



**Q SEVİYELİ BULANIK KÜME TEMELLİ TEDARİKÇİ PERFORMANS
DEĞERLENDİRMESİ**

Adem PINAR

**DOKTORA TEZİ
TEDARİK VE LOJİSTİK YÖNETİMİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2020

Adem PINAR tarafından hazırlanan “ Q SEVİYELİ BULANIK KÜME TEMELLİ TEDARİKÇİ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Tedarik ve Lojistik Yönetimi Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Cevriye GENCER

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Danışman: Doç. Dr. Fatih Emre BORAN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Babek ERDEBİLLİ

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah YILDIZBAŞI

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 24/06/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....
Adem PINAR
24/06/2020

Q SEVİYELİ BULANIK KÜME TEMELLİ TEDARİKÇİ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

(Doktora Tezi)

Adem PINAR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2020

ÖZET

Günümüz iş dünyasında işletmelerin tedarikçilerle karşılıklı olumlu ortaklıklar oluşturulmasının; ürün kalitesini arttırdığı, hammadde veya yarı mamullerin maliyetlerini azalttığı, esnek üretimi sağladığı ve en önemlisi de müşteri memnuniyetini artırdığı görülmektedir. Dolayısıyla, etkili bir tedarik zincirinin tesis edilebilmesi için tedarikçi değerlendirmesi ve seçiminin doğru yapılabilmesi karar vericiler açısından hayati öneme sahiptir. Karar vericilerin yaptıkları hesaplamalarda belirsizliği klasik sayılardan daha iyi yansıtarak problemlerini etkili bir şekilde çözmelerini destekleyen ve yüksek dereceli bulanık sayıları kullanan karar verme yöntemleri son yıllarda oldukça güçlü araçlar haline gelmişlerdir. Sezgisel ve Pisagor bulanık kümelerin genel biçimi olan q-seviyeli bulanık (q-ROF) kümeler, karar vericilere diğer bulanık kümelere göre daha geniş çapta bir ifade imkânı sağlamaktadır. Bu tezde, tedarikçi seçimi için kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri hakkında ayrıntılı bir literatür taraması yapıldıktan sonra, tedarikçi seçimi için grup karar vermede iki ayrı yöntem ve yeni iki yaklaşım olarak q-ROF TOPSIS ve q-ROF ELECTRE metotları önerilmektedir. Ayrıca tezde, q seviyeli bulanık sayılar için literatürdeki az sayıda mevcut olan uzaklık ölçülerinin uyumsuzluk ve yetersizlikler içermesi nedeniyle, hem q-ROF TOPSIS hem de q-ROF ELECTRE yöntemlerinde kullanılacak yeni bir uzaklık ölçüsü de ispatıyla birlikte önerilmektedir. Önerilen uzaklık ölçüsünün üstünlüğünü göstermek için mevcut ölçülerle kıyaslama yapılmış, önerilen q-ROF TOPSIS ve q-ROF ELECTRE karar verme yöntemleri kullanılarak tedarikçi seçimine yönelik kapsamlı bir uygulama yapılmıştır. Son olarak, önerilen yöntemlerin etkinliğini göstermek için bu yöntemler ile mevcut q-ROF karar verme yöntemleri arasında bir karşılaştırma ve parametre analizi yapılmış ve önerilen yöntemlerin üstünlükleri ortaya konulmuştur.

Bilim Kodu : 90615
Anahtar Kelimeler : Tedarikçi seçimi, q seviyeli bulanık kümeler, Uzaklık ölçüsü, TOPSIS, ELECTRE
Sayfa Adedi : 123
Danışman : Doç. Dr. Fatih Emre BORAN

PERFORMANCE EVALUATION OF SUPPLIERS BASED ON Q-RUNG
ORTHOPAIR FUZZY SETS

(Ph. D. Thesis)

Adem PINAR

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2020

ABSTRACT

In today's business world, enterprises setting bilateral positive partnerships with suppliers increases the product quality, reduces the costs of raw materials or semi-finished products, provides flexible production and most importantly contributes to customer satisfaction. Therefore, supplier selection and evaluation is a crucial decision-making issue to establish an effective supply chain. Higher-order fuzzy decision-making methods have become powerful tools to support decision-makers in solving their problems effectively by reflecting uncertainty in calculations better than crisp sets in recent years. The q-rung orthopair fuzzy (q-ROF) sets which are the general form of both Intuitionistic and Pythagorean Fuzzy Sets, have been recently introduced to provide decision-makers more freedom of expression than other fuzzy sets. In this thesis, after a presentation of a detailed literature review on multi criteria decision making methods used for supplier selection, q-ROF TOPSIS and q-ROF ELECTRE are proposed as two separate methods and new approaches for group decision making of supplier selection. As the existing distance measures in q-rung orthopair fuzzy environment are few available and have some drawbacks and counter-intuitive states, a new distance measure is proposed along with its proofs to use in both q-ROF TOPSIS and q-ROF ELECTRE methods. A comparison study is conducted to illustrate the superiority of the proposed distance measure and a comprehensive case study is performed with q-ROF TOPSIS and q-ROF ELECTRE methods for supplier selection. Finally, a comparison and parameter analysis are performed among the proposed methods and existing q-ROF decision-making methods and the effectiveness of our proposed methods are presented.

Science Code : 90615

Key Words : Supplier selection, q-rung orthopair fuzzy set, Distance measure, TOPSIS, ELECTRE

Page Number : 123

Supervisor : Assoc. Prof. Fatih Emre BORAN

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında başlangıçtan itibaren beni destekleyen danışmanım Doç.Dr. Fatih Emre BORAN'a, bilgilerinden faydalandığım tez izleme komitesi üyeleri Doç.Dr. Babek ERDEBİLLİ ve Doç.Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN'e, anket safhasında beni destekleyen kardeşim Erdem ve eşi Sevgi PINAR'a, tüm doktora eğitimim boyunca bana sabreden eşim Nazmiye'ye, kızlarım Nihal ve Bilge'ye ve geceleri çalışmalarında beni yalnız bırakmayan kedim Luna'ya teşekkür ederim...

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ VE TEDARİKÇİ SEÇİMİ	5
2.1. Tedarik Zinciri Yönetimi	5
2.2. Tedarikçi Seçimi	7
2.2.1. Genel	7
2.2.2. Tedarikçi seçim problemi.....	9
2.2.3. TS Süreci.....	10
3. LİTERATÜR TARAMASI.....	11
3.1. Giriş.....	11
3.2. Karar Verme Yöntemleri.....	12
3.2.1. Geleneksel yöntemler	13
3.2.2. Matematiksel programlama yöntemleri	14
3.2.3. Analitik Hiyerarşi Süreci.....	15
3.2.4. Analitik Ağ Süreci.....	16
3.2.5. VIKOR metodu	18

3.2.6. TOPSIS metodu.....	18
3.2.7. ELECTRE metodu	20
3.2.8. Veri Zarflama Analizi	21
3.2.9. PROMETHEE metodu.....	23
3.2.10. MOORA metodu	23
3.2.11. MACBETH metodu	24
3.2.12. DEMATEL metodu.....	25
3.2.13. Gri İlişkisel Analiz	26
3.2.14. Genetik Algoritmalar (GA) ve Yapay Sinir Ağları (ANN).....	27
3.2.15. Diğer metotlar	28
4. Q SEVİYELİ BULANIK (q-ROF) SAYILAR.....	29
4.1. Bulanık Küme Teorisi	29
4.2. Sezgisel Bulanık Kümeler.....	31
4.3. Pisagor Bulanık Kümeler	32
4.4. q-Seviyeli Bulanık Kümeler (q-ROFs)	33
4.4.1. q-Seviyeli bulanık küme işlemleri	33
4.4.2. q-ROF birleştirme operatörleri.....	35
4.4.3. q-ROF skor ve doğruluk fonksiyonları	35
5. Q-ROF KÜMELERDE YENİ UZAKLIK ÖLÇÜSÜ.....	37
5.1. Yeni Uzaklık Ölçüsü	37
5.2. Yeni Uzaklık Ölçüsünün Açıklanması.....	46
5.3. Önerilen Uzaklık Ölçüsünün Mevcut Ölçülerle Kıyaslanması.....	48
5.3.1. Sezgisel bulanık ölçülerle kıyaslanması.....	48
5.3.2. q Seviyeli bulanık ölçülerle kıyaslanması.....	51

6. YENİ UZAKLIK ÖLÇÜSÜ VE Q SEVİYELİ BULANIK SAYILARLA GELİŞTİRİLEN ÇKKV METOTLARI	55
6.1. q-ROF TOPSIS Metodu.....	55
6.2. q-ROF ELECTRE Metodu.....	58
7. ÖNERİLEN METOTLARIN TEDARİKÇİ SEÇİMİNDE UYGULANMASI	65
7.1. Uygulama	65
7.1.1. Önerilen q-ROF TOPSIS metodunun uygulanması.....	66
7.1.2. Önerilen q-ROF ELECTRE metodunun uygulanması.....	74
7.1.3. Mevcut metotların uygulanması.....	86
7.2. Uygulama Sonuçlarının Kıyaslanması.....	88
7.3. Önerilen ve Mevcut Metotların Parametre Analizi.....	90
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	101
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	123

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Dickson'ın TS Kriterleri	8
Çizelge 3.1. Matematiksel Programlama Yöntemlerinin Literatürde Kullanımı.....	14
Çizelge 3.2. Analitik Hiyerarşi Sürecinin Literatürde Kullanımı	15
Çizelge 3.3. Analitik Ağ Sürecinin Literatürde Kullanımı	17
Çizelge 3.4. VIKOR Metodunun Literatürde Kullanımı	18
Çizelge 3.5. TOPSIS Metodunun Literatürde Kullanımı.....	19
Çizelge 3.6. ELECTRE Metodunun Literatürde Kullanımı	21
Çizelge 3.7. VZA'nın Literatürde Kullanımı.....	22
Çizelge 3.8. PROMETHEE Metodunun Literatürde Kullanımı	23
Çizelge 3.9. MOORA Metodunun Literatürde Kullanımı	24
Çizelge 3.10. MACBETH Metodunun Literatürde Kullanımı	25
Çizelge 3.11. DEMATEL Metodunun Literatürde Kullanımı	25
Çizelge 5.1. Mevcut Benzerlik Ölçüleri.	49
Çizelge 5.2. Mevcut Benzerlik Ölçülerinin Önerilen Ölçü (SPB) ile Kıyaslanması	50
Çizelge 5.3. Hamming uzaklık ölçüsünün kıyaslanması	52
Çizelge 5.4. Öklid uzaklık ölçüsünün kıyaslanması	53
Çizelge 5.5. Kosinüs uzaklık ölçülerinin kıyaslanması	53
Çizelge 7.1. Dilsel Değişkenler	66
Çizelge 7.2.a. Dilsel Terimlerle Yapılan Tedarikçi Değerlendirmesi	66
Çizelge 7.2.b. q Seviyeli Bulanık Sayılarla Yapılan Tedarikçi Değerlendirmesi.....	67
Çizelge 7.3. Kriter Ağırlıkları.....	69
Çizelge 7.4. Ayrım Ölçüleri.....	73

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.5. Yakınlık Değerleri ve Alternatiflerin Sıralanması.....	74
Çizelge 7.6. q Seviyeli Bulanık Sayılarla Yapılan Tedarikçi Değerlendirmesi.....	76
Çizelge 7.7 Güçlü Uyumluluk Seti	78
Çizelge 7.8 Vasat Uyumluluk Seti.....	79
Çizelge 7.9 Zayıf Uyumluluk Seti	79
Çizelge 7.10 Güçlü Uyumsuzluk Seti.....	80
Çizelge 7.11 Vasat Uyumsuzluk Seti.....	81
Çizelge 7.12. q-ROF cinsinden z_i değerleri.....	87
Çizelge 7.13. q-ROFWA ve q-ROFWG metotlarında skor ve doğruluk fonksiyonları	88
Çizelge 7.14. Metotlara Göre Alternatiflerin Sıralanması	88
Çizelge 7.15. Mevcut q-ROF TS metotlarında q parametresinin etkisi.....	98

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. TS Yöntemleri	13
Şekil 3.2. AHP ve ANP yapılarının karşılaştırılması.....	17
Şekil 4.1. Klasik ve Bulanık Küme Örneği.....	30
Şekil 4.2. Yakın bulanık küme gösterimi.....	31
Şekil 4.3. Bulanık kümelerin kıyaslanması.....	32
Şekil 5.1. Önerilen Uzaklık Ölçüsü	46
Şekil 7.1. q-ROF ELECTRE ile Öncelik İlişkilerinin Gösterimi	84
Şekil 7.2. Önerilen ve mevcut q-ROF metotların sonuçlarının kıyaslanması.....	89
Şekil 7.3. Hamming, Öklid ve önerilen uzaklık ölçülerinin kıyaslanması	90
Şekil 7.4. q-ROF TOPSIS’de p ve q’nun etkisi	92
Şekil 7.4. (devamı) q-ROF TOPSIS’de p ve q’nun etkisi	93
Şekil 7.4. (devamı) q-ROF TOPSIS’de p ve q’nun etkisi	94
Şekil 7.5. q-ROF ELECTRE’de p ve q’nun etkisi.....	94
Şekil 7.5. (devamı) q-ROF ELECTRE’de p ve q’nun etkisi,	95
Şekil 7.6. Mevcut q-ROF ÇKKV metotlarında q parametresinin etkisi	96
Şekil 7.6. (devamı) Mevcut q-ROF ÇKKV metotlarında q parametresinin etkisi.....	97
Şekil 7.7. Hamming ve Öklid ölçüleri için q parametre analizi.....	99
Şekil 7.7. (devamı) Hamming ve Öklid ölçüleri için q parametre analizi	100

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

C_i	İdeal Çözüme Göreli Yakınlık (TOPSIS metodu)
S_i	Ayrım ölçüleri (TOPSIS metodu)
SPB	Önerilen benzerlik ölçüsü
S_{q-ROFC}	Kosinüs benzerlik ölçüsü
μ	Bulanık sayılarda üye olma derecesi
ν	Bulanık sayılarda üye olmama derecesi
π	Bulanık sayılarda tereddütlük derecesi
Λ_{KV}	Karar verici nitelik katsayısı

Kısaltmalar

Açıklamalar

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytical Hierarchy Process)
ANN	Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)
ANP	Analitik Ağ Süreci (Analytical Network Process)
ARGE	Araştırma ve Geliştirme
ART	Uyarlanabilir Rezonans Teorisi (Adaptive Resonance Theory)
BKT	Bulanık Küme Teorisi
BS	Bulanık sayılar
CBR	Durum Tabanlı Çıkarsama (Case-Based Reasoning)
ÇAP	Çok Amaçlı Programlama
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Ortamı (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory)
DOP	Doğrusal Olmayan Programlama
DP	Doğrusal Programlama

Kısaltmalar	Açıklamalar
ELECTRE	Gerçekliği Yansıtan Eleme ve Seçim (ELimination and Choice Expressing REality)
GA	Genetik Algoritmalar
GRA	Gri İlişkisel Analiz (Grey Relational Analyses)
HP	Hedef Programlama
IV	Aralık Değerli (Interval Valued)
IVP	Aralık Değerli Pisagor
KV	Karar verici
MACBETH	Kategorik Değerlendirme Tekniği ile Cazibe Ölçümü (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique)
MAUT	Çok Nitelikli Fayda Teorisi (Multi Attribute Utility Theory)
MOORA	Oran Analizi Temeline Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis)
MP	Matematiksel Programlama
PBK	Pisagor Bulanık Kümeler
PROMETHEE	Değerlendirmeyi Zenginleştirmek için Tercih Sıralamasının Organizasyonu Metodu (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)
QFD	Kalite Fonksiyon Göçerimi (Quality Function Deployment)
q-ROF	q Seviyeli Bulanık (q-Rung Orthopair Fuzzy)
q-ROFNIS	q-ROF Negatif İdeal Çözümü (TOPSIS metodu)
q-ROFPIS	q-ROF Pozitif İdeal Çözümü (TOPSIS metodu)
q-ROFs	q Seviyeli Bulanık Kümeler
q-ROFWA	q-ROF sayılar için aritmetik birleştirme operatörü
q-ROFWG	q-ROF sayılar için geometik birleştirme operatörü
SBK	Sezgisel Bulanık Küme
SMAA	Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi
SMART	Basit Çok Ölçütlü Sıralama Tekniği (Simple Multi-Attribute Rating Technique)
TODIM	Etkileşimli ve Çok Kriterli Karar Verme (Tomada de Decisão Interativa Multicritério)
TOPSIS	İdeal Çözüme Yakınlığa Göre Tercih Sıralama Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
TP	Tamsayılı Programlama

Kısaltmalar	Açıklamalar
TS	Tedarikçi Seçimi
VIKOR	Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü (VIše Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje)
VZA	Veri Zarflama Analizi (Data Envelopment Analysis-DEA)

1. GİRİŞ

İletişim teknolojilerinin hızla gelişimi ve küreselleşmenin şekillendirdiği günümüz iş dünyasında işletmeler, maliyetleri azaltmak, iş süreçlerini iyileştirmek ve müşteri memnuniyetini en yüksek seviyeye çıkarabilmek maksadıyla yeni tedarikçiler ve dağıtım kanallarına doğru yayılmaya özen göstermişlerdir. Söz konusu işletmeler ayrıca, tedarik zincirinin kapsadığı lojistik, stok, tedarik, müşteri yönetimi, ürün geliştirme ve finansal fonksiyonlar gibi alanlarda boşa harcanan her türlü eylemin ortadan kaldırılmasına gayret etmektedirler. İşletmeler tedarikçilerle karşılıklı olumlu ortaklıklar oluşturulmasının; ürün kalitesini arttırdığı, hammadde veya yarı mamullerin maliyetlerini azalttığını, esnek üretimi sağladığı ve en önemlisi de müşteri memnuniyetinde ciddi katkı oluşturduğunu görmüşlerdir. Dolayısıyla alternatif tedarikçilerin hassas bir şekilde değerlendirilmesi ve ihtiyaç duyulan kriterler ışığında en uygun tedarikçinin seçilmesi işletmeler için oldukça önemli bir husus haline gelmiştir.

Tedarikçi seçimi (TS), çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak birden fazla alternatif arasından ihtiyaç duyulan kriterler dikkate alınarak en iyi tedarikçinin seçilme kararını verme süreci olarak değerlendirilmektedir. Söz konusu seçim hem fiyat, teslimat süresi vb. gibi niceliğe dayanan hem de kalite, teknik yeterlilik vb. gibi niteliğe dayanan onlarca kriter ve faktörleri içermektedir. Tedarikçilerin değerlendirilmesi sürecinde öncelikle konunun uzmanları tarafından ihtiyaç duyulan kriterler belirlenir ve her bir alternatif tedarikçi niteliksel ve niceliksel kriterlere göre değerlendirilirler. Bu değerlendirmeler, çok kriterli karar verme metotları yardımı ile nihai karara dönüştürülür.

Bulanık küme teorisi (BKT), kesin kümelerin genelleştirilmiş hali olup bir elemanın bir kümeye ait olmasının üyelik derecesinin 0 veya 1'e eşit olması yerine, üyelik derecesinin 0 ile 1 arasında değişen bir değere eşit olabileceği dikkate alınan bir yaklaşım olarak Zadeh (1965) tarafından önerilmiştir. Bulanık kümeler günümüzde karar verme sistemleri başta olmak üzere ses, hareket, görüntü algılama, teşhis, tahmin, makine öğrenmesi, yapay zekâ gibi birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bulanık kümelerde parametre olarak üye olma derecesi esas alınmıştır. Atanassov (1986) ise bulanık kümelerin üye olma derecesi yanında üye olmama ve tereddüt derecelerini de tanımlayarak BKT'ye önemli bir katkı sağlamıştır. Atanassov'un Sezgisel Bulanık Küme (SBK) kavramı ile Zadeh'in bulanık kümesindeki üye olma derecesi dışında kalan alandaki bilgi daha kapsamlı olarak

tanımlanmış ve üyeliği konusunda bilgi sahibi olmadığımız kısım tereddütlük derecesi olarak ifade edilmiştir. Yager (2013) tarafından önerilen Pisagor Bulanık Küme (PBK) ile üye olma ve üye olmama derecelerinin karelerinin toplamalarının bire eşit alınması ile karar vericilerin karar verdikleri alan genişletilmiştir. Sonrasında Yager (2017) q seviyeli bulanık kümeler (q-ROFs) ile, Atanassov'un SBK'sı ile Yager'in PBK'sının genelleştirilmiş halini ortaya atmıştır. Yager bu yaklaşım ile, bahse konu bulanık kümelerin üye olma ve üye olmama derecelerinin 1. ve 2. seviye üslerinin yerine bu dereceler sonsuz seviyede üslerinin alınabileceği geniş kapsamlı bir yaklaşım önermiştir. Böylece q-ROFs ile, bulanık kümelerde üyelik ve üye olmama derecelerinin ifade edilebileceği daha geniş bir alan elde edilmiştir.

Çok kriterli karar vermede (ÇKKV) yaygın olarak kullanılan TOPSIS metodunda alternatiflerin en yüksek ve en düşük ideal değerlere uzaklıklarının hesaplanması ile alternatifler sıralanmaktadır. TOPSIS metodunda bulanık kümeler yaygın olarak kullanılmış olsa da yakın zamanda önerilen q seviyeli bulanık kümelerin TOPSIS metodunda Pınar ve Boran (2020) tarafından kullanıldığı görülmüştür. ÇKKV'de kullanılan etkin metotlardan diğeri de, kriterler için alternatifler arasında ikili karşılaştırmalara dayanan ELECTRE metodudur. Karar vermede yaygın olarak kullanılmış olan bu metodun da Pınar ve Boran (2020) tarafından q seviyeli bulanık kümeler için uygulandığı tespit edilmiştir.

TOPSIS ve ELECTRE metotlarının kullanımında uzaklık ölçüleri hayati öneme haizdir. TS'de, kriterler dikkate alınarak en iyi alternatifin bulunması sürecinde elde edilen değerlerin birbirlerine olan mesafelerinin hesaplanması gerekmektedir. q seviyeli bulanık küme ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde mevcut az sayıdaki uzaklık ölçülerinin bir uzaklık ölçüsünde olması gereken koşulları sağlamadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle q seviyeli bulanık kümelerde yeni bir uzaklık ölçüsüne ihtiyaç olduğu değerlendirilmiştir (Pınar ve Boran, 2020).

Bu tez kapsamında belirsizlik ortamında TS için çok kriterli karar vermede sezgisel ve Pisagor bulanık kümelerin geliştirilmiş ve genelleştirilmiş hali olarak ortaya atılan q seviyeli bulanık kümeler için yeni çok kriterli karar verme metotları ve bu metotların matematiksel altyapısı için ihtiyaç duyulan bir uzaklık ölçüsünün önerilmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır.

Bu tez kapsamında 2. Bölümde tedarik zinciri yönetimine kısaca değinilmiş ve TS konusu işlenmiştir. Tezin 3. Bölümünde karar verme yöntemleri açıklanmış ve bu yöntemlere yönelik bir literatür taraması sunulmuştur. 4. Bölümde genel olarak Zadeh, Atanassov ve Yager'in önerdiği bulanık kümelerle ilgili temel kavramlar açıklanmış ve özellikle q -seviyeli bulanık kümeler incelenmiştir. Tezin 5. Bölümünde q -ROFs için yeni bir uzaklık ölçüsü önerilmiş, bu ölçünün sağlaması gereken aksiyomları sağladığı kanıtlanmış, literatürde mevcut diğer uzaklık ölçüleri ile kıyaslanmış ve önerilen ölçünün üstünlüğü ortaya konmuştur. 6. Bölümde yeni uzaklık ölçüsü kullanılarak geliştirilen q -ROF TOPSIS ve q -ROF ELECTRE yöntemleri açıklanmıştır. 7. Bölümde, q -ROF TOPSIS ve q -ROF ELECTRE kullanılarak TS'ye yönelik geniş ölçekli bir uygulama yapılmıştır. Uygulamada önerilen ve literatürde mevcut metotlar kıyaslanmış, parametre analizleri yapılarak önerilen metotların mevcut metotlara olan üstünlükleri ortaya konmuştur. 8. Bölümde bu tez çalışmasının sonuç ve önerileri sunulmuştur.

2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ VE TEDARİKÇİ SEÇİMİ

Bu bölümde tedarik zinciri yönetimine genel olarak değinilmiş ve TS konusu daha detaylı incelenmiştir. Özellikle TS problemi ve tarihi gelişimi ele alınmış, TS kriterleri ve bu konuda yapılan çalışmalar incelenmiştir.

2.1. Tedarik Zinciri Yönetimi

1980’lerde ortaya çıkmış olan tedarik zinciri kavramı 1990’lı yıllardan itibaren yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Daha öncesinde tedarik zinciri kavramının yerine lojistik operasyon yönetimi kullanılmaktaydı. Tedarik zinciri bir ya da daha fazla birbiri ile ilişkili ürünü kapsayan satın alma, imalat ya da dağıtım faaliyetinden müşterek olarak sorumlu özerk ya da kısmen özerk iş birimlerince oluşturulan bir şebekedir. Tedarik zinciri ağ yapısı üye firmalar ve bu firmalar arasındaki bağlantılardan oluşur. İş süreçleri, müşteriye belirli bir değer çıktısı üreten faaliyetlerdir. Yönetim bileşenleri, iş süreçlerinin tedarik zinciri boyunca entegre edildiği ve yönetildiği yönetsel değişkenlerdir (Lambert ve Cooper, 2000).

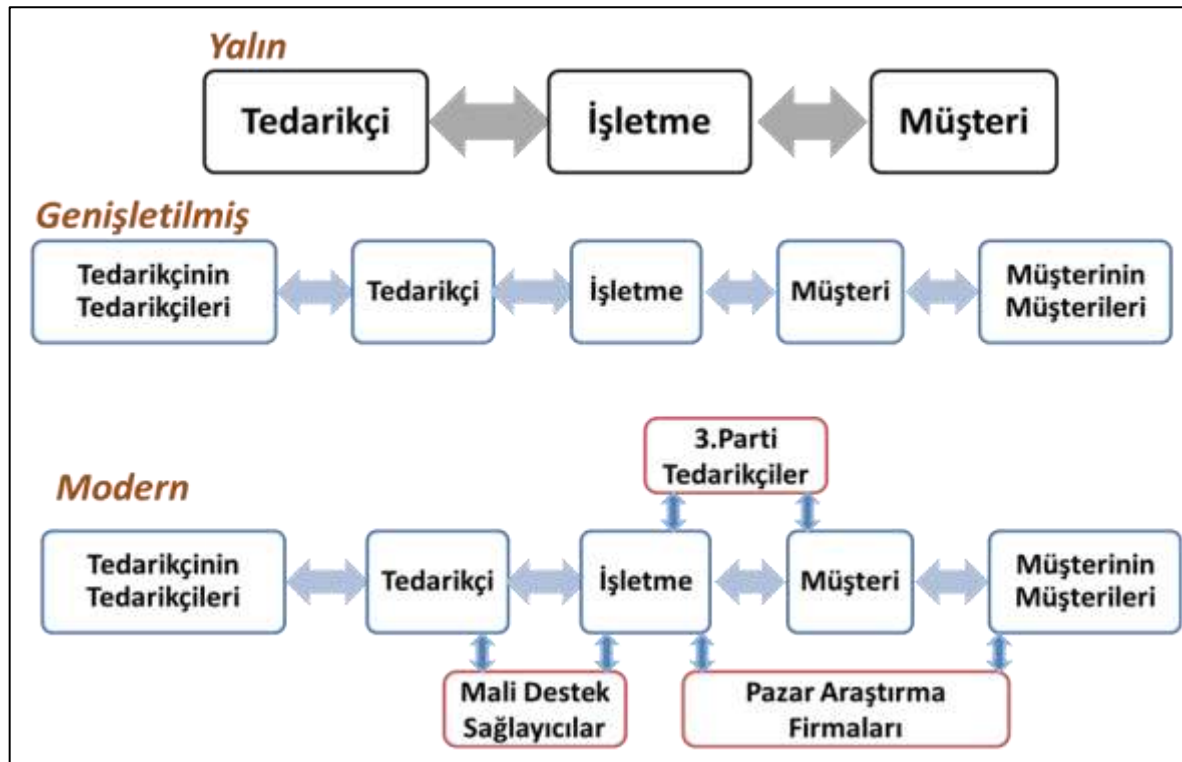
Tedarik zinciri yönetiminin literatürde birçok tanımı mevcut olmakla birlikte, geniş kabul görmüş bir tanımla söylemek iddialı olacaktır. Bazı tanımlar tedarik zincirinin katılımcılarına odaklanırken bazıları da malzeme akışı ve örgüt içi dayanışmaya önem vermiş, bazı araştırmacılar son kullanıcıyı tanıma dahil etmiş bazıları hariç bırakmıştır. Uzlaşma sağlanan tek husus tedarik zincirinin lojistikten fazlası olduğu gerçeğidir (Stock ve Boyer, 2009).

Shapiro’ya göre tedarik zinciri “talebi karşılayacak gayretlerin toplam maliyetini asgariye indirme çabalarını” Brewer’e göre ise “hammadde aşamasından son kullanıcıya tüm ürünlerin ulaştırılma faaliyetleri ile üretimden, depolama, envanter yönetimi ve müşteri ilişkilerine kadar olan aşamaları” içermektedir (Brewer 2000).

Tedarik zinciri yönetimi ile geleneksel lojistik kavramı birbirinden farklılık arz eder. Örneğin Christopher’a (2016) göre lojistik, malzemelerin, parçaların ve bitmiş ürünler ve bunlara ait bilgi akışının kuruluş ve pazarlama kanallarının aracılığıyla tedarik, ulaştırma ve depolanma faaliyetlerini mevcut ve gelecekteki kârlılığı maliyet etkin bir şekilde en üst

düzeye çıkaracak şekilde stratejik olarak yönetme sürecidir. Bu tanıma, kullanımı devam eden ürünlerin bakım, onarımı ve envanterden çıkarma işlemleri de dahil edilebilir. Tedarik zinciri kavramını ilk ortaya atan Oliver ve Weber (1982) tedarik zincirinde geleneksel metotlarla satın alma, üretim, dağıtım ve satış gibi kritik fonksiyonların amaçlarının çatıştığını ve aralarında fayda maliyet dengesi kurulmasının zorlaştığı dolayısıyla tedarik zinciri yönetimi adında yeni bir perspektif ve yaklaşıma ihtiyaç olduğunu ifade etmişlerdir.

Lojistik tek bir organizasyonun sınırları içerisinde meydana gelen eylemleri kapsarken tedarik zinciri birlikte çalışan ve ürünün pazara dağıtımını eylemlerini uyumlaştıran bir şebekeyi temsil eder. Tedarik zincirinin odak noktası tedarikçi ve müşteri arasında işbirliği ve karşılıklı güvenden doğacak olan sinerjidir (Christopher, 2016). Ayrıca geleneksel lojistikte; tedarik, dağıtım, bakım, onarım ve stok yönetimi gibi eylemler üzerinde yoğunlaşılırken, tedarik zinciri yönetimi lojistiğe ilave olarak pazarlama, yeni ürün geliştirme, finans ve müşteri hizmetleri gibi konularla da ilgilenir (Timur, 2013).



Şekil 2.1. Mentzer'in tedarik zinciri modelleri (Mentzer vd.,2001)

Basit bir tedarik zinciri tedarikçi ve müşterilerden oluşurken genişletilmiş tedarik zincirinde bu aktörlere ilaveten; zincirin en tepesinde tedarikçinin tedarikçisi (nihai tedarikçi), en altta müşterinin müşterisi (nihai müşteri), ve tedarik zincirinin mali, lojistik, pazarlama ve bilgi ihtiyaçlarına yönelik destek veren hizmet sağlayıcıları bulunur (Hugos, 2018). Tedarik zinciri modelleri konusunda en fazla kabul gören çalışmalardan birinde Mentzer ve arkadaşları (2001) yalın, genişletilmiş ve modern tedarik zincirinden oluşan bir model önermişlerdir (Şekil 2.1). Bu modele göre modern tedarik zincirinde müşterinin müşterileri, tedarikçinin tedarikçileri ve üçüncü parti tedarikçiler de yer almaktadır.

2.2. Tedarikçi Seçimi

Bu alt bölümde ilk olarak TS’de kullanılan kriterler, TS probleminin yapısı, TS süreci incelenmiştir. Müteakiben TS’de de kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri detaylı olarak incelenmiş ve söz konusu yöntemlere yönelik bir literatür taraması yapılmıştır.

2.2.1. Genel

İşletmelerin başarısı bir ölçüde tedarik fonksiyonunun uygun işleyiş gösterebilmesine bağlıdır. Belirlediği hedeflere ulaşmak isteyen her işletme tedarik sürecini etkin bir şekilde yönetmek zorundadır. Tedarik yönetimi; maliyetlerin minimize edilmesi için işletme ve tedarikçi arasında yapılan çalışmaların bütünüdür. Tedarik yönetimi çalışmalarının en önemli bileşenlerinden biri de tedarikçilerin değerlendirilmesidir. İşletme ile tedarikçi arasındaki ilişkilerin yönetilmesi, tedarikçilerin geliştirilmesi ve tedarikçi ile stratejik ilişkilerin belirlenmesine yönelik olarak büyük önem arz etmektedir.

Tedarik zinciri yönetiminde bulunan makro süreçlerden biri olan Tedarikçi İlişkileri Yönetimi süreci tedarikçilerin seçimi ve değerlendirmesini kapsar. Uygun TS, satın alma maliyetlerini düşürebilir, üretimde esnekliği artırabilir, ürün kalitesini artırabilir, müşteri memnuniyeti sağlayabilir ve organizasyonun rekabet yeteneğine önemli ölçüde katkı sağlayabilir. İşletmelerin ürettiği ürünün kalitesi, üretim kabiliyetinin yanı sıra tedarikçi tarafından temin edilen hammaddeye de bağlı olmaktadır. Tedarikçilerle yapılan uzun süreli iş ilişkisinin en önemli bileşeni uygun tedarikçiyi seçmektir (Özbek, 2014).

Dickson 1966 yılında TS ile ilgili literatürdeki ilk çalışmayı yapmıştır. Bahse konu çalışmada Dickson (1966), 273 adet işletmedeki satın alma sorumlusu ile görüşmüş ve sonuç olarak TS'ye etki eden 23 kriter ortaya koymuştur (Çizelge 2.1). Dickson'dan sonra bu konuda Weber ve arkadaşları, 1966-1990 yılları arasında TS ile ilgili yapılmış 74 çalışmayı analiz etmiş ve en çok üzerinde durulan kriterlerin fiyat, teslim zamanı ve ürün kalitesi olduğu sonucuna varmışlardır (Weber vd. 1991).

Çizelge 2.1. Dickson'ın TS Kriterleri

Sıralama	Kriter	Önem Puanı	Değerlendirme
1	Kalite	3,508	Çok önemli (3,5 - 4)
2	Teslimat	3,417	
3	Performans geçmişi	2,998	
4	Garanti ve şikâyet politikaları	2,849	
5	Üretim tesisleri ve kapasite	2,775	Oldukça önemli (2,5 - 3,5)
6	Fiyat	2,758	
7	Teknik yeterlilik	2,545	
8	Finansal durum	2,514	
9	Prosedürlere uyma	2,488	
10	İletişim sistemi	2,426	
11	Endüstrideki itibarı ve pozisyonu	2,412	
12	İş yapma isteği	2,256	
13	Yönetim ve organizasyon	2,216	
14	Operasyonel kontroller	2,211	
15	Tamir hizmeti	2,187	Orta önemli (1,5 - 2,5)
16	Tutum	2,120	
17	İzlenim	2,054	
18	Paketleme yeteneği	2,009	
19	İşçi ilişkileri kayıtları	2,003	
20	Coğrafi yerleşim	1,872	
21	Geçmiş iş miktarı	1,597	
22	Eğitim yardımları	1,537	
23	Karşılıklı düzenlemeler	0,610	Az önemli (0 - 1,5)

Chao vd. (1993), TS'nin altı temel kriterini vurgulayarak Çinli tedarik yöneticilerini örnek olarak kullandığı çalışmasında, katılımcıları tedarikçi değerlendirme süreçlerindeki benzerliklere dayanarak üç kümeye ayırmış ve bu kümeleri yöneticilerin güvenilir teslimatları, fiyat/maliyet değerlendirmelerini veya ürün kalitesini vurgulayıp vurgulamadığı açısından farklılaştırmıştır. Wilson (1994) 20. yüzyılın sonunda TS kriterlerindeki değişim üzerine çalışmalar yapmış, Swift (1995) tekli ve çoklu kaynak kullanımını tercih eden satın alma yöneticilerinin TS kriterlerini incelemiş, Choi ve Hartley

(1996) farklı düzeylerdeki otomotiv endüstri şirketlerinin anketlerine dayanarak TS uygulamalarını karşılaştırmıştır. Verma ve Pullman (1998) yöneticilerin farklı tedarikçi özelliklerine yönelik önem algıları ile gerçek durumdaki TS'leri arasındaki farkı incelemiş, Ganeshan vd. (1999) biri güvenilir diğeri güvenilmez iki tedarikçiyi kullanma seçeneğine sahip bir tedarik zincirinin dinamiklerini inceleyen çalışmasında, transit stokları ve nakliye maliyetlerini içeren iki tedarikçinin maliyet ekonomisini daha geniş bir envanter-lojistik çerçevesi içinde analiz etmiş, Vonderembse ve Tracey (1999) TS'de kriterlerin belirlenmesi sürecinin şirketlerin performanslarını etkilediğini öne sürmüştür.

Huang ve Keskar (2007) TS kararlarında sayısal yöntemlerden önce doğru metriklerin seçilmesinin gerektiğini öne sürerek, ürüne yönelik (güvenilirlik, duyarlılık, esneklik), tedarikçiye yönelik (maliyet ve altyapı) ve topluma yönelik (güvenlik ve çevre) olarak 3 grupta toplam 107 metrik belirlemişlerdir. Kar ve Pani'de (2014) Hint üretim sektöründeki TS kriterlerinin önem derecelerini incelemiş ve 7 kriterin (kalite, dağıtım, fiyat, üretim yeteneği, teknoloji kabiliyeti, mali durum ve elektronik işlem yeteneği) kritik öneme haiz olduğunu belirlemiştir.

Son yıllarda TS kriterlerine yönelik olarak yapılan bazı çalışmalarda (Ghoushchi vd., 2018) ekonomik kriterler kadar çevresel (kirlilik kontrolü, yenilenebilir enerji kullanımı, ozon tabakasına etkisi, geri dönüşüm durumu, su ve enerji tüketimi vb.) ve sosyal (işçi, altyüklenici hakları, iş, işçi sağlığı ve bilgi güvenliği, yerel kamuoyundaki nüfuzu ve güvenilirliği vb.) kriterlere de ağırlık verilmiştir. Badorf vd. (2019) tedarikçilerin ölçek ekonomisinin müşterilerin tedarikçiyi seçme kararı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu, bununla birlikte tedarikçilerin ölçek ekonomileri arttıkça seçim kararı etkisinin azaldığını öne sürmüşlerdir.

2.2.2. Tedarikçi seçim problemi

TS probleminin parametreleri tedarik edilecek ürüne ve miktarına, hangi ürünün tedarik edileceğine, hangi tedarikçiden hangi dönemde tedarik edileceğine göre değişmektedir. Bu kapsamda TS problemleri; tedarik edilecek ürüne göre; yeni ürün için, ürün değişikliği durumunda ve mevcut ürün için TS problemi şeklinde 3 grupta toplanabilir.

Tedarikçi sayısına göre ise TS problemleri iki grupta ifade edilebilir; tek kaynaklı TS probleminde işletme ihtiyacını mevcut tedarikçi alternatiflerinden bir tanesi arasından seçerek karşılamaktadır. Çok kaynaklı tedarikçinin seçim probleminde ise tedarik ihtiyacının birden fazla kaynaktan karşılanması durumunda işletme TS’de hangi tedarikçiden ne miktarda ürün alacağını kararını vermesi gerekmektedir. Aslında bu problemler çok amaçlı karar verme problemi olarak da ifade edilmektedir.

