,013	-0,433	0,020	0,005	0,111	-0,176	-0,308	0,061	-0,332	0,020	0,068	-0,002	0,000	0,000	0,090	-0,151	-0,071
A16	-0,399	-0,277	-0,628	-0,206	-0,282	-0,044	-0,408	-0,671	-0,168	-0,597	-0,134	-0,060	-0,257	-0,336	-0,353	0,000	-0,388	-0,257
A17	0,006	0,037	-0,156	0,055	0,029	0,260	0,001	-0,196	0,065	-0,135	0,046	0,076	0,038	0,027	0,002	0,099	0,000	0,083
A18	-0,088	-0,010	-0,299	0,046	0,004	0,180	-0,150	-0,340	0,087	-0,270	0,022	0,113	0,000	-0,032	0,001	0,097	-0,131	0,000
A19	-0,033	-0,082	-0,410	0,003	0,010	0,011	-0,112	-0,312	0,041	-0,265	0,022	0,037	-0,064	0,002	0,005	0,196	-0,136	-0,017
A20	-0,208	-0,078	-0,445	-0,021	-0,153	0,034	-0,234	-0,468	0,006	-0,411	0,004	0,015	-0,061	-0,258	-0,164	0,079	-0,192	-0,082
A21	0,080	0,095	0,095	0,106	0,083	0,580	0,073	0,054	0,162	0,101	0,126	0,121	0,097	0,090	0,117	0,401	0,123	0,291
A22	-0,085	0,006	-0,347	0,019	0,003	0,211	-0,089	-0,384	0,060	-0,309	0,032	0,069	0,010	0,012	0,001	0,067	-0,107	0,001
A23	-0,054	0,006	-0,291	0,074	0,007	0,208	-0,159	-0,379	0,083	-0,275	0,064	0,104	0,012	-0,041	0,006	0,184	-0,133	0,011
A24	-0,005	0,013	-0,327	0,037	0,018	0,145	-0,096	-0,268	0,110	-0,177	0,041	0,090	0,017	0,008	0,001	0,171	-0,070	0,034
A25	0,118	0,107	-0,124	0,059	0,122	0,411	0,024	-0,098	0,233	-0,101	0,083	0,184	0,087	0,037	0,157	0,329	0,026	0,093
A26	0,017	0,039	-0,254	0,032	0,075	0,311	-0,067	-0,322	0,151	-0,168	0,050	0,141	0,048	0,016	0,072	0,204	-0,062	0,032
A27	0,069	0,087	-0,108	0,063	0,076	0,446	0,032	-0,125	0,150	-0,093	0,089	0,128	0,062	0,036	0,097	0,342	0,023	0,083
A28	-0,052	0,002	-0,356	0,025	0,004	0,108	-0,069	-0,310	0,063	-0,270	0,043	0,040	0,027	0,003	0,001	0,127	-0,049	0,037
A29	0,194	0,156	-0,019	0,080	0,198	0,505	0,046	-0,055	0,294	0,008	0,093	0,272	0,170	0,043	0,205	0,425	0,056	0,153
A30	0,091	0,098	0,049	0,141	0,112	0,432	0,078	0,075	0,204	0,098	0,139	0,163	0,118	0,110	0,131	0,318	0,151	0,243
A31	-0,341	-0,187	-0,586	-0,156	-0,217	0,027	-0,378	-0,598	-0,097	-0,534	-0,088	-0,010	-0,170	-0,303	-0,298	0,074	-0,336	-0,207
A32	-0,004	0,010	-0,207	0,046	0,021	0,104	-0,097	-0,224	0,082	-0,166	0,030	0,093	0,020	0,003	0,002	0,054	-0,033	0,041
A33	-0,003	0,025	-0,229	0,034	0,021	0,178	-0,099	-0,312	0,118	-0,217	0,044	0,113	0,030	0,000	0,046	0,104	-0,132	0,045
A34	-0,409	-0,266	-0,638	-0,220	-0,255	-0,001	-0,426	-0,646	-0,165	-0,576	-0,171	-0,119	-0,230	-0,375	-0,345	0,010	-0,400	-0,278
A35	0,148	0,141	-0,045	0,088	0,174	0,496	0,035	-0,015	0,515	0,026	0,076	0,388	0,175	0,047	0,141	0,387	0,037	0,225
A36	-0,116	-0,062	-0,433	0,012	0,004	0,189	-0,143	-0,468	0,049	-0,399	0,019	0,046	-0,045	-0,025	-0,014	0,063	-0,128	-0,006

