

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KRİTERLİ SIRALAMA VE SEÇİM PROBLEMLERİ
İÇİN FERMATEAN BULANIK SWARA - TOPSIS
METODOLOJİ ÖNERİSİ

Hakan AYDOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Vildan ÖZKIR

Haziran, 2023

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK KRİTERLİ SIRALAMA VE SEÇİM PROBLEMLERİ İÇİN
FERMATEAN BULANIK SWARA - TOPSIS METODOLOJİ
ÖNERİSİ**

Hakan AYDOĞAN tarafından hazırlanan tez çalışması 20.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Vildan ÖZKIR
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Vildan ÖZKIR, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mert EDALI, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Arzum ÖZGEN, Üye

Marmara Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Vildan ÖZKIR sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Çok Kriterli Sıralama ve Seçim Problemleri için Fermatean Bulanık SWARA - TOPSIS Metodolojisi Önerisi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Hakan AYDOĞAN

İmza

TEŞEKKÜR

Sadece bu süreçte değil tüm öğrenim hayatımda ve akademik ilerleyişimde bana her türlü desteği veren annem Rabia AYDOĞAN'a, babam Turan AYDOĞAN'a, kız kardeşim Sıla AYDOĞAN'a ve tüm aileme teşekkür ederim. Bu süreçte sürekli yanımda olan ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen arkadaşlarıma da ayrıca teşekkür ederim. Özellikle yüksek lisans tez sürecimde destekleri ve yol göstericiliğiyle benimle ilgilenen danışman hocam Doç. Dr. Vildan ÖZKIR'a teşekkürlerimi sunarım.

Hakan AYDOĞAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	3
1.2 Tezin Amacı	40
1.3 Hipotez	40
1.4 Tez Çalışmasının İçeriği	41
2 BULANIK KÜME TEORİSİ	42
2.1 Klasik Bulanık Kümeler.....	42
2.2 Sezgisel Bulanık Kümeler.....	43
2.3 Fermatean Bulanık Kümeler	45
3 METODOLOJİ	48
3.1 Bulanık SWARA - TOPSIS	50
3.2 Sezgisel Bulanık SWARA - TOPSIS.....	55
3.3 Fermatean Bulanık SWARA - TOPSIS	59
4 UYGULAMA	65
4.1 Araştırma Üniversitelerinin Performans Değerlendirmesi	65
4.2 Meyve Suyu Üretim Tesisi İçin Lokasyon Seçimi	118
4.3 Araştırma Bulgularının Karşılaştırmalı Analizi	146
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	151
KAYNAKÇA	154
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	158

SİMGE LİSTESİ

ℓ	Alt Sınır
π	Belirsizlik (Tereddüt) Derecesi
m	Orta Nokta
u	Üst Sınır
μ	Üye Olma Derecesi
v	Üye Olmama Derecesi



KISALTMA LİSTESİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANF	Ortalama Normalize Bulanık Değer
CIFS	Karmaşık Sezgisel Bulanık Kümeler
CR	Tutarlılık Oranı
CRITIC	Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önem Tespiti
COPRAS	Karmaşık Oransal Değerlendirme
DEA	Veri Zarflama Analizi
ERP	Kurumsal Kaynak Planlaması
F	Bulanık
FAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
FF	Fermatean Bulanık
FFS	Fermatean Bulanık Kümeler
FIWAD	Fermatean Bulanık Entegre Ağırlıklı Ortalama Mesafe
FMEA	Hata Türü ve Etkileri Analizi
FS	Bulanık Küme
IF	Sezgisel Bulanık
IFS	Sezgisel Bulanık Kümeler
IVIF	Aralık Değerli Sezgisel Bulanık
IVIFWT	Aralık Değerli Sezgisel Bulanık Ağırlık Tekniği
IVFF	Aralık Değerli Fermatean Bulanık
MCDM	Çok Kriterli Karar Verme
MULTIMOORA	Oran Analizi ile Çok Amaçlı Optimizasyon
NIS	Negatif İdeal Çözüm
PFS	Pisagor Bulanık Kümeler
PIS	Pozitif İdeal Çözüm
SWARA	Kademeli Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi
TF	Üçgen Bulanık
TFN	Üçgen Bulanık Sayılar
TOPSIS	İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Sıra Tercihi Tekniği
VIKOR	Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm
WASPAS	Ağırlıklandırılmış Bütünleşik Toplam Çarpım Değerlendirmesi
YÖK	Yükseköğretim Kurulu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Bulanık Küme Uzantıları.....	17
Şekil 2.1 Üçgen Bulanık Sayının Üyelik Derecesi.....	42
Şekil 2.2 IFS ve FFS Uzaylarının Karşılaştırılması.....	46
Şekil 3.1 Metodolojilerin Uygulanma Adımları.....	50
Şekil 3.2 Bütünleşik Bulanık SWARA-TOPSIS Metodolojisinin Adımları.....	51
Şekil 3.3 Bütünleşik Sezgisel Bulanık SWARA-TOPSIS Metodolojisinin Adımları....	55
Şekil 3.4 Bütünleşik Fermatean Bulanık SWARA-TOPSIS Metodolojisinin Adımları	60
Şekil 4.1 Sıralama Probleminde Kriterler Hiyerarşisi	67
Şekil 4.2 Seçim Probleminde Kriterler Hiyerarşisi	119
Şekil 4.3 Sıralama Problemi İçin Kendall Tau Korelasyon Testi (τ)	148
Şekil 4.4 Seçim Problemi İçin Kendall Tau Korelasyon Testi (τ).....	149

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Bulanık Karar Verme Yöntemleri ile Yapılan Bazı Çalışmalar	24
Tablo 1.2 Sezgisel Bulanık Karar Verme Yöntemleri ile Yapılan Bazı Çalışmalar	33
Tablo 1.3 Fermatean Bulanık Karar Verme Yöntemleri ile Yapılan Bazı Çalışmalar ..	39
Tablo 3.1 Uzmanların Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Terimlerin TFN Karşılığı	51
Tablo 3.2 Kriterlerin ve Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Terimlerin TFN Karşılığı	52
Tablo 3.3 Uzmanların Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Terimlerin IFS Karşılığı	56
Tablo 3.4 Kriterlerin ve Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Terimlerin IFS Karşılığı	56
Tablo 3.5 Uzmanların Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Terimlerin FFS Karşılığı	60
Tablo 3.6 Kriterlerin ve Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Terimlerin FFS Karşılığı	61
Tablo 4.1 Sıralama Probleminde Kriterler Hiyerarşisi	67
Tablo 4.2 Sıralama Probleminde Karar Vericilere Ait Uzmanlık Derecelerinin Dilsel Terimlerle Gösterimi	69
Tablo 4.3 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Değerlendirilmesi	69
Tablo 4.4 Sıralama Probleminde Karar Vericilerin Alternatifleri Kriterler Karşısında Değerlendirilmesi	71
Tablo 4.5 Karar Vericilerin Sıralama Probleminde Bulanık Uzmanlık Derecesi	77
Tablo 4.6 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlere Ait Bulanık z Sonuçları	77
Tablo 4.7 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Ortalama Normalize Bulanık Değerleri	78
Tablo 4.8 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Bulanık Ağırlık Hesaplamaları	79
Tablo 4.9 Sıralama Probleminde Alt Kriterlerin Nihai Bulanık Ağırlıkları	80
Tablo 4.10 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi	81
Tablo 4.11 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri	83
Tablo 4.12 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri	83

Tablo 4.13 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri	84
Tablo 4.14 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi	85
Tablo 4.15 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri	87
Tablo 4.16 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_4 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi	87
Tablo 4.17 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_4 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri	88
Tablo 4.18 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_5 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi	89
Tablo 4.19 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_5 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri	90
Tablo 4.20 Sıralama Probleminde Alternatiflerin Pozitif Uzaklık, Negatif Uzaklık ve Göreli Yakınlık Değerleri (Bulanık)	91
Tablo 4.21 Sıralama Probleminde Alternatiflerin Sıralanması (Bulanık)	91
Tablo 4.22 Karar Vericilerin Sıralama Probleminde Sezgisel Bulanık Uzmanlık Derecesi	92
Tablo 4.23 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlere Ait Sezgisel Bulanık z Sonuçları	93
Tablo 4.24 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Sezgisel Pozitif Skor Değerleri	93
Tablo 4.25 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Sezgisel Bulanık Ağırlık Hesaplamaları	94
Tablo 4.26 Sıralama Probleminde Alt Kriterlerin Nihai Sezgisel Bulanık Ağırlıkları ..	96
Tablo 4.27 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi	97
Tablo 4.28 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi	98
Tablo 4.29 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi	99
Tablo 4.30 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_4 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi	102
Tablo 4.31 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_5 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi	102
Tablo 4.32 Sıralama Probleminde Alternatiflerin Pozitif Uzaklık, Negatif Uzaklık ve Göreli Yakınlık Değerleri (Sezgisel Bulanık)	103
Tablo 4.33 Sıralama Probleminde Alternatiflerin Sıralanması (Sezgisel Bulanık)	104
Tablo 4.34 Karar Vericilerin Sıralama Probleminde Fermatean Bulanık Uzmanlık Derecesi	105

Tablo 4.35 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlere Ait Fermatean Bulanık z Sonuçları	106
Tablo 4.36 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Fermatean Skor Değerleri. 106	
Tablo 4.37 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Fermatean Bulanık Ağırlık Hesaplamaları	107
Tablo 4.38 Sıralama Probleminde Alt Kriterlerin Nihai Fermatean Bulanık Ağırlıkları	108
Tablo 4.39 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi	109
Tablo 4.40 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi	111
Tablo 4.41 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi	112
Tablo 4.42 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_4 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi	114
Tablo 4.43 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_5 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi	115
Tablo 4.44 Sıralama Probleminde Alternatiflerin Pozitif Uzaklık, Negatif Uzaklık ve Göreli Yakınlık Değerleri (Fermatean Bulanık)	117
Tablo 4.45 Sıralama Probleminde Alternatiflerin Sıralanması (Fermatean Bulanık)..	117
Tablo 4.46 Seçim Probleminde Alternatifler	120
Tablo 4.47 Seçim Probleminde Karar Vericilere Ait Uzmanlık Derecelerinin Dilsel Terimlerle Gösterimi.....	121
Tablo 4.48 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Değerlendirilmesi.....	122
Tablo 4.49 Seçim Probleminde Karar Vericilerin Alternatifleri Kriterler Karşısında Değerlendirilmesi.....	123
Tablo 4.50 Karar Vericilerin Seçim Probleminde Bulanık Uzmanlık Derecesi	124
Tablo 4.51 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlere Ait Bulanık z Sonuçları	125
Tablo 4.52 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Ortalama Normalize Bulanık Değerleri	125
Tablo 4.53 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Bulanık Ağırlık Hesaplamaları	126
Tablo 4.54 Seçim Probleminde Alt Kriterlerin Nihai Bulanık Ağırlıkları.....	127
Tablo 4.55 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi	128
Tablo 4.56 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri	129
Tablo 4.57 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi	129

Tablo 4.58 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri	130
Tablo 4.59 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi	131
Tablo 4.60 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri	131
Tablo 4.61 Seçim Probleminde Alternatiflerin Pozitif Uzaklık, Negatif Uzaklık ve Görelî Yakınlık Değerleri (Bulanık)	132
Tablo 4.62 Seçim Probleminde Alternatiflerin Sıralanması (Bulanık)	132
Tablo 4.63 Karar Vericilerin Seçim Probleminde Sezgisel Bulanık Uzmanlık Derecesi	133
Tablo 4.64 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlere Ait Sezgisel Bulanık z Sonuçları	133
Tablo 4.65 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Sezgisel Pozitif Skor Değerleri	134
Tablo 4.66 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Sezgisel Bulanık Ağırlık Hesaplamaları	134
Tablo 4.67 Seçim Probleminde Alt Kriterlerin Nihai Sezgisel Bulanık Ağırlıkları	135
Tablo 4.68 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi	136
Tablo 4.69 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi	137
Tablo 4.70 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi	137
Tablo 4.71 Seçim Probleminde Alternatiflerin Pozitif Uzaklık, Negatif Uzaklık ve Görelî Yakınlık Değerleri (Sezgisel Bulanık)	138
Tablo 4.72 Seçim Probleminde Alternatiflerin Sıralanması (Sezgisel Bulanık)	139
Tablo 4.73 Karar Vericilerin Seçim Probleminde Fermatean Bulanık Uzmanlık Derecesi	140
Tablo 4.74 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlere Ait Fermatean Bulanık z Sonuçları	140
Tablo 4.75 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Fermatean Skor Değerleri	141
Tablo 4.76 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Fermatean Bulanık Ağırlık Hesaplamaları	141
Tablo 4.77 Seçim Probleminde Alt Kriterlerin Nihai Fermatean Bulanık Ağırlıkları	142
Tablo 4.78 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi	143
Tablo 4.79 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi	144

Tablo 4.80 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi	145
Tablo 4.81 Seçim Probleminde Alternatiflerin Pozitif Uzaklık, Negatif Uzaklık ve Görelî Yakınlık Değerleri (Fermatean Bulanık)	146
Tablo 4.82 Seçim Probleminde Alternatiflerin Sıralanması (Fermatean Bulanık)	146
Tablo 4.83 Sıralama Probleminde Farklı Bulanık Kümelerin Karşılaştırılması	147
Tablo 4.84 Seçim Probleminde Farklı Bulanık Kümelerin Karşılaştırılması	149



Çok Kriterli Sıralama ve Seçim Problemleri için Fermatean Bulanık SWARA - TOPSIS Metodolojisi Önerisi

Hakan AYDOĞAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Vildan ÖZKIR

Bulanık küme teorisi, karar verme problemlerinde ve belirsizlikle karşılaşılan durumlarda kullanılan bir yaklaşımdır. Karmaşık karar problemlerine daha esnek bir bakış açısı sağlar. Bulanık küme teorisinin gelişmesi; karar problemlerinin karmaşıklaşması, karar vericilerin tereddütleri ve karar ortamındaki belirsizliklerle ilgilidir. Bu nedenle, bulanık küme teorisi belirsizliği temsil etmek için kullanılmaktadır. İlk kez üye olma, üye olmama ve belirsizlik derecelerini hesaba katan bulanık küme uzantısı sezgisel bulanık kümeler olmuştur. Ancak sezgisel bulanık kümelerin temsil edemediği durumlar için başka bulanık küme uzantıları da önerilmiştir. Bu çalışmada bulanık kümelerin yeni bir uzantısı olan Fermatean bulanık kümeler ele alınmıştır. Fermatean bulanık kümeler, belirsiz ortamlarda esnek derecelendirme yapısı sunarak karar vericinin insan mantığına daha yatkın kararlar vermesini sağlar. Bu çalışmada SWARA yöntemi ile kriterlerin ağırlıklandırılması, TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin sıralanmasını sağlayan bütünlük bir metodoloji önerilmiştir. Bu bütünlük yaklaşım bulanık, sezgisel bulanık ve Fermatean bulanık kümelerle genişletilerek iki gerçek vaka çalışmasında kullanılmıştır: İlk vakada bir sıralama problemi olarak Türkiye'deki Araştırma Üniversitelerinin performans değerlendirmesi yapılmıştır. İkinci vakada bir seçim problemi olarak taze

portakal suyu üretim tesisi için lokasyon seçimi yapılmıştır. İki vakada da sonuçlar farklı bulanık kümeler için karşılaştırmalı analizle incelenmiş ve bulgular ortaya konmuştur. Sonuç olarak önerilen metodolojinin karmaşık karma verme problemlerinde ve belirsizliğin yüksek olduğu durumlar için sonuçlarda oluşturduğu farklılıklar sayesinde etkili bir yaklaşım olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümeler, Fermatean bulanık kümeler, SWARA, TOPSIS.



Fermatean Fuzzy SWARA - TOPSIS Methodology Proposal for Multi-Criteria Ranking and Selection Problems

Hakan AYDOĞAN

Department of Industrial Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Vildan ÖZKIR

Fuzzy set theory is an approach used in decision-making problems and situations involving uncertainty. It provides a more flexible approach to complex decision problems. The development of fuzzy set theory is related to the increasing complexity of decision problems, hesitations of decision-makers, and uncertainties in the decision environment. Therefore, fuzzy set theory is used to represent uncertainty. intuitionistic fuzzy sets, which consider membership, non-membership, and degrees of uncertainty, were the first fuzzy set extensions. However, other fuzzy set extensions have been proposed for situations that intuitionistic fuzzy sets cannot represent. This study focuses on Fermatean fuzzy sets, a new extension of fuzzy sets. Fermatean fuzzy sets enable decision-makers to make more human-like decisions in uncertain environments by providing a flexible grading structure. In this study, an integrated methodology was proposed that combines SWARA technique for weighting criteria and TOPSIS technique for ranking alternatives. This integrated approach was extended using fuzzy, intuitionistic fuzzy, and Fermatean fuzzy sets and applied to two real case studies: the first case evaluated the performance of research universities in Turkey as a ranking problem, and the second case focused on the location selection of a fresh orange juice production

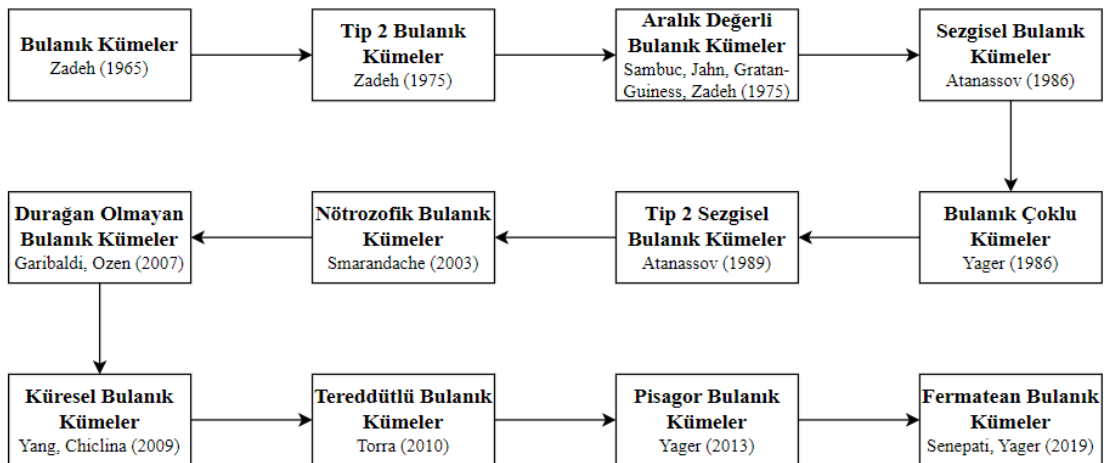
facility as a selection problem. In both cases, the results were compared and analyzed for different fuzzy sets, and the findings were presented. As a result, it has been seen that the proposed methodology is an effective approach in complex hashing problems and the differences in the results for situations with high uncertainty.

Keywords: Fuzzy sets, intuitionistic fuzzy sets, Fermatean fuzzy sets, SWARA, TOPSIS.



Bulanık küme teorisi, Zadeh [1] tarafından önerilmiştir. Bulanık kümelerin tanıtılmasından beri başta karar verme problemleri olmak üzere birçok konuda kullanılmıştır. Bulanık mantığın temeli bulanık düşünmeye dayanmaktadır ve belirsizliğin ifade edilmesinde önemli rol oynar [2]. Çok kriterli karar verme (MCDM) problemlerinde kesin sayıların aksine belirsizliği yönetmede dilsel terimlerin kullanılması ile insan düşünce yapısına yakın olması, bulanık kümelerin popülerliğini artırmıştır. Bulanık kümelerin, belirsizlik durumlarında matematiksel altyapıları sayesinde daha esnek sonuçlar vermesine rağmen değişen koşulların getirdiği kompleks belirsizliklerle baş edebilme konusunda yeterli olmadığı düşünülmüştür. Bu düşünce, farklı bulanık küme uzantılarının ve varyantlarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Karar vermedeki belirsizliğin çeşitli yönlerini yakalamak için bulanık kümelerin yeni uzantıları önerilmiştir. Önerilen bazı yaklaşımlar; tip 2 bulanık kümeler, aralık değerli bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümeler, nötrozofik bulanık kümeler ve küresel bulanık kümeler belirsizliği farklı yönlerden ele almak için geliştirilmiştir [3]. Gündoğdu ve Kahraman'ın [3] çalışmasından uyarlanarak bulanık küme uzantılarının gelişimi aşağıda Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Bulanık küme uzantıları

Bulanık sayıların aksine sadece üyelik derecesi barındırmayan, üye olmama ve belirsizlik derecesini de ele alan sezgisel bulanık kümeler (IFS) ilk kez 1986'da Atanassov [4]

tarafından tanıtılmıştır. Sezgisel bulanık küme teorisine göre üyelik fonksiyonu ile üye olmama fonksiyonunun toplamı 1'den küçük veya eşit olmak zorundadır [4]. Niteliğin üye olma ve üye olmama derecesi toplamı 1'den 0'a doğru yaklaşırken belirsizliği artmaktadır. Ancak karmaşıklaşan karar verme problemleri, daha esnek bulanık kümelerin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Üyelik ve üye olmama derecelerini daha esnek bir şekilde ifade edebilmek için Yager [5] q-rung orthopair bulanık kümeleri önermiştir. Bu öneriye göre üyelik ve üye olmama derecelerinin q. üssü toplamı 1'den küçük ve eşit olmalıdır. Bazı problemlerde üye olma ve üye olmama dereceleri toplamı 1'i aştığı için Yager [6] tarafından Pisagor bulanık kümeleri (PFS) tanıtılmıştır. Pisagor bulanık kümeler $q = 2$ durumunu temsil etmektedir. Pisagor bulanık kümelerinde üye olma derecesi ve üye olmama derecesi kareleri toplamı 1'den küçük veya eşit olmalıdır. Senapati ve Yager [7] $q = 3$ için Fermatean bulanık kümeleri (FFS) tanıtmıştır. Fermatean bulanık küme teorisine göre üyelik fonksiyonu ile üye olmama derecesi küplerinin toplamı 1'den küçük veya eşit olmak zorundadır [7]. Böylece daha geniş bir tanım uzayı ile belirsizliği yönetmek mümkün olmuştur.

SWARA (Kademeli Ağırlık Değerlendirme Oranı Analizi, ing: Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis), Keršulienė vd. [8] tarafından tanıtılmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan SWARA, ağırlıklandırma ve sıralama işlemini bir dizi orantısal hesap yaparak gerçekleştirmektedir. Kriter ağırlıklandırmada kolay ve etkili bir yöntem olması nedeniyle literatürdeki çalışmalarda sıkça karşılaşılmaktadır. TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Sıra Tercihi Tekniği, ing: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), Hwang ve Yoon [9] tarafından tanıtılmıştır. En popüler çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS, karar vericilere ait tercihlerin uzaklık ölçülerine göre belirlenmesini sağlamaktadır. Alternatifler ideal uzaklıklara yakınlıklarına göre sıralanmaktadır. Geometrik altyapısı sayesinde karar verme problemlerinde güvenilir sonuçlar üretmesi nedeniyle en çok kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olmuştur.

Bu çalışmada Fermatean bulanık kümeleri SWARA ve TOPSIS yöntemlerine entegre ederek yeni bir bulanık çok kriterli karar verme metodolojisi önerilmektedir. Önerilen metodolojinin performansını diğer bulanık küme varyantlarına göre incelemek farklı bulanık kümelere de entegrasyon yapılmıştır: klasik bulanık kümeler ve sezgisel bulanık kümeler. Sonrasında iki farklı gerçek vaka çalışması üzerinden önerilen metodolojiler uygulanmıştır. İlk vakada bir sıralama problemi olarak Türkiye'deki araştırma

üniversitelerinin performans değerlendirmesi yapılmıştır. İkinci vakada bir seçim problemi olarak taze portakal suyu üretimi yapacak bir tesis için lokasyon yeri seçimi yapılmıştır. Son olarak önerilen metodolojinin performansını değerlendirmek için klasik bulanık ve sezgisel bulanık kümelerle karşılaştırma analizi yapılmıştır.

Literatürde Fermatean bulanık kümeler genişletilmiş SWARA – TOPSIS metodolojisine ait bir çalışma bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu tez çalışmasının literatüre katkısı yeni bir bulanık çok kriterli karar verme metodolojisi olarak Fermatean bulanık kümelere dayalı SWARA – TOPSIS metodolojisinin önerilmesidir. Ayrıca bir başka katkısı diğer bulanık küme uzantılarıyla önerilen metodolojinin karşılaştırılmasının yapılmasıdır. Son olarak önerilen metodolojinin uygulanabilirliğini göstermek için yapılan sıralama (Türkiye’deki Araştırma Üniversitelerinin performans değerlendirmesi) ve seçim (taze portakal suyu üretim tesisi için lokasyon seçimi) uygulamaları, Fermatean bulanık kümelere dayalı SWARA – TOPSIS metodolojisine göre yapılan ilk çalışmalar olarak literatüre katkıda bulunmaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Bulanık kümeler ve uzantıları çok kriterli karar verme problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Belirsizliğin etkilerini hesaba katmak için ortaya atılan bulanık küme teorisi, problemlerin karmaşılaşması nedeniyle sürekli ilerlemektedir. Yeni çıkan uzantıların öncüllerine göre daha esnek sonuçlar vermesi beklenmektedir. Bu tez çalışmasında bulanık kümelerin etkinliğini göstermek için farklı bulanık küme uzantılarıyla genişletilmiş çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan SWARA ve TOPSIS metotlarıyla yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Bu bölümde bulanık, sezgisel bulanık ve Fermatean bulanık kümelerle genişletilmiş SWARA ve TOPSIS yaklaşımlarına ait literatür özeti sunulmuştur.

1.1.1 Bulanık Kümelerde Çok Kriterli Karar Verme Çalışmaları

Literatürde bulanık kümelerle genişletilmiş çok kriterli karar verme konusunda pek çok çalışma mevcuttur. Bu tez çalışmasında odaklanılan yöntemler arasında bulanık SWARA ve bulanık TOPSIS yöntemleri olduğu için literatürde bu konularda yer alan çalışmalar incelenmiştir. İncelenen çalışmalarda SWARA yönteminin, özellikle kriterlerin ağırlıklandırılmasında kullanıldığı için başka çok kriterli karar verme yöntemiyle birlikte kullanıldığı görülmektedir. Ele alınan çalışmalar detaylıca incelenmiş ve aşağıda verilmiştir.

Chu ve Lin [10] yapmış oldukları çalışmada, robot seçimi problemini ele almıştır. Çalışmalarında Liang ve Wang'ın önerdiği bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinden faydalanmışlardır. Bu yöntemin karar verme konusunda başarılı olmasına rağmen bazı kısıtlamaları olduğuna dikkat çekmişlerdir. Bahsettikleri kısıtlamaları çözebilmek için bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada, altı farklı robot modelini değerlendirmiş ve her bir robot modeli için performans değerlendirme kriterlerini belirlemişlerdir. Daha sonra, her kriterin önem derecesini ağırlıklandırmış ve her robot modeli için performans ölçütlerini hesaplamışlardır. Bu hesaplamayı bulanık TOPSIS yöntemini kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Bu yöntemle, her robot modelinin diğerleriyle karşılaştırıldığında görece olarak ne kadar iyi veya kötü performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak, bulanık TOPSIS yönteminin robot seçimi problemi için başarılı bir şekilde uygulandığını ileri sürmüşlerdir. Robot seçimi probleminde Liang ve Wang yönteminin kısıtlamalarını çözmek için, farklı kriterlerin önem ağırlıklarının ve farklı subjektif kriterler altındaki çeşitli alternatiflerin derecelendirilmesinde üçgen bulanık sayılarla temsil edilen dilsel terimlerle değerlendirildiği bir bulanık TOPSIS yöntemini önermişlerdir.

Hu vd. [11] yapmış oldukları çalışmada, bir dağıtım merkezinin konumunun seçimi için kullanılan geleneksel karar verme yöntemlerinin bazı dezavantajlarından bahsederek, bulanık TOPSIS yönteminin bu konuda daha etkili bir çözüm sunabileceğini iddia etmişlerdir. Yazarlar, bir dağıtım merkezinin en uygun konumunu belirlemek için bulanık TOPSIS yöntemini ayrıntılı olarak açıklamışlardır. Yöntem, konum seçiminde kullanılan kriterlerin belirlenmesi, bu kriterlerin bulanık dilimlerinin belirlenmesi, ağırlıkların belirlenmesi ve nihayetinde en uygun konumun seçilmesi aşamalarını içermektedir. Uygulamada bir dağıtım merkezinin konumunun seçimi ile ilgili gerçek bir örnek olay göstermişlerdir. Bu örnek, bir bölgesel dağıtım merkezinin konum seçimini ele almaktadır. Yazarlar makalede örnek durumda kullanılan kriterleri, bu kriterlerin bulanık dilimlerini ve ağırlıklarını ayrıntılı olarak açıklamışlardır. Son olarak, bulanık TOPSIS yöntemini kullanılarak en uygun konum seçimini yapmışlardır. Yapılan analiz sonucunda bulanık TOPSIS yönteminin geleneksel TOPSIS yöntemine göre daha etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymuşlardır.

Agarwal vd. [12] yapmış oldukları çalışmada, insani yardım tedarik zinciri yönetimindeki engelleri aşmak için bir hibrid bulanık SWARA - bulanık WASPAS yaklaşımının değerlendirilmesini önermişlerdir. Makalede insani yardım tedarik zinciri yönetiminde

karşılaşılan en yaygın engeller arasında lojistik, ulaşım, haberleşme, koordinasyon ve mali kaynaklar gibi faktörler yer almaktadır. Bu engellerin üstesinden gelmek için önerilen çözümlerin etkililiğini değerlendirmek amacıyla, bulanık SWARA ve bulanık WASPAS yöntemlerini bir araya getirerek bütünlüklük bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşıma göre, önce problem faktörleri ve alt faktörleri belirlemekte kullanılan bulanık SWARA yöntemini kullanmışlardır. Daha sonra, bulanık WASPAS yöntemini, faktörlerin etkililiğini ölçmek için kullanmışlardır. Ayrıca yöntemin etkisini göstermek için bir vaka çalışması yapmışlardır. Vaka çalışması olarak Nepal'de 2015 yılında gerçekleşen depreminin ardından ortaya çıkan insani yardım tedarik zinciri yönetimi sorunlarını ele almışlardır. Analiz sonucunda, bütünlüklük yaklaşımın ve alternatif çözümlerin etkililiğini objektif olarak değerlendirmek için kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak, insani yardım tedarik zinciri yönetimindeki engelleri aşmak için kullanılabilecek bir bulanık SWARA - bulanık WASPAS yaklaşımı sunmuşlardır. Bütünlüklük yaklaşımın, alternatif çözümlerin etkililiğini objektif olarak değerlendirmede kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Chu [13] yapmış olduğu çalışmada, bulanık TOPSIS yaklaşımını kullanarak bir fabrikanın en uygun yerini seçmeyi ele almıştır. Bu çalışmada daha önce yapılmış çalışmalardan yararlanarak bulanık sayıların aritmetik işlemlerinden yararlanmıştır. Farklı potansiyel lokasyonları incelemiş ve her bir lokasyonun tüm faktörlere göre performansını değerlendirmiştir. Daha sonra, bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak her lokasyonun genel performansını saptamıştır. Sonuç olarak en uygun lokasyonun, diğerk lokasyonlara kıyasla daha iyi performans gösterdiğini sunmuştur.

Ran vd. [14] yapmış oldukları çalışmada, çok kriterli karar verme problemlerinde olan bulanık TOPSIS metodunu ele almışlardır. Öncelikle TOPSIS yönteminin temel prensipleri ile klasik TOPSIS yöntemini belirtmişlerdir. Daha sonra, bulanık küme teorisinin temel kavramlarını açıklayan ve bulanık TOPSIS yöntemini içeren çalışmalardan bahsetmişlerdir. Ardından bulanık TOPSIS yöntemini detaylıca açıklamışlardır. Bulanık TOPSIS yöntemi, TOPSIS yöntemine benzer olarak, alternatiflerin sıralanmasını sağlamak için pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm arasındaki uzaklığı ölçmektedir. Ancak bulanık TOPSIS yöntemi, alternatiflerin bulanık sayılarla tanımlanmasını ve kriterlerin bulanık sayılar olarak ifade edilmesi sayesinde belirsizlikle daha iyi başa çıkmasını önermektedir. Yazarlar, bulanık TOPSIS yönteminin uygulanması için adımları göstermişlerdir. Önerilen yöntemi uygulamak için örnek bir

olay ile sayısal analizlerini göstermişlerdir. Sonuç olarak, bulanık TOPSIS yönteminin diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymuşlardır.

Eghbali-Zarch vd. [15] yapmış oldukları çalışmada, tip 2 diyabet hastalarının tedavilerinin seçiminde kullanılabilecek karar verme yöntemlerini incelemişlerdir. Bu amaçla, SWARA ve modifiye edilmiş MULTIMOORA yöntemlerini, belirsizliğin var olduğu bir ortamda kullanmışlardır. Çalışmada, diyabet hastalarının tedavisi için beş farklı ilaç grubunun SWARA yöntemi kullanılarak değerlendirilmesini yapmışlardır. SWARA yönteminin, kriter ağırlıklarının belirlenmesi için kullanılabilir olduğunu söylemişlerdir. Modifiye edilmiş MULTIMOORA yöntemi, SWARA yöntemiyle elde edilen sonuçların daha ayrıntılı bir analizini yapmak için kullanılmıştır. Yazarlar makalede uygulanan yöntemlerin etkililiğini değerlendirmek için gerçek bir vaka çalışması ortaya koymuşlardır. SWARA ve modifiye edilmiş MULTIMOORA yöntemlerini kullanarak elde edilen sonuçları karşılaştırmış, en iyi ilaç grubu ve hangi faktörlerin seçimde daha önemli olduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak, tip 2 diyabet hastalarının tedavisinde SWARA ve modifiye edilmiş MULTIMOORA yöntemlerinin kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır. Bu yaklaşımla, belirsizliklerin hesaba katıldığı durumlarda etkili bir karar verme aracı olarak kullanılabileceğini önermişlerdir.

Zarbakshshnia vd. [16] yapmış oldukları çalışmada, sürdürülebilir üçüncü taraf ters lojistik sağlayıcılarının seçimini ele almışlardır. Bu amaçla, bulanık SWARA ve geliştirilmiş bulanık COPRAS yöntemleri kullanılarak seçim problemini çözmüşlerdir. Ayrıca yazarlar risk kriterlerini de göz önünde bulundurularak yapmış oldukları değerlendirmelere yer vermişlerdir. SWARA yöntemini kullanarak kriterlerin ağırlıklarını hesaplamışlardır. Sonrasında COPRAS yöntemi ile sürdürülebilir üçüncü taraf ters lojistik sağlayıcılarının seçimini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, sürdürülebilir üçüncü taraf ters lojistik sağlayıcılarının seçimini gerçekleştirmek için bulanık ortamda SWARA ve geliştirilmiş COPRAS yöntemleri başarıyla bir araya getirmiş, risk faktörlerini de hesaba katarak daha doğru ve etkili bir seçim süreci sağlamışlardır.

Yong [17] yapmış olduğu çalışmada, tesis yeri seçiminin maliyetleri düşürmede ve kaynak kullanımını artırmada önemli etkileri olan bir problem olduğunu söylemiştir. TOPSIS yönteminde pozitif ideal çözüm ile negatif ideal çözüm arasındaki mesafeyi belirlemenin zahmetli olduğunu ileri sürmüştür. Bulanık karar verme problemlerinde bu

sorunları ortadan kaldırmak için yeni bir bulanık TOPSIS yaklaşımı önermiştir. Bu yöntemde, her bir alternatifi derecelendirmesi ve her bir kriterin ağırlıklarını üçgen bulanık sayı olarak gösterilebildiği bir yaklaşım önermiştir. Derecelendirme ve ağırlıkların çarpılmasının sonuçlarını, üçgen bulanık sayılar üzerinde çarpma işleminin gösterimi ile net sayılar olarak hesaplamıştır. Daha sonra bulanık sayılar sıralanmadan bulanık pozitif ideal çözümü ve bulanık negatif ideal çözümü basit bir şekilde belirtmiştir. Yazar, pozitif ideal çözüm ile negatif ideal çözüm arasındaki mesafenin kolayca hesaplanmasıyla önerilen yöntemin mevcut yöntemlere göre daha verimli olduğunu söylemiştir.

Dymova vd. [18] yapmış oldukları çalışmada, TOPSIS yönteminin temelleri ve özelliklerini açıklamış ve daha sonra yöntemin matematiksel modeli ve aşamalarını detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Çalışmada, bulanık sayılarda ve belirsizliği içeren durumlarda Tip 2 bulanık kümeleriyle sentezlenen bir yöntem sunmuşlardır. Bu yöntemin, her alternatif ve her kriter için bir değerlendirme yapmaya gerek olan durumlarda kullanılabilir olduğunu söylemişlerdir. Bulanık TOPSIS yönteminin doğru bir şekilde uygulanması için gerekli olan adımları göstermişlerdir. Bu adımlar kriterlerin belirlenmesi, verilerin normalleştirilmesi, ağırlıklandırma faktörlerinin hesaplanması ve alternatiflerin sıralanmasını içermektedir. Önerilen yöntemin uygulamasını sayısal bir analiz ile göstermişlerdir. Sonuç olarak önerilen yöntemin belirsiz durumlarda daha net sonuçlar elde edilebileceğini göstermişlerdir.

Mayyas vd. [19] yapmış oldukları çalışmada, otomobil gövde paneli için ekolojik malzeme seçimini ele almışlardır. Bu çalışmada karar vericilerin karşılaştığı belirsizliklerin çözümünü ön planda tutmuş ve bulanık TOPSIS yöntemini önermişlerdir. Çalışmada öncelikle ekolojik malzemelerin önemine yer vermişlerdir. Bu malzemelerin kullanımının çevre dostu bir yaklaşım olduğu ve sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağladığını belirtmişlerdir. Bulanık TOPSIS yönteminin temel prensipleri ve bu yöntemin ekolojik malzeme seçimi probleminde nasıl kullanılabileceğini anlatmışlardır. Yazarlar, karar vericiler tarafından belirlenen kriterlerin listesini vererek bu kriterlere göre alternatif malzemelerin değerlendirmesini sağlamışlardır. Önerilen yöntemin geçerliliğini diğer karar verme yöntemleri ile kıyaslayarak ortaya koymuşlardır.

Sohaib ve Naderpour [20] yapmış oldukları çalışmada, bulanık TOPSIS yönteminin kullanıldığı ve e-ticaret işletmelerinin bulut bilişim teknolojilerini kabul etmeye yönelik bir problemten bahsetmişlerdir. Yazarlar, veri setinin önceliklerini belirlemek için bir

anket çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bulanık sayıların özelliklerinden bahsederek çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS yöntemine uyarlamışlardır. Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak her bulut bilişim sağlayıcısı için performans skorlarını hesaplamışlardır. Bu skorlar daha sonra her sağlayıcının sıralanması için kullanılmıştır. Önerilen modelin; e-ticaret işletmelerine, onların ihtiyaçlarına en uygun bulut bilişim sağlayıcısını seçmede yardımcı olabileceğini öne sürmüşlerdir. Ayrıca bu çalışma ile bulanık TOPSIS yönteminin, karar vericilere belirli bir durumda en iyi seçeneği seçmelerine yardımcı olmak için kullanılabileceğini de göstermişlerdir.

Aşağıda Tablo 1.1’de literatür özeti için bulanık kümelerde incelenen çalışmalarda hangi yöntemlerin kullanıldığı gösterilmiştir.

Tablo 1.1 Bulanık Karar Verme Yöntemleri ile Yapılan Bazı Çalışmalar

Yazar(lar)	Yıl	F COPRAS	F MULTIMOORA	F SWARA	F TOPSIS	F WASPAS
Chu	2002				☑	
Chu ve Lin	2003				☑	
Yong	2006				☑	
Ran vd.	2008				☑	
Hu vd.	2009				☑	
Dymova vd	2013				☑	
Mayyas vd.	2016				☑	
Sohaib ve Naderpour	2017				☑	
Zarbakhshnia vd.	2018	☑		☑		
Eghbali-Zarch vd.	2018		☑	☑		
Agarwal vd.	2020			☑		☑

1.1.2 Sezgisel Bulanık Kümelerde Çok Kriterli Karar Verme Çalışmaları

Literatürde sezgisel bulanık kümelerle genişletilmiş çok kriterli karar verme konusunda birçok çalışma mevcuttur. Bu tez çalışmasında odaklanılan yöntemler arasında sezgisel bulanık SWARA ve sezgisel bulanık TOPSIS yöntemleri olduğu için literatürde bu konularda yer alan çalışmalar incelenmiştir. Sezgisel bulanık kümeler, belirsizlik derecesini ilk kez ele alan bulanık küme uzantısı olduğu için önemlidir. Ele alınan çalışmalar detaylıca incelenmiş ve aşağıda verilmiştir.