TS problemine tedarikçilerle ilişkiler açısından bakıldığında söz konusu problemler statik ve dinamik TS problemleri olarak ikiye ayrılır. Statik TS problemlerinde tedarikçilerle uzun süreli ilişki kurulması amaçlanmakta dinamik TS probleminde ise tedarikçilerin genellikle performans ölçümüne tabi tutularak çalışmaya veya ilişkinin sonlandırılmasına karar verilmesi söz konusu olmaktadır.

2.2.3. TS Süreci

TS hem niceliksel hem de niteliksel kriter ve faktörleri içermesi açısından çok kriterli bir süreçtir. Literatürde bulunan çalışmaların çoğunda ürün maliyeti, ürün kalitesi ve teslim zamanı öne çıkan kriterler olarak görülmektedir. Son dönemde yapılan çalışmalarda ürün geliştirme, tedarikçinin imalat yeterliliği, finansal durum ve ürün esnekliği gibi kriterlerin de kullanıldığı, seçim aşamasında uygulanan metotlarda da kriterler gibi değişiklikler gösterdiği saptanmıştır (Arslan, 2017). Problemin ortaya çıkışından TS’ye kadar olan Tedarikçi Seçim Süreci (TSS) dört aşamadan oluşmaktadır (De Boer vd. 2001):

1. TS ile hedefin ortaya konması (Problemin tanımlanması).
2. TS’de dikkate alınması gereken kriterlerin belirlenmesi (TS kriterleri).
3. Amaçlara uymayan aday tedarikçilerin elenmesi (Ön Eleme).
4. Amaçlara uyan tedarikçiler için son seçimin yapılması (TS’de kullanılan modeller).

Bilinen tedarikçilerden yeni ürünler alınması veya bilinmeyen tedarikçilerden ürün veya hizmet alınacak olması durumlarında çok sayıda TS kriterinin dikkate alınması gerekir ki bu da yüksek seviyede belirsizlik ortamında karar vermeyi gerektirir. Belirsizliğin hesaplamalara yansıtılması için de bulanık karar verme yöntemleri kullanılmıştır (Ghorabae vd., 2017).

3. LİTERATÜR TARAMASI

3.1. Giriş

Literatürdeki karar verme yöntemlerinin çoğu TS’de kullanılmıştır. Bu bölümde özellikle TS’de kullanılan karar verme yöntemleri tanıtılmış ve önerilen çalışmalara değinilmiştir.

Literatürde TS yöntemlerini inceleyen birçok çalışma mevcuttur (Weber vd., 1991; Degraeve vd., 2000; De Boer vd., 2001; Bhutta, 2003; Sönmez, 2006; Aissaoui vd., 2007; Wetzstein vd., 2016; Ho vd., 2010; Agarwal vd., 2011; Govindan vd., 2015; Ghorabae vd., 2017; Mardani vd. 2015a; 2015b; 2018).

Weber vd. (1991) TS metotlarını Doğrusal Ağırlıklandırma, Matematiksel Programlama Modelleri ve İstatistiksel/Olasılıksal Yaklaşımlar olarak üç kategoride sınıflandırmış, en çok kullanılan yöntemin Doğrusal Ağırlıklandırma olduğu sonucuna varmıştır.

Degraeve vd. (2000) yaptıkları çalışmada TS’de kullanılan yöntemleri tekli ve çoklu modeller olarak kategorize etmiştir. Tekli modelleri Puanlama/Doğrusal Ağırlıklandırma, Toplam Maliyet Yaklaşımı ve Matematiksel Programlama olarak belirtmiştir. Çoklu modellerde ise tekli modellerdeki üç yönteme ilave olarak istatistiksel yöntemleri ilave etmiştir.

Sönmez (2006) TS süreci, kriterler ve alıcı satıcı ilişkileri kapsamında hakemli dergilere ait 147 makaleyi incelemiş ve sonuç olarak tedarikçilerin değerlendirilmesinde niteliğin yeteri kadar ölçülememesinin sorun teşkil ettiğini belirtmiştir.

Ware vd. 1991-2011 arasında yapılan toplam 200’ün üzerindeki akademik çalışmayı incelemiş, seçim kriterleri ve çözüm metotları üzerinde yoğunlaşmıştır (Ware vd, 2012). Agarwal vd. (2012) TS yöntemleriyle ilgili 2000-2011 arasında yapılan çalışmalarını incelemiş ve Veri Zarflama Analizinin en çok kullanılan (%30) yöntem olduğu, bunun yanında matematiksel yöntemler (%17) ve Analitik Hiyerarşi Sürecinin (%15) de sık kullanılan yöntemler arasında olduğunu ifade etmiştir.

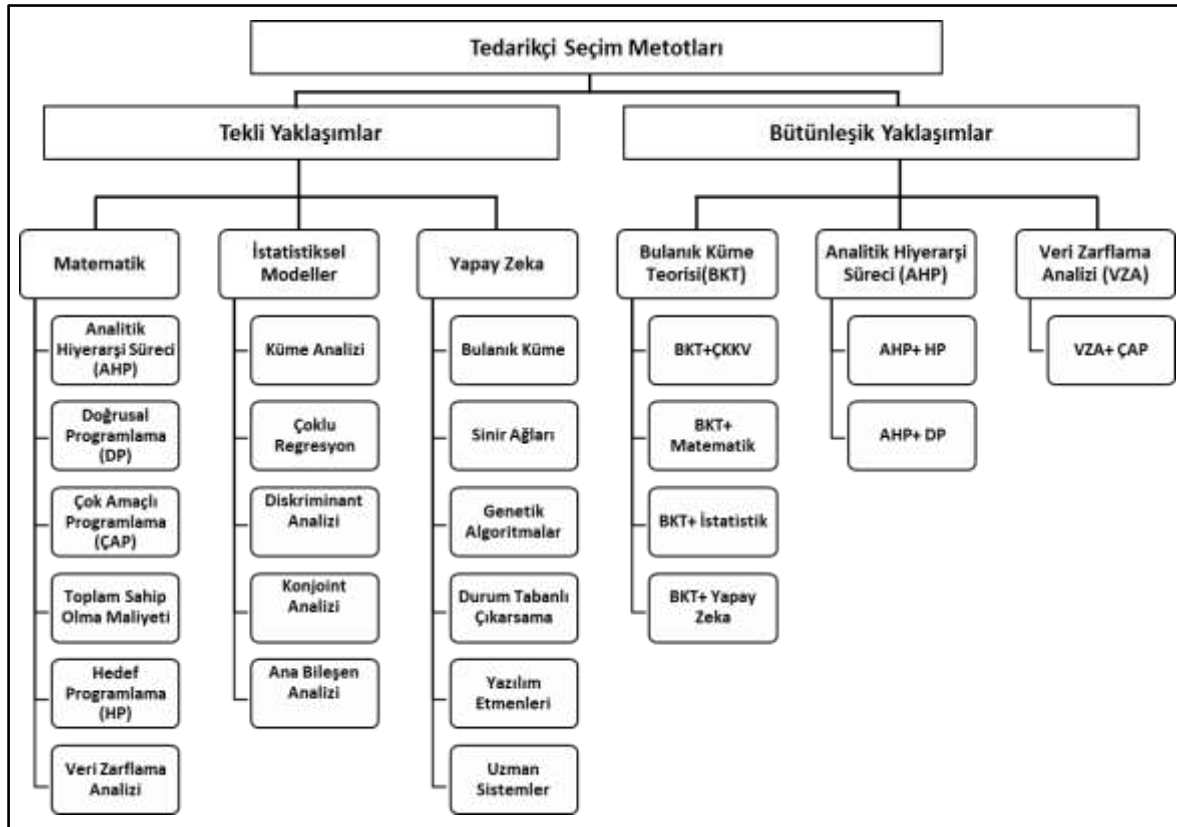
Wetzstein vd. (2016) 1990-2015 arasında TS konusunda yayınlanmış 221 makaleyi TS yaklaşımları, TS kriterleri, yeşil TS, sürdürülebilir TS, strateji, ARGE, operasyon odaklı TS olacak şekilde 6 araştırma kapsamında detaylı olarak incelemiş, yeşil, sürdürülebilir ve strateji odaklı TS konularının gelişme aşamasında olduğu sonucuna varmıştır.

TS ve değerlendirmesi genellikle kesin bilginin yokluğunda çözülmesi gereken çok kriterli karar problemleri olarak düşünüldüğünden bu belirsizliği modellemek için BKT kullanılmaktadır. BKT performans kriterlerinin ağırlıklarını ölçütlere göre belirleyerek, belirsiz tercihleri modellemek için matematiksel bir yol sunmaktadır. Tedarikçi değerlendirmesi ve seçimi için Simic vd. (2017) tarafından geliştirilen ve önerilen yöntemler Şekil 3.1’de sunulmuştur. Söz konusu yöntemler tekil ve bütünleşik bulanık yaklaşımlar olarak iki ana gruba ayrılmıştır. Tekil bulanık yaklaşımlar sadece bulanık mantığın kullanıldığı modellerdir. Bu yaklaşımlarda BKT gerçek hayattaki problemleri çözmek için kullanılmaktadır. Öte yandan, bütünleşik bulanık yaklaşımlarda bulanık yaklaşımlar, matematik, istatistik, yapay zekâ gibi çeşitli çok kriterli karar verme model ve teknikleri de kullanılmaktadır.

Mardani vd. (2015a) 2000-2014 arasında yayınlanmış 393 makaleyi içeren ÇKKV teknikleri ve uygulama alanlarına yönelik çalışmada, ÇKKV metotlarının kullanımına yönelik bazı bulgulara ulaşılmış ve AHP (%32.57), TOPSIS (%11.4) ve ELECTRE (%8.65) metotlarının en çok kullanılan yöntemler olduğunu, bunun yanında hibrit ÇKKV yöntemlerinin de oldukça fazla tercih edildiğini (%16.28) ortaya koymuştur. Mardani vd. (2015b) aynı yıl yapılan diğer çalışmada 1994-2014 arasında yayınlanmış bulanık ÇKKV teknikleri ve uygulamalarına yönelik 403 makaleyi incelemiş ve tüm ÇKKV uygulamaları içinde en fazla bulanık küme kullanılan uygulamaların Bulanık AHP (%9.53), Bulanık TOPSIS (%7.31) ve Bulanık ANP (% 2.41) olduğunu tespit etmiştir. Benzer şekilde Ghorabae vd. (2017) tedarikçi değerlendirmesinde bulanık ÇKKV konusunda yaptığı çalışmada hem tekli hem de bütünleşik yaklaşımlarda AHP ve TOPSIS metotlarının en çok tercih edilen bulanık yöntemler olduğunu sonucuna varmıştır.

3.2. Karar Verme Yöntemleri

Bu bölümde TS’de kullanılan karar verme yöntemlerine kısaca değinilmiş ve literatürde TS’de kullanılan karar verme yöntemlerine yönelik başlıca çalışmalar sunulmuştur.



Şekil 3.1. TS Yöntemleri (Simic vd., 2017)

3.2.1. Geleneksel yöntemler

Kategorik yöntemler

Kategorik yöntemler, geçmiş verilere dayanarak alıcının mevcut veya tanıdık tedarikçilerinin tecrübeleri bazı kriterler üzerinde değerlendirildiği niteliksel modellerdir. Tedarikçinin performansının “pozitif”, “tarafsız” veya “negatif” olarak sınıflandırıldığı değerlendirmelerden oluşur. Tedarikçi tüm kriterlere göre derecelendirildikten sonra, alıcı, üç seçenek arasından genel bir değerlendirme yapar ve tedarikçiler üç kategoriye ayrılır. Nihai karar, karar verici tarafından bu veriler üzerinden verilmektedir (De Boer vd., 2001).

Doğrusal ağırlık modelleri

Bu yöntemde en yüksek ağırlığı gösteren kriterlere en yüksek önem derecesi verilir. Kriterler ağırlık katsayıları ile çarpılarak her bir tedarikçi için derecelendirme yapılır. Ağırlık nokta yöntemi olarak da adlandırılan söz konusu yöntem sayısal olmakla birlikte genellikle öznel değerlendirmeler kullanılarak uygulanmıştır. Bu yöntemin avantajı esnek, kolay ve düşük

maliyetli uygulanabilir olması, olumsuz tarafı ise performans değerlendirmesinde kullanılan kriterlerin 0-100 ölçeği veya yüzdesel değerlendirmeler gibi kriterlerin öz niteliğini yansıtamayan kriterler kullanılmasıdır (De Boer vd., 2001).

Çizelge 3.1. Matematiksel Programlama Yöntemlerinin Literatürde Kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Gaballa	1974	Karışık TP	Tedarikçi fiyatlarını minimize etme
2	Anthony ve Buffa	1977	DP	Stratejik Tedarik Planlama
3	Karpak vd.	2001	HP	Üretim
4	Ghodsypour ve O'Brien	2001	Karışık Tamsayılı DOP	Varsayıma dayanan örnek
5	Talluri	2002	İkili TP	Sağlık
6	Talluri ve Narasimhan	2003	DP	Sağlık
7	Hong vd.	2005	Karışık TP	Tarım - İnşaat
8	Narasimhan vd.	2006	ÇAP	Elektrik-Elektronik
9	Amid vd.	2006	Bulanık ÇAP	Varsayıma dayanan örnek uygulama
10	Ng	2008	DP	Tarım
11	Amin ve Zhang	2012	Çok Amaçlı Karışık Tamsayılı DP	Elektrik-Elektronik
12	Nazari-Shirkouhi	2013	Bulanık Çok Amaçlı DP	Varsayıma dayanan örnek
13	Ware vd.	2014	Karışık Tamsayılı DP	Varsayıma dayanan örnek
14	Çalık	2018	Bulanık Çok Amaçlı DP ve Bulanık AHP	Varsayıma dayanan örnek
15	Torğul ve Paksoy	2019	Çok Amaçlı DP ve Bulanık TOPSIS	Varsayıma dayanan örnek

3.2.2. Matematiksel programlama yöntemleri

Uygun bir karar kriteri verildiğinde, Matematiksel programlama (MP) karar vericinin karar problemini belirli kısıtlar altında karı en büyükmek veya maliyeti en küçükmek gibi amaçları dikkate alarak formüle etmesini sağlar. MP modelleri karar vericiyi amaç fonksiyonuna uymaya zorladıkları için derecelendirme yöntemlerine göre daha objektiftir ve genellikle daha nicel kriterleri dikkate alır. TS'de matematiksel programlamayı ilk defa Gaballa (1974) Karışık Tamsayılı Programlama ile tedarikçi maliyetlerini en küçükmek için kullanmıştır. TS'de birçok matematiksel programlama yöntemi kullanılmıştır (Çizelge 3.1). Bunlardan bazıları; Doğrusal / Doğrusal Olmayan Programlama, Hedef Programlama,

Çok Amaçlı (Doğrusal) Programlama, Tamsayılı/Karışık Tamsayılı/ Karışık İkili Tamsayılı (Doğrusal ve Doğrusal Olmayan) Programlama sayılabilir.

3.2.3. Analitik Hiyerarşi Süreci

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Saaty (1980) tarafından geliştirilmiştir. Karar vericilerin Saaty'nin geliştirdiği ölçek kullanılarak kriterlerin göreceli önem derecelerini belirlemesine ve bu şekilde karar alternatiflerinin öncelik sırasının elde edilmesine dayanır ve TS'de yaygın olarak kullanılmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Analitik Hiyerarşi Sürecinin Literatürde Kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Muralidharan vd.	2002	AHP	Üretim
2	Chan	2003	AHP	Varsayımaya dayanan örnek
3	Chan ve Chan	2004	AHP	Elektrik-Elektronik
4	Liu ve Hai	2005	AHP	Mobilya ve beyaz eşya
5	Percin	2006	AHP - HP	Otomotiv
6	Hou ve Su	2006	AHP	Elektrik-Elektronik
7	Huang ve Keskar	2007	AHP - MAUT	Elektrik-Elektronik
8	Chan vd.	2007	AHP	Ulaştırma- Lojistik
9	Chan ve Kumar	2007	Bulanık AHP	Üretim
10	Xia ve Wu	2007	AHP- Çok Amaçlı Karışık TP	Varsayımaya dayanan örnek
11	Kull ve Talluri	2008	AHP - HP	Otomotiv
12	Mendoza vd.	2008	AHP - HP	Varsayımaya dayanan örnek
13	Kokangül ve Susuz	2009	AHP - Tamsayılı DOP	Otomotiv
14	Lee vd.	2009	Bulanık AHP	Elektrik-Elektronik
15	Amid vd.	2011	AHP - Maks-min Bulanık programlama	Varsayımaya dayanan örnek
16	Khorasani ve Bafraei	2011	Bulanık AHP	Sağlık
17	Kilinceci ve Onal	2011	Bulanık AHP	Mobilya ve beyaz eşya
18	Mafakheri vd.	2011	AHP - Dinamik Programlama	Varsayımaya dayanan örnek
19	Asamoah vd.	2012	AHP	Sağlık
20	Chen ve Chao	2012	AHP	Elektrik-Elektronik
21	Bruno vd.	2012	AHP	Ulaştırma- Lojistik
22	Rajesh ve Malliga	2013	AHP-QFD	Üretim
23	Kar	2014	AHP-Bulanık HP	Üretim
24	Rezaei vd.	2014	Bulanık AHP	Ulaştırma- Lojistik
25	Dweiri vd.	2016	AHP	Otomotiv
26	Awasthi vd.	2018	Bulanık AHP-Bulanık VIKOR	Varsayımaya dayanan örnek
27	Hosseini ve Al Khaled	2019	AHP ve hibrit istatistik metotları.	Varsayımaya dayanan örnek

AHP'nin özelliği karar alternatiflerine ve kriterlerine göreceli önem değerleri vermesidir. AHP'nin aşamaları;

Aşama 1: Hiyerarşik yapının oluşturulması

Aşama 2: İkili karşılaştırma matrislerinin ve üstünlüklerin belirlenmesi

Aşama 3: Özvektörün belirlenmesi

Aşama 4: Özvektörün tutarlılığının hesaplanması

Aşama 5: Hiyerarşik yapının genel sonucunun elde edilmesidir.

3.2.4. Analitik Ağ Süreci

Analitik Ağ Süreci (Analytical Network Process-ANP) AHP'nin daha genelleştirilmiş hali olarak yine Saaty (1996) tarafından geliştirilmiş ve TS'de yaygın olarak kullanılmış bir ÇKKV yöntemidir (Çizelge 3.3). Bu yöntemin geliştirilmesinin başlıca nedeni AHP'nin hiyerarşik yapılandırma gereğinden kurtulmaktır. ANP'de hiyerarşik yapı yerine kümeler arasındaki etkileşimleri de dikkate alan bir ağ yapısı mevcuttur (Tzeng ve Huang, 2011). İki yöntem arasındaki yapısal farklılık Şekil 3.2'de görülmektedir (Zammori, 2010).

Hiyerarşik yapıdaki C kriterleri, S alt kriterleri, A ise alternatifleri göstermektedir. Ağ yapısındaki FC, SC ve TC kısaltmaları birinci, ikinci ve üçüncü kümeye ait kriterleri sembolize etmektedir. AHP ve ANP'de alternatifler kriterlere göre karşılaştırılır. Aralarındaki temel fark; AHP'de amaç doğrultusunda kriterlerin önem dereceleri hesaplanır ve bu da alternatiflerin öncelik derecelerini etkilerken, ANP'de alternatifler dikkate alınarak kriterlerin önem dereceleri hesaplanır. ANP ile yapılan tedarikçi seçimi çalışmaları Çizelge 3.3.'de verilmiştir. ANP'nin aşamaları şu şekildedir (Saaty,1996);

Aşama 1: Karar probleminin tanımlanması

Aşama 2: Bağımlılıkların tespiti

Aşama 3: İkili karşılaştırma yapılması

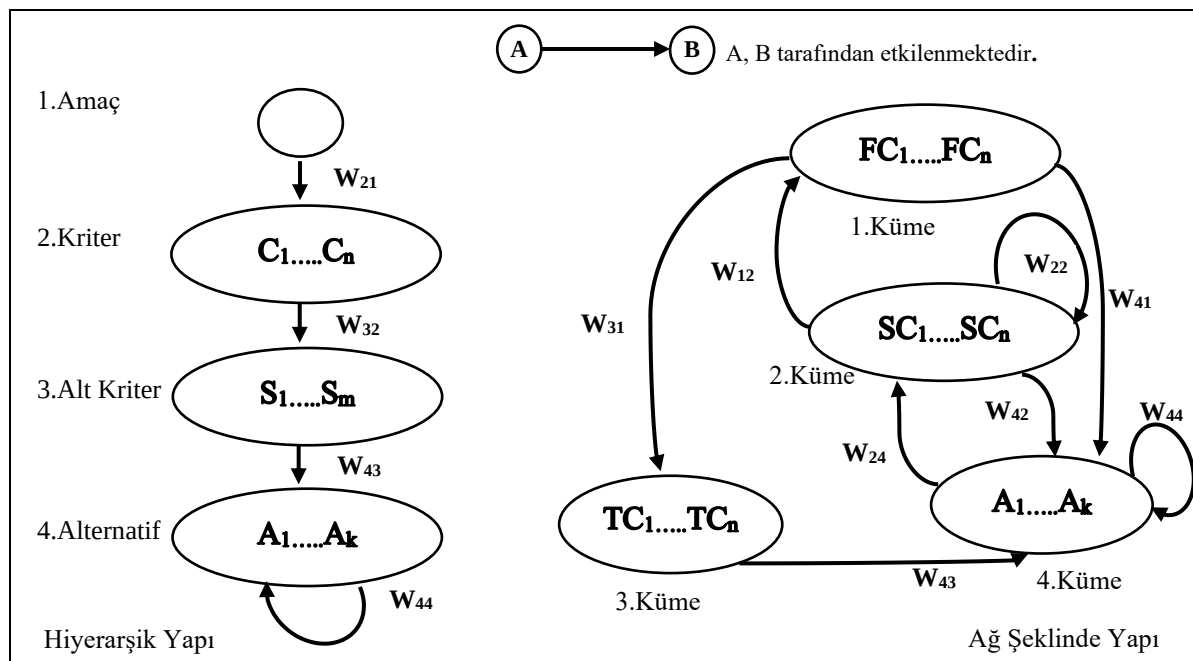
Aşama 4: Süpermatrisin oluşturulması

Aşama 5: Limit Süpermatrisin elde edilmesi

Aşama 6: En iyi alternatifin seçimidir.

Çizelge 3.3. Analitik Ağ Sürecinin Literatürde Kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Sarkis ve Talluri	2002	ANP	Üretim
2	Bayazıt	2006	ANP	Varsayıma dayanan örnek
3	Shyur ve Shih	2006	ANP - TOPSIS	Varsayıma dayanan örnek
4	Gencer ve Gürpınar	2007	ANP	Elektrik-Elektronik
5	Razmi vd.	2009	Bulanık ANP	Varsayıma dayanan örnek
6	Wu vd.	2009	ANP - Karışık TP	Elektrik-Elektronik
7	Kuo vd.	2010	ANN – ANP - VZA	Elektrik-Elektronik
8	Wei vd.	2010	Bulanık ANP	Varsayıma dayanan örnek
9	Liao vd.	2010	ANP	Elektrik-Elektronik
10	Büyüközkan ve Çiftçi	2011	Bulanık ANP	Mobilya ve beyaz eşya
11	Vinodh vd.	2011	Bulanık ANP	Elektrik-Elektronik
12	Lin	2012	Bulanık ANP Çok Amaçlı DP	Varsayıma dayanan örnek
13	Dargi vd.	2014	Bulanık ANP	Otomotiv
14	Tavana vd.	2017	ANP-QFD	Varsayıma dayanan örnek
15	Abdel-Basset vd.	2018	ANP-TOPSIS	Varsayıma dayanan örnek
16	Zaied vd.	2019	ANP	Varsayıma dayanan örnek



Şekil 3.2. AHP ve ANP yapılarının karşılaştırılması

3.2.5. VIKOR metodu

VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) metodu, karmaşık sistemlerin çok kriterli optimizasyonu için Opricovic (1998) tarafından ÇKKV problemlerine uygulanabilir bir teknik olarak sunulmuştur. Yöntem ilk (verilen) ağırlıklar ile elde edilen uzlaşma çözümünün tercih kararının verilebilmesi için uzlaşık sıralama listesini, uzlaşma çözümünü ve ağırlıklandırılmış karar aralıklarını belirler. Bu yöntem, kriterlerin çeliştiği durumlarda alternatifler arasından sıralama ve seçme üzerine odaklanır. “İdeal” çözüme “yakınlığın” özel ölçüsüne dayanan çok kriterli sıralama endeksi şeklinde tanımlanabilir. Her bir alternatifin bir kritere göre değerlendirildiğini varsayarak, uzlaşma ölçüsü, ideal alternatife olan yakınlığı ölçülerek karşılaştırılabilir (Opricovic, 1998). Uzlaşık çözümün temelleri Yu (1973) ve Zeleny (1982) tarafından atılmıştır. Uzlaşma sıralaması için kullanılan çok kriterli ölçüm, uzlaşma programlama yönteminde bir toplama fonksiyonu olarak kullanılan L_p metriğinden geliştirilmiştir (Opricovic ve Tzeng, 2004). Sonuç olarak, VIKOR yöntemi karar vericinin sürecin sonunda etkin olarak katılım sağladığı ve nihai çözüme fikir ayrılıklarına rağmen uzlaşmanın tercih edileceği şekilde karar vereceği TS’de zaman zaman kullanılmış (Çizelge 3.4) bir yöntemdir.

Çizelge 3.4. VIKOR Metodunun Literatürde Kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Sanayei vd.	2010	Bulanık VIKOR	Otomotiv
2	Awasthi ve Kannan	2016	Nominal Grup Tekniği ve Bulanık VIKOR	Yeşil TS
3	Luthra vd.	2017	AHP VE VIKOR	Yeşil TS
4	Zhao vd.	2017	Bulanık VIKOR	Sağlık ve Otomotiv
5	Banaeian vd.	2018	Bulanık- TOPSIS, VIKOR, GRA.	Yeşil tedarik (Tarım)

3.2.6. TOPSIS metodu

1981’de Hwang ve Yoon tarafından geliştirilen TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), pozitif ideal çözüme en kısa, negatif ideal çözüme en uzak mesafeye sahip alternatifleri seçmeye çalışan basit bir algoritma ile çalışır. Pozitif ideal çözüm, fayda kriterlerini en üst düzeye çıkarır ve maliyeti en aza indirir. Negatif ideal çözüm ise maliyet kriterlerini artırır ve fayda kriterlerini en aza indirir. Yani TOPSIS ile

alternatiflerden pozitif ideal çözüme yakın negatif ideal çözüme uzak olan alternatifin seçilmesi amaçlanır (Chen ve Hwang, 1992; Yoon ve Hwang, 1995).

Çizelge 3.5. TOPSIS Metodunun Literatürde Kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Chen vd.	2006	Bulanık TOPSIS	Üretim
2	Boran vd.	2009	Bulanık TOPSIS	Otomotiv
3	Büyüközkan ve Ersoy	2009	Bulanık TOPSIS	Bilişim
4	Wang vd.	2009	Bulanık hiyerarşik TOPSIS	Varsayıma dayanan örnek uygulama
5	Onut vd.	2009	Bulanık ANP - Bulanık TOPSIS	Elektrik-Elektronik
6	Shahanaghi ve Yazdian	2009	Bulanık Grup TOPSIS	Otomotiv
7	Awasthi vd.	2010	Bulanık TOPSIS	Varsayıma dayanan örnek uygulama
8	Chen	2011	VZA - Bulanık TOPSIS	Textile
9	Liao ve Kao	2011	Bulanık TOPSIS - HP	Elektrik-Elektronik
10	Jolai vd.	2011	Bulanık TOPSIS - HP	Otomotiv
11	Kannan vd.	2013	Bulanık AHP -Bulanık TOPSIS	Otomotiv
12	Rouyendegh (Erdebilli) vd.	2014	Bulanık TOPSIS – Çoklu HP	Tarım - İnşaat
13	Junior vd.	2014	Bulanık TOPSIS- Bulanık AHP	Otomotiv
14	Safa vd.	2014	TOPSIS	Tarım -inşaat
15	Zhang ve Xu	2014	Pisagor Bulanık TOPSIS	Örnek Uygulama
16	Freeman vd.	2015	AHP ve TOPSIS	Üretim (Elektronik)
17	Gupta ve Barua	2017	Bulanık TOPSIS	Otomotiv
18	Aouadni vd.	2017	TOPSIS-Anlamli Karışık Veri metodu	Örnek uygulama
19	Jain vd.	2018	TOPSIS ve AHP	Otomotiv
20	Yu vd.	2019	IV Pisagor Bulanık TOPSIS	Örnek uygulama
21	Memari vd.	2019	Bulanık TOPSIS	Otomotiv
22	Okwu ve Tartibu	2020	TOPSIS ve Adaptive Neuro Bulanık Çıkarım Sistemi	Perakende Sektörü

Behzadian vd. (2012) TOPSIS’le ilgili olarak 2000-2011 yılları arasında 103 akademik dergide yayınlanan 266 makaleyi incelemiş ve TOPSIS metodolojisinin en fazla bulanık küme (%52,2) ve grup karar verme (%28,6) yaklaşımları ve AHP (%23,3) ile birlikte kullanıldığı ve disiplinler arası bir yaklaşım gerektirdiği sonucuna varmışlardır. TOPSIS bulanık sayılarla, diğer ÇKKV yöntemleri ile entegre veya yalın olarak her şekilde TS’de

yaygın olarak kullanılmıştır (Çizelge 3.5). Tezin 6. bölümünde q-seviyeli bulanık TOPSIS metodu önerilirken TOPSIS yönteminin aşamaları detaylı olarak incelenmiştir.

3.2.7.ELECTRE metodu

ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité) yöntemi kriterler için alternatifler arasında ikili karşılaştırmalara dayanır. Yöntem kendi içinde problemin ele alınışına göre seçim, sıralama ve sınıflandırma olarak üç başlık altında incelenmektedir (Benayoun vd., 1966). ELECTRE-I'in ELECTRE-IV ve ELECTRE-IS olarak bilinen iki başka versiyon daha ortaya çıkmıştır. ELECTRE-IV bir veto eşiği kavramını dikkate almıştır ve ELECTRE-IS ise verilerin mükemmel olmadığı durumları modellemek için kullanılmıştır. ELECTRE I ve versiyonları seçim problemleri için kullanılmıştır.

1960'lı yılların sonlarında en iyiden en kötüye sıralama ihtiyacı ELECTRE-II'nin doğmasına yol açmıştır. Sadece birkaç yıl sonra da yapay kriterler ve sıralama derecesi eklenerek ELECTRE-III ortaya atıldı. ELECTRE-IV ise Paris metro sistemindeki 12 hattın sıralanması ile ilgili problemin çözülmesi için Roy ve Hugonnard tarafından (1982) önerilmiştir. Bununla birlikte, yetmişli yılların sonlarında, önceden tanımlanmış ve sıralı kategorilere göre yeni bir eylem sıralama tekniği olarak ELECTRE-A önerilmiştir. Genişletildikten ve geliştirildikten sonra bu yöntem ELECTRE-TRI olarak daha basit ve genel bir yöntem haline getirilmiştir (Figueira vd., 2005).

ELECTRE yöntemlerinin çoğu, bağımsız kriterlerden oluşan ÇKKV problemlerine odaklanmıştır. Aslında, günlük hayatımızda ÇKKV problemlerinin karmaşıklığı nedeniyle kriterler arasında karşılıklı bağımlılıklar bulunmaktadır. Öncelikler, kriterler arasında olası bir bağımlılık türü olarak ortaya çıkabilir. Yager (2008) tarafından verilen tipik bir örnekte belirtildiği gibi, çocuk için bir bisiklet seçilmesi örnek problemde emniyet ve maliyet kriterleri arasındaki ilişki olabilir. Emniyette oluşacak bir kaybın, maliyette bir fayda ile telafi edilmesine genellikle izin verilmez ve bu durumda güvenlik ve maliyet arasındaki herhangi bir uyumsuzluk kabul edilemez. Yani, emniyet ve maliyet kriterleri arasında öncelik oluşmaktadır ve emniyet, maliyetten daha yüksek bir önceliğe sahiptir. Kriterler arasında öncelikli olarak yer alan böyle bir ÇKKV problemine öncelikli ÇKKV problemleri denir (Yu vd., 2018).

Çizelge 3.6. ELECTRE Metodunun Literatürde Kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Çelik vd.	2015	ELECTRE	Yeşil TS
2	Fahmi vd.	2016	Bulanık ELECTRE I	Varsayıma dayanan örnek uygulama
3	Zhong ve Yao	2017	ELECTRE	Üretim (Elektronik)
4	Wan vd.	2017	ANP ve ELECTRE II	Ulaştırma
5	Galo vd.	2018	ELECTRE TRI ve Tereddütlü BS	Varsayıma dayanan örnek uygulama
6	Govindan vd.	2019	ELECTRE I ve SMAA	Varsayıma dayanan örnek uygulama

ELECTRE yöntemlerinin temel özelliklerini dikkate aldığımızda bu yöntemin aşağıdaki durumlarda seçilmesinin uygun olabileceği değerlendirilmiştir;

- Kriterlerin performanslarının farklı birimlerde olması durumunda karar vericilerin zor ve karmaşık bir ölçek ile bu performansları tanımlamak istememesi,
- Küçük farkların toplamının belirleyiciliği varsa,
- Alternatiflerin farklılıklarının karşılaştırılmasının zor olduğu ve zayıflıklarının ara ölçeklerle değerlendirilmesi gereken durumlarda ELECTRE yöntemi kullanılabilir.

ELECTRE literatürde etkin bir ÇKKV metodu olarak kullanılmıştır (Çizelge 3.6). Tezin 6. Bölümünde de literatürde ilk defa olarak önerilen q-seviyeli bulanık ELECTRE metodu tüm aşamaları verilerek açıklanmıştır.

3.2.8. Veri Zarflama Analizi

VZA jenerik ve esnek olarak nitelendirilebilecek Karar Verme Birimlerinin performanslarını değerlendirmek için kullanılan çoklu girdilerin çoklu çıktılara dönüşümünü sağlayan veri odaklı bir yaklaşımdır (Cooper vd., 2004). Veri zarflama analizinin temellerini Farell (1957) teknik etkinliği ve fiyat etkinliğini açıkladığı çalışması ile atmış, 1978’te Charnes ve arkadaşlarının konuyla ilgili yayınladıkları makale ile şekillenmiştir (Charnes vd.,1978). VZA’da kullanılan etkinlik kavramı kapsamında; tahsis etkinliği mevcut fiyatlar dikkate alındığında en uygun oranda girdi ve çıktıların kullanılmasını ifade ederken, teknik etkinlik ise belirli bir girdi miktarına göre azami çıktı elde etmek veya tersi olarak belirli bir çıktı düzeyinde asgari girdi kullanmak olarak tanımlanabilir.

Çizelge 3.7. VZA'nın Literatürde Kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Narasimhan vd.	2001	VZA	Elektrik-Elektronik
2	Şevkli vd.	2007	AHP - VZA	Mobilya ve beyaz eşya
3	Ramanathan	2007	AHP - VZA	Varsayıma dayanan örnek uygulama
4	Çelebi ve Bayraktar	2008	NN ve VZA	Otomotiv
5	Ha ve Krishnan	2008	AHP - VZA - ANN	Üretim
6	Azadeh ve Alem	2010	Bulanık VZA	Simulasyon
7	Zeydan vd.	2011	VZA, Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS	Otomotiv
8	Mahdiloo vd.	2011	VZA	Varsayıma dayanan örnek uygulama
9	Dobos ve Vörösmarty	2014	VZA	Varsayıma dayanan örnek uygulama
10	Wu vd.	2019	VZA ve IVP Bulanık sayılar	Yeşil TS
11	Dobos ve Vörösmarty	2019	VZA	Yeşil TS

VZA'nın güçlü tarafları

- VZA farklı ölçü birimlerindeki girdi ve çıktıların kullanımına imkân tanımakla birlikte bu girdi ve çıktılar arasındaki ilişkinin fonksiyonel olmasına gerek yoktur,
- Çoklu girdi ve çıktı ortamında kolaylıkla kullanılabilir,
- VZA'da etkin olmayan karar verme birimleri için hedef değerler belirlenir.

VZA'nın zayıf tarafları

- VZA'da görelî etkinlik ölçümü belirli bir zaman dilimi için yapıldığından bazı girdilerin çıktılara dönüşmesi zaman alabilir,
- VZA görelî etkinliği ölçse de birimlerin mutlak etkinlikleri hakkında bilgi vermemektedir,
- Analize dahil edilmesi/edilmemesi gereken girdi ve çıktıların hassasiyetle belirlenmemesi durumlarda sonuçlar istenen doğrulukta olmayabilir,
- VZA, tesadüfî hata kavramına yer vermediğinden yöntem hatalarına karşı da duyarlıdır.

3.2.9. PROMETHEE metodu

PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) Jean-Pierre Brans (1986) tarafından geliştirilmiş, alternatiflerin kısmi (I) ve tam sıralamalarını (II) sağlayan iki versiyon olarak tanıtılmıştır. Aralıkları temel alan sıralama (III), sürekli durumlar için (IV), bölümlendirilme kısıtları içeren (V) ve insan beyninin temsilinin yapıldığı (VI) versiyonları önerilmiştir (Brans ve Mareschall, 2005). PROMETHEE metodu alternatifleri belirlenmiş tercih fonksiyonlarına göre değerlendirir, ikili karşılaştırmalar yardımı ile sıralama yapar.

Behzadian vd. (2010) tarafından PROMETHEE metodolojileri ve uygulamaları üzerine yapılan çalışmada mevcut literatürün gözden geçirilmesi, sınıflandırılması ve yorumlanması için kapsamlı bir literatür taraması sunulmuştur. Çalışmasında 100 dergide yayınlanan, 217 bilimsel makaleyi PROMETHEE metodoloji ve uygulamaları açısından incelemiş ve bu yöntemin işletme ve finansal yönetim, kimya, lojistik ve ulaştırma, imalat ve montaj çevre yönetimi, enerji yönetimi, hidroloji ve su yönetimi gibi çok geniş bir kullanım alanı olduğunu tespit etmiştir. PROMETHEE metodunun literatürdeki kullanımı Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. PROMETHEE Metodunun Literatürde Kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Dağdeviren ve Erarslan	2008	PROMETHEE	Elektronik
2	Safari vd.	2012	PROMETHEE ve Entropi	Örnek Uygulama
3	Şenvar vd.	2014	Bulanık PROMETHEE	Örnek Uygulama
4	Krishankumar vd.	2017	Bulanık PROMETHEE	Örnek Uygulama
5	Abdullah vd.	2019	PROMETHEE	Yeşil TS

3.2.10. MOORA metodu

Brauers ve Zavadskas 2006 yılında çok amaçlı optimizasyon için MOORA (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis) yöntemini önermiştir. Diğer yöntemlerle kıyaslandığında MOORA nicel veri türünün kullanıldığı, daha az hesaplama zamanı ve matematik işlem gerektiren, daha basit ve güvenilir bir ÇKKV yöntemidir. Genel olarak oran

metodu ve referans nokta yaklaşımı olmak üzere iki MOORA yöntemi olduğu görülmektedir. MOORA’da her bir alternatifin karelerinin toplamının karekökü ile kriterler bölünerek normalizasyon yapılır. Müteakiben, oluşan tablodaki kriterler en küçük ve en büyük olarak ayrı ayrı toplanarak en büyüklerden en küçükler çıkarılır.

Çizelge 3.9. MOORA Metodunun Literatürde Kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Karande ve Chakraborty	2012	Bulanık MOORA	İki uygulama
2	Dey vd.	2012	Bulanık MOORA	Örnek uygulama
3	Perez-Dominguez vd.	2015	Bulanık MOORA	Örnek uygulama
4	Büyüközkan ve Göçer	2017	MOORA ve IVP Bulanık sayılar	Dijital TS

Referans nokta yaklaşımında ise oran metoduna ilaveten kriter için amaçla uyumlu olarak en büyük ve en küçük referans noktaları belirlenir. Bu noktaların her bir değer ile uzaklıkları bulunur ve matris olarak yazılır.