Tablo H.1 Uygulamada f üstünlük fonksiyonu değerleri (devamı)

	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34	A35	A36
A1	0,006	0,058	-0,435	0,019	0,026	0,001	-0,205	-0,047	-0,227	0,020	-0,303	-0,380	0,083	0,001	0,001	0,112	-0,271	0,022
A2	0,010	0,030	-0,492	-0,038	-0,023	-0,070	-0,255	-0,081	-0,286	-0,012	-0,314	-0,393	0,036	-0,051	-0,111	0,059	-0,249	0,009
A3	0,089	0,086	-0,142	0,065	0,069	0,063	0,024	0,065	0,059	0,159	0,004	-0,083	0,110	0,032	0,036	0,123	0,011	0,084
A4	-0,108	0,003	-0,552	-0,097	-0,181	-0,195	-0,305	-0,166	-0,330	-0,131	-0,418	-0,564	0,031	-0,240	-0,177	0,025	-0,459	-0,060
A5	-0,050	0,018	-0,432	-0,032	-0,028	-0,096	-0,238	-0,163	-0,243	-0,022	-0,386	-0,448	0,053	-0,107	-0,107	0,069	-0,342	-0,023
A6	-0,327	-0,128	-0,722	-0,319	-0,288	-0,398	-0,512	-0,390	-0,555	-0,301	-0,629	-0,737	-0,067	-0,395	-0,363	0,000	-0,618	-0,285
A7	0,048	0,101	-0,312	0,029	0,041	0,018	-0,127	0,016	-0,168	0,024	-0,238	-0,281	0,125	0,018	0,018	0,153	-0,184	0,067
A8	0,060	0,090	-0,144	0,074	0,073	0,041	0,019	0,062	0,024	0,123	0,011	-0,173	0,115	0,090	0,060	0,261	0,003	0,035
A9	-0,215	-0,023	-0,600	-0,124	-0,156	-0,273	-0,356	-0,294	-0,384	-0,233	-0,465	-0,621	0,040	-0,302	-0,259	0,076	-0,515	-0,107
A10	0,152	0,103	-0,195	0,063	0,151	0,034	0,041	0,097	0,048	0,096	-0,011	-0,170	0,268	0,085	0,112	0,267	-0,050	0,220
A11	-0,112	-0,022	-0,541	-0,210	-0,211	-0,216	-0,429	-0,260	-0,462	-0,226	-0,481	-0,499	0,024	-0,199	-0,286	0,052	-0,393	-0,128
A12	-0,194	-0,061	-0,630	-0,212	-0,227	-0,275	-0,384	-0,321	-0,409	-0,206	-0,487	-0,653	0,003	-0,343	-0,347	0,038	-0,545	-0,143
A13	0,008	0,012	-0,503	-0,054	-0,046	-0,089	-0,271	-0,098	-0,302	-0,140	-0,336	-0,473	0,033	-0,105	-0,131	0,032	-0,293	0,003
A14	-0,010	0,033	-0,385	-0,061	0,011	-0,039	-0,193	-0,085	-0,189	-0,016	-0,322	-0,395	0,061	-0,015	0,000	0,043	-0,246	0,005
A15	-0,024	0,021	-0,509	-0,067	-0,074	-0,070	-0,299	-0,136	-0,278	-0,108	-0,361	-0,455	0,060	-0,150	-0,083	0,039	-0,268	0,007
A16	-0,300	-0,167	-0,687	-0,264	-0,282	-0,437	-0,504	-0,393	-0,525	-0,343	-0,615	-0,720	-0,113	-0,427	-0,408	-0,027	-0,592	-0,246
A17	0,026	0,024	-0,263	0,026	0,032	0,014	-0,137	0,012	-0,083	0,016	-0,158	-0,297	0,065	0,005	0,021	0,046	-0,194	0,025
A18	0,003	0,020	-0,461	-0,003	-0,017	-0,065	-0,222	-0,050	-0,274	-0,072	-0,279	-0,414	0,067	-0,152	-0,067	0,066	-0,317	0,001
A19	0,000	0,024	-0,490	0,006	-0,015	-0,041	-0,258	-0,074	-0,223	-0,107	-0,351	-0,452	0,049	-0,115	-0,098	-0,008	-0,260	0,020
A20	-0,118	0,000	-0,512	-0,174	-0,076	-0,150	-0,312	-0,217	-0,354	-0,141	-0,446	-0,527	0,015	-0,145	-0,168	0,033	-0,414	-0,101