Ning ve Wang [21] yapmış oldukları çalışmada, sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak inşaat sahası düzeni değerlendirme yapmışlardır. İnşaat sahasının özellikleri nedeniyle, belirsizlikler, eksik bilgi ve yargılarla karşılaşılabilindiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, sezgisel bulanık TOPSIS yöntemini belirsizlik ve tereddüt faktörlerini hesaba kattığı için inşaat sahası düzeni değerlendirme problemlerini çözmek için kullanmışlardır. Bu yöntem, sezgisel bulanık küme teorisi ve TOPSIS yönteminin bir bütün olarak kullanılmasını göstermektedir. Sezgisel bulanık küme teorisi, küme elemanlarının ait olma derecesinin yanı sıra ait olmama derecesini de hesaba katmaktadır. Bu sayede makalede, belirsizliğin daha iyi ele alınabildiğinden bahsedilmiştir. TOPSIS yöntemi alternatiflerin farklı kriterler açısından performanslarını ölçüp ve en iyi alternatifleri seçmeye yardımcı olmaktadır. Uygulama kısmında, bir inşaat şirketinin sahasının düzeni sezgisel bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada sezgisel bulanık küme teorisi kullanılarak, alternatiflerin performanslarını hesaplamış ve en iyi alternatifleri sıralamışlardır. Sonuç olarak; sezgisel bulanık TOPSIS yöntemini kullanılarak elde edilen sonuçların, diğer yöntemlere kıyasla daha doğru olduğunu belirtmişlerdir. Bu yöntemin; belirsizlik ve tereddüt faktörlerini hesaba katarak, inşaat sahası düzeni değerlendirme problemini daha doğru bir şekilde çözmeye yardımcı olabileceğini belirtmişlerdir.

Mahdiraji vd. [22] yapmış oldukları çalışmada, bir otomotiv sanayi örneği üzerinden genişletilmiş bir SWARA yöntemi ile üretim stratejilerinin oluşturulmasını amaçlamaktadırlar. Sezgisel bulanık sayılar ve SWARA yöntemini kullanarak, imalat stratejilerinin belirlenmesindeki belirsizlikleri ele almak ve çözmek için yöntem önermişlerdir. Ardından, otomotiv sektöründeki bir şirket için önerilen yöntemi uygulama üzerinde göstermişlerdir. Şirketin üretim hedeflerinin belirlenmesinde, sezgisel bulanık SWARA yöntemini kullanarak karar vericilerin belirsizliğini belirtmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, yöntemin belirsizlik içeren durumlarda kullanılabilmesi ve özellikle

Üretim stratejileri gibi karmaşık kararların alınmasında etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak SWARA yönteminde sezgisel bulanık sayıları kullanarak oluşturulan sezgisel bulanık SWARA yönteminin imalat sektöründe üretim stratejilerinin oluşturulmasında etkili sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Shen vd. [23] yapmış oldukları çalışmada, kredi riski değerlendirmesi için yeni bir uzaklık ölçüsüne dayalı bir genişletilmiş bir sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi önermişlerdir. Bu yöntemi, her kredi riski faktörü için farklı ağırlık değerleri kullanarak, her bir müşterinin kredi riskinin değerlendirilmesinde kullanmışlardır. Yazarlar, sezgisel bulanık kümeleri kullanarak, kredi riski faktörlerinin belirsizlikleri ile başa çıkmayı hedeflemişlerdir. Önerilen yöntemle, önce her bir kredi riski faktörü için ağırlıklandırma faktörlerini bulmak adına bir girdi çıktı analizi yapmışlardır. Ardından, bulunan ağırlıklandırma faktörlerini kullanarak, her müşteri için sezgisel bulanık TOPSIS yöntemini uygulamışlardır. Yöntemin uygulanmasında, 100 müşteri rneği kullanmış, yöntemin etkililiği ve doğruluğunu değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin diğer benzer yöntemlere göre daha etkili ve doğru olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, sezgisel bulanık sayılar ve TOPSIS yönteminin birleştirilmesiyle kredi riski değerlendirmesi için yeni bir yöntem ortaya koymuşlardır. Bu yöntemin kredi riski faktörlerinin belirsizliğini ve her faktörün farklı önem düzeylerini dikkate alarak, kredi riski değerlendirmesi yapmak için faydalı bir araç olabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Ervural vd. [24] yapmış oldukları çalışmada, grup karar verme problemleri için yeni bir yöntem olan sezgisel bulanık TOPSIS yöntemini tanıtımışlardır. Makalede, öncelikle sezgisel bulanık TOPSIS yöntemini tanıtımış ve daha sonra bu yöntemin grup karar verme problemleri için genişletilmiş bir versiyonunu önermişlerdir. Bu genişletilmiş yöntemin, farklı uzmanların farklı derecelerde bilgi sahibi olduğu durumlarda kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir. Yöntemin uygulanması için öncelikle uzmanların tercihlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu tercihler sezgisel bulanık sayılar kullanarak ifade edilebilmektedir. Daha sonra, her uzmanın tercihleri arasındaki tutarsızlıkları belirlemiş ve tercihlerin ağırlıklarını hesaplamışlardır. Son olarak, TOPSIS yöntemi kullanarak alternatifleri sıralamışlardır. Makalede, sezgisel bulanık TOPSIS yönteminin özellikle grup karar verme problemlerinde kullanımının avantajlarını vurgulamış ve yöntemin diğer benzer yöntemlere göre daha etkili olduğunu öne sürmüşlerdir.

Roszkowska vd. [25] yapmış oldukları çalışmada, geleneksel TOPSIS yöntemiyle karşılaştırıldığında daha esnek bir çözüm sunan sezgisel bulanık TOPSIS yöntemini

kullanarak anket verilerine dayalı sosyoekonomik olguların değerlendirilmesini ele almışlardır. Makalede, özellikle iki farklı değerlendirme senaryosu üzerinde durmuşlardır. İlk senaryoda, Polonya'nın altı farklı bölgesindeki yerel kalkınma konularında yerel yöneticiler tarafından verilen anketleri kullanarak sezgisel bulanık TOPSIS yöntemiyle performans ölçütlerini belirlemişlerdir. İkinci senaryoda ise, Polonya'nın küçük bir şehrindeki vatandaşların sağlık durumları hakkındaki anket verilerini kullanarak, sezgisel bulanık TOPSIS yöntemiyle sağlık koşullarının değerlendirilmesini gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, sezgisel bulanık TOPSIS yönteminin geleneksel TOPSIS yönteminden daha esnek ve doğru bir çözüm sunduğunu göstermiştir. Bu nedenle, sosyoekonomik olguların değerlendirilmesinde sezgisel bulanık TOPSIS yönteminin kullanımı, özellikle anket verilerinin çok boyutlu ve belirsiz olduğu durumlarda yararlı olduğunu belirtmişlerdir.

Mishra vd. [26] yapmış oldukları çalışmada, biyoenerji üretim sürecinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için çok kriterli karar verme yöntemi olan sezgisel bulanık SWARA-COPRAS yaklaşımını önermişlerdir. Yazarlar biyoenerji üretim sürecinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için kullanabileceği kriterleri belirlemişlerdir. Bu kriterler çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları kapsayan bir dizi karmaşık faktörü içermektedir. Sezgisel bulanık SWARA-COPRAS yaklaşımını, sürdürülebilirlik kriterlerini değerlendirmek için kullanmışlardır. Makalede önerilen sezgisel bulanık SWARA-COPRAS yöntemi, sezgisel bulanık SWARA ve sezgisel bulanık COPRAS yöntemlerinin birleştirilmesiyle oluşmaktadır. Bu yöntem, çelişkili bilgilerin ele alınmasına izin veren sezgisel bulanık sayıları kullanarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sezgisel bulanık SWARA-COPRAS yönteminin kullanımıyla biyoenerji üretim sürecinin sürdürülebilirliği için farklı senaryoların nasıl analiz edilebileceğini de göstermişlerdir. Sonuç olarak bu yöntemin biyoenerji üretimi için sürdürülebilirliğin değerlendirilmesinde kullanılabileceğini ve farklı senaryoların analizinde faydalı bir araç olabileceğini ortaya koymuşlardır.

Solanki vd. [27] yapmış oldukları çalışmada, bir tedarikçi seçimi probleminin çözümünde kullanılan korelasyon tabanlı bir sezgisel bulanık TOPSIS yöntemini açıklamışlardır. Yazarlar, tedarikçi seçimi probleminin çözümü için kullanılabilecek farklı yöntemleri belirtmişlerdir. Bununla birlikte problemi çözmek için korelasyon matrisi kullanarak bir sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi önermişlerdir. Bu yöntemde, önce tedarikçilerin özelliklerini temsil eden sezgisel bulanık değerleri hesaplanmış ve sonra tedarikçilerin

performansını karşılaştırmak için bir korelasyon matrisi oluşturmuşlardır. Ardından korelasyon matrisindeki korelasyon katsayılarına dayanarak ağırlıkları hesaplamışlardır. Bu hesaplama, korelasyon katsayılarına dayanan bir çift yönlü bulanık mantık işlemi kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra, ağırlıklar kullanılarak, her tedarikçinin performansını ölçmek için bir TOPSIS matrisi oluşturmuşlardır. Sonuç olarak önerilen korelasyon tabanlı sezgisel bulanık TOPSIS yönteminin, tedarikçi seçimi problemi için etkili bir çözüm yöntemi olduğunu söylemişlerdir.

Li ve Chen [28] yapmış oldukları çalışmada, grup karar verme sürecinde kullanılan TOPSIS yönteminin olasılık teorisi ve yamuk sezgisel bulanık sayılar ile genişletilmesini önermişlerdir. Bu yöntem ile belirsizlik, öznellik ve ikilem durumları gibi faktörlerin dikkate alınmasına olanak tanındığını söylemişlerdir. Öncelikle TOPSIS yöntemi ve yamuk sezgisel bulanık sayılar hakkında genel bir açıklamaya yer vermişlerdir. Sonrasında olasılık teorisi ile ilgili temel kavramları ve uygulama alanlarını açıklamışlardır. Olasılık teorisi insanların risk ve belirsizlik altındaki karar verme davranışını modellemek için kullanılan bir psikolojik teoridir. Ardından yamuk sezgisel bulanık sayılar ve bu sayıların ölçeklendirilmesi ve ağırlıklandırılması için kullanılan yöntemleri belirtmişlerdir. Önerilen yöntem; TOPSIS yöntemi ile aynı adımlara sahip ancak ağırlıklandırma işlemini olasılık teorisi ile modellenmiş yamuk sezgisel bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, yamuk sezgisel bulanık sayılar ve olasılık teorisi ile genişletilmiş TOPSIS yöntemi ile grup karar verme sürecinde daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilebileceğini öne sürmüşlerdir.

Yu ve Zhang [29] yapmış oldukları çalışmada, TOPSIS yönteminin karar verme problemlerinde kullanımını yaygınlaştırmayı amaçlayan bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu amaçla, yamuk sezgisel bulanık sayılar ile yönlendirilen bir TOPSIS yöntemi önermişlerdir. İlk olarak yamuk sezgisel bulanık sayıların özelliklerini göz önünde bulundurarak, ölçeklendirme ağırlıklarını hesaplamışlardır. İkinci olarak, her kriterin kıyaslanması için bir karar matrisi oluşturmuş ve ardından ağırlıklarla çarpmışlardır. Daha sonra, her kriterin her bir özelliği için toplam öznitelikli katsayıları hesaplamışlardır. Son olarak, ortalama iki ayrı katsayı vektörü hesaplamışlardır: çok iyi sonuçlar için ve çok kötü sonuçlar için. Bu iki vektör arasındaki mesafeyi, her kriterin önceliğini hesaplamak için kullanmışlardır. Ayrıca yöntemin etkinliğini göstermek için bir örnek uygulama da yapmışlardır. Bu uygulamayı, bir proje seçimi probleminde kullanmış ve sonuçlar yöntemin kullanılabilirliğini doğrulamıştır. Sonuç olarak önerilen

TOPSIS yöntemini, çok kriterli karar verme problemlerinde kullanılan yamuk sezgisel bulanık sayıların özelliklerini dikkate alarak etkin bir çözümleme yöntemi olarak önermişlerdir.

Dammak vd. [30] yapmış oldukları çalışmada, çeşitli karar verme problemleri için aralık değerli sezgisel bulanık ağırlık tekniklerinin (IVIFWT), TOPSIS yöntemi ile kullanılmasını önermişlerdir. IVIFWT, ağırlık belirleme sürecinde kullanılan tüm faktörleri karar vericilerin önyargıları ve belirsizlikleri ile ele alabilen ve bu faktörlerin ilişkilerini hesaba katan bir tekniktir. Yazarlar, IVIFWT kullanarak TOPSIS yöntemi için yeni bir ağırlık belirleme yöntemi önermişlerdir. Bu yöntem, ağırlıkları doğrudan belirleme yerine, öncelik sıralarını kullanarak ağırlıkların belirlenmesine dayanmaktadır. Öncelik sıraları, karar vericilerin tercihleri ve ağırlıklar arasındaki dengeyi hesaba katan bir yöntemdir. Yöntemin etkililiğini test etmek için, bir hastane seçimi problemi kullanılarak kıyaslama analizi yapmışlardır. Sonuçlar, IVIFWT-TOPSIS yönteminin diğer yöntemlere kıyasla daha doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir. Makalede, karar verme problemlerinde IVIFWT-TOPSIS yönteminin kullanımını önererek, bu yöntemin diğer yöntemlere göre daha etkili olduğu ve karar vericilerin önyargıları ile belirsizlikleri daha iyi ele aldığını belirtmişlerdir

Abdullah vd. [31] yapmış oldukları çalışmada, sel yönetiminde çok kriterli karar verme problemlerini çözmek için aralık değerli sezgisel bulanık TOPSIS yöntemini önermişlerdir. Makalede, sel yönetiminde kullanılan bir dizi önlemin etkililiğinin belirlenmesi için bir karar verme modeli tasarlamışlardır. Ele alınan problem için önce kriterlerin belirlenmesi ve ağırlıklarının atanması gerektiğini belirtmişlerdir. Kriterlerin belirlenmesi için uzman görüşlerine başvurmuşlardır. Ağırlıkların atanmasını ise, bulanık analitik hiyerarşi süreci (FAHP) yöntemi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Aralık değerli sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak alternatif önlemlerin sıralamasını gerçekleştirmişlerdir. Bu yöntem, her alternatifin her kriter için aralık değerli sezgisel bulanık sayılarla temsil edildiği bir çerçeve kullanmaktadır. Daha sonra, her kriterin pozitif ve negatif ideal değerlerini belirleyerek alternatiflerin bu ideal değerlere olan yakınlıklarını hesaplamışlardır. Alternatifleri, bu hesaplama sonucuna göre sıralamışlardır. Yazarlar, yöntemin uygulanabilirliğini göstermek için bir örnek olay çalışması sunmuşlardır. Bu çalışmada, Tayland'da sel yönetimi için bir dizi alternatif önlemini değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, yöntemin etkili ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Tiwari vd. [32] yapmış oldukları çalışmada, tedarikçi seçim probleminin çözümünde aralık değerli sezgisel bulanık sayılar ile TOPSIS yönteminin birleştirilmesiyle oluşan yeni bir yöntemi sunmuşlardır. Yeni yöntem; tedarikçi seçimindeki karar vericilerin subjektif fikirlerini ve belirsizliği hesaba katarak, tedarikçileri kriterler bazında değerlendirmelerine olanak sağlamıştır. Makalede yazarlar önce aralık değerli sezgisel bulanık sayıları tanımlamış ve temel işlemleri hakkında bilgi vermişlerdir. Daha sonra TOPSIS yöntemi ve aralık değerli sezgisel bulanık sayıların birleştirilmesiyle oluşan yeni yöntemi ayrıntılı olarak açıklamışlardır. Son olarak yeni yöntemi bir örnek üzerinde uygulayarak etkinliğini göstermişlerdir. Sonuç olarak aralık değerli sezgisel bulanık sayılar ile TOPSIS yönteminin birleştirilmesinin tedarikçi seçimi gibi karmaşık ve belirsiz karar verme problemlerinde kullanışlı olabileceğini ortaya koymuşlardır.

Rouyendegh vd. [33] yapmış oldukları çalışmada, perakende sektörü performansının değerlendirilmesi için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Bu amaçla, sezgisel bulanık TOPSIS ve Veri Zarflama Analizi (DEA) yöntemlerini entegre ederek perakende sektörü performansının ölçülmesi ve değerlendirilmesini gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar, performans değerlendirme modeli oluşturmak için öncelikle performans göstergelerini ortaya koymuşlardır. Bu göstergeler için ağırlıkların hesaplanmasını sağlamışlardır. Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemiyle, bu ağırlıkları kullanarak her bir perakende şirketinin performansını ölçmüş ve derecelendirmişlerdir. Ancak tek bir yöntem kullanmak yerine, DEA yöntemini de kullanılarak elde edilen sonuçların etkinliğini göstermişlerdir. Sezgisel bulanık TOPSIS ve DEA yöntemlerini entegre ettikleri için, her iki yöntemin avantajlarından yararlanarak daha doğru sonuçlar elde etmenin mümkün olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca ölçümlerindeki belirsizlik de hesaba katıldığı için sonuçları daha gerçekçi bir şekilde değerlendirmişlerdir. Bu nedenle, perakende sektörü performansının değerlendirilmesi için sezgisel bulanık TOPSIS ve DEA yöntemlerinin birleştirildiği bu metodolojinin, işletmelerin performansını ölçmek isteyen araştırmacılar için faydalı bir yaklaşım olabileceğini söylemişlerdir.

Liu vd. [34] yapmış oldukları çalışmada, sezgisel bulanık küme teorisini kullanarak başarısızlık modu ve etkileri analizinin (FMEA) çok kriterli karar verme sorununa uyarlanması için yeni bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri sezgisel bulanık TOPSIS, TOPSIS yöntemine dayanmaktadır ve AHP ile FMEA'nın birleşimi olarak gösterilmiştir. AHP yöntemi ile, uzmanların kriterler arasındaki ilişkiyi değerlendirmiş ve ağırlıklarını belirlemişlerdir. Bu ağırlıkları, sezgisel bulanık TOPSIS yöntemiyle birlikte kullanılmak

üzere elde etmişlerdir. Ardından sezgisel bulanık TOPSIS yöntemini kullanmış, her başarısızlık modunun etkilerinin değerlendirilmesi için bir sıralama yapmışlardır. Makalede, önerilen yöntemin etkililiğini göstermek için bir örnek olay çalışması sunmuşlardır. Bu çalışmada, elektrikli araçların batarya paketlerindeki hata modu ve etkilerini incelemişlerdir. Uzmanların katılımıyla belirlenen kriterler ve aralarındaki ilişkileri değerlendirmiş ve ağırlıkları belirlemişlerdir. Sonuçlar, önerilen yöntemin diğer benzer yöntemlere göre daha etkili olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, sezgisel bulanık küme teorisi ve TOPSIS yöntemini birleştirerek, MCDM problemlerinde kullanılabilecek yeni bir yöntemi ortaya koymuşlardır. Bu yöntemin özellikle karmaşık ve belirsiz karar verme problemleri için uygun olduğu ve diğer benzer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha etkili sonuçlar üretebileceğini söylemişlerdir.

Wood [35] yapmış olduğu çalışmada, petrokimya endüstrisi tedarikçi seçimi için çok kriterli karar verme tekniklerinden bulanık ve sezgisel bulanık TOPSIS ile esnek entropi ağırlıklarının uygulanması için yeni bir yöntem önermiştir. Yazar, petrokimya sektöründe bir projenin geliştirilmesi için gereken malzemelerin satın alınması aşamasında, tedarikçi seçimi problemini incelemiştir. Bu problemde birden fazla kriterin dikkate alınması gerektiğinden, çok kriterli karar verme teknikleri ile ele alınmıştır. Bulanık ve sezgisel bulanık TOPSIS yöntemlerini uygulamıştır. Esnek entropi ağırlıkları yöntemini, kriterlerin önem derecelerini belirlemek için kullanmıştır. Bu yöntem, kriterlerin birbirleriyle olan ilişkilerini de dikkate alarak, ağırlıkların esnek olmasını sağlamaktadır. Bu sayede, farklı senaryolarda farklı ağırlıklar kullanılabilmektedir. Makalede, bir örnek olay üzerinden uygulama yaparak sonuçları ortaya koymuştur. Uygulamada, farklı kriter ağırlıklarını kullanarak elde edilen sonuçların farklılıklarını göstermiştir. Ayrıca farklı yöntemlerin sonuçlarını da karşılaştırmıştır. Sonuç olarak esnek entropi ağırlıklarının kullanılmasının, tedarikçi seçimi problemine yönelik karar verme sürecinde daha etkili bir yaklaşım olduğunu belirtmiştir.

Zhang vd. [36] yapmış oldukları çalışmada, dinamik bir ajan değerlendirme modeli geliştirmek için sezgisel bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Dinamik ajan değerlendirmesi, ajanların performanslarının sürekli olarak ölçüldüğü bir durumu ifade eder. Bu makalede yazarlar, ajan performanslarını belirleyen birden fazla kriterin varlığını göz önüne aldığında, sezgisel bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak ajanların performanslarının değerlendirmesi için bir yöntem sunmuşlardır. Makalede sezgisel bulanık TOPSIS yöntemini önceki çalışmalardan farklı olarak, yeni bir ağırlıklandırma

faktörü kullanılarak geliştirmişlerdir. Bu faktör, ajan performansını hesaplamak için kullanılan kriterlerin önem derecesine göre ayarlanmıştır. Ayrıca dinamik ajan değerlendirme modeli geliştirmek için bir sıralama sistemi önermişlerdir. Bu sıralama sistemi ajanların performansını takip etmek için kullanılabilecek bir araçtır. Sonuç olarak, sezgisel bulanık TOPSIS yönteminin dinamik ajan değerlendirmesi için kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır. Bu yöntemin; ajanların performanslarının sürekli olarak ölçüldüğü ve değişken olduğu durumlarda, ajanların performanslarının değerlendirilmesi için etkili bir yöntem olarak kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Garg vd. [37] yapmış oldukları çalışmada, kurumsal kaynak planlama (ERP) yazılımı seçimi için karmaşık bir sezgisel bulanık yumuşak SWARA-COPRAS yaklaşımı önermişlerdir. Bu yöntem, dezavantajlarının yanı sıra SWARA ve COPRAS yöntemlerinin avantajlarını da içermektedir. Yaklaşım, AHP yöntemine dayanan SWARA yönteminin dezavantajlarını ele almaktadır. Bu yöntem, farklı faktörlerin önemlerinin belirlenmesinde uzmanların subjektif fikirlerine bağımlıdır ve çelişkili sonuçlar üretebilmektedir. Bu nedenle, bu makalede, SWARA yöntemi yerine karmaşık sezgisel bulanık SWARA (CIFS-SWARA) yöntemini kullanmışlardır. COPRAS yöntemi, SWARA yönteminde olduğu gibi, farklı faktörlerin değerlendirilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Ancak COPRAS yöntemini, SWARA'nın dezavantajlarını ele almak için kullanmışlardır. COPRAS yöntemi, farklı ağırlıklandırma faktörlerini ve öncelikleri dikkate alarak alternatifleri sıralar. Yazarlar, CIFS-SWARA-COPRAS yaklaşımını, 30'dan fazla kriterin değerlendirildiği bir ERP yazılımı seçimi için bir uygulama ile göstermişlerdir. Yaklaşımın uygulanması sonucunda, farklı ERP yazılımları arasında bir sıralama elde etmiş ve en uygun olanı seçmişlerdir. Sonuç olarak, bu makalede önerilen yaklaşım, dezavantajları ele alarak SWARA ve COPRAS yöntemlerinin avantajlarını birleştirir ve sezgisel bulanık mantık yöntemlerini kullanarak seçim sürecindeki belirsizlikleri azaltıp etkili bir çözüm sağlamıştır.

Aşağıda Tablo 1.2'de literatür özeti için sezgisel bulanık kümelerde incelenen çalışmalarda hangi yöntemlerin kullanıldığı gösterilmiştir.

Tablo 1.2 Sezgisel Bulanık Karar Verme Yöntemleri ile Yapılan Bazı Çalışmalar

Yazar(lar)	Yıl	CIFS SWARA	DEA	F TOPSIS	F AHP	FMEA	IF COPRAS	IF SWARA	IF TOPSIS	IVIF TOPSIS	IVIFWT TOPSIS
Ning ve Wang	2011								☑		
Li ve Chen	2014								☑		
Yu ve Zhang	2014								☑		
Ervural vd.	2015								☑		
Liu vd.	2015					☑			☑		
Solanki vd.	2016								☑		
Wood	2016			☑					☑		
Dammak vd.	2016										☑
Shen vd.	2018								☑		
Zhang vd.	2018								☑		
Abdullah vd.	2019				☑				☑		

Tablo 1.2 Sezgisel Bulanık Karar Verme Yöntemleri ile Yapılan Bazı Çalışmalar (devamı)

Rouyendegh vd.	2020		☒						☒		
Mishra vd.	2020						☒	☒			
Tiwari vd.	2021									☒	
Mahdiraji vd.	2021							☒			
Roszkowska vd.	2021								☒		
Garg vd.	2022	☒					☒				

1.1.3 Fermatean Bulanık Kümelerde Çok Kriterli Karar Verme Çalışmaları

Literatürde Fermatean bulanık kümelerle genişletilmiş çok kriterli karar verme konusunda nispeten daha az çalışma bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında odaklanılan yöntemler arasında Fermatean bulanık SWARA ve Fermatean bulanık TOPSIS yöntemleri olduğu için literatürde bu konularda yer alan çalışmalar incelenmiştir. Fermatean bulanık kümelerde belirsizlik derecesi daha geniş bir tanıma sahip olduğu için diğer bulanık küme uzantılarından etkili olması beklenmektedir. Ele alınan çalışmalar detaylıca incelenmiş ve aşağıda verilmiştir.

Senapati ve Yager [7] yapmış oldukları çalışmada, sezgisel bulanık kümelerde üyelik dereceleri ve tamamlayıcı derecelerin toplamı 1'den küçük veya buna eşit olması gerektiğini, Pisagor bulanık kümelerde üyelik dereceleri ve tamamlayıcı derecelerin kareleri toplamı 1'den küçük veya buna eşit olması gerektiğini belirtmişlerdir. Senapati ve Yager [38], genel bir tanım önererek q-rung orthopair bulanık kümeler yaklaşımını önermişlerdir. Fonksiyon olarak q derecesi arttıkça, üyelik derecesindeki esnekliğin artabileceğini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmayla q derecesi 3 olan Fermatean bulanık küme teorisini önermişlerdir. Önerdikleri yeni bulanık küme yaklaşımını, öncülleri olan Pisagor bulanık kümeler ve sezgisel bulanık kümelerle karşılaştırmışlardır. Fermatean bulanık kümeleri için cebirsel işlem operatörlerini tanımladıktan sonra, TOPSIS yöntemi üzerinden Öklid mesafesi, skor ve doğruluk fonksiyonlarını da tanımlamışlardır. Böylece Fermatean bulanık kümelerin TOPSIS yöntemine uyarlamasını sağlayarak literatüre yeni bir bulanık çok kriterli karar verme yöntemi sunmuşlardır. Önermiş oldukları yeni yöntemi sayısal bir örnek ile göstererek uygulanabilirliğini ortaya koymuşlardır.

Liu vd. [39] yapmış oldukları çalışmada, dilbilimsel Fermatean bulanık kümeleri ve karar verme problemleri için dilbilimsel terim kümelerinin bir kombinasyonunu tanıtarak, insan düşüncesi ve mantığına daha yakın olan dilbilimsel terimlerin belirsizliği ifade etmede daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada, önerdikleri yöntemi göstermek için Fermatean bulanık kümesiyle genişletilmiş TOPSIS yöntemine göre bir sayısal analiz yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda önerilen yöntemin insan mantığına göre karar vermede daha etkili olduğuna karar vermişlerdir.

Gül vd. [40] yapmış oldukları çalışmada, karar verme süreçlerinde belirsizliği ele almak için bulanık mantık, olasılık teorisi ve sezgisel bulanık küme sistemleri gibi birçok karar verme yönteminin literatürde hızla arttığını belirtmişlerdir. Literatürde yer alan bu

yöntemlerin belirsizliği ele almadaki sınırlamaları nedeniyle yeni bulanık küme teorilerinin geliştirilmesine yol açtığını ileri sürmüşlerdir. Böylece Fermatean bulanık kümelerinin yaygınlaşmasının hızlanmasına dikkat çekmişlerdir. Çalışmalarında, olayların olasılığını ve zorunluluğunu temsil etme yetenekleri sayesinde belirsizliği ele almada daha uygun olduğundan bahsetmişlerdir. Yazarlar, birçok alanda önemli bir görev olan risk değerlendirmesinde, belirsiz bilgilerin dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Fermatean bulanık kümelerin etkinliğini ortaya koymak için mühendislik alanında bir vaka çalışması yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda Fermatean bulanık TOPSIS yönteminin belirsizliği ele almadaki etkinliği ve daha gerçekçi risk değerlendirmesi sonuçları sağlaması nedeniyle geleneksel bulanık TOPSIS yönteminden daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak bu çalışmada Fermatean bulanık kümelerin karar verme süreçlerinde belirsizliği ele almada etkin bir araç ve Fermatean bulanık TOPSIS yönteminin birçok alanda risk değerlendirmesi için etkili bir araç olduğunu söylemişlerdir.

Sindhu vd. [41] yapmış oldukları çalışmada, karar verme problemlerindeki belirsizliğin önemine işaret ederek, bu belirsizliğin etkilerini hesaba katmak için bulanık kümelerin kullanımını tartışmışlardır. Fermatean bulanık kümelerinin TOPSIS yöntemi kullanılarak yüksek belirsizliğe sahip karar verme problemlerinde kullanıldığını belirtmişlerdir. Diğer bulanık küme uzantılarına kıyasla; Fermatean bulanık kümelerinin, üyelik ve üye olmama dereceleri tanımlama açısından daha esnek bir yapıya sahip olduğunu söylemişlerdir. Önerdikleri yöntemi sayısal bir örnekle test etmiş ve sonuçları diğer bulanık küme uzantılarını kullanarak elde ettikleri sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak önerdikleri yaklaşımın diğer yöntemlere göre daha yüksek performans gösterdiği ve Fermatean bulanık kümelerin yüksek belirsizlik altında karar verme sürecinde yararlı olduğunu savunmuşlardır.

Ayyıldız [42] yapmış olduğu çalışmada, SWARA için Fermatean bulanık kümelerin kullanımının literatürde yeni bir yaklaşım olabileceğini önermiştir. Fermatean bulanık kümelerin ağırlıklandırma prosedüründe sürdürülebilirliğin önemini belirlemek için etkin olduğunu ortaya koymuştur. Önerdiği yöntemin Fermatean bulanık kümeleri kullanarak karar verme problemlerindeki belirsizliği ve tereddütü daha doğru bir şekilde temsil ettiğini öne sürmüştür. Çalışmada, Fermatean bulanık kümelerin SWARA'da kullanımının diğer karar verme yöntemlerine kıyasla farklı sonuçlar verebileceğini söylemiştir. Önermiş olduğu yaklaşımın karar vermenin gerektiği diğer alanlarda

kullanılabileceği ve karar verme problemlerinin çözümü için etkili bir yaklaşım olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Hooshangi vd. [43] yapmış oldukları çalışmada, güneş enerjisi çiftliklerinin değerlendirilmesi için Fermatean bulanık kümeleri kullanan bir TOPSIS yaklaşımı önermişlerdir. Coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak modelleri uygulamış ve sonuçları klasik ve üçgen bulanık sayı kümeleriyle karşılaştırmışlardır. Sonuçlar arasındaki benzerlik yüksek olsa da Fermatean bulanık kümelerin belirsizlik altında daha dirençli olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak klasik bulanık kümelerin karar verme problemlerinde etkili olduğu, ancak Fermatean bulanık kümelerin yüksek belirsizlik koşullarında daha doğru sonuçlar verdiğini söylemişlerdir.

Yang vd. [44] yapmış oldukları çalışmada, Fermatean bulanık tümleşik ağırlıklı mesafe ölçüm tekniğine dayalı yeni bir yaklaşım geliştirmiş ve çok kriterli karar verme problemlerini çözmeyi amaçlamışlardır. Bu yaklaşımın, yeşil düşük karbonlu limanların geliştirilmesi ve değerlendirilmesinde uygulanabileceğini belirtmişlerdir. Önerdikleri metodolojinin karar vericiler için parametre seçiminde esneklik sağladığını ileri sürmüşlerdir.

Erdoğan ve Ayyıldız [45] yapmış oldukları çalışmada; geleneksel, sezgisel ve Pisagor bulanık kümelerinin aksine Fermatean bulanık kümelerinin belirsizlik altında daha yüksek verimlilik sunduğunu belirtmişlerdir. Karar verme süreçlerindeki tereddütü ve bilinmezliği ele almak için Fermatean bulanık kümeleri içeren çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullandığı bulanık sayılardaki esneklik sayesinde daha etkili olduğunu söylemişlerdir. Bu nedenle, Fermatean bulanık kümelerle genişletilmiş CRITIC-TOPSIS metodolojisini önermişlerdir. CRITIC yöntemi, karar vericilerin öznel yargıları yerine nesnel yargılarla derecelendirme yapılması yönüyle diğer karar verme yöntemlerinden farklı bir yapıya sahiptir. Bunun sonucunda, önyargı veya kişisel tercih riskini azaltarak nesnel doğruların kullanımı sağlanır. Ancak, nesnel doğrular yine de belirsiz olabileceğinden, Fermatean bulanık kümelerin kullanımı, verilerin doğasında var olan belirsizliğin hesaba katılması açısından yararlı olmaktadır. Önerdikleri metodolojinin geçerliliğini göstermek için pandemi döneminde hastanelerin performansını karşılaştıran bir vaka çalışması yapmışlardır. Farklı bulanık küme uzantıları ve çok kriterli karar verme yöntemleri kullanarak sonuçları karşılaştırmışlardır. Kullanılan yöntemle bağlı olarak bazı alternatiflerin sırası değişse de genel olarak sonuçlar büyük ölçüde tutarlı çıkmıştır. Sonuç

olarak belirsizlik ve çoklu kriterleri içeren karar verme problemlerinde Fermatean bulanık kümelerin potansiyel faydalarını vurgulamışlardır.

Aydemir ve Gündüz [46] yapmış oldukları çalışmada, geleneksel cebirsel operatörlere alternatif olarak Fermatean bulanık kümeler üzerinde aritmetik işlemler gerçekleştirmek için Dombi operatörlerini önermişlerdir. Geleneksel toplama operatörlerinin karar verme sürecini önemli ölçüde etkileyebileceğini ileri sürmüşlerdir. Çalışmada, karar verme problemlerinde mevcut cebirsel operatörlerin sınırlamalarını tartışarak, Dombi operatörlerinin Fermatean bulanık kümeler için daha hassas sonuçlar elde etmedeki etkinliğini ortaya koymuşlardır. Dombi operatörlerinin, Pisagor veya sezgisel bulanık kümeler kullanılarak elde edilenlerden daha esnek ve tutarlı sonuçlar elde etmek için kullanılabileceğini önermişlerdir. Önerilen yaklaşımı, yeni bir yaklaşım olarak Fermatean bulanık TOPSIS yöntemi üzerinde göstermişlerdir. Sonuç olarak Dombi operatörlerinin karmaşık karar verme problemleriyle başa çıkmak için güçlü bir araç olma potansiyeli olduğunu söylemişlerdir.

Fahmi vd. [47] yapmış oldukları çalışmada, belirsizlikle mücadele etmek için yamuk bulanık küme kavramını ve Fermatean bulanık kümelerini birlikte kullanarak, yamuk Fermatean bulanık sayılar için yeni bir bulanık küme tipi önermişlerdir. Çalışmada, Einstein toplama işleminin yamuk bulanık sayılar üzerinde kullanımını tanıtmış ve önerdikleri yöntemi blok zinciri bilgi seçim problemlerine uygulamışlardır. Sonuç olarak yamuk Fermatean bulanık kümelerin, belirsizlik altındaki grup karar verme süreçlerinde diğer karar verme yöntemlerine göre daha etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ilieva ve Yankova [48] yapmış oldukları çalışmada, klasik yöntemlerden daha uygun olduğunu iddia ettikleri aralık değerli Fermatean bulanık kümeleri kullanarak TOPSIS yöntemini modifiye etmeyi önermişlerdir. Üyelik, üyeliksizlik ve tereddütten oluşan üç boyutlu bir yapıyla aralık değerli Fermatean bulanık sayıları, Fermatean bulanık kümelerin bir uzantısı olarak sunmuşlardır. Aralık değerli Fermatean bulanık kümeler, her durum için alt ve üst limit içeren bir aralık tanımlayarak belirsizliği ifade etmek açısından daha esnek bir yapı sağlar. Covid-19 aşılarını karşılaştırmak ve değerlendirmek için önerdikleri yöntemi uygulamış, belirsiz karar tercihlerini ele almakta daha etkili bir yöntem olduğunu söylemişlerdir.

Akram vd. [49] yapmış oldukları çalışmada, VIKOR yöntemine karmaşık N-yumuşak Fermatean bulanık kümelerinin özelliklerini ekleyerek yeni bir uzantı önermişlerdir.

VIKOR yönteminin uzlaşmacı bir çözüm bulma konusunda başarılı olduğunu belirtmişlerdir. Karmaşık N-yumuşak Fermatean bulanık sayılarının özelliklerini kullanarak VIKOR yöntemini genişleterek Fermatean bulanık kümelerin çok değerli parametrelerle iki boyutlu belirsiz bilgileri yakalama yetenekleri üzerinde durmuşlardır. Çalışmada, bu yöntemin etkinliğini göstermek adına bir nükleer enerji santrali için yer seçimi problemi yapmış ve sonuçları Fermatean bulanık TOPSIS ile karşılaştırmışlardır. Önermiş oldukları yöntemin belirsiz veriler üzerinde mükemmel sonuçlar verdiğini öne sürmüşlerdir.

Aşağıda Tablo 1.3'te literatür özeti için Fermatean bulanık kümelerde incelenen çalışmalarda hangi yöntemlerin kullanıldığı gösterilmiştir.

Tablo 1.3 Fermatean Bulanık Karar Verme Yöntemleri ile Yapılan Bazı Çalışmalar

Yazar(lar)	Yıl	FF CRITIC	FF SWARA	FF TOPSIS	FF VIKOR	FIWAD TOPSIS	IVFF TOPSIS
Senepati ve Yager	2019			☑			
Liu vd.	2019			☑			
Senepati ve Yager	2020			☑			
Aydemir ve Gündüz	2020			☑			
Gül vd.	2021			☑			
Sindhu vd.	2022			☑			
Ayyıldız	2022		☑				
Yang vd.	2022					☑	
Erdoğan ve Ayyıldız	2022	☑		☑			
Fahmi vd.	2022			☑			

Tablo 1.3 Fermatean Bulanık Karar Verme Yöntemleri ile Yapılan Bazı Çalışmalar
(devamı)

Ilieva ve Yankova	2022						☑
Akram vd.	2022			☑	☑		
Hooshangi vd.	2023			☑			

Bu tez çalışmasında Fermatean Bulanık SWARA - TOPSIS metodolojisi önerilmiştir. Önerilen yöntem hem sıralama hem seçim problemlerine uyarlanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Değişen koşullar nedeniyle karar verme problemlerindeki belirsizlik daha kompleks bir hal almaktadır. Bu durumla başa çıkabilmek için bulanık küme teorisi ve uzantıları önerilmiştir. Belirsizliğin öneminin artması karar verme problemlerinde bulanık sayıların ve daha ileri uzantılarının kullanılmasını hızlandırmıştır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, belirsizliği ele almada herhangi bir bulanık küme uzantısının üstünlüğünden net bir şekilde bahsedilmediği görülmektedir. Bu da farklı koşulların farklı bulanık küme modellerine uygun olabileceğini göstermektedir. Ancak son zamanlarda önerilen bulanık küme uzantılarının nispeten daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu tez çalışmasında Fermatean bulanık kümelerle genişletilmiş bir SWARA - TOPSIS metodolojisi önerilmiştir. Önerilen yeni metodolojinin diğer bulanık küme uzantılarından daha anlamlı sonuçlar vermesi amaçlanmıştır. Ayrıca karşılaştırma analizi yaparak önerilen metodolojinin doğruluğunu ortaya koymakta bu tez çalışmasının amaçları arasındadır.

1.3 Hipotez

Bu tez çalışmasında bulanık küme uzantılarının belirsizlik altında çok kriterli karar verme problemlerine uyarlanması ele alınmıştır. SWARA - TOPSIS metodolojisinin, bulanık kümelerin en son uzantılarından biri olan Fermatean bulanık kümeleri ile genişletilmesi önerilmiştir.

Bu tezde incelenen ana hipotez aşağıda verilmiştir:

Hipotez: Önerilen bulanık çok kriterli karar verme metodolojisi olan Fermatean bulanık SWARA – TOPSIS metodolojisinin, belirsizlik altında diğer bulanık küme uzantılarına göre daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar verir.

Sonuç olarak ortaya çıkan sıralamalar için Kendal Tau Korelasyon Testi (τ) ile ikili karşılaştırma analizi yapılacaktır. Analiz sonucuna göre ikili karşılaştırmalar arasında anlamlı bir fark oluşması durumunda hipotez kabul edilecektir. Sonuçların benzer veya aynı çıkması durumunda hipotez reddedilecektir.