3.2.11. MACBETH metodu

MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) yöntemi 1990’lı yıllarda Bana e Costa, Vansnick ve De Corte tarafından geliştirilmiş, niteliksel yargılamalara dayanarak niceliksel karar vermeyi amaçlayan bir ÇKKV tekniğidir. Costa ve Vansnick (1994 ve 1999) yöntemin özelliklerini ortaya koymuş ve (1997) bu metodu tren yolu ve metro inşaatı ihalelerinde kullanmışlardır.

MACBETH metodu ikili karşılaştırmalar açısından AHP tekniğine benzemekle beraber AHP’deki oran ölçeği yerine MACBETH yönteminde aralık ölçeği kullanılmaktadır. Yöntemde problem bir değer ağacı veya hiyerarşi içerisinde yapılandırılmalıdır. Öncelikle kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır, müteakiben tüm seçenekler her bir kriter için ayrı ayrı ikili olarak karşılaştırılır. Genellikle 7 kategorili karşılaştırma ölçeği kullanılmaktadır. Matrislerde uyumsuzluk olarak; iki kriter veya seçeneğin kıyasından ortaya çıkan karşılaştırmalı yargılar veya iki karşılaştırmalı yargının kıyaslanmasından meydana gelen semantik yargılamalar ortaya çıkabilir. Bu tutarsızlıkların giderilmesi için seçenekler arasındaki tercih düzeylerinin değiştirilmesi gerekmektedir.

Çizelge 3.10. MACBETH Metodunun Literatürde Kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Karande ve Chakraborty	2013	MACBETH	Üretim sektörü
2	Kundakçı ve Işık	2016	MACBETH ve COPRAS	Tekstil Endüstrisi
3	Gören ve Şenocak	2018	MACBETH ve Taguci	Yeşil TS

3.2.12. DEMATEL metodu

1972-1976 yılları arasında Cenevre'deki Battelle Memorial Enstitüsü Bilim ve İnsan İşleri Programı tarafından geliştirilen DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) yöntemi, karmaşık ve iç içe geçmiş sorunların araştırılması ve çözümü için kullanılmıştır (Gabus ve Fontela, 1972). Bu yöntem, objektif ilişkilerin somut özelliklerine göre, değişkenler / öznelilikler arasındaki karşılıklı bağımlılığı teyit edebilir ve özelliklerin temel bir sistem ve gelişme eğilimi ile yansıttığı ilişkiyi sınırlayabilir. Tedarikçi seçiminde kullanımı Çizelge 3.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11. DEMATEL Metodunun Literatürde Kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Büyüközkan ve Çiftçi	2012	Bulanık DEMATEL-Bulanık ANP ve TOPSIS	Yeşil TS
2	Orji ve Wei	2014	DEMATEL ve TOPSIS	Üretim
3	Yazdani vd.	2017	DEMATEL-QFD-COPRAS	Yeşil TS
4	Song vd.	2017	İkili Karşılaştırma ve DEMATEL	Üretim (Klima)
5	Liu vd.	2018	ANP, DEMATEL ve Oyun Teorisi	Üretim (Elektronik)
6	Kaya ve Yet	2019	DEMATEL ve Bayes ağları	Otomotiv
7	Kumar vd.	2019	Bulanık DEMATEL	Çevik TS

DEMATEL metodu graf temelli olduğundan nedensel ilişkinin daha iyi anlaşılmasını sağlar. Ayrıca, uzlaşmacı sebep-sonuç modeli içeren dolaylı ilişkileri kapsaması da DEMATEL metodunun avantajı olarak görülebilir. DEMATEL metodu aşağıdaki 5 adımdan oluşmaktadır (Fontela ve Gabus, 1976):

- Adım 1: Direkt ilişki matrisinin oluşturulması
- Adım 2: Normalleştirilmiş direkt-ilişki matrisi belirlenmesi
- Adım 3: Toplam ilişki matrisinin elde edilmesi
- Adım 4: Nedensellik diyagramının oluşturulması
- Adım 5: İçsel bağımlılık matrisinin elde edilmesi.

3.2.13. Gri İlişkisel Analiz

1982'de Julong Deng tarafından ortaya atılan gri sistemler teorisi, küçük örnekler ve zayıf bilgi içeren problemlerin araştırılmasına odaklanan bir metodolojidir (Deng, 1982). Kullanılabilir olandan yararlı bilgi üreterek kısmen bilinen bilgiler içeren belirsiz sistemlerle ilgilenir. Doğal dünyada, küçük örneklemler ve çok az bilgi içeren belirsiz sistemler yaygın olarak mevcuttur. Bu gerçek, gri sistem teorisinin geniş uygulanabilirliğini desteklemektedir (Liu vd., 2012).

Gri ilişkisel analiz (Grey Relational Analyses - GRA), çoklu faktörler ve değişkenler arasındaki karmaşık ilişkilerdeki problemleri çözmek için uygun olan gri sistem teorisinin bir parçasıdır (Morán vd., 2006). GRA, işe alma kararı (Olson ve Wu, 2006), güç dağıtım sistemleri için restorasyon planlaması (Chen vd., 2005), kalite fonksiyonlarının modellenmesi (Wu, 2002), entegre devre markalama sürecinin denetimi (Jiang vd., 2002) gibi çeşitli ÇKKV sorunlarının çözümünde başarıyla uygulanmıştır (Kuo vd., 2008).

Ayrıca, GRA yöntemi, ayırık veri kümeleri arasındaki çeşitli ilişkileri analiz etmek ve birden çok öznitelik durumunda kararlar almak için çok popüler yöntemlerden biridir. GRA yönteminin başlıca avantajlarının, sonuçların orijinal verilere dayanması, hesaplamaların basit ve doğrudan yapılması ve son olarak, iş ortamında kullanılan en iyi karar verme yöntemlerinden biri olduğu görüşleri de mevcuttur (Hou, 2010). GRA, özellikle örneklemin küçük olduğu ve örneklem dağılımının yeteri kadar bilinmediği durumlarda kullanılır. Analiz edilen faktörler arasındaki benzerlikler veya farklılıklar gri ilişki olarak tanımlanır. GRA hem nicel veri setlerine hem de dilsel değişkenlerin kullanıldığı nitel veri setlerine uygulanabilmektedir. GRA için küçük bir veri seti yeterli olup paket programa ihtiyaç duymadan basit işlemlerle yapılabilir. TS'de kullanımı Çizelge 3.12'de sunulmuştur.

Çizelge 3.12. GRA Metodunun Literatürde Kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Yang ve Chen	2006	AHP - GRA	Elektrik-Elektronik
2	Li vd.	2008	GRA	Varsayıma dayanan örnek uygulama
3	Wei	2011	GRA ve Bulanık sayılar	Varsayıma dayanan örnek uygulama
4	Hashemi vd.	2015	ANP ve GRA	Otomotiv
5	Wang vd.	2017	GRA ve AHP	İnşaat Sektörü
6	Chen	2019	GRA ve Bulanık TOPSIS	İnşaat Sektörü

3.2.14. Genetik Algoritmalar (GA) ve Yapay Sinir Ağları (ANN)

Genetik Algoritmalar (GA) iyi olanın hayatta kalması üzerine kurulmuş evrimsel süreçlerin mantığı üzerine kurulmuştur. İlk olarak Holland (1973) tarafından, başka türlü hesaplanamayan sorunlara iyi çözümler bulmak için bir araç olarak önerilmiştir. Her GA bir yapay kromozom popülasyonu üzerinde çalışır ve her kromozom, bir soruna yönelik bir çözümü temsil eder. Genlerin kodlanması, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinin benzetim şeklinde yapılması, istenilen sonuca uygun olarak amaç fonksiyonunun belirlenmesi ve sonuç olarak GA'nın belirli bir problem için en iyi çözümü geliştirmesi hedeflenir (McCall, 2005). Literatürdeki kullanımı Çizelge 3.13'te sunulmuştur.

Çizelge 3.13. Genetik Algoritmaların Literatürde Kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Liao ve Rittscher	2007	GA	Varsayıma dayanan örnek uygulama
2	Florez- Lopez	2007	ANN tabanlı GA	Varsayıma dayanan örnek uygulama
3	Aksoy ve Öztürk	2011	ANN	Otomotiv
4	Golmohammadi	2011	ANN	Otomotiv
5	Simic vd.	2015	Genetik ve Uyum Arama Algoritmaları	Üretim
6	Kanagaraj vd.	2016	Toplam Sahip Olma Maliyeti (TCO) ve GA	Simulasyon

3.2.15. Diğer metotlar

Bu tezin içerisinde önerilen q seviyeli bulanık sayılarla entegre ÇKKV metotları (q -ROF TOPSIS ve q -ROF ELECTRE) konu bütünlüğünün sağlanması açısından 6. Bölümde anlatılmıştır. Bunun haricinde de literatürde TS’de yukarıda açıklananların dışında da birçok karar verme metodu kullanılmıştır. Bu metotlardan SMART, CBR, QFD ve TS’de kullanılan diğer metotlar Çizelge 3.14’te sunulmuştur.

Çizelge 3.14. Diğer Metotların Literatürde Kullanımı

S.No	Yazar	Yıl	Yöntem	Açıklama
1	Barla	2003	SMART	Üretim
2	Choy vd.	2005	CBR	Üretim
3	Bevilacqua vd.	2006	Bulanık QFD	Otomotiv
4	Chou ve Chang	2008	Bulanık SMART	Bilişim
5	Bottani ve Rizzi	2008	Bulanık AHP - Küme analizi	Üretim
6	Amin ve Razmi	2009	Bulanık QFD	Bilişim
7	Keskin vd.	2010	Bulanık ART	Otomotiv
8	Chamodrak vd.	2010	AHP tabanlı Bulanık Tercih Programlama	Varsayıma dayanan örnek uygulama
9	Sen vd.	2010	Bulanık AHP -Maks-min yaklaşımı	Elektrik-Elektronik
10	Wang ve Chin	2011	Bulanık Tercih Programlama	Ulaştırma- Lojistik
11	Punniyamoorthy vd.	2011	Structural Equation Modelling - Bulanık AHP	Üretim
12	Chen ve Wu	2013	Hata Türü ve Etkileri Analizi	Elektrik-Elektronik
13	Yu ve Wong	2015	Çoklu Etmen Sistemi (multi-agent system)	Simulasyon
14	Qin vd.	2017	TODIM ve bulanık sayılar.	Yeşil Tedarikçi

4. Q SEVİYELİ BULANIK (q-ROF) SAYILAR

Bu bölümde, Zadeh (1965) tarafından önerilen bulanık kümeden itibaren Atanassov'un (1986) sezgisel bulanık kümeleri, Yager'in (2013) Pisagor bulanık kümeleri ve Yager'in 2017 yılında önerdiği q seviyeli bulanık kümeleri (q-ROFs) ile ilgili temel tanımlara yer verilmiştir.

4.1. Bulanık Küme Teorisi

Klasik küme yaklaşımında bir nesnenin bir kümeye üye olma veya olmama durumu kesinlikle ifade edilmektedir. Örneğin bir kişinin boyu uzun veya kısa, bir araç hızlı veya yavaş, hava sıcak ya da soğuk olarak ifade edilir. Bu tip klasik kümelerde bahse konu ifadeler için her bir elemana 1 veya 0 değerlerini atayarak üyelik durumu tanımlanır. Burada X evrensel küme, A ise bu evrensel kümede bir alt küme olsun. X_A ise herhangi bir elemanın A kümesine ait olup olmadığını 1 veya 0 ile gösteren bir fonksiyondur. Klasik A kümesi Eş.4.1 ile ifade edilebilir:

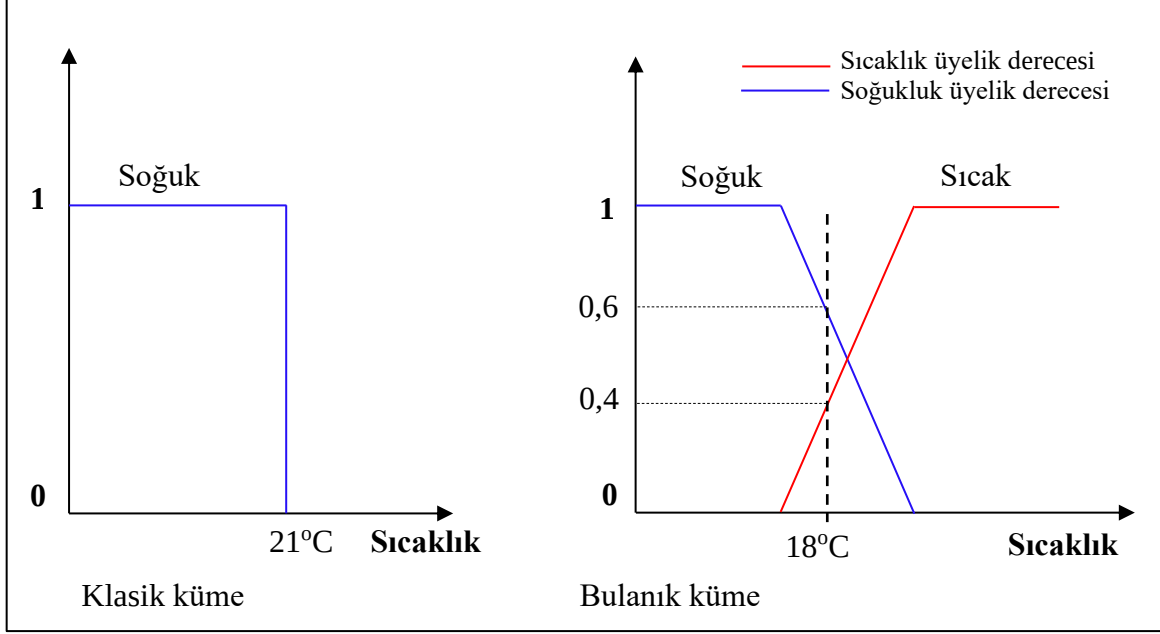
$$X_A : X \rightarrow \{0,1\}$$

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

Burada A kümesine ait elemanlar 1 değerini alırken, ait olmayanlar ise 0 değerini almaktadır. Dolayısıyla klasik A kümesinde ait olma durumu 1 ve 0 gibi rakamlarla belirlenmiş ve iki durum arasındaki geçiş oldukça kesindir.

Klasik kümenin bu kesinliğine karşın gerçek hayatta bir kümeye ait olma konusunda belirsizlik ve geçişler sıklıkla görülür. Hava oldukça güneşli, araba biraz yavaş, boyu hafif kısa, ışık biraz fazla, yaşı çok genç, mesafe oldukça yakın gibi kesinlik içermeyen ifadeler kullanılır. Bu belirsizlikleri dikkate alan ve bir kümeye ait olma durumunu kademeli olarak ifade eden bulanık küme teorisinde ise bir elemanın üyeliği sonsuz aralığa bölünebilen bir veya birden fazla kümeye ait olma derecesi ile ifade edilmektedir. Somut örnek vermek gerekirse, Şekil 4.1'de görülen durumda; "hava sıcak mı?" sorusuna, klasik kümede soğuk ya da sıcak olarak cevap verilirken, bulanık kümede sıcak ve soğuk üyelik fonksiyonu ile belirtilir. Bu durumda 18 °C için hava sıcaklığı klasik kümede soğuk olarak

değerlendirilirken, bulanık kümede “havanın soğuk kümesine ait olma derecesi 0,6 iken sıcak olma kümesine ait olma derecesi 0,4’tür” şeklinde bir cevap mümkün olabilecektir.



Şekil 4.1. Klasik ve Bulanık Küme Örneği

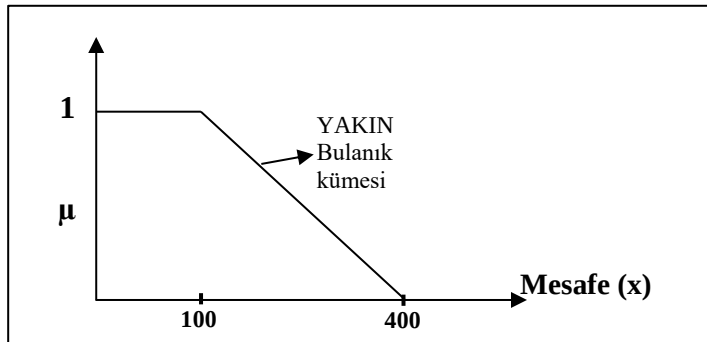
Tanım 1. (Zadeh 1965) X evrensel kümesindeki bir x elemanın aynı evrensel kümenin bir alt kümesi olan A bulanık kümesine üye olma derecesi Eş. 4.2 ile gösterilmektedir:

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (4.2)$$

Burada $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ üyelik derecesidir.

Bulanık kümelerde bazen dilsel değişkenler kullanılır. Örneğin bir hareketli cismin mesafesine (dilsel değişken) atfedilen yakınlık kavramını ifade eden “yakın” terimi dilsel değer olarak tanımlanır. “Yakın” bulanık kümesi nesnenin mesafesine bağlı bir üyelik fonksiyonu $\mu_{Yakın}(x)$ ile tanımlanabilir (Şekil 4.2). Üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk, Gauss vb. şekillerde tanımlanabilir.

$$\mu_{Yakın}(x) = \begin{cases} 1, & x < 100 \\ (400 - x) / 300, & 100 \leq x \leq 400 \\ 0, & x > 400 \end{cases}$$



Şekil 4.2. Yakın bulanık küme gösterimi

4.2. Sezgisel Bulanık Kümeler

Klasik bulanık küme teorisinde bulanıklık fonksiyonu sadece üyelik olarak tanımlanmıştır. Atanassov 1986'da sezgisel bulanık küme kavramı ile Zadeh'e ilave olarak bulanık kümenin üye olmama fonksiyonu olduğunu ve her ikisinin toplamının bir veya birden küçük olduğunu ortaya atmıştır. Üyelik ve üye olmama fonksiyonlarının 1'den küçük olma durumunda bu farkı tereddütlik derecesi olarak tanımlamıştır (Atanassov, 1999).

Tanım 2. (Atanassov, 1986) Yine X evrensel kümesindeki A sezgisel bulanık kümesi (SBK) Eş. 4.3 ile ifade edilebilir:

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (4.3)$$

Burada $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ ve $\nu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ sırasıyla üye olma ve üye olmama derecelerini gösterir ve Eş. 4.4 ile gösterilebilir:

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (4.4)$$

SBK'nın tereddütlik derecesi Eş. 4.5 ile ifade edilebilir:

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$$

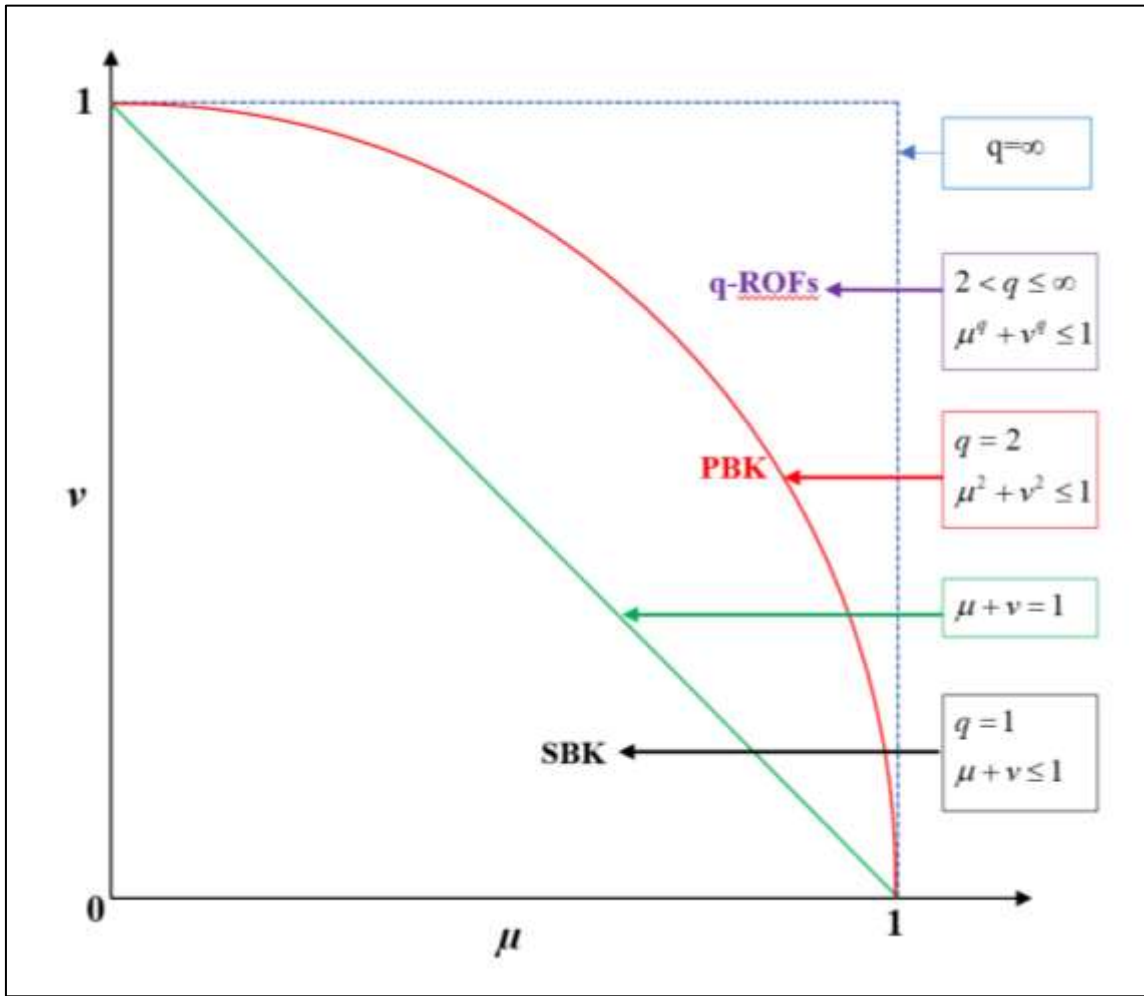
$$0 \leq \pi_A(x) \leq 1 \quad (4.5)$$

Tereddütlik derecesi $[\pi_A(x)]$, x hakkındaki bilginin kesinliğini gösterir; ne kadar büyükse belirsizlik o kadar fazla kabul edilir.

4.3. Pisagor Bulanık Kümeler

Tanım 3. Yager (2013) tarafından önerilen Pisagor bulanık kümede üyelik dereceleri (a, b) olarak gösterilir, öyle ki $a, b \in [0, 1]$ ve bu durum Eş. 4.6 ile ifade edilir. Burada, $a = A_Y(x)$, A 'daki x 'in üyelik derecesi ve $b = A_N(x)$ x 'in üye olmama derecesidir. Ayrıca $a^2 + b^2 = r^2$ durumunda da r dairenin yarıçapıdır.

$$a^2 + b^2 \leq 1 \quad (4.6)$$



Şekil 4.3. Bulanık kümelerin kıyaslanması

Şekil 4.3'te görüldüğü üzere Pisagor bulanık kümeler (PBK) sezgisel bulanık kümeden (SBK) daha geniş bir alanı kapsamaktadır. Aslında tüm SBK'lardaki a ve b üyelik dereceleri aynı zamanda PBK üyelik dereceleri olarak ifade edilebilir. Fakat bazı SBK üyelik dereceleri PBK olarak ifade edilemez (Yager ve Abbasov, 2013). Örneğin $(0,8; 0,6)$ üyelik derecelerini ele alalım. Bu üyelik derecelerini SBK olarak ifade etmeye çalışılırsa $0,8+0,6=1,4$

olacağından SBK'nın $a+b \leq 1$ koşulunu sağlamaz. Fakat bunun yanında; $0.8^2 + 0.6^2 = 0.64 + 0.36 = 1$ olduğundan PBK'nın $a^2+b^2 \leq 1$ koşulunu sağlamış olur.

4.4. q-Seviyeli Bulanık Kümeler (q-ROFs)

Tanım 4. Yager (2017) Pisagor ve sezgisel bulanık kümelerini genelleştirerek q seviyeli bulanık kümeler fikrini ortaya atmıştır. X 'in alt kümesi olan A Eş.4.7 ile gösterilmiştir:

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (4.7)$$

Burada, $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$ üyelik ve $\nu_A : X \rightarrow [0,1]$ üye olmama derecelerini göstermektedir ve $x \in X$ aşağıdaki koşulları sağlamaktadır:

$$(\mu_A(x))^q + (\nu_A(x))^q \leq 1 \quad (4.8)$$

Tereddütlük derecesi $\pi_A(x) = (1 - (\mu_A(x))^q - (\nu_A(x))^q)^{1/q}$ olarak tanımlanabilir.

Dolayısıyla Yager (2017), Şekil 4.3'te görüldüğü üzere Atanassov'un tanımladığı sezgisel bulanık kümeyi birinci q seviyeli ve kendi tanımladığı Pisagor bulanık kümeleri ise ikinci q seviyeli bulanık kümeler (q-ROFs) olarak ifade etmiştir. Mevcut bulanık kümelerden yola çıkarak q seviyesinin birden sonsuza kadar değer alabileceğini ve sonsuz q seviyesinde bulanık kümenin grafik gösteriminin kare şeklinde olacağını ifade etmiştir (Şekil 4.3).

4.4.1. q-Seviyeli bulanık küme işlemleri

Yager (2017) q-seviyeli bulanık kümelerde basit küme işlemlerini aşağıdaki şekilde tanımlamıştır:

Kesişim: A ve B q seviyeli bulanık sayılar olsun. Bu sayıların üye olma dereceleri ve üye olmama dereceleri Eş. 4.9 ve Eş. 4.10 ile gösterilmiştir.

$$A(x) = \{ x, (\mu_A(x))^q, (\nu_A(x))^q \mid x \in X \} \quad (4.9)$$

$$B(x) = \left\{ x, (\mu_B(x))^q, (v_B(x))^q \mid x \in X \right\} \quad (4.10)$$

Buradan her iki bulanık sayının S bağıllılık kuvveti Eş. 4.11 ile tanımlanmıştır:

$$(\mu_A(x))^q + (v_A(x))^q = S_A \leq 1 \text{ ve } (\mu_B(x))^q + (v_B(x))^q = S_B \leq 1 \quad (4.11)$$

Bu kümelerin kesişim kümeleri $D = A \cap B$ olsun. Bu durumda:

$$D(x) = \left\{ x, (\mu_D(x))^q, (v_D(x))^q \mid x \in X \right\} \text{ olur.}$$

Üye olma ve olmama derecelerinin kesişim kümeleri Eş. 4.12 ve Eş. 4.13 ile gösterilmiştir:

$$(\mu_D(x))^q = \text{Min} \left\{ (\mu_A(x))^q, (\mu_B(x))^q \right\} \quad (4.12)$$

$$(v_D(x))^q = \text{Maks} \left\{ (v_A(x))^q, (v_B(x))^q \right\} \quad (4.13)$$

D 'nin q seviyeli bulanık sayı olması için $(\mu_D(x))^q + (v_D(x))^q \leq 1$ sağlanması gerekir.

Birleşim: Benzer şekilde birleşimi $E = A \cup B$ olarak tanımlarsak :

$E(x) = \left\{ x, (\mu_E(x))^q, (v_E(x))^q \mid x \in X \right\}$ olur. Üye olma ve olmamama derecelerinin birleşim kümeleri Eş. 4.14 ve 4.15 ile gösterilmiştir:

$$(\mu_E(x))^q = \text{Maks} \left\{ (\mu_A(x))^q, (\mu_B(x))^q \right\} \quad (4.14)$$

$$(v_E(x))^q = \text{Min} \left\{ (v_A(x))^q, (v_B(x))^q \right\} \quad (4.15)$$

Kesişim ve birleşim işlemleri her q seviyesinde geçerlidir. İki sayının aynı q seviyesinde olma zorunluluğu da yoktur. Böyle durumlarda en yüksek q seviyesi esas alınır.

Kapsama: q seviyeli bulanık kümelerde kapsama işlemi tanımlanabilir. A ve B q seviyeli iki bulanık küme $A(x) \supseteq B(x)$ olması için, $(\mu_A(x))^q \geq (\mu_B(x))^q \wedge (v_A(x))^q \leq (v_B(x))^q$ olması gerekir. Diğer bir deyişle tüm $x \in X$ için $A(x) \geq B(x)$ ise $B \subseteq A$ ifadesi doğrudur.

4.4.2. q-ROF birleştirme operatörleri

Yager (2017) q seviyeli bulanık kümelerde birleştirme (aggregation) fonksiyonlarını da tanımlamıştır. Yager'den sonra birçok birleştirme operatörü tanımlanmış olup bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde Liu ve Wang'ın (2018) tanımladığı aşağıda belirtilen ve literatürde genel kabul görmüş q-ROFWA ve q-ROFWG birleştirme operatörleri kullanılmıştır.

Tanım 5 (Liu ve Wang, 2018) $\alpha_k = \langle \mu_k, v_k \rangle$ ($k=1, 2, \dots, n$) q seviyeli bulanık sayısı olsun.

Ağırlıklı birleştirme operatörü ise:

$$q-ROFWA(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = w_1 \alpha_1 \oplus w_2 \alpha_2 \oplus \dots \oplus w_n \alpha_n$$

$$0 \leq w_k \leq 1 \text{ ve } \sum_{k=1}^n w_k = 1 \text{ durumunda } (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)'in \text{ ağırlık vektörü } w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T \text{ olur.}$$

Sonuç olarak q-ROF ağırlıklı birleştirme operatörünün formülü Eş. 4.16 ile gösterilmiştir:

$$q-ROFWA(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \left\langle \left(1 - \prod_{k=1}^n (1 - \mu_k^q)^{w_k} \right)^{1/q}, \prod_{k=1}^n v_k^{w_k} \right\rangle \quad (4.16)$$

Tanım 6 Liu ve Wang, (2018) tarafından aynı kapsamda önerilen q-ROF geometrik ağırlıklı birleştirme operatörü Eş. 4.17 ile gösterilmiştir:

$$q-ROFWG(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \left\langle \prod_{k=1}^n \mu_k^{w_k}, \left(1 - \prod_{k=1}^n (1 - v_k^q)^{w_k} \right)^{1/q} \right\rangle \quad (4.17)$$

Bu operatör, q-ROFWA'dan farklı olarak :

$$q-ROFWG(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \alpha_1^{w_1} \otimes \alpha_2^{w_2} \otimes \dots \otimes \alpha_n^{w_n}$$

$$0 \leq w_k \leq 1 \text{ ve } \sum_{k=1}^n w_k = 1 \text{ durumunda } (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)'in \text{ ağırlık vektörü } w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T \text{ olur.}$$

4.4.3. q-ROF skor ve doğruluk fonksiyonları

Tanım 7 (Wang ve Li, 2018; Wei vd., 2018; Wang vd., 2019) $A = (\mu(x), v(x))$ q seviyeli bir bulanık sayı olsun. Bu sayının skor $[s(A)]$ ve doğruluk $[accuracy-h(A)]$ fonksiyonları Eş. 4.18 ve Eş. 4.19 ile tanımlanmıştır:

$$s(A) = (1 + \mu(x)^q - v(x)^q) / 2 \quad (4.18)$$

$$h(A) = \mu(x)^q + v(x)^q \quad (4.19)$$

Skor fonksiyonu bir bulanık sayının diğerine göre büyüklüğünü bulmada kullanılır. Skor fonksiyonun belirgin olamadığı durumlarda doğruluk fonksiyonu aynı maksatla kullanılır.

5. Q-ROF KÜMELERDE YENİ UZAKLIK ÖLÇÜSÜ

Uzaklık nesneler arasındaki mesafeyi dolayısıyla farklılığı gösterirken, benzerlik ise tam aksine yakınlığı göstermektedir. Uzaklık ölçüsü (distance/dissimilarity measure) ise günümüzde genel olarak örüntü tanıma, kümeleme, sınıflandırma (Cha, 2007) ve bu çalışmaya özel olarak ise ÇKKV metotlarında alternatiflerin ideal çözüme olan mesafelerini bulma gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Uzaklık ve benzerlik (similarity) ölçüleri genel olarak bilgi ölçüleri (information measures) olarak isimlendirilmiştir. Bu ölçüler yüksek seviyeli bulanık sayılarla beraber karar verme problemlerinde kullanılmaktadır (Xia ve Xu, 2010). Bu konudaki ilk çalışmalardan biri Szmidt ve Kacprzyk (2000) tarafından Hamming ve Öklid uzaklıklarının sezgisel bulanık sayılar üzerinde uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Wang ve Xin (2005) bu çalışmanın yeteri kadar etkili olmadığını iddia etmiş, Grzegorzewski (2004), Chen (2007), Hung and Yang (2004), Xu ve Chen (2008) Hamming, Öklid ve Hausdorff uzaklıkları ile sezgisel bulanık sayılar üzerinde uygulamalar geliştirmişlerdir. Li vd.(2002), Liang ve Shi (2003), Boran ve Akay (2014) sezgisel bulanık sayılar için bazı uzaklık ölçüleri önerileri geliştirmişleridir. Li ve Zeng (2016) ise Pisagor bulanık sayılar için 4 parametrelili (üye olma, üye olmama, güç, bağlantı yönü) bir uzaklık ölçüsü ortaya atmıştır. Son olarak q seviyeli sayılar için de Du (2018) literatürde mevcut olan Öklid ve Hamming ölçülerini kullanmış, Wang vd. (2019) ise kosinüs uzaklık ölçülerini ortaya atmıştır. Tezin bu bölümünde q seviyeli bulanık kümeler için yeni bir uzaklık ölçüsü tanımlanarak, detaylı olarak ispatı yapılmış, diğer uzaklık ölçüleri ile kıyaslanmış ve üstünlükleri ortaya konulmuştur.

5.1. Yeni Uzaklık Ölçüsü

Bahse konu uzaklık ölçüsü için A ve B, X kümesinde iki q-ROF sayısı olsun. Burada $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ için A ve B arasındaki uzaklık aşağıdaki şekilde formüle edilebilir.

$$D(A, B) = \sqrt[p]{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left\{ \left| (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} \right) \right|^p + \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p \right\}}$$

$$\text{burada } p=1,2,\dots,n \text{ ve } k = \frac{(0,5q^2+1,5q-0,333)}{(q^2+3q+1)}, \quad k \in \left[\frac{1}{3}, \frac{1}{2}\right] \quad (5.1)$$

Bu öneride, p L_p normunu ve k ise belirsizlik parametresini göstermektedir ve sonraki bölümde daha detaylı olarak açıklanmıştır.

$D: qROF \times qROF \rightarrow [0,1]$ eşleştirmesinde, $D(A, B)$ nin $A \in qROF(X)$ ve $B \in qROF(X)$ arasında bir uzaklık ölçüsü olabilmesi için aşağıdaki 4 koşulu sağlaması gerekir:

$$(A1) \quad 0 \leq D(A, B) \leq 1$$

$$(A2) \quad D(A, B) = 0 \text{ ancak ve ancak } A=B.$$

$$(A3) \quad D(A, B) = D(B, A)$$

$$(A4) \quad A \subseteq B \subseteq C \text{ olduğunda } D(A, C) \geq D(A, B) \text{ olur.}$$

Teorem 1. $D(A, B)$ X kümesine ait A ve B q-ROF kümelerine ait bir uzaklık ölçüsüdür.

İspat

A(1) A ve B iki q-ROF kümesi olsun.

Bu durumda $0 \leq \mu_A(x_i) \leq 1$, $0 \leq \mu_B \leq 1$ ve $k \in \left[\frac{1}{3}, \frac{1}{2}\right]$ olduğundan

$$-1 \leq \mu_A(x_i) - \mu_B(x_i) \leq 1, \quad 1-k > 0 \quad (5.2)$$

Dolayısıyla Eş.5.3 elde edilir:

$$k-1 \leq (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) \leq 1-k \quad (5.3)$$

Burada $0 \leq v_A(x_i) \leq 1$ ve $0 \leq v_B(x_i) \leq 1$ olduğundan $0 \leq v_A^q(x_i) \leq 1$ ve $0 \leq v_B^q(x_i) \leq 1$ eşitsizlikleri elde edilir. Ayrıca $0 \leq 1-v_A^q(x_i) \leq 1$ ve $0 \leq 1-v_B^q(x_i) \leq 1$ eşitsizlikleri kullanılarak , $0 \leq \sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} \leq 1$ ve $0 \leq \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} \leq 1$ elde edilir. Tüm bunları kullanarak:

$-1 \leq \sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} \leq 1$ elde edilir ve sonrasında eşitsizlikle k sayısı çarpılarak Eş.5.4 elde edilir:

$$-k \leq k \left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} \right) \leq k \quad (5.4)$$

Böylece Eş. 5.3 ve Eş. 5.4 kullanılarak Eş. 5.5 elde edilir:

$$k - 1 - k \leq \left((1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} \right) \right) \leq 1 - k + k \quad (5.5)$$

Buradan da $-1 \leq \left((1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} \right) \right) \leq 1$ elde edilir ve mutlak değer ifadesine Eş. 5.6 ile dönüştürülür:

$$0 \leq \left| (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} \right) \right|^p \leq 1 \quad (5.6)$$

Uzaklık ölçüsü formülünün Eş. 5.7'deki ikinci bölümü de ilk bölüm gibi ispatlanabilir:

$$\left| (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p \quad (5.7)$$

Burada $0 \leq v_A(x_i) \leq 1$, $0 \leq v_B(x_i) \leq 1$ ve $k \in \left[\frac{1}{3}, \frac{1}{2} \right]$ olduğundan $-1 \leq v_A(x_i) - v_B(x_i) \leq 1$,

$1-k > 0$, bu sayede Eş. 5.8 elde edilir:

$$k - 1 \leq (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) \leq 1 - k \quad (5.8)$$

Burada $0 \leq \mu_A(x_i) \leq 1$ ve $0 \leq \mu_B(x_i) \leq 1$ olduğundan $0 \leq \mu_A^q(x_i) \leq 1$ ve $0 \leq \mu_B^q(x_i) \leq 1$ elde edilir. Böylece $0 \leq 1 - \mu_A^q(x_i) \leq 1$ ve $0 \leq 1 - \mu_B^q(x_i) \leq 1$ kullanılarak $0 \leq \sqrt[q]{1 - \mu_A^q(x_i)} \leq 1$ ve $0 \leq \sqrt[q]{1 - \mu_B^q(x_i)} \leq 1$ elde edilir. Dolayısıyla $-1 \leq \sqrt[q]{1 - \mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1 - \mu_B^q(x_i)} \leq 1$ elde edilir ve k ile çarpılınca Eş. 5.9'a ulaşılır:

$$-k \leq k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1 - \mu_B^q(x_i)} \right) \leq k \quad (5.9)$$

Eş. 5.8 ve Eş. 5.9 kullanarak Eş. 5.10 elde edilir:

$$k - 1 - k \leq \left((1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1 - \mu_B^q(x_i)} \right) \right) \leq 1 - k + k \quad (5.10)$$

ve $-1 \leq \left((1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1 - \mu_B^q(x_i)} \right) \right) \leq 1$ ulaşılır. Buradan da Eş. 5.11 elde edilir:

$$0 \leq \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1 - \mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p \leq 1 \quad (5.11)$$

Sonuç olarak Eş. 5.6 ve Eş. 5.11 kullanılarak Eş. 5.12 elde edilir:

$$1 \geq \sqrt[p]{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left\{ \left| (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1 - v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1 - v_B^q(x_i)} \right) \right|^p + \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1 - \mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p \right\}} \geq 0 \quad (5.12)$$

Böylece A ve B uzaklığı $1 \geq D(A, B) \geq 0$ şeklinde ifade edilebilir.

A(2) A ve B iki q-ROF kümesi olduğunda, $\mu_A(x_i) = \mu_B(x_i)$, $v_A(x_i) = v_B(x_i)$ ve $\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i) = 0$, $v_A(x_i) - v_B(x_i) = 0$ olur ve D(A,B) uzaklığı sıfıra eşit olur.