A21	0,107	0,098	0,000	0,138	0,101	0,077	0,039	0,095	0,132	0,209	0,032	0,012	0,123	0,058	0,058	0,134	0,036	0,100
A22	-0,032	0,022	-0,413	0,000	0,001	-0,112	-0,164	-0,106	-0,194	0,002	-0,347	-0,428	0,044	-0,105	-0,059	0,033	-0,325	-0,059
A23	0,004	0,031	-0,425	-0,003	0,000	-0,035	-0,249	-0,087	-0,276	-0,055	-0,350	-0,440	0,058	-0,104	-0,136	0,083	-0,326	0,003
A24	0,008	0,039	-0,396	0,028	0,012	0,000	-0,167	-0,055	-0,179	0,034	-0,252	-0,433	0,071	-0,116	-0,047	0,094	-0,321	0,029
A25	0,173	0,160	-0,204	0,064	0,124	0,032	0,000	0,056	0,003	0,089	-0,130	-0,170	0,175	0,032	0,072	0,209	-0,043	0,158
A26	0,039	0,056	-0,372	0,023	0,049	0,011	-0,119	0,000	-0,125	0,037	-0,256	-0,385	0,087	-0,029	-0,024	0,112	-0,277	0,091
A27	0,075	0,111	-0,205	0,075	0,099	0,034	-0,007	0,045	0,000	0,097	-0,119	-0,182	0,152	0,053	0,054	0,169	-0,060	0,076
A28	0,021	0,027	-0,429	-0,010	0,013	-0,082	-0,149	-0,102	-0,203	0,000	-0,348	-0,456	0,053	-0,047	-0,006	0,070	-0,258	0,017
A29	0,204	0,068	-0,166	0,036	0,158	0,058	0,040	0,171	0,049	0,090	0,000	-0,140	0,188	0,104	0,100	0,244	-0,016	0,365
A30	0,124	0,132	-0,025	0,111	0,130	0,084	0,042	0,120	0,104	0,188	0,035	0,000	0,164	0,074	0,082	0,181	0,036	0,133
A31	-0,253	-0,042	-0,638	-0,218	-0,219	-0,282	-0,448	-0,348	-0,487	-0,278	-0,509	-0,656	0,000	-0,272	-0,303	0,050	-0,539	-0,166
A32	0,022	0,018	-0,379	0,029	0,026	0,022	-0,169	0,006	-0,193	0,016	-0,201	-0,351	0,055	0,000	0,011	0,039	-0,230	0,023
A33	0,026	0,021	-0,366	0,011	0,044	0,009	-0,171	0,009	-0,196	0,002	-0,236	-0,380	0,058	-0,058	0,000	0,040	-0,249	0,078
A34	-0,321	-0,100	-0,694	-0,289	-0,281	-0,375	-0,499	-0,402	-0,540	-0,365	-0,616	-0,723	-0,149	-0,346	-0,350	0,000	-0,593	-0,218
A35	0,162	0,130	-0,145	0,086	0,189	0,062	0,020	0,132	0,035	0,108	0,009	-0,116	0,392	0,044	0,146	0,385	0,000	0,319
A36	-0,103	0,010	-0,516	0,003	-0,011	-0,151	-0,224	-0,179	-0,244	-0,088	-0,433	-0,531	0,032	-0,149	-0,146	0,025	-0,404	0,000

ÖZGEÇMİŞ

Özgür KABAK, 16 Temmuz 1979'da Muğla'nın Milas ilçesinde doğdu. 1997 yılında Isparta Süleyman Demirel Fen Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl İTÜ İşletme Fakültesi Endüstri Mühendisli Bölümü'ne girdi. Lisans eğitimini Haziran 2001'de tamamladıktan sonra İTÜ Endüstri Mühendisliği Anabilim dalı Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans programında eğitim görmeye başladı. Aynı yılın Eylül ayında halen görev yapmakta olduğu Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Mayıs 2002'de İTÜ Endüstri Mühendisliği öğretim üyeleri tarafından gerçekleştirilen FSSCIMIE'02 uluslararası bulanık mantık konferansının organizasyonunda görev aldı. İngilizce bilmektedir.