1.4 Tez Çalışmasının İçeriği

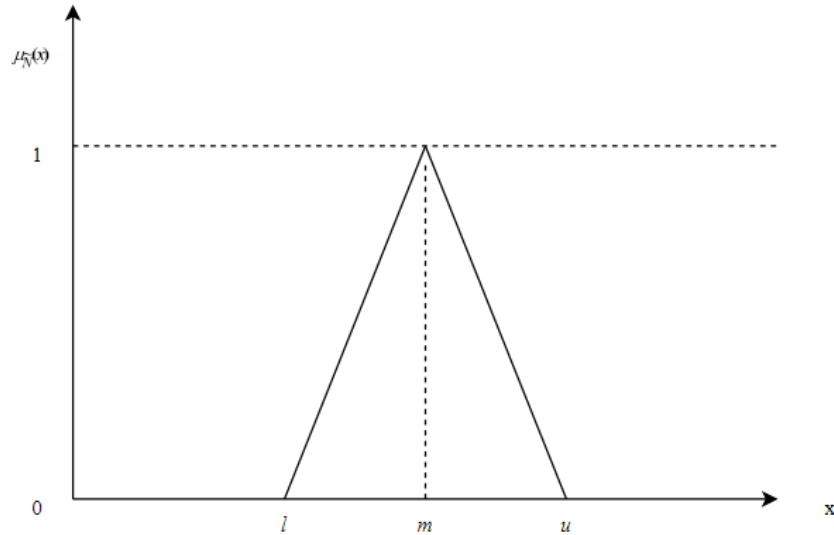
Çalışmanın ilk bölümünde tezin konusu ve kapsamına dair detaylı bilgi verilmiş, literatürde daha önce bu konuyla ilgili yapılmış çalışmalar özetlenmiş, tezin amacı, hipotezi ve içeriğinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde bulanık küme teorisinden ve uzantıları hakkında tanımlamalar ile matematiksel operatörler verilmiştir. Üçüncü bölümde problemin çözümü için önerilen metodoloji ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Dördüncü bölümde bu tez çalışmasında ele alınan problemler tanımlanmış ve modeller kurulmuştur. Her iki vaka için de çalışmanın amacı, kapsamı, sınırları, verilerin elde edilmesi ve önerilen metodolojinin uygulama adımları verilmiştir. Bu bölümün sonunda önerilen metodolojinin avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymak için karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Çalışmanın son ve beşinci bölümünde, uygulamanın sonuçları değerlendirilerek gelecek araştırmaları hakkında önerilerde bulunulmuştur.

2 BULANIK KÜME TEORİSİ

Bu kısımda bulanık küme teorisinin tanımlamaları ile yeni uzantıları olan sezgisel bulanık kümelerin ve Fermatean bulanık kümelerin tanımlamalarına yer verilmiştir.

2.1 Klasik Bulanık Kümeler

Zadeh [1] 1965 yılında kesin sayılar kümesine belirsizlik katmak için bulanık sayılar kümesini (FS) önermiştir. Bulanık sayılar (üçgen, yamuk vd.) ele alınan sayı kümesinde üye olma derecesinin farklı noktalarını göstermektedir. Aşağıda Şekil 2.1’de üçgen bulanık sayıların üyelik derecelerine göre matematiksel gösterimi verilmiştir [50].



Şekil 2.1 Üçgen bulanık sayının üyelik derecesi

Bu durumda bulanık sayılarda her kırılma noktası üye olma derecesinin 1 olduğu durumu göstermektedir. Üçgen bulanık sayılara ait tanımlama ve aritmetik işlemlerin uygulanma kuralları aşağıda verilmiştir.

Tanım 1: X söylemler evrenini temsil etmek üzere üçgen bulanık sayılar (TFN) Denklem (2.1)’deki gibi gösterilmektedir [1].

$$TFS = X_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2.1)$$

Üçgen bulanık sayılar üye olma derecesini alt (ℓ), orta (m) ve üst (u) kırılma noktalarıyla birlikte göstermektedir. Üçgen bulanık sayılar kümesinin tanım aralığı Denklem (2.2)'deki şartı sağlamak zorundadır.

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1], \mu_A(x) = (\ell, m, u) \quad (2.2)$$

Tanım 2: $T = (\ell, m, u)$ üçgen bulanık sayılar kümesi olmak üzere $T_1 = A(x)$ ve $T_2 = B(x)$ iki farklı üçgen bulanık sayı kümesi üzerinde Denklem (2.3), (2.4) ve (2.5)'te gösterilen operatörler tanımlıdır.

$$T_1 \cap T_2 = \min\{A(x), B(x)\} \quad (2.3)$$

$$T_1 \cup T_2 = \max\{A(x), B(x)\} \quad (2.4)$$

$$T^c = 1 - A(x) \quad (2.5)$$

Tanım 3: $T = (\ell, m, u)$ üçgen bulanık sayılar kümesi olmak üzere $T_1 = (\ell_1, m_1, u_1)$ ve $T_2 = (\ell_2, m_2, u_2)$ iki farklı üçgen bulanık sayı kümesi üzerinde $\lambda > 0$ olmak üzere Denklem (2.6), (2.7), (2.8), (2.9), (2.10) ve (2.11)'de gösterilen operatörler tanımlıdır.

$$T_1 \oplus T_2 = (\ell_1 + \ell_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2.6)$$

$$T_1 \ominus T_2 = (\ell_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - \ell_2) \quad (2.7)$$

$$T_1 \otimes T_2 = (\ell_1 \ell_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \quad (2.8)$$

$$T_1 \oslash T_2 = (\ell_1 / u_2, m_1 / m_2, u_1 / \ell_2) \quad (2.9)$$

$$\lambda T = (\lambda \ell, \lambda m, \lambda u) \quad (2.10)$$

$$T^\lambda = (\ell^\lambda, m^\lambda, u^\lambda) \quad (2.11)$$

2.2 Sezgisel Bulanık Kümeler

Atanassov [4] 1986 yılında bulanık sayılar kümesinin bir uzantısı olan sezgisel bulanık kümeleri (IFS) önermiştir [51]. Sezgisel bulanık sayılar üye olma ve üye olmama derecelerini birlikte ele almakta ve bu iki derecenin yanı sıra belirsizlik derecesini de kullanmaktadır. Karar vericilerin, karar verme problemlerine daha etkin bir sonuç elde

etmesi sağlanmaktadır. Sezgisel bulanık sayılara ait tanımlama ve aritmetik işlemlerin uygulanma kuralları aşağıda verilmiştir.

Tanım 4: X söylemler evrenini temsil etmek üzere sezgisel bulanık sayılar (IFS) Denklem (2.12)'deki gibi gösterilmektedir [52].

$$IFS = \{[x, \mu_I(x), v_I(x)] : x \in X\} \quad (2.12)$$

Sezgisel bulanık sayılar kümesi $\mu_I(x) : X \in [0,1]$ ve $v_I(x) : X \in [0,1]$ olmak üzere Denklem (2.13)'teki şartı sağlamak zorundadır [53].

$$0 \leq \mu_I(x) + v_I(x) \leq 1 \quad (2.13)$$

Sezgisel bulanık sayılar kümesinde belirsizlik derecesi Denklem (2.14)'teki gibi hesaplanmaktadır [54].

$$\pi_I(x) = 1 - \mu_I(x) - v_I(x) \quad (2.14)$$

Tanım 5: $I = (\mu_I, v_I)$ sezgisel bulanık sayılar kümesi olmak üzere $I_1 = (\mu_{I_1}, v_{I_1})$ ve $I_2 = (\mu_{I_2}, v_{I_2})$ iki farklı sezgisel bulanık sayı kümesi üzerinde Denklem (2.15), (2.16) ve (2.17)'de gösterilen operatörler tanımlıdır.

$$I_1 \cap I_2 = (\min\{\mu_{I_1}, \mu_{I_2}\} \text{ maks}\{v_{I_1}, v_{I_2}\}) \quad (2.15)$$

$$I_1 \cup I_2 = (\text{maks}\{\mu_{I_1}, \mu_{I_2}\} \min\{v_{I_1}, v_{I_2}\}) \quad (2.16)$$

$$I^c = (v_I, \mu_I) \quad (2.17)$$

Tanım 6: $I = (\mu_I, v_I)$ sezgisel bulanık sayılar kümesi olmak üzere $I_1 = (\mu_{I_1}, v_{I_1})$ ve $I_2 = (\mu_{I_2}, v_{I_2})$ iki farklı sezgisel bulanık sayı kümesi üzerinde $\lambda > 0$ olmak üzere Denklem (2.18) ve (2.19)'da gösterilen operatörler tanımlıdır.

$$I_1 \boxplus I_2 = (\mu_{j_1} + \mu_{j_2} - \mu_{j_1}\mu_{j_2}, v_{j_1}v_{j_2}) \quad (2.18)$$

$$I_1 \boxtimes I_2 = (\mu_{j_1}\mu_{j_2}, v_{j_1} + v_{j_2} - v_{j_1}v_{j_2}) \quad (2.19)$$

2.3 Fermatean Bulanık Kümeler

Senapati ve Yager [7] üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamı 1’den büyük olduğu durumlar için Fermatean bulanık kümeler (*FFS*) tanıtmıştır. Üyelik değerlerinin karar verici açısından daha bağımsız ve belirsizliğin etkilerini daha fazla hesaba katmak açısından Fermatean bulanık kümeler, çok kriterli karar verme yöntemlerinde uygulanmaktadır. Fermatean bulanık kümelere ait tanımlama ve aritmetik işlemlerin uygulanma kuralları aşağıda verilmiştir.

Tanım 7: X söylemler evrenini temsil etmek üzere Fermatean bulanık kümeler

(*FFS*) Denklem (2.20)’deki gibi gösterilmektedir [7].

$$FFS = \{[x, \mu_F(x), \nu_F(x)] : x \in X\} \quad (2.20)$$

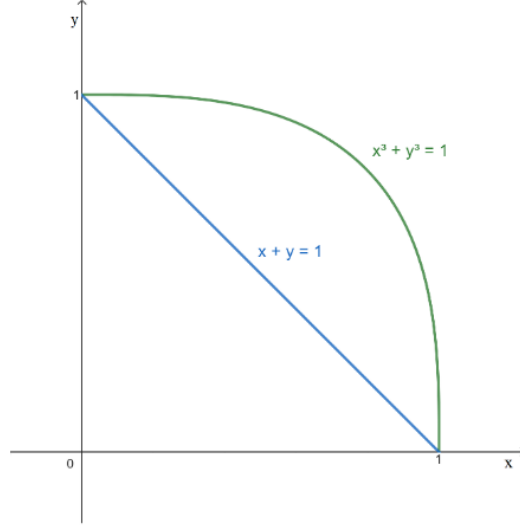
Fermatean bulanık sayılar kümesi $\mu_F(x) : X \in [0,1]$ ve $\nu_F(x) : X \in [0,1]$ olmak üzere Denklem (2.21)’deki şartı sağlamak zorundadır.

$$0 \leq (\mu_F(x))^3 + (\nu_F(x))^3 \leq 1 \quad (2.21)$$

Fermatean bulanık sayılar kümesinde belirsizlik derecesi Denklem (2.22)’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\pi_F(x) = \sqrt[3]{1 - (\mu_F(x))^3 - (\nu_F(x))^3} \quad (2.22)$$

Sezgisel bulanık kümeler ile Fermatean bulanık kümeler modellenme bakımından birbirlerinden farklıdırlar. Sezgisel bulanık kümelerde dilsel terimlerin karşılığı ve tereddüt dereceleri açıkça belirtilmiş olmasına rağmen Fermatean bulanık kümelerde problemin yapısı ve karar vericilerin öznel yargıları tereddüt derecelerini farklılaştırır. Matematiksel olarak Fermatean bulanık kümelerinin daha geniş bir tanım kümesine sahip olması sezgisel bulanık kümeleri de kapsayabildiğini göstermektedir [7]. Aşağıda Şekil 2.1’de Fermatean bulanık kümeler ile sezgisel bulanık kümelerin tanım uzaylarının karşılaştırılması verilmiştir [7].



Şekil 2.2 IFS ve FFS uzaylarının karşılaştırılması

Tanım 8: $F = (\mu_F, v_F)$ Fermatean bulanık sayılar kümesi olmak üzere $F_1 = (\mu_{F_1}, v_{F_1})$ ve $F_2 = (\mu_{F_2}, v_{F_2})$ iki farklı Fermatean bulanık sayı kümesi üzerinde Denklem (2.23), (2.24) ve (2.25)'te gösterilen operatörler tanımlıdır.

$$F_1 \cap F_2 = (\min\{\mu_{F_1}, \mu_{F_2}\} \text{ maks}\{v_{F_1}, v_{F_2}\}) \quad (2.23)$$

$$F_1 \cup F_2 = (\text{maks}\{\mu_{F_1}, \mu_{F_2}\} \min\{v_{F_1}, v_{F_2}\}) \quad (2.24)$$

$$F^c = (v_F, \mu_F) \quad (2.25)$$

Tanım 9: $F = (\mu_F, v_F)$ Fermatean bulanık sayılar kümesi olmak üzere $F_1 = (\mu_{F_1}, v_{F_1})$ ve $F_2 = (\mu_{F_2}, v_{F_2})$ iki farklı Fermatean bulanık sayı kümesi üzerinde $\lambda > 0$ olmak üzere Denklem (2.26), (2.27), (2.28) ve (2.29)'da gösterilen operatörler tanımlıdır.

$$F_1 \boxplus F_2 = \left(\sqrt[3]{\mu_{F_1}^3 + \mu_{F_2}^3 - \mu_{F_1}^3 \mu_{F_2}^3}, v_{F_1} v_{F_2} \right) \quad (2.26)$$

$$F_1 \boxtimes F_2 = \left(\mu_{F_1} \mu_{F_2}, \sqrt[3]{v_{F_1}^3 + v_{F_2}^3 - \mu_{F_1}^3 \mu_{F_2}^3} \right) \quad (2.27)$$

$$\lambda F = \left(\sqrt[3]{1 - (1 - \mu_F^3)^\lambda}, v_F^\lambda \right) \quad (2.28)$$

$$F^\lambda = \left(\mu_F^\lambda, \sqrt[3]{1 - (1 - v_F^3)^\lambda} \right) \quad (2.29)$$

Tanım 10: $F = (\mu_F, v_F)$ Fermatean bulanık sayılar kümesi olmak üzere $F_1 = (\mu_{F_1}, v_{F_1})$ ve $F_2 = (\mu_{F_2}, v_{F_2})$ iki farklı Fermatean bulanık sayı kümesi olmak üzere F skor fonksiyonu Denklem (2.30)'daki ve F doğruluk fonksiyonu Denklem (2.31)'deki gibi bulunur.

$$Sc(F) = \mu_{ij}^3 - v_{ij}^3 \quad (2.30)$$

$$Acc(F) = \mu_{ij}^3 + v_{ij}^3 \quad (2.31)$$

Tanım 11: $F = (\mu_F, v_F)$ Fermatean bulanık sayılar kümesi olmak üzere $F_1 = (\mu_{F_1}, v_{F_1})$ ve $F_2 = (\mu_{F_2}, v_{F_2})$ iki farklı Fermatean bulanık sayı kümesi olmak üzere F skor fonksiyonu ve F doğruluk fonksiyonu arasındaki ilişki aşağıdaki gibi bulunur.

Eğer $Sc(F_1) > Sc(F_2)$, $F_1 > F_2$,

Eğer $Sc(F_1) < Sc(F_2)$, $F_1 < F_2$,

Eğer $Sc(F_1) = Sc(F_2)$, $F_1 \sim F_2$:

Eğer $Acc(F_1) > Acc(F_2)$, $F_1 > F_2$,

Eğer $Acc(F_1) < Acc(F_2)$, $F_1 < F_2$,

Eğer $Acc(F_1) = Acc(F_2)$, $F_1 = F_2$.

Bulanık kümeler, karar problemlerinde belirsizliği ele almanın yaygın olarak kullanılan bir yoludur. Bu yöntemler, insanlar tarafından doğal olarak kullanılan belirsizlik ifadelerini modellemek için kullanılabilir. Bulanık karar verme yöntemleri, belirsizlikleri ele almanın yanı sıra birden fazla kriteri de dikkate alarak karar verme sürecine yardımcı olur. Bulanık kümeler ile karar verme yöntemlerinin birleştirilmesi, literatürde yaygın bir araştırma konusudur. Bu çalışmalar, bulanık kümelerin, karar verme sürecindeki belirsizliği azaltmak için kullanıldığı yöntemlerin geliştirilmesiyle birleştirilmesini içerir. Zaman içerisinde araştırmacılar bulanık kümelerin yeni uzantılarını önermişlerdir. Önerilen her yeni bulanık küme teorisinin asıl amacı belirsizliği yönetebilme becerilerini artırmaktır [55].

SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis), 2010 yılında Kersulienne vd. [8] tarafından karar verme problemlerinin çözülmesi için öne sürülen çok kriterli karar verme problemlerinde kullanılan bir yöntemdir. SWARA yöntemi, ağırlıklandırma faktörlerinin belirlenmesinde uzmanların fikirlerine başvurulmasını sağlar. Bu yöntem, uzmanların farklı ağırlıklandırma faktörleri üzerindeki görüşlerini sırayla sorgulayarak karar verme sürecinde katılımcıların düşüncelerini daha iyi yansıtmalarına olanak tanır. SWARA yöntemi, diğer çok kriterli karar verme yöntemlerine göre daha basit ve anlaşılır bir yöntemdir.

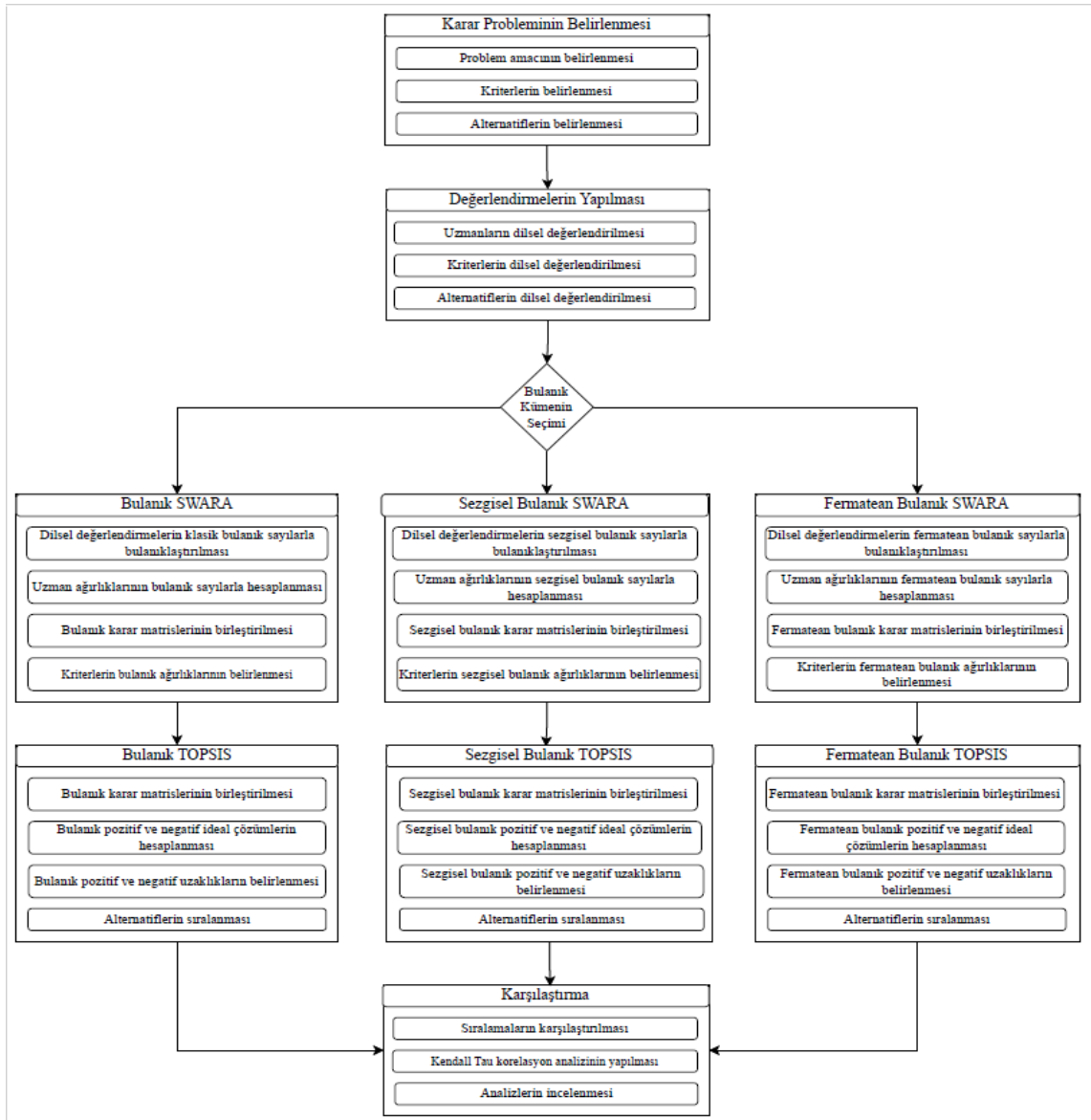
SWARA yöntemi ayrıca, uzmanların verdiği cevaplardan hesaplanan farklı ağırlıklandırma faktörlerinin tutarlılığını kontrol etmek için kullanılan bir uzlaşma endeksi olan CR (Consistency Ratio) kullanır. CR, verilen cevapların birbirine yakınlığına ve uyumluluğuna bağlı olarak hesaplanır. Bu sayede, uzmanların verdiği cevapların tutarlılığı ölçülebilir ve karar verme sürecinde daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir [8].

Sonuç olarak, SWARA yöntemi, uzmanların fikirlerine dayalı ağırlıklandırma faktörlerinin belirlenmesi için etkili bir yöntemdir ve karar verme sürecinde katılımcıların daha aktif katılımını sağlar.

TOPSIS yöntemi (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), karar verme problemlerinde en iyi alternatifin seçilmesi için kullanılan çok kriterli bir yöntemdir. Bu yöntem, her bir alternatifin her bir kriter için verilen puanlara göre bir karar matrisi oluşturulmasını gerektirir. Daha sonra, pozitif ideal çözüme (PIS) ve negatif ideal çözüme (NIS) göre alternatiflerin benzerliği hesaplanır. PIS, kriterlerin maksimum değerlerinden, NIS ise minimum değerlerinden oluşur. Alternatifler, PIS ve NIS'e olan uzaklıklarına göre "görelî yakınlık" değerleri elde ederler ve bu skora göre sıralanırlar. TOPSIS yöntemi, birçok uygulama alanında, özellikle endüstri mühendisliği ve işletme yönetimi alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Yöntem, Hwang ve Yoon [9] tarafından ilk kez tanıtılmıştır.

TOPSIS yöntemi, özellikle karar verme sürecinde nesnel ve matematiksel bir yaklaşım benimsenmesi gerektiği durumlarda kullanışlıdır. Yöntem, karar vericilerin önceden belirlenmiş kriterler çerçevesinde alternatifler arasında objektif bir seçim yapmasına yardımcı olur. Ayrıca, yöntem sonuçları kolayca yorumlanabilir ve açıklanabilir [9].

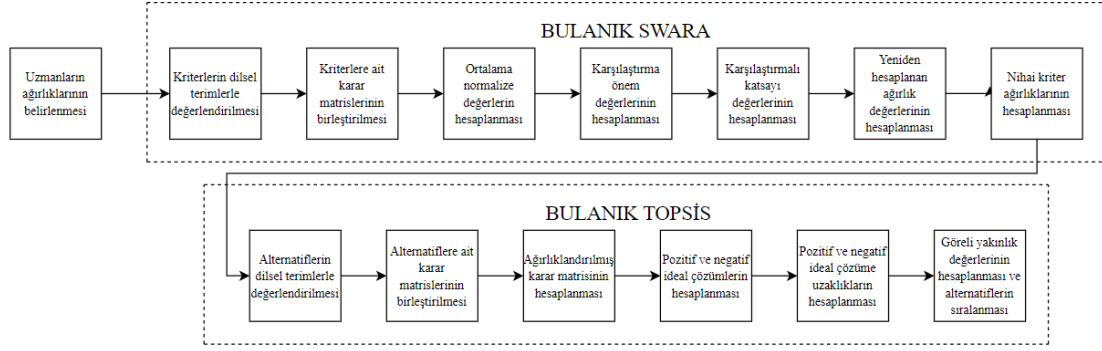
Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden SWARA ve TOPSIS'in farklı bulanık kümelerle genişletilmiş yeni metodolojileri önerilmiştir. Aşağıda Şekil 3.1'de bu çalışmanın kapsamında yer alan metodolojilerin adımları ve uygulanma sıralaması gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Metodolojilerin Uygulanma Adımları

3.1 Bulanık SWARA - TOPSIS

Bütünleşik SWARA – TOPSIS yönteminin klasik bulanık sayılarla genişletilmiş metodolojiye ait uygulama adımları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Bütünleşik Bulanık SWARA-TOPSIS Metodolojisinin Adımları

Adım 1: Karar vericilerin uzman ağırlıklarını değerlendirilmek için kullanılan dilsel terimlerin üçgen bulanık sayı (*TFN*) karşılığı Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Uzmanların Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Terimlerin *TFN* Karşılığı

Dilsel Terimler	ℓ	m	u
Kesinlikle Uzman (AS)	9	9	9
Yeterince Uzman (VS)	6	7	8
Ortalama Uzman (S)	4	5	6
Neredeyse Uzman (LS)	2	3	4
Uzman Değil (NS)	1	1	1

$|P|$ gruptaki karar vericilerin sayısını belirtir ve p numaralı karar vericinin uzmanlığı, değerlendirme sürecinde karar vericilerin uzmanlığını belirleyen bir TF değeri $E_p = (\ell_i, m_i, u_i)$ ile temsil edilebilir. Her bir p numaralı karar vericinin uzmanlığı ($p = (1, \dots, |P|)$) Denklem (3.1)'deki gibi hesaplanır.

$$\psi_p = \frac{(\ell_p + m_p + u_p)}{\sum_{p=1}^{|P|} (\ell_p + m_p + u_p)} \quad (3.1)$$

Adım 2: Karar vericiler Tablo 3.2'de listelenen TF değerlerine sahip dilsel terimleri kullanarak kriterlerin önemini değerlendirir. i kriteri için p numaralı karar verici değerlendirmesi $c_{ip} = (\ell_{ip}, m_{ip}, u_{ip})$ ile gösterilir.

Tablo 3.2 Kriterlerin ve Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Terimlerin *TFN* Karşılığı

Dilsel Terimler (Kriter / Alternatif)	ℓ	m	u
Kesinlikle Önemli (AI) / Kesinlikle İyi (AG)	9	9	9
Çok Güçlü Önemli (VSI) / Çok İyi (VG)	7	8	9
Güçlü Önemli (SI) / İyi (G)	6	7	8
Önemli (I) / Biraz İyi (LG)	5	6	7
Eşit Önemli (EI) / Orta (M)	4	5	6
Önemsiz (U) / Biraz Kötü (LB)	3	4	5
Güçlü Önemsiz (SU) / Kötü (B)	2	3	4
Çok Güçlü Önemsiz (VSU) / Çok Kötü (VB)	1	2	3
Kesinlikle Önemsiz (AU) / Kesinlikle Kötü (AB)	1	1	1

Adım 3: TF karar matrisi, karar vericilerin uzmanlık ağırlıklarının (ψ_p) dikkate alınmasıyla karar vericilerin görüşleri toplanarak Denklem (3.2)'deki formül ile oluşturulur. n , ölçüt kümesinin kardinalitesi $z = (z_1, \dots, z_n)$ olmak üzere, $z_i = (\ell_i, m_i, u_i)$ 'nin bir TF değeri olduğu durumlarda karar vericilerin ortak yargılarının vektörünü temsil etmektedir.

$$z_i = \left(\prod_{p=1}^k \ell_{ip}^{\psi_p}, \prod_{p=1}^k m_{ip}^{\psi_p}, \prod_{p=1}^k u_{ip}^{\psi_p} \right) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.2)$$

Adım 4: Karar matrisinden elde edilen TF ile ortalama normalize bulanık değer olan $ANF(i)$ Denklem (3.3)'teki gibi hesaplanır.

$$ANF(i) = \left[\left(\frac{\ell_i}{\sum_{i=1}^n u_i} + \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} + \frac{u_i}{\sum_{i=1}^n \ell_i} \right) * \left(\frac{1}{3} \right) \right] \quad (3.3)$$

Kriterlerin ortalama normalize bulanık değerleri olan $ANF(i)$ değerleri azalan sırada listelenerek kriterler yeniden sıralanır.

Adım 5: Her kriter için normalize bulanık değerlerin karşılaştırma önem değerleri (CS_i) Denklem (3.4)'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$CS_i = \begin{cases} (0, 0, 0) & , i = 1 \\ (\ell_i, m_i, u_i) & , i > 1 \end{cases} \quad (3.4)$$

Adım 6: Her bir kriter için karşılaştırmalı katsayı (CC_i) değeri Denklem (3.5)'teki gibi hesaplanır.

$$CC_i = \begin{cases} (1, 1, 1) & , i = 1 \\ (CS_i^\ell + 1, CS_i^m + 1, CS_i^u + 1) & , i > 1 \end{cases} \quad (3.5)$$

Adım 7: CC_i için yeniden hesaplanan ağırlık değerleri (q_i) Denklem (3.6)'daki gibi hesaplanır.

$$q_i = \begin{cases} (1, 1, 1) & , i = 1 \\ \left(\frac{q_{i-1}^\ell}{CC_i^u}, \frac{q_{i-1}^m}{CC_i^m}, \frac{q_{i-1}^u}{CC_i^\ell} \right) & , i > 1 \end{cases} \quad (3.6)$$

Adım 8: Bulanık kriter ağırlıkları ω_i^F Denklem (3.7)'deki gibi hesaplanır.

$$\omega_i^F = \left(\frac{q_i^\ell}{\sum_{i=1}^n q_i^u}, \frac{q_i^m}{\sum_{i=1}^n q_i^m}, \frac{q_i^u}{\sum_{i=1}^n q_i^\ell} \right) \quad (3.7)$$

Adım 9: Ortalama kriter ağırlıkları ω_i^A Denklem (3.8)'deki gibi hesaplanır.

$$\omega_i^A = \frac{\omega_i^\ell + \omega_i^m + \omega_i^u}{3} \quad (3.8)$$

Kriter ağırlıkları (ω_i) her alt kriter için bu alt kritere ait ana kriter ağırlığının çarpılmasıyla bulunur.

Adım 10: Alternatif j , Tablo 3.2'de verilen dilsel terimlere göre i kriterine göre p numaralı karar verici tarafından değerlendirilir. TF karar matrisi $T_p = [t_{ij}^p]$ olarak tanımlanır, burada $t_{ij}^p = (\ell_{ij}^p, m_{ij}^p, u_{ij}^p)$ p numaralı karar vericinin i alternatifi ($i = 1, 2, 3, \dots, m$) için j kriterine ($j = 1, 2, 3, \dots, n$) göre değerlendirmesini temsil eder.

Adım 11: T_p matrisleri, Denklem (3.9)'da her bir karar vericinin ağırlıkları (ψ_p) kullanılarak birleştirilir.

$$T = \left(\prod_{i=1}^k \ell_{ij}^{\psi_p}, \prod_{i=1}^k m_{ij}^{\psi_p}, \prod_{i=1}^k u_{ij}^{\psi_p} \right) \quad (3.9)$$

Adım 12: Ağırlıklı birleştirilmiş üçgen bulanık karar matrisi (WT) Denklem (3.10)'daki gibi hesaplanır.

$$WT = \left(\omega_j * \left(\frac{\ell_{ij}}{\sum_{i=1}^n u_i} \right), \omega_j * \left(\frac{m_{ij}}{\sum_{i=1}^n u_i} \right), \omega_j * \left(\frac{u_{ij}}{\sum_{i=1}^n u_i} \right) \right) \quad (3.10)$$

Adım 13: $\mathfrak{B}$ faydalı kriterler seti, $\mathcal{C}$ maliyet kriterleri seti olmak üzere ve $|\mathfrak{B}| + |\mathcal{C}| = n$ olması şartıyla, TF-TOPSIS yönteminde, alternatifleri değerlendirmek için pozitif ideal çözüm S^* ve negatif ideal çözüm S^- belirlenir. TFN için pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerin gösterimi Denklem (3.11) ve (3.12)'deki gibi olur.

$$\begin{aligned} S^* &= \{(\ell_{1*}, m_{1*}, u_{1*}), \dots, (\ell_{n*}, m_{n*}, u_{n*})\} \\ &= \left\{ \max_i \langle (t_{ij}) | j \in \mathfrak{B} \rangle, \min_i \langle (t_{ij}) | j \in \mathcal{C} \rangle \mid i = 1, \dots, m \right\} \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned} S^- &= \{(\ell_{1-}, m_{1-}, u_{1-}), \dots, (\ell_{n-}, m_{n-}, u_{n-})\} \\ &= \left\{ \max_i \langle (t_{ij}) | j \in \mathcal{C} \rangle, \min_i \langle (t_{ij}) | j \in \mathfrak{B} \rangle \mid i = 1, \dots, m \right\} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Adım 14: Alternatif i ve TF pozitif ideal çözüm S^* arasındaki mesafe, TF mesafe d_{i,S^*} Denklem (3.13)'teki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} d_{i,S^*} &= \sum_{j=1}^n d(T, S^*) \\ &= \sum_{j=1}^n \sqrt{[(\ell_{ij} - \ell_{j*})^2 + (m_{ij} - m_{j*})^2 + (u_{ij} - u_{j*})^2]} \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Pozitif ideal alternatifte olan uzaklık değerinin küçük olması, çözüm uzayında en iyi alternatifte daha yakın olduğu anlamına gelir. Alternatif i ve TF negatif ideal çözüm S^- arasındaki mesafe, TF mesafe d_{i,S^-} Denklem (3.14)'teki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned}
d_{i,S^-} &= \sum_{j=1}^n d(T, S^-) \\
&= \sum_{j=1}^n \sqrt{[(\ell_{ij} - \ell_{j-})^2 + (m_{ij} - m_{j-})^2 + (u_{ij} - u_{j-})^2]} \\
i &= 1, 2, \dots, n
\end{aligned} \tag{3.14}$$

Negatif ideal alternatife olan uzaklık değerinin büyük olması, çözüm uzayında en iyi alternatife daha yakın olduğu anlamına gelir.

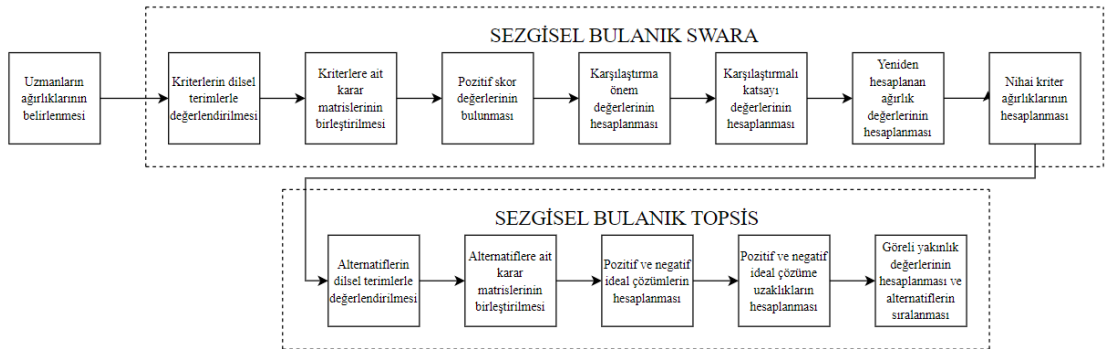
Adım 15: Alternatif i için göreceli yakınlık, RC_i olarak gösterilir ve Denklem (3.15)'teki gibi hesaplanır.

$$RC_i = \frac{d_{i,S^-}}{d_{i,S^*} + d_{i,S^-}} \tag{3.15}$$

Göreceli yakınlık RC_i değerleri, alternatiflerin sırasını gösterecek şekilde ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) azalan düzende sıralanır.

3.2 Sezgisel Bulanık SWARA - TOPSIS

Bütünleşik SWARA – TOPSIS yönteminin sezgisel bulanık sayılarla genişletilmiş metodolojiye ait uygulama adımları Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Bütünleşik Sezgisel Bulanık SWARA-TOPSIS Metodolojisinin Adımları

Adım 1: Karar vericilerin uzman ağırlıklarını değerlendirilmek için kullanılan dilsel terimlerin sezgisel bulanık küme (IFS) karşılığı Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3 Uzmanların Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Terimlerin IFS Karşılığı

Dilsel Terimler	μ	ν
Kesinlikle Uzman (AS)	0.90	0.10
Yeterince Uzman (VS)	0.70	0.20
Ortalama Uzman (S)	0.60	0.30
Neredeyse Uzman (LS)	0.40	0.50
Uzman Değil (NS)	0.10	0.80

$|P|$ gruptaki karar vericilerin sayısını belirtir ve p numaralı karar vericinin uzmanlığı, değerlendirme sürecinde karar vericilerin uzmanlığını belirleyen bir IF değeri $E_p = (\mu_p, \nu_p)$ ile temsil edilebilir. Her bir p numaralı karar vericinin uzmanlığı ($p = (1, \dots, |P|)$) Denklem (3.16)'daki gibi hesaplanır.

$$\psi_p = \frac{\mu_p + \pi_p \left(\frac{\mu_p}{\mu_p + \nu_p} \right)}{\sum_{p=1}^{|P|} \left(\mu_p + \pi_p \left(\frac{\mu_p}{\mu_p + \nu_p} \right) \right)} \quad (3.16)$$

Adım 2: Karar vericiler Tablo 3.4'te listelenen IF değerlerine sahip dilbilimsel terimleri kullanarak kriterlerin önemini değerlendirir. i kriteri için p numaralı karar verici değerlendirmesi $c_{ip} = (\mu_{ip}, \nu_{ip})$ ile gösterilir.

Tablo 3.4 Kriterlerin ve Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Terimlerin IFS Karşılığı

Dilsel Terimler (Kriter / Alternatif)	μ	ν
Kesinlikle Önemli (AI) / Kesinlikle İyi (AG)	0.99	0.01
Çok Güçlü Önemli (VSI) / Çok İyi (VG)	0.90	0.05
Güçlü Önemli (SI) / İyi (G)	0.75	0.20

Tablo 3.4 Kriterlerin ve Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Terimlerin IFS Karşılığı (devamı)

Önemli (I) / Biraz İyi (LG)	0.65	0.30
Eşit Önemli (EI) / Orta (M)	0.55	0.40
Önemsiz (U) / Biraz Kötü (LB)	0.40	0.50
Güçlü Önemsiz (SU) / Kötü (B)	0.30	0.60
Çok Güçlü Önemsiz (VSU) / Çok Kötü (VB)	0.20	0.70
Kesinlikle Önemsiz (AU) / Kesinlikle Kötü (AB)	0.10	0.80

Adım 3: IF karar matrisi, karar vericilerin uzmanlık ağırlıklarının (ψ_p) dikkate alınmasıyla karar vericilerin görüşleri toplanarak Denklem (3.17)'deki formül ile oluşturulur. n , ölçüt kümesinin kardinalitesi $z = (z_1, \dots, z_n)$ olmak üzere, $z_i = (\mu_i, \nu_i)$ 'nin bir IF değeri olduğu durumlarda karar vericilerin ortak yargılarının vektörünü temsil etmektedir.

$$z_i = \left(1 - \prod_{p=1}^k (1 - \mu_{ip})^{\psi_p}, \prod_{p=1}^k (\nu_{ip})^{\psi_p} \right) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.17)$$

Adım 4: PS_i olarak gösterilen i kriterinin pozitif skor değerinin hesaplanması Denklem (3.18)'de verilmektedir.

$$PS_i = \frac{(1 + \mu_i - \nu_i)}{2} \quad (3.18)$$

Kriterler azalan pozitif skor değerine (PS_i) göre sıralanır.

Adım 5: Adım 4'teki sıraya göre, kriterlerin pozitif skor değerlerinin karşılaştırmalı önemi (CS_i) Denklem (3.19)'da gösterildiği gibi, PS_{i-1} 'in PS_i 'den çıkarılmasıyla hesaplanır.

$$CS_i = \begin{cases} 0 & i = 1 \\ PS_i - PS_{i-1} & i > 1 \end{cases} \quad (3.19)$$

Adım 6: Her bir kriter için karşılaştırmalı katsayı (CC_i) Denklem (3.20)'deki gibi hesaplanır.

$$CC_i = \begin{cases} 1, & i = 1 \\ CC_i + 1, & i > 1 \end{cases} \quad (3.20)$$

Adım 7: Her bir kriter için yeniden hesaplanan ağırlıklar q_i Denklem (3.21)'deki gibi hesaplanır.

$$q_i = \begin{cases} 1, & i = 1 \\ \frac{q_{i-1}}{CC_i}, & i > 1 \end{cases} \quad (3.21)$$

Adım 8: Nihai kriter ağırlıkları (ω_i) Denklem (3.22)'deki gibi hesaplanır.

$$\omega_i = \frac{q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \quad (3.22)$$

Adım 9: Alternatif j , Tablo 3.2'de verilen dilsel terimlere göre i kriterine göre p numaralı karar verici tarafından değerlendirilir. IF karar matrisi $I_p = [i_{ij}^p]$ olarak tanımlanır, burada $i_{ij}^p = (\mu_{ij}^p, v_{ij}^p)$ p numaralı karar vericinin i alternatifi ($i = 1, 2, 3, \dots, m$) için j kriterine ($j = 1, 2, 3, \dots, n$) göre değerlendirmesini temsil eder.