A(3) A ve B iki q-ROF kümesi ise, önerilen formülün ilk parçası Eş. 5.13 ile gösterilebilir :

$$\begin{aligned} & \left| (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1 - v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1 - v_B^q(x_i)} \right) \right|^p \\ &= \left| (-1) \left\{ (1-k)(\mu_B(x_i) - \mu_A(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1 - v_B^q(x_i)} - \sqrt[q]{1 - v_A^q(x_i)} \right) \right\} \right|^p \end{aligned} \quad (5.13)$$

Mutlak değer dikkate alındığında Eş. 5.14'e ulaşılır:

$$\begin{aligned}
& \left| (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} \right) \right|^p \\
&= \left| (1-k)(\mu_B(x_i) - \mu_A(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} \right) \right|^p
\end{aligned} \tag{5.14}$$

Formülün ikinci kısmı olan Eş. 5.15'te benzer şekilde ispatlanabilir:

$$\begin{aligned}
& \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p \\
&= \left| (-1) \left\{ (1-k)(v_B(x_i) - v_A(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} \right) \right\} \right|^p
\end{aligned} \tag{5.15}$$

Mutlak değer kullanılarak Eş. 5.16 bulunur:

$$\begin{aligned}
& \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p \\
&= \left| (1-k)(v_B(x_i) - v_A(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} \right) \right|^p
\end{aligned} \tag{5.16}$$

Böylece $D(A,B)$ ile $D(B,A)$ 'nın eşit oldukları sonucuna varabiliriz.

A(4) A, B ve C üç q-ROF kümesi olsun. A, B ve A, C arasındaki uzaklıklar Eş. 5.17 ve Eş. 5.18 ile formüle edilebilir:

$$D(A,B) = \sqrt[p]{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left\{ \left| (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} \right) \right|^p + \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p \right\}} \tag{5.17}$$

$$D(A,C) = \sqrt[p]{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left\{ \left| (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_C(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_C^q(x_i)} \right) \right|^p + \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_C(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_C^q(x_i)} \right) \right|^p \right\}} \tag{5.18}$$

Şayet $A \subseteq B \subseteq C$ ve $\mu_C(x_i) \geq \mu_B(x_i) \geq \mu_A(x_i)$ ve $v_A(x_i) \geq v_B(x_i) \geq v_C(x_i)$ ve $k \in \left[\frac{1}{3}, \frac{1}{2}\right]$ ise,

bu durumda $\mu_A(x_i) - \mu_C(x_i) \leq \mu_A(x_i) - \mu_B(x_i) \leq 0$ elde edilir ve buradan da Eş. 5.19'a ulaşılır:

$$(1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_C(x_i)) \leq (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) \leq 0 \quad (5.19)$$

Bulanık küme tanımından $-v_A^q(x_i) \leq -v_B^q(x_i) \leq -v_C^q(x_i)$ eşitsizliği kullanılarak Eş. 5.20 elde edilir:

$$\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} \leq \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} \leq \sqrt[q]{1-v_C^q(x_i)} \quad (5.20)$$

İki taraf k ile çarpılarak Eş. 5.21 elde edilir:

$$k\left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_C^q(x_i)}\right) \leq k\left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)}\right) \leq 0 \quad (5.21)$$

Sonuç olarak da Eş. 5.19 ve 5.21'i kullanılarak Eş. 5.22'ye ulaşılır:

$$\left\{ \begin{array}{l} (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_C(x_i)) + \\ k\left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_C^q(x_i)}\right) \end{array} \right\} \leq \left\{ \begin{array}{l} (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + \\ k\left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)}\right) \end{array} \right\} \leq 0 \quad (5.22)$$

Mutlak değer kullanılarak formülün ilk kısmı Eş. 5.23 ile sağlanır:

$$\left| \begin{array}{l} (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_C(x_i)) + \\ k\left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_C^q(x_i)}\right) \end{array} \right|^p \geq \left| \begin{array}{l} (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + \\ k\left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)}\right) \end{array} \right|^p \quad (5.23)$$

Formülün ikinci kısmında da $v_A(x_i) - v_C(x_i) \geq v_A(x_i) - v_B(x_i) \geq 0$ ve $1 > 1-k > 0$ kullanılarak Eş. 5.24 elde edilir:

$$(1-k)(v_A(x_i) - v_C(x_i)) \geq (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) \geq 0 \quad (5.24)$$

İlk kısımla benzer şekilde eğer $-\mu_C(x_i) \leq -\mu_B(x_i) \leq -\mu_A(x_i) \leq 0$ ise $\sqrt[q]{1-\mu_C^q(x_i)} \leq \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \leq \sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)}$ de doğru kabul edilir ve buradan Eş. 5.25'e kolaylıkla ulaşılabilir:

$$k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_C^q(x_i)} \right) \geq k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \right) \geq 0 \quad (5.25)$$

Böylece Eş. 5.24 ve Eş. 5.25 ile Eş.5.26 elde edilir:

$$\left\{ (1-k)(v_A(x_i) - v_C(x_i)) + k \times \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_C^q(x_i)} \right) \right\} \geq \left\{ (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \times \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \right) \right\} \quad (5.26)$$

Mutlak değer tanımına bağlı olarak formülün ikinci kısmı Eş.5.27 ile elde edilir:

$$\left| (1-k)(v_A(x_i) - v_C(x_i)) + k \times \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_C^q(x_i)} \right) \right|^p \geq \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \times \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p \quad (5.27)$$

Sonuç olarak da Eş. 5.23 ve Eş. 5.27 ile $D(A, C) \geq D(A, B)$ kolaylıkla ifade edilebilir ve aynı şekilde $D(A, C) \geq D(B, C)$ eşitsizliğine ulaşılabilir. Böylece, birinci teoride ileri sürdüğümüz dört koşul da (A1)-(A4), sağlandığından $D(A, B)$ formülümüzün A ve B q-ROF kümeleri arasında bir uzaklık ölçüsü olduğu sonucuna varabiliriz.

Teorem 2. $D_w(A, B)$ X kümesine ait A ve B q-ROF kümelerine ait *ağırlıklandırılmış* bir uzaklık ölçüsüdür.

$$D_w(A, B) = \sqrt[p]{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n w_i \left\{ \left| (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p + \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p \right\}} \quad (5.28)$$

burada $p=1,2,...,n$, $k = (0,5q^2 + 1,5q - 0,333)/(q^2 + 3q + 1)$, $k \in \left[\frac{1}{3}, \frac{1}{2} \right]$ ve w_i ağırlık

vektörüdür, $w_i \in [0,1]$ ve $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

İspat.

A(1) Eş. 5.6 ile w_i çarpıldığında kolayca aşağıdaki denklem elde edilir:

$$0 \leq w_i \left| (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} \right) \right|^p \leq w_i \quad (5.29)$$

Bu eşitsizlik Eş. 5.30 şeklinde yazılabilir:

$$0 \leq \sum_{i=1}^n w_i \left| (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} \right) \right|^p \leq \sum_{i=1}^n w_i \quad (5.30)$$

$\sum_{i=1}^n w_i = 1$ olduğundan $\sum_{i=1}^n w_i$ toplamı da bire eşittir. Aynı şekilde; Eş. 5.11 w_i ile çarpıldığında Eş. 5.31'e ulaşılır:

$$0 \leq w_i \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p \leq w_i \quad (5.31)$$

Bu ifade de aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$0 \leq \sum_{i=1}^n w_i \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p \leq \sum_{i=1}^n w_i \quad (5.32)$$

Sonuç olarak; $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ olduğundan, Eş. 5.30 ve Eş. 5.32 kullanılarak aşağıdaki formül elde edilir (Eş.5.33):

$$0 \leq \sqrt[p]{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n w_i \left\{ \left| (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} \right) \right|^p + \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p \right\}} \leq 1 \quad (5.33)$$

Böylece, $0 \leq D_w(A, B) \leq 1$ koşulu sağlanmış olur.

A(2) A ve B iki q-ROF kümesi ise $\mu_A(x_i) = \mu_B(x_i)$, $v_A(x_i) = v_B(x_i)$ ve $\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i) = 0$ ve $v_A(x_i) - v_B(x_i) = 0$ olur. Böylece ağırlıklandırılmış uzaklık ölçüsü $D_w(A, B)$ sıfıra eşit olur.

A(3) Eş. 5.14 ve Eş. 5.16'da her iki taraf w_i ile çarpıldığında Eş. 5.34 ve 5.35 elde edilir:

$$\begin{aligned} & w_i \left| (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} \right) \right|^p \\ &= w_i \left| (1-k)(\mu_B(x_i) - \mu_A(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} \right) \right|^p \end{aligned} \quad (5.34)$$

$$\begin{aligned} & w_i \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p \\ &= w_i \left| (1-k)(v_B(x_i) - v_A(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} \right) \right|^p \end{aligned} \quad (5.35)$$

Böylece, $D_w(A, B) = D_w(B, A)$ koşulu sağlanır.

A(4) Eş. 5.23 ve Eş. 5.27'nin her biri w_i ile çarpıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

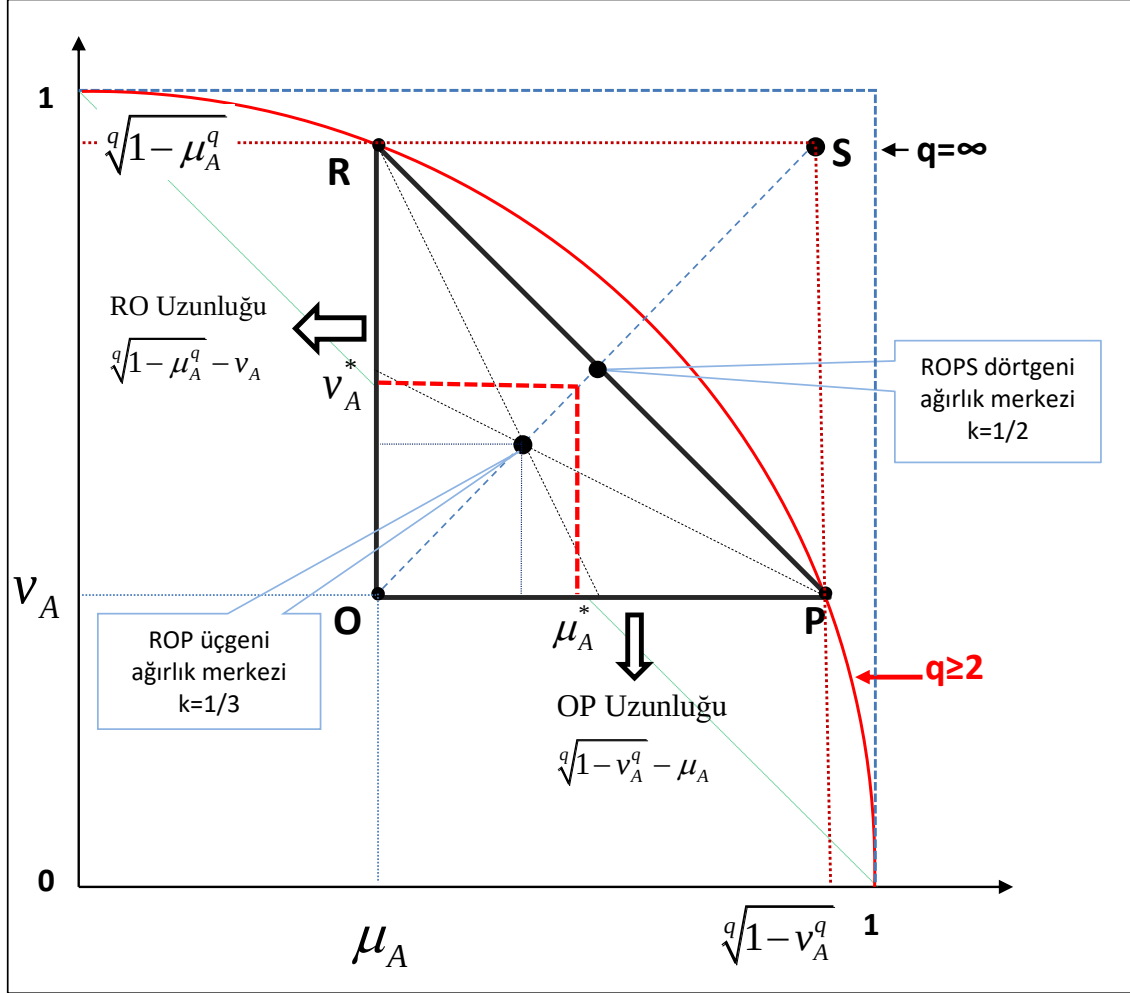
$$w_i \left| (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_C(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_C^q(x_i)} \right) \right|^p \geq w_i \left| (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-v_B^q(x_i)} \right) \right|^p \quad (5.36)$$

$$\begin{aligned} & w_i \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_C(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_C^q(x_i)} \right) \right|^p \\ & \geq w_i \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1-\mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1-\mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p \end{aligned} \quad (5.37)$$

Her durumda $w_i \geq 0$ olduğundan $D_w(A, C) \geq D_w(A, B)$ sonucu elde edilir.

$D_w(A, C) \geq D_w(B, C)$ eşitsizliği de benzer şekilde elde edilir.

Böylece, birinci teoride olduğu gibi ikinci teoride de ileri sürülen dört koşul da (A1)-(A4), sağlandığından $D_w(A, B)$ formülünün A ve B q-ROF kümeleri arasında bir uzaklık ölçüsü olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 5.1. Önerilen Uzaklık Ölçüsü

5.2. Yeni Uzaklık Ölçüsünün Açıklanması

Bu kısımda, yeni uzaklık ölçüsü ve önerilen formülde kullanılan k parametresinin nasıl elde edildiği açıklanmıştır. (μ_A, v_A) ve (μ_B, v_B) iki q-ROF sayısı olsun, bu sayıların uzaklık ölçüsünün basit formülü Eş. 5.38 ile ifade edilebilir:

$$D(A, B) = p \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left\{ |\mu_A^* - \mu_B^*|^p + |v_A^* - v_B^*|^p \right\}} \quad (5.38)$$

Şekil 5.1’de gösterilen koordinat düzleminde aşağıdaki denklemler elde edilebilir:

$$\mu_A^* = \mu_A + k \left(\sqrt[q]{1 - v_A^q} - \mu_A \right)$$

$$v_A^* = v_A + k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_A^q} - v_A \right)$$

$$\mu_B^* = \mu_B + k \left(\sqrt[q]{1 - v_B^q} - \mu_B \right)$$

$$v_B^* = v_B + k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_B^q} - v_B \right)$$

$$\text{burada } k = (0,5q^2 + 1,5q - 0,333) / (q^2 + 3q + 1), \quad k \in \left[\frac{1}{3}, \frac{1}{2} \right] \quad (5.39)$$

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi k parametresi q seviyesine göre ortaya çıkan grafiğin alanına göre değişiklik arz etmektedir. $q=1$ durumunda q -ROF bir sezgisel bulanık sayı olmakta ve tereddütlük alanı ROP üçgeni şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu durumda formül kullanıldığında k parametresi $1/3$ olarak bulunmaktadır. $q=2$ olduğunda q -ROF Pisagor bulanık sayı olarak karşımıza çıkar ve tereddüttün alanı ROP çeyrek elipsi olduğu gözlenir. Bu durumda da k parametresi önerilen formülle $0,424272$ olarak hesaplanmaktadır. $q=\infty$ olduğunda ise ROPS alanı bir dikdörtgen olmakta ve k parametresi $\lim_{q \rightarrow \infty} \{(0,5q^2 + 1,5q - 0,333) / (q^2 + 3q + 1)\} = 0,5$ olduğundan $0,5$ ’e eşit olmaktadır. Aslında k katsayısı her bir q seviyesi için oluşan şekillerin ağırlık merkezine göre değişmektedir.

Bu varsayıma dayanarak aşağıdaki formül elde edilir:

$$D(A, B) = \sqrt[p]{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left\{ \left| \left(\mu_A + k \left(\sqrt[q]{1 - v_A^q} - \mu_A \right) \right) - \left(\mu_B + k \left(\sqrt[q]{1 - v_B^q} - \mu_B \right) \right) \right|^p + \left| \left(v_A + k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_A^q} - v_A \right) \right) - \left(v_B + k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_B^q} - v_B \right) \right) \right|^p \right\} }, \quad (5.40)$$

$$k \in \left[\frac{1}{3}, \frac{1}{2} \right]$$

Sonrasında denklemin ilk bölümü aşağıdaki şekilde sadeleştirilir:

$$\begin{aligned}
& \left| \mu_A + k \left(\sqrt[q]{1 - v_A^q} - \mu_A \right) - \left(\mu_B + k \left(\sqrt[q]{1 - v_B^q} - \mu_B \right) \right) \right| = \left| \mu_A - k(\mu_A) + k \left(\sqrt[q]{1 - v_A^q} \right) - \mu_B + k(\mu_B) - k \left(\sqrt[q]{1 - v_B^q} \right) \right| \\
& \left| \mu_A(1-k) + k \left(\sqrt[q]{1 - v_A^q} \right) - \mu_B(1-k) - k \left(\sqrt[q]{1 - v_B^q} \right) \right| = \left| (1-k)(\mu_A - \mu_B) + k \left(\sqrt[q]{1 - v_A^q} - \sqrt[q]{1 - v_B^q} \right) \right|
\end{aligned} \quad (5.41)$$

Denklemin ikinci kısmı için de aynı yöntem kullanılabilir:

$$\begin{aligned}
& \left| v_A + k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_A^q} - v_A \right) - \left(v_B + k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_B^q} - v_B \right) \right) \right| = \left| v_A - k(v_A) + k \left(\sqrt[q]{1 - v_A^q} \right) - v_B + k(v_B) - k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_B^q} \right) \right| \\
& \left| v_A(1-k) + k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_A^q} \right) - v_B(1-k) - k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_B^q} \right) \right| = \left| (1-k)(v_A - v_B) + k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_A^q} - \sqrt[q]{1 - \mu_B^q} \right) \right|
\end{aligned} \quad (5.42)$$

Böylece önerilen uzaklık ölçüsünün sadeleştirilmiş versiyonu Eş. 5.41 ve Eş. 5.42 kullanılarak aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$D(A, B) = \sqrt[p]{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left\{ \left| (1-k)(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1 - v_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1 - v_B^q(x_i)} \right) \right|^p + \left| (1-k)(v_A(x_i) - v_B(x_i)) + k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_A^q(x_i)} - \sqrt[q]{1 - \mu_B^q(x_i)} \right) \right|^p \right\}} \quad (5.43)$$

burada $p=1,2,3,\dots,n$ ve $k = (0,5q^2 + 1,5q - 0,333)/(q^2 + 3q + 1)$, $k \in \left[\frac{1}{3}, \frac{1}{2} \right]$

5.3. Önerilen Uzaklık Ölçüsünün Mevcut Ölçülerle Kıyaslanması

Önerilen uzaklık ölçüsü, öncelikle literatürde birçok uygulaması bulunan sezgisel bulanık ölçülerle, müteakiben daha az sayıda çalışma yapılan q seviyeli bulanık ölçülerle karşılaştırılmıştır.

5.3.1. Sezgisel bulanık ölçülerle kıyaslanması

Bu alt bölümde literatürde mevcut uzaklık sezgisel bulanık ölçüleri ile tezde önerilen uzaklık ölçüsünün (S_{PB}) kıyaslaması yapılmıştır. Çizelge 5.2’de literatürde mevcut benzerlik ölçülerin uyumsuzluk durumları tespit edilmiştir. Örneğin $A=(0,3;0,3)$ ve $B=(0,4;0,4)$ için

Çizelge 5.1. Mevcut Benzerlik Ölçüleri, (a) SB, (b) q-ROF sayılar için.

Yazar	Benzerlik Ölçüsü (SB)	
Chen (1995)	$S_C(A, B) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_A(x_i) - v_A(x_i)) - (\mu_B(x_i) - v_B(x_i)) }{2n}$	
Hong and Kim (1999)	$S_H(A, B) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)) - (v_A(x_i) - v_B(x_i)) }{2n}$	
Fan and Zhangyan (2001)	$S_L(A, B) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \{ (\mu_A(x_i) - v_A(x_i)) - (\mu_B(x_i) - v_B(x_i)) + \mu_A(x_i) - \mu_B(x_i) + v_A(x_i) - v_B(x_i) \}}{4n}$	
Li et al. (2002)	$S_O(A, B) = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i))^2 + (v_A(x_i) - v_B(x_i))^2}{2n}}$	
Dengfeng and Chuntian (2002)	$S_{DC}(A, B) = 1 - \sqrt[p]{\frac{\sum_{i=1}^n \psi_A(x_i) - \psi_B(x_i) ^p}{n}}$	$\begin{aligned} \psi_A(x_i) &= (\mu_A(x_i) + 1 - v_A(x_i)) / 2 \\ \psi_B(x_i) &= (\mu_B(x_i) + 1 - v_B(x_i)) / 2 \end{aligned}$
Mitchell (2003)	$\rho_\mu(A, B) = 1 - \sqrt[p]{\frac{\sum_{i=1}^n \mu_A(x_i) - \mu_B(x_i) ^p}{n}}$	$\rho_v(A, B) = 1 - \sqrt[p]{\frac{\sum_{i=1}^n v_A(x_i) - v_B(x_i) ^p}{n}}$
Liang and Shi (2003)	$S_e^p(A, B) = 1 - \sqrt[p]{\frac{\sum_{i=1}^n \phi_\mu(x_i) + \phi_v(x_i) ^p}{n}}$	$\begin{aligned} \phi_\mu(x_i) &= \mu_A(x_i) - \mu_B(x_i) / 2 \\ \phi_v(x_i) &= (1 - v_A(x_i)) - (1 - v_B(x_i)) / 2 \end{aligned}$
Liang and Shi (2003)	$S_s^p(A, B) = 1 - \sqrt[p]{\frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{s1}(x_i) + \varphi_{s2}(x_i) ^p}{n}}$ $\begin{aligned} \varphi_{s1}(x_i) &= m_{A1}(x_i) - m_{B1}(x_i) / 2, \quad \varphi_{s1}(x_i) = m_{A2}(x_i) - m_{B2}(x_i) / 2 \\ m_{A1}(x_i) &= \mu_A(x_i) + m_A(x_i) / 2, \quad m_{B1}(x_i) = \mu_B(x_i) + m_B(x_i) / 2, \\ m_{A2}(x_i) &= 1 - v_A(x_i) + m_A(x_i) / 2, \quad m_{B1}(x_i) = 1 - v_B(x_i) + m_B(x_i) / 2, \\ m_{A1}(x_i) &= \mu_A(x_i) + 1 - v_A(x_i) / 2, \quad m_{B1}(x_i) = \mu_B(x_i) + 1 - v_B(x_i) / 2 \end{aligned}$	
Liang and Shi (2003)	$S_h^p(A, B) = 1 - \sqrt[p]{\frac{\sum_{i=1}^n (\eta_1(i) + \eta_2(i) + \eta_3(i))^p}{3n}}$	$\begin{aligned} \eta_1(i) &= \phi_\mu(x_i) + \phi_v(x_i) (S_e^p) \\ \eta_2(i) &= \psi_A(x_i) - \psi_B(x_i) (S_{DC}) \\ \eta_3(i) &= maks(l_A(i), l_B(i)) - \min(l_A(i), l_B(i)) \\ l_A(i) &= (1 - \mu_A(x_i) - v_A(x_i)) / 2 \quad l_B(i) = (1 - \mu_B(x_i) - v_B(x_i)) / 2 \end{aligned}$
Hung and Yang (2004)	$S_{HY}^1(A, B) = 1 - d_H(A, B) \quad S_{HY}^2(A, B) = \frac{e^{-d_H(A, B)} - e^{-1}}{1 - e^{-1}} \quad S_{HY}^3(A, B) = \frac{1 - d_H(A, B)}{1 + d_H(A, B)}$ $d_H(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n maks(\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i) , v_A(x_i) - v_B(x_i))$	
Ye (2011)	$C_{IFS}(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i) \mu_B(x_i) + v_A(x_i) v_B(x_i)}{\sqrt{\mu_A^2(x_i) + v_A^2(x_i)} \sqrt{\mu_B^2(x_i) + v_B^2(x_i)}}$	

(a)

Yazar	Benzerlik Ölçüsü (q-ROF)
Du (2018)	$S_{Euclid}(A, B) = 1 - \left(\frac{1}{2} \left(\mu_A^q(x_i) - \mu_B^q(x_i) \right)^2 + \frac{1}{2} \left(v_A^q(x_i) - v_B^q(x_i) \right)^2 \right)^{1/2}$ $S_{Hamming}(A, B) = 1 - \left\{ \frac{1}{2} \left(\left \mu_A^q(x_i) - \mu_B^q(x_i) \right + \left v_A^q(x_i) - v_B^q(x_i) \right \right) \right\}$
Wang vd. (2019)	$q-ROFC^1(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\mu_A^q(x_i) \times \mu_B^q(x_i) + v_A^q(x_i) \times v_B^q(x_i)}{\sqrt{(\mu_A^q(x_i))^2 + (v_A^q(x_i))^2} \times \sqrt{(\mu_B^q(x_i))^2 + (v_B^q(x_i))^2}}$ $q-ROFC^2(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\mu_A^q(x_i) \times \mu_B^q(x_i) + v_A^q(x_i) \times v_B^q(x_i) + \pi_A^q(x_i) \times \pi_B^q(x_i)}{\sqrt{(\mu_A^q(x_i))^2 + (v_A^q(x_i))^2 + (\pi_A^q(x_i))^2} \times \sqrt{(\mu_B^q(x_i))^2 + (v_B^q(x_i))^2 + (\pi_B^q(x_i))^2}}$

(b)

Çizelge 5.2. Mevcut Benzerlik Ölçülerinin Önerilen Ölçü (SPB) ile Kıyaslanması
(Değerler Boran ve Akay, 2014) (uyumsuzluk durumu italik fontla
gösterilmiştir) ($S_{HB}, S_e^p, S_s^p, S_h^p$ için p=1 ve S_{PB} için p=1, q=3 alınmıştır.)

	1	2	3	4	5	6
A	(0,3;0,3)	(0,3;0,4)	(1;0)	(0,5;0,5)	(0,4;0,2)	(0,4;0,2)
B	(0,4;0,4)	(0,4;0,3)	(0;0)	(0;0)	(0,5;0,3)	(0,5;0,2)
S_C	1	0,9	0,5	1	1	0,95
S_H	0,9	0,9	0,5	0,5	0,9	0,95
S_L	0,95	0,9	0,5	0,75	0,95	0,95
S_O	0,9	0,9	0,3	0,5	0,9	0,93
S_{DC}	1	0,9	0,5	1	1	0,95
S_{HB}	0,9	0,9	0,5	0,5	0,9	0,95
S_e^p	0,9	0,9	0,5	0,5	0,9	0,95
S_s^p	0,95	0,9	0,5	0,75	0,95	0,95
S_h^p	0,93	0,933	0,5	0,67	0,93	0,95
S_{HY}^1	0,9	0,9	0	0,5	0,9	0,9
S_{HY}^2	0,85	0,85	0	0,38	0,85	0,85
S_{HY}^3	0,82	0,82	0	0,33	0,82	0,82
C_{IFS}	1	0,96	0	0	0,9971	0,9965
$S_{Öklid}$	0,9	0,99	0,5	0,75	0,99	0,995
$S_{Hamming}$	0,9	0,9	0,5	0,5	0,9	0,95
S_{PB}	0,951	0,94	0,5	0,748	0,952	0,968

$S_C(A,B)=S_{DC}(A,B)=C_{IFS}(A,B)=1$ olduğunda $S_C(A,B)$, $S_{DC}(A,B)$, $C_{IFS}(A,B)$ ölçütleri ispat bölümünde açıklanan bir uzaklık ölçüsü olabilmesi için gerekli koşullardan ikinci aksiyomu (A2) sağlamamaktadır. Benzer şekilde $A=(0,5;0,5)$, $B=(0;0)$ ve $A=(0,4;0,2)$, $B=(0,5;0,3)$ durumunda $S_C(A,B)$ ve $S_{DC}(A,B)$ ölçüleri A2 koşulunu sağlamaz. Bazı benzerlik ölçülerinin pozitif ve negatif farkı ayırt edemediği durumlar oluşmaktadır. Örneğin; $A=(0,3;0,3)$, $B=(0,4;0,4)$, $C=(0,3;0,4)$ ve $D=(0,4;0,3)$ olarak alındığında $S_H(A,B)=S_H(C,D)=0,9$ durumu oluşmaktadır. Benzer uyumsuzluk durumu S_O , S_{HB} , S_e^p , S_h^p , S_{HY}^1 , S_{HY}^2 ve S_{HY}^3 ölçülerinde de görülmektedir. $A=(1,0)$, $B=(0,0)$ ve $C=(0,5;0,5)$ değerleri alındığında $S_H(A,B)$ ve $S_H(C,B)$ uzaklıklarının her ikisi de 0,5'e eşit olmaktadır. Aynı durum S_{HB} , S_e^p ve C_{IFS} ölçüleri kullanıldığında da oluşmaktadır. Benzer durum $A=(0,4;0,2)$, $B=(0,5;0,3)$, $C=(0,5;0,2)$ alındığında $S_L(A,B)=S_L(A,C)=0,95$ 'e eşit olmaktadır.

Diğer bir problem de $A=(0,4;0,2)$, $B=(0,5;0,3)$, $C=(0,5;0,2)$ aldığımızda ortaya çıkmaktadır. Skor ve doğruluk fonksiyonları dikkate alındığında $C \geq B \geq A$ olduğu durumda A ve B arasındaki benzerlik A ve C arasındaki benzerliğe eşit veya daha büyük olmak zorundadır. Fakat S_H , S_O , S_{HB} , S_e^p ve S_h^p benzerlik ölçütlerinde $A=(0,4;0,2)$, $B=(0,5;0,3)$, $C=(0,5;0,2)$ değerleri alındığında bu durumun aksi gözlemlenmektedir. Sonuç olarak bu çalışmada önerilen uzaklık ölçüsü (S_{PB}) bu koşulların tamamını sağlamaktadır.

5.3.2. q Seviyeli bulanık ölçülerle kıyaslanması

Literatürde q seviyeli bulanık sayılar için Du (2018) tarafından önerilen Minkowski tipi benzerlik ölçüleri olan Hamming ($S_{Hamming}$) ve Öklid ($S_{Öklid}$) ölçüleri ve Wang vd. (2019) tarafından önerilen kosinüs benzerlik ölçüleri ile önerilen ölçü kıyaslanmış sezgisel bulanık ölçülerde rastlanan uyumsuzluk sorunlarının benzerleri görülmüştür. Sonuçta mevcut benzerlik ölçülerinde bir benzerlik ölçüsünde olması gereken koşulları sağlama noktasında birçok uyumsuzluklar gözlenmiş ve Çizelge 5.3, 5.4 ve 5.5'de sunulmuştur.

Bu çalışmada q seviyeli bulanık sayılar için önerilen benzerlik ölçüsü (S_{PB}) bu koşulların tamamını sağlamaktadır. Çalışmada uzaklıklar benzerlik ölçüsü cinsinden alınmış $\{S(A,B) = 1 - D(A,B)\}$, uyumsuzluklar italik fontla gösterilmiş, parametreler $q=3$ ve $p=1$ olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 5.3. Hamming uzaklık ölçüsünün kıyaslanması

	1	2	3	4	5	6
<i>A</i>	(0;0,5)	(0,2;0,7)	(0,5;0,4)	(0,2;0,5)	(0,3;0,3)	(0,3;0,4)
<i>B</i>	(0,5;0,6)	(0,7;0,8)	(0,8;0,6)	(0,5;0,6)	(0,4;0,4)	(0,4;0,3)
<i>C</i>	(0,4;0,2)	(0,5;0)	(0,7;0,2)	(0,4;0,1)	-	-
<i>Sıralama</i>	$C > B > A$	$C > B > A$	$C > B > A$	$C > B > A$	$B > A$	$B > A$
$S_{Hamming}(A,B)$	0,892	0,748	0,7305	0,896	0,963	0,963
$S_{Hamming}(B,C)$	0,8655	0,635	0,8115	0,862	-	-
$S_{Hamming}(A,C)$	0,9095	0,77	0,863	0,91	-	-
$S_{PB}(A,B)$	0,8546	0,88	0,9154	0,9084	0,95142	0,93981
$S_{PB}(B,C)$	0,8861	0,7964	0,8999	0,8594	-	-
$S_{PB}(A,C)$	0,7953	0,6889	0,8669	0,8226	-	-

Hamming ölçüsünün sonuçları incelendiğinde birçok uyumsuzluk göze çarpmaktadır. Çizelge 5.3'ün ilk dört sütunundaki değerlerde Hamming ölçüsünde A(4) aksiyomunun sağlanmadığı görülmektedir. Birinci sütunda $A=(0;0,5)$, $B=(0,5;0,6)$ ve $C=(0,4;0,2)$ değerlerinin skor fonksiyonuna göre $C > B > A$ olması nedeniyle $S(A,C) < S(A,B)$ ve $S(A,C) < S(B,C)$ eşitsizliklerinin sağlanması gerekirken $S_{Hamming}(A,C)$ değerinin üç benzerlik arasında en büyük değer olduğu görülmektedir. Aynı problem 2,3 ve 4. Sütunlarda da görülmekte, $S_{Hamming}(A,C)$ değeri her üç sütunda da diğer benzerlik değerlerinden büyük hesaplanmaktadır. Hamming ölçüsünün pozitif ve negatif farkları da ayırt edemediği 5 ve 6. sütunlardaki ölçümlerde gözlenmiştir. Birbirinden farklı değerleri örneğin 5. sütunda $A=(0,3;0,3)$, $B=(0,4;0,4)$ ve 6.sütunda $A=(0,3;0,4)$ ve $B=(0,4;0,3)$ değerlerinin benzerlikleri 0,963 olarak yani aynı değer hesaplanmıştır.

Öklid ölçüsünün de A(4) aksiyomunu sağlama konusunda hatalı sonuçlar verdiği görülmektedir. Çizelge 5.4'e göre birinci durumda $A=(0,1;0,9)$, $B=(0,1;0,6)$, $C=(0,7;0,8)$ ve $C > B > A$ olduğundan skor fonksiyonuna göre $S_{Öklid}(A,C)$ en küçük değer olması gerekirken yine $S_{Öklid}(A,B)$ ve $S_{Öklid}(B,C)$ 'den büyük hesaplanmıştır. Yine 2,3 ve 4. durumlarda da aynı sorunla karşılaşmış, her birinde $C > B > A$ olmasında rağmen $S_{Öklid}(A,C)$ en büyük değer olarak hesaplanmıştır. Hamming gibi Öklid ölçüsü de pozitif ve negatif farkları da ayırt edemediği 5 ve 6. sütunlardaki ölçümlerle gözlenmiştir. 5 ve 6. Sütunda bulunan farklı değerlerin benzerlikleri 0,963 olarak yani aynı değer hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4. Öklid uzaklık ölçüsünün kıyaslanması

	1	2	3	4	5	6
<i>A</i>	(0,1;0,9)	(0,4;0,5)	(0,1;0,7)	(0,6;0,9)	(0,3;0,3)	(0,3;0,4)
<i>B</i>	(0,1;0,6)	(0,8;0,7)	(0,7;0,8)	(0,3;0,5)	(0,4;0,4)	(0,4;0,3)
<i>C</i>	(0,7;0,8)	(0,7;0,4)	(0,5;0,3)	(0,8;0,7)	-	-
<i>Sıralama</i>	$C > B > A$	$C > B > A$	$C > B > A$	$C > B > A$	$B > A$	$B > A$
$S_{Öklid}(A,B)$	0,6372	0,6477	0,73	0,5524	0,963	0,963
$S_{Öklid}(B,C)$	0,68	0,7693	0,624	0,624	-	-
$S_{Öklid}(A,C)$	0,7135	0,798	0,76	0,656	-	-
$S_{PB}(A,B)$	0,8557	0,9	0,853	0,896	0,95142	0,93981
$S_{PB}(B,C)$	0,8492	0,9347	0,876	0,876	-	-
$S_{PB}(A,C)$	0,7496	0,8614	0,744	0,81	-	-

Wang vd. (2019) q -ROFC¹ ve q -ROFC² adında q seviyeli bulanık kümeler için iki kosinüs uzaklık ölçüsü önermişlerdir. Bu ölçüler Çizelge 5.5'teki değerler ile test edildiğinde birçok uyumsuzluk görülmüştür. Örneğin 6. sütunda her iki ölçü için sıfıra bölünme hatası gözlenmiştir. 4 ve 5. sütunlar incelendiğinde A(4) aksiyomuna uyumsuzluk gözlenmiştir. Şöyle ki; 4. durumda, $A=(0,7;0,8)$, $B=(0,1;0,2)$, $C=(0,8;0,2)$, ve $C > B > A$ olmasına rağmen her ki ölçü S_{q-ROFC}^1 ve S_{q-ROFC}^2 için $S(A,C)$ diğer benzerliklerden büyük olarak hesaplanmıştır. Aynı uyumsuzluk her iki ölçü için 5.sütundaki değerlerin ölçümünde de görülmektedir.

Çizelge 5.5. Kosinüs uzaklık ölçülerinin kıyaslanması (* sıfıra bölünme hatası)

	1	2	3	4	5	6
<i>A</i>	(0,8;0)	(0,2;0,1)	(0,4;0)	(0,7;0,8)	(0,6;0,9)	(0,9;0,5)
<i>B</i>	(0;0,3)	(0,8;0,4)	(0,8;0)	(0,1;0,2)	(0,1;0,3)	(0;0)
<i>C</i>	(0,9;0)	(0,4;0,2)	(0,5;0)	(0,8;0,2)	(0,8;0,6)	-
<i>Sıralama</i>	$C > A > B$	$B > C > A$	$B > C > A$	$C > B > A$	$C > B > A$	$A > B$
$S_{q-ROFC}^1(A,B)$	0	1	1	0,8934	0,9686	*
$S_{q-ROFC}^1(B,C)$	0	1	1	0,1395	0,4225	-
$S_{q-ROFC}^1(A,C)$	1	1	1	0,5694	0,6344	-
$S_{q-ROFC}^2(A,B)$	0,8389	0,8653	0,9169	0,838	0,8235	*
$S_{q-ROFC}^2(B,C)$	0,7739	0,9172	0,9479	0,8451	0,8546	-
$S_{q-ROFC}^2(A,C)$	0,9938	0,9933	0,9963	0,866	0,8668	-
$S_{PB}(A,B)$	0,65	0,808	0,8476	0,75	0,7969	0,7097
$S_{PB}(B,C)$	0,5911	0,8847	0,8798	0,7612	0,7922	-
$S_{PB}(A,C)$	0,94	0,9233	0,9678	0,743	0,7705	-

Çizelge 5.5.'te ilk 3 sütun incelendiğinde bir uyumsuzluk da S_{q-ROFC}^1 ölçüsü için görülmektedir. Burada $A = (0,8;0)$, $B = (0;0,3)$, ve $C = (0,9;0)$ gibi farklı değerler için $S_{q-ROFC}^1(A,B) = S_{q-ROFC}^1(B,C) = 0$ sonucu mantıklı değildir. Bunun yanında Çizelge 5.5.'te 2 ve 3. sütunlarda bulunan farklı değerlerin benzerlik ölçülerinin 1 olarak hesaplanması yani hepsinin tam benzerlikte görülmesi aynı sayılar için geçerli olacağından söz konusu durum bu ölçünün bir hatası olarak gözlenmiştir. Sonuç olarak önerilen uzaklık ölçüsü tüm bu değerlerde hatasız sonuçlar vermiştir.

6. YENİ UZAKLIK ÖLÇÜSÜ VE Q SEVİYELİ BULANIK SAYILARLA GELİŞTİRİLEN ÇKKV METOTLARI

Bu bölümde, 5. Bölümde önerilen uzaklık ölçüsü kullanılarak literatürde mevcut TOPSIS ve ELECTRE metotları q seviyeli bulanık sayılara yönelik olarak geliştirilmiştir. Geliştirilen q-ROF TOPSIS ve q-ROF ELECTRE yöntemleri aşamalar halinde açıklanmıştır.

6.1. q-ROF TOPSIS Metodu

TOPSIS metodunda kullanılacak alternatifler kümesi $A = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_m\}$, kriterler kümesi de $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ olsun. Q seviyeli bulanık küme için önerilen TOPSIS metodunun aşamaları aşağıdaki şekildedir (Pınar ve Boran, 2020):

Aşama 1. Karar vericilerin (KV) ağırlıklarının belirlenmesi.

Karar vericilerin değerlendirildikleri dilsel terimler q seviyeli bulanık sayılarla ifade edilirler. Mesela l adet karar vericiden k 'nci karar vericinin performansını değerlendirmek için $D_k = [\mu_k, v_k, \pi_k]$ q-ROF sayısı kullanılır. Söz konusu karar vericiyi değerlendirmek için q-ROF sayısının skor fonksiyonu (Wang ve Li 2018; Wei vd. 2018) Eş. 6.1'deki formül yardımıyla hesaplanır:

$$\lambda_k = \frac{(1 + \mu_k^q - v_k^q)}{\sum_{k=1}^l (1 + \mu_k^q - v_k^q)} \text{ ve } \sum_{k=1}^l \lambda_k = 1 \quad (6.1)$$

Aşama 2. KV'lerin Görüşleri ile Birleştirilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması.

Başlangıçta KV'ler tarafından dilsel terimlerle değerlendirilen alternatifler müteakiben q-ROF sayı sistemine dönüştürülür. Örneğin $\alpha_k = \langle \mu_k, v_k \rangle (k = 1, 2, 3, \dots, l)$ şeklinde ifade edilen q-ROF sayıları ile önceki adımda bulunan KV ağırlıkları (λ_k) Liu ve Wang (2018) tarafından önerilen ve aşağıda formülü verilen q-ROFWA operatörü kullanılarak bu aşamada birleştirilir.

$$q-ROFWA(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_l) = \left\langle \left(1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_k^q)^{\lambda_k} \right)^{1/q}, \prod_{k=1}^l v_k^{\lambda_k} \right\rangle \quad (6.2)$$

Birleştirilmiş q-ROF karar matrisi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$R = \begin{bmatrix} \mu_{A_1}(x_1), v_{A_1}(x_1), \pi_{A_1}(x_1) & \mu_{A_1}(x_2), v_{A_1}(x_2), \pi_{A_1}(x_2) & \dots & \mu_{A_1}(x_n), v_{A_1}(x_n), \pi_{A_1}(x_n) \\ \mu_{A_2}(x_1), v_{A_2}(x_1), \pi_{A_2}(x_1) & \mu_{A_2}(x_2), v_{A_2}(x_2), \pi_{A_2}(x_2) & \dots & \mu_{A_2}(x_n), v_{A_2}(x_n), \pi_{A_2}(x_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{A_m}(x_1), v_{A_m}(x_1), \pi_{A_m}(x_1) & \mu_{A_m}(x_2), v_{A_m}(x_2), \pi_{A_m}(x_2) & \dots & \mu_{A_m}(x_n), v_{A_m}(x_n), \pi_{A_m}(x_n) \end{bmatrix}$$

$R = (r_{ij})_{m \times n}$, burada $(\mu_{A_i}(x_j), v_{A_i}(x_j), \pi_{A_i}(x_j))$, $(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$.

Aşama 3. Değerlendirme kriterlerinin önem derecelerinin belirlenmesi.

Değerlendirmede kullanılacak kriterler genellikle farklı derecelerde önem arz edebilir. Önem derecesini belirtmekte kullanılan W 'nin hesaplanabilmesi için tüm KV'lerin dilsel değişkenler şeklinde alınan değerlendirmeleri q-ROF sayılara çevrilir ve aşağıdaki formülle skor fonksiyonları hesaplanır:

$$W_j = \frac{\sum_{k=1}^l \lambda_k (1 + \mu_k^q - v_k^q)}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \lambda_k (1 + \mu_k^q - v_k^q)} \quad (6.3)$$

Burada, $W = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_n]$.

Aşama 4. Birleştirilmiş ve ağırlıklandırılmış q-ROF karar matrisinin oluşturulması.

Üçüncü bölümde hesaplanan ağırlıklar ikinci bölümde oluşturulan matrisle Eş. 6.4'teki formül kullanılarak birleştirilir ve sonucunda birleştirilmiş ve ağırlıklandırılmış q-ROF karar matrisi oluşturulur (Liu and Wang 2018):

$$w_k \alpha_1 = \left\langle \left(1 - (1 - \mu_1^q)^{w_k} \right)^{1/q}, v_1^{w_k} \right\rangle, \pi_{A_i}(x_j) = \left\langle 1 - \mu_{A_i}^q(x_j) - v_{A_i}^q(x_j) \right\rangle^{1/q} \quad (6.4)$$

$r'_{ij} = (\mu'_{ij}, v'_{ij}, \pi'_{ij}) = \langle \mu_{A_W}(x_j), v_{A_W}(x_j), \pi_{A_W}(x_j) \rangle$ oluşturulan söz konusu matrisin bir elemanıdır ve burada $i = 1, 2, 3, \dots, m$; $j = 1, 2, 3, \dots, n$ şeklinde ifade edilir. Oluşturulan matris aşağıda sunulmuştur:

$$R' = \begin{bmatrix} \mu_{A_W}(x_1), v_{A_W}(x_1), \pi_{A_W}(x_1) & \mu_{A_W}(x_2), v_{A_W}(x_2), \pi_{A_W}(x_2) & \dots & \mu_{A_W}(x_n), v_{A_W}(x_n), \pi_{A_W}(x_n) \\ \mu_{A_2W}(x_1), v_{A_2W}(x_1), \pi_{A_2W}(x_1) & \mu_{A_2W}(x_2), v_{A_2W}(x_2), \pi_{A_2W}(x_2) & \dots & \mu_{A_2W}(x_n), v_{A_2W}(x_n), \pi_{A_2W}(x_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{A_mW}(x_1), v_{A_mW}(x_1), \pi_{A_mW}(x_1) & \mu_{A_mW}(x_2), v_{A_mW}(x_2), \pi_{A_mW}(x_2) & \dots & \mu_{A_mW}(x_n), v_{A_mW}(x_n), \pi_{A_mW}(x_n) \end{bmatrix}$$

Aşama 5. q-ROF Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Bulunması.

q-ROF Pozitif İdeal Çözüm (q-ROFPIS, A^*) kârı en büyüklerken maliyeti de en küçükler. Bunun aksine q-ROF Negatif İdeal Çözüm (q-ROFNIS, A^-) kârı en küçüklerken maliyeti de en büyükler. J_1 ve J_2 sırasıyla kar ve maliyet kriterleri olsun. q-ROFPIS'i A^* ile q-ROFNIS ise A^- ile gösterilsin. Bu durumda A^* ve A^- aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$A^* = \langle \mu_{A^*W}(x_j), v_{A^*W}(x_j) \rangle \quad \text{ve} \quad A^- = \langle \mu_{A^-W}(x_j), v_{A^-W}(x_j) \rangle \quad (6.5)$$

$$\mu_{A^*W}(x_j) = \left\langle \left\langle \max_i \mu_{A_W}(x_j) \mid j \in J_1 \right\rangle, \left\langle \min_i \mu_{A_W}(x_j) \mid j \in J_2 \right\rangle \right\rangle \quad (6.6)$$

$$v_{A^*W}(x_j) = \left\langle \left\langle \min_i v_{A_W}(x_j) \mid j \in J_1 \right\rangle, \left\langle \max_i v_{A_W}(x_j) \mid j \in J_2 \right\rangle \right\rangle \quad (6.7)$$

$$\mu_{A^-W}(x_j) = \left\langle \left\langle \min_i \mu_{A_W}(x_j) \mid j \in J_1 \right\rangle, \left\langle \max_i \mu_{A_W}(x_j) \mid j \in J_2 \right\rangle \right\rangle \quad (6.8)$$

$$v_{A^-W}(x_j) = \left\langle \left\langle \max_i v_{A_W}(x_j) \mid j \in J_1 \right\rangle, \left\langle \min_i v_{A_W}(x_j) \mid j \in J_2 \right\rangle \right\rangle \quad (6.9)$$

Aşama 6. Pozitif ve Negatif İdeal Çözüme Yakınlığın (Ayrım Ölçülerinin) Hesaplanması
q-ROF sayıları ile ifade edilen alternatiflerin arasındaki ayrım ölçülerinin hesaplanması için üçüncü bölümde detaylı olarak anlatılan uzaklık ölçüsü önerilmiştir. Her bir alternatifin q-ROFPIS ve q-ROFNIS ideal çözümleriyle arasındaki mesafeyi belirten ve S_i^* ile S_i^- olarak ifade edilen ayrım ölçüleri aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$S^+ = \sqrt[p]{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n \left\{ \left| (1-k)(\mu_{A^+W}(x_j) - \mu_{A^+W}(x_j)) + k \left(\sqrt[q]{1 - v_{A^+W}^q(x_j)} - \sqrt[q]{1 - v_{A^+W}^q(x_j)} \right) \right|^p + \right.} \quad (6.10)$$

$$S^- = \sqrt[p]{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n \left\{ \left| (1-k)(\mu_{A^-W}(x_j) - \mu_{A^-W}(x_j)) + k \left(\sqrt[q]{1 - v_{A^-W}^q(x_j)} - \sqrt[q]{1 - v_{A^-W}^q(x_j)} \right) \right|^p + \right.} \quad (6.11)$$

burada $p=1,2,...,n$ ve $k = (0,5q^2 + 1,5q - 0,333)/(q^2 + 3q + 1)$, $k \in \left[\frac{1}{3}, \frac{1}{2} \right]$

Aşama 7. İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın (C_{i^*}) Hesaplanması.

q-ROF ideal çözümüne yakınlık olarak gösterilen C_{i^*} aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$C_{i^*} = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \text{ burada } 0 \leq C_{i^*} \leq 1 \quad (6.12)$$

Aşama 8. Alternatiflerin Sıralanması.

İdeal çözümüne yakınlık katsayısının belirlenmesinden sonra alternatiflere ait C_{i^*} 'ler yukarıdan aşağıya doğru sıralanır.

6.2. q-ROF ELECTRE Metodu

Bu çalışmada önerilen ikinci metot olan q-ROF ELECTRE'nin aşağıda sunulduğu şekliyle sekiz aşaması bulunmaktadır (Pınar ve Boran, 2020; Wu ve Chen, 2011):

Aşama 1. Q-ROF ELECTRE Karar Matrisinin Belirlenmesi.

TOPSIS'in ikinci aşamasındaki gibi DM'ler alternatifleri dilsel terimleriyle derecelendirir, bir q-ROF sayısına dönüştürülür ve q-ROF karar matrisi aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$R = \begin{bmatrix} \mu_{A_1}(x_1), v_{A_1}(x_1), \pi_{A_1}(x_1) & \mu_{A_1}(x_2), v_{A_1}(x_2), \pi_{A_1}(x_2) & \dots & \mu_{A_1}(x_n), v_{A_1}(x_n), \pi_{A_1}(x_n) \\ \mu_{A_2}(x_1), v_{A_2}(x_1), \pi_{A_2}(x_1) & \mu_{A_2}(x_2), v_{A_2}(x_2), \pi_{A_2}(x_2) & \dots & \mu_{A_2}(x_n), v_{A_2}(x_n), \pi_{A_2}(x_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{A_m}(x_1), v_{A_m}(x_1), \pi_{A_m}(x_1) & \mu_{A_m}(x_2), v_{A_m}(x_2), \pi_{A_m}(x_2) & \dots & \mu_{A_m}(x_n), v_{A_m}(x_n), \pi_{A_m}(x_n) \end{bmatrix}$$

$$R = (r_{ij})_{m \times n}, (\mu_{A_i}(x_j), v_{A_i}(x_j), \pi_{A_i}(x_j)), (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n).$$

Kriterlerin TOPSIS'te olduğu gibi göreceli olarak birbirlerine üstünlükleri yani W ile sembolize edilen önem dereceleri olabilir ve x_1 den x_n 'e kadar olan söz konusu kriterlerin önem derecelerinin (ağırlıkların) toplamı her zaman 1'e eşittir.

Aşama 2. Uyum ve Uyumsuzluk Setlerinin Belirlenmesi.

Uyum setleri (concordance sets) k ve l gibi her bir alternatifin birbirine olan üstünlük ve tercih ilişkisini güçlü, vasat ve zayıf uyum setleri şeklinde sınıflandırılarak göstermektedir. Bu uyum setleri Alternatif k 'nın Alternatif l 'den daha iyi olduğu kriterlerden oluşur ve aşağıdaki şekilde formüle edilir:

Güçlü uyum seti C_{kl} :

$$C_{kl} = \{ \mu_{kj} \geq \mu_{lj}, v_{kj} < v_{lj} \text{ and } \pi_{kj} < \pi_{lj} \} \quad (6.13)$$

Vasat uyum seti C'_{kl} :

$$C'_{kl} = \{ \mu_{kj} \geq \mu_{lj}, v_{kj} < v_{lj} \text{ and } \pi_{kj} \geq \pi_{lj} \} \quad (6.14)$$

Zayıf uyum seti C''_{kl} :

$$C''_{kl} = \{ \mu_{kj} \geq \mu_{lj} \text{ and } v_{kj} \geq v_{lj} \} \quad (6.15)$$

Uyum setlerinin aksine uyumsuzluk setleri (D_{kl}) bir alternatifinin diğerine tercih edilmediği kriterleri gösterir ve yine güçlü, vasat ve zayıf uyumsuzluk setleri olarak üçe ayrılırlar. Uyum ve uyumsuzluk setleri birleştiğinde tüm kriterlerin içinde olduğu bir kümeyi oluştururlar.

Uyumsuzluk setleri aşağıdaki şekilde formüle edilebilir:

Güçlü uyumsuzluk seti (D_{kl}):

$$D_{kl} = \{ \mu_{kj} < \mu_{lj}, v_{kj} \geq v_{lj} \text{ and } \pi_{kj} \geq \pi_{lj} \} \quad (6.16)$$

Vasat uyumsuzluk seti (D'_{kl}):

$$D'_{kl} = \{ \mu_{kj} < \mu_{lj}, v_{kj} \geq v_{lj} \text{ and } \pi_{kj} < \pi_{lj} \} \quad (6.17)$$

Zayıf uyumsuzluk seti (D''_{kl}):

$$D''_{kl} = \{ \mu_{kj} < \mu_{lj} \text{ and } v_{kj} < v_{lj} \} \quad (6.18)$$

Karar vericiler tarafından önem derecelerine göre ağırlık değeri verilen bu setlerin ($C_{kl}, C'_{kl}, C''_{kl}$ ve $D_{kl}, D'_{kl}, D''_{kl}$) ağırlıkları sırasıyla $W_C, W_{C'}, W_{C''}, W_D, W_{D'}, W_{D''}$ ile gösterilir.

Aşama 3. Uyum Matrisinin Oluşturulması.

Uyum seti aslında uyum indeksine göre hazırlanır. Uyum indeksi ise uyum setindeki her bir kriterin ağırlıklarının toplamına göre Eş. 6.19'daki formül yardımıyla bulunur:

$$C_{kl} = W_C \times \sum_{j=C_{kl}} W_j + W_{C'} \times \sum_{j=C'_{kl}} W_j + W_{C''} \times \sum_{j=C''_{kl}} W_j \quad (6.19)$$

W_j birinci aşamada tanımlanan ve herbir alternatifin ağırlık değerini gösteren ağırlık katsayısıdır. $W_C, W_{C'}, W_{C''}$ ikinci aşamada tanımlanan ağırlık değerleridir.

Aşama 4. Uyumsuzluk Matrisinin Oluşturulması.

Matrisin hesaplanmasında kullanılan uyumsuzluk indeksi (d_{kl}) Eş. 6.20 ile formüle edilir:

$$d_{kl} = \frac{\max_{j \in \{D_{kl}, D'_{kl}, D''_{kl}\}} W_D^* \times dis(X_{kj}, X_{lj})}{\max_{j \in J} dis(X_{kj}, X_{lj})} \quad (6.20)$$

Burada alternatiflerin değerleri arasındaki uzaklık değeri $[dis(X_{kj}, X_{lj})]$ tezin konusunu teşkil eden ve 4.bölümde anlatılan uzaklık ölçüsü kullanılarak hesaplanır.

Aşama 5. Uyum Üstünlük Matrisinin Hesaplanması.

Uyum üstünlük matrisi, bu matrisin ortalama değerine eşit olan uyum indeksi eşik değeri $(\bar{c})$ baz alınarak oluşturulur.

$$\bar{c} = \frac{\sum_{k=1, k \neq l}^m \sum_{l=1, l \neq k}^m c_{kl}}{m \times (m-1)} \quad (6.21)$$

Uyum matrisindeki C_{kl} değerlerinin eşik değeri $\bar{c}$ 'yi geçtiği durumlarda 1, diğer durumlarda 0 değeri alınarak uyum üstünlük matrisinin (F) değerleri hesaplanır.

$$\text{Eğer } c_{kl} \geq \bar{c}, f_{kl} = 1 ; \quad \text{aksi halde } f_{kl} = 0 \quad (6.22)$$

F matrisindeki her 1 değeri söz konusu alternatifin diğerine üstün olduğunu gösterir.

Aşama 6. Uyumsuzluk Üstünlük Matrisinin Hesaplanması.

Beşinci aşamaya benzer şekilde, uyumsuzluk matrisinin eşik değeri $(\bar{d})$ Eş.6.23 ile hesaplanır ve G Uyumsuzluk Üstünlük Matrisinin elemanları (g_{kl}) eşik değere göre Eş. 6.24 kullanılarak 1 veya 0 değerini alır.

$$\bar{d} = \frac{\sum_{k=1, k \neq l}^m \sum_{l=1, l \neq k}^m d_{kl}}{m \times (m-1)} \quad (6.23)$$

$$\text{Eğer } d_{kl} \geq \bar{d}, g_{kl} = 1 ; \text{aksi halde } g_{kl} = 0 \quad (6.24)$$

Aşama 7. Baskınlık Matrisinin Oluşturulması.

Bu aşamada uyumluluk ve uyumsuzluk üstünlük matrislerinin kesişim kümesinden E baskınlık matrisi oluşturulur ve bu matrisin her bir elemanı (e_{kl}) Eş. 6.25 yardımı ile hesaplanır:

$$e_{kl} = f_{kl} \times g_{kl} \quad (6.25)$$

Aşama 8. Karar Noktalarının Önem Sıralamasının Belirlenmesi.

Önceki aşamada oluşturulan E matrisindeki $e_{kl} = 1$ ifadesi uyum ve uyumsuzluk baskınlık matrisleri kullanılarak k alternatifinin l alternatifine tercih edildiğini göstermektedir. Fakat bu k alternatifinin en iyi olduğunu göstermeye yetmez, çünkü bazı alternatifler de Alternatif k 'dan daha baskın olabilir. Eğer E matrisinin herhangi bir sütununda en az bir adet “1” değeri varsa bu o alternatife ilgili satırdaki alternatif tarafından literatüre geçen orijinal ifadesiyle “ELECTREcally” üstünlük sağlandığını gösterir. Bu nedenle “1” değeri içeren tüm sütunlar elenerek en iyi bulunur.

6.3. q-ROF TOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması

Eğer ELECTRE metodu tüm alternatiflerin hassas olarak sıralanmasına olanak tanımaz ise beşinci aşamadan itibaren q-ROF TOPSIS yönteminin bazı aşamaları ELECTRE ile aşağıda belirtilen şekilde bütünleşik olarak kullanılır.

Aşama 5b. Uyum Sıralama Matrisinin Pozitif İdeal Çözüm ile Hesaplanması.

Matrisin en yüksek değeri olan c^* 'den diğer değerler çıkarılarak Eş. 6.26 yardımı ile Uyum Sıralama Matrisi C' oluşturulur:

$$c'_{kl} = c^* - c_{kl} \quad (6.26)$$

Aşama 6b. Uyumsuzluk Sıralama Matrisinin Benzer Şekilde Oluşturulması.

Uyumsuzluk matrisindeki en yüksek değer olan d^* ile diğer değerlerin farkı alınır ve önceki aşamaya benzer şekilde Uyumsuzluk Sıralama Matrisi (D') Eş. 6.27 yardımı ile hesaplanır:

$$d'_{kl} = d^* - d_{kl} \quad (6.27)$$

Aşama 7b. Baskınlık Sıralama Matrisinin (U') Hesaplanması.

Baskınlık matrisi (U) önceki iki aşamada elde edilen değerlerin birleşimi ile Eş. 6.28'e benzer bir matris olarak elde edilir:

$$U = \begin{bmatrix} - & u_{12} & \cdots & u_{1m} \\ u_{21} & - & u_{22} & u_{2m} \\ \vdots & & & \\ u_{m1} & u_{m2} & u_{m(m-1)} & - \end{bmatrix} \quad (6.28)$$

U matrisinin her bir elemanı (u_{kl}) Eş. 6.29 ile bulunur:

$$u_{kl} = \frac{d'_{kl}}{c'_{kl} + d'_{kl}} \quad (6.29)$$

Aşama 8b. En İyi Alternatifin Belirlenmesi.

Eş. 6.30 yardımı ile u_{kl} 'nin ortalama değeri hesaplanır:

$$\bar{u}_k = \frac{1}{m-1} \sum_{l=1, l \neq k}^m u_{kl}, \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (6.30)$$

Ve en iyi alternatif A^* Eş.6.31 yardımı ile en yüksek değer alınarak bulunur:

$$A^* = maks \{ \bar{u}_k \} \quad (6.31)$$

Sonucu elde etmek için alternatifler (A_j) bu şekilde büyükten küçüğe doğru hesaplanarak en iyiden en kötüye tüm alternatifler sıralanır.

7. ÖNERİLEN METOTLARIN TEDARİKÇİ SEÇİMİNDE UYGULANMASI

Önceki bölümde önerilen uzaklık ölçüsü, q-ROF TOPSIS ve q-ROF ELECTRE karar verme metotları bu bölümde TS'ye yönelik gerçek verilerden oluşan detaylı bir veri seti ile uygulamaya geçirilmiştir. Uygulama sonunda önerilen ve literatürde mevcut metotların kıyaslaması yapılmıştır.

7.1. Uygulama

Uygulama yapılan şirket, 700'den fazla çalışanı ile Karadeniz bölgesinde 9 farklı noktada dağıtım faaliyetlerine ilave olarak perakende sektöründe özellikle bebek bezi ve bakım ürünleri pazarında üretim ve 5 kıtaya ihracat yapmaktadır. Şirketin 5 uzman personeli tarafından belirlenen alternatif 10 tedarikçi arasında seçim yapmak için aşağıdaki 15 kriter belirlenmiştir.

- X1 Kalite
- X2 Teslimat
- X3 Fiyat
- X4 Finansal Durum
- X5 Müşteri ile İletişim
- X6 Endüstrideki İtibarı ve Pozisyonu
- X7 Yönetim ve Organizasyon
- X8 Değişimlere Uyum
- X9 Ürün Çeşitliliği
- X10 Karşılıklı Düzenlemelere Uyum
- X11 Prosedürlere Uyum
- X12 İş Yapma İsteği
- X13 Üretim Tesisleri Kapasitesi
- X14 Garanti ve Şikâyet Politikaları
- X15 Performans Geçmişi

7.1.1. Önerilen q-ROF TOPSIS metodunun uygulanması

Çalışmada aksi belirtilmeyen durumlarda $q=3$ ve $p=1$ olarak kabul edilmiştir. Bu kriterlerin seçilmesinden sonra q-ROF TOPSIS yönteminin aşamaları aşağıdaki şekilde uygulanmıştır.

Aşama 1: Karar Vericilerin Ağırlıklarının Belirlenmesi

Çok kriterli grup karar verme yaklaşımı ile uygulanan q-ROF TOPSIS metodunda ilgili şirket TS’de puan vermesi için beş uzman personelini görevlendirmiş ve onların uzmanlık seviyelerini aşağıdaki dilsel değişkenlerle değerlendirmiştir. Söz konusu değişkenler Çizelge 7.1 yardımıyla bu terimlere karşılık gelen q-ROF sayılara dönüştürülmüştür:

Çizelge 7.1. Dilsel Değişkenler

Dilsel Değişkenler	μ	ν
Çok aşırı iyi (Aİ) Aşırı yüksek (AY)	0,95	0,15
Çok iyi (Çİ) Çok yüksek (ÇY)	0,85	0,25
İyi (İ) Yüksek (Y)	0,75	0,35
Ortanın üzerinde (OÜ)	0,65	0,45
Orta seviyede (O)	0,55	0,55
Ortanın altında (OA)	0,45	0,65
Düşük (D)	0,35	0,75
Çok düşük (ÇD)	0,25	0,85
Aşırı derecede düşük (AD)	0,15	0,95

Karar vericilerin (KV) uzmanlıkları aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

KV_1 =çok aşırı iyi (0,95;0,15), KV_2 = iyi (0,75;0,35), KV_3 = iyi (0,75;0,35), KV_4 = çok iyi (0,85;0,25), KV_5 = çok iyi (0,85;0,25) olarak skorlanmıştır. Her bir karar vericiyi değerlendirmek için q-ROF sayısının skor fonksiyonu kullanılarak oluşturulan Eş. 7.1’deki formül yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\lambda_k = \frac{(1 + \mu_k^q - \nu_k^q)}{\sum_{k=1}^l (1 + \mu_k^q - \nu_k^q)} \quad \text{ve} \quad \sum_{k=1}^l \lambda_k = 1 \quad (7.1)$$

$$\lambda_{KV_1} = \frac{(1 + 0,95^3 - 0,15^3)}{(1,854 + 1,379 + 1,379 + 1,599 + 1,599)} = 0,2374$$

Çizelge 7.2.a. Dilsel Terimlerle Yapılan Tedarikçi Değerlendirmesi

Karar Verici	Alternatif	Kriterler														
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15
KV1	A1	İ	Çİ	ÇD	Çİ	İ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	OÜ	İ	Çİ	Çİ	İ	Çİ
	A2	Çİ	Çİ	D	İ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	AI	Çİ	Çİ	İ	AI	İ	Çİ
	A3	Çİ	İ	D	Çİ	Çİ	Çİ	OÜ	OÜ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	OÜ	OÜ	İ
	A4	İ	OÜ	D	İ	İ	Çİ	İ	OÜ	İ	İ	İ	Çİ	İ	OÜ	İ
	A5	Çİ	İ	D	Çİ	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ	Çİ	İ	Çİ	İ
	A6	İ	Çİ	OA	Çİ	İ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	OÜ	İ	Çİ	Çİ	İ	Çİ
	A7	Çİ	İ	D	Çİ	Çİ	Çİ	OÜ	OÜ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	OÜ	OÜ	İ
	A8	AI	İ	OA	AI	Çİ	AI	AI	Çİ	AI	AI	AI	İ	Çİ	İ	İ
	A9	Çİ	Çİ	D	Çİ	OÜ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	İ	İ	OÜ	Çİ	İ	İ
	A10	Çİ	İ	OA	Çİ	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ	Çİ	İ	Çİ	İ
KV2	A1	Çİ	Çİ	D	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	İ	OÜ	İ	İ	Çİ	Çİ
	A2	Çİ	İ	OA	Çİ	OÜ	İ	Çİ	İ	Çİ	İ	Çİ	OÜ	Çİ	İ	İ
	A3	Çİ	Çİ	OA	OÜ	İ	İ	İ	İ	Çİ	İ	İ	Çİ	İ	İ	İ
	A4	İ	İ	D	Çİ	Çİ	İ	İ	İ	Çİ	İ	OÜ	İ	Çİ	İ	Çİ
	A5	İ	Çİ	D	İ	İ	OÜ	OÜ	OÜ	OÜ	İ	İ	İ	OÜ	OÜ	İ
	A6	OÜ	OÜ	ÇD	İ	O	OÜ	OÜ	İ	O	İ	O	İ	İ	OÜ	İ
	A7	OÜ	İ	D	OÜ	O	O	OÜ	OÜ	O	İ	İ	OÜ	OÜ	O	O
	A8	AI	İ	D	AI	İ	Çİ	AI	Çİ	AI	İ	İ	İ	AI	Çİ	Çİ
	A9	Çİ	Çİ	OA	AI	OÜ	Çİ	Çİ	İ	İ	İ	İ	Çİ	AI	AI	Çİ
	A10	İ	Çİ	D	İ	OÜ	Çİ	OÜ	OÜ	İ	İ	OÜ	İ	İ	Çİ	OÜ
KV3	A1	Çİ	Çİ	OA	OÜ	İ	İ	İ	İ	Çİ	İ	İ	Çİ	İ	İ	İ
	A2	Çİ	İ	D	Çİ	İ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	İ	Çİ	İ	Çİ	OÜ	Çİ
	A3	Çİ	İ	OA	İ	Çİ	İ	İ	O	İ	Çİ	İ	İ	Çİ	Çİ	OÜ
	A4	Çİ	İ	D	Çİ	Çİ	Çİ	OÜ	OÜ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	OÜ	OÜ	İ
	A5	OÜ	İ	O	OÜ	O	OÜ	OÜ	OÜ	İ	İ	İ	OÜ	O	OÜ	O
	A6	OÜ	İ	D	OÜ	İ	OÜ	OÜ	O	Çİ	OÜ	OÜ	Çİ	OÜ	İ	İ
	A7	İ	Çİ	D	İ	OÜ	OÜ	OÜ	OÜ	İ	Çİ	OÜ	İ	O	Çİ	İ
	A8	AI	OÜ	O	AI	İ	AI	Çİ	AI	AI	İ	İ	OÜ	AI	Çİ	İ
	A9	AI	OÜ	D	AI	İ	AI	AI	Çİ	İ	Çİ	OÜ	İ	AI	İ	İ
	A10	Çİ	İ	OA	Çİ	Çİ	Çİ	OÜ	OÜ	İ	Çİ	OÜ	OÜ	Çİ	İ	İ
KV4	A1	Çİ	İ	D	İ	İ	İ	OÜ	İ	AI	İ	İ	OÜ	İ	OÜ	İ
	A2	Çİ	İ	OA	Çİ	Çİ	Çİ	OÜ	OÜ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	OÜ	OÜ	İ
	A3	İ	İ	D	O	İ	İ	OÜ	İ	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ
	A4	OÜ	İ	OA	O	O	OÜ	İ	İ	İ	İ	OÜ	İ	İ	İ	OÜ
	A5	İ	İ	OA	OÜ	OÜ	İ	OÜ	OÜ	OÜ	İ	İ	Çİ	İ	OÜ	İ
	A6	İ	OÜ	D	İ	Çİ	OÜ	İ	OÜ	Çİ	İ	OÜ	İ	OÜ	OÜ	İ
	A7	İ	OÜ	OA	O	OÜ	O	OA	O	O	İ	İ	Çİ	OÜ	OÜ	OÜ
	A8	Çİ	Çİ	O	Çİ	OÜ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	OÜ	İ	OÜ	AI	Çİ	İ
	A9	AI	Çİ	O	Çİ	Çİ	Çİ	AI	AI	Çİ	İ	İ	İ	AI	İ	Çİ
	A10	Çİ	Çİ	O	İ	İ	İ	İ	O	Çİ	İ	İ	Çİ	Çİ	İ	İ
KV5	A1	İ	İ	OA	İ	OÜ	Çİ	İ	İ	Çİ	Çİ	İ	İ	İ	İ	Çİ
	A2	Çİ	İ	ÇD	Çİ	Çİ	AI	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Çİ	İ	AI	Çİ	AI
	A3	İ	OÜ	OA	İ	İ	İ	İ	OÜ	OÜ	OÜ	İ	Çİ	İ	OÜ	İ
	A4	İ	İ	OA	OÜ	İ	İ	OÜ	OÜ	İ	İ	OÜ	İ	OÜ	OÜ	OÜ
	A5	İ	O	D	OÜ	İ	İ	İ	OÜ	İ	İ	OÜ	İ	OÜ	İ	İ
	A6	O	OÜ	D	İ	OÜ	OÜ	O	O	İ	OÜ	OÜ	İ	O	İ	OÜ
	A7	Çİ	Çİ	D	OÜ	İ	İ	İ	İ	Çİ	İ	İ	Çİ	İ	İ	İ
	A8	AI	Çİ	O	AI	İ	AI	Çİ	AI	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	AI	İ	Çİ
	A9	AI	İ	OA	AI	İ	Çİ	AI	AI	AI	Çİ	Çİ	İ	AI	Çİ	AI
	A10	İ	Çİ	D	Çİ	Çİ	İ	İ	O	OÜ	İ	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ

Çizelge 7.2.b. q Seviyeli Bulanık Sayılarla Yapılan Tedarikçi Değerlendirmesi

Karar Verici	Alt.	Kriterler																															
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15																	
KV1	A1	0,75	0,35	0,85	0,25	0,25	0,85	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25								
	A2	0,85	0,25	0,85	0,25	0,35	0,75	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,95	0,15	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,95	0,15	0,75	0,35	0,85	0,25				
	A3	0,85	0,25	0,75	0,35	0,35	0,75	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35		
	A4	0,75	0,35	0,65	0,45	0,35	0,75	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,65	0,45	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,65	0,45	0,75	0,35				
	A5	0,85	0,25	0,75	0,35	0,35	0,75	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35		
	A6	0,75	0,35	0,85	0,25	0,45	0,65	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,65	0,45	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25		
	A7	0,85	0,25	0,75	0,35	0,35	0,75	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35		
	A8	0,95	0,15	0,75	0,35	0,45	0,65	0,95	0,15	0,85	0,25	0,95	0,15	0,95	0,15	0,95	0,15	0,85	0,25	0,95	0,15	0,95	0,15	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35		
	A9	0,85	0,25	0,85	0,25	0,35	0,75	0,85	0,25	0,65	0,45	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35		
	A10	0,85	0,25	0,75	0,35	0,45	0,65	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35		
KV2	A1	0,85	0,25	0,85	0,25	0,35	0,75	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,65	0,45	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25		
	A2	0,85	0,25	0,75	0,35	0,45	0,65	0,85	0,25	0,65	0,45	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,65	0,45	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35		
	A3	0,85	0,25	0,85	0,25	0,45	0,65	0,65	0,45	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35		
	A4	0,75	0,35	0,75	0,35	0,35	0,75	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,65	0,45	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35		
	A5	0,75	0,35	0,85	0,25	0,35	0,75	0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,65	0,45	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35		
	A6	0,65	0,45	0,65	0,45	0,25	0,85	0,75	0,35	0,55	0,55	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35	0,55	0,55	0,75	0,35	0,55	0,55	0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,75	0,35		
	A7	0,65	0,45	0,75	0,35	0,35	0,75	0,65	0,45	0,55	0,55	0,55	0,55	0,65	0,45	0,65	0,45	0,55	0,55	0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,65	0,45	0,55	0,55	0,55	0,55		
	A8	0,95	0,15	0,75	0,35	0,35	0,75	0,95	0,15	0,75	0,35	0,85	0,25	0,95	0,15	0,85	0,25	0,95	0,15	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35	0,95	0,15	0,85	0,25	0,85	0,25		
	A9	0,85	0,25	0,85	0,25	0,45	0,65	0,95	0,15	0,65	0,45	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,95	0,15	0,95	0,15	0,85	0,25		
	A10	0,75	0,35	0,85	0,25	0,35	0,75	0,75	0,35	0,65	0,45	0,85	0,25	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,65	0,45		
KV3	A1	0,85	0,25	0,85	0,25	0,45	0,65	0,65	0,45	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35		
	A2	0,85	0,25	0,75	0,35	0,35	0,75	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,65	0,45	0,85	0,25		
	A3	0,85	0,25	0,75	0,35	0,45	0,65	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,55	0,55	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,65	0,45		
	A4	0,85	0,25	0,75	0,35	0,35	0,75	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35
	A5	0,65	0,45	0,75	0,35	0,55	0,55	0,65	0,45	0,55	0,55	0,65	0,45	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,55	0,55	0,65	0,45	0,55	0,55		
	A6	0,65	0,45	0,75	0,35	0,35	0,75	0,65	0,45	0,75	0,35	0,65	0,45	0,65	0,45	0,55	0,55	0,85	0,25	0,65	0,45	0,65	0,45	0,85	0,25	0,65	0,45	0,75	0,35	0,75	0,35		
	A7	0,75	0,35	0,85	0,25	0,35	0,75	0,75	0,35	0,65	0,45	0,65	0,45	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35	0,85	0,25	0,65	0,45	0,75	0,35	0,55	0,55	0,85	0,25	0,75	0,35		
	A8	0,95	0,15	0,65	0,45	0,55	0,55	0,95	0,15	0,75	0,35	0,95	0,15	0,85	0,25	0,95	0,15	0,95	0,15	0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,95	0,15	0,85	0,25	0,75	0,35		
	A9	0,95	0,15	0,65	0,45	0,35	0,75	0,95	0,15	0,75	0,35	0,95	0,15	0,95	0,15	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,65	0,45	0,75	0,35	0,95	0,15	0,75	0,35	0,75	0,35		
	A10	0,85	0,25	0,75	0,35	0,45	0,65	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35	0,85	0,25	0,65	0,45	0,65	0,45	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35		
KV4	A1	0,85	0,25	0,75	0,35	0,35	0,75	0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,75	0,35	0,95	0,15	0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,75	0,35	0,65	0,45	0,75	0,35	0,65	0,45		
	A2	0,85	0,25	0,75	0,35	0,45	0,65	0,85	0,25	0,85	0,25	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35		
	A3	0,75	0,35	0,75	0,35	0,35	0,75	0,55	0,55	0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35		
	A4	0,65	0,45	0,75	0,35	0,45	0,65	0,55	0,55	0,55	0,55	0,65	0,45	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45		
	A5	0,75	0,35	0,75	0,35	0,45	0,65	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35	0,65	0,45	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,65	0,45	0,75	0,35		
	A6	0,75	0,35	0,65	0,45	0,35	0,75	0,75	0,35	0,85	0,25	0,65	0,45	0,75	0,35	0,65	0,45	0,85	0,25	0,75	0,35	0,65	0,45	0,75	0,35	0,65	0,45	0,65	0,45	0,75	0,35		
	A7	0,75	0,35	0,65	0,45	0,45	0,65	0,55	0,55	0,65	0,45	0,55	0,55	0,45	0,65	0,55	0,55	0,55	0,55	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,65	0,45	0,65	0,45	0,65	0,45		
	A8	0,85	0,25	0,85	0,25	0,55	0,55	0,85	0,25	0,65																							

$$\lambda_{KV_2} = \frac{(1 + 0,75^3 - 0,35^3)}{(1,854+1,379+1,379+1,599+1,599)} = 0,1766$$

$$\lambda_{KV_3} = \frac{(1 + 0,75^3 - 0,35^3)}{(1,854+1,379+1,379+1,599+1,599)} = 0,1766$$

$$\lambda_{KV_4} = \frac{(1 + 0,85^3 - 0,25^3)}{(1,854+1,379+1,379+1,599+1,599)} = 0,2047$$

$$\lambda_{KV_5} = \frac{(1 + 0,85^3 - 0,25^3)}{(1,854+1,379+1,379+1,599+1,599)} = 0,2047$$

Her bir KV tarafından dilsel terimlerle yapılan ve müteakiben Çizelge 7.1. kullanılarak q-ROF sayı sistemine dönüştürülen söz konusu değerlendirmeler Çizelge 7.2’de gösterilmiştir. Üçüncü kriter olan fiyat için “AY-Aşırı Yüksek” fiyatın yüksek olduğu, “AD- Aşırı düşük” ise fiyatın düşük olma durumunu gösterir.