Adım 10: I_p matrisleri, Denklem (3.23)'te her bir karar vericinin ağırlıkları (ψ_p) kullanılarak birleştirilir.

$$I = \left(\left(1 - \prod_{i=1}^k (1 - I_{\mu_{ij}})^{\psi_p} \right), \left(\prod_{i=1}^k (I_{v_{ij}})^{\psi_p} \right) \right) \quad (3.23)$$

Adım 11: $\mathfrak{B}$ faydalı kriterler seti, $\mathcal{C}$ maliyet kriterleri seti olmak üzere ve $|\mathfrak{B}| + |\mathcal{C}| = n$ olması şartıyla, IF-TOPSIS yönteminde, alternatifleri değerlendirmek için pozitif ideal çözüm S^* ve negatif ideal çözüm S^- belirlenir. IFS için pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerin gösterimi Denklem (3.24) ve (3.25)'teki gibi olur.

$$\begin{aligned} S^* &= \{(\mu_{1*}, v_{1*}), \dots, (\mu_{n*}, v_{n*})\} \\ &= \left\{ \max_i \langle I_{\mu_{ij}} | j \in \mathfrak{B} \rangle, \min_i \langle I_{v_{ij}} | j \in \mathcal{C} \rangle \mid i = 1, \dots, m \right\} \end{aligned} \quad (3.24)$$

$$\begin{aligned} S^- &= \{(\mu_{1-}, v_{1-}), \dots, (\mu_{n-}, v_{n-})\} \\ &= \left\{ \min_i \langle I_{\mu_{ij}} | j \in \mathfrak{B} \rangle, \max_i \langle I_{v_{ij}} | j \in \mathcal{C} \rangle \mid i = 1, \dots, m \right\} \end{aligned} \quad (3.25)$$

Adım 12: Alternatif i ve IF pozitif ideal çözüm S^* arasındaki mesafe, IF mesafe d_{i,S^*} Denklem (3.26)'daki gibi hesaplanır.

$$d_{i,S^*} = \sum_{j=1}^n \omega_j d(I, S^*) = \sum_{j=1}^n \omega_j \sqrt{[(\mu_{ij} - \mu_j^+)^2 + (v_{ij} - v_j^+)^2]} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.26)$$

Pozitif ideal alternatife olan uzaklık değerinin küçük olması, çözüm uzayında en iyi alternatife daha yakın olduğu anlamına gelir. Alternatif i ve IF negatif ideal çözüm S^- arasındaki mesafe, IF mesafe d_{i,S^-} Denklem (3.27)'deki gibi hesaplanır.

$$d_{i,S^-} = \sum_{j=1}^n \omega_j d(I, S^-) = \sum_{j=1}^n \omega_j \sqrt{[(\mu_{ij} - \mu_j^-)^2 + (v_{ij} - v_j^-)^2]} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.27)$$

Negatif ideal alternatife olan uzaklık değerinin büyük olması, çözüm uzayında en iyi alternatife daha yakın olduğu anlamına gelir.

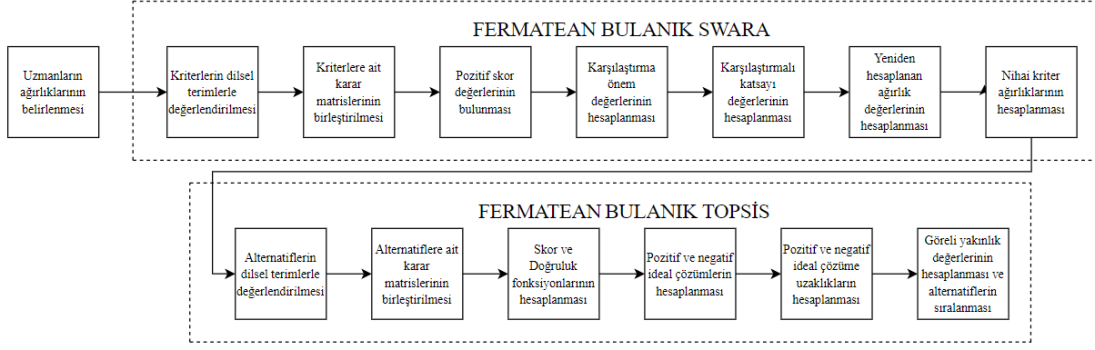
Adım 13: Alternatif i için göreceli yakınlık, RC_i olarak gösterilir ve Denklem (3.28)'deki gibi hesaplanır.

$$RC_i = \frac{d_{i,S^-}}{d_{i,S^*} + d_{i,S^-}} \quad (3.28)$$

Göreceli yakınlık RC_i değerleri, alternatiflerin sırasını gösterecek şekilde ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) azalan düzende sıralanır.

3.3 Fermatean Bulanık SWARA - TOPSIS

Bütünleşik SWARA – TOPSIS yönteminin Fermatean bulanık kümelerle genişletilmiş yeni metodolojisine ait uygulama adımları Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Bütünleşik Fermatean Bulanık SWARA-TOPSIS Metodolojisinin Adımları

Adım 1: Karar vericilerin uzman ağırlıklarının değerlendirilmek için kullanılan dilsel terimlerin Fermatean bulanık kümelerdeki (FFS) bulanık sayı karşılığı Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Uzmanların Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Terimlerin FFS Karşılığı

Dilsel Terimler	μ	ν
Kesinlikle Uzman (AS)	0.95	0.10
Yeterince Uzman (VS)	0.75	0.30
Ortalama Uzman (S)	0.55	0.55
Neredeyse Uzman (LS)	0.30	0.75
Uzman Değil (NS)	0.10	0.95

$|P|$ gruptaki karar vericilerin sayısını belirtir ve p numaralı karar vericinin uzmanlığı, değerlendirme sürecinde karar vericilerin uzmanlığını belirleyen bir FF değeri $E_p = (\mu_p, \nu_p)$ ile temsil edilebilir. Her bir p numaralı karar vericinin uzmanlığı ($p = (1, \dots, |P|)$) Denklem (3.29)'daki gibi hesaplanır.

$$\psi_p = \frac{1 + \mu_p^3 - \nu_p^3}{\sum_{p=1}^{|P|} (1 + \mu_p^3 - \nu_p^3)} \quad (3.29)$$

Adım 2: Karar vericiler Tablo 3.6'da listelenen FF değerlerine sahip dilbilimsel terimleri kullanarak kriterlerin önemini değerlendirir. i kriteri için p numaralı karar verici değerlendirmesi $c_{ip} = (\mu_{ip}, \nu_{ip})$ ile gösterilir.

Tablo 3.6 Kriterlerin ve Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Terimlerin FFS Karşılığı

Dilsel Terimler (Kriter / Alternatif)	μ	ν
Kesinlikle Önemli (AI) / Kesinlikle İyi (AG)	0.99	0.10
Çok Güçlü Önemli (VSI) / Çok İyi (VG)	0.90	0.20
Güçlü Önemli (SI) / İyi (G)	0.80	0.30
Önemli (I) / Biraz İyi (LG)	0.65	0.40
Eşit Önemli (EI) / Orta (M)	0.50	0.50
Önemsiz (U) / Biraz Kötü (LB)	0.35	0.70
Güçlü Önemsiz (SU) / Kötü (B)	0.20	0.80
Çok Güçlü Önemsiz (VSU) / Çok Kötü (VB)	0.10	0.90
Kesinlikle Önemsiz (AU) / Kesinlikle Kötü (AB)	0.01	0.99

Adım 3: FF karar matrisi, karar vericilerin uzmanlık ağırlıklarının (ψ_p) dikkate alınmasıyla karar vericilerin görüşleri toplanarak Denklem (3.30)'daki formül ile oluşturulur. n , ölçüt kümesinin kardinalitesi $z = (z_1, \dots, z_n)$ olmak üzere, $z_i = (\mu_i, \nu_i)$ 'nin bir FF değeri olduğu durumlarda karar vericilerin ortak yargılarının vektörünü temsil etmektedir.

$$z_i = \left(\prod_{p=1}^k (\mu_{ip})^{\psi_p}, \sqrt[3]{1 - \prod_{p=1}^k (1 - (\nu_{ip})^3)^{\psi_p}} \right) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.30)$$

Adım 4: PS_i olarak gösterilen i kriterinin pozitif skor değerinin hesaplanması Denklem (3.31)'de verilmektedir.

$$PS_i = 1 + \mu_i^3 - \nu_i^3 \quad (3.31)$$

Kriterler azalan pozitif skor değerine (PS_i) göre sıralanır.

Adım 5: Adım 4'teki sıraya göre, kriterlerin pozitif skor değerlerinin karşılaştırmalı önemi (CS_i) Denklem (3.32)'de gösterildiği gibi, PS_{i-1} 'in PS_i 'den çıkarılmasıyla hesaplanır.

$$CS_i = \begin{cases} 0 & i = 1 \\ PS_i - PS_{i-1} & i > 1 \end{cases} \quad (3.32)$$

Adım 6: Her bir kriter için karşılaştırmalı katsayı (CC_i) Denklem (3.33)'teki gibi hesaplanır.

$$CC_i = \begin{cases} 1, & i = 1 \\ CS_i + 1, & i > 1 \end{cases} \quad (3.33)$$

Adım 7: Her bir kriter için yeniden hesaplanan ağırlıklar q_i Denklem (3.34)'teki gibi hesaplanır.

$$q_i = \begin{cases} 1, & i = 1 \\ \frac{q_{i-1}}{CC_i}, & i > 1 \end{cases} \quad (3.34)$$

Adım 8: Nihai kriter ağırlıkları (ω_i) Denklem (3.35)'teki gibi hesaplanır.

$$\omega_i = \frac{q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \quad (3.35)$$

Adım 9: Alternatif j , Tablo 3.2'de verilen dilsel terimlere göre i kriterine göre p numaralı karar verici tarafından değerlendirilir. FF karar matrisi $F_p = [f_{ij}^p]$ olarak tanımlanır, burada $f_{ij}^p = (\mu_{ij}^p, v_{ij}^p)$ p numaralı karar vericinin i alternatifi ($i = 1, 2, 3, \dots, m$) için j kriterine ($j = 1, 2, 3, \dots, n$) göre değerlendirmesini temsil eder.

Adım 10: F_p matrisleri, Denklem (3.36)'da her bir karar vericinin ağırlıkları (ψ_p) kullanılarak birleştirilir.

$$F = \left(\prod_{i=1}^k (F_{\mu_{ij}})^{\psi_p}, \prod_{i=1}^k (F_{v_{ij}})^{\psi_p} \right) \quad (3.36)$$

Adım 11: Denklem (2.30) ve (2.31)'de gösterildiği gibi Skor Fonksiyonu $Sc(F) = (\mu_{ij}^3 - v_{ij}^3)$ ile ve Doğruluk Fonksiyonu $Acc(F) = \mu_{ij}^3 + v_{ij}^3$ ile hesaplanır.

Adım 12: $\mathfrak{B}$ faydalı kriterler seti, $\mathcal{C}$ maliyet kriterleri seti olmak üzere ve $|\mathfrak{B}| + |\mathcal{C}| = n$ olması şartıyla, FF-TOPSIS yönteminde, alternatifleri değerlendirmek için pozitif ideal

çözüm S^* ve negatif ideal çözüm S^- belirlenir. FFS için pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerin gösterimi Denklem (3.37) ve (3.38)'deki gibi olur.

$$\begin{aligned} S^* &= \{(\mu_{1*}, v_{1*}), \dots, (\mu_{n*}, v_{n*})\} \\ &= \left\{ \max_i \langle Sc(f_{ij}) | j \in \mathfrak{B} \rangle, \min_i \langle Sc(f_{ij}) | j \in \mathcal{C} \rangle \mid i = 1, \dots, m \right\} \end{aligned} \quad (3.37)$$

$$\begin{aligned} S^- &= \{(\mu_{1-}, v_{1-}), \dots, (\mu_{n-}, v_{n-})\} \\ &= \left\{ \min_i \langle Sc(f_{ij}) | j \in \mathfrak{B} \rangle, \max_i \langle Sc(f_{ij}) | j \in \mathcal{C} \rangle \mid i = 1, \dots, m \right\} \end{aligned} \quad (3.38)$$

Adım 13: Alternatif i ve FF pozitif ideal çözüm S^* arasındaki mesafe, FF mesafe d_{i,S^*} Denklem (3.39)'daki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} d_{i,S^*} &= \sum_{j=1}^n \omega_j d(F, S^*) \\ &= \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \omega_j \sqrt{\frac{1}{2} [(\mu_{ij}^3 - \mu_{j*}^3)^2 + (v_{ij}^3 - v_{j*}^3)^2 + (\pi_{ij}^3 - \pi_{j*}^3)^2]} \\ &\quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (3.39)$$

Pozitif ideal alternatifte olan uzaklık değerinin küçük olması, çözüm uzayında en iyi alternatifte daha yakın olduğu anlamına gelir. Alternatif i ve FF negatif ideal çözüm S^- arasındaki mesafe, FF mesafe d_{i,S^-} Denklem (3.40)'daki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} d_{i,S^-} &= \sum_{j=1}^n \omega_j d(F, S^-) \\ &= \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \omega_j \sqrt{\frac{1}{2} [(\mu_{ij}^3 - \mu_{j-}^3)^2 + (v_{ij}^3 - v_{j-}^3)^2 + (\pi_{ij}^3 - \pi_{j-}^3)^2]} \\ &\quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (3.40)$$

Negatif ideal alternatifte olan uzaklık değerinin büyük olması, çözüm uzayında en iyi alternatifte daha yakın olduğu anlamına gelir.

Adım 14: Alternatif i için göreceli yakınlık, RC_i olarak gösterilir ve Denklem (3.41)'deki gibi hesaplanır.

$$RC_i = \frac{d_{i,S^-}}{d_{i,S^*} + d_{i,S^-}} \quad (3.41)$$

Göreceli yakınlık RC_i değerleri, alternatiflerin sırasını gösterecek şekilde ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) azalan düzende sıralanır.



Bu kısımda önerilen metodolojiyi göstermek için iki farklı problem ele alınmıştır. İlk vaka çalışması bir sıralama problemi olarak Türkiye’deki araştırma üniversitelerinin değerlendirmesi, ikinci vaka ise bir seçim problemi olarak meyve suyu üretim tesisi için lokasyon seçimi şeklindedir. Her iki problemde de bütünleşik SWARA – TOPSIS metodolojisi klasik bulanık kümelerle, sezgisel bulanık kümelerle ve Fermatean bulanık kümelerle genişletilerek uygulanmıştır. Problemlerle ilgili tanımlamalar, bilgiler, uygulama aşamaları ve sonuçlar sırasıyla verilmiştir.

4.1 Araştırma Üniversitelerinin Performans Değerlendirmesi

Yükseköğretim kurumları ihtiyaç olan nitelikli işgücünün oluşmasında önemli faktörlerden biridir [56]. YÖK, Araştırma Odaklı Misyon Farklılaşması Programı kapsamında araştırma üniversitelerini belirlemektedir [57]. Araştırma üniversiteleri, bilime katkıda bulunacak çok sayıda araştırmanın yürütüldüğü sınırlı sayıdaki kurumlardır [58]. YÖK’ün belirlediği araştırma üniversiteleri bu vaka çalışmasının temelini oluşturmaktadır. Performans değerlendirmesi için belirlenen kriterler, YÖK’ün belirttiği göstergelerden ve farklı akademisyenlerden elde edilen bilgiler doğrultusunda belirlenmiştir.

Bu vaka çalışmasının ilk ana kriteri son 1 yılda mezun edilen öğrenci sayısının mevcut öğrencilere oranı olarak belirlenmiştir. Mezun/Öğrenci Oranı kriterine bağlı olarak 3 alt kriter belirlenmiştir. Bunlar; Lisans – Ön Lisans Mezun/Öğrenci Oranı, Yüksek Lisans Mezun/Öğrenci Oranı ve Doktora Mezun/Öğrenci Oranı olarak belirlenmiştir.

İkinci ana kriteri son 1 yılda yapılan Akademik Çalışma Sayısı olarak belirlenmiştir. Araştırma üniversitesi olmanın kuşkusuz en önemli göstergelerinden biri de bilimsel çalışmaların sayısıdır. Bu nedenle Akademik Çalışma Sayısı ana kriterine bağlı 4 alt kriter belirlenmiştir. Bunlar; Yayın Sayısı, Atıf Sayısı, Patent Sayısı ve Proje Sayısı olarak belirlenmiştir.

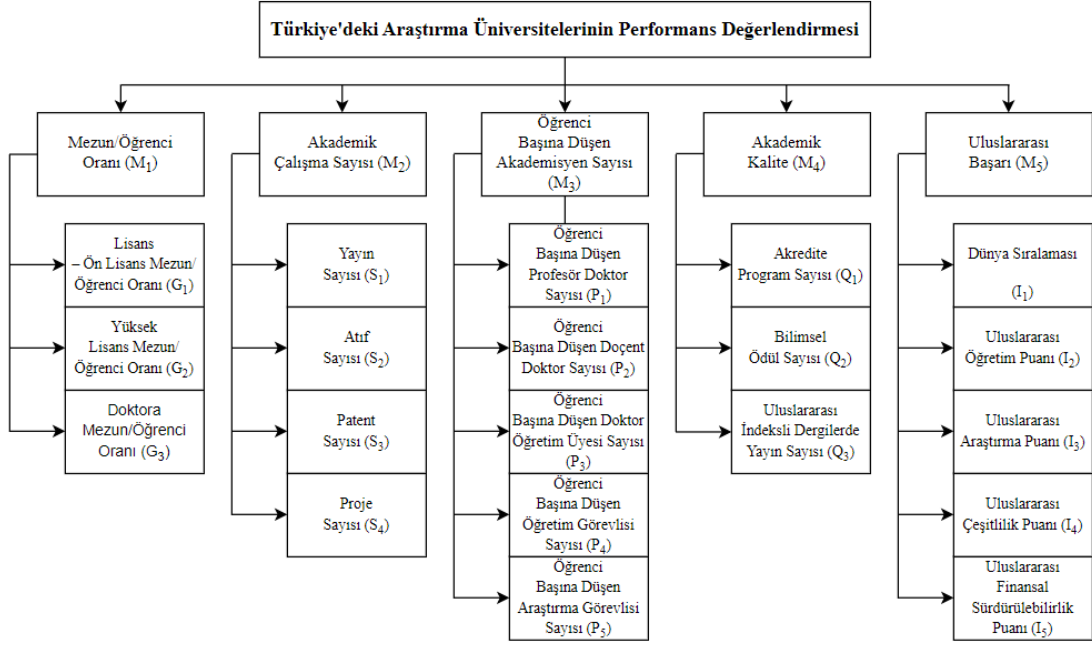
Üçüncü ana kriteri son 1 yıl içerisinde akademik personel sayısının aynı yıl içerisindeki öğrenciye oranı olarak belirlenmiştir. Araştırma üniversitelerine sağlanan avantajlardan

bir diğeri ise akademik personel için ayrılan kadroların diğeri üniversitelerden daha fazla olmasıdır. Bu kriter ile öğrenci sayısına göre akademik personelin oranı ve üniversiteler arası karşılaştırma yapılması hedeflenmiştir. Öğrenci Başına Düşen Akademisyen Sayısı ana kriteri altında 5 alt kriter akademik unvanlara göre belirlenmiştir. Bunlar; Öğrenci Başına Düşen Profesör Doktor sayısı, Öğrenci Başına Düşen Doçent Doktor sayısı, Öğrenci Başına Düşen Doktor Öğretim Üyesi sayısı, Öğrenci Başına Düşen Öğretim Görevlisi sayısı ve Öğrenci Başına Düşen Araştırma Görevlisi sayısı olarak belirlenmiştir.

Dördüncü ana kriteri Akademik Kalite olarak belirlenmiştir. Son yıllarda akademik kalitenin hızla önem kazanması bu kulvardaki yarışın diğeri kriterlere göre daha hızlı arttığını göstermektedir. Akademik anlamda kalitenin ölçümü için pek çok gösterge kullanılmaktadır. Bunlar arasında ölçülebilir göstergeler belirlenerek bu kriterin alt kriterleri oluşturulmuştur. Akademik Kalite’yi farklı noktalardan ölçmek amacıyla üç alt kriter belirlenmiştir. Bunlar; Akredite Program Sayısı, Bilimsel Ödül Sayısı ve Uluslararası İndeksli Dergilerde Yayın Sayısı olarak belirlenmiştir.

Beşinci ve son ana kriter Uluslararası Başarı olarak belirlenmiştir. Bir üniversitenin kendi ülkesinde başarılı olması kadar dünya çapında başarılı ve bilinir olması da oldukça önemlidir. Bu nedenle yabancı kaynakların belirlediği uluslararası puanlamalar üniversitelerin performansını belirlemekte oldukça etkilidir. Uluslararası Başarı kriterini 5 alt kriter oluşturmaktadır. Bunlar; Dünya Sıralaması, Uluslararası Öğretim Puanı, Uluslararası Araştırma Puanı, Uluslararası Çeşitlilik ve Uluslararası Finansal Sürdürülebilirlik Puanı olarak belirlenmiştir.

Aşağıda bu çalışmanın kriterlerine ait hiyerarşi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Sıralama probleminde kriterler hiyerarşisi

Bu çalışmanın alternatiflerini oluşturan araştırma üniversiteleri aşağıda Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Sıralama probleminde alternatifler

Alter.	Üni.	Alter.	Üni.	Alter.	Üni.	Alter.	Üni.
Uni ₁	O****	Uni ₆	A*	Uni ₁₁	E****	Uni ₁₆	A****
Uni ₂	I**	Uni ₇	I*	Uni ₁₂	I*****	Uni ₁₇	G*
Uni ₃	B****	Uni ₈	E*	Uni ₁₃	M**	Uni ₁₈	Ç*
Uni ₄	I****	Uni ₉	H*	Uni ₁₄	B**	Uni ₁₉	F*
Uni ₅	Y**	Uni ₁₀	G**	Uni ₁₅	D**	Uni ₂₀	K**

Çalışmanın amacı, kapsamı, kısıtları, verilerin elde edilmesi, uygulama ve sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

4.1.1 Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Kısıtları

Bu çalışmanın amacı 2021 yılı itibariyle YÖK tarafından açıklanan araştırma üniversitelerinin performans değerlendirmesini yaparak başarı sırasının belirlenmesidir. Bu nedenle çalışmanın kapsamını Türkiye’de yer alan araştırma üniversiteleri

oluşturmaktadır. YÖK tarafından 2021 yılında 4. kez belirlenen araştırma üniversiteleri ile aday araştırma üniversitesi statüsünde yer alan üniversitelerin de araştırma üniversitesi statüsüne geçmesiyle birlikte 20 devlet üniversitesi bu çalışmanın kapsamına girmiştir. Kriterler belirlenirken verilerin ulaşılabilir ve kanıtlanabilir olması çalışmanın başlıca kısıtlarını oluşturmaktadır.

4.1.2 Verilerin Elde Edilmesi

Bu vakada kullanılan kriterler YÖK'ün performans değerlendirmesinde kullandığı göstergeler ile akademik araştırmalar sonucunda belirlenmiştir. Alternatifler kapsam gereği YÖK'ün 2021 yılında devlet okulları arasından belirlediği 20 araştırma üniversitesinden meydana gelmektedir. Araştırma üniversitelerine ait birçok veriye, üniversitelerin ve YÖK'ün web sayfalarından ulaşılmıştır. İnternet üzerinde var olmayan bazı veriler için üniversitelerin ilgili birimleri ile sözlü ve yazılı iletişime geçilerek bilgi alınmıştır. Uluslararası veriler de internet üzerinden ilgili web sayfaları yardımıyla elde edilmiştir.

4.1.3 Sıralama Uygulaması ve Sonuçları

Bu uygulamada Türkiye'de YÖK tarafından en son 2022 yılında belirlenen devlet üniversitesi statüsünde bulunan araştırma üniversitelerinin belirli kriterler altında 3 uzman karar verici görüşü ile performans değerlendirmesi ele alınmıştır. Karar vericilerin, uzmanlık derecesi belirlendikten sonra problem, bulanık SWARA – TOPSIS, sezgisel bulanık SWARA – TOPSIS ve Fermatean bulanık SWARA – TOPSIS metodolojilerine göre değerlendirilmiştir.

Sıralama probleminin çözümü için 3 uzman karar vericinin görüşleri alınmıştır. Karar vericiler, kriterleri kendi içinde ve alternatifleri kriterler bazında dilsel terimlerle değerlendirmişlerdir. Değerlendirmelerin sonuçlarını ortaya koymak ve farklı bulanık kümelerle kıyaslanmasını sağlamak için önerilen metodolojinin adımları uygulanmıştır. Aşağıda karar vericilerin dilsel terimlerle değerlendirme sonuçları verilmiştir. Bu veriler sırasıyla bulanık SWARA – TOPSIS, sezgisel bulanık SWARA – TOPSIS ve Fermatean bulanık SWARA – TOPSIS metodolojilerine uygulanmıştır.

Bu çalışmaya katılan uzman karar vericiler sırasıyla E_1, E_2 ve E_3 kısaltmasıyla gösterilmiştir. Aşağıda karar vericilerin, uzmanlık derecesine ait verdikleri cevaplar Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Sıralama Probleminde Karar Vericilere Ait Uzmanlık Derecelerinin Dilsel Terimlerle Gösterimi

Karar Vericiler	Uzmanlık Derecesi
E_1	AE
E_2	E
E_3	VE

Ana ve alt kriterler kendi içinde karar vericiler tarafından değerlendirilmiştir. Karar vericilerin ana kriterler (R_M) ve alt kriterler (R_G, R_S, R_P, R_Q ve R_I) için dilsel değerlendirmeleri Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Değerlendirilmesi

R_M	E_1	E_2	E_3
M_1	U	VSU	EI
M_2	SI	VSI	VSI
M_3	I	EI	EI
M_4	AI	VSI	AI
M_5	VSI	AI	I
R_G	E_1	E_2	E_3
G_1	U	VSU	EI
G_2	SI	VSI	VSI
G_3	I	EI	EI
R_S	E_1	E_2	E_3
S_1	U	VSU	EI
S_2	SI	VSI	VSI

Tablo 4.3 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Değerlendirilmesi (devamı)

S_3	I	EI	EI
S_4	AI	VSI	AI
R_P	E_1	E_2	E_3
P_1	U	VSU	EI
P_2	SI	VSI	VSI
P_3	I	EI	EI
P_4	AI	VSI	AI
P_5	VSI	AI	I
R_Q	E_1	E_2	E_3
Q_1	U	VSU	EI
Q_2	SI	VSI	VSI
Q_3	I	EI	EI
R_I	E_1	E_2	E_3
I_1	U	VSU	EI
I_2	SI	VSI	VSI
I_3	I	EI	EI
I_4	AI	VSI	AI
I_5	VSI	AI	I

Karar vericilerin alternatifleri kriterler karşısında dilsel değerlendirmeleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Sıralama Probleminde Karar Vericilerin Alternatifleri Kriterler Karşısında Değerlendirmesi

E_1	G_1	G_2	G_3	S_1	S_2	S_3	S_4	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	Q_1	Q_2	Q_3	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
Uni_1	M	G	G	LG	VG	B	B	M	LG	LG	G	LB	B	G	G	AG	VG	VG	VG	G
Uni_2	M	M	LG	LG	B	B	G	LG	LG	LG	LB	B	VG	VB	VG	VG	VG	LG	G	AG
Uni_3	LB	AG	LG	LB	LB	AB	VB	B	VB	B	LB	B	VB	VB	AG	VG	LG	AG	VG	M
Uni_4	AB	VB	AB	AB	AB	AB	VB	LG	G	VG	AG	AG	VB	AB	M	M	LG	M	LB	B
Uni_5	G	AG	VG	VG	LG	LG	VG	LB	LG	M	LB	M	G	G	M	M	LB	M	M	G
Uni_6	LG	LG	G	AG	AG	VB	M	G	LB	B	LB	M	LB	M	G	VG	AG	M	LG	VG
Uni_7	G	G	LG	AG	G	M	G	VB	AB	VB	AB	VB	LB	G	M	VG	G	LG	LG	LG
Uni_8	LG	AB	M	VG	VG	VG	G	B	M	M	B	B	LG	G	M	LB	M	LB	M	G
Uni_9	G	AG	VG	VG	VG	AB	LB	LG	M	G	M	VG	AG	M	AG	VG	AG	LG	LG	B
Uni_{10}	AG	LB	AG	AB	B	VB	G	M	VG	VG	M	VG	VB	LB	LG	AB	AG	LB	M	M
Uni_{11}	AB	M	LG	LG	LG	AB	M	LB	LG	LB	LB	B	AG	LB	B	G	G	M	LB	M
Uni_{12}	LG	G	G	G	G	M	VG	M	G	G	B	M	VB	G	G	B	AB	VB	AB	VB

Tablo 4.4 Sıralama Probleminde Karar Vericilerin Alternatifleri Kriterler Karşısında Değerlendirmesi (devamı)

Uni_{13}	LB	B	B	VG	VG	VB	LB	LB	B	M	VB	LB	M	G	B	LG	LG	LB	M	VB
Uni_{14}	AB	LB	B	G	LG	VG	LG	B	LB	VB	B	VB	G	G	B	LB	LB	B	B	VB
Uni_{15}	VB	B	M	VG	VG	LB	G	M	LG	M	M	B	G	G	LB	M	LG	M	B	M
Uni_{16}	LB	LG	LG	AG	VG	AG	AG	VB	AB	VB	AB	VB	G	AG	AB	B	M	LG	M	G
Uni_{17}	AG	LG	G	VG	AG	G	AG	AG	LB	LG	G	M	VG	B	LG	VG	VG	LG	LB	B
Uni_{18}	LG	AG	LB	M	M	B	VG	LB	LB	M	LB	B	AB	M	LB	LG	VB	VB	AB	AB
Uni_{19}	M	LB	M	G	M	AB	LG	LB	LG	LG	B	VB	VB	AB	AB	VB	AB	AB	AB	VB
Uni_{20}	LB	G	LB	M	LG	M	LG	LG	LG	VG	LB	VG	G	G	LB	B	VB	VB	AB	AB
E_2	G_1	G_2	G_3	S_1	S_2	S_3	S_4	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	Q_1	Q_2	Q_3	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
Uni_1	M	G	G	LG	M	LB	M	M	M	LG	LG	M	M	M	VG	AG	VG	AG	AG	VG
Uni_2	M	LB	M	LG	B	LB	LB	LG	G	LG	LB	M	LG	B	AG	AG	LG	VG	VG	AG
Uni_3	LB	LG	LG	M	LB	AB	LG	M	LG	G	M	LB	VB	B	AG	VG	LG	VG	AG	M

Tablo 4.4 Sıralama Probleminde Karar Vericilerin Alternatifleri Kriterler Karşısında Değerlendirmesi (devamı)

Uni_4	VB	B	AB	VB	VB	AB	LB	M	G	M	AG	AG	VB	AB	LG	M	LB	LB	VB	LB
Uni_5	LG	G	M	LB	M	G	LG	LB	LG	LG	G	G	VG	G	M	M	LG	LG	LG	VG
Uni_6	M	M	M	G	G	AB	AB	G	M	LB	M	G	LB	M	LG	G	AG	G	G	VG
Uni_7	LG	LG	G	VG	G	LB	M	VB	VB	AB	AB	VB	LB	LG	M	G	LG	LG	G	G
Uni_8	LG	AB	G	M	M	G	VG	B	VB	B	VB	LB	LG	G	LG	LB	M	LG	G	VG
Uni_9	VG	AG	LG	LG	G	AB	M	VG	M	G	VG	AG	AG	M	AG	G	AG	G	LG	M
Uni_{10}	AG	M	AG	VB	LB	AB	B	G	LG	AG	VG	AG	AB	LB	M	AB	AG	M	LG	G
Uni_{11}	AB	M	LG	LB	M	AB	AB	VG	G	LG	VG	AG	AG	LB	B	LG	M	M	LB	LG
Uni_{12}	LG	G	G	LB	VB	AB	M	VG	VG	G	G	AG	B	LG	G	B	AB	AB	AB	AB
Uni_{13}	LB	LB	M	LG	B	AB	AB	M	LB	LG	LB	M	M	G	LB	LG	LG	M	LB	VB
Uni_{14}	AB	M	M	LG	LB	VG	M	LB	M	VB	LG	G	LB	LG	LB	B	B	LB	LB	M
Uni_{15}	B	LB	M	LG	LG	LB	M	G	LG	G	VG	VG	LG	M	LB	LB	LB	M	LG	G

Tablo 4.4 Sıralama Probleminde Karar Vericilerin Alternatifleri Kriterler Karşısında Değerlendirmesi (devamı)

Uni_{16}	B	LG	M	AG	LG	AG	AG	AB	VB	VB	VB	VB	LB	AG	AB	B	M	LB	LB	M
Uni_{17}	AG	LG	M	VG	AG	G	B	AG	AG	M	LG	AG	LG	VG	LB	LG	AG	M	LB	M
Uni_{18}	LG	LG	G	LG	M	AB	VG	LG	B	LB	M	LG	AB	LB	LB	LG	AB	AB	AB	AB
Uni_{19}	LB	M	G	G	VB	AB	B	AB	M	G	LG	LG	LB	AB	AB	VB	AB	AB	AB	AB
Uni_{20}	LB	G	G	LG	LB	LB	M	VG	LG	VG	LG	VG	G	M	LB	VB	AB	AB	AB	AB
E_3	G_1	G_2	G_3	S_1	S_2	S_3	S_4	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	Q_1	Q_2	Q_3	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
Uni_1	LG	G	M	LB	VG	LB	LB	M	M	LG	G	G	LG	LG	G	AG	VG	AG	AG	G
Uni_2	LG	VB	G	LB	B	LB	VG	LG	M	LG	LG	M	AG	B	VG	VG	AG	G	VG	AG
Uni_3	LB	AG	G	B	LB	AB	VB	M	G	G	LG	B	B	VB	AG	AG	G	AG	AG	M
Uni_4	VB	VB	AB	VB	LB	AB	VB	LG	VG	VG	AG	AG	B	VB	M	LB	LG	LB	LB	B
Uni_5	LG	AG	VG	G	LB	G	VG	LB	LG	M	B	B	VG	G	M	M	LB	M	LG	G
Uni_6	LG	LB	LG	VG	VG	VB	VB	LG	LB	B	M	M	LB	B	VG	VG	AG	LG	G	VG

Tablo 4.4 Sıralama Probleminde Karar Vericilerin Alternatifleri Kriterler Karşısında Değerlendirmesi (devamı)

Uni_7	G	LG	M	AG	VG	B	LB	VB	AB	AB	AB	VB	LB	G	M	VG	G	G	LG	VG
Uni_8	LG	AB	M	G	M	G	VG	LB	B	LG	B	LB	LG	VG	M	LB	LG	LB	M	G
Uni_9	G	AG	VG	VG	VG	AB	B	G	G	LG	LG	VG	AG	LB	AG	VG	AG	G	LG	B
Uni_{10}	AG	B	AG	VB	B	VB	M	M	AG	AG	LG	VG	VB	B	M	AB	AG	B	M	LG
Uni_{11}	AB	LB	M	LG	B	VB	VB	LG	LG	LB	LG	LB	VG	B	LB	G	G	M	B	LG
Uni_{12}	LG	G	LG	G	LB	LG	G	G	VG	G	LB	LG	B	G	LG	B	VB	VB	AB	AB
Uni_{13}	B	B	LB	VG	VG	VB	B	M	M	LG	B	B	M	VG	LB	LG	LB	LB	LG	VB
Uni_{14}	AB	LB	LB	G	M	VG	M	B	B	VB	LB	B	LG	G	LB	B	LB	B	LB	VB
Uni_{15}	VB	B	M	VG	VG	B	LB	LB	M	LG	LG	B	LG	G	LB	LB	LB	LG	VB	LG
Uni_{16}	B	LB	LG	AG	VG	AG	AG	VB	AB	VB	AB	VB	AG	G	VB	B	LB	G	B	LG
Uni_{17}	AG	M	LG	VG	AG	VG	M	AG	AG	B	LG	VG	M	VG	LB	LG	VG	LG	B	VB
Uni_{18}	M	AG	LB	LB	LB	B	VG	LB	B	LB	M	LB	AB	B	LB	LG	VG	G	B	B

Tablo 4.4 Sıralama Probleminde Karar Vericilerin Alternatifleri Kriterler Karşısında Değerlendirmesi (devamı)

Uni_{19}	LB	B	LB	G	LG	AB	LB	LB	M	LG	B	LB	VB	AB	AB	AB	AB	VB	AB	VB
Uni_{20}	B	LG	LB	LB	LG	M	LB	LG	M	VG	M	G	LG	M	LB	VB	VB	AB	VB	VB

4.1.3.1 Bulanık SWARA - TOPSIS

Bulanık SWARA – TOPSIS metodolojisine göre kriterler bulanık SWARA, alternatifler bulanık TOPSIS yöntemine göre değerlendirilmiştir. Karar vericilerin uzmanlık derecesi (ağırlıkları) bulanık sayılarla Denklem (3.1)’deki gibi hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar Tablo 4.5’te gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Karar Vericilerin Sıralama Probleminde Bulanık Uzmanlık Derecesi

Karar Vericiler	F Uzmanlık Derecesi
E_1	0.429
E_2	0.238
E_3	0.333

Karar vericilerin kriterleri dilsel terimlerle değerlendirmelerinden sonra her karar verici için c_{ip} oluşturulmuştur. Kriterlerin değerlendirmesi için bulanık SWARA yöntemi uygulanmıştır. Tüm karar vericilerin değerlendirmeleriyle uzmanlık dereceleri de göz önüne alınarak birleştirilmiş ana karar matrisi (z) ve alt kriterlere ait karar matrisleri Denklem (3.2)’deki gibi hesaplanmıştır. Birleştirilmiş karar matrisleri Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlere Ait Bulanık z Sonuçları

z	z Sonuçları	z	z Sonuçları	z	z Sonuçları
M_1	(3.00, 4.02, 5.04)	G_1	(1.70, 2.78, 3.81)	S_1	(5.84, 6.85, 7.86)
M_2	(6.55, 7.56, 8.56)	G_2	(5.31, 6.32, 7.32)	S_2	(6.00, 7.00, 8.00)
M_3	(4.40, 5.41, 6.41)	G_3	(6.75, 7.75, 8.75)	S_3	(6.65, 7.65, 8.65)
M_4	(8.48, 8.75, 9.00)			S_4	(7.00, 8.00, 9.00)
M_5	(6.64, 7.48, 8.28)				
z	z Sonuçları	z	z Sonuçları	z	z Sonuçları
P_1	(5.22, 6.22, 7.23)	Q_1	(5.86, 6.86, 7.87)	I_1	(7.13, 7.86, 8.56)

Tablo 4.6 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlere Ait Bulanık z Sonuçları
(devamı)

P_2	(4.64, 5.65, 6.65)	Q_2	(5.22, 6.22, 7.23)	I_2	(5.04, 6.06, 7.07)
P_3	(3.63, 4.64, 5.65)	Q_3	(8.48, 8.75, 9.00)	I_3	(6.75, 7.75, 8.75)
P_4	(2.62, 3.63, 4.64)			I_4	(4.54, 5.55, 6.55)
P_5	(3.83, 4.85, 5.86)			I_5	(4.74, 5.75, 6.75)

z matrislerinden ana ve alt kriterlere ait ortalama normalize bulanık değerleri ($ANF(i)$) karar matrisleri normalize edilerek Denklem (3.3)'teki gibi hesaplanmıştır. Tüm kriterlere ait ortalama normalize bulanık değerleri Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Ortalama Normalize Bulanık Değerleri

R_M	$ANF(i)$	R_G	$ANF(i)$	R_S	$ANF(i)$
M_1	0.12	G_1	0.18	S_1	0.24
M_2	0.23	G_2	0.39	S_2	0.24
M_3	0.17	G_3	0.48	S_3	0.27
M_4	0.27			S_4	0.28
M_5	0.23				
R_P	$ANF(i)$	R_Q	$ANF(i)$	R_I	$ANF(i)$
P_1	0.26	Q_1	0.32	I_1	0.24
P_2	0.24	Q_2	0.29	I_2	0.19
P_3	0.20	Q_3	0.40	I_3	0.24
P_4	0.16			I_4	0.17
P_5	0.21			I_5	0.18

Ortalama normalize bulanık değerleri $ANF(i)$ her ana ve alt kriter için bulunduktan sonra her kriter grubu kendi içinde azalan şekilde sıralanmıştır. Normalize bulanık değerine göre sıralanan ana ve alt kriterler normalize bulanık değerine karşılık gelen üçgen normalize karar değerleriyle karşılaştırma önem değerleri (CS_i) Denklem (3.4)'teki gibi, karşılaştırmalı katsayı değerleri (CC_i) Denklem (3.5)'teki gibi, yeniden hesaplanan ağırlık değerleri (q_i) Denklem (3.6)'daki gibi ve bulanık kriter ağırlıkları (ω_i) Denklem (3.7)'deki gibi hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Bulanık Ağırlık Hesaplamaları

R_M	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
M_4	(0.00, 0.00, 0.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.26, 0.28, 0.30)
M_2	(0.18, 0.23, 0.29)	(1.18, 1.23, 1.29)	(0.77, 0.81, 0.85)	(0.20, 0.23, 0.26)
M_5	(0.18, 0.23, 0.28)	(1.18, 1.23, 1.28)	(0.60, 0.66, 0.72)	(0.16, 0.19, 0.22)
M_3	(0.12, 0.16, 0.22)	(1.12, 1.16, 1.22)	(0.49, 0.57, 0.65)	(0.13, 0.16, 0.20)
M_1	(0.08, 0.12, 0.17)	(1.08, 1.12, 1.17)	(0.42, 0.51, 0.60)	(0.11, 0.14, 0.18)
R_G	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
G_3	(0.00, 0.00, 0.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.40, 0.43, 0.46)
G_2	(0.27, 0.38, 0.53)	(1.27, 1.38, 1.53)	(0.65, 0.73, 0.79)	(0.26, 0.31, 0.36)
G_1	(0.09, 0.16, 0.28)	(1.09, 1.16, 1.28)	(0.51, 0.62, 0.73)	(0.20, 0.27, 0.34)
R_S	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
S_4	(0.00, 0.00, 0.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.32, 0.34, 0.36)
S_3	(0.20, 0.26, 0.34)	(1.20, 1.26, 1.34)	(0.75, 0.79, 0.83)	(0.24, 0.27, 0.30)
S_1	(0.18, 0.24, 0.31)	(1.18, 1.24, 1.31)	(0.57, 0.64, 0.71)	(0.18, 0.22, 0.26)
S_2	(0.17, 0.23, 0.31)	(1.17, 1.23, 1.31)	(0.43, 0.52, 0.60)	(0.14, 0.18, 0.22)
R_P	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
P_1	(0.00, 0.00, 0.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.25, 0.28, 0.32)

Tablo 4.8 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Bulanık Ağırlık Hesaplamaları
(devamı)

P_2	(0.15, 0.23, 0.83)	(1.15, 1.23, 1.83)	(0.75, 0.82, 0.87)	(0.19, 0.23, 0.28)
P_5	(0.13, 0.19, 0.29)	(1.13, 1.19, 1.29)	(0.58, 0.68, 0.77)	(0.15, 0.19, 0.24)
P_3	(0.12, 0.19, 0.28)	(1.12, 1.19, 1.28)	(0.45, 0.58, 0.69)	(0.11, 0.16, 0.22)
P_4	(0.09, 0.15, 0.23)	(1.09, 1.15, 1.23)	(0.37, 0.50, 0.63)	(0.09, 0.14, 0.20)
R_Q	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
Q_3	(0.00, 0.00, 0.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.41, 0.42, 0.43)
Q_1	(0.24, 0.31, 0.40)	(1.24, 1.31, 1.40)	(0.71, 0.76, 0.80)	(0.29, 0.32, 0.36)
Q_2	(0.22, 0.29, 0.37)	(1.22, 1.29, 1.37)	(0.52, 0.59, 0.66)	(0.21, 0.25, 0.30)
R_I	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
I_1	(0.00, 0.00, 0.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.26, 0.28, 0.31)
I_3	(0.18, 0.24, 0.31)	(1.18, 1.24, 1.31)	(0.76, 0.81, 0.85)	(0.20, 0.23, 0.26)
I_2	(0.13, 0.18, 0.25)	(1.13, 1.18, 1.25)	(0.61, 0.68, 0.75)	(0.16, 0.19, 0.23)
I_5	(0.13, 0.17, 0.24)	(1.13, 1.17, 1.24)	(0.49, 0.58, 0.66)	(0.13, 0.16, 0.20)
I_4	(0.12, 0.17, 0.23)	(1.12, 1.17, 1.23)	(0.40, 0.50, 0.59)	(0.10, 0.14, 0.18)

Alternatiflerin değerlendirilebilmesi için alt kriterlerin nihai ağırlıkları bulunmuştur. Her kriterin ortalama ağırlığı Denklem (3.8)'deki gibi hesaplanmıştır. Ana ve alt kriter ağırlıkları belirlendikten sonra ana kriterlerin ağırlıkları alt kriterlerle dağıtılarak alt kriterlerin nihai ağırlıkları hesaplanmıştır. Alt kriterlere ait nihai ağırlık (ω_{iF}) değerleri Tablo 4.9'da gösterilmiştir.