Çizelge 7.3. Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Karar Vericilerin Değerlendirmesi										Ağırlık		
	KV'nin Ağırlığı		KV1		KV2		KV3		KV4			KV5	
			0,237		0,177		0,177		0,205			0,205	
Kalite			0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,95	0,15	0,85	0,25	0,07256
Teslimat			0,75	0,35	0,85	0,25	0,95	0,15	0,85	0,25	0,85	0,25	0,06995
Fiyat			0,95	0,15	0,95	0,15	0,85	0,25	0,95	0,15	0,95	0,15	0,07951
Finansal Durum			0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,85	0,25	0,75	0,35	0,06107
Müşteri ile İletişim			0,75	0,35	0,65	0,45	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,06475
Endüstrideki İtibarı ve Pozisyonu			0,85	0,25	0,95	0,15	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,07224
Yönetim ve Organizasyon			0,85	0,25	0,65	0,45	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35	0,06139
Değişimlere Uyum			0,65	0,45	0,55	0,55	0,65	0,45	0,75	0,35	0,65	0,45	0,05235
Ürün Çeşitliliği			0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,06402
Karşılıklı Düzenlemelere Uyum			0,85	0,25	0,75	0,35	0,95	0,15	0,75	0,35	0,85	0,25	0,06856
Prosedürlere Uyum			0,95	0,15	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,07293
İş Yapma İsteği			0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,85	0,25	0,65	0,45	0,05931
Üretim tesisleri Kapasite			0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,06429
Garanti ve Şikayet Politikaları			0,85	0,25	0,85	0,25	0,95	0,15	0,95	0,15	0,85	0,25	0,07454
Performans Geçmişi			0,75	0,35	0,85	0,25	0,75	0,35	0,85	0,25	0,65	0,45	0,06253

Aşama 2. Karar Vericilerin Görüşleri ile Birleştirilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması

Söz konusu q-ROF sayıları ile önceki adımda bulunan KV ağırlıkları Eş. 6.2 ile verilen q-ROFWA operatörü kullanılarak bu aşamada birleştirilir. Hazırlanan birleştirilmiş q-ROF karar matrisi aşağıda verilmiştir.

	X1	X2	X3	X4	X5
A1	(0,814;0,290;0,759)	(0,817;0,287;0,756)	(0,381;0,732;0,821)	(0,768;0,338;0,798)	(0,758;0,347;0,805)
A2	(0,850;0,250;0,718)	(0,780;0,323;0,789)	(0,383;0,729;0,823)	(0,832;0,271;0,740)	(0,813;0,294;0,759)
A3	(0,817;0,287;0,756)	(0,758;0,347;0,805)	(0,412;0,692;0,842)	(0,743;0,371;0,813)	(0,799;0,304;0,772)
A4	(0,758;0,347;0,805)	(0,731;0,372;0,824)	(0,398;0,707;0,835)	(0,757;0,359;0,804)	(0,772;0,341;0,794)
A5	(0,768;0,338;0,798)	(0,749;0,362;0,811)	(0,423;0,690;0,842)	(0,737;0,374;0,818)	(0,707;0,399;0,835)
A6	(0,687;0,420;0,844)	(0,737;0,374;0,818)	(0,368;0,741;0,816)	(0,768;0,338;0,798)	(0,740;0,373;0,816)
A7	(0,792;0,315;0,779)	(0,783;0,324;0,786)	(0,376;0,728;0,825)	(0,726;0,390;0,823)	(0,730;0,385;0,821)
A8	(0,938;0,167;0,554)	(0,788;0,319;0,782)	(0,504;0,604;0,867)	(0,938;0,167;0,554)	(0,766;0,340;0,799)
A9	(0,922;0,185;0,593)	(0,810;0,297;0,762)	(0,444;0,666;0,851)	(0,920;0,188;0,599)	(0,746;0,363;0,813)
A10	(0,819;0,284;0,753)	(0,816;0,287;0,756)	(0,447;0,663;0,852)	(0,819;0,284;0,753)	(0,785;0,322;0,784)
	X6	X7	X8	X9	X10
A1	(0,819;0,284;0,753)	(0,787;0,321;0,783)	(0,750;0,350;0,812)	(0,882;0,225;0,672)	(0,760;0,347;0,804)
A2	(0,872;0,239;0,687)	(0,825;0,282;0,747)	(0,790;0,318;0,780)	(0,862;0,254;0,700)	(0,822;0,282;0,751)
A3	(0,780;0,323;0,789)	(0,712;0,391;0,834)	(0,683;0,424;0,846)	(0,758;0,347;0,805)	(0,787;0,321;0,783)
A4	(0,787;0,321;0,783)	(0,718;0,385;0,831)	(0,694;0,409;0,842)	(0,773;0,330;0,795)	(0,773;0,330;0,795)
A5	(0,720;0,382;0,829)	(0,739;0,372;0,817)	(0,721;0,391;0,826)	(0,753;0,356;0,808)	(0,750;0,350;0,812)
A6	(0,721;0,391;0,826)	(0,729;0,387;0,822)	(0,672;0,438;0,849)	(0,804;0,308;0,767)	(0,694;0,409;0,842)
A7	(0,719;0,401;0,826)	(0,650;0,461;0,856)	(0,660;0,445;0,855)	(0,729;0,388;0,821)	(0,799;0,304;0,772)
A8	(0,925;0,182;0,587)	(0,906;0,202;0,628)	(0,893;0,220;0,651)	(0,923;0,185;0,593)	(0,843;0,281;0,723)
A9	(0,878;0,228;0,678)	(0,922;0,185;0,593)	(0,886;0,233;0,663)	(0,860;0,254;0,703)	(0,796;0,308;0,775)
A10	(0,793;0,311;0,778)	(0,755;0,353;0,807)	(0,697;0,425;0,836)	(0,790;0,318;0,780)	(0,773;0,330;0,795)
	X11	X12	X13	X14	X15
A1	(0,736;0,366;0,821)	(0,787;0,321;0,783)	(0,780;0,323;0,789)	(0,758;0,347;0,805)	(0,819;0,284;0,753)
A2	(0,850;0,250;0,718)	(0,764;0,342;0,801)	(0,895;0,225;0,647)	(0,749;0,360;0,811)	(0,859;0,256;0,705)
A3	(0,802;0,302;0,770)	(0,837;0,265;0,734)	(0,781;0,327;0,787)	(0,740;0,369;0,817)	(0,736;0,366;0,821)
A4	(0,728;0,382;0,824)	(0,799;0,304;0,772)	(0,745;0,363;0,814)	(0,694;0,409;0,842)	(0,742;0,366;0,815)
A5	(0,733;0,368;0,822)	(0,792;0,315;0,779)	(0,689;0,417;0,843)	(0,739;0,372;0,817)	(0,726;0,379;0,825)
A6	(0,666;0,439;0,853)	(0,799;0,304;0,772)	(0,726;0,390;0,823)	(0,718;0,385;0,831)	(0,766;0,340;0,799)
A7	(0,768;0,338;0,798)	(0,813;0,294;0,759)	(0,662;0,443;0,854)	(0,715;0,399;0,830)	(0,707;0,399;0,835)
A8	(0,852;0,267;0,713)	(0,749;0,360;0,811)	(0,936;0,169;0,560)	(0,814;0,290;0,759)	(0,796;0,308;0,775)
A9	(0,764;0,342;0,801)	(0,756;0,350;0,807)	(0,936;0,169;0,560)	(0,836;0,281;0,733)	(0,856;0,259;0,708)
A10	(0,720;0,382;0,829)	(0,792;0,315;0,779)	(0,816;0,287;0,756)	(0,819;0,284;0,753)	(0,764;0,342;0,801)

Aşama 3. Değerlendirme kriterlerinin önem derecelerini belirleme

Değerlendirmede kullanılacak kriterlerin önem derecesini belirtmekte kullanılan ağırlık değerleri karar vericilerin dilsel değişkenler şeklinde alınan değerlendirmelerinin q-ROF sayılara çevrilmesi ve Eş. 6.3'ün tatbik edilmesi neticesinde Çizelge 7.3'teki gibi hesaplanmıştır.

Aşama 4. Birleştirilmiş ve ağırlıklandırılmış q-ROF karar matrisinin oluşturulması.

Hesaplanan ağırlık değerleri birleştirilmiş q-ROF karar matrisiyle Eş. 6.4 kullanılarak birleştirilir ve sonucunda birleştirilmiş ve ağırlıklandırılmış q-ROF karar matrisi elde edilir.

$r'_{ij} = (\mu'_{ij}, v'_{ij}, \pi'_{ij}) = (\mu_{A_W}(x_j), v_{A_W}(x_j), \pi_{A_W}(x_j))$ oluşturulan söz konusu matrisin bir elemanıdır ve burada $i = 1, 2, 3, \dots, m$; $j = 1, 2, 3, \dots, n$ şeklinde ifade edilir. Oluşturulan matris aşağıda sunulmuştur:

	X1	X2	X3	X4	X5
A1	(0,379;0,914;0,566)	(0,377;0,916;0,561)	(0,165;0,975;0,407)	(0,331;0,936;0,524)	(0,331;0,934;0,531)
A2	(0,406;0,904;0,579)	(0,353;0,924;0,551)	(0,166;0,975;0,408)	(0,371;0,923;0,545)	(0,365;0,924;0,546)
A3	(0,381;0,913;0,567)	(0,340;0,929;0,543)	(0,179;0,971;0,428)	(0,317;0,941;0,512)	(0,356;0,926;0,544)
A4	(0,344;0,926;0,548)	(0,324;0,933;0,536)	(0,173;0,973;0,420)	(0,325;0,939;0,515)	(0,339;0,933;0,531)
A5	(0,350;0,924;0,551)	(0,334;0,931;0,537)	(0,184;0,971;0,428)	(0,313;0,942;0,512)	(0,303;0,942;0,514)
A6	(0,304;0,939;0,524)	(0,327;0,934;0,533)	(0,160;0,976;0,402)	(0,331;0,936;0,524)	(0,321;0,938;0,521)
A7	(0,365;0,920;0,558)	(0,355;0,924;0,549)	(0,163;0,975;0,409)	(0,307;0,944;0,506)	(0,315;0,940;0,516)
A8	(0,492;0,878;0,589)	(0,358;0,923;0,551)	(0,221;0,961;0,468)	(0,466;0,896;0,563)	(0,336;0,933;0,533)
A9	(0,472;0,885;0,586)	(0,372;0,919;0,557)	(0,194;0,968;0,440)	(0,445;0,903;0,560)	(0,324;0,936;0,525)
A10	(0,383;0,913;0,568)	(0,377;0,916;0,561)	(0,195;0,968;0,441)	(0,362;0,926;0,541)	(0,347;0,929;0,538)
	X6	X7	X8	X9	X10
A1	(0,383;0,913;0,567)	(0,343;0,933;0,530)	(0,305;0,947;0,498)	(0,415;0,909;0,562)	(0,338;0,930;0,539)
A2	(0,422;0,902;0,576)	(0,367;0,925;0,541)	(0,327;0,942;0,506)	(0,399;0,916;0,552)	(0,378;0,917;0,560)
A3	(0,357;0,922;0,556)	(0,300;0,944;0,509)	(0,271;0,956;0,474)	(0,330;0,935;0,529)	(0,355;0,925;0,547)
A4	(0,361;0,921;0,555)	(0,303;0,943;0,511)	(0,276;0,954;0,479)	(0,339;0,931;0,535)	(0,346;0,927;0,546)
A5	(0,322;0,933;0,537)	(0,315;0,941;0,513)	(0,290;0,952;0,483)	(0,327;0,936;0,525)	(0,333;0,931;0,540)
A6	(0,322;0,934;0,532)	(0,309;0,943;0,507)	(0,266;0,958;0,469)	(0,358;0,927;0,539)	(0,302;0,941;0,520)
A7	(0,321;0,936;0,527)	(0,269;0,954;0,484)	(0,260;0,959;0,467)	(0,314;0,941;0,513)	(0,363;0,922;0,553)
A8	(0,475;0,884;0,586)	(0,431;0,907;0,559)	(0,399;0,924;0,529)	(0,455;0,898;0,568)	(0,393;0,917;0,553)
A9	(0,428;0,899;0,580)	(0,448;0,902;0,561)	(0,393;0,927;0,524)	(0,397;0,916;0,553)	(0,361;0,922;0,552)
A10	(0,365;0,919;0,559)	(0,324;0,938;0,520)	(0,278;0,956;0,471)	(0,349;0,929;0,537)	(0,346;0,927;0,546)
	X11	X12	X13	X14	X15
A1	(0,331;0,929;0,544)	(0,339;0,935;0,525)	(0,344;0,930;0,537)	(0,347;0,924;0,553)	(0,365;0,924;0,545)
A2	(0,406;0,904;0,579)	(0,325;0,938;0,519)	(0,427;0,909;0,556)	(0,341;0,927;0,548)	(0,393;0,918;0,548)
A3	(0,372;0,916;0,564)	(0,371;0,924;0,542)	(0,344;0,931;0,535)	(0,336;0,928;0,545)	(0,315;0,939;0,520)
A4	(0,327;0,932;0,537)	(0,346;0,932;0,530)	(0,323;0,937;0,524)	(0,310;0,936;0,533)	(0,319;0,939;0,519)
A5	(0,330;0,930;0,543)	(0,342;0,934;0,526)	(0,293;0,945;0,507)	(0,336;0,929;0,544)	(0,310;0,941;0,515)
A6	(0,293;0,942;0,519)	(0,346;0,932;0,530)	(0,313;0,941;0,514)	(0,323;0,931;0,541)	(0,332;0,935;0,527)
A7	(0,351;0,924;0,552)	(0,355;0,930;0,532)	(0,279;0,949;0,498)	(0,322;0,934;0,534)	(0,300;0,944;0,508)
A8	(0,408;0,908;0,568)	(0,317;0,941;0,513)	(0,471;0,892;0,571)	(0,383;0,912;0,571)	(0,350;0,929;0,538)
A9	(0,348;0,925;0,551)	(0,321;0,940;0,516)	(0,471;0,892;0,571)	(0,399;0,910;0,568)	(0,391;0,919;0,547)
A10	(0,322;0,932;0,538)	(0,342;0,934;0,526)	(0,366;0,923;0,548)	(0,387;0,910;0,572)	(0,331;0,935;0,527)

Aşama 5. q-ROF Pozitif ve q-ROF Negatif İdeal Çözümlerin Bulunması:

Üçüncü kriter olan fiyat dışında tüm kriterler kâr kriteridir. Q-ROF TOPSIS yönteminde q-ROFPIS kârı en büyüklerken maliyeti en küçükler. Bunun aksine q-ROFNIS kârı en küçüklerken maliyeti en büyükler. q-ROFPIS (A^*) ile q-ROFNIS (A^-) değerleri Eş. 6.5, Eş. 6.6, Eş. 6.7, Eş. 6.8 ve Eş. 6.9 kullanılarak aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\begin{array}{l}
 X1 \begin{bmatrix} (0,492;0,878;0,589) \\ (0,377;0,916;0,561) \\ (0,160;0,976;0,402) \\ (0,466;0,896;0,563) \\ (0,365;0,924;0,546) \\ (0,475;0,884;0,586) \\ (0,448;0,902;0,561) \\ (0,399;0,924;0,529) \\ (0,455;0,898;0,568) \\ (0,393;0,917;0,553) \\ (0,408;0,904;0,579) \\ (0,371;0,924;0,542) \\ (0,471;0,892;0,571) \\ (0,399;0,910;0,568) \\ (0,393;0,918;0,548) \end{bmatrix} \\
 A^* = X8 \begin{bmatrix} (0,304;0,939;0,524) \\ (0,324;0,934;0,534) \\ (0,221;0,961;0,468) \\ (0,307;0,944;0,506) \\ (0,303;0,942;0,514) \\ (0,321;0,936;0,527) \\ (0,269;0,954;0,484) \\ (0,260;0,959;0,467) \\ (0,314;0,941;0,513) \\ (0,302;0,941;0,520) \\ (0,293;0,942;0,519) \\ (0,317;0,941;0,513) \\ (0,279;0,949;0,498) \\ (0,310;0,936;0,533) \\ (0,300;0,944;0,508) \end{bmatrix} \\
 X1 \begin{bmatrix} (0,304;0,939;0,524) \\ (0,324;0,934;0,534) \\ (0,221;0,961;0,468) \\ (0,307;0,944;0,506) \\ (0,303;0,942;0,514) \\ (0,321;0,936;0,527) \\ (0,269;0,954;0,484) \\ (0,260;0,959;0,467) \\ (0,314;0,941;0,513) \\ (0,302;0,941;0,520) \\ (0,293;0,942;0,519) \\ (0,317;0,941;0,513) \\ (0,279;0,949;0,498) \\ (0,310;0,936;0,533) \\ (0,300;0,944;0,508) \end{bmatrix} \\
 A^- = X8 \begin{bmatrix} (0,304;0,939;0,524) \\ (0,324;0,934;0,534) \\ (0,221;0,961;0,468) \\ (0,307;0,944;0,506) \\ (0,303;0,942;0,514) \\ (0,321;0,936;0,527) \\ (0,269;0,954;0,484) \\ (0,260;0,959;0,467) \\ (0,314;0,941;0,513) \\ (0,302;0,941;0,520) \\ (0,293;0,942;0,519) \\ (0,317;0,941;0,513) \\ (0,279;0,949;0,498) \\ (0,310;0,936;0,533) \\ (0,300;0,944;0,508) \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Aşama 6. Pozitif ve Negatif İdeal Çözüme Yakınlığın (Ayrım Ölçülerinin) Hesaplanması

q-ROF sayıları ile ifade edilen alternatiflerin arasındaki ayrım ölçüleri üçüncü bölümde önerilen uzaklık ölçüsü yardımı ile aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{array}{l}
 D(A; A^*) = \begin{bmatrix}
 A1 & A2 & A3 & A4 & A5 & A6 & A7 & A8 & A9 & A10 \\
 X1 & 0,122 & 0,091 & 0,120 & 0,163 & 0,156 & 0,209 & 0,140 & 0,000 & 0,022 & 0,118 \\
 X2 & 0,000 & 0,027 & 0,042 & 0,060 & 0,050 & 0,058 & 0,026 & 0,022 & 0,006 & 0,000 \\
 X3 & 0,006 & 0,008 & 0,027 & 0,018 & 0,030 & 0,000 & 0,006 & 0,077 & 0,043 & 0,044 \\
 X4 & 0,146 & 0,100 & 0,164 & 0,156 & 0,167 & 0,146 & 0,175 & 0,000 & 0,023 & 0,110 \\
 X5 & 0,037 & 0,000 & 0,009 & 0,030 & 0,069 & 0,051 & 0,058 & 0,032 & 0,046 & 0,019 \\
 X6 & 0,099 & 0,058 & 0,128 & 0,125 & 0,169 & 0,171 & 0,175 & 0,000 & 0,050 & 0,119 \\
 X7 & 0,114 & 0,087 & 0,160 & 0,156 & 0,146 & 0,154 & 0,197 & 0,018 & 0,000 & 0,135 \\
 X8 & 0,097 & 0,075 & 0,137 & 0,130 & 0,117 & 0,143 & 0,148 & 0,000 & 0,008 & 0,133 \\
 X9 & 0,042 & 0,063 & 0,135 & 0,124 & 0,139 & 0,106 & 0,157 & 0,000 & 0,063 & 0,114 \\
 X10 & 0,055 & 0,010 & 0,037 & 0,045 & 0,059 & 0,096 & 0,027 & 0,000 & 0,029 & 0,045 \\
 X11 & 0,087 & 0,001 & 0,041 & 0,094 & 0,088 & 0,131 & 0,066 & 0,006 & 0,069 & 0,097 \\
 X12 & 0,037 & 0,051 & 0,000 & 0,027 & 0,034 & 0,027 & 0,019 & 0,062 & 0,057 & 0,034 \\
 X13 & 0,137 & 0,051 & 0,138 & 0,161 & 0,195 & 0,176 & 0,210 & 0,000 & 0,000 & 0,111 \\
 X14 & 0,054 & 0,061 & 0,067 & 0,095 & 0,069 & 0,080 & 0,086 & 0,013 & 0,000 & 0,009 \\
 X15 & 0,027 & 0,000 & 0,082 & 0,080 & 0,089 & 0,064 & 0,101 & 0,044 & 0,002 & 0,066
 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
$D(A; A^-) =$	X1	0,087	0,118	0,089	0,046	0,053	0,000	0,069	0,209	0,187	0,091
	X2	0,060	0,034	0,018	0,001	0,010	0,002	0,035	0,038	0,054	0,060
	X3	0,070	0,069	0,050	0,059	0,047	0,077	0,071	0,000	0,034	0,033
	X4	0,029	0,075	0,011	0,019	0,008	0,029	0,000	0,175	0,152	0,065
	X5	0,032	0,069	0,061	0,039	0,000	0,018	0,011	0,037	0,023	0,050
	X6	0,075	0,117	0,046	0,050	0,006	0,004	0,000	0,175	0,125	0,056
	X7	0,083	0,110	0,037	0,041	0,052	0,044	0,000	0,180	0,197	0,062
	X8	0,051	0,074	0,012	0,019	0,031	0,005	0,000	0,148	0,140	0,016
	X9	0,115	0,094	0,022	0,032	0,018	0,051	0,000	0,157	0,094	0,043
	X10	0,040	0,086	0,059	0,051	0,036	0,000	0,069	0,096	0,067	0,051
	X11	0,045	0,130	0,091	0,037	0,043	0,000	0,065	0,125	0,063	0,034
	X12	0,025	0,010	0,062	0,034	0,028	0,034	0,043	0,000	0,005	0,028
	X13	0,073	0,159	0,072	0,049	0,015	0,034	0,000	0,210	0,210	0,099
	X14	0,041	0,034	0,028	0,000	0,026	0,015	0,010	0,082	0,095	0,087
	X15	0,074	0,101	0,019	0,021	0,012	0,037	0,000	0,057	0,099	0,035

Her bir alternatifin q-ROFPIS ve q-ROFNIS ideal çözümleriyle arasındaki mesafeyi belirten ve S_i^* ile S_i^- olarak ifade edilen ayırım ölçüleri Eş. 6.10 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 7.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Ayırım Ölçüleri

Alternatifler	S^*	S^-
Alternatif 1	0,035	0,030
Alternatif 2	0,023	0,043
Alternatif 3	0,043	0,023
Alternatif 4	0,049	0,017
Alternatif 5	0,053	0,013
Alternatif 6	0,054	0,012
Alternatif 7	0,053	0,012
Alternatif 8	0,009	0,056
Alternatif 9	0,014	0,052
Alternatif 10	0,038	0,027

Aşama 7. İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın (C_{i^*}) Hesaplanması.

q-ROF TOPSIS metodunda ideal çözümüne yakınlık olarak gösterilen C_{i^*} değeri Eş. 6.11 yardımıyla hesaplanır. Hesaplanan değerler aşağıdaki Çizelge 7.5'te sunulmuştur:

Çizelge 7.5. Yakınlık Değerleri ve Alternatiflerin Sıralanması

Alternatifler	S*	S-	Ci*	Sıralama
Alternatif 1	0,035	0,030	0,460	4
Alternatif 2	0,023	0,043	0,652	3
Alternatif 3	0,043	0,023	0,345	6
Alternatif 4	0,049	0,017	0,253	7
Alternatif 5	0,053	0,013	0,196	8
Alternatif 6	0,054	0,012	0,179	10
Alternatif 7	0,053	0,012	0,190	9
Alternatif 8	0,009	0,056	0,861	1
Alternatif 9	0,014	0,052	0,787	2
Alternatif 10	0,038	0,027	0,412	5

Aşama 8. Alternatiflerin Sıralanması.

İdeal çözümüne yakınlık katsayısının belirlenmesinden sonra alternatiflere ait C_{i*} ’ler Çizelge 7.5’te gösterildiği şekilde yukarıdan aşağıya doğru sıralanır. Sonuç olarak tedarikçiler en iyiden kötüye Alt8> Alt9> Alt2> Alt1> Alt10> Alt3> Alt4> Alt5> Alt7> Alt6 şeklinde bulunur.

7.1.2. Önerilen q-ROF ELECTRE metodunun uygulanması

Örnek problem q-ROF ELECTRE yöntemi ile çözülürken karar vericilerin değerlendirmeleri ve belirledikleri ağırlıklar için önceki bölümde q-ROF TOPSIS’te kullanılan değerler aynen alınmıştır. Bölüm 6.2’de q-ROF ELECTRE yöntemi detaylı olarak anlatıldığından bu bölümde hesaplama yöntemleri yerine sonuçlar gösterilmiştir.

Aşama 1. q-ROF TOPSIS için kullanılan karar verici değerlendirmelerindeki fiyat kriteri fayda kriterine çevrilerek Çizelge 7.6’daki değerler elde edilmiştir. Bu değerler q-ROFWA operatörü ile birleştirilerek birleştirilmiş q-ROF karar matrisi ($R_{ELECTRE}$) elde edilmiş ve aşağıda sunulmuştur:

$R_{ELECTRE} =$

	X1	X2	X3	X4	X5
A1	[0.814;0.290;0.759]	[0.817;0.287;0.756]	[0.753;0.356;0.808]	[0.768;0.338;0.798]	[0.758;0.347;0.805]
A2	[0.850;0.250;0.718]	[0.780;0.323;0.789]	[0.749;0.360;0.811]	[0.832;0.271;0.740]	[0.813;0.294;0.759]
A3	[0.817;0.287;0.756]	[0.758;0.347;0.805]	[0.701;0.403;0.839]	[0.743;0.371;0.813]	[0.799;0.304;0.772]
A4	[0.758;0.347;0.805]	[0.731;0.372;0.824]	[0.715;0.388;0.832]	[0.757;0.359;0.804]	[0.772;0.341;0.794]
A5	[0.768;0.338;0.798]	[0.749;0.362;0.811]	[0.707;0.399;0.835]	[0.737;0.374;0.818]	[0.707;0.399;0.835]
A6	[0.687;0.420;0.844]	[0.737;0.374;0.818]	[0.756;0.350;0.807]	[0.768;0.338;0.798]	[0.740;0.373;0.816]
A7	[0.792;0.315;0.779]	[0.783;0.324;0.786]	[0.733;0.368;0.822]	[0.726;0.390;0.823]	[0.730;0.385;0.821]
A8	[0.938;0.167;0.554]	[0.788;0.319;0.782]	[0.625;0.484;0.863]	[0.938;0.167;0.554]	[0.766;0.340;0.799]
A9	[0.922;0.185;0.593]	[0.810;0.297;0.762]	[0.684;0.423;0.845]	[0.920;0.188;0.599]	[0.746;0.363;0.813]
A10	[0.819;0.284;0.753]	[0.816;0.287;0.756]	[0.681;0.426;0.847]	[0.819;0.284;0.753]	[0.785;0.322;0.784]
	X6	X7	X8	X9	X10
A1	[0.819;0.284;0.753]	[0.787;0.321;0.783]	[0.750;0.350;0.812]	[0.882;0.225;0.672]	[0.760;0.347;0.804]
A2	[0.872;0.239;0.687]	[0.825;0.282;0.747]	[0.790;0.318;0.780]	[0.862;0.254;0.700]	[0.822;0.282;0.751]
A3	[0.780;0.323;0.789]	[0.712;0.391;0.834]	[0.683;0.424;0.846]	[0.758;0.347;0.805]	[0.787;0.321;0.783]
A4	[0.787;0.321;0.783]	[0.718;0.385;0.831]	[0.694;0.409;0.842]	[0.773;0.330;0.795]	[0.773;0.330;0.795]
A5	[0.720;0.382;0.829]	[0.739;0.372;0.817]	[0.721;0.391;0.826]	[0.753;0.356;0.808]	[0.750;0.350;0.812]
A6	[0.721;0.391;0.826]	[0.729;0.387;0.822]	[0.672;0.438;0.849]	[0.804;0.308;0.767]	[0.694;0.409;0.842]
A7	[0.719;0.401;0.826]	[0.650;0.461;0.856]	[0.660;0.445;0.855]	[0.729;0.388;0.821]	[0.799;0.304;0.772]
A8	[0.925;0.182;0.587]	[0.906;0.202;0.628]	[0.893;0.220;0.651]	[0.923;0.185;0.593]	[0.843;0.281;0.723]
A9	[0.878;0.228;0.678]	[0.922;0.185;0.593]	[0.886;0.233;0.663]	[0.860;0.254;0.703]	[0.796;0.308;0.775]
A10	[0.793;0.311;0.778]	[0.755;0.353;0.807]	[0.697;0.425;0.836]	[0.790;0.318;0.780]	[0.773;0.330;0.795]
	X11	X12	X13	X14	X15
A1	[0.736;0.366;0.821]	[0.787;0.321;0.783]	[0.780;0.323;0.789]	[0.758;0.347;0.805]	[0.819;0.284;0.753]
A2	[0.850;0.250;0.718]	[0.764;0.342;0.801]	[0.895;0.225;0.647]	[0.749;0.360;0.811]	[0.859;0.256;0.705]
A3	[0.802;0.302;0.770]	[0.837;0.265;0.734]	[0.781;0.327;0.787]	[0.740;0.369;0.817]	[0.736;0.366;0.821]
A4	[0.728;0.382;0.824]	[0.799;0.304;0.772]	[0.745;0.363;0.814]	[0.694;0.409;0.842]	[0.742;0.366;0.815]
A5	[0.733;0.368;0.822]	[0.792;0.315;0.779]	[0.689;0.417;0.843]	[0.739;0.372;0.817]	[0.726;0.379;0.825]
A6	[0.666;0.439;0.853]	[0.799;0.304;0.772]	[0.726;0.390;0.823]	[0.718;0.385;0.831]	[0.766;0.340;0.799]
A7	[0.768;0.338;0.798]	[0.813;0.294;0.759]	[0.662;0.443;0.854]	[0.715;0.399;0.830]	[0.707;0.399;0.835]
A8	[0.852;0.267;0.713]	[0.749;0.360;0.811]	[0.936;0.169;0.560]	[0.814;0.290;0.759]	[0.796;0.308;0.775]
A9	[0.764;0.342;0.801]	[0.756;0.350;0.807]	[0.936;0.169;0.560]	[0.836;0.281;0.733]	[0.856;0.259;0.708]
A10	[0.720;0.382;0.829]	[0.792;0.315;0.779]	[0.816;0.287;0.756]	[0.819;0.284;0.753]	[0.764;0.342;0.801]

Karar vericiler tarafından yapılan değerlendirme neticesinde q-ROF TOPSIS yönteminde hesaplanan 15 kritere ait aşağıdaki ağırlıklar q-ROF ELECTRE’de de kullanılmıştır:

$$W = \begin{pmatrix} 0,07256;0,06995;0,07951;0,06107;0,06475;0,07224;0,06139;0,05235; \\ 0,06402;0,06856;0,07293;0,05931;0,06429;0,07454;0,06253 \end{pmatrix}$$

Çizelge 7.6. q Seviyeli Bulanık Sayılarla Yapılan Tedarikçi Değerlendirmesi

Karar Verici	Alt.	Kriterler																													
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15															
KV1	A1	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25						
	A2	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.95	0.15	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.95	0.15	0.75	0.35	0.85	0.25		
	A3	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35
	A4	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35		
	A5	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35
	A6	0.75	0.35	0.85	0.25	0.65	0.45	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25	0.65	0.45	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25
	A7	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35
	A8	0.95	0.15	0.75	0.35	0.65	0.45	0.95	0.15	0.85	0.25	0.95	0.15	0.95	0.15	0.85	0.25	0.95	0.15	0.95	0.15	0.95	0.15	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35
	A9	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25	0.65	0.45	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35
	A10	0.85	0.25	0.75	0.35	0.65	0.45	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25
KV2	A1	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25
	A2	0.85	0.25	0.75	0.35	0.65	0.45	0.85	0.25	0.65	0.45	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25	0.65	0.45	0.85	0.25	0.65	0.45	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35
	A3	0.85	0.25	0.85	0.25	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35
	A4	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35
	A5	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.65	0.45	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35
	A6	0.65	0.45	0.65	0.45	0.85	0.25	0.75	0.35	0.55	0.55	0.65	0.45	0.65	0.45	0.65	0.45	0.55	0.55	0.75	0.35	0.55	0.55	0.75	0.35	0.55	0.55	0.75	0.35	0.65	0.45
	A7	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.65	0.45	0.65	0.45	0.55	0.55	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.65	0.45	0.55	0.55	
	A8	0.95	0.15	0.75	0.35	0.75	0.35	0.95	0.15	0.75	0.35	0.85	0.25	0.95	0.15	0.85	0.25	0.95	0.15	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.95	0.15	0.85	0.25	0.85	0.25
	A9	0.85	0.25	0.85	0.25	0.65	0.45	0.95	0.15	0.65	0.45	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.95	0.15	0.95	0.15	0.85	0.25
	A10	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.85	0.25	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.65	0.45
KV3	A1	0.85	0.25	0.85	0.25	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35
	A2	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25	0.65	0.45	0.85	0.25	0.65	0.45
	A3	0.85	0.25	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.55	0.55	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.65	0.45
	A4	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.65	0.45	0.65	0.45
	A5	0.65	0.45	0.75	0.35	0.55	0.55	0.65	0.45	0.55	0.55	0.65	0.45	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.55	0.55	0.65	0.45	0.55	0.55
	A6	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35	0.65	0.45	0.65	0.45	0.55	0.55	0.85	0.25	0.65	0.45	0.65	0.45	0.85	0.25	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35
	A7	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.65	0.45	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35	0.85	0.25	0.65	0.45	0.75	0.35	0.55	0.55	0.85	0.25	0.75	0.35
	A8	0.95	0.15	0.65	0.45	0.55	0.55	0.95	0.15	0.75	0.35	0.95	0.15	0.85	0.25	0.95	0.15	0.95	0.15	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.95	0.15	0.85	0.25	0.75	0.35
	A9	0.95	0.15	0.65	0.45	0.75	0.35	0.95	0.15	0.75	0.35	0.95	0.15	0.95	0.15	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25	0.65	0.45	0.75	0.35	0.95	0.15	0.75	0.35	0.75	0.35
	A10	0.85	0.25	0.75	0.35	0.65	0.45	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35	0.85	0.25	0.65	0.45	0.65	0.45	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35
KV4	A1	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35	0.95	0.15	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35	0.65	0.45
	A2	0.85	0.25	0.75	0.35	0.65	0.45	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35
	A3	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.55	0.55	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.75	0.35
	A4	0.65	0.45	0.75	0.35	0.65	0.45	0.55	0.55	0.55	0.55	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45
	A5	0.75	0.35	0.75	0.35	0.65	0.45	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35	0.65	0.45	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35
	A6	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.65	0.45	0.75	0.35	0.65	0.45	0.85	0.25	0.75	0.35	0.65	0.45	0.75	0.35	0.65	0.45	0.65	0.45	0.75	0.35
	A7	0.75	0.35	0.65	0.45	0.65	0.45	0.55	0.55	0.65	0.45	0.55	0.55	0.45	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55	0.75	0.35	0.75	0.35	0.85	0.25	0.65	0.45	0.65	0.45	0.65	0.45
	A8	0.85	0.25	0.85	0.25	0.55	0.55	0.85	0.25	0.65	0.45	0.85	0.25	0.85	0.25	0.75	0.35	0.85	0.25												

Aşama 2. Uyumluluk ve Uyumsuzluk Setlerinin Hesaplanması

Karar vericilerin güçlü, vasat ve zayıf uyumluluk ve uyumsuzluk setleri için uygun gördüğü ağırlık değerleri sırasıyla aşağıda sunulmuştur:

$$W' = [w_C, w_{C'}, w_{C''}, w_D, w_{D'}, w_{D''}] = \left[1, \frac{2}{3}, \frac{1}{3}, 1, \frac{2}{3}, \frac{1}{3}\right].$$

Karar matrisi ve ağırlıklar kullanılarak hesaplanan güçlü (C_{kl}), vasat (C'_{kl}) ve zayıf (C''_{kl}) uyumluluk setleri Çizelge 7.7, 7.8 ve 7.9'da sunulmuştur:

Bir örnekle açıklamak için güçlü uyumluluk setinde 6. satır 2. sütunu ele alınırsa; alternatif 6'nın alternatif 2'ye tercih edilmesine 3. ve 12. kriterlerin neden olduğu yani Alternatif 6'nın, 3. ve 12. kriterlerde Alternatif 2'ye üstün olduğu görülür ve bu üstünlük $C_{62} = \{3,12\}$ şeklinde gösterilir.

Güçlü (D_{kl}), vasat (D'_{kl}) ve zayıf (D''_{kl}) uyumsuzluk setleri Çizelge 7.10, 7.11 ve 7.12'de sunulmuştur. Uyumluluk setindeki üstünlük yerine uyumsuzluk setinde de üstün olmama durumu gösterilir.

Ayrıca, dikkat edilirse herbir satır sütun değeri için yukarıda verilen 6 matrisin değerleri toplandığında $\{1-15\}$ arasındaki kriter sayısı kadar değer elde edilmiştir. Örnek olarak 5.satır 3.sütunu ele alırsak;

$$\begin{aligned} C_{53} &= \{3,7,8\} & D_{53} &= \{1, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 15\} \\ C'_{53} &= \emptyset & D'_{53} &= \{14\} \\ C''_{53} &= \emptyset & D''_{53} &= \emptyset \end{aligned}$$

Uyumluluk ve uyumsuzluk setlerinin 5. satır, 3. sütun elemanları toplandığında tüm kriterleri içeren bir küme $\{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15\}$ elde edilir.