Tablo 4.9 Sıralama Probleminde Alt Kriterlerin Nihai Bulanık Ağırlıkları

Alt Kriterler	ω_{iF}	Alt Kriterler	ω_{iF}
G_1	0.04	P_1	0.05

Tablo 4.9 Sıralama Probleminde Alt Kriterlerin Nihai Bulanık Ağırlıkları (devamı)

G_2	0.05	P_2	0.04
G_3	0.06	P_3	0.03
S_1	0.04	P_4	0.02
S_2	0.05	P_5	0.03
S_3	0.06	I_1	0.05
S_4	0.08	I_2	0.04
Q_1	0.09	I_3	0.04
Q_2	0.07	I_4	0.03
Q_3	0.12	I_5	0.03

Tüm alt kriterlere ait nihai ağırlıklar (ω_{iF}) hesaplandıktan sonra alternatifler bulanık TOPSIS yöntemine göre değerlendirilmiştir.

Karar vericilerin değerlendirmeleri sonucunda bulanık sayılarla alternatifler için birleştirilmiş karar matrisleri olan T Denklem (3.9)'daki gibi hesaplanmıştır. Alternatiflerin M_1 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi

Uni_i	G_1	G_2	G_3
Uni_1	(4.31, 5.31, 6.32)	(6.00, 7.00, 8.00)	(5.24, 6.26, 7.27)
Uni_2	(4.31, 5.31, 6.32)	(2.35, 3.49, 4.56)	(5.04, 6.05, 7.05)
Uni_3	(3.00, 4.00, 5.00)	(7.82, 8.17, 8.48)	(5.31, 6.32, 7.32)
Uni_4	(1.00, 1.49, 1.87)	(1.18, 2.20, 3.21)	(1.00, 1.00, 1.00)
Uni_5	(5.41, 6.41, 7.41)	(8.17, 8.48, 8.75)	(6.13, 7.15, 8.17)

Tablo 4.10 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi (devamı)

Uni_6	(4.74, 5.75, 6.75)	(4.00, 5.02, 6.03)	(5.13, 6.14, 7.15)
Uni_7	(5.75, 6.75, 7.75)	(5.41, 6.41, 7.41)	(4.58, 5.86, 6.86)
Uni_8	(5.00, 6.00, 7.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(4.41, 5.42, 6.43)
Uni_9	(6.22, 7.23, 8.23)	(9.00, 9.00, 9.00)	(6.46, 7.47, 8.48)
Uni_{10}	(9.00, 9.00, 9.00)	(2.81, 3.83, 4.85)	(9.00, 9.00, 9.00)
Uni_{11}	(1.00, 1.00, 1.00)	(3.63, 4.64, 5.65)	(4.64, 5.65, 6.65)
Uni_{12}	(5.00, 6.00, 7.00)	(6.00, 7.00, 8.00)	(5.65, 6.65, 7.65)
Uni_{13}	(2.62, 3.63, 4.64)	(2.20, 3.21, 4.22)	(2.70, 3.73, 4.75)
Uni_{14}	(1.00, 1.00, 1.00)	(3.21, 4.22, 5.22)	(2.70, 3.73, 4.75)
Uni_{15}	(1.18, 2.20, 3.21)	(2.20, 3.21, 4.22)	(4.00, 5.00, 6.00)
Uni_{16}	(2.38, 3.39, 4.40)	(4.22, 5.24, 6.26)	(4.74, 5.75, 6.75)
Uni_{17}	(9.00, 9.00, 9.00)	(4.64, 5.65, 6.65)	(5.13, 6.14, 7.15)
Uni_{18}	(4.64, 5.65, 6.65)	(7.82, 8.17, 8.48)	(3.54, 4.57, 5.59)
Uni_{19}	(3.39, 4.40, 5.41)	(2.81, 3.83, 4.85)	(4.00, 5.03, 6.05)
Uni_{20}	(2.62, 3.63, 4.64)	(5.65, 6.65, 7.65)	(3.54, 4.57, 5.59)

Birleştirilmiş karar matrisine göre ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi Denklem (3.10)'daki gibi hesaplanmıştır. Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesinde Denklem (3.11)'deki gibi pozitif ideal çözüm (S^*), Denklem (3.12)'deki gibi negatif ideal çözüm (S^-) değerleri hesaplanmıştır. M_1 ana kriterine ait alt kriterlere ait pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.11'de gösterilmiştir.

Tablo 4.11 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri

Uzaklık	G_1	G_2	G_3
S^*	(0.003,0.003,0.003)	(0.003,0.003,0.003)	(0.004,0.004,0.004)
S^-	(0.000,0.001,0.001)	(0.000,0.000,0.000)	(0.000,0.000,0.000)

Alternatiflerin M_2 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi Tablo 4.12’de gösterilmiştir.

Tablo 4.12 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi

Uni_i	S_1	S_2	S_3	S_4
Uni_1	(4.22, 5.24, 6.26)	(6.13, 7.15, 8.17)	(2.52, 3.54, 4.54)	(2.70, 3.73, 4.75)
Uni_2	(4.22, 5.24, 6.26)	(2.00, 3.00, 4.00)	(2.52, 3.54, 4.54)	(5.36, 6.41, 7.44)
Uni_3	(2.81, 3.83, 4.85)	(3.00, 4.00, 5.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.47, 2.60, 3.67)
Uni_4	(1.00, 1.49, 1.87)	(1.44, 1.87, 2.22)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.30, 2.36, 3.39)
Uni_5	(5.43, 6.49, 7.52)	(4.00, 5.02, 6.03)	(5.55, 6.55, 7.56)	(6.46, 7.47, 8.48)
Uni_6	(7.52, 8.15, 8.75)	(7.52, 8.15, 8.75)	(1.00, 1.70, 2.31)	(1.81, 2.51, 3.11)
Uni_7	(8.48, 8.75, 9.00)	(6.32, 7.32, 8.32)	(2.96, 4.00, 5.02)	(4.32, 5.36, 6.39)
Uni_8	(5.82, 6.84, 7.86)	(5.08, 6.12, 7.14)	(6.41, 7.41, 8.41)	(6.55, 7.56, 8.56)
Uni_9	(6.46, 7.47, 8.48)	(6.75, 7.75, 8.75)	(1.00, 1.00, 1.00)	(2.81, 3.83, 4.85)
Uni_{10}	(1.00, 1.49, 1.87)	(2.20, 3.21, 4.22)	(1.00, 1.70, 2.31)	(4.04, 5.11, 6.16)
Uni_{11}	(4.43, 5.45, 6.46)	(3.49, 4.56, 5.60)	(1.00, 1.26, 1.44)	(1.81, 2.51, 3.11)
Uni_{12}	(5.09, 6.13, 7.15)	(3.11, 4.31, 5.42)	(3.10, 3.62, 4.12)	(5.82, 6.84, 7.86)
Uni_{13}	(6.46, 7.47, 8.48)	(5.19, 6.33, 7.42)	(1.00, 1.70, 2.31)	(2.02, 2.61, 3.16)

Tablo 4.12 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi (devamı)

Uni_{14}	(5.75, 6.75, 7.75)	(4.11, 5.13, 6.14)	(7.00, 8.00, 9.00)	(4.40, 5.41, 6.41)
Uni_{15}	(6.46, 7.47, 8.48)	(6.46, 7.47, 8.48)	(2.62, 3.63, 4.64)	(4.32, 5.36, 6.39)
Uni_{16}	(9.00, 9.00, 9.00)	(6.46, 7.47, 8.48)	(9.00, 9.00, 9.00)	(9.00, 9.00, 9.00)
Uni_{17}	(7.00, 8.00, 9.00)	(9.00, 9.00, 9.00)	(6.32, 7.32, 8.32)	(4.31, 5.42, 6.48)
Uni_{18}	(3.83, 4.85, 5.86)	(3.63, 4.64, 5.65)	(1.70, 2.31, 2.88)	(7.00, 8.00, 9.00)
Uni_{19}	(6.00, 7.00, 8.00)	(3.10, 4.27, 5.36)	(1.00, 1.00, 1.00)	(3.39, 4.44, 5.48)
Uni_{20}	(3.83, 4.85, 5.86)	(4.43, 5.45, 6.46)	(3.74, 4.74, 5.75)	(4.00, 5.02, 6.03)

M_2 ana kriterine ait alt kriterlere ait pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.13'te gösterilmiştir.

Tablo 4.13 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri

Uzaklık	S_1	S_2	S_3	S_4
S^+	(0.003,0.003,0.003)	(0.003,0.003,0.003)	(0.006,0.006,0.006)	(0.006,0.006,0.006)
S^-	(0.000,0.000,0.001)	(0.001,0.001,0.001)	(0.001,0.001,0.001)	(0.001,0.002,0.002)

Alternatiflerin M_3 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi Tablo 4.14'te gösterilmiştir.

Tablo 4.14 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi

Uni_i	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
Uni_1	(4.00, 5.00, 6.00)	(4.40, 5.41, 6.41)	(5.00, 6.00, 7.00)	(5.75, 6.75, 8.75)	(4.05, 5.08, 6.11)
Uni_2	(5.00, 6.00, 7.00)	(4.85, 5.86, 6.86)	(5.00, 6.00, 7.00)	(3.56, 4.58, 5.59)	(2.97, 4.02, 5.04)
Uni_3	(2.97, 4.02, 5.04)	(2.67, 3.94, 5.09)	(3.75, 4.87, 5.94)	(3.81, 4.83, 5.84)	(2.20, 3.21, 4.22)
Uni_4	(4.74, 5.75, 6.75)	(6.32, 7.32, 8.32)	(6.13, 7.15, 8.17)	(9.00, 9.00, 9.00)	(9.00, 9.00, 9.00)
Uni_5	(3.00, 4.00, 5.00)	(5.00, 6.00, 7.00)	(4.22, 5.22, 6.22)	(3.09, 4.15, 5.19)	(3.50, 4.57, 5.61)
Uni_6	(5.65, 6.65, 7.65)	(3.21, 4.22, 5.22)	(2.20, 3.21, 4.22)	(3.54, 4.54, 5.55)	(4.41, 5.42, 6.43)
Uni_7	(1.00, 2.00, 3.00)	(1.00, 1.18, 1.30)	(1.00, 1.35, 1.60)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 2.00, 3.00)
Uni_8	(2.29, 3.30, 4.31)	(2.28, 3.39, 4.44)	(3.65, 4.70, 5.74)	(1.70, 2.72, 3.74)	(2.52, 3.54, 4.54)
Uni_9	(5.76, 6.76, 7.77)	(4.58, 5.59, 6.60)	(5.65, 6.65, 7.65)	(4.92, 5.94, 6.96)	(7.43, 8.23, 9.00)
Uni_{10}	(4.41, 5.42, 6.43)	(7.03, 7.77, 8.48)	(8.08, 8.56, 9.00)	(4.92, 5.94, 6.96)	(7.43, 8.23, 9.00)
Uni_{11}	(4.35, 5.40, 6.43)	(5.22, 6.22, 7.23)	(3.39, 4.41, 5.42)	(4.35, 5.40, 6.43)	(3.28, 4.29, 5.23)
Uni_{12}	(5.23, 6.26, 7.27)	(6.55, 7.56, 8.56)	(6.00, 7.00, 8.00)	(2.97, 4.04, 5.08)	(5.23, 6.11, 6.96)

Tablo 4.14 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi (devamı)

Uni_{13}	(3.54, 4.54, 5.55)	(2.78, 3.81, 4.83)	(4.54, 5.55, 6.55)	(1.64, 2.70, 3.73)	(2.81, 3.83, 4.85)
Uni_{14}	(2.20, 3.21, 4.22)	(2.81, 3.83, 4.85)	(1.18, 2.20, 3.21)	(2.85, 3.89, 4.92)	(1.93, 3.09, 4.17)
Uni_{15}	(4.00, 5.03, 6.05)	(4.64, 5.65, 6.65)	(4.75, 5.76, 6.76)	(4.92, 5.94, 6.96)	(2.70, 3.79, 4.85)
Uni_{16}	(1.00, 1.70, 2.31)	(1.00, 1.18, 1.30)	(1.00, 2.00, 3.00)	(1.00, 1.18, 1.30)	(1.00, 2.00, 3.00)
Uni_{17}	(9.00, 9.00, 9.00)	(9.00, 9.00, 9.00)	(2.81, 3.83, 4.85)	(5.00, 6.00, 7.00)	(6.96, 7.77, 8.56)
Uni_{18}	(3.39, 4.41, 5.42)	(2.38, 3.39, 4.40)	(3.39, 4.40, 5.41)	(3.54, 4.54, 5.55)	(2.85, 3.89, 4.92)
Uni_{19}	(2.31, 2.88, 3.41)	(4.40, 5.41, 6.41)	(5.22, 6.22, 7.23)	(2.49, 3.54, 4.57)	(2.12, 3.27, 4.35)
Uni_{20}	(5.42, 6.43, 7.43)	(4.64, 5.65, 6.65)	(7.00, 8.00, 9.00)	(3.73, 4.75, 5.76)	(6.65, 7.65, 8.65)

M_3 ana kriterine ait alt kriterlere ait pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.15'te gösterilmiştir.

Tablo 4.15 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri

Uzaklık	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
S^+	(0.004,0.004 ,0.004)	(0.003,0.003 ,0.003)	(0.002,0.002 ,0.002)	(0.002,0.002 ,0.002)	(0.002,0.002 ,0.002)
S^-	(0.000,0.001 ,0.001)	(0.000,0.000 ,0.000)	(0.000,0.000 ,0.000)	(0.000,0.000 ,0.000)	(0.000,0.001 ,0.001)

Alternatiflerin M_4 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi Tablo 4.16'da gösterilmiştir.

Tablo 4.16 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_4 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi

Uni_i	Q_1	Q_2	Q_3
Uni_1	(3.20, 4.27, 5.31)	(5.13, 6.14, 7.15)	(6.22, 7.23, 8.23)
Uni_2	(7.03, 7.77, 8.48)	(1.49, 2.52, 3.54)	(7.43, 8.23, 9.00)
Uni_3	(1.26, 2.29, 3.30)	(1.18, 2.20, 3.21)	(9.00, 9.00, 9.00)
Uni_4	(1.26, 2.29, 3.30)	(1.00, 1.26, 1.44)	(4.22, 5.22, 6.22)
Uni_5	(6.55, 7.56, 8.56)	(6.00, 7.00, 8.00)	(4.00, 5.00, 6.00)
Uni_6	(3.00, 4.00, 5.00)	(3.17, 4.22, 5.24)	(6.05, 7.05, 8.06)
Uni_7	(3.00, 4.00, 5.00)	(5.75, 6.75, 7.75)	(4.00, 5.00, 6.00)
Uni_8	(5.00, 6.00, 7.00)	(6.32, 7.32, 8.32)	(4.22, 5.22, 6.22)
Uni_9	(9.00, 9.00, 9.00)	(3.63, 4.64, 5.65)	(9.00, 9.00, 9.00)
Uni_{10}	(1.00, 1.70, 2.31)	(2.62, 3.63, 4.64)	(4.40, 5.41, 6.41)

Tablo 4.16 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_4 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi (devamı)

Uni_{11}	(8.28, 8.65, 9.00)	(2.62, 3.63, 4.64)	(2.29, 3.30, 4.31)
Uni_{12}	(1.49, 2.52, 3.54)	(5.75, 6.75, 7.75)	(5.65, 6.65, 7.65)
Uni_{13}	(4.00, 5.00, 6.00)	(6.32, 7.32, 8.32)	(2.52, 3.54, 4.54)
Uni_{14}	(4.79, 5.82, 6.84)	(5.75, 6.75, 7.75)	(2.52, 3.54, 4.54)
Uni_{15}	(5.41, 6.41, 7.41)	(5.45, 6.46, 7.47)	(3.00, 4.00, 5.00)
Uni_{16}	(5.82, 6.66, 7.44)	(7.86, 8.28, 8.65)	(1.00, 1.26, 1.44)
Uni_{17}	(4.22, 5.22, 6.22)	(7.00, 8.00, 9.00)	(2.52, 3.54, 4.54)
Uni_{18}	(1.00, 1.00, 1.00)	(2.96, 4.00, 5.02)	(3.00, 4.00, 5.00)
Uni_{19}	(1.30, 2.36, 3.39)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)
Uni_{20}	(5.65, 6.65, 7.65)	(4.76, 5.78, 6.79)	(3.00, 4.00, 5.00)

M_4 ana kriterine ait alt kriterlere ait pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.17’de gösterilmiştir.

Tablo 4.17 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_4 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri

Uzaklık	Q_1	Q_2	Q_3
S^*	(0.007,0.007,0.007)	(0.005,0.005,0.005)	(0.009,0.009,0.009)
S^-	(0.001,0.001,0.002)	(0.001,0.001,0.001)	(0.001,0.001,0.001)

Alternatiflerin M_5 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi Tablo 4.18’de gösterilmiştir.

Tablo 4.18 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_5 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi

Uni_i	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
Uni_1	(9.00, 9.00, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)	(8.08, 8.56, 9.00)	(8.08, 8.56, 9.00)	(6.22, 7.23, 8.23)
Uni_2	(7.43, 8.23, 9.00)	(7.03, 7.77, 8.48)	(5.76, 6.76, 7.77)	(6.55, 7.56, 8.56)	(9.00, 9.00, 9.00)
Uni_3	(7.61, 8.32, 9.00)	(5.31, 6.32, 7.32)	(8.48, 8.75, 9.00)	(8.08, 8.56, 9.00)	(4.00, 5.00, 6.00)
Uni_4	(3.63, 4.64, 5.65)	(4.43, 5.45, 6.46)	(3.39, 4.40, 5.41)	(2.31, 3.39, 4.43)	(2.20, 3.21, 4.22)
Uni_5	(4.00, 5.00, 6.00)	(3.39, 4.41, 5.42)	(4.22, 5.22, 6.22)	(4.54, 5.55, 6.55)	(6.22, 7.23, 8.23)
Uni_6	(6.75, 7.75, 8.75)	(9.00, 9.00, 9.00)	(4.75, 5.76, 6.76)	(5.55, 6.55, 7.56)	(7.00, 8.00, 9.00)
Uni_7	(6.75, 7.75, 8.75)	(5.75, 6.75, 7.75)	(5.31, 6.32, 7.32)	(5.22, 6.22, 7.23)	(5.84, 6.85, 7.86)
Uni_8	(3.00, 4.00, 5.00)	(4.31, 5.31, 6.32)	(3.39, 4.41, 5.42)	(4.41, 5.42, 6.43)	(6.22, 7.23, 8.23)
Uni_9	(6.75, 7.75, 8.75)	(9.00, 9.00, 9.00)	(5.55, 6.55, 7.56)	(5.00, 6.00, 7.00)	(2.36, 3.39, 4.41)
Uni_{10}	(1.00, 1.00, 1.00)	(9.00, 9.00, 9.00)	(2.81, 3.83, 4.85)	(4.22, 5.22, 6.22)	(4.75, 5.76, 6.76)
Uni_{11}	(5.75, 6.75, 7.75)	(5.45, 6.45, 7.47)	(4.00, 5.00, 6.00)	(2.62, 3.63, 4.64)	(4.54, 5.55, 6.55)
Uni_{12}	(2.00, 3.00, 4.00)	(1.00, 1.26, 1.44)	(1.00, 1.70, 2.31)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 1.35, 1.60)
Uni_{13}	(5.00, 6.00, 7.00)	(4.22, 5.24, 6.26)	(3.21, 4.22, 5.22)	(4.02, 5.04, 6.05)	(1.00, 2.00, 3.00)

Tablo 4.18 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_5 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi (devamı)

Uni_{14}	(2.38, 3.39, 4.40)	(2.72, 3.74, 4.74)	(2.20, 3.21, 4.22)	(2.52, 3.54, 4.54)	(1.39, 2.49, 3.54)
Uni_{15}	(3.39, 4.40, 5.41)	(3.73, 4.76, 5.78)	(4.31, 5.31, 6.32)	(1.97, 3.09, 4.15)	(4.75, 5.76, 6.76)
Uni_{16}	(2.00, 3.00, 4.00)	(3.63, 4.64, 5.65)	(4.70, 5.74, 6.76)	(2.69, 3.73, 4.76)	(5.13, 6.14, 7.15)
Uni_{17}	(5.00, 6.00, 7.00)	(7.43, 8.23, 9.00)	(4.74, 5.75, 6.75)	(2.62, 3.63, 4.64)	(1.87, 2.96, 4.00)
Uni_{18}	(5.00, 6.00, 7.00)	(1.91, 2.92, 3.33)	(1.82, 2.57, 3.20)	(1.26, 1.44, 1.59)	(1.26, 1.44, 1.59)
Uni_{19}	(1.00, 1.59, 2.08)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 1.26, 1.44)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 1.70, 2.31)
Uni_{20}	(1.35, 2.38, 3.39)	(1.00, 1.70, 2.31)	(1.00, 1.35, 1.60)	(1.00, 1.26, 1.44)	(1.00, 1.26, 1.44)

M_5 ana kriterine ait alt kriterlere ait pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.19’da gösterilmiştir.

Tablo 4.19 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_5 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri

Uzaklık	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
S^*	(0.004,0.004,0.004)	(0.003,0.003,0.003)	(0.003,0.003,0.003)	(0.002,0.002,0.002)	(0.003,0.003,0.003)
S^-	(0.000,0.000,0.000)	(0.000,0.000,0.000)	(0.000,0.001,0.001)	(0.000,0.000,0.000)	(0.000,0.000,0.000)

Alternatiflerin pozitif ideal çözüme göre pozitif uzaklıkları olan d_{i,S^*} Denklem (3.13)’teki gibi, negatif ideal çözüme göre negatif uzaklıkları olan d_{i,S^-} Denklem (3.14)’teki gibi hesaplanmıştır. Pozitif ideal çözüme uzaklık ve negatif ideal çözüme uzaklık değerlerine

göre görelî yakınlık değeri olan RC_i Denklem (3.15)'teki gibi hesaplanmıştır. Pozitif ideal çözüme uzaklık, negatif ideal çözüme uzaklık ve görelî yakınlık değeri Tablo 4.20'de verilmiştir.

Tablo 4.20 Sıralama Probleminde Alternatiflerin Pozitif Uzaklık, Negatif Uzaklık ve Görelî Yakınlık Değeri (Bulanık)

Uni_i	d_{i,S^+}	d_{i,S^-}	RC_i	Uni_i	d_{i,S^+}	d_{i,S^-}	RC_i
Uni_1	0.08	0.12	0.617	Uni_{11}	0.08	0.55	0.421
Uni_2	0.08	0.12	0.607	Uni_{12}	0.09	0.57	0.470
Uni_3	0.10	0.09	0.469	Uni_{13}	0.07	0.49	0.379
Uni_4	0.14	0.05	0.280	Uni_{14}	0.08	0.48	0.414
Uni_5	0.07	0.12	0.624	Uni_{15}	0.09	0.60	0.478
Uni_6	0.09	0.10	0.535	Uni_{16}	0.10	0.60	0.501
Uni_7	0.10	0.10	0.500	Uni_{17}	0.13	0.78	0.649
Uni_8	0.09	0.11	0.537	Uni_{18}	0.07	0.46	0.364
Uni_9	0.06	0.13	0.688	Uni_{19}	0.04	0.26	0.196
Uni_{10}	0.11	0.09	0.446	Uni_{20}	0.09	0.51	0.438

Alternatifler görelî yakınlık değeri (RC_i) göre en yüksek değeri en düşük değeri doğru sıralanmaktadır. Sıralama sonucu Tablo 4.21'de gösterilmiştir.

Tablo 4.21 Sıralama Probleminde Alternatiflerin Sıralanması (Bulanık)

Sıra	Üniversite (Uni_i)	RC_i	Sıra	Üniversite (Uni_i)	RC_i
1	H*	0.688	11	İ****	0.470
2	G*	0.649	12	B*	0.469
3	Y**	0.624	13	G**	0.446
4	O***	0.617	14	K**	0.438

Tablo 4.21 Sıralama Probleminde Alternatiflerin Sıralanması (Bulanık) (devamı)

5	$\dot{I}^{**}$	0.607	15	E^{***}	0.421
6	E^*	0.537	16	B^{**}	0.414
7	A^*	0.535	17	M^*	0.379
8	A^{***}	0.501	18	$\dot{C}^*$	0.364
9	$\dot{I}^*$	0.500	19	$\dot{I}^{***}$	0.280
10	D^{**}	0.478	20	F^*	0.196

4.1.3.2 Sezgisel Bulanık SWARA - TOPSIS

Sezgisel bulanık SWARA – TOPSIS metodolojisine göre kriterler SWARA, alternatifler TOPSIS yöntemine göre değerlendirilmiştir. Karar vericilerin uzmanlık derecesi (ağırlıkları) sezgisel bulanık sayılarla Denklem (3.16)’daki gibi hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.22’de gösterilmiştir.

Tablo 4.22 Karar Vericilerin Sıralama Probleminde Sezgisel Bulanık Uzmanlık Derecesi

Karar Vericiler	IF Uzmanlık Derecesi
E_1	0.406
E_2	0.280
E_3	0.314

Karar vericilerin kriterleri dilsel terimlerle değerlendirmelerinden sonra her karar verici için c_{ip} oluşturulmuştur. Kriterlerin değerlendirmesi için sezgisel bulanık SWARA yöntemi uygulanmıştır. Tüm karar vericilerin değerlendirmeleriyle uzmanlık dereceleri de göz önüne alınarak birleştirilmiş ana karar matrisi (z) ve alt kriterlere ait karar matrisleri Denklem (3.17)’deki gibi hesaplanmıştır. Birleştirilmiş karar matrisleri Tablo 4.23’te gösterilmiştir.

Tablo 4.23 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlere Ait Sezgisel Bulanık z Sonuçları

z	z Sonuçları	z	z Sonuçları	z	z Sonuçları
M_1	(0.43, 0.49)	G_1	(0.30, 0.60)	S_1	(0.79, 0.15)
M_2	(0.85, 0.09)	G_2	(0.69, 0.26)	S_2	(0.75, 0.20)
M_3	(0.59, 0.36)	G_3	(0.87, 0.07)	S_3	(0.87, 0.08)
M_4	(0.98, 0.02)			S_4	(0.90, 0.05)
M_5	(0.92, 0.06)				
z	z Sonuçları	z	z Sonuçları	z	z Sonuçları
P_1	(0.68, 0.27)	Q_1	(0.78, 0.15)	I_1	(0.93, 0.05)
P_2	(0.62, 0.33)	Q_2	(0.68, 0.27)	I_2	(0.68, 0.27)
P_3	(0.51, 0.43)	Q_3	(0.98, 0.02)	I_3	(0.87, 0.07)
P_4	(0.37, 0.53)			I_4	(0.61, 0.34)
P_5	(0.54, 0.40)			I_5	(0.62, 0.33)

z matrislerinden ana ve alt kriterlere ait pozitif skor değerleri (PS_i) Denklem (3.18)'deki gibi hesaplanmıştır. Tüm kriterlere ait pozitif skor değerleri Tablo 4.24'te gösterilmiştir.

Tablo 4.24 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Sezgisel Pozitif Skor Değerleri

R_M	PS_i	R_G	PS_i	R_S	PS_i
M_1	0.47	G_1	0.35	S_1	0.82
M_2	0.88	G_2	0.71	S_2	0.78
M_3	0.62	G_3	0.90	S_3	0.89
M_4	0.98			S_4	0.93

Tablo 4.24 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Sezgisel Pozitif Skor Değerleri (devamı)

M_5	0.93				
R_P	PS_i	R_Q	PS_i	R_I	PS_i
P_1	0.71	Q_1	0.82	I_1	0.94
P_2	0.65	Q_2	0.71	I_2	0.71
P_3	0.54	Q_3	0.98	I_3	0.90
P_4	0.42			I_4	0.64
P_5	0.57			I_5	0.65

Pozitif skor değerleri, her ana ve alt kriter için bulunduktan sonra her kriter grubu kendi içinde azalan şekilde sıralanmıştır. Pozitif skor değerine göre sıralanan ana ve alt kriterler için pozitif skorların karşılaştırma önem değerleri (CS_i) Denklem (3.19)'daki gibi, karşılaştırmalı katsayı değerleri (CC_i) Denklem (3.20)'deki gibi, yeniden hesaplanan ağırlık değerleri (q_i) Denklem (3.21)'deki gibi ve kriter ağırlıkları (ω_i) Denklem (3.22)'deki gibi hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 4.25'te gösterilmiştir.

Tablo 4.25 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Sezgisel Bulanık Ağırlık Hesaplamaları

R_M	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
M_4	0.98	0	1	1	0.24
M_5	0.93	0.05	1.05	0.95	0.23
M_2	0.88	0.05	1.05	0.91	0.22
M_3	0.62	0.26	1.26	0.72	0.17
M_1	0.47	0.15	1.15	0.62	0.15
R_G	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i

Tablo 4.25 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Sezgisel Bulanık Ağırlık Hesaplamaları (devamı)

G_3	0.90	0	1	1	0.41
G_2	0.71	0.19	1.19	0.84	0.34
G_1	0.35	0.36	1.36	0.62	0.25
R_S	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
S_4	0.93	0	1	1	0.27
S_3	0.89	0.03	1.03	0.97	0.26
S_1	0.82	0.08	1.08	0.90	0.24
S_2	0.78	0.04	1.04	0.86	0.23
R_P	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
P_1	0.71	0	1	1	0.23
P_2	0.65	0.06	1.06	0.94	0.21
P_5	0.57	0.07	1.07	0.88	0.20
P_3	0.54	0.03	1.03	0.85	0.19
P_4	0.42	0.12	1.12	0.76	0.17
R_Q	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
Q_3	0.98	0	1	1	0.38
Q_1	0.82	0.17	1.17	0.86	0.33
Q_2	0.71	0.11	1.11	0.77	0.29
R_I	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
I_1	0.94	0	1	1	0.23
I_3	0.90	0.04	1.02	0.96	0.22

Tablo 4.25 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Sezgisel Bulanık Ağırlık Hesaplamaları (devamı)

I_2	0.71	0.19	1.41	0.81	0.19
I_5	0.65	0.06	1.06	0.76	0.18
I_4	0.64	0.01	1.04	0.75	0.18

Alternatiflerin değerlendirilebilmesi için alt kriterlerin nihai ağırlıkları bulunmuştur. Ana ve alt kriter ağırlıkları belirlendikten sonra ana kriterlerin ağırlıkları alt kriterlerle dağıtılarak alt kriterlerin nihai ağırlıkları hesaplanmıştır. Alt kriterlere ait nihai ağırlık (ω_{iF}) değerleri Tablo 4.26’da gösterilmiştir.

Tablo 4.26 Sıralama Probleminde Alt Kriterlerin Nihai Sezgisel Bulanık Ağırlıkları

Alt Kriterler	ω_{iF}	Alt Kriterler	ω_{iF}
G_1	0.04	P_1	0.04
G_2	0.05	P_2	0.04
G_3	0.06	P_3	0.03
S_1	0.05	P_4	0.03
S_2	0.05	P_5	0.03
S_3	0.06	I_1	0.05
S_4	0.06	I_2	0.04
Q_1	0.08	I_3	0.05
Q_2	0.07	I_4	0.04
Q_3	0.09	I_5	0.04

Tüm alt kriterlere ait nihai ağırlıklar (ω_{iF}) hesaplandıktan sonra alternatifler sezgisel bulanık TOPSIS yöntemine göre değerlendirilmiştir.

Karar vericilerin değerlendirmeleri sonucunda sezgisel bulanık sayılarla alternatifler için birleştirilmiş karar matrisleri olan I Denklem (3.23)'teki gibi hesaplanmıştır. Birleştirilmiş karar matrisine göre alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesinde Denklem (3.24)'deki gibi pozitif ideal zm (S^*), Denklem (3.25)'teki gibi negatif ideal zm (S^-) değerleri hesaplanmıştır. Alternatiflerin M_1 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.27'de gösterilmiştir.

Tablo 4.27 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi

Uni_i	G_1	G_2	G_3
Uni_1	(0.58,0.37)	(0.75,0.20)	(0.70,0.25)
Uni_2	(0.58,0.37)	(0.42,0.51)	(0.66,0.29)
Uni_3	(0.40,0.50)	(0.97,0.03)	(0.69,0.26)
Uni_4	(0.16,0.74)	(0.23,0.67)	(0.10,0.80)
Uni_5	(0.69,0.25)	(0.98,0.02)	(0.85,0.09)
Uni_6	(0.62,0.33)	(0.56,0.38)	(0.67,0.28)
Uni_7	(0.73,0.22)	(0.69,0.25)	(0.66,0.29)
Uni_8	(0.65,0.30)	(0.10,0.80)	(0.62,0.33)
Uni_9	(0.81,0.14)	(0.99,0.01)	(0.86,0.08)
Uni_{10}	(0.99,0.01)	(0.42,0.50)	(0.99,0.01)
Uni_{11}	(0.10,0.80)	(0.51,0.43)	(0.62,0.33)
Uni_{12}	(0.65,0.30)	(0.75,0.20)	(0.72,0.23)
Uni_{13}	(0.37,0.53)	(0.33,0.57)	(0.41,0.51)
Uni_{14}	(0.10,0.80)	(0.45,0.47)	(0.41,0.51)
Uni_{15}	(0.23,0.67)	(0.33,0.57)	(0.55,0.40)

Tablo 4.27 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi (devamı)

Uni_{16}	(0.34,0.56)	(0.59,0.35)	(0.62,0.33)
Uni_{17}	(0.99,0.01)	(0.62,0.33)	(0.67,0.28)
Uni_{18}	(0.62,0.33)	(0.97,0.03)	(0.53,0.39)
Uni_{19}	(0.47,0.46)	(0.42,0.50)	(0.58,0.35)
Uni_{20}	(0.37,0.53)	(0.72,0.23)	(0.53,0.39)
S^*	(0.99,0.01)	(0.99,0.01)	(0.99,0.01)
S^-	(0.10,0.80)	(0.10,0.80)	(0.10,0.80)

Alternatiflerin M_2 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.28’de gösterilmiştir.

Tablo 4.28 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi

Uni_i	S_1	S_2	S_3	S_4
Uni_1	(0.59,0.35)	(0.85,0.09)	(0.36,0.54)	(0.41,0.51)
Uni_2	(0.59,0.35)	(0.30,0.60)	(0.36,0.54)	(0.76,0.17)
Uni_3	(0.42,0.50)	(0.40,0.50)	(0.10,0.80)	(0.37,0.55)
Uni_4	(0.16,0.74)	(0.23,0.66)	(0.10,0.80)	(0.26,0.64)
Uni_5	(0.78,0.15)	(0.56,0.38)	(0.71,0.24)	(0.86,0.08)
Uni_6	(0.94,0.04)	(0.95,0.04)	(0.17,0.73)	(0.35,0.58)
Uni_7	(0.98,0.02)	(0.81,0.13)	(0.44,0.48)	(0.61,0.32)
Uni_8	(0.80,0.14)	(0.76,0.17)	(0.83,0.11)	(0.85,0.09)
Uni_9	(0.86,0.08)	(0.87,0.07)	(0.10,0.80)	(0.42,0.50)

Tablo 4.28 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi (devamı)

Uni_{10}	(0.16,0.74)	(0.33,0.57)	(0.17,0.73)	(0.60,0.34)
Uni_{11}	(0.59,0.35)	(0.53,0.40)	(0.13,0.77)	(0.35,0.58)
Uni_{12}	(0.68,0.26)	(0.54,0.38)	(0.50,0.44)	(0.80,0.14)
Uni_{13}	(0.86,0.08)	(0.83,0.10)	(0.17,0.73)	(0.29,0.60)
Uni_{14}	(0.73,0.22)	(0.56,0.38)	(0.90,0.05)	(0.59,0.36)
Uni_{15}	(0.86,0.08)	(0.86,0.08)	(0.37,0.53)	(0.61,0.32)
Uni_{16}	(0.99,0.01)	(0.83,0.24)	(0.99,0.01)	(0.99,0.01)
Uni_{17}	(0.90,0.05)	(0.99,0.01)	(0.81,0.13)	(0.72,0.19)
Uni_{18}	(0.54,0.40)	(0.51,0.43)	(0.25,0.65)	(0.90,0.05)
Uni_{19}	(0.75,0.20)	(0.51,0.43)	(0.10,0.80)	(0.50,0.43)
Uni_{20}	(0.54,0.40)	(0.59,0.35)	(0.51,0.43)	(0.56,0.38)
S^*	(0.99,0.01)	(0.99,0.01)	(0.99,0.01)	(0.99,0.01)
S^-	(0.16,0.74)	(0.23,0.66)	(0.10,0.80)	(0.26,0.64)

Alternatiflerin M_3 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.29’da gösterilmiştir.