Çizelge 7.7 Güçlü Uyumluluk Seti

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	-	2, 3, 9, 12, 14	2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 14, 15	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15	2, 3, 12, 15	2, 3, 5, 9, 12	2, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 15
A2	1, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 15	-	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	3, 5, 12, 15	3, 5, 10, 11, 12, 15	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15
A3	1, 5, 10, 11, 12	12	-	1, 2, 5, 10, 11, 12, 13, 14	1, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 15	1, 2, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14	1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15	3, 5, 12	3, 5, 11, 12	3, 5, 10, 11, 12
A4	5, 10, 12	12	3, 4, 6, 7, 8, 9, 15	-	3, 4, 5, 6, 9, 10, 12, 13, 15	1, 5, 6, 8, 10, 11, 13	4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 15	3, 12	3, 5, 12	3, 11, 12
A5	12	12	3, 7, 8	1, 2, 7, 8, 11, 14	-	1, 2, 7, 8, 10, 11, 14	4, 7, 8, 9, 13, 14, 15	3, 12	3, 12	3, 8, 11
A6	3, 12	3, 12	3, 4, 7, 9, 15	3, 4, 9, 14, 15	3, 4, 5, 9, 12, 13, 15	-	3, 4, 5, 7, 8, 9, 13, 15	3, 12	3, 12	3, 9, 12, 15
A7	10, 11, 12	12	2, 3, 10	1, 2, 3, 10, 11, 12, 14	1, 2, 3, 5, 10, 11, 12	1, 2, 10, 11, 12	-	3, 12	3, 10, 11, 12	3, 10, 11, 12
A8	1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14	1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14	1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	-	1, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11	1, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15
A9	1, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 6, 7, 8, 13, 14	1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15	1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15	2, 3, 7, 12, 14, 15	-	1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15
A10	1, 4, 5, 10, 12, 13, 14	2, 12, 14	1, 2, 4, 6, 7, 9, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15	2, 3, 5, 12, 14	2, 5, 12	-

Çizelge 7.8 Vasat Uyumluluk Seti

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A3	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-
A4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A5	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-
A6	-	-	-	-	-	-	6, 14	-	-	-
A7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 7.9 Zayıf Uyumluluk Seti

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-
A2	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-
A3	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A4	-	-	-	-	-	12	-	5	-	10
A5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
A6	4	-	-	2, 7, 12	6	-	-	-	-	-
A7	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
A8	-	11	-	-	-	-	-	-	13	-
A9	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-
A10	-	-	8	8, 10	12	-	-	-	-	-

Çizelge 7.10 Güçlü Uyumsuzluk Seti

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	-	1, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 15	1, 5, 10, 11, 12	5, 10, 12	12	3, 12	10, 11, 12	1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14	1, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15	1, 4, 5, 10, 12, 13, 14
A2	2, 3, 9, 12, 14	-	12	12	12	3, 12	12	1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14	1, 2, 4, 6, 7, 8, 13, 14	2, 12, 14
A3	2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 14, 15	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	-	3, 4, 6, 7, 8, 9, 15	3, 7, 8	3, 4, 7, 9, 15	2, 3, 10	1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15	1, 2, 4, 6, 7, 9, 13, 14, 15
A4	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 5, 10, 11, 12, 13, 14	-	1, 2, 7, 8, 11, 14	3, 4, 9, 14, 15	1, 2, 3, 10, 11, 12, 14	1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 15
A5	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 15	3, 4, 5, 6, 9, 10, 12, 13, 15	-	3, 4, 5, 9, 12, 13, 15	1, 2, 3, 5, 10, 11, 12	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 13, 14, 15
A6	1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14	1, 5, 6, 8, 10, 11, 13	1, 2, 7, 8, 10, 11, 14	-	1, 2, 10, 11, 12	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14
A7	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15	4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 15	4, 7, 8, 9, 13, 14, 15	3, 4, 5, 7, 8, 9, 13, 15	-	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15
A8	2, 3, 12, 15	3, 5, 12, 15	3, 5, 12	3, 12	3, 12	3, 12	3, 12	-	2, 3, 7, 12, 14, 15	2, 3, 5, 12, 14
A9	2, 3, 5, 9, 12	3, 5, 10, 11, 12, 15	3, 5, 11, 12	3, 5, 12	3, 12	3, 12	3, 10, 11, 12	1, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11	-	2, 5, 12
A10	2, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 15	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15	3, 5, 10, 11, 12	3, 11, 12	3, 8, 11	3, 9, 12, 15	3, 10, 11, 12	1, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15	1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	-

Çizelge 7.11 Vasat Uyumsuzluk Seti

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A5	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-
A6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A7	-	-	-	-	6	6, 14	-	-	-	-
A8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 7.12 Zayıf Uyumsuzluk Seti

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-
A2	-	-	-	-	-	-	2	11	-	-
A3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
A4	-	-	-	-	-	2, 7	-	-	-	8
A5	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-
A6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A8	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-
A9	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-
A10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Aşama 3. Uyumluluk Matrisinin Hesaplanması

Uyumluluk matrisi aşağıdaki şekilde bulunmuştur:

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	-	0,347	0,598	0,807	0,941	0,820	0,799	0,271	0,338	0,535
A2	0,653	-	0,941	0,941	0,941	0,861	0,871	0,266	0,429	0,796
A3	0,360	0,059	-	0,547	0,782	0,671	0,782	0,204	0,276	0,345
A4	0,193	0,059	0,453	-	0,596	0,487	0,503	0,160	0,204	0,235
A5	0,059	0,059	0,193	0,404	-	0,472	0,488	0,139	0,139	0,225
A6	0,159	0,139	0,329	0,405	0,480	-	0,608	0,139	0,139	0,265
A7	0,201	0,083	0,218	0,497	0,488	0,343	-	0,139	0,280	0,280
A8	0,729	0,685	0,796	0,796	0,861	0,861	0,861	-	0,550	0,652
A9	0,662	0,528	0,724	0,796	0,861	0,861	0,720	0,429	-	0,806
A10	0,465	0,204	0,620	0,708	0,756	0,735	0,720	0,348	0,194	-

Bu matriste c_{48} değeri örnek olarak seçilmiş ve hesaplanma şekli aşağıda gösterilmiştir:

$$c_{48} = \sum_{j \in C_{48}} w_j = (w_3 \times w_C) + (w_{12} \times w_C) + (w_5 \times w_C) = (0,07951 \times 1) + (0,05931 \times 1) + (0,06475 \times \frac{1}{3}) = 0,16$$

Aşama 4. Uyumsuzluk Matrisinin Hesaplanması

Matris aşağıda sunulmuştur:

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	-	1	0,496	0,125	0,037	0,112	0,249	1	1	0,624
A2	0,31	-	0,625	0,23	0,13	0,196	0,209	1	1	0,55
A3	1	1	-	0,203	0,372	0,393	0,281	1	1	1
A4	1	1	1	-	0,622	0,503	0,649	1	1	1
A5	1	1	1	1	-	0,641	0,572	1	1	1
A6	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1
A7	1	1	1	1	1	0,747	-	1	1	1
A8	0,608	0,884	0,409	0,394	0,286	0,45	0,352	-	0,696	0,251
A9	0,356	0,787	0,371	0,2	0,131	0,272	0,193	1	-	0,199
A10	1	1	0,984	0,274	0,212	0,549	0,343	1	1	-

Bu matriste d_{13} değerinin hesaplanması örnek olarak seçilmiş ve aşağıda gösterilmiştir:

$$d_{13} = \frac{\max_{j \in \{D_{13}, D_{13}^*, D_{13}^*\}} W_D^* \times dis(X_{1j}, X_{3j})}{\max_{j \in J} dis(X_{1j}, X_{3j})} = \frac{0,0508}{0,1023} = 0,496$$

$$\max_{j \in \{D_{13}, D_{13}^*, D_{13}^*\}} W_D^* \times dis(X_{1j}, X_{3j}) = \max\{0,0025; 0,0326; 0,0209; 0,0508; 0,042\} = 0,0508$$

$$\max_{j \in J} dis(X_{1j}, X_{3j}) = \max\left\{0,0025; 0,0466; 0,0375; 0,0213; 0,0326; 0,0312; 0,0557; 0,0516; 0,1023; 0,0209; 0,0508; 0,042; 0,001; 0,0149; 0,0646\right\} = 0,102$$

Aşama 5. Uyum Baskınlık Matrisinin Hesaplanması

Uyum indeksi için ortalama değer ($\bar{c}$) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{k=1}^{10} \sum_{l=1}^{10} c_{kl}}{10 \times 9} = 0,4929$$

Uyum baskınlık matrisi (F) şu şekildedir:

$$F = \begin{bmatrix} - & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & - & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & - & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & - & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & - & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & - & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & - \end{bmatrix}$$

Aşama 6. Uyumsuzluk Baskınlık Matrisinin (G) Hesaplanması

Uyumsuzluk indeksi için ortalama değer ($\bar{d}$) ve G matrisi aşağıda sunulmuştur:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{k=1}^{10} \sum_{l=1}^{10} d_{kl}}{10 \times 9} = 0,701$$

$$G = \begin{bmatrix} - & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & - & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & - & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & - & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & - & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & - & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & - & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & - \end{bmatrix}$$

Aşama 7. Baskınlık Matrisinin Hesaplanması

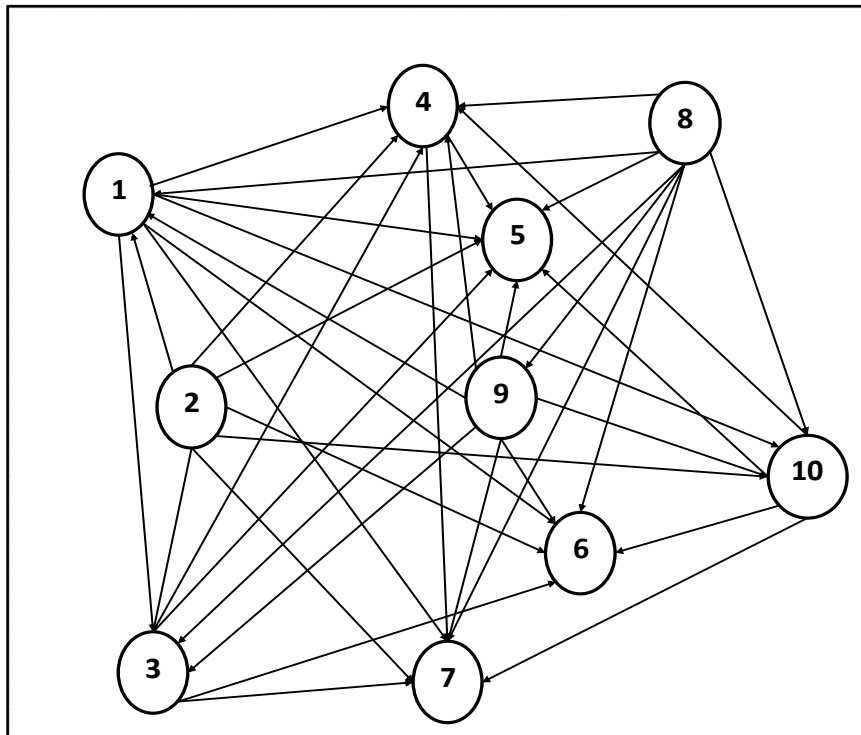
Matris aşağıda sunulmuştur:

$$E = \begin{bmatrix} - & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & - & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & - & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & - & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & - & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & - & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & - \end{bmatrix}$$

Aşama 8. Alternatiflerin Sıralanması:

E matrisine göre öncelik ilişkileri aşağıdaki şekilde hesaplanmış ve grafik olarak Şekil 7.1’de gösterilmiştir.

$A_1 \rightarrow A_3, A_1 \rightarrow A_4, A_1 \rightarrow A_5, A_1 \rightarrow A_6, A_1 \rightarrow A_7, A_1 \rightarrow A_{10}, A_2 \rightarrow A_1, A_2 \rightarrow A_3,$
 $A_2 \rightarrow A_4, A_2 \rightarrow A_5, A_2 \rightarrow A_6, A_2 \rightarrow A_7, A_2 \rightarrow A_{10}, A_3 \rightarrow A_4, A_3 \rightarrow A_5, A_3 \rightarrow A_6,$
 $A_3 \rightarrow A_7, A_4 \rightarrow A_5, A_4 \rightarrow A_7, A_8 \rightarrow A_1, A_8 \rightarrow A_3, A_8 \rightarrow A_4, A_8 \rightarrow A_5, A_8 \rightarrow A_6,$
 $A_8 \rightarrow A_7, A_8 \rightarrow A_9, A_8 \rightarrow A_{10}, A_9 \rightarrow A_1, A_9 \rightarrow A_3, A_9 \rightarrow A_4, A_9 \rightarrow A_5, A_9 \rightarrow A_6,$
 $A_9 \rightarrow A_7, A_9 \rightarrow A_{10}, A_{10} \rightarrow A_4, A_{10} \rightarrow A_5, A_{10} \rightarrow A_6, A_{10} \rightarrow A_7.$



Şekil 7.1. q-ROF ELECTRE ile Öncelik İlişkilerinin Gösterimi

Burada birçok alternatifin birbirlerine olan üstünlükleri açıkça görülse de tüm alternatifleri sıralamak için bu üstünlüklerin yetmediği görüldüğünden sonraki aşamada q-ROF TOPSIS yönteminin bazı aşamaları kullanılarak alternatifler sıralanmıştır.

Aşama 5b. Uyum Sıralama Matrisinin (C') Hesaplanması

C' Matrisi aşağıdaki şekildedir:

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	-	0,593	0,343	0,133	0	0,12	0,141	0,669	0,603	0,406
A2	0,288	-	0	0	0	0,08	0,07	0,675	0,512	0,144
A3	0,581	0,881	-	0,394	0,159	0,269	0,159	0,737	0,664	0,596
A4	0,748	0,881	0,488	-	0,344	0,453	0,438	0,78	0,737	0,706
A5	0,881	0,881	0,747	0,537	-	0,468	0,452	0,802	0,802	0,716
A6	0,782	0,802	0,612	0,535	0,461	-	0,333	0,802	0,802	0,675
A7	0,74	0,858	0,723	0,443	0,453	0,597	-	0,802	0,66	0,66
A8	0,212	0,255	0,144	0,144	0,08	0,08	0,08	-	0,391	0,289
A9	0,278	0,412	0,217	0,144	0,08	0,08	0,221	0,512	-	0,135
A10	0,476	0,737	0,321	0,233	0,185	0,206	0,221	0,593	0,747	-

Bu tablo, uyumluluk matrisinin en yüksek değeri $c^* = 0,941$ kullanılarak hesaplanmıştır.

Aşama 6b. Uyumsuzluk Sıralama (D') Matrisi

D' Matrisi aşağıdaki şekildedir:

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	-	0	0,504	0,875	0,963	0,888	0,751	0	0	0,376
A2	0,69	-	0,375	0,77	0,87	0,804	0,791	0	0	0,45
A3	0	0	-	0,797	0,628	0,607	0,719	0	0	0
A4	0	0	0	-	0,378	0,497	0,351	0	0	0
A5	0	0	0	0	-	0,359	0,428	0	0	0
A6	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0
A7	0	0	0	0	0	0,253	-	0	0	0
A8	0,392	0,116	0,591	0,606	0,714	0,55	0,648	-	0,304	0,749
A9	0,644	0,213	0,629	0,8	0,869	0,728	0,807	0	-	0,801
A10	0	0	0,016	0,726	0,788	0,451	0,657	0	0	-

Uyumsuzluk matrisindeki en yüksek değer $d^* = 1$ alınarak bu değerler hesaplanmıştır.

Aşama 7b. Baskınlık Sıralama Matrisinin (U') Hesaplanması

Matris aşağıda sunulmuştur:

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	-	0	0,595	0,868	1	0,881	0,841	0	0	0,481
A2	0,71	-	1	1	1	0,91	0,919	0	0	0,757
A3	0	0	-	0,669	0,798	0,693	0,819	0	0	0
A4	0	0	0	-	0,523	0,523	0,445	0	0	0
A5	0	0	0	0	-	0,434	0,486	0	0	0
A6	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0
A7	0	0	0	0	0	0,297	-	0	0	0
A8	0,65	0,311	0,804	0,808	0,9	0,874	0,891	-	0,437	0,722
A9	0,7	0,34	0,743	0,847	0,916	0,902	0,785	0	-	0,856
A10	0	0	0,047	0,757	0,81	0,687	0,748	0	0	-

Aşama 8b. En İyi Alternatifin Belirlenmesi

Alternatiflerin değerleri sırasıyla $\bar{u}_1 = 0,518$; $\bar{u}_2 = 0,699$; $\bar{u}_3 = 0,331$; $\bar{u}_4 = 0,166$; $\bar{u}_5 = 0,102$; $\bar{u}_6 = 0$; $\bar{u}_7 = 0,033$; $\bar{u}_8 = 0,711$; $\bar{u}_9 = 0,676$; $\bar{u}_{10} = 0,339$ olarak hesaplanmıştır.

Dolayısıyla tedarikçilerin iyiden kötüye doğru sıralaması şu şekildedir:

$$A_8 \succ A_2 \succ A_9 \succ A_1 \succ A_{10} \succ A_3 \succ A_4 \succ A_5 \succ A_7 \succ A_6 .$$

7.1.3. Mevcut metotların uygulanması

Liu ve Wang (2018) q-ROFWA ve q-ROFWG birleştirme operatörlerine (Tanım 5 ve 6) dayanan iki q-ROF karar verme metodu önermiştir. Bahse konu metotlar birleştirme operatörlerinin kullanıldığı aşama dışında aynı safhaları ihtiva etmesi bakımından birbirlerine benzemektedir. Bu aşamalar şu şekildedir:

Aşama 1. q-ROF TOPSIS metodunun 4. aşamasında tanımlanan ağırlıklandırılmış karar destek matrisi Eş.(7.2) kullanılarak normalize edilir.

$$r'_{ij} = (\mu'_{ij}, v'_{ij}, \pi'_{ij}) = \begin{cases} (\mu'_{ij}, v'_{ij}, \pi'_{ij}) & \text{fayda kriteri için} \\ (v'_{ij}, \mu'_{ij}, \pi'_{ij}) & \text{maliyet kriteri için} \end{cases} \quad (7.2)$$

Aşama 2. q-ROFWA (1.metot) veya q-ROFWG (2.metot) operatörlerini Eş. 7.3 ve Eş. 7.4'ü kullanarak birleştirilmiş değerlere dönüştürülür:

$$z_i = q - ROFWA(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}) \quad (7.3)$$

$$z_i = q - ROFWG(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}) \quad (7.4)$$

Aşama 3. Eş. 4.18 ve Eş. 4.19 ile tanımlanan skor ve doğruluk fonksiyonları hesaplanır.

Aşama 4. Alternatifler z_i değerlerine göre büyükten küçüğe sıralanır.

Liu ve Wang (2018) tarafından önerilen q-ROFWA ve q-ROFWG metotları TS problemine uygulanmıştır. Aşama 1'de ağırlıklandırılmış karar matrisini normalize etmek için 3. kriter Eş. 7.2 ile maliyet kriterinden fayda kriterine dönüştürülmüştür. Aşama 2'de q-ROFWA ve q-ROFWG operatörlerini kullanarak Çizelge 7.12'de görülen q-ROF sayıları cinsinden z_i değerleri elde edilmiştir. Aşama 3'te alternatifler için skor ve doğruluk fonksiyonları hesaplanmıştır (Çizelge 7.13)

Çizelge 7.12. q-ROF cinsinden z_i değerleri

Alternatif	q-ROFWA		q-ROFWG	
	μ	v	μ	v
A1	0,790	0,317	0,785	0,324
A2	0,827	0,284	0,819	0,294
A3	0,768	0,34	0,762	0,348
A4	0,748	0,359	0,745	0,363
A5	0,737	0,371	0,735	0,373
A6	0,736	0,375	0,730	0,382
A7	0,741	0,372	0,733	0,382
A8	0,871	0,252	0,838	0,298
A9	0,856	0,264	0,832	0,294
A10	0,781	0,327	0,775	0,337

Çizelge 7.13. q-ROFWA ve q-ROFWG metotlarında skor ve doğruluk fonksiyonları

Alternatif	q-ROFWA		q-ROFWG	
	Skor	Doğruluk	Skor	Doğruluk
A1	0,731	0,526	0,725	0,517
A2	0,771	0,589	0,762	0,574
A3	0,707	0,492	0,700	0,484
A4	0,686	0,465	0,683	0,461
A5	0,675	0,451	0,672	0,449
A6	0,673	0,451	0,667	0,445
A7	0,677	0,458	0,669	0,449
A8	0,822	0,676	0,781	0,615
A9	0,804	0,646	0,775	0,601
A10	0,721	0,512	0,713	0,503

7.2. Uygulama Sonuçlarının Kıyaslanması

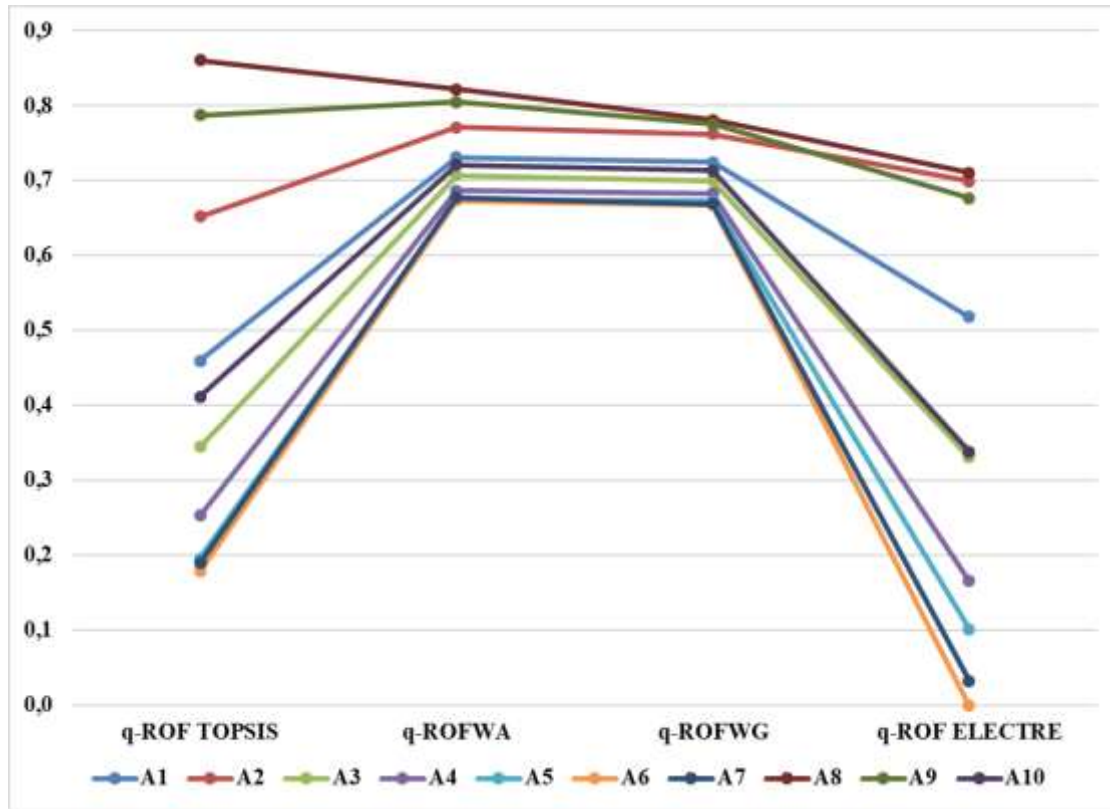
Aşama 4'te doğruluk fonksiyonlarına göre her bir alternatif Çizelge 7.14'de sıralanmış q-ROFWA ve q-ROFWG metotlarının sonuçları, önerilen q-ROF TOPSIS ve ELECTRE sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Çizelge 7.14. Metotlara Göre Alternatiflerin Sıralanması

Sıralama	Metotlar			
	q-ROF TOPSIS	q-ROFWA Skor/Doğruluk	q-ROFWG Skor/Doğruluk	q-ROF ELECTRE
1.	A ₈	A ₈	A ₈	A ₈
2.	A ₉	A ₉	A ₉	A ₂
3.	A ₂	A ₂	A ₂	A ₉
4.	A ₁	A ₁	A ₁	A ₁
5.	A ₁₀	A ₁₀	A ₁₀	A ₁₀
6.	A ₃	A ₃	A ₃	A ₃
7.	A ₄	A ₄	A ₄	A ₄
8.	A ₅	A ₇	A ₅ / A ₇	A ₅
9.	A ₇	A ₅	A ₇ / A ₅	A ₇
10.	A ₆	A ₆	A ₆	A ₆

Genel itibariyle sıralamalar birbirine benzemekle birlikte 2.,3.,8. ve 9. sıralamalarda bazı farklılıklar bulunmaktadır. Burada q-ROFWA ve q-ROFWG metotları da birbirinden farklı sonuçlar vermektedir. Fakat önerilen metotların asıl üstünlüğü alternatifleri birbirinden ayırt etmesinde yattığı Şekil 7.2'de açıkça görülmektedir. Önerilen her iki metodun sonuç

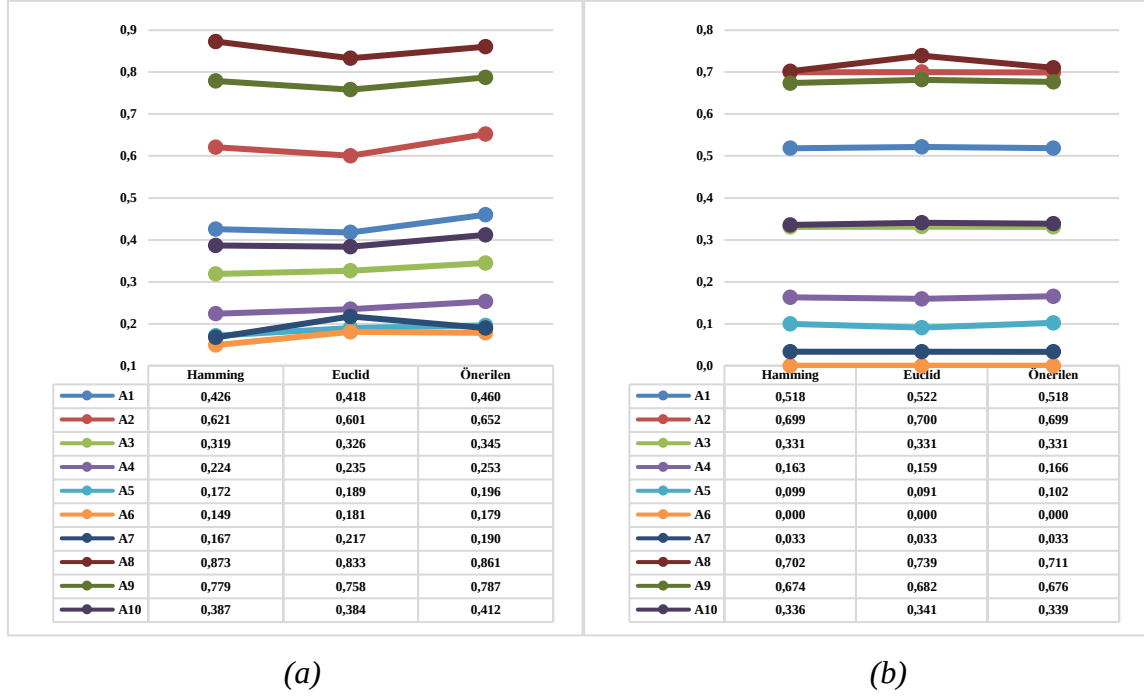
değerleri oldukça geniş bir aralıkta dağılmışken, literatürde mevcut olan metotların tüm sonuçları 0,7-0,8 aralığındaki kalmış hatta birçok değer ancak binde birlerle ifade edilebilecek farklarla birbirine üstünlük sağlayabilmektedir.



Şekil 7.2. Önerilen ve mevcut q-ROF metotların sonuçlarının kıyaslanması

Uzaklık ölçülerinin sonuçlarının kıyaslanması

Tez kapsamında önerilen uzaklık ölçüsünün istikrarını ve olumlu etkilerini ortaya koyabilmek amacıyla literatürde mevcut Hamming ve Öklid uzaklık ölçüleri q-ROF TOPSIS ve q-ROF ELECTRE metoduna uygulanmıştır. Yapılan uygulama sonucunda Hamming, Öklid ve önerilen uzaklıkların ölçüleri q-ROF TOPSIS ve q-ROF ELECTRE metodundaki sonuçları Şekil 7.3.(a)-(b)'de gösterilmiştir. Her iki metodun sonuçlarından açıkça görüldüğü gibi önerilen uzaklık ölçüsü ile bahse konu Hamming ve Öklid uzaklıkları arasında sıralamada ciddi bir fark oluşmamakta fakat daha önce belirtildiği gibi önerilen ölçünün ayırt etme gücünün daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.3. Hamming, Öklid ve önerilen uzaklık ölçülerinin kıyaslanması (a) q-ROF TOPSIS, (b) q-ROF ELECTRE.

7.3. Önerilen ve Mevcut Metotların Parametre Analizi

Bu alt bölümde, önerilen q-ROF TOPSIS, q-ROF ELECTRE için (q ve p) ve literatürde mevcut q-ROFWA ve q-ROFWG metotları için q parametresi analiz edilmiştir. Ayrıca önerilen uzaklık ölçüsünün etkinliğinin gösterilmesi için literatürde mevcut Hamming ve Öklid ölçüleri önerilen metotlarda kullanılarak q parametresinin analizi yapılmıştır.

q-ROF TOPSIS metodunun parametre analizi

Bu tezde önerilen q-ROF TOPSIS metodunun parametrelerinin analizi için uygulamanın p ve q değerleri $p=(1,2,3,4)$ ve $q=(2,3,4,5,6,7,8,9,10)$ alınarak alternatifler tekrar değerlendirilmiş ve sonuçlar Şekil 7.4.(a)-(d) ile gösterilmiştir.

Şekil 7.4.(a)'da görüldüğü gibi, en istikrarlı sonucu veren $p=1$ durumunda tedarikçilerin puanlarının çok bariz bir şekilde birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Q parametre değerinin artması herhangi bir olumsuz duruma neden olmamakla birlikte $q>7$ için 8. ve 9. sırada bulunan A5 ve A7'nin sıralamalarının yer değiştiği görülmektedir. P parametresinin artmasının q'ya göre daha etkili olduğu gözlenmiştir. $P=2$ için değerlerde ve sıralamada çok fazla değişiklik görülmesine de $p=3$ durumunda ilk ve son iki değer birbirine yaklaştığı, $p=4$

durumunda da ilk ve son sıralamaların az farkla da olsa değiştiği gözlenmektedir. Buradan çıkarılan sonuç q-ROF TOPSIS'te p parametresinin en güvenilir değeri 1'dir. Ayrıca $6 \geq q \geq 3$ aralığındaki değerlerin daha tutarlı olduğu ve sonuç olarak q-ROF TOPSIS metodunda p için p=1 ve q için $6 \geq q \geq 3$ değerlerinin tercih edilebileceği değerlendirilmektedir.

q-ROF ELECTRE metodunun parametre analizi

Metodun parametre analizi önceki q-ROF TOPSIS yönteminin analizine benzer olarak q (2,3,4,5,6,7,8,9,10) ve p (1,2,3) değerleri ile gerçekleştirilmiş ve Şekil 7.5.(a)-(c) ile gösterilmiştir. Şekil 7.5.(a)'da görüldüğü gibi p=1 durumunda q parametresinin artışı sıralamada çok az bir değişikliğe neden olduğu, $6 \geq q \geq 3$ aralığında ise sıralamanın oldukça istikrarlı olduğu görülmektedir. q-ROF TOPSIS'ten farklı olarak q-ROF ELECTRE metodunun p parametresinden daha az etkilendiği, p=1,2,3 değerleri için genel olarak aynı sıralamanın gerçekleştiği, 1-3 ve 5-6. sıradaki alternatiflerin tüm p ve q değerlerinde birbirlerine yakın olduğu bunun dışındaki alternatiflerin de istikrarlı olarak birbirinden ayrı oldukları Şekil 7.5.(a)-(c)'de görülmektedir. Sonuç olarak q-ROF ELECTRE metodunda p parametresinin sonucu fazla etkilemediği ve q parametresi için de $6 \geq q \geq 3$ aralığındaki değerlerin oldukça tutarlı olduğu söylenebilir.

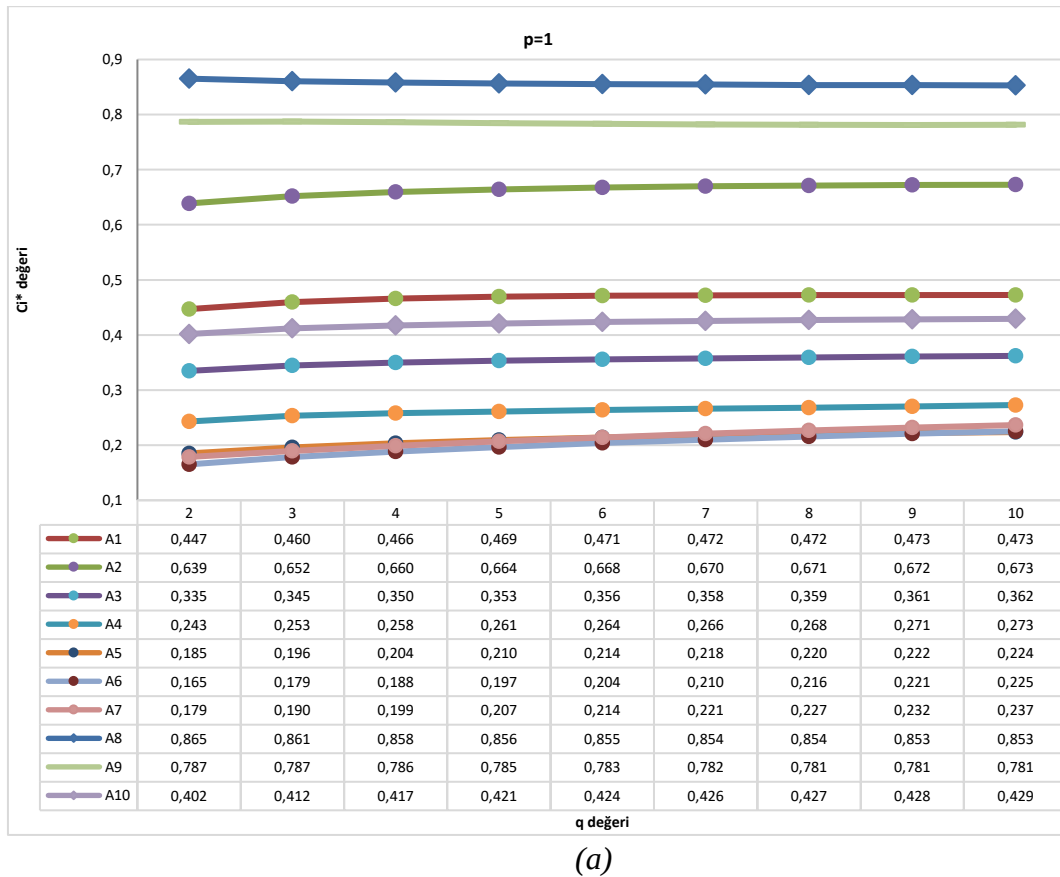
Literatürde mevcut metotların parametre analizi

Daha önce belirtildiği gibi literatürde q-ROF sayılarla ilgili oldukça kısıtlı sayıda bulunan karar verme yöntemlerinden q-ROFWA ve q-ROFWG metotlarına yönelik q parametresinin etkileri bu kısımda analiz edilmiştir. Bu kapsamda q =(2,3,4,5,6,7,8,9,10) değerleri için her iki metodun skor ve doğruluk fonksiyonları kullanılarak alternatif değerler hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 7.15. ve grafik olarak da Şekil 7.6.(a)-(d) ile gösterilmiştir.

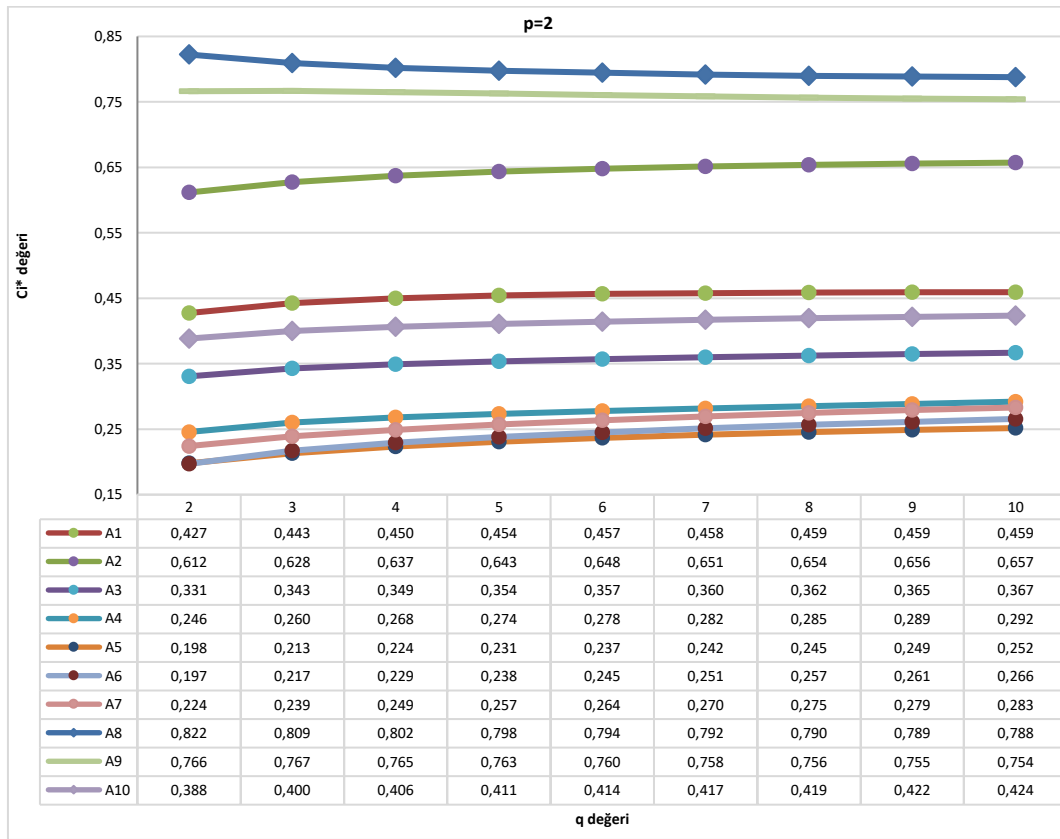
Sonuçlar analiz edildiğinde skor fonksiyonu kullanan metotlarda q parametresinin değeri arttıkça tüm sonuçların 0,5'e, q-ROFWA doğruluk fonksiyonu metodunda ise 0'a yaklaştığı görülmektedir. Bu metotlarla elde edilen 4 şekilde de alternatiflerin değerleri, q=2'de doğruluk fonksiyonunda, q=10'da ise her iki fonksiyonda birbirine oldukça yakın çıktığı görülmektedir. Örneğin q-ROFWA doğruluk fonksiyonunda q=3 için $A_5=0,45126$ iken $A_6=0,45124$ hesaplanmış yani fark yüz binde ikiye kadar düşmüştür. Sonuç olarak mevcut metotların ayırt ediciliği önerilen metotlara göre oldukça zayıf kalmaktadır.

Hamming ve Öklid uzaklık ölçülerinin parametre analizi

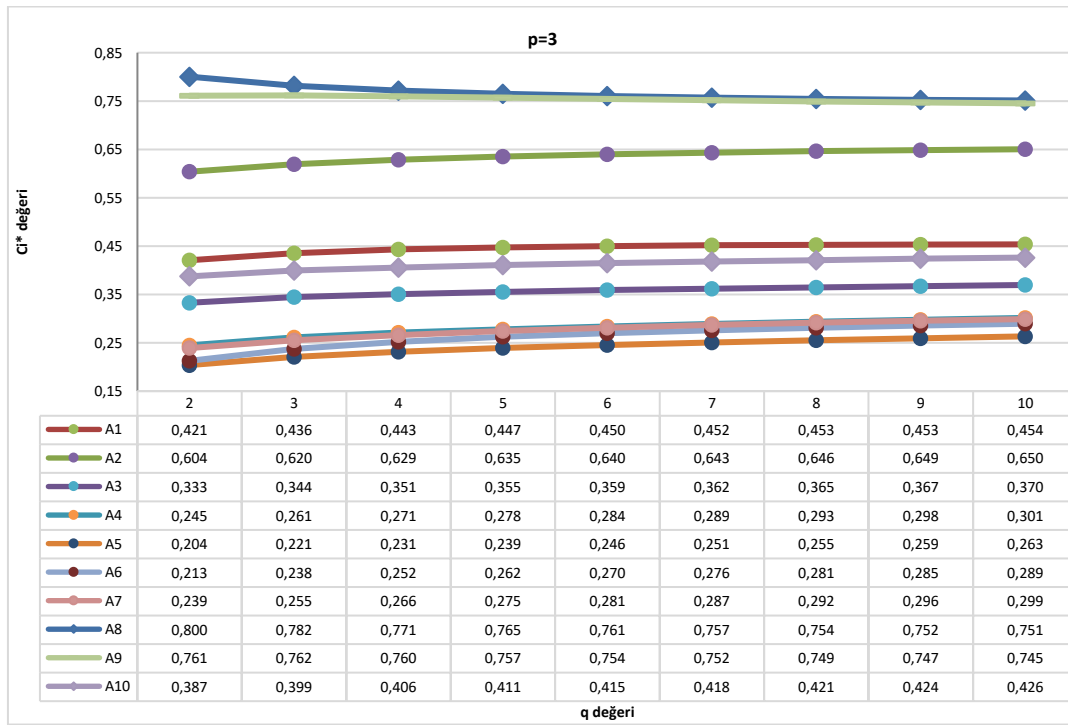
Önerilen uzaklık ölçüsünün etkinliğinin test edilebilmesi için q-ROF TOPSIS ve q-ROF ELECTRE metotları önerilen ölçü yerine literatürde sıkça kullanılan Hamming ve Öklid ölçüleri kullanılarak mevcut verilerle bir uygulama yapılmıştır. Şekil 7.7.(a)-(b)'de görüldüğü gibi q-ROF ELECTRE metodunda her iki uzaklık ölçüsü de tutarsız sonuçlar üretmektedir. Örneğin Hamming uzaklık ölçüsü Şekil 7.7.(a)'da görüldüğü üzere $q=2,3,4$ için ilk sıralardaki alternatiflerin ve $q>6$ için sıralamadaki son 4 alternatifin değerleri ve dolayısıyla sıralamaları değişmekte ve istikrarlı sonuçlar vermemektedir. Benzer sonuçlar Şekil 7.7.(b)'de Öklid ölçüsü için geçerli olmakta, yine $q=2,3,4$ için ilk sıralardaki ve $q>6$ için de son 4 alternatifin değerleri değişmektedir. Bunun yanında q-ROF TOPSIS'de Hamming ve Öklid ölçülerinde alternatiflerin sıralamasının fazla etkilenmediği Şekil 7.7.(c)-(d) görülmektedir. Buradan çıkaracağımız sonuç önerilen uzaklık ölçüsü özellikle q-ROF ELECTRE metodunda Hamming ve Öklid ölçülerine göre bariz olarak hem sıralamada daha istikrarlı hem de alternatifleri daha ayırt edici sonuçlar vermektedir.