Tablo 4.29 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi

Uni_i	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
Uni_1	(0.55,0.40)	(0.59,0.36)	(0.65,0.30)	(0.73,0.22)	(0.58,0.35)
Uni_2	(0.65,0.30)	(0.66,0.29)	(0.65,0.30)	(0.49,0.43)	(0.46,0.47)
Uni_3	(0.46,0.47)	(0.56,0.37)	(0.62,0.31)	(0.53,0.40)	(0.33,0.57)

Tablo 4.29 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi (devamı)

Uni_4	(0.62,0.33)	(0.81,0.13)	(0.85,0.09)	(0.99,0.01)	(0.99,0.01)
Uni_5	(0.40,0.50)	(0.65,0.30)	(0.58,0.37)	(0.51,0.41)	(0.56,0.37)
Uni_6	(0.72,0.23)	(0.45,0.47)	(0.33,0.57)	(0.49,0.44)	(0.62,0.33)
Uni_7	(0.20,0.70)	(0.13,0.77)	(0.14,0.76)	(0.10,0.80)	(0.20,0.70)
Uni_8	(0.33,0.57)	(0.39,0.53)	(0.53,0.41)	(0.27,0.63)	(0.36,0.54)
Uni_9	(0.78,0.16)	(0.63,0.32)	(0.72,0.23)	(0.73,0.20)	(0.95,0.03)
Uni_{10}	(0.62,0.33)	(0.93,0.05)	(0.97,0.02)	(0.73,0.20)	(0.95,0.03)
Uni_{11}	(0.69,0.22)	(0.68,0.27)	(0.48,0.43)	(0.69,0.22)	(0.80,0.18)
Uni_{12}	(0.75,0.18)	(0.85,0.09)	(0.75,0.20)	(0.50,0.42)	(0.86,0.13)
Uni_{13}	(0.49,0.44)	(0.42,0.50)	(0.61,0.34)	(0.29,0.61)	(0.42,0.50)
Uni_{14}	(0.33,0.57)	(0.42,0.50)	(0.23,0.67)	(0.45,0.47)	(0.45,0.47)
Uni_{15}	(0.58,0.35)	(0.62,0.33)	(0.65,0.30)	(0.73,0.20)	(0.59,0.30)
Uni_{16}	(0.17,0.73)	(0.13,0.77)	(0.20,0.70)	(0.13,0.77)	(0.20,0.70)
Uni_{17}	(0.99,0.01)	(0.99,0.01)	(0.42,0.50)	(0.65,0.30)	(0.92,0.06)
Uni_{18}	(0.48,0.43)	(0.34,0.56)	(0.47,0.46)	(0.49,0.44)	(0.45,0.47)
Uni_{19}	(0.33,0.57)	(0.59,0.36)	(0.68,0.27)	(0.42,0.49)	(0.42,0.50)
Uni_{20}	(0.75,0.18)	(0.62,0.33)	(0.90,0.05)	(0.53,0.40)	(0.87,0.08)
S^*	(0.99,0.01)	(0.99,0.01)	(0.97,0.02)	(0.99,0.01)	(0.99,0.01)
S^-	(0.17,0.73)	(0.13,0.77)	(0.14,0.76)	(0.10,0.80)	(0.20,0.70)

Alternatiflerin M_4 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.30’da gösterilmiştir.

Tablo 4.30 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_4 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi

Uni_i	Q_1	Q_2	Q_3
Uni_1	(0.50,0.43)	(0.67,0.28)	(0.81,0.14)
Uni_2	(0.93,0.05)	(0.26,0.64)	(0.95,0.03)
Uni_3	(0.23,0.67)	(0.23,0.67)	(0.99,0.01)
Uni_4	(0.23,0.67)	(0.13,0.77)	(0.58,0.37)
Uni_5	(0.85,0.09)	(0.75,0.20)	(0.55,0.40)
Uni_6	(0.40,0.50)	(0.48,0.45)	(0.79,0.14)
Uni_7	(0.40,0.50)	(0.73,0.22)	(0.55,0.40)
Uni_8	(0.65,0.30)	(0.81,0.13)	(0.58,0.37)
Uni_9	(0.99,0.01)	(0.51,0.43)	(0.99,0.01)
Uni_{10}	(0.17,0.73)	(0.37,0.53)	(0.59,0.36)
Uni_{11}	(0.98,0.02)	(0.37,0.53)	(0.33,0.57)
Uni_{12}	(0.26,0.64)	(0.73,0.22)	(0.72,0.23)
Uni_{13}	(0.55,0.40)	(0.81,0.13)	(0.36,0.54)
Uni_{14}	(0.65,0.29)	(0.73,0.22)	(0.36,0.54)
Uni_{15}	(0.69,0.25)	(0.71,0.24)	(0.40,0.50)
Uni_{16}	(0.88,0.10)	(0.97,0.03)	(0.13,0.77)
Uni_{17}	(0.58,0.37)	(0.90,0.05)	(0.36,0.54)
Uni_{18}	(0.10,0.80)	(0.44,0.48)	(0.40,0.50)
Uni_{19}	(0.26,0.64)	(0.10,0.80)	(0.10,0.80)
Uni_{20}	(0.72,0.23)	(0.65,0.30)	(0.40,0.50)

Tablo 4.30 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_4 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi (devamı)

S^*	(0.99,0.01)	(0.97,0.03)	(0.99,0.01)
S^-	(0.10,0.80)	(0.10,0.80)	(0.10,0.80)

Alternatiflerin M_5 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.31’de gösterilmiştir.

Tablo 4.31 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_5 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi

Uni_i	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
Uni_1	(0.99,0.01)	(0.90,0.05)	(0.97,0.02)	(0.97,0.02)	(0.81,0.14)
Uni_2	(0.95,0.03)	(0.93,0.05)	(0.78,0.16)	(0.85,0.09)	(0.99,0.01)
Uni_3	(0.95,0.03)	(0.69,0.26)	(0.98,0.02)	(0.97,0.02)	(0.55,0.40)
Uni_4	(0.51,0.43)	(0.59,0.35)	(0.47,0.46)	(0.35,0.55)	(0.33,0.57)
Uni_5	(0.55,0.40)	(0.48,0.43)	(0.58,0.37)	(0.61,0.34)	(0.81,0.14)
Uni_6	(0.87,0.07)	(0.99,0.01)	(0.65,0.30)	(0.71,0.24)	(0.90,0.05)
Uni_7	(0.87,0.07)	(0.73,0.22)	(0.69,0.26)	(0.68,0.27)	(0.79,0.15)
Uni_8	(0.40,0.50)	(0.58,0.37)	(0.48,0.43)	(0.62,0.33)	(0.81,0.14)
Uni_9	(0.87,0.07)	(0.99,0.01)	(0.71,0.24)	(0.65,0.30)	(0.38,0.54)
Uni_{10}	(0.10,0.80)	(0.99,0.01)	(0.42,0.50)	(0.58,0.37)	(0.65,0.30)
Uni_{11}	(0.73,0.22)	(0.71,0.24)	(0.55,0.40)	(0.37,0.53)	(0.61,0.34)
Uni_{12}	(0.30,0.60)	(0.13,0.77)	(0.17,0.73)	(0.10,0.80)	(0.14,0.76)
Uni_{13}	(0.65,0.30)	(0.59,0.35)	(0.45,0.47)	(0.55,0.39)	(0.20,0.70)
Uni_{14}	(0.34,0.56)	(0.37,0.53)	(0.33,0.57)	(0.36,0.54)	(0.32,0.60)

Tablo 4.31 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_5 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi (devamı)

Uni_{15}	(0.47,0.46)	(0.52,0.41)	(0.58,0.37)	(0.40,0.52)	(0.65,0.30)
Uni_{16}	(0.30,0.60)	(0.51,0.43)	(0.63,0.30)	(0.42,0.51)	(0.67,0.28)
Uni_{17}	(0.65,0.30)	(0.95,0.03)	(0.62,0.33)	(0.37,0.53)	(0.35,0.56)
Uni_{18}	(0.65,0.30)	(0.57,0.32)	(0.43,0.49)	(0.17,0.73)	(0.17,0.73)
Uni_{19}	(0.17,0.73)	(0.10,0.80)	(0.13,0.77)	(0.10,0.80)	(0.17,0.73)
Uni_{20}	(0.24,0.66)	(0.17,0.73)	(0.14,0.76)	(0.13,0.77)	(0.13,0.77)
S^*	(0.99,0.01)	(0.99,0.01)	(0.98,0.02)	(0.97,0.02)	(0.99,0.01)
S^-	(0.10,0.80)	(0.10,0.80)	(0.13,0.77)	(0.10,0.80)	(0.13,0.77)

Alternatiflerin pozitif ideal çözüme göre pozitif uzaklıkları olan d_{i,S^*} Denklem (3.26)'daki gibi, negatif ideal çözüme göre negatif uzaklıkları olan d_{i,S^-} Denklem (3.27)'deki gibi hesaplanmıştır. Pozitif ideal çözüme uzaklık ve negatif ideal çözüme uzaklık değerlerine göre göreceli yakınlık değeri olan RC_i Denklem (3.28)'daki gibi hesaplanmıştır. Pozitif ideal çözüme uzaklık, negatif ideal çözüme uzaklık ve göreceli yakınlık değerleri Tablo 4.32'de verilmiştir.

Tablo 4.32 Sıralama Probleminde Alternatiflerin Pozitif Uzaklık, Negatif Uzaklık ve Göreceli Yakınlık Değerleri (Sezgisel Bulanık)

Uni_i	d_{i,S^*}	d_{i,S^-}	RC_i	Uni_i	d_{i,S^*}	d_{i,S^-}	RC_i
Uni_1	0.38	0.77	0.669	Uni_{11}	0.60	0.55	0.479
Uni_2	0.41	0.74	0.643	Uni_{12}	0.58	0.57	0.495
Uni_3	0.54	0.60	0.525	Uni_{13}	0.65	0.49	0.430
Uni_4	0.79	0.36	0.310	Uni_{14}	0.67	0.48	0.416
Uni_5	0.40	0.75	0.654	Uni_{15}	0.55	0.60	0.523

Tablo 4.32 Sıralama Probleminde Alternatiflerin Pozitif Uzaklık, Negatif Uzaklık ve Göreli Yakınlık Değerleri (Sezgisel Bulanık) (devamı)

Uni_6	0.47	0.68	0.594	Uni_{16}	0.54	0.60	0.527
Uni_7	0.53	0.61	0.537	Uni_{17}	0.36	0.78	0.682
Uni_8	0.51	0.63	0.553	Uni_{18}	0.68	0.46	0.405
Uni_9	0.31	0.83	0.729	Uni_{19}	0.88	0.26	0.230
Uni_{10}	0.59	0.55	0.485	Uni_{20}	0.64	0.51	0.443

Alternatifler göreli yakınlık değerine (RC_i) göre en yüksek değerden en düşük değere doğru sıralanmaktadır. Sıralama sonucu Tablo 4.33'te gösterilmiştir.

Tablo 4.33 Sıralama Probleminde Alternatiflerin Sıralanması (Sezgisel Bulanık)

Sıra	Üniversite (Uni_i)	RC_i	Sıra	Üniversite (Uni_i)	RC_i
1	H*	0.729	11	D**	0.523
2	G*	0.682	12	İ****	0.495
3	O***	0.669	13	G**	0.485
4	Y**	0.654	14	E****	0.479
5	İ**	0.643	15	K**	0.443
6	A*	0.594	16	M*	0.430
7	E*	0.553	17	B**	0.416
8	İ*	0.537	18	Ç*	0.405
9	A***	0.527	19	İ***	0.310
10	B***	0.525	20	F*	0.230

4.1.3.3 Fermatean Bulanık SWARA - TOPSIS

Fermatean bulanık SWARA – TOPSIS metodolojisine göre kriterler SWARA, alternatifler TOPSIS yöntemine göre değerlendirilmiştir. Karar vericilerin uzmanlık

derecesi (ağırlıkları) Fermatean bulanık sayılarla Denklem (3.29)'daki gibi hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar Tablo 4.34'te gösterilmiştir.

Tablo 4.34 Karar Vericilerin Sıralama Probleminde Fermatean Bulanık Uzmanlık Derecesi

Karar Vericiler	FF Uzmanlık Derecesi
E_1	0.437
E_2	0.235
E_3	0.328

Karar vericilerin kriterleri dilsel terimlerle değerlendirmelerinden sonra her karar verici için c_{ip} oluşturulmuştur. Kriterlerin değerlendirmesi için Fermatean bulanık SWARA yöntemi uygulanmıştır. Tüm karar vericilerin değerlendirmeleriyle uzmanlık dereceleri de göz önüne alınarak birleştirilmiş ana karar matrisi (z) ve alt kriterlere ait karar matrisleri Denklem (3.30)'daki gibi hesaplanmıştır. Birleştirilmiş karar matrisleri Tablo 4.35'te gösterilmiştir.

Tablo 4.35 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlere Ait Fermatean Bulanık z Sonuçları

z	z Sonuçları	z	z Sonuçları	z	z Sonuçları
M_1	(0.35, 0.52)	G_1	(0.18, 0.72)	S_1	(0.76, 0.16)
M_2	(0.85, 0.12)	G_2	(0.70, 0.22)	S_2	(0.80, 0.16)
M_3	(0.56, 0.31)	G_3	(0.88, 0.10)	S_3	(0.87, 0.11)
M_4	(0.97, 0.40)			S_4	(0.90, 0.09)
M_5	(0.83, 0.10)				
z	z Sonuçları	z	z Sonuçları	z	z Sonuçları
P_1	(0.68, 0.23)	Q_1	(0.77, 0.16)	I_1	(0.88, 0.08)
P_2	(0.60, 0.28)	Q_2	(0.68, 0.23)	I_2	(0.65, 0.23)

Tablo 4.35 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlere Ait Fermatean Bulanık z Sonuçları (devamı)

P_3	(0.44, 0.42)	Q_3	(0.97, 0.04)	I_3	(0.88, 0.10)
P_4	(0.29, 0.63)			I_4	(0.58, 0.29)
P_5	(0.47, 0.39)			I_5	(0.61, 0.27)

z matrislerinden ana ve alt kriterlere ait pozitif skor değerleri (PS_i) Denklem (3.31)'deki gibi hesaplanmıştır. Tüm kriterlere ait pozitif skor değerleri Tablo 4.36'da gösterilmiştir.

Tablo 4.36 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Fermatean Skor Değerleri

R_M	PS_i	R_G	PS_i	R_S	PS_i
M_1	0.90	G_1	0.63	S_1	1.43
M_2	1.62	G_2	1.33	S_2	1.51
M_3	1.15	G_3	1.67	S_3	1.65
M_4	1.91			S_4	1.73
M_5	1.57				
R_P	PS_i	R_Q	PS_i	R_I	PS_i
P_1	1.31	Q_1	1.45	I_1	1.69
P_2	1.19	Q_2	1.31	I_2	1.26
P_3	1.02	Q_3	1.91	I_3	1.67
P_4	0.78			I_4	1.17
P_5	1.05			I_5	1.21

Pozitif skor değerleri, her ana ve alt kriter için bulunduktan sonra her kriter grubu kendi içinde azalan şekilde sıralanmıştır. Pozitif skor değerine göre sıralanan ana ve alt kriterler için pozitif skorların karşılaştırma önem değerleri (CS_i) Denklem (3.32)'deki gibi, karşılaştırmalı katsayı değerleri (CC_i) Denklem (3.33)'teki gibi, yeniden hesaplanan

ağırlık değerleri (q_i) Denklem (3.34)'teki gibi ve kriter ağırlıkları (ω_i) Denklem (3.35)'teki gibi hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 4.37'de gösterilmiştir.

Tablo 4.37 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Fermatean Bulanık Ağırlık Hesaplamaları

R_M	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
M_4	1.91	0	1	1	0.29
M_2	1.62	0.28	1.28	0.77	0.23
M_5	1.57	0.06	1.06	0.73	0.21
M_3	1.15	0.42	1.42	0.51	0.15
M_1	0.90	0.25	1.25	0.41	0.12
R_G	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
G_3	1.67	0	1	1	0.46
G_2	1.33	0.34	1.34	0.74	0.34
G_1	0.63	0.70	1.70	0.44	0.20
R_S	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
S_4	1.73	0	1	1	0.29
S_3	1.65	0.08	1.08	0.93	0.26
S_2	1.51	0.14	1.14	0.81	0.23
S_1	1.43	0.07	1.07	0.76	0.22
R_P	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
P_1	1.30	0	1	1	0.25
P_2	1.19	0.12	1.12	0.90	0.22
P_5	1.05	0.14	1.14	0.78	0.19

Tablo 4.37 Sıralama Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Fermatean Bulanık Ağırlık Hesaplamaları (devamı)

P_3	1.02	0.03	1.03	0.76	0.19
P_4	0.78	0.24	1.24	0.62	0.15
R_Q	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
Q_3	1.91	0	1	1	0.44
Q_1	1.45	0.46	1.46	0.69	0.30
Q_2	1.31	0.14	1.14	0.60	0.26
R_I	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
I_1	1.69	0	1	1	0.25
I_3	1.67	0.02	1.02	0.98	0.24
I_2	1.26	0.41	1.41	0.70	0.18
I_5	1.21	0.06	1.06	0.66	0.17
I_4	1.17	0.04	1.04	0.64	0.16

Alternatiflerin değerlendirilebilmesi için alt kriterlerin nihai ağırlıkları bulunmuştur. Ana ve alt kriter ağırlıkları belirlendikten sonra ana kriterlerin ağırlıkları alt kriterlerle dağıtılarak alt kriterlerin nihai ağırlıkları hesaplanmıştır. Alt kriterlere ait nihai ağırlık (ω_{iF}) değerleri Tablo 4.38’de gösterilmiştir.

Tablo 4.38 Sıralama Probleminde Alt Kriterlerin Nihai Fermatean Bulanık Ağırlıkları

Alt Kriterler	ω_{iF}	Alt Kriterler	ω_{iF}
G_1	0.02	P_1	0.04
G_2	0.04	P_2	0.03
G_3	0.06	P_3	0.03

Tablo 4.38 Sıralama Probleminde Alt Kriterlerin Nihai Fermatean Bulanık Ağırlıkları
(devamı)

S_1	0.05	P_4	0.02
S_2	0.05	P_5	0.03
S_3	0.06	I_1	0.05
S_4	0.06	I_2	0.04
Q_1	0.09	I_3	0.05
Q_2	0.08	I_4	0.03
Q_3	0.13	I_5	0.04

Tüm alt kriterlere ait nihai ağırlıklar (ω_{iF}) hesaplandıktan sonra alternatifler Fermatean bulanık TOPSIS yöntemine göre değerlendirilmiştir.

Karar vericilerin değerlendirmeleri sonucunda sezgisel bulanık sayılarla alternatifler için birleştirilmiş karar matrisleri olan F Denklem (3.36)'daki gibi hesaplanmıştır. Birleştirilmiş karar matrisinde Denklem (2.30)'daki gibi skor fonksiyonu değerleri ($Sc(F)$) bulunur. Eğer skor fonksiyonu değerleri eşit olan alternatifler varsa Denklem (2.31)'deki gibi doğruluk fonksiyonu değerleri ($Acc(F)$) ile sıralama sağlanır. Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesinde en yüksek skora sahip karar değerinden Denklem (3.37)'deki gibi pozitif ideal çözüm (S^*), en düşük skora sahip değerinden Denklem (3.38)'deki gibi negatif ideal çözüm (S^-) değerleri hesaplanmıştır. Alternatiflerin M_1 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, skor değerleri, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.39'da gösterilmiştir.

Tablo 4.39 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi

Uni_i	G_1 : Skor	G_2 : Skor	G_3 : Skor
Uni_1	(0.54,0.46) : 0.06	(0.80,0.30) : 0.49	(0.69,0.35) : 0.28

Tablo 4.39 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi (devamı)

Uni_2	(0.54,0.46) : 0.06	(0.27,0.66) : -0.26	(0.65,0.38) : 0.22
Uni_3	(0.35,0.70) : -0.30	(0.90,0.14) : 0.72	(0.70,0.36) : 0.29
Uni_4	(0.04,0.94) : -0.83	(0.12,0.88) : -0.67	(0.01,0.99) : -0.97
Uni_5	(0.71,0.35) : 0.32	(0.94,0.13) : 0.83	(0.78,0.25) : 0.47
Uni_6	(0.61,0.42) : 0.15	(0.50,0.51) : -0.01	(0.67,0.37) : 0.25
Uni_7	(0.76,0.32) : 0.41	(0.71,0.35) : 0.32	(0.63,0.40) : 0.18
Uni_8	(0.65,0.40) : 0.21	(0.01,0.99) : -0.97	(0.56,0.44) : 0.09
Uni_9	(0.82,0.27) : 0.54	(0.99,0.10) : 0.97	(0.83,0.24) : 0.57
Uni_{10}	(0.99,0.10) : 0.97	(0.32,0.68) : -0.28	(0.99,0.10) : 0.97
Uni_{11}	(0.01,0.99) : -0.97	(0.44,0.56) : -0.09	(0.60,0.43) : 0.13
Uni_{12}	(0.65,0.40) : 0.21	(0.80,0.30) : 0.49	(0.75,0.33) : 0.38
Uni_{13}	(0.29,0.73) : -0.37	(0.23,0.78) : -0.45	(0.30,0.69) : -0.30
Uni_{14}	(0.01,0.99) : -0.97	(0.38,0.65) : -0.22	(0.30,0.69) : -0.30
Uni_{15}	(0.12,0.88) : 0.67	(0.23,0.78) : -0.45	(0.50,0.50) : 0.00
Uni_{16}	(0.26,0.75) : -0.41	(0.53,0.48) : 0.04	(0.61,0.42) : 0.15
Uni_{17}	(0.99,0.10) : 0.97	(0.60,0.43) : 0.13	(0.67,0.37) : 0.25
Uni_{18}	(0.60,0.43) : 0.13	(0.90,0.14) : 0.72	(0.43,0.57) : -0.11
Uni_{19}	(0.41,0.60) : -0.15	(0.32,0.68) : -0.28	(0.50,0.50) : 0.00
Uni_{20}	(0.29,0.73) : -0.37	(0.75,0.33) : 0.38	(0.43,0.57) : -0.11
S^+	(0.99,0.10)	(0.99,0.10)	(0.99,0.10)
S^-	(0.01,0.99)	(0.01,0.99)	(0.01,0.99)

Alternatiflerin M_2 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, skor değerleri, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.40'ta gösterilmiştir.

Tablo 4.40 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi

Uni_i	S_1 : Skor	S_2 : Skor	S_3 : Skor	S_4 : Skor
Uni_1	(0.53,0.48) : 0.04	(0.78,0.25) : 0.47	(0.27,0.74) : -0.39	(0.30,0.69) : -0.30
Uni_2	(0.53,0.48) : 0.04	(0.20,0.80) : -0.50	(0.27,0.74) : -0.39	(0.68,0.32) : 0.29
Uni_3	(0.32,0.68) : -0.28	(0.35,0.70) : -0.30	(0.01,0.99) : -0.97	(0.16,0.74) : -0.41
Uni_4	(0.04,0.94) : -0.83	(0.06,0.86) : -0.64	(0.01,0.99) : -0.97	(0.13,0.85) : -0.61
Uni_5	(0.69,0.31) : 0.30	(0.50,0.50) : -0.01	(0.73,0.34) : 0.35	(0.83,0.24) : 0.57
Uni_6	(0.91,0.16) : 0.76	(0.91,0.16) : 0.76	(0.06,0.92) : -0.78	(0.12,0.71) : -0.36
Uni_7	(0.97,0.12) : 0.91	(0.83,0.26) : 0.56	(0.34,0.63) : -0.21	(0.55,0.45) : 0.07
Uni_8	(0.75,0.28) : 0.41	(0.65,0.34) : 0.23	(0.84,0.25) : 0.58	(0.85,0.24) : 0.61
Uni_9	(0.83,0.24) : 0.57	(0.88,0.22) : 0.66	(0.01,0.99) : -0.97	(0.32,0.68) : -0.28
Uni_{10}	(0.04,0.94) : -0.83	(0.23,0.78) : -0.45	(0.06,0.92) : -0.78	(0.49,0.45) : 0.03
Uni_{11}	(0.56,0.46) : 0.08	(0.42,0.53) : -0.08	(0.02,0.96) : -0.88	(0.12,0.71) : -0.36
Uni_{12}	(0.66,0.37) : 0.24	(0.37,0.51) : -0.08	(0.22,0.55) : -0.15	(0.75,0.28) : 0.41
Uni_{13}	(0.83,0.24) : 0.57	(0.63,0.28) : 0.23	(0.06,0.92) : -0.78	(0.13,0.79) : -0.50
Uni_{14}	(0.76,0.32) : 0.41	(0.52,0.49) : 0.02	(0.90,0.20) : 0.72	(0.56,0.45) : 0.08
Uni_{15}	(0.83,0.24) : 0.57	(0.83,0.24) : 0.57	(0.29,0.73) : -0.37	(0.55,0.45) : 0.07
Uni_{16}	(0.99,0.10) : 0.97	(0.83,0.24) : 0.57	(0.99,0.10) : 0.97	(0.99,0.10) : 0.97
Uni_{17}	(0.90,0.20) : 0.72	(0.99,0.10) : 0.97	(0.83,0.26) : 0.56	(0.52,0.37) : 0.09
Uni_{18}	(0.47,0.53) : -0.04	(0.44,0.56) : -0.09	(0.10,0.84) : -0.59	(0.90,0.20) : 0.72

Tablo 4.40 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi (devamı)

Uni_{19}	(0.80,0.30) : 0.49	(0.37,0.53) : -0.10	(0.01,0.99) : -0.97	(0.40,0.57) : -0.12
Uni_{20}	(0.47,0.53) : -0.04	(0.56,0.46) : 0.08	(0.46,0.54) : -0.06	(0.50,0.51) : -0.01
S^*	(0.99,0.10)	(0.99,0.10)	(0.99,0.10)	(0.99,0.10)
S^-	(0.04,0.94)	(0.06,0.86)	(0.01,0.99)	(0.13,0.85)

Alternatiflerin M_3 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, skor değerleri, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.41’de gösterilmiştir.

Tablo 4.41 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi

Uni_i	P_1 : Skor	P_2 : Skor	P_3 : Skor	P_4 : Skor	P_5 : Skor
Uni_1	(0.50,0.50): 0.00	(0.56,0.45): 0.08	(0.65,0.40): 0.21	(0.76,0.32): 0.41	(0.50,0.49): 0.01
Uni_2	(0.65,0.40): 0.21	(0.63,0.40): 0.18	(0.65,0.40): 0.21	(0.43,0.58): -0.12	(0.34,0.61): -0.19
Uni_3	(0.34,0.61): -0.19	(0.31,0.52): -0.11	(0.44,0.46): -0.01	(0.47,0.54): -0.05	(0.23,0.78): -0.45
Uni_4	(0.61,0.42): 0.15	(0.83,0.26): 0.56	(0.78,0.25): 0.47	(0.99,0.10): 0.97	(0.99,0.10): 0.97
Uni_5	(0.35,0.70): -0.30	(0.65,0.40): 0.21	(0.53,0.47): 0.04	(0.35,0.60): -0.17	(0.41,0.52): -0.07
Uni_6	(0.75,0.33): 0.38	(0.38,0.65): -0.22	(0.28,0.78): -0.45	(0.43,0.58): -0.12	(0.56,0.44): 0.09
Uni_7	(0.10,0.90): -0.73	(0.02,0.97): -0.91	(0.03,0.95): -0.86	(0.01,0.99): -0.97	(0.10,0.90): -0.73
Uni_8	(0.24,0.77): -0.44	(0.25,0.67): -0.28	(0.44,0.52): -0.06	(0.17,0.82): -0.55	(0.27,0.74): -0.39
Uni_9	(0.75,0.31): 0.39	(0.85,0.42): 0.12	(0.75,0.33): 0.38	(0.63,0.37): 0.19	(0.92,0.17): 0.77

Tablo 4.41 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi (devamı)

Uni_{10}	(0.56,0.44): 0.09	(0.86,0.19): 0.63	(0.95,0.14): 0.85	(0.63,0.37): 0.19	(0.92,0.17): 0.77
Uni_{11}	(0.54,0.43): 0.07	(0.68,0.37): 0.27	(0.40,0.61): - 0.16	(0.54,0.43): 0.07	(0.35,0.47): - 0.06
Uni_{12}	(0.67,0.34): 0.26	(0.85,0.24): 0.61	(0.80,0.30): 0.49	(0.33,0.61): - 0.19	(0.64,0.32): 0.23
Uni_{13}	(0.43,0.58): - 0.12	(0.31,0.66): - 0.26	(0.58,0.44): 0.11	(0.17,0.82): - 0.54	(0.32,0.68): - 0.28
Uni_{14}	(0.23,0.78): - 0.45	(0.32,0.68): - 0.28	(0.12,0.88): - 0.67	(0.32,0.65): - 0.24	(0.20,0.67): - 0.29
Uni_{15}	(0.50,0.50): 0.00	(0.60,0.43): 0.13	(0.61,0.41): 0.16	(0.63,0.37): 0.19	(0.28,0.58): - 0.17
Uni_{16}	(0.06,0.92): - 0.78	(0.02,0.97): - 0.91	(0.10,0.90): - 0.73	(0.02,0.97): - 0.91	(0.10,0.90): - 0.73
Uni_{17}	(0.99,0.10): 0.97	(0.99,0.10): 0.97	(0.32,0.68): - 0.28	(0.65,0.40): 0.21	(0.87,0.20): 0.66
Uni_{18}	(0.40,0.61): - 0.16	(0.26,0.75): - 0.41	(0.41,0.60): - 0.15	(0.43,0.58): - 0.12	(0.32,0.65): - 0.24
Uni_{19}	(0.15,0.76): - 0.43	(0.56,0.45): 0.08	(0.68,0.37): 0.27	(0.26,0.68): - 0.30	(0.23,0.68): - 0.31
Uni_{20}	(0.70,0.34): 0.31	(0.60,0.43): 0.13	(0.90,0.20): 0.72	(0.46,0.55): - 0.07	(0.87,0.23): 0.64
S^*	(0.99,0.10)	(0.99,0.10)	(0.95,0.14)	(0.99,0.10)	(0.99,0.10)
S^-	(0.06,0.92)	(0.02,0.97)	(0.03,0.95)	(0.01,0.99)	(0.10,0.90)

Alternatiflerin M_4 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, skor değerleri, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.42’de gösterilmiştir.

Tablo 4.42 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_4 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi

Uni_i	Q_1 : Skor	Q_2 : Skor	Q_3 : Skor
Uni_1	(0.37,0.57) : -0.14	(0.67,0.37) : 0.25	(0.82,0.27) : 0.54
Uni_2	(0.86,0.19) : 0.63	(0.15,0.84) : -0.59	(0.92,0.17) : 0.77
Uni_3	(0.13,0.87) : -0.65	(0.12,0.88) : -0.67	(0.99,0.10) : 0.97
Uni_4	(0.13,0.87) : -0.65	(0.02,0.96) : -0.88	(0.53,0.47) : 0.04
Uni_5	(0.85,0.24) : 0.61	(0.80,0.30) : 0.49	(0.50,0.50) : 0.00
Uni_6	(0.35,0.70) : -0.30	(0.37,0.58) : -0.15	(0.79,0.28) : 0.47
Uni_7	(0.35,0.70) : -0.30	(0.76,0.32) : 0.41	(0.50,0.50) : 0.00
Uni_8	(0.65,0.40) : 0.21	(0.83,0.26) : 0.56	(0.53,0.47) : 0.04
Uni_9	(0.99,0.10) : 0.97	(0.44,0.56) : -0.09	(0.99,0.10) : 0.97
Uni_{10}	(0.06,0.92) : -0.78	(0.29,0.73) : -0.37	(0.56,0.45) : 0.08
Uni_{11}	(0.96,0.13) : 0.88	(0.29,0.73) : -0.37	(0.24,0.77) : -0.44
Uni_{12}	(0.15,0.84) : -0.59	(0.76,0.32) : 0.41	(0.75,0.33) : 0.38
Uni_{13}	(0.50,0.50) : 0.00	(0.83,0.26) : 0.56	(0.27,0.74) : -0.39
Uni_{14}	(0.62,0.40) : 0.17	(0.76,0.32) : 0.41	(0.27,0.74) : -0.39
Uni_{15}	(0.71,0.35) : 0.32	(0.72,0.34) : 0.33	(0.35,0.70) : -0.30
Uni_{16}	(0.71,0.26) : 0.34	(0.92,0.14) : 0.78	(0.02,0.96) : -0.88
Uni_{17}	(0.53,0.47) : 0.04	(0.90,0.20) : 0.72	(0.27,0.74) : -0.39
Uni_{18}	(0.01,0.99) : -0.97	(0.34,0.63) : -0.21	(0.35,0.70) : -0.30
Uni_{19}	(0.13,0.85) : -0.61	(0.01,0.99) : -0.97	(0.01,0.99) : -0.97
Uni_{20}	(0.75,0.33) : 0.38	(0.61,0.40) : 0.17	(0.35,0.70) : -0.30

Tablo 4.42 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_4 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi (devamı)

S^+	(0.99,0.10)	(0.92,0.14)	(0.99,0.10)
S^-	(0.01,0.99)	(0.01,0.99)	(0.01,0.99)

Alternatiflerin M_5 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, skor değerleri, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.43'te gösterilmiştir.

Tablo 4.43 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_5 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi

Uni_i	I_1 : Skor	I_2 : Skor	I_3 : Skor	I_4 : Skor	I_5 : Skor
Uni_1	(0.99,0.10): 0.97	(0.90,0.20): 0.72	(0.95,0.14): 0.85	(0.95,0.11): 0.85	(0.82,0.27): 0.54
Uni_2	(0.92,0.17): 0.77	(0.86,0.19): 0.63	(0.75,0.31): 0.39	(0.85,0.24): 0.61	(0.99,0.10): 0.97
Uni_3	(0.93,0.16): 0.80	(0.70,0.36): 0.29	(0.97,0.12): 0.91	(0.95,0.14): 0.85	(0.50,0.50): 0.00
Uni_4	(0.44,0.56): - 0.09	(0.56,0.46): 0.08	(0.41,0.60): - 0.15	(0.26,0.74): - 0.39	(0.23,0.78): - 0.45
Uni_5	(0.50,0.50): 0.00	(0.40,0.61): - 0.16	(0.53,0.47): 0.04	(0.58,0.44): 0.11	(0.82,0.27): 0.54
Uni_6	(0.88,0.22): 0.66	(0.99,0.10): 0.97	(0.61,0.41): 0.16	(0.73,0.34): 0.35	(0.90,0.20): 0.72
Uni_7	(0.88,0.22): 0.66	(0.76,0.32): 0.41	(0.70,0.36): 0.29	(0.68,0.37): 0.27	(0.76,0.30): 0.41
Uni_8	(0.35,0.70): - 0.30	(0.54,0.46): 0.06	(0.40,0.61): - 0.16	(0.56,0.44): 0.09	(0.82,0.27): 0.54

Tablo 4.43 Sıralama Probleminde Alternatiflerin M_5 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi (devamı)

Uni_9	(0.88,0.22): 0.66	(0.99,0.10): 0.97	(0.73,0.34): 0.35	(0.65,0.40): 0.21	(0.25,0.72): - 0.35
Uni_{10}	(0.01,0.99): - 0.97	(0.99,0.10): 0.97	(0.32,0.68): - 0.28	(0.53,0.47): 0.04	(0.61,0.41): 0.16
Uni_{11}	(0.76,0.32): 0.41	(0.72,0.34): 0.33	(0.50,0.50): 0.00	(0.29,0.73): - 0.37	(0.58,0.44): 0.11
Uni_{12}	(0.20,0.80): - 0.50	(0.02,0.96): - 0.88	(0.06,0.92): - 0.78	(0.01,0.99): - 0.97	(0.03,0.95): - 0.86
Uni_{13}	(0.65,0.40): 0.21	(0.53,0.48): 0.04	(0.38,0.65): - 0.22	(0.50,0.50): 0.00	(0.10,0.90): - 0.73
Uni_{14}	(0.26,0.75): - 0.41	(0.31,0.72): - 0.35	(0.23,0.78): - 0.45	(0.27,0.74): - 0.39	(0.15,0.78): - 0.48
Uni_{15}	(0.41,0.60): - 0.15	(0.46,0.55): - 0.07	(0.56,0.46): 0.06	(0.21,0.71): - 0.34	(0.61,0.41): 0.16
Uni_{16}	(0.20,0.80): - 0.50	(0.44,0.54): - 0.09	(0.60,0.42): 0.15	(0.30,0.65): - 0.25	(0.67,0.37): 0.25
Uni_{17}	(0.65,0.40): 0.21	(0.92,0.17): 0.77	(0.61,0.42): 0.15	(0.29,0.73): - 0.37	(0.20,0.74): - 0.40
Uni_{18}	(0.65,0.40): 0.21	(0.12,0.56): - 0.18	(0.12,0.64): - 0.26	(0.03,0.92): - 0.79	(0.03,0.92): - 0.79
Uni_{19}	(0.05,0.93): - 0.80	(0.01,0.99): - 0.97	(0.02,0.96): - 0.88	(0.01,0.99): - 0.97	(0.06,0.92): - 0.78
Uni_{20}	(0.14,0.85): - 0.62	(0.06,0.92): - 0.78	(0.03,0.95): - 0.86	(0.02,0.96): - 0.88	(0.02,0.96): - 0.88
S^*	(0.99,0.10)	(0.99,0.10)	(0.97,0.12)	(0.95,0.14)	(0.99,0.10)
S^-	(0.01,0.99)	(0.01,0.99)	(0.02,0.96)	(0.01,0.99)	(0.02,0.96)

Alternatiflerin pozitif ideal çözüme göre pozitif uzaklıkları olan d_{i,S^+} Denklem (3.39)'daki gibi, negatif ideal çözüme göre negatif uzaklıkları olan d_{i,S^-} Denklem (3.40)'teki gibi hesaplanmıştır. Pozitif ideal çözüme uzaklık ve negatif ideal çözüme uzaklık değerlerine göre göreceli yakınlık değeri olan RC_i Denklem (3.41)'deki gibi hesaplanmıştır. Pozitif ideal çözüme uzaklık, negatif ideal çözüme uzaklık ve göreceli yakınlık değerleri Tablo 4.44'te verilmiştir.

Tablo 4.44 Sıralama Probleminde Alternatiflerin Pozitif Uzaklık, Negatif Uzaklık ve Göreceli Yakınlık Değerleri (Fermatean Bulanık)

Uni_i	d_{i,S^+}	d_{i,S^-}	RC_i	Uni_i	d_{i,S^+}	d_{i,S^-}	RC_i
Uni_1	0.54	0.74	0.580	Uni_{11}	0.71	0.61	0.465
Uni_2	0.53	0.70	0.567	Uni_{12}	0.67	0.59	0.465
Uni_3	0.58	0.61	0.512	Uni_{13}	0.74	0.58	0.442
Uni_4	0.77	0.42	0.356	Uni_{14}	0.72	0.59	0.448
Uni_5	0.60	0.75	0.557	Uni_{15}	0.70	0.67	0.489
Uni_6	0.58	0.69	0.540	Uni_{16}	0.58	0.58	0.499
Uni_7	0.64	0.64	0.500	Uni_{17}	0.51	0.74	0.592
Uni_8	0.65	0.68	0.510	Uni_{18}	0.76	0.56	0.423
Uni_9	0.40	0.74	0.649	Uni_{19}	0.85	0.31	0.270
Uni_{10}	0.66	0.56	0.462	Uni_{20}	0.73	0.58	0.444

Alternatifler göreceli yakınlık değerine (RC_i) göre en yüksek değerden en düşük değere doğru sıralanmaktadır. Sıralama sonucu Tablo 4.45'te gösterilmiştir.

Tablo 4.45 Sıralama Probleminde Alternatiflerin Sıralanması (Fermatean Bulanık)

Sıra	Üniversite (Uni_i)	RC_i	Sıra	Üniversite (Uni_i)	RC_i
1	H*	0.649	11	D**	0.489

Tablo 4.45 Sıralama Probleminde Alternatiflerin Sıralanması (Fermatean Bulanık)
(devamı)

2	G*	0.592	12	İ****	0.465
3	O****	0.580	13	E****	0.465
4	İ**	0.567	14	G**	0.462
5	Y**	0.557	15	B**	0.448
6	A*	0.540	16	K**	0.444
7	B****	0.512	17	M*	0.442
8	E*	0.510	18	Ç*	0.423
9	İ*	0.500	19	İ****	0.356
10	A****	0.499	20	F*	0.270

4.2 Meyve Suyu Üretim Tesisi İçin Lokasyon Seçimi

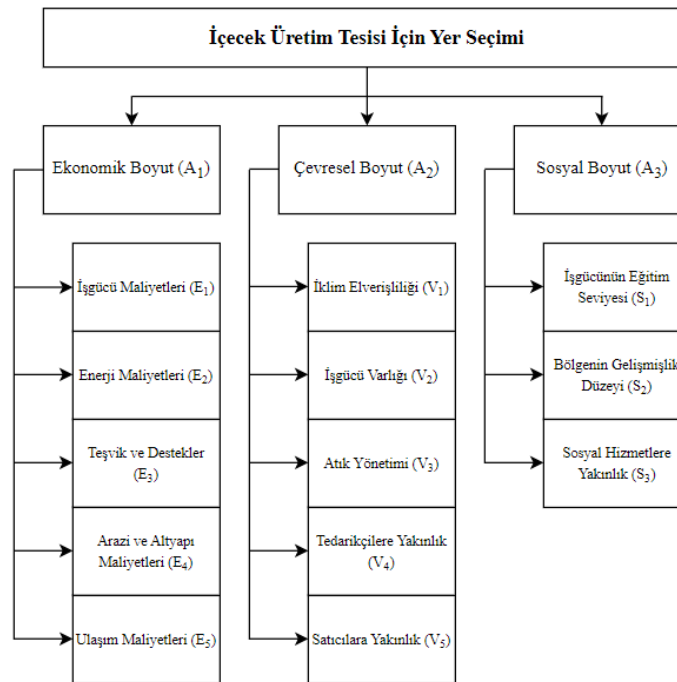
Taze portakal suyu üretimi için tesis yeri seçimi bu vaka çalışmasının temelini oluşturmaktadır. Meyve suyu insanlar tarafından en yaygın şekilde tüketilen hafif içecek türlerinden biridir. Pek çok aroması ile her türlü damak zevkine hitap etmektedir. Bu vakada portakal suyu üzerine durulduğu için Türkiye’de portakal üretiminin en yüksek olduğu coğrafya problemin alternatiflerini oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın ilk ana kriteri Ekonomik Boyut olarak belirlenmiştir. Ekonomik Boyut ana kriteri altında 5 farklı alt kritere yer verilmiştir. Bunlar; İşgücü Maliyetleri, Enerji Maliyetleri, Teşvik ve Destekler, Arazi ve Altyapı Maliyetleri ve Ulaşım Maliyetleri olarak belirlenmiştir.

İkinci ana kriter Çevresel Boyut olarak belirlenmiştir. Çevresel Boyut ana kriteri altında 5 farklı alt kritere yer verilmiştir. Bunlar; İklim Elverişliliği, İşgücü Varlığı, Atık Yönetimi, Tedarikçilere Yakınlık ve Satıcılara Yakınlık olarak belirlenmiştir.

Üçüncü ve son ana kriter Sosyal Boyut olarak belirlenmiştir. Sosyal Boyut ana kriteri altında 3 farklı alt kritere yer verilmiştir. Bunlar, İşgücünün Eğitim Seviyesi, Bölgenin Gelişmişlik Düzeyi ve Sosyal Hizmetlere Yakınlık olarak belirlenmiştir.

Aşağıda bu çalışmanın kriterlerine ait hiyerarşi Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Seçim probleminde kriterler hiyerarşisi

Bu çalışmanın alternatiflerini oluşturan şehirler aşağıda Tablo 4.46’da verilmiştir.

Tablo 4.46 Seçim Probleminde Alternatifler

Alter.	Şehir	Alter.	Şehir
Alt_1	Adana	Alt_6	Karaman
Alt_2	Antalya	Alt_7	Mersin
Alt_3	Aydın	Alt_8	Muğla
Alt_4	Hatay	Alt_9	Niğde
Alt_5	Isparta	Alt_{10}	Uşak

Çalışmanın amacı, kapsamı, kısıtları, verilerin elde edilmesi, uygulama ve sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

4.2.1 Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Kısıtları

Bu çalışmanın amacı tüketiciler için meyve suyu arz etmeyi hedefleyen bir işletme için en iyi tesis yerinin belirlenmesidir. Meyve suyu olarak portakal aroması ön planda tutulduğu için çalışmanın kapsamını taze portakal suyu üretimi oluşturmaktadır. Portakal üretiminin Türkiye’de en yüksek olduğu şehirler Ege ve Akdeniz Bölgeleri içinde kalmaktadır. Alternatifler belirlenirken portakal üretiminin yüksek olduğu şehirlerin seçilmesi ve verilerin ulaşılabilir olması çalışmanın kısıtlarını oluşturmaktadır.

4.2.2 Verilen Elde Edilmesi

Bu vakada kullanılan kriterler meyve suyu üretim sektöründe uzman olan kişilerin görüşleri ve literatürde bulunun benzer çalışmaların incelenmesi sonucunda belirlenmiştir. Alternatifler, Türkiye’de en fazla portakal üretimi yapılan Ege ve Akdeniz Bölgeleri başta olmak üzere çevre illerden oluşmaktadır. Tesis yeri seçimi konusunda bu sektörde yer alan deneyimli yöneticilerin görüşleri alınmıştır. Ayrıca Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Ormancılık Bakanlığı’nın internet üzerinden yayınlamış olduğu bilgiler de incelenilmiş ve çalışmanın gidişatı şekillenmiştir.

4.2.3 Seçim Uygulaması ve Sonuçları

Bu uygulamada Ege ve Akdeniz Bölgeleri ile çevre illerde portakal üretiminin fazla olduğu şehirler belirli kriterler altında 3 uzman karar verici görüşü ile değerlendirilerek taze portakal suyu üretimi yapacak bir tesisin lokasyon seçimi yapılmıştır. Karar vericilerin, uzmanlık derecesi belirlendikten sonra problem, bulanık SWARA – TOPSIS, sezgisel bulanık SWARA – TOPSIS ve Fermatean bulanık SWARA – TOPSIS metodolojilerine göre değerlendirilmiştir.

Seçim probleminin çözümü için 3 uzman karar vericinin görüşleri alınmıştır. Karar vericiler, kriterleri kendi içinde ve alternatifleri kriterler bazında dilsel terimlerle değerlendirmişlerdir. Değerlendirmelerin sonuçlarını ortaya koymak ve farklı bulanık kümelerle kıyaslanmasını sağlamak için önerilen metodolojinin adımları uygulanmıştır. Aşağıda karar vericilerin dilsel terimlerle değerlendirme sonuçları verilmiştir. Bu veriler sırasıyla bulanık SWARA – TOPSIS, sezgisel bulanık SWARA – TOPSIS ve Fermatean bulanık SWARA – TOPSIS metodolojilerine uygulanmıştır.

Bu çalışmaya katılan uzman karar vericiler sırasıyla U_1, U_2 ve U_3 kısaltmasıyla gösterilmiştir. Aşağıda karar vericilerin, uzmanlık derecesine ait verdikleri cevaplar Tablo 4.47’de gösterilmiştir.

Tablo 4.47 Seçim Probleminde Karar Vericilere Ait Uzmanlık Derecelerinin Dilsel Terimlerle Gösterimi

Karar Vericiler	Uzmanlık Derecesi
U_1	AE
U_2	VE
U_3	VE

Ana ve alt kriterler kendi içinde karar vericiler tarafından değerlendirilmiştir. Karar vericilerin ana kriterler (R_A) ve alt kriterler (R_E, R_V, R_S) için dilsel değerlendirmeleri Tablo 4.48’de gösterilmiştir.

Tablo 4.48 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Değerlendirilmesi

R_A	U_1	U_2	U_3
A_1	SI	AI	VSI
A_2	VSI	AI	SI
A_3	EI	VSI	I
R_E	U_1	U_2	U_3
E_1	SI	SI	VSI
E_2	AI	AI	VSI
E_3	AI	AI	EI
E_4	AI	VSI	I
E_5	VSI	VSI	EI
R_V	U_1	U_2	U_3
V_1	AI	AI	AI
V_2	VSI	VSI	SI
V_3	VSI	SI	SI
V_4	SI	AI	VSI
V_5	I	AI	VSI
R_S	U_1	U_2	U_3
S_1	VSI	VSI	VSI
S_2	I	I	SI
S_3	I	SI	EI

Karar vericilerin alternatifleri kriterler karşısında dilsel değerlendirmeleri Tablo 4.49'da verilmiştir.

Tablo 4.49 Seçim Probleminde Karar Vericilerin Alternatifleri Kriterler Karşısında Değerlendirmesi

U_1	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	S_1	S_2	S_3
Alt_1	AG	M	LG	M	AG	AG	G	LG	AG	VG	VG	VG	AG
Alt_2	G	M	M	LB	G	AG	VG	LG	M	M	VG	AG	AG
Alt_3	AG	LG	LG	G	G	AG	LB	G	LG	M	VG	AG	M
Alt_4	LG	M	G	LG	M	VG	LB	LB	M	LB	LB	M	M
Alt_5	M	M	VG	M	G	VG	LB	LB	LB	LB	M	LB	M
Alt_6	G	LB	VG	M	B	B	LB	M	LB	M	LB	LB	LB
Alt_7	B	M	M	LB	VG	VG	LB	LB	M	LB	LG	G	G
Alt_8	LB	G	LG	B	VB	M	LB	LG	LB	LB	LB	LB	G
Alt_9	LG	M	VG	VG	B	VB	LB	M	LB	B	M	LB	VB
Alt_{10}	VG	M	VG	G	LB	B	B	M	LB	LB	LB	LB	LB
U_2	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	S_1	S_2	S_3
Alt_1	VG	G	G	G	G	AG	VG	G	VG	VG	LG	AG	G
Alt_2	VG	LG	G	LG	G	AG	G	VG	VG	VG	VG	VG	VG
Alt_3	VG	M	G	VG	G	G	M	G	LG	G	G	VG	G
Alt_4	G	M	VG	G	LB	VG	G	M	LG	M	M	M	M
Alt_5	LG	LG	G	LG	M	G	LG	LG	M	M	LG	B	G
Alt_6	LG	B	LG	LG	LB	LB	M	M	M	LG	LB	B	M
Alt_7	M	LG	LG	B	G	VG	M	M	LG	M	G	VG	G
Alt_8	M	G	G	VB	B	LB	LB	G	G	G	G	LG	G
Alt_9	LG	LG	G	G	LB	AB	M	LB	B	VB	M	B	VB

Tablo 4.49 Seçim Probleminde Karar Vericilerin Alternatifleri Kriterler Karşısında Değerlendirilmesi (devamı)

Alt_{10}	G	LG	G	LG	LB	LB	LB	LB	B	B	LB	LB	LB
U_3	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	S_1	S_2	S_3
Alt_1	VG	LG	M	LB	VG	VG	AG	LG	AG	VG	G	VG	VG
Alt_2	G	LG	M	B	VG	AG	LG	M	AG	G	G	AG	AG
Alt_3	VG	LB	G	LB	G	VG	G	LG	G	M	G	VG	LG
Alt_4	LG	LG	LG	M	B	AG	VG	LB	AG	LG	LG	M	LG
Alt_5	LG	ML	LG	LG	LB	G	G	LB	LG	M	M	LB	G
Alt_6	M	LB	LG	LG	LB	VB	M	B	M	M	M	LB	LB
Alt_7	LB	LG	LB	VB	M	AG	LB	LB	G	G	G	VG	VG
Alt_8	B	LB	LB	VB	B	LB	B	LB	M	LG	LG	G	VG
Alt_9	G	G	LG	G	VB	VB	LG	B	B	VB	LB	B	LB
Alt_{10}	LG	LG	M	G	B	LB	B	B	LB	VB	LB	B	M

4.2.3.1 Bulanık SWARA - TOPSIS

Bulanık SWARA – TOPSIS metodolojisine göre kriterler bulanık SWARA, alternatifler bulanık TOPSIS yöntemine göre değerlendirilmiştir. Karar vericilerin uzmanlık derecesi (ağırlıkları) bulanık sayılarla Denklem (3.1)'deki gibi hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar Tablo 4.50'de gösterilmiştir.

Tablo 4.50 Karar Vericilerin Seçim Probleminde Bulanık Uzmanlık Derecesi

Karar Vericiler	F Uzmanlık Derecesi
U_1	0.391
U_2	0.304
U_3	0.304

Karar vericilerin kriterleri dilsel terimlerle değerlendirmelerinden sonra her karar verici için c_{ip} oluşturulmuştur. Kriterlerin değerlendirmesi için bulanık SWARA yöntemi uygulanmıştır. Tüm karar vericilerin değerlendirmeleriyle uzmanlık dereceleri de göz önüne alınarak birleştirilmiş ana karar matrisi (z) ve alt kriterlere ait karar matrisleri Denklem (3.2)'deki gibi hesaplanmıştır. Birleştirilmiş karar matrisleri Tablo 4.51'de gösterilmiştir.

Tablo 4.51 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlere Ait Bulanık z Sonuçları

z	z Sonuçları	z	z Sonuçları
A_1	(7.11, 7.87, 8.59)	V_1	(9.00, 9.00, 9.00)
A_2	(7.21, 7.96, 8.68)	V_2	(6.68, 7.68, 8.68)
A_3	(5.08, 6.10, 7.11)	V_3	(6.37, 7.38, 8.38)
z	z Sonuçları	V_4	(7.11, 7.87, 8.59)
E_1	(6.29, 7.29, 8.29)	V_5	(6.62, 7.41, 8.16)
E_2	(8.34, 8.68, 9.00)	z	z Sonuçları
E_3	(7.03, 7.53, 7.96)	S_1	(7.00, 8.00, 9.00)
E_4	(6.97, 7.68, 8.34)	S_2	(5.29, 6.29, 7.29)
E_5	(5.90, 6.93, 7.96)	S_3	(4.94, 5.95, 6.96)

z matrislerinden ana ve alt kriterlere ait ortalama normalize bulanık değerleri ($ANF(i)$) karar matrisleri normalize edilerek Denklem (3.3)'teki gibi hesaplanmıştır. Tüm kriterlere ait ortalama normalize bulanık değerleri Tablo 4.52'de gösterilmiştir.

Tablo 4.52 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Ortalama Normalize Bulanık Değerleri

R_A	$ANF(i)$	R_E	$ANF(i)$	R_V	$ANF(i)$	R_S	$ANF(i)$
A_1	0.36	E_1	0.19	V_1	0.23	S_1	0.41
A_2	0.37	E_2	0.23	V_2	0.20	S_2	0.32

Tablo 4.52 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Ortalama Normalize Bulanık Değerleri (devamı)

A_3	0.28	E_3	0.20	V_3	0.19	S_3	0.30
		E_4	0.20	V_4	0.20		
		E_5	0.18	V_5	0.19		

Ortalama normalize bulanık değerleri $ANF(i)$ her ana ve alt kriter için bulunduğundan sonra her kriter grubu kendi içinde azalan şekilde sıralanmıştır. Normalize bulanık değerine göre sıralanan ana ve alt kriterler normalize bulanık değerine karşılık gelen üçgen normalize karar değerleriyle karşılaştırma önem değerleri (CS_i) Denklem (3.4)'teki gibi, karşılaştırmalı katsayı değerleri (CC_i) Denklem (3.5)'teki gibi, yeniden hesaplanan ağırlık değerleri (q_i) Denklem (3.6)'daki gibi ve bulanık kriter ağırlıkları (ω_i) Denklem (3.7)'deki gibi hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 4.53'te gösterilmiştir.

Tablo 4.53 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Bulanık Ağırlık Hesaplamaları

R_A	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
A_2	(0.00, 0.00, 0.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.41, 0.43, 0.45)
A_1	(0.29, 0.36, 0.44)	(1.29, 1.36, 1.44)	(0.69, 0.74, 0.77)	(0.29, 0.32, 0.35)
A_3	(0.21, 0.28, 0.37)	(1.21, 1.28, 1.37)	(0.51, 0.58, 0.64)	(0.21, 0.25, 0.29)
R_E	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
E_2	(0.00, 0.00, 0.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.26, 0.28, 0.29)
E_4	(0.17, 0.20, 0.24)	(1.17, 1.20, 1.24)	(0.81, 0.83, 0.86)	(0.21, 0.23, 0.25)
E_3	(0.17, 0.20, 0.23)	(1.17, 1.20, 1.23)	(0.65, 0.70, 0.73)	(0.17, 0.19, 0.21)
E_1	(0.15, 0.19, 0.24)	(1.15, 1.19, 1.24)	(0.53, 0.58, 0.64)	(0.14, 0.16, 0.19)
E_5	(0.14, 0.18, 0.23)	(1.14, 1.18, 1.23)	(0.43, 0.49, 0.56)	(0.11, 0.14, 0.16)
R_V	CS_i	CC_i	q_i	ω_i

Tablo 4.53 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Bulanık Ağırlık Hesaplamaları (devamı)

V_1	(0.00, 0.00, 0.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.26, 0.28, 0.29)
V_4	(0.17, 0.20, 0.24)	(1.17, 1.20, 1.24)	(0.81, 0.83, 0.86)	(0.21, 0.23, 0.25)
V_2	(0.16, 0.20, 0.24)	(1.16, 1.20, 1.24)	(0.65, 0.70, 0.74)	(0.17, 0.19, 0.22)
V_5	(0.15, 0.19, 0.23)	(1.15, 1.19, 1.23)	(0.53, 0.59, 0.64)	(0.14, 0.16, 0.19)
V_3	(0.15, 0.19, 0.23)	(1.15, 1.19, 1.23)	(0.43, 0.49, 0.56)	(0.11, 0.14, 0.16)
R_S	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
S_1	(0.00, 0.00, 0.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.40, 0.43, 0.45)
S_2	(0.23, 0.31, 0.42)	(1.23, 1.31, 1.42)	(0.70, 0.76, 0.81)	(0.28, 0.32, 0.37)
S_3	(0.21, 0.29, 0.40)	(1.21, 1.29, 1.40)	(0.50, 0.59, 0.67)	(0.20, 0.25, 0.31)

Alternatiflerin değerlendirilebilmesi için alt kriterlerin nihai ağırlıkları bulunmuştur. Her kriterin ortalama ağırlığı Denklem (3.8)'deki gibi hesaplanmıştır. Ana ve alt kriter ağırlıkları belirlendikten sonra ana kriterlerin ağırlıkları alt kriterlerle dağıtılarak alt kriterlerin nihai ağırlıkları hesaplanmıştır. Alt kriterlere ait nihai ağırlık (ω_{iF}) değerleri Tablo 4.54'te gösterilmiştir.

Tablo 4.54 Seçim Probleminde Alt Kriterlerin Nihai Bulanık Ağırlıkları

Alt Kriterler	ω_{iF}	Alt Kriterler	ω_{iF}	Alt Kriterler	ω_{iF}
E_1	0.05	V_1	0.12	S_1	0.11
E_2	0.09	V_2	0.08	S_2	0.08
E_3	0.06	V_3	0.06	S_3	0.06
E_4	0.07	V_4	0.10		
E_5	0.04	V_5	0.05		

Tüm alt kriterlere ait nihai ağırlıklar (ω_{iF}) hesaplandıktan sonra alternatifler bulanık TOPSIS yöntemine göre değerlendirilmiştir.

Karar vericilerin değerlendirmeleri sonucunda bulanık sayılarla alternatifler için birleştirilmiş karar matrisleri olan T Denklem (3.9)'daki gibi hesaplanmıştır. Alternatiflerin A_1 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi Tablo 4.55'te gösterilmiştir.

Tablo 4.55 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi

Alt_i	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
Alt_1	(7.72, 8.38, 9.00)	(4.84, 5.86, 6.86)	(4.94, 5.95, 6.96)	(4.15, 5.18, 6.20)	(7.37, 8.04, 8.68)
Alt_2	(6.29, 7.29, 8.29)	(4.58, 5.59, 6.59)	(4.53, 5.54, 6.55)	(3.10, 4.15, 5.18)	(9.00, 9.00, 9.00)
Alt_3	(7.72, 8.38, 9.00)	(4.00, 5.02, 6.03)	(5.59, 6.59, 7.59)	(5.09, 6.15, 7.19)	(7.37, 8.04, 8.68)
Alt_4	(5.29, 6.29, 7.29)	(4.28, 5.29, 6.29)	(5.95, 6.96, 7.96)	(4.94, 5.95, 6.96)	(7.56, 8.29, 9.00)
Alt_5	(4.58, 5.59, 6.59)	(4.28, 5.29, 6.29)	(6.03, 7.04, 8.04)	(4.58, 5.59, 6.59)	(6.37, 7.38, 8.38)
Alt_6	(5.02, 6.03, 7.04)	(2.65, 3.66, 4.67)	(5.70, 6.71, 7.72)	(4.58, 5.59, 6.59)	(1.83, 2.89, 3.92)
Alt_7	(2.79, 3.83, 4.84)	(4.58, 5.59, 6.59)	(3.92, 4.94, 5.95)	(1.90, 2.97, 4.00)	(7.56, 8.29, 9.00)
Alt_8	(2.89, 3.92, 4.94)	(4.86, 5.90, 6.93)	(4.52, 5.56, 6.58)	(1.31, 2.34, 3.36)	(3.36, 4.36, 5.37)
Alt_9	(5.29, 6.29, 7.29)	(4.84, 5.86, 6.86)	(6.03, 7.04, 8.04)	(6.37, 7.38, 8.38)	(1.00, 1.62, 2.15)
Alt_{10}	(6.03, 7.04, 8.04)	(4.58, 5.59, 6.59)	(5.63, 6.66, 7.68)	(5.68, 6.68, 7.68)	(2.56, 3.57, 4.58)

Birleştirilmiş karar matrisine göre ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi Denklem (3.10)'daki gibi hesaplanmıştır. Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesinde Denklem (3.11)'deki gibi pozitif ideal çözüm (S^*), Denklem (3.12)'deki gibi negatif ideal çözüm (S^-) değerleri hesaplanmıştır. A_1 ana kriterine ait alt kriterlere ait pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.56'da gösterilmiştir.

Tablo 4.56 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri

Uzaklık	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
S^*	(0.006,0.006 ,0.006)	(0.007,0.008 ,0.010)	(0.005,0.006 ,0.007)	(0.008,0.009 ,0.010)	(0.005,0.006 ,0.006)
S^-	(0.002,0.003 ,0.003)	(0.004,0.005 ,0.007)	(0.003,0.004 ,0.005)	(0.002,0.003 ,0.004)	(0.001,0.002 ,0.003)

Alternatiflerin A_2 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi Tablo 4.57'de gösterilmiştir.

Tablo 4.57 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi

Alt_i	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
Alt_1	(8.34, 8.68, 9.00)	(7.11, 7.87, 8.59)	(5.29, 6.29, 7.29)	(8.34, 8.68, 9.00)	(7.00, 8.00, 9.00)
Alt_2	(9.00, 9.00, 9.00)	(6.03, 7.04, 8.04)	(5.18, 6.20, 7.21)	(6.07, 6.90, 7.68)	(5.37, 6.39, 7.41)
Alt_3	(7.37, 8.04, 8.68)	(4.04, 5.08, 6.10)	(5.68, 6.68, 7.68)	(5.29, 6.29, 7.29)	(4.53, 5.54, 6.55)
Alt_4	(7.56, 8.29, 9.00)	(4.79, 5.86, 6.90)	(3.27, 4.28, 5.29)	(5.48, 6.32, 7.11)	(3.83, 4.84, 5.86)
Alt_5	(6.37, 7.38, 8.38)	(4.33, 5.37, 6.39)	(3.50, 4.53, 5.54)	(3.83, 4.84, 5.86)	(3.57, 4.58, 5.59)

Tablo 4.57 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi (devamı)

Alt_6	(1.83, 2.89, 3.92)	(3.57, 4.58, 5.59)	(3.24, 4.28, 5.30)	(3.57, 4.58, 5.59)	(4.28, 5.29, 6.29)
Alt_7	(7.56, 8.29, 9.00)	(2.65, 3.66, 4.67)	(3.27, 4.28, 5.29)	(4.84, 5.86, 6.86)	(4.04, 5.08, 6.10)
Alt_8	(3.36, 4.36, 5.37)	(3.83, 4.84, 5.86)	(4.52, 5.56, 6.58)	(4.04, 5.08, 6.10)	(4.33, 5.37, 6.39)
Alt_9	(1.00, 1.62, 2.15)	(2.26, 3.27, 4.28)	(2.97, 4.00, 5.02)	(2.34, 3.36, 4.36)	(1.31, 2.34, 3.36)
Alt_{10}	(2.56, 3.57, 4.58)	(2.20, 3.21, 4.22)	(2.97, 4.00, 5.02)	(2.65, 3.66, 4.67)	(1.90, 2.97, 4.00)

A_2 ana kriterine ait alt kriterlere ait pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.58’de gösterilmiştir.

Tablo 4.58 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri

Uzaklık	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
S^*	(0.016,0.016,0.016)	(0.010,0.011,0.012)	(0.006,0.007,0.008)	(0.013,0.014,0.014)	(0.006,0.007,0.008)
S^-	(0.002,0.003,0.004)	(0.003,0.004,0.006)	(0.003,0.004,0.005)	(0.004,0.005,0.007)	(0.001,0.002,0.003)

Alternatiflerin A_3 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi Tablo 4.59’da gösterilmiştir.

Tablo 4.59 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi

Alt_i	S_1	S_2	S_3
Alt_1	(6.03, 7.04, 8.04)	(7.56, 8.29, 9.00)	(7.37, 8.04, 8.68)
Alt_2	(6.68, 7.68, 8.68)	(8.34, 8.68, 9.00)	(8.34, 8.68, 9.00)
Alt_3	(6.37, 7.38, 8.38)	(7.72, 8.38, 9.00)	(4.84, 5.86, 6.86)
Alt_4	(3.83, 4.84, 5.86)	(4.00, 5.00, 6.00)	(4.28, 5.29, 6.29)
Alt_5	(4.28, 5.29, 6.29)	(2.65, 3.66, 4.67)	(5.12, 6.14, 7.15)
Alt_6	(3.27, 4.28, 5.29)	(2.65, 3.66, 4.67)	(3.27, 4.28, 5.29)
Alt_7	(5.59, 6.59, 7.59)	(6.59, 7.59, 8.59)	(6.29, 7.29, 8.29)
Alt_8	(4.33, 5.37, 6.39)	(4.33, 5.37, 6.39)	(6.29, 7.29, 8.29)
Alt_9	(3.66, 4.67, 5.68)	(2.34, 3.36, 4.36)	(1.40, 2.47, 3.50)
Alt_{10}	(3.00, 4.00, 5.00)	(2.65, 3.66, 4.67)	(3.27, 4.28, 5.29)

A_3 ana kriterine ait alt kriterlere ait pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.60’ta gösterilmiştir.

Tablo 4.60 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri

Uzaklık	S_1	S_2	S_3
S^+	(0.011,0.012,0.014)	(0.010,0.011,0.011)	(0.008,0.008,0.008)
S^-	(0.005,0.006,0.008)	(0.003,0.004,0.005)	(0.001,0.002,0.003)

Alternatiflerin pozitif ideal çözüme göre pozitif uzaklıkları olan d_{i,S^+} Denklem (3.13)’teki gibi, negatif ideal çözüme göre negatif uzaklıkları olan d_{i,S^-} Denklem (3.14)’teki gibi hesaplanmıştır. Pozitif ideal çözüme uzaklık ve negatif ideal çözüme uzaklık değerlerine göre göreceli yakınlık değeri olan RC_i Denklem (3.15)’teki gibi hesaplanmıştır. Pozitif ideal

çözümüne uzaklık, negatif ideal çözüme uzaklık ve göreceli yakınlık değerleri Tablo 4.61’de verilmiştir.

Tablo 4.61 Seçim Probleminde Alternatiflerin Pozitif Uzaklık, Negatif Uzaklık ve Göreceli Yakınlık Değerleri (Bulanık)

Alt_i	d_{i,S^+}	d_{i,S^-}	RC_i	Uni_i	d_{i,S^+}	d_{i,S^-}	RC_i
Alt_1	0.02	0.19	0.907	Alt_6	0.16	0.06	0.266
Alt_2	0.04	0.18	0.823	Alt_7	0.09	0.12	0.558
Alt_3	0.06	0.16	0.739	Alt_8	0.14	0.07	0.351
Alt_4	0.10	0.12	0.551	Alt_9	0.17	0.05	0.225
Alt_5	0.11	0.10	0.487	Alt_{10}	0.16	0.06	0.266

Alternatifler göreceli yakınlık değerine (RC_i) göre en yüksek değerden en düşük değere doğru sıralanmaktadır. Seçim sıralaması sonucu Tablo 4.62’de gösterilmiştir.

Tablo 4.62 Seçim Probleminde Alternatiflerin Sıralanması (Bulanık)

Sıra	Şehir (Alt_i)	RC_i	Sıra	Şehir (Alt_i)	RC_i
1	Adana	0.907	6	Isparta	0.487
2	Antalya	0.823	7	Muğla	0.351
3	Aydın	0.739	8	Karaman	0.266
4	Mersin	0.558	9	Uşak	0.266
5	Hatay	0.551	10	Niğde	0.225

4.2.3.2 Sezgisel Bulanık SWARA - TOPSIS

Sezgisel bulanık SWARA – TOPSIS metodolojisine göre kriterler SWARA, alternatifler TOPSIS yöntemine göre değerlendirilmiştir. Karar vericilerin uzmanlık derecesi (ağırlıkları) sezgisel bulanık sayılarla Denklem (3.16)’daki gibi hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.63’te gösterilmiştir.

Tablo 4.63 Karar Vericilerin Seçim Probleminde Sezgisel Bulanık Uzmanlık Derecesi

Karar Vericiler	IF Uzmanlık Derecesi
U_1	0.367
U_2	0.317
U_3	0.317

Karar vericilerin kriterleri dilsel terimlerle değerlendirmelerinden sonra her karar verici için c_{ip} oluşturulmuştur. Kriterlerin değerlendirmesi için sezgisel bulanık SWARA yöntemi uygulanmıştır. Tüm karar vericilerin değerlendirmeleriyle uzmanlık dereceleri de göz önüne alınarak birleştirilmiş ana karar matrisi (z) ve alt kriterlere ait karar matrisleri Denklem (3.17)'deki gibi hesaplanmıştır. Birleştirilmiş karar matrisleri Tablo 4.64'te gösterilmiştir.

Tablo 4.64 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlere Ait Sezgisel Bulanık z Sonuçları

z	z Sonuçları	z	z Sonuçları
A_1	(0.93,0.05)	V_1	(0.99,0.01)
A_2	(0.94,0.05)	V_2	(0.87,0.08)
A_3	(0.74,0.19)	V_3	(0.82,0.12)
z	z Sonuçları	V_4	(0.93,0.05)
E_1	(0.81,0.13)	V_5	(0.92,0.06)
E_2	(0.98,0.02)	z	z Sonuçları
E_3	(0.97,0.03)	S_1	(0.90,0.05)
E_4	(0.94,0.05)	S_2	(0.69,0.26)
E_5	(0.84,0.10)	S_3	(0.66,0.29)

z matrislerinden ana ve alt kriterlere ait pozitif skor değerleri (PS_i) Denklem (3.18)'deki gibi hesaplanmıştır. Tüm kriterlere ait pozitif skor değerleri Tablo 4.65'te gösterilmiştir.

Tablo 4.65 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Sezgisel Pozitif Skor Değerleri

R_A	PS_i	R_E	PS_i	R_V	PS_i	R_S	PS_i
A_1	0.94	E_1	0.84	V_1	0.99	S_1	0.93
A_2	0.94	E_2	0.98	V_2	0.89	S_2	0.71
A_3	0.78	E_3	0.97	V_3	0.85	S_3	0.69
		E_4	0.94	V_4	0.94		
		E_5	0.87	V_5	0.93		

Pozitif skor değerleri, her ana ve alt kriter için bulunduktan sonra her kriter grubu kendi içinde azalan şekilde sıralanmıştır. Pozitif skor değerine göre sıralanan ana ve alt kriterler için pozitif skorların karşılaştırma önem değerleri (CS_i) Denklem (3.19)'daki gibi, karşılaştırmalı katsayı değerleri (CC_i) Denklem (3.20)'deki gibi, yeniden hesaplanan ağırlık değerleri (q_i) Denklem (3.21)'deki gibi ve kriter ağırlıkları (ω_i) Denklem (3.22)'deki gibi hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 4.66'da gösterilmiştir.

Tablo 4.66 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Sezgisel Bulanık Ağırlık Hesaplamaları

R_A	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
A_2	0.94	0	1.00	1.00	0.35
A_1	0.94	0.00	1.00	1.00	0.35
A_3	0.78	0.16	1.16	0.86	0.30
R_E	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
E_2	0.98	0	1.00	1.00	0.21
E_3	0.97	0.01	1.01	0.99	0.21
E_4	0.94	0.02	1.02	0.96	0.20
E_5	0.87	0.07	1.07	0.90	0.19

Tablo 4.66 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Sezgisel Bulanık Ağırlık Hesaplamaları (devamı)

E_1	0.84	0.03	1.03	0.87	0.18
R_V	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
V_1	0.99	0	1.00	1.00	0.21
V_4	0.94	0.05	1.05	0.95	0.20
V_5	0.93	0.01	1.01	0.95	0.20
V_2	0.89	0.04	1.04	0.91	0.19
V_3	0.85	0.04	1.04	0.87	0.19
R_S	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
S_1	0.93	0	1.00	1.00	0.38
S_2	0.71	0.21	1.21	0.82	0.31
S_2	0.69	0.03	1.03	0.80	0.31

Alternatiflerin değerlendirilebilmesi için alt kriterlerin nihai ağırlıkları bulunmuştur. Ana ve alt kriter ağırlıkları belirlendikten sonra ana kriterlerin ağırlıkları alt kriterlerle dağıtılarak alt kriterlerin nihai ağırlıkları hesaplanmıştır. Alt kriterlere ait nihai ağırlık (ω_{iF}) değerleri Tablo 4.67’de gösterilmiştir.

Tablo 4.67 Seçim Probleminde Alt Kriterlerin Nihai Sezgisel Bulanık Ağırlıkları

Alt Kriterler	ω_{iF}	Alt Kriterler	ω_{iF}	Alt Kriterler	ω_{iF}
E_1	0.06	V_1	0.07	S_1	0.11
E_2	0.07	V_2	0.07	S_2	0.09
E_3	0.07	V_3	0.07	S_3	0.09
E_4	0.07	V_4	0.07		
E_5	0.07	V_5	0.07		

Tüm alt kriterlere ait nihai ağırlıklar (ω_{iF}) hesaplandıktan sonra alternatifler sezgisel bulanık TOPSIS yöntemine göre değerlendirilmiştir.

Karar vericilerin değerlendirmeleri sonucunda sezgisel bulanık sayılarla alternatifler için birleştirilmiş karar matrisleri olan I Denklem (3.23)'teki gibi hesaplanmıştır. Birleştirilmiş karar matrisine göre alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesinde Denklem (3.24)'teki gibi pozitif ideal çözüm (S^*), Denklem (3.25)'teki gibi negatif ideal çözüm (S^-) değerleri hesaplanmıştır. Alternatiflerin A_1 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.68'de gösterilmiştir.

Tablo 4.68 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi

Alt_i	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
Alt_1	(0.96,0.03)	(0.66,0.29)	(0.66,0.29)	(0.59,0.34)	(0.94,0.04)
Alt_2	(0.81,0.13)	(0.62,0.33)	(0.63,0.32)	(0.47,0.45)	(0.81,0.13)
Alt_3	(0.96,0.03)	(0.55,0.39)	(0.72,0.23)	(0.75,0.17)	(0.75,0.20)
Alt_4	(0.69,0.26)	(0.58,0.37)	(0.79,0.15)	(0.66,0.29)	(0.43,0.49)
Alt_5	(0.62,0.33)	(0.58,0.37)	(0.80,0.14)	(0.62,0.33)	(0.60,0.33)
Alt_6	(0.66,0.28)	(0.37,0.53)	(0.78,0.16)	(0.62,0.33)	(0.37,0.53)
Alt_7	(0.42,0.50)	(0.62,0.33)	(0.54,0.39)	(0.31,0.59)	(0.78,0.15)
Alt_8	(0.42,0.49)	(0.67,0.27)	(0.63,0.31)	(0.24,0.66)	(0.26,0.63)
Alt_9	(0.69,0.26)	(0.66,0.29)	(0.80,0.14)	(0.82,0.12)	(0.30,0.59)
Alt_{10}	(0.80,0.14)	(0.62,0.33)	(0.78,0.15)	(0.72,0.23)	(0.37,0.53)
S^*	(0.96,0.03)	(0.67,0.27)	(0.80,0.14)	(0.82,0.12)	(0.94,0.04)
S^-	(0.42,0.50)	(0.37,0.53)	(0.54,0.39)	(0.24,0.66)	(0.26,0.63)

Alternatiflerin A_2 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.69'da gösterilmiştir.

Tablo 4.69 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi

Alt_i	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
Alt_1	(0.98,0.02)	(0.93,0.05)	(0.69,0.26)	(0.98,0.02)	(0.90,0.05)
Alt_2	(0.99,0.01)	(0.80,0.14)	(0.75,0.19)	(0.92,0.06)	(0.77,0.17)
Alt_3	(0.94,0.04)	(0.58,0.35)	(0.72,0.23)	(0.69,0.26)	(0.63,0.32)
Alt_4	(0.95,0.03)	(0.74,0.18)	(0.45,0.47)	(0.88,0.11)	(0.54,0.40)
Alt_5	(0.82,0.12)	(0.62,0.32)	(0.49,0.43)	(0.54,0.40)	(0.58,0.37)
Alt_6	(0.30,0.59)	(0.50,0.43)	(0.48,0.45)	(0.50,0.43)	(0.45,0.47)
Alt_7	(0.95,0.03)	(0.45,0.47)	(0.45,0.47)	(0.66,0.29)	(0.72,0.23)
Alt_8	(0.46,0.46)	(0.37,0.53)	(0.63,0.31)	(0.58,0.35)	(0.62,0.32)
Alt_9	(0.17,0.73)	(0.54,0.40)	(0.43,0.49)	(0.34,0.56)	(0.51,0.43)
Alt_{10}	(0.37,0.53)	(0.33,0.57)	(0.43,0.49)	(0.37,0.53)	(0.40,0.50)
S^*	(0.99,0.01)	(0.93,0.05)	(0.75,0.19)	(0.98,0.02)	(0.87,0.08)
S^-	(0.17,0.73)	(0.33,0.57)	(0.43,0.49)	(0.34,0.56)	(0.40,0.50)

Alternatiflerin A_3 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.70’te gösterilmiştir.

Tablo 4.70 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi

Alt_i	S_1	S_2	S_3
Alt_1	(0.80,0.14)	(0.95,0.03)	(0.94,0.04)
Alt_2	(0.87,0.08)	(0.98,0.02)	(0.98,0.02)
Alt_3	(0.82,0.12)	(0.96,0.03)	(0.66,0.29)

Tablo 4.70 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Sezgisel Karar Matrisi (devamı)

Alt_4	(0.54,0.40)	(0.55,0.40)	(0.58,0.37)
Alt_5	(0.58,0.37)	(0.37,0.53)	(0.69,0.26)
Alt_6	(0.45,0.47)	(0.37,0.53)	(0.45,0.47)
Alt_7	(0.72,0.23)	(0.86,0.08)	(0.81,0.13)
Alt_8	(0.62,0.32)	(0.62,0.32)	(0.81,0.13)
Alt_9	(0.51,0.43)	(0.34,0.56)	(0.27,0.63)
Alt_{10}	(0.40,0.50)	(0.37,0.53)	(0.45,0.47)
S^*	(0.87,0.08)	(0.98,0.02)	(0.98,0.02)
S^-	(0.40,0.50)	(0.34,0.56)	(0.27,0.63)

Alternatiflerin pozitif ideal çözüme göre pozitif uzaklıkları olan d_{i,S^*} Denklem (3.26)'daki gibi, negatif ideal çözüme göre negatif uzaklıkları olan d_{i,S^-} Denklem (3.27)'deki gibi hesaplanmıştır. Pozitif ideal çözüme uzaklık ve negatif ideal çözüme uzaklık değerlerine göre göreceli yakınlık değeri olan RC_i Denklem (3.28)'deki gibi hesaplanmıştır. Pozitif ideal çözüme uzaklık, negatif ideal çözüme uzaklık ve göreceli yakınlık değerleri Tablo 4.71'de verilmiştir.

Tablo 4.71 Seçim Probleminde Alternatiflerin Pozitif Uzaklık, Negatif Uzaklık ve Göreceli Yakınlık Değerleri (Sezgisel Bulanık)

Alt_i	d_{i,S^*}	d_{i,S^-}	RC_i	Alt_i	d_{i,S^*}	d_{i,S^-}	RC_i
Alt_1	0.06	0.68	0.913	Alt_6	0.54	0.20	0.274
Alt_2	0.11	0.63	0.852	Alt_7	0.33	0.41	0.555
Alt_3	0.19	0.56	0.750	Alt_8	0.46	0.28	0.381
Alt_4	0.34	0.40	0.541	Alt_9	0.57	0.17	0.229

Tablo 4.71 Seçim Probleminde Alternatiflerin Pozitif Uzaklık, Negatif Uzaklık ve Görelî Yakınlık Değerleri (Sezgisel Bulanık) (devamı)

Alt_5	0.39	0.35	0.473	Alt_{10}	0.55	0.20	0.264
---------	------	------	-------	------------	------	------	-------

Alternatifler görelî yakınlık değerine (RC_i) göre en yüksek değerden en düşük değere doğru sıralanmaktadır. Seçim sıralaması sonucu Tablo 4.72’de gösterilmiştir.

Tablo 4.72 Seçim Probleminde Alternatiflerin Sıralanması (Sezgisel Bulanık)

Sıra	Şehir (Alt_i)	RC_i	Sıra	Şehir (Alt_i)	RC_i
1	Adana	0.913	6	Isparta	0.473
2	Antalya	0.852	7	Muğla	0.381
3	Aydın	0.750	8	Karaman	0.274
4	Mersin	0.555	9	Uşak	0.264
5	Hatay	0.541	10	Niğde	0.229

4.2.3.3 Fermatean Bulanık SWARA - TOPSIS

Fermatean bulanık SWARA – TOPSIS metodolojisine göre kriterler SWARA, alternatifler TOPSIS yöntemine göre değerlendirilmiştir. Karar vericilerin uzmanlık derecesi (ağırlıkları) Fermatean bulanık sayılarla Denklem (3.29)’daki gibi hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar Tablo 4.73’te gösterilmiştir

Tablo 4.73 Karar Vericilerin Seçim Probleminde Fermatean Bulanık Uzmanlık Derecesi

Karar Vericiler	FF Uzmanlık Derecesi
U_1	0.40
U_2	0.30
U_3	0.30

Karar vericilerin kriterleri dilsel terimlerle değerlendirmelerinden sonra her karar verici için c_{ip} oluşturulmuştur. Kriterlerin değerlendirmesi için Fermatean bulanık SWARA yöntemi uygulanmıştır. Tüm karar vericilerin değerlendirmeleriyle uzmanlık dereceleri de göz önüne alınarak birleştirilmiş ana karar matrisi (z) ve alt kriterlere ait karar matrisleri Denklem (3.30)'daki gibi hesaplanmıştır. Birleştirilmiş karar matrisleri Tablo 4.74'te gösterilmiştir.

Tablo 4.74 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlere Ait Fermatean Bulanık z Sonuçları

z	z Sonuçları	z	z Sonuçları
A_1	(0.88,0.08)	V_1	(0.99,0.03)
A_2	(0.89,0.08)	V_2	(0.87,0.11)
A_3	(0.65,0.21)	V_3	(0.84,0.13)
z	z Sonuçları	V_4	(0.88,0.08)
E_1	(0.83,0.14)	V_5	(0.81,0.10)
E_2	(0.96,0.04)	z	z Sonuçları
E_3	(0.81,0.07)	S_1	(0.90,0.09)
E_4	(0.85,0.08)	S_2	(0.69,0.22)
E_5	(0.75,0.14)	S_3	(0.64,0.25)

z matrislerinden ana ve alt kriterlere ait pozitif skor değerleri (PS_i) Denklem (3.31)'deki gibi hesaplanmıştır. Tüm kriterlere ait pozitif skor değerleri Tablo 4.75'te gösterilmiştir.

Tablo 4.75 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Fermatean Skor Değerleri

R_A	PS_i	R_E	PS_i	R_V	PS_i	R_S	PS_i
A_1	1.69	E_1	1.57	V_1	1.97	S_1	1.73
A_2	1.71	E_2	1.89	V_2	1.65	S_2	1.32

Tablo 4.75 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Fermatean Skor Değerleri
(devamı)

A_3	1.26	E_3	1.52	V_3	1.59	S_3	1.25
		E_4	1.61	V_4	1.69		
		E_5	1.43	V_5	1.54		

Pozitif skor değerleri, her ana ve alt kriter için bulunduktan sonra her kriter grubu kendi içinde azalan şekilde sıralanmıştır. Pozitif skor değerine göre sıralanan ana ve alt kriterler için pozitif skorların karşılaştırma önem değerleri (CS_i) Denklem (3.32)'deki gibi, karşılaştırmalı katsayı değerleri (CC_i) Denklem (3.33)'teki gibi, yeniden hesaplanan ağırlık değerleri (q_i) Denklem (3.34)'teki gibi ve kriter ağırlıkları (ω_i) Denklem (3.35)'teki gibi hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 4.76'da gösterilmiştir.

Tablo 4.76 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Fermatean Bulanık Ağırlık Hesaplamaları

R_A	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
A_2	1.71	0	1.00	1.00	0.38
A_1	1.69	0.02	1.02	0.98	0.37
A_3	1.26	0.43	1.43	0.68	0.26
R_E	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
E_2	1.89	0	1.00	1.00	0.26
E_4	1.61	0.28	1.28	0.78	0.20
E_1	1.57	0.04	1.04	0.75	0.19
E_3	1.52	0.04	1.04	0.72	0.18
E_5	1.43	0.10	1.10	0.65	0.17
R_V	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i

Tablo 4.76 Seçim Probleminde Ana ve Alt Kriterlerin Fermatean Bulanık Ağırlık Hesaplamaları (devamı)

V_1	1.97	0	1.00	1.00	0.26
V_4	1.69	0.28	1.28	0.78	0.20
V_2	1.65	0.03	1.03	0.75	0.19
V_3	1.59	0.07	1.07	0.71	0.18
V_5	1.54	0.05	1.05	0.67	0.17
R_S	PS_i	CS_i	CC_i	q_i	ω_i
S_1	1.73	0	1.00	1.00	0.42
S_2	1.32	0.41	1.41	0.71	0.30
S_2	1.25	0.07	1.07	0.66	0.28

Alternatiflerin değerlendirilebilmesi için alt kriterlerin nihai ağırlıkları bulunmuştur. Ana ve alt kriter ağırlıkları belirlendikten sonra ana kriterlerin ağırlıkları alt kriterlerle dağıtılarak alt kriterlerin nihai ağırlıkları hesaplanmıştır. Alt kriterlere ait nihai ağırlık (ω_{iF}) değerleri Tablo 4.77’de gösterilmiştir.

Tablo 4.77 Seçim Probleminde Alt Kriterlerin Nihai Fermatean Bulanık Ağırlıkları

Alt Kriterler	ω_{iF}	Alt Kriterler	ω_{iF}	Alt Kriterler	ω_{iF}
E_1	0.07	V_1	0.10	S_1	0.11
E_2	0.09	V_2	0.07	S_2	0.08
E_3	0.07	V_3	0.07	S_3	0.07
E_4	0.07	V_4	0.08		
E_5	0.06	V_5	0.06		

Tüm alt kriterlere ait nihai ağırlıklar (ω_{iF}) hesaplandıktan sonra alternatifler Fermatean bulanık TOPSIS yöntemine göre değerlendirilmiştir.

Karar vericilerin değerlendirmeleri sonucunda sezgisel bulanık sayılarla alternatifler için birleştirilmiş karar matrisleri olan F Denklem (3.36)'daki gibi hesaplanmıştır. Birleştirilmiş karar matrisinde Denklem (2.30)'daki gibi skor fonksiyonu değerleri ($Sc(F)$) bulunur. Eğer skor fonksiyonu değerleri eşit olan alternatifler varsa Denklem (2.31)'deki gibi doğruluk fonksiyonu değerleri ($Acc(F)$) ile sıralama sağlanır. Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesinde en yüksek skora sahip karar değerinden Denklem (3.37)'deki gibi pozitif ideal çözüm (S^*), en düşük skora sahip değerinden Denklem (3.38)'deki gibi negatif ideal çözüm (S^-) değerleri hesaplanmıştır. Alternatiflerin M_1 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, skor değerleri, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.78'da gösterilmiştir.

Tablo 4.78 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi

Alt_i	E_1 : Skor	E_2 : Skor	E_3 : Skor	E_4 : Skor	E_5 : Skor
Alt_1	(0.93,0.15):0.81	(0.62,0.40):0.18	(0.64,0.39):0.20	(0.52,0.47):0.03	(0.90,0.17):0.73
Alt_2	(0.83,0.27):0.55	(0.59,0.44):0.12	(0.58,0.43):0.11	(0.36,0.62):- 0.19	(0.83,0.27):0.55
Alt_3	(0.93,0.15):0.81	(0.50,0.51):-0.01	(0.74,0.34):0.36	(0.65,0.34):0.23	(0.80,0.30):0.49
Alt_4	(0.69,0.37):0.28	(0.54,0.47):0.06	(0.78,0.29):0.45	(0.64,0.39):0.20	(0.34,0.64):- 0.22
Alt_5	(0.59,0.44):0.12	(0.54,0.47):0.06	(0.79,0.28):0.47	(0.59,0.44):0.12	(0.54,0.45):0.07
Alt_6	(0.65,0.38):0.22	(0.30,0.73):-0.36	(0.74,0.30):0.38	(0.59,0.44):0.12	(0.28,0.74):- 0.38
Alt_7	(0.31,0.67):- 0.27	(0.59,0.44):0.12	(0.49,0.52):- 0.02	(0.20,0.79):- 0.48	(0.73,0.30):0.36
Alt_8	(0.33,0.66):- 0.25	(0.62,0.39):0.19	(0.57,0.43):0.11	(0.13,0.86):- 0.63	(0.15,0.84):- 0.59
Alt_9	(0.69,0.37):0.28	(0.62,0.40):0.18	(0.79,0.28):0.47	(0.84,0.26):0.57	(0.19,0.80):- 0.50

Tablo 4.78 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_1 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi (devamı)

Alt_{10}	(0.79,0.28):0.47	(0.59,0.44):0.12	(0.73,0.30):0.36	(0.75,0.33):0.39	(0.30,0.73):- 0.36
S^*	(0.93,0.15)	(0.62,0.39)	(0.79,0.28)	(0.84,0.26)	(0.90,0.17)
S^-	(0.31,0.67)	(0.30,0.73)	(0.49,0.52)	(0.13,0.86)	(0.15,0.84)

Alternatiflerin A_2 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, skor değerleri, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.79’da gösterilmiştir.

Tablo 4.79 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi

Alt_i	$V_1 : \text{Skor}$	$V_2 : \text{Skor}$	$V_3 : \text{Skor}$	$V_4 : \text{Skor}$	$V_5 : \text{Skor}$
Alt_1	(0.96,0.12):0.89	(0.88,0.19):0.68	(0.69,0.37):0.28	(0.96,0.12):0.89	(0.79,0.28):0.72
Alt_2	(0.99,0.10):0.97	(0.79,0.28):0.47	(0.66,0.35):0.25	(0.73,0.23):0.38	(0.87,0.23):0.29
Alt_3	(0.90,0.17):0.73	(0.50,0.49):0.01	(0.75,0.33):0.39	(0.69,0.37):0.28	(0.84,0.26):0.11
Alt_4	(0.93,0.16):0.79	(0.60,0.37):0.16	(0.39,0.63):- 0.19	(0.66,0.29):0.27	(0.47,0.53):- 0.05
Alt_5	(0.84,0.26):0.57	(0.54,0.46):0.06	(0.42,0.59):- 0.13	(0.47,0.53):- 0.05	(0.54,0.47):- 0.11
Alt_6	(0.19,0.80):- 0.50	(0.43,0.57):-0.11	(0.38,0.58):- 0.14	(0.43,0.57):- 0.11	(0.39,0.63):0.06
Alt_7	(0.93,0.16):0.79	(0.39,0.63):-0.19	(0.39,0.63):- 0.19	(0.62,0.40):0.18	(0.74,0.34):0.01
Alt_8	(0.40,0.61):- 0.16	(0.30,0.73):-0.36	(0.57,0.43):0.11	(0.50,0.49):0.01	(0.54,0.46):0.06
Alt_9	(0.05,0.93):- 0.79	(0.47,0.53):-0.05	(0.34,0.64):- 0.22	(0.25,0.76):- 0.42	(0.45,0.55):- 0.63

Tablo 4.79 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_2 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi (devamı)

Alt_{10}	(0.28,0.74):- 0.38	(0.24,0.77):-0.44	(0.34,0.64):- 0.22	(0.30,0.73):- 0.36	(0.35,0.70):- 0.48
S^*	(0.99,0.10)	(0.88,0.19)	(0.75,0.33)	(0.96,0.12)	(0.90,0.20)
S^-	(0.05,0.93)	(0.24,0.77)	(0.34,0.64)	(0.25,0.76)	(0.13,0.86)

Alternatiflerin A_3 ana kriterine ait alt kriterlere göre birleştirilmiş karar matrisi, skor değerleri, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 4.80’de gösterilmiştir.

Tablo 4.80 Seçim Probleminde Alternatiflerin A_3 Ana Kriterine Ait Alt Kriterlere Göre Birleştirilmiş Fermatean Karar Matrisi

Alt_i	S_1 : Skor	S_2 : Skor	S_3 : Skor
Alt_1	(0.79,0.28) : 0.47	(0.93,0.16) : 0.79	(0.90,0.17) : 0.73
Alt_2	(0.87,0.23) : 0.64	(0.96,0.12) : 0.89	(0.96,0.12) : 0.89
Alt_3	(0.84,0.26) : 0.57	(0.93,0.15) : 0.81	(0.62,0.40) : 0.18
Alt_4	(0.47,0.53) : -0.05	(0.50,0.50) : 0.00	(0.54,0.47) : 0.06
Alt_5	(0.54,0.47) : 0.06	(0.30,0.73) : -0.36	(0.66,0.37) : 0.24
Alt_6	(0.39,0.63) : -0.19	(0.30,0.73) : -0.36	(0.39,0.63) : -0.19
Alt_7	(0.74,0.34) : 0.36	(0.86,0.24) : 0.62	(0.83,0.27) : 0.55
Alt_8	(0.54,0.46) : 0.06	(0.54,0.46) : 0.06	(0.83,0.27) : 0.55
Alt_9	(0.45,0.55) : -0.08	(0.25,0.76) : -0.42	(0.15,0.83) : -0.58
Alt_{10}	(0.34,0.70) : -0.30	(0.30,0.73) : -0.36	(0.39,0.63) : -0.19
S^*	(0.87,0.23)	(0.96,0.12)	(0.96,0.12)
S^-	(0.35,0.70)	(0.25,0.76)	(0.15,0.83)

Alternatiflerin pozitif ideal çözüme göre pozitif uzaklıkları olan d_{i,S^+} Denklem (3.39)'daki gibi, negatif ideal çözüme göre negatif uzaklıkları olan d_{i,S^-} Denklem (3.40)'taki gibi hesaplanmıştır. Pozitif ideal çözüme uzaklık ve negatif ideal çözüme uzaklık değerlerine göre göreceli yakınlık değeri olan RC_i Denklem (3.41)'deki gibi hesaplanmıştır. Pozitif ideal çözüme uzaklık, negatif ideal çözüme uzaklık ve göreceli yakınlık değerleri Tablo 4.81'de verilmiştir.

Tablo 4.81 Seçim Probleminde Alternatiflerin Pozitif Uzaklık, Negatif Uzaklık ve Göreceli Yakınlık Değerleri (Fermatean Bulanık)

Alt_i	d_{i,S^+}	d_{i,S^-}	RC_i	Alt_i	d_{i,S^+}	d_{i,S^-}	RC_i
Alt_1	0.09	0.55	0.852	Alt_6	0.53	0.21	0.285
Alt_2	0.17	0.50	0.746	Alt_7	0.36	0.33	0.476
Alt_3	0.24	0.47	0.661	Alt_8	0.50	0.24	0.322
Alt_4	0.41	0.35	0.458	Alt_9	0.49	0.15	0.240
Alt_5	0.44	0.32	0.421	Alt_{10}	0.49	0.19	0.283

Alternatifler göreceli yakınlık değerine (RC_i) göre en yüksek değerden en düşük değere doğru sıralanmaktadır. Seçim sıralaması sonucu Tablo 4.82'de gösterilmiştir.

Tablo 4.82 Seçim Probleminde Alternatiflerin Sıralanması (Fermatean Bulanık)

Sıra	Şehir (Alt_i)	RC_i	Sıra	Şehir (Alt_i)	RC_i
1	Adana	0.852	6	Isparta	0.421
2	Antalya	0.746	7	Muğla	0.322
3	Aydın	0.661	8	Karaman	0.283
4	Mersin	0.476	9	Uşak	0.285
5	Hatay	0.458	10	Niğde	0.240

4.3 Araştırma Bulgularının Karşılaştırmalı Analizi

Önerilen Fermatean bulanık çok kriterli karar verme metodolojinin etkinliğini analiz etmek, diğer iki bulanık küme teorisiyle karşılaştırması yapılmıştır. Her iki vaka çalışması için sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilerek karşılaştırma analizi yapılmıştır.

4.3.1 Sıralama Problemi İçin Sonuçların Değerlendirilmesi

Sıralama problemi için bütünleşik SWARA – TOPSIS metodolojisi sırasıyla bulanık, sezgisel bulanık ve Fermatean bulanık kümeler için genişletilmiştir. Ele alınan bulanık kümelerde alternatiflere ait sıralamanın karşılaştırmalı gösterimi Tablo 4.83'te gösterilmiştir.

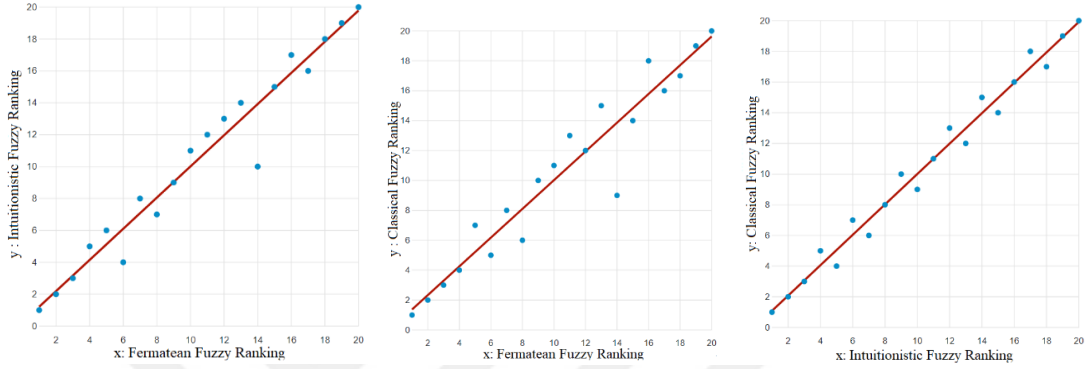
Tablo 4.83 Sıralama Probleminde Farklı Bulanık Kümelerin Karşılaştırılması

Alter.	FS Sıralama	IFS Sıralama	FFS Sıralama	Alter.	FS Sıralama	IFS Sıralama	FFS Sıralama
O***	4	3	3	E***	15	14	13
I**	5	5	4	I****	11	12	12
B***	12	11	7	M**	17	16	17
I***	19	19	19	B**	16	17	15
Y**	3	4	5	D**	10	10	11
A*	7	6	6	A****	8	9	10
I*	9	8	9	G*	2	2	2
E*	6	7	8	Ç*	18	18	18
H*	1	1	1	F*	20	20	20
G**	13	13	14	K**	14	15	16

Tablo 4.81 incelendiğinde farklı bulanık kümelerin benzer sonuçlar verdiği ancak bazı alternatiflerde küçük farkların olduğu görülmektedir. Bu vaka için karar vericiler oldukça yüksek belirsizlik altında değerlendirme yapmıştır. Problemin modeli de karmaşık olduğu için dikkate değer farklar ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak problemin karmaşıklığı ve belirsizliğinin artması farklı bulanık kümeler için başka bir sıralama oluşmasını

sağlamaktadır. Hangi bulanık kümenin daha doğru bir sonuç ürettiği tartışılır. Ancak Fermatean bulanık kümelerinde belirsizliğin tanımı, diğer bulanık kümelerle göre daha geniş bir uzayı temsil ettiği için güvenilir bir sonuç sunması muhtemeldir.

Sıralama probleminde farklı bulanık küme uzantılarının ilişkilerini göstermek için Kendall Tau Korelasyon Testi (τ) yapılmıştır. Vaka çalışmasının sonuçları ile yapılan Kendall Tau Korelasyon Testi Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Sıralama Problemi İçin Kendall Tau Korelasyon Testi (τ)

Korelasyon testi sonuçlarına göre ele alınan bulanık küme uzantılarının sonuçları arasında pozitif yönde kuvvetli bir ilişki olduğu görülmektedir. Fermatean bulanık kümeler ile sezgisel bulanık kümeler arasında 0.92, Fermatean bulanık kümeler ile klasik bulanık kümeler arasında 0.87 ve sezgisel bulanık kümeler ile klasik bulanık kümeler arasında 0.94 oranında kuvvetli pozitif ilişki hesaplanmıştır. Korelasyon testinin sonucuna göre bulanık küme uzantılarının kendi içinde tutarlı olduğu görülmektedir. Bu vakadaki belirsizliğin etkisi Fermatean bulanık kümelerle klasik bulanık kümeler arasındaki ilişkinin sonucundan daha net bir şekilde anlaşılmaktadır.

4.3.2 Seçim Problemi İçin Sonuçların Değerlendirilmesi

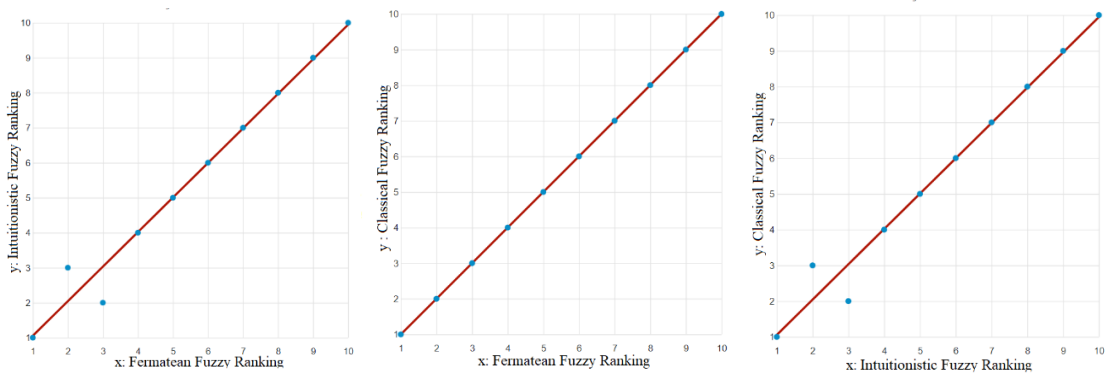
Seçim problemi için bütünleşik SWARA – TOPSIS metodolojisi sırasıyla bulanık, sezgisel bulanık ve Fermatean bulanık kümeler için genişletilmiştir. Ele alınan bulanık kümelerde alternatiflere ait sıralamanın karşılaştırmalı gösterimi Tablo 4.84'te gösterilmiştir.

Tablo 4.84 Seçim Probleminde Farklı Bulanık Kümelerin Karşılaştırılması

Alter.	FS Sıralama	IFS Sıralama	FFS Sıralama	Alter.	FS Sıralama	IFS Sıralama	FFS Sıralama
Adana	1	1	1	Karaman	8	9	8
Antalya	2	2	2	Mersin	4	4	4
Aydın	3	3	3	Muğla	7	7	7
Hatay	5	5	5	Niğde	10	10	10
Isparta	6	6	6	Uşak	9	8	9

Tablo 4.82 incelendiğinde farklı bulanık kümelerin neredeyse aynı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu vaka için karar vericiler standart bir belirsizlik altında değerlendirme yapmıştır. Bu vakadaki modeli bir önceki vakada olduğu kadar karmaşık değildir. Böylece alternatifler arasındaki sıra farkı yok denebilecek düzeyde görülmüştür. Sonuç olarak daha az karmaşık ve daha az belirsizlik altında bulanık küme uzantılarının aynı veya çok benzer sonuçlar verdiği söylenebilir.

Seçim probleminde de farklı bulanık küme uzantılarının ilişkilerini göstermek için Kendall Tau Korelasyon Testi (τ) yapılmıştır. Vaka çalışmasının sonuçları ile yapılan Kendall Tau Korelasyon Testi Şekil 4.4'te gösterilmiştir

**Şekil 4.4** Seçim Problemi İçin Kendall Tau Korelasyon Testi (τ)

Korelasyon testi sonuçlarına göre ele alınan bulanık küme uzantılarının sonuçları arasında pozitif yönde çok kuvvetli bir ilişki olduğu görülmektedir. Fermatean bulanık kümeler ile sezgisel bulanık kümeler arasında 0.96, Fermatean bulanık kümeler ile klasik bulanık

kümeler arasında 1.00 ve sezgisel bulanık kümeler ile klasik bulanık kümeler arasında 0.96 oranında çok kuvvetli pozitif ilişki hesaplanmıştır. Korelasyon testinin sonucuna göre bulanık küme uzantılarının neredeyse aynı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu vakadaki problemin yapısı ve karar vericilerin değerlendirmelerindeki tutumlar sayesinde belirsizliğin etkisi bir önceki vakada olduğu kadar etkili olmamıştır.

Sonuç olarak karmaşık bir modele sahip karar verme probleminde, karar vericilerin belirsizlik ve tereddütlerinin değerlendirmelere yansımaları durumunda alternatiflerin sıralanması farklılaşabilmektedir. Bu tür durumlarda Fermatean bulanık kümelerinin etkisi ön plana çıkmaktadır.



Bulanık mantık, gerçek dünyadaki belirsizlikleri ele almak için geliştirilmiş bir matematiksel yöntemdir. Bu yöntem, kesin olan evet/hayır ya da doğru/yanlış gibi net kategoriler yerine, belirli bir gruba dahil edilen elemanların kısmi üyelik derecelerine sahip olduğunu kabul eder. Bu kısmi üyelik dereceleri, belirsizliği tanımlamak için kullanılır. Bulanık mantık, karmaşık sistemlerin modellenmesi ve analizi için kullanılabilir. Bu sistemler genellikle gerçek dünyada karşılaşılan karmaşık ve belirsiz koşulları içerir. Bu nedenle, bulanık mantık, yapay zeka, robotik, endüstriyel kontrol, trafik yönetimi, tıp ve diğer birçok alanda kullanılmaktadır. Bulanık mantıktan türetilen bulanık kümeler, doğru kararlar vermek için gerekli olan belirsizlikleri ele alarak, karar verme sürecinde de etkili bir araç haline gelmiştir. Gerçek hayat problemlerindeki belirsizliklerin artması nedeniyle bulanık kümeler de ihtiyaç durumlarına göre evrilmiştir. Bu durum yeni bulanık küme uzantılarının ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Karar verme, belirsizlik ve karmaşıklık içeren bir durumda en uygun seçeneği seçim sürecidir. Karar verme, bireysel, kurumsal veya toplumsal düzeyde birçok alanda kullanılır ve hayatın birçok alanında önemlidir. Örneğin, işletmelerin, stratejik planlama, proje yönetimi ve operasyonel süreçler gibi farklı alanlarda karar vermeleri gereklidir. Ayrıca, kişisel hayatta da karar verme önemlidir, örneğin bir kişinin kariyer seçimi, eğitim tercihi, sağlık durumu, yaşam tarzı vb. gibi konularda karar vermesi gerekebilir. Karar verme, bireylerin ve kurumların başarısı ve başarısızlığı için kritik bir faktördür ve bu nedenle çok önemlidir. Özellikle ilerleyen teknoloji ve hızla değişen hayat koşulları karar verme problemlerindeki belirsizliği artırmaktadır. Bu nedenle karar verme problemlerinde kesin sayılar yerine bulanık sayıların kullanılması daha hassas sonuçların bulunmasını sağlamaktadır. Karar verme problemlerindeki artan belirsizlik, yeni bulanık küme uzantılarının popülerliğini artırmıştır. Bu tez çalışmasında belirsizliğin yüksek olduğu durumlarda karmaşık karar problemlerin çözülmesi için Fermatean bulanık kümelerle genişletilmiş SWARA – TOPSIS metodolojisi önerilmiştir.

Önerilen karar verme metodolojisi, belirsizliğin yüksek olduğu karmaşık durumlarda etkili sonuçlar vermeyi hedeflemektedir. Fermatean bulanık kümelerden elde edilen

sonuçların doğruluğunu ve başarısını ölçmek için diğer bulanık küme uzantılarının sonuçları incelenmiştir. Önerilen yeni metodolojinin uygulanması ve sonuçların değerlendirilmesi için iki vaka çalışması üzerinden gidilmiştir: sıralama ve seçim problemi. Her iki problemde de çok kriterli karar verme yöntemleri olan SWARA ve TOPSIS'in birlikte kullanıldığı bir metodoloji önerilmiştir. Kriterlerin ağırlıklandırılması için SWARA, alternatiflerin sıralanması için TOPSIS yönteminden faydalanılmıştır. Böylece hem sıralama ve hem seçim problemi üzerinde önerilen Fermatean bulanık çok kriterli karar verme metodolojisi, sezgisel ve klasik bulanık küme yaklaşımları ile karşılaştırılmıştır.

İlk vakada Türkiye'de YÖK tarafından ilk olarak 2017 yılında açıklanan ve en son 2021 yılında açıklanan Araştırma Üniversiteleri arasında performans değerlendirmesi yapılarak üniversitelerin sıralanması sağlanmıştır. Çalışmanın alternatiflerini Araştırma Üniversitesi statüsünde bulunan 20 devlet üniversitesi oluşturmaktadır. Bu çalışmada üniversitelerin değerlendirilmesi için 5 ana kriter altında 20 alt kriter belirlenmiştir. Karar probleminin modeli oluşturulduktan sonra önerilen uygulama adımlarına göre sırayla bulanık, sezgisel bulanık ve Fermatean bulanık kümelerle genişletilmiş SWARA – TOPSIS metodolojisi uygulanmıştır. Farklı bulanık kümelerden elde edilen sonuçlar karşılaştırma analizi ile kıyaslanmıştır. Ayrıca sonuçların ikili karşılaştırmaları Kendall Tau Korelasyon Testi ile yapılarak sonuçlar arasındaki ilişkinin yönü ve kuvveti bulunmuştur.

İkinci vakada taze portakal suyu üretim tesisi için lokasyon seçimi uygulaması yapılmıştır. Çalışmanın alternatiflerini portakal üretiminin yüksek olduğu Ege ve Akdeniz bölgesi ile çevre illeri kapsayan 10 şehir oluşturmaktadır. Bu çalışmada şehirlerin değerlendirilmesi için 3 ana kriter altında 13 alt kriter belirlenmiştir. Karar probleminin modeli oluşturulduktan sonra önerilen uygulama adımlarına göre sırayla bulanık, sezgisel bulanık ve Fermatean bulanık kümelerle genişletilmiş SWARA – TOPSIS metodolojisi uygulanmıştır. Farklı bulanık kümelerden elde edilen sonuçlar karşılaştırma analizi ile kıyaslanmıştır. Ayrıca sonuçların ikili karşılaştırmaları Kendall Tau Korelasyon Testi ile yapılarak sonuçlar arasındaki ilişkinin yönü ve kuvveti bulunmuştur.

Uygulamada gösterilen vakaların sonuçları ve analizleri incelendikten sonra önerilen yeni bulanık küme metodolojisinin, karmaşık yapıli problemlerde ve belirsizliğin karar vericiler açısından daha yüksek olduğu durumlarda dikkate değer farklar oluşturduğu

görülmüştür. Ancak oluşan farklar incelendiğinde; önerilen metodolojinin doğruluğunun, istatistiksek olarak diğer bulanık küme uzantılarıyla kuvvetli bir ilişki içinde olduğu görülmektedir. Böylece problemlerdeki kompleks yapının ve belirsizliğin derecesine göre yeni bulanık küme uzantılarının daha etkili olabileceği sonucu ortaya konmuş ve hipotez kabul edilmiştir. Sonuç olarak Fermatean bulanık kümelerin karmaşık karar verme problemlerinde ve yüksek belirsizlik altında daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Gelecek çalışmalarda Fermatean bulanık kümelerin farklı çok kriterli karar verme yöntemlerine entegrasyonunu gerçekleştirmeyi hedeflemekteyiz. Bu sayede farklı karar problemleri için en uygun Fermatean bulanık çok kriterli karar verme metodolojisi uygulanabilir. Ayrıca hızla değişen şartların getirdiği belirsizlik durumunun artması nedeniyle yeni bulanık küme yaklaşımları önerilebilir. Yager'in önerdiği q-rung orthopair bulanık kümelerden yola çıkarak q derecesini yükseltip yeni bir bulanık küme uzantısını karar verme çalışmalarında kullanılabilir.

- [1] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- [2] Entemann, C. W. (2002). Fuzzy logic: Misconceptions and clarifications. *The Artificial Intelligence Review*, 17(1), 65.
- [3] Kutlu Gündoğdu, F., & Kahraman, C. (2019). Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method. *Journal of intelligent & fuzzy systems*, 36(1), 337-352.
- [4] Atanassov, K. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *fuzzy sets and systems* 20 (1), 87-96. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3).
- [5] Yager, R. R. (2016). Generalized orthopair fuzzy sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 25(5), 1222-1230.
- [6] Yager, R. R. (2013, June). Pythagorean fuzzy subsets. In 2013 joint IFSA world congress and NAFIPS annual meeting (IFSA/NAFIPS) (pp. 57-61). IEEE.
- [7] Senapati, T., & Yager, R. R. (2020). Fermatean fuzzy sets. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11, 663-674.
- [8] Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, 11(2), 243-258.
- [9] Hwang, C. L., Yoon, K., Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey*, 58-191.
- [10] Chu, T. C., & Lin, Y. C. (2003). A fuzzy TOPSIS method for robot selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21, 284-290.
- [11] Hu, Y., Wu, S., & Cai, L. (2009, April). Fuzzy multi-criteria decision-making TOPSIS for distribution center location selection. In 2009 international conference on networks security, wireless communications and trusted computing (Vol. 2, pp. 707-710). IEEE.
- [12] Agarwal, S., Kant, R., & Shankar, R. (2020). Evaluating solutions to overcome humanitarian supply chain management barriers: A hybrid fuzzy SWARA–Fuzzy WASPAS approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101838.
- [13] Chu, T. C. (2002). Selecting plant location via a fuzzy TOPSIS approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 20, 859-864.
- [14] Ran, L., Pang, J. H., & Li, J. L. (2008, October). The Fuzzy-TOPSIS Method Based on Credibility Measure. In 2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (pp. 1-4). IEEE.
- [15] Eghbali-Zarch, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Esfahanian, F., Sepehri, M. M., & Azaron, A. (2018). Pharmacological therapy selection of type 2 diabetes based on the SWARA and modified MULTIMOORA methods under a fuzzy environment. *Artificial intelligence in medicine*, 87, 20-33.
- [16] Zarbakhshnia, N., Soleimani, H., & Ghaderi, H. (2018). Sustainable third-party reverse logistics provider evaluation and selection using fuzzy SWARA and

- developed fuzzy COPRAS in the presence of risk criteria. *Applied Soft Computing*, 65, 307-319.
- [17] Yong, D. (2006). Plant location selection based on fuzzy TOPSIS. *The international journal of advanced manufacturing Technology*, 28, 839-844.
 - [18] Dymova, L., Sevastjanov, P., & Tikhonenko, A. (2013). An approach to generalization of fuzzy TOPSIS method. *Information Sciences*, 238, 149-162.
 - [19] Mayyas, A., Omar, M. A., & Hayajneh, M. T. (2016). Eco-material selection using fuzzy TOPSIS method. *International Journal of Sustainable Engineering*, 9(5), 292-304.
 - [20] Sohaib, O., & Naderpour, M. (2017, July). Decision making on adoption of cloud computing in e-commerce using fuzzy TOPSIS. In 2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE) (pp. 1-6). IEEE.
 - [21] Ning, X., & Wang, L. G. (2011). Construction site layout evaluation by intuitionistic fuzzy TOPSIS model. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 71, pp. 583-588). Trans Tech Publications Ltd.
 - [22] Amoozad Mahdiraji, H., Zavadskas, E. K., Arab, A., Turskis, Z., & Sahebi, I. G. (2021). Formulation of manufacturing strategies based on an extended Swara method with intuitionistic fuzzy numbers: An automotive industry application.
 - [23] Shen, F., Ma, X., Li, Z., Xu, Z., & Cai, D. (2018). An extended intuitionistic fuzzy TOPSIS method based on a new distance measure with an application to credit risk evaluation. *Information Sciences*, 428, 105-119.
 - [24] Ervural, B. Ç., Öner, S. C., Çoban, V., & Kahraman, C. (2015, August). A novel multiple attribute group decision making methodology based on intuitionistic fuzzy TOPSIS. In 2015 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE) (pp. 1-6). IEEE.
 - [25] Roszkowska, E., Kusterka-Jefmańska, M., & Jefmański, B. (2021). Intuitionistic fuzzy TOPSIS as a method for assessing socioeconomic phenomena on the basis of survey data. *Entropy*, 23(5), 563.
 - [26] Mishra, A. R., Rani, P., Pandey, K., Mardani, A., Streimikis, J., Streimikiene, D., & Alrasheedi, M. (2020). Novel multi-criteria intuitionistic fuzzy SWARA–COPRAS approach for sustainability evaluation of the bioenergy production process. *Sustainability*, 12(10), 4155.
 - [27] Solanki, R., Gulati, G., Tiwari, A., & Lohani, Q. D. (2016, July). A correlation based Intuitionistic fuzzy TOPSIS method on supplier selection problem. In 2016 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE) (pp. 2106-2112). IEEE.
 - [28] Li, X., & Chen, X. (2014). Extension of the TOPSIS method based on prospect theory and trapezoidal intuitionistic fuzzy numbers for group decision making. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 23(2), 231-247.
 - [29] Yu, P., & Zhang, J. (2014). An algorithmic method to extend TOPSIS for multiple attribute decision making under intuitionistic fuzzy setting. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 26(5), 2315-2322.
 - [30] Dammak, F., Baccour, L., & Alimi, A. M. (2016, November). Interval valued intuitionistic fuzzy weight techniques for TOPSIS method. In 2016 IEEE/ACS 13th

- International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA) (pp. 1-7). IEEE.
- [31] Abdullah, L., Goh, C., Zamri, N., & Othman, M. (2020). Application of interval valued intuitionistic fuzzy TOPSIS for flood management. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 38(1), 873-881.
 - [32] Tiwari, A., Lohani, Q. D., & Muhuri, P. K. (2020, July). Interval-valued intuitionistic fuzzy TOPSIS method for supplier selection problem. In 2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE) (pp. 1-8). IEEE.
 - [33] Rouyendegh, B. D., Yildizbasi, A., & Yilmaz, I. (2020). Evaluation of retail industry performance ability through integrated intuitionistic fuzzy TOPSIS and data envelopment analysis approach. *Soft Computing*, 24(16), 12255-12266.
 - [34] Liu, H. C., You, J. X., Shan, M. M., & Shao, L. N. (2015). Failure mode and effects analysis using intuitionistic fuzzy hybrid TOPSIS approach. *Soft Computing*, 19, 1085-1098.
 - [35] Wood, D. A. (2016). Supplier selection for development of petroleum industry facilities, applying multi-criteria decision making techniques including fuzzy and intuitionistic fuzzy TOPSIS with flexible entropy weighting. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 28, 594-612.
 - [36] Zhang, L., Liu, J., Huang, B., Li, H., & Zhou, X. (2018, May). Dynamic agent evaluation using intuitionistic fuzzy TOPSIS. In 2018 IEEE 22nd International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design ((CSCWD)) (pp. 773-778). IEEE.
 - [37] Garg, H., Vimala, J., Rajareega, S., Preethi, D., & Perez-Dominguez, L. (2022). Complex intuitionistic fuzzy soft SWARA-COPRAS approach: An application of ERP software selection. *AIMS Math*, 7(4), 5895-5909.
 - [38] Senapati, T., & Yager, R. R. (2019). Some new operations over Fermatean fuzzy numbers and application of Fermatean fuzzy WPM in multiple criteria decision making. *Informatica*, 30(2), 391-412.
 - [39] Liu, D., Liu, Y., & Chen, X. (2019). Fermatean fuzzy linguistic set and its application in multicriteria decision making. *International Journal of Intelligent Systems*, 34(5), 878-894.
 - [40] Gul, M., Lo, H. W., & Yucesan, M. (2021). Fermatean fuzzy TOPSIS-based approach for occupational risk assessment in manufacturing. *Complex & Intelligent Systems*, 7, 2635-2653.
 - [41] Sindhu, M. S., Siddique, I., Ahsan, M., Jarad, F., & Altunok, T. (2022). An Approach of Decision-Making under the Framework of Fermatean Fuzzy Sets. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 1-9.
 - [42] Ayyildiz, E. (2022). Fermatean fuzzy step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) and its application to prioritizing indicators to achieve sustainable development goal-7. *Renewable Energy*, 193, 136-148.
 - [43] Hooshangi, N., Gharakhanlou, N. M., & Razin, S. R. G. (2023). Evaluation of potential sites in Iran to localize solar farms using a GIS-based Fermatean Fuzzy TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 384, 135481.

- [44] Yang, S., Pan, Y., & Zeng, S. (2022). Decision making framework based Fermatean fuzzy integrated weighted distance and TOPSIS for green low-carbon port evaluation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 114, 105048.
- [45] Erdogan, M., & Ayyildiz, E. (2022). Comparison of hospital service performances under COVID-19 pandemics for pilot regions with low vaccination rates. *Expert Systems with Applications*, 206, 117773.
- [46] Aydemir, S. B., & Yilmaz Gunduz, S. (2020). Fermatean fuzzy TOPSIS method with Dombi aggregation operators and its application in multi-criteria decision making. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 39(1), 851-869.
- [47] Fahmi, A., Maqbool, Z., Amin, F., & Aslam, M. (2022). Blockchain knowledge selection under the trapezoidal Fermatean fuzzy number. *Soft Computing*, 1-21.
- [48] Ilieva, G., & Yankova, T. (2022). Extension of interval-valued Fermatean fuzzy TOPSIS for evaluating and benchmarking COVID-19 vaccines. *Mathematics*, 10(19), 3514.
- [49] Akram, M., Muhiuddin, G., & Santos-García, G. (2022). An enhanced VIKOR method for multi-criteria group decision-making with complex Fermatean fuzzy sets. *Math. Biosci. Eng.*, 19(7), 7201-7231.
- [50] Javanbarg, M. B., Scawthorn, C., Kiyono, J., & Shahbodaghkhan, B. (2012). Fuzzy AHP-based multicriteria decision making systems using particle swarm optimization. *Expert systems with applications*, 39(1), 960-966.
- [51] Hezam, I. M., Mishra, A. R., Rani, P., & Alshamrani, A. (2023). Assessing the barriers of digitally sustainable transportation system for persons with disabilities using Fermatean fuzzy double normalization-based multiple aggregation method. *Applied Soft Computing*, 133, 109910.
- [52] Atanassov, K. T. (2012). *On intuitionistic fuzzy sets theory* (Vol. 283). Springer.
- [53] Atanassov, K. T., & Atanassov, K. T. (1999). *Intuitionistic fuzzy sets* (pp. 1-137). Physica-Verlag HD.
- [54] Akram, M., Shahzad, S., Butt, A., & Khaliq, A. (2013). Intuitionistic fuzzy logic control for heater fans. *Mathematics in Computer Science*, 7, 367-378.
- [55] Kutlu Gündoğdu, F., & Kahraman, C. (2020). A novel spherical fuzzy analytic hierarchy process and its renewable energy application. *Soft Computing*, 24, 4607-4621.
- [56] Erdem, A. R. (2006). Dünyadaki yükseköğretimin değişimi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (15), 299-314.
- [57] Çağlar, M., & Gürler, C. Türkiye'deki Araştırma ve Aday Araştırma Üniversitelerinin Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Ölçümü. *The Journal of International Scientific Researches*, 5(2), 143-157.
- [58] Erdoğan, N. (2018). Araştırma üniversitesi yapılanması: İmkânlar ve zorluklar. *İlke politika notu*, 7, 1-37.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. A New Fermatean Fuzzy WASPAS Methodology For The Location Selection Problem