Şekil 7.4. q-ROF TOPSIS'de p ve q'nun etkisi, (a) p=1 (b) p=2 (c) p=3 (d) p=4.

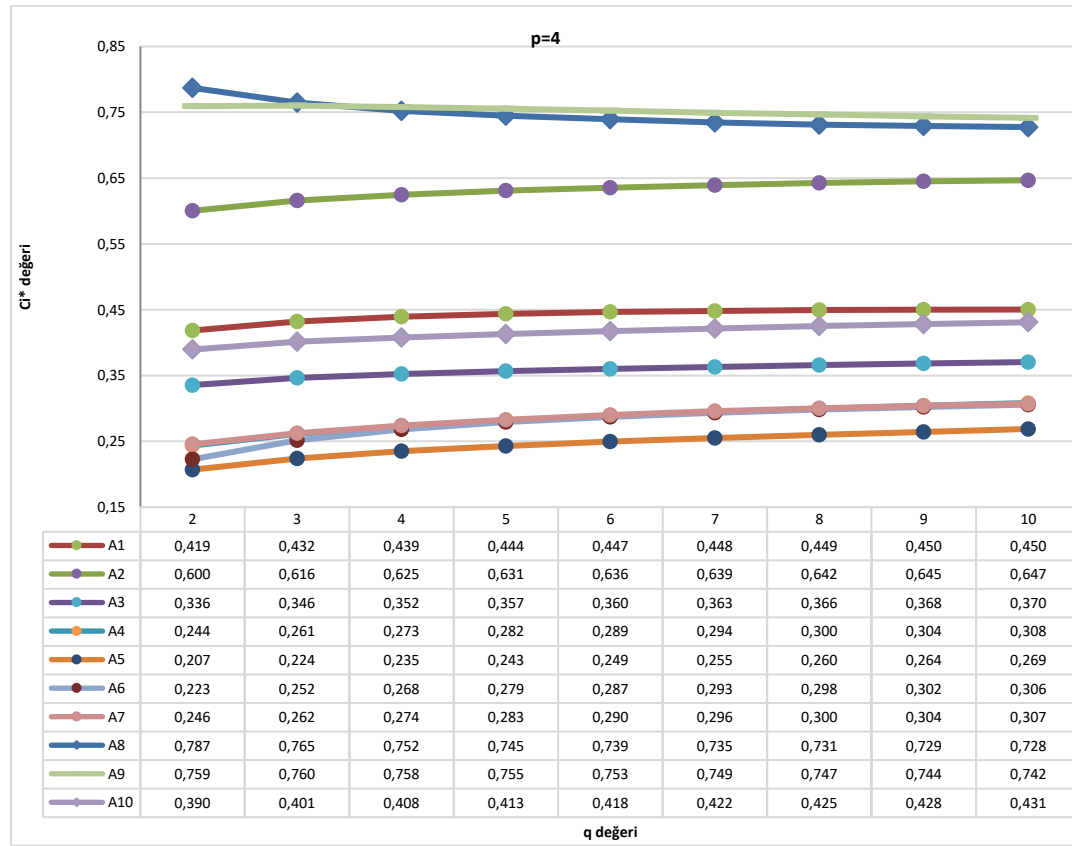


(b)

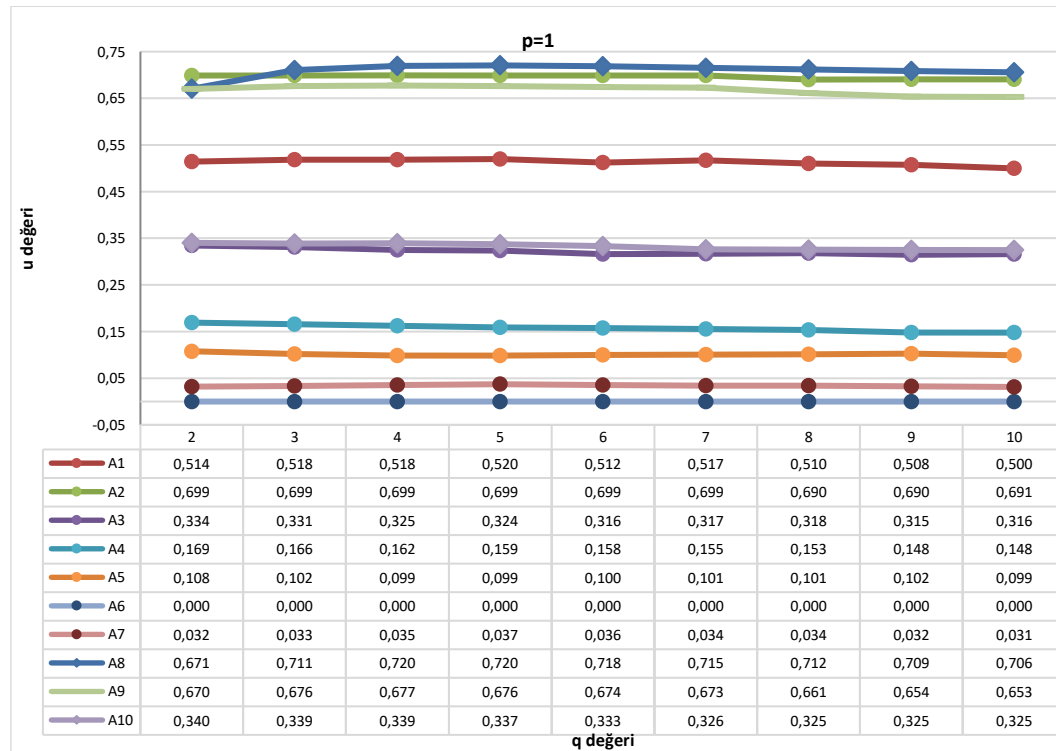


(c)

Şekil 7.4. (devamı) q-ROF TOPSIS’de p ve q’nun etkisi, (a) p=1 (b) p=2 (c) p=3 (d) p=4.

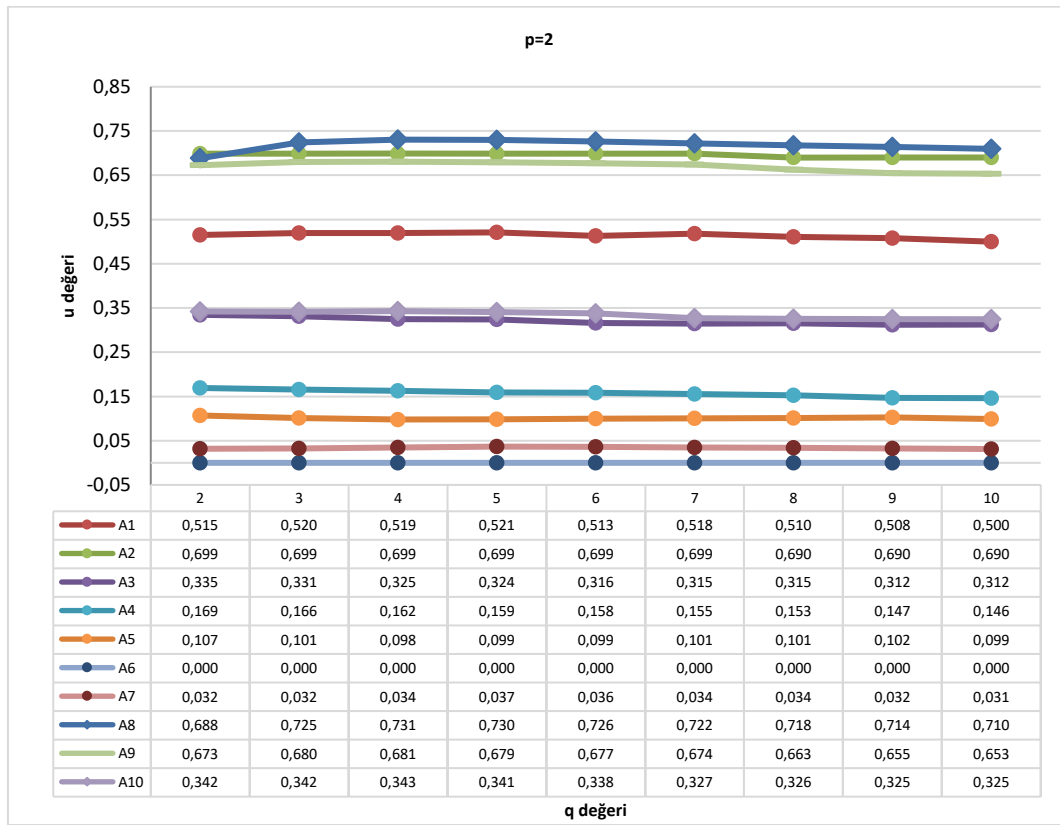


(d)

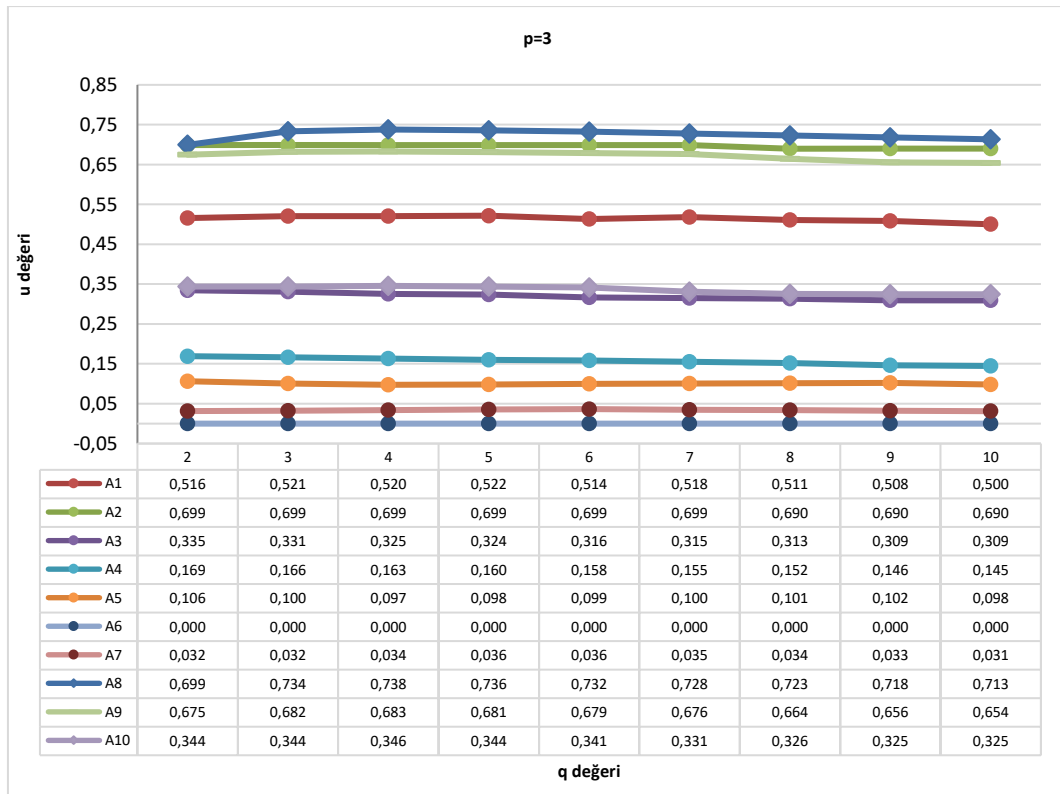
Şekil 7.4. (devamı) q-ROF TOPSIS’de p ve q ’nun etkisi, (a) $p=1$ (b) $p=2$ (c) $p=3$ (d) $p=4$.

(a)

Şekil 7.5. q-ROF ELECTRE’de p ve q ’nun etkisi, (a) $p=1$ (b) $p=2$ (c) $p=3$.

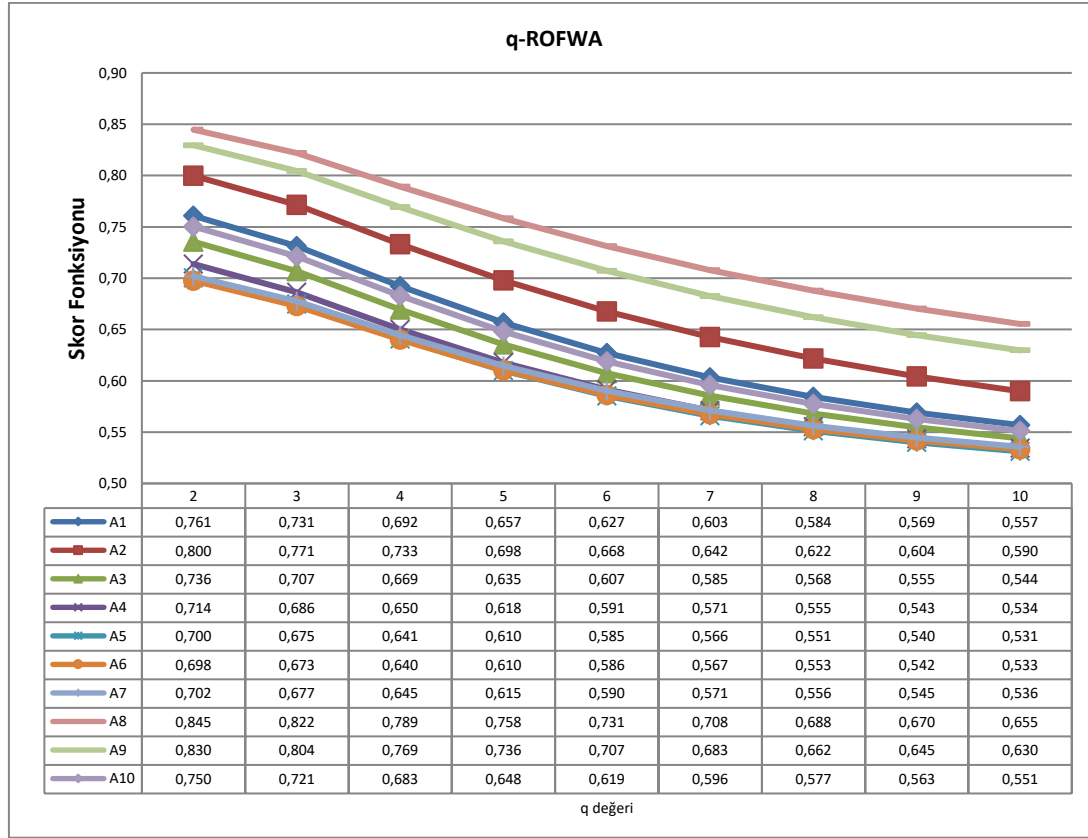


(b)

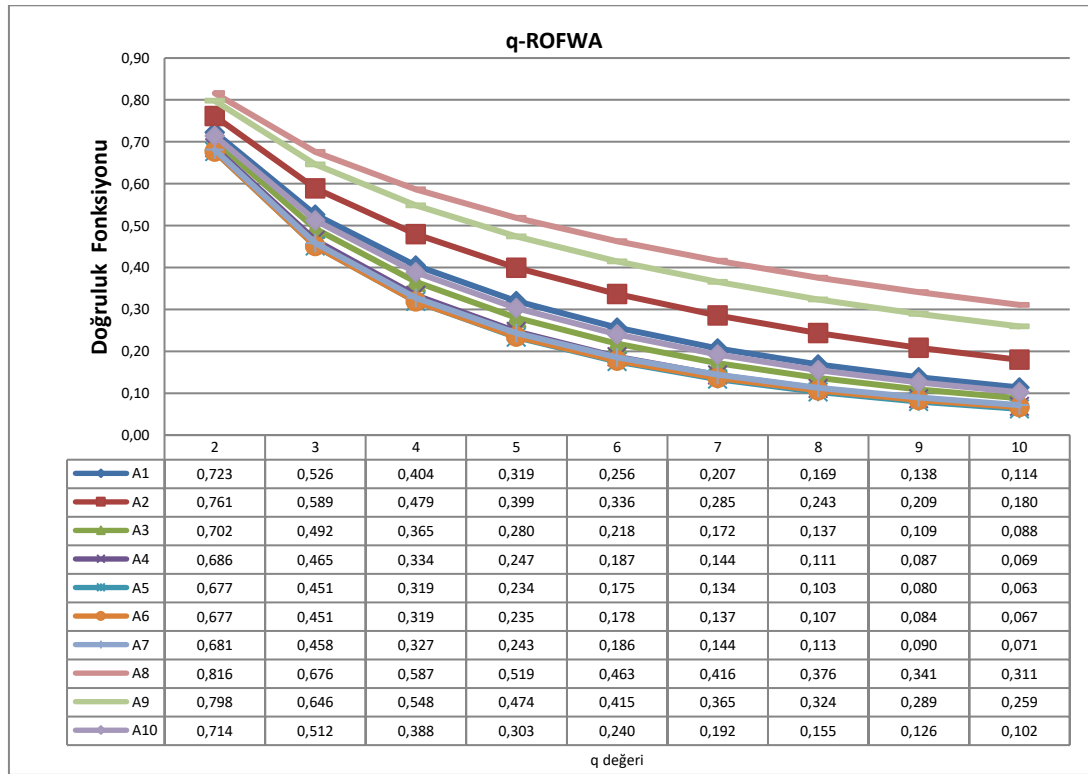


(c)

Şekil 7.5. (devamı) q-ROF ELECTRE’de p ve q’nun etkisi, (a) $p=1$ (b) $p=2$ (c) $p=3$.

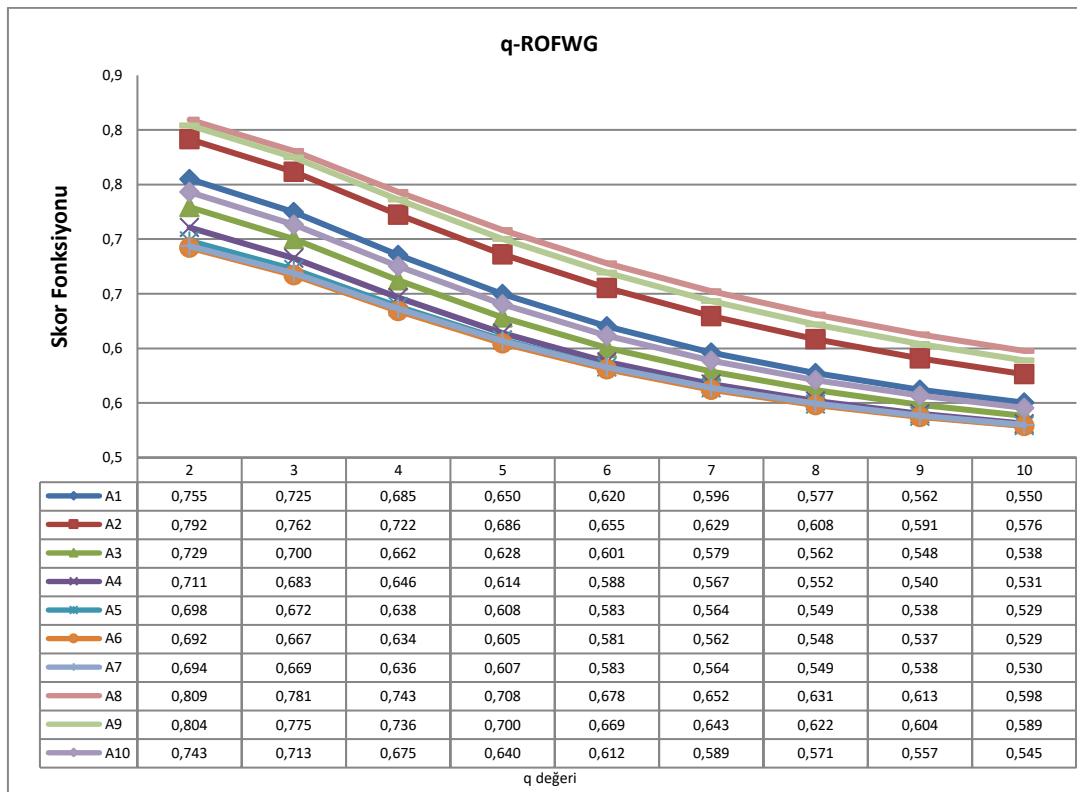


(a)

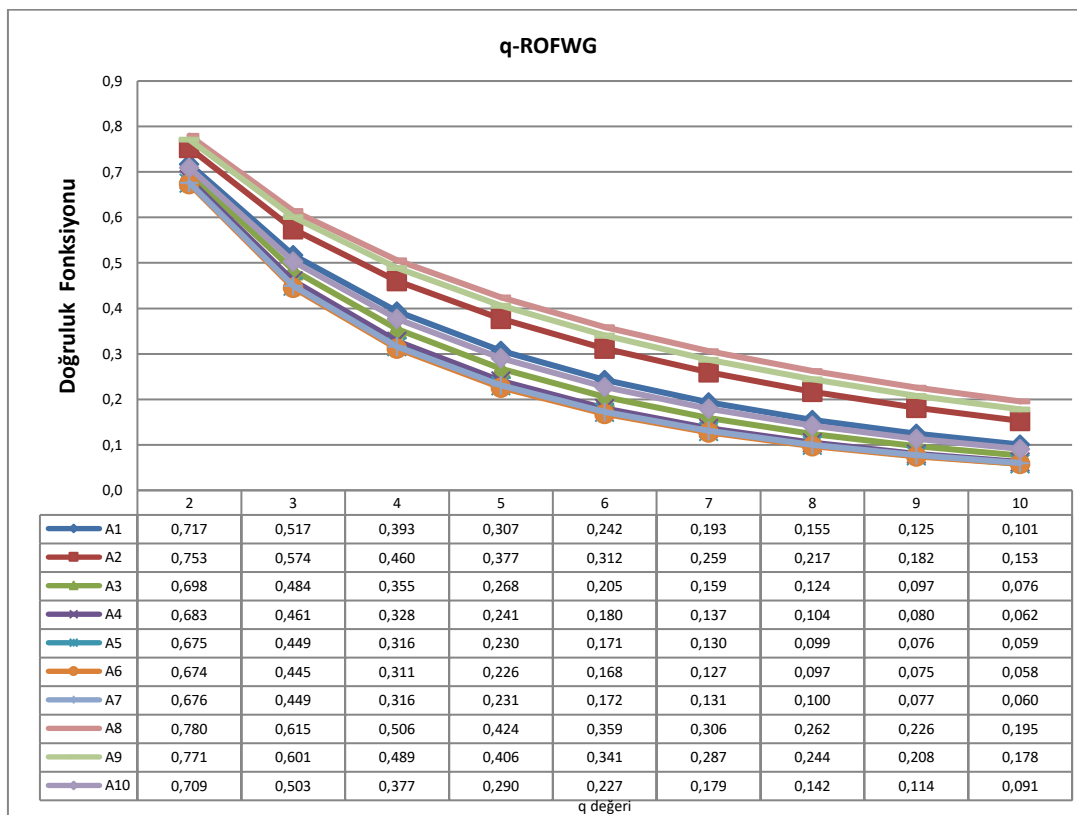


(b)

Şekil 7.6. Mevcut q-ROF ÇKKV metotlarında q parametresinin etkisi, $q=(2-10)$
 (a) q-ROFWA skor fonksiyonu, (b) q-ROFWA doğruluk fonksiyonu,
 (c) q-ROFWG skor fonksiyonu, (d) q-ROFWG doğruluk fonksiyonu metodu.



(c)



(d)

Şekil 7.6. (devamı) Mevcut q-ROF ÇKKV metodlarında q parametresinin etkisi, $q=(2-10)$
 (a) q-ROFWA skor fonksiyonu, (b) q-ROFWA doğruluk fonksiyonu,
 (c) q-ROFWG skor fonksiyonu, (d) q-ROFWG doğruluk fonksiyonu metodu.

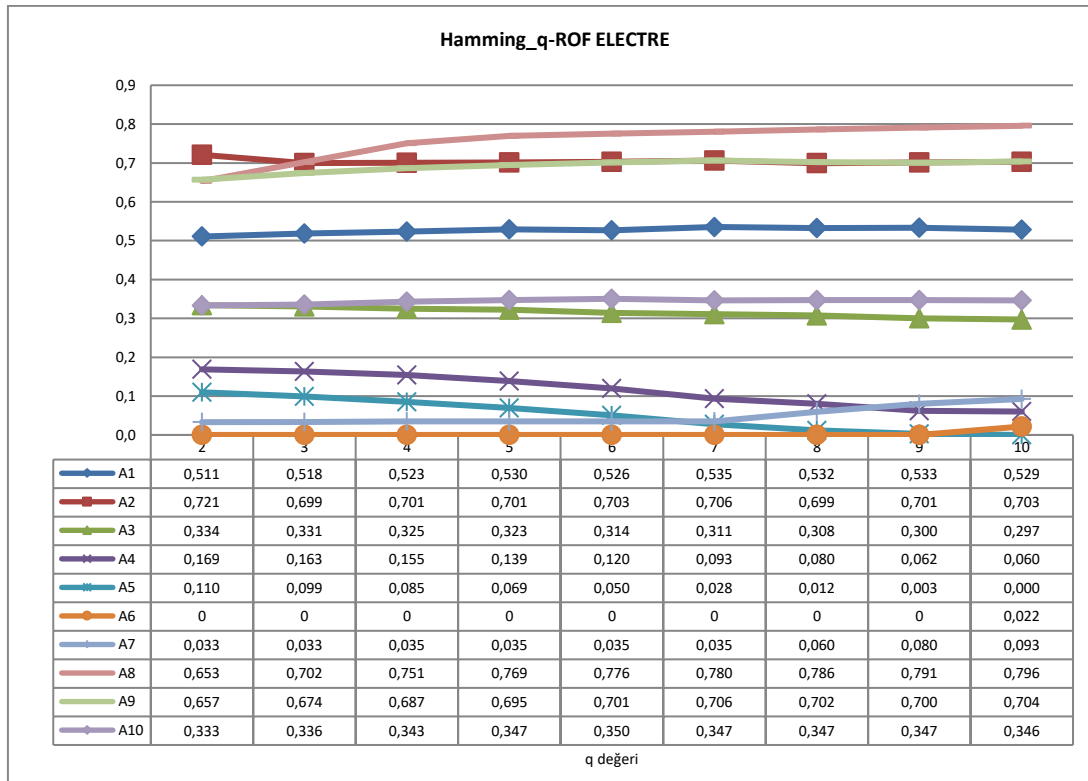
Çizelge 7.15. Mevcut q-ROF TS metotlarında q parametresinin etkisi,
 $q=(2-10)$ için q-ROFWA/q-ROFWG skor ve doğruluk fonksiyonu metotları.

q-ROFWA Skor Fonksiyonu		q değerleri							
Tedarikçiler	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	0,761	0,731	0,692	0,657	0,627	0,603	0,584	0,569	0,557
A2	0,800	0,771	0,733	0,698	0,668	0,642	0,622	0,604	0,590
A3	0,736	0,707	0,669	0,635	0,607	0,585	0,568	0,555	0,544
A4	0,714	0,686	0,650	0,618	0,591	0,571	0,555	0,543	0,534
A5	0,700	0,675	0,641	0,610	0,585	0,566	0,551	0,540	0,531
A6	0,698	0,673	0,640	0,610	0,586	0,567	0,553	0,542	0,533
A7	0,702	0,677	0,645	0,615	0,590	0,571	0,556	0,545	0,536
A8	0,845	0,822	0,789	0,758	0,731	0,708	0,688	0,670	0,655
A9	0,830	0,804	0,769	0,736	0,707	0,683	0,662	0,645	0,630
A10	0,750	0,721	0,683	0,648	0,619	0,596	0,577	0,563	0,551

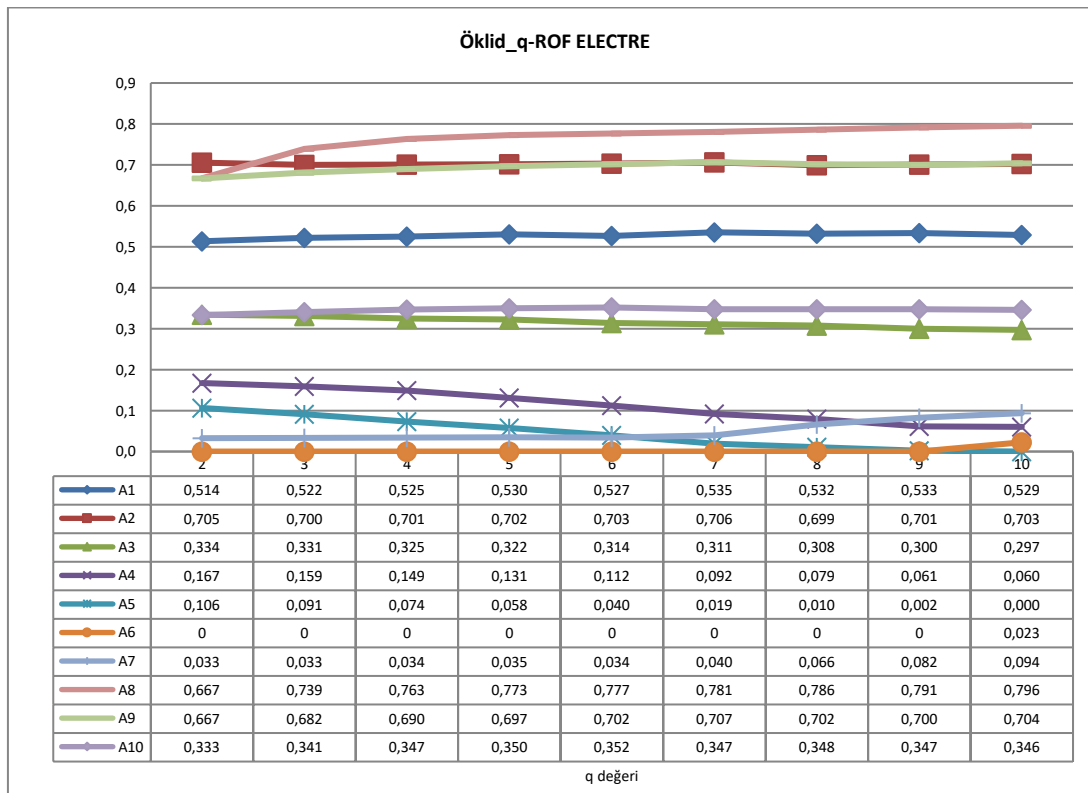
q-ROFWA Doğruluk Fonksiyonu		q değerleri							
Tedarikçiler	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	0,723	0,526	0,404	0,319	0,256	0,207	0,169	0,138	0,114
A2	0,761	0,589	0,479	0,399	0,336	0,285	0,243	0,209	0,180
A3	0,702	0,492	0,365	0,280	0,218	0,172	0,137	0,109	0,088
A4	0,686	0,465	0,334	0,247	0,187	0,144	0,111	0,087	0,069
A5	0,677	0,451	0,319	0,234	0,175	0,134	0,103	0,080	0,063
A6	0,677	0,451	0,319	0,235	0,178	0,137	0,107	0,084	0,067
A7	0,681	0,458	0,327	0,243	0,186	0,144	0,113	0,090	0,071
A8	0,816	0,676	0,587	0,519	0,463	0,416	0,376	0,341	0,311
A9	0,798	0,646	0,548	0,474	0,415	0,365	0,324	0,289	0,259
A10	0,714	0,512	0,388	0,303	0,240	0,192	0,155	0,126	0,102

q-ROFWG Skor Fonksiyonu		q değerleri							
Tedarikçiler	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	0,761	0,731	0,692	0,657	0,627	0,603	0,584	0,569	0,557
A2	0,800	0,771	0,733	0,698	0,668	0,642	0,622	0,604	0,590
A3	0,736	0,707	0,669	0,635	0,607	0,585	0,568	0,555	0,544
A4	0,714	0,686	0,650	0,618	0,591	0,571	0,555	0,543	0,534
A5	0,700	0,675	0,641	0,610	0,585	0,566	0,551	0,540	0,531
A6	0,698	0,673	0,640	0,610	0,586	0,567	0,553	0,542	0,533
A7	0,702	0,677	0,645	0,615	0,590	0,571	0,556	0,545	0,536
A8	0,845	0,822	0,789	0,758	0,731	0,708	0,688	0,670	0,655
A9	0,830	0,804	0,769	0,736	0,707	0,683	0,662	0,645	0,630
A10	0,750	0,721	0,683	0,648	0,619	0,596	0,577	0,563	0,551

q-ROFWG Doğruluk Fonksiyonu		q değerleri							
Tedarikçiler	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	0,723	0,526	0,404	0,319	0,256	0,207	0,169	0,138	0,114
A2	0,761	0,589	0,479	0,399	0,336	0,285	0,243	0,209	0,180
A3	0,702	0,492	0,365	0,280	0,218	0,172	0,137	0,109	0,088
A4	0,686	0,465	0,334	0,247	0,187	0,144	0,111	0,087	0,069
A5	0,677	0,451	0,319	0,234	0,175	0,134	0,103	0,080	0,063
A6	0,677	0,451	0,319	0,235	0,178	0,137	0,107	0,084	0,067
A7	0,681	0,458	0,327	0,243	0,186	0,144	0,113	0,090	0,071
A8	0,816	0,676	0,587	0,519	0,463	0,416	0,376	0,341	0,311
A9	0,798	0,646	0,548	0,474	0,415	0,365	0,324	0,289	0,259
A10	0,714	0,512	0,388	0,303	0,240	0,192	0,155	0,126	0,102



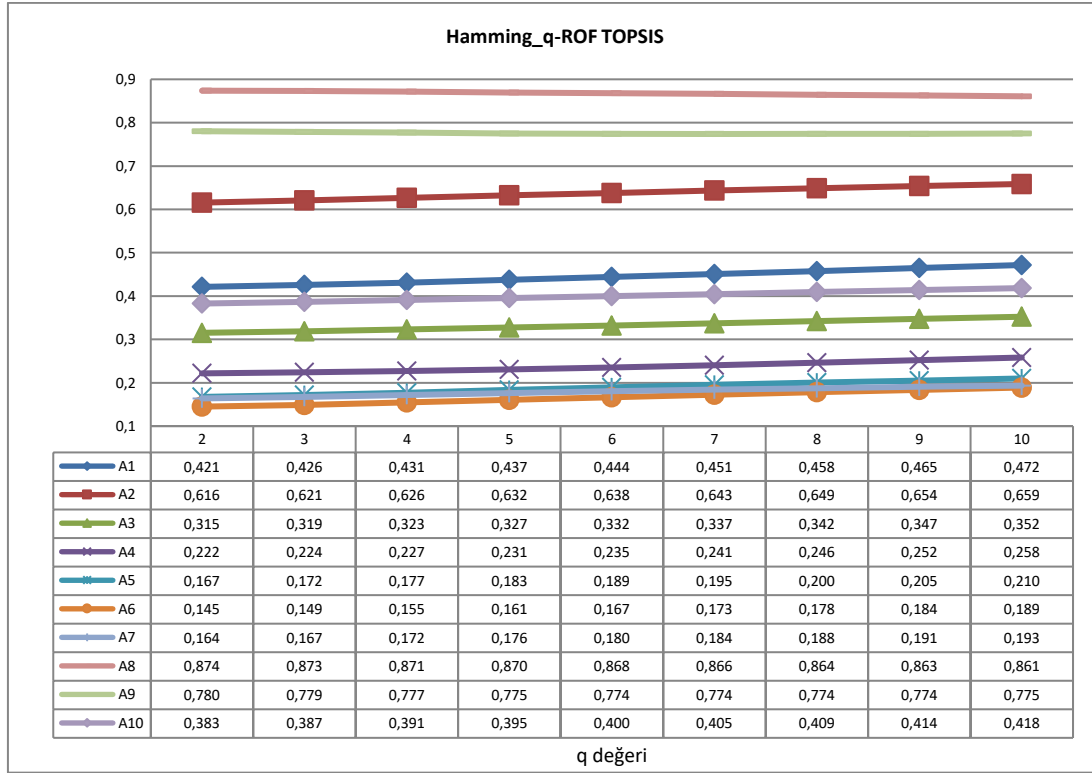
(a)



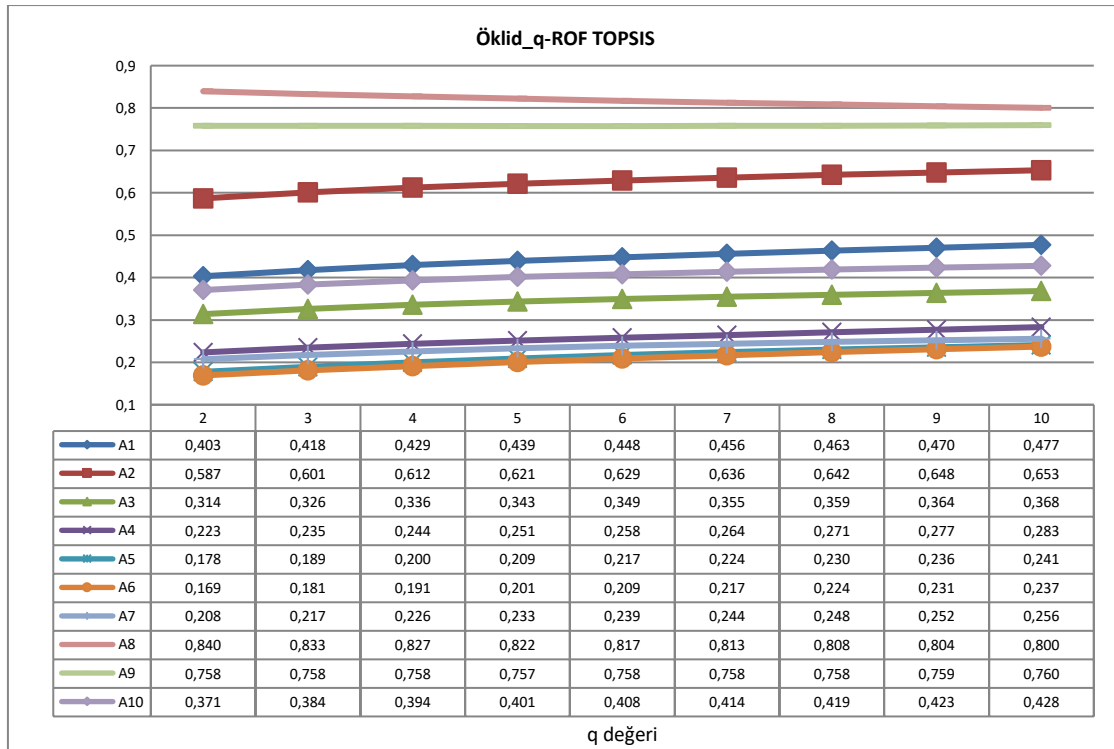
(b)

Şekil 7.7. Hamming ve Öklid ölçüleri için q parametre analizi, q=(2-10)

(a) Hamming ölçüsü q-ROF ELECTRE, (b) Öklid ölçüsü q-ROF ELECTRE, (c) Hamming ölçüsü q-ROF TOPSIS, (d) Öklid ölçüsü q-ROF TOPSIS.



(c)



(d)

Şekil 7.7. (devamı) Hamming ve Öklid ölçütleri için q parametre analizi, $q=(2-10)$
 (a) Hamming ölçüsü q-ROF ELECTRE, (b) Öklid ölçüsü q-ROF ELECTRE,
 (c) Hamming ölçüsü q-ROF TOPSIS, (d) Öklid ölçüsü q-ROF TOPSIS.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde ÇKKV metotları detaylı olarak incelenerek bahse konu metotların tek başına veya diğer metotlarla entegre olarak TS’de kullanımına yönelik bir literatür taraması yapılmıştır. Tez çalışmasında ayrıca Zadeh’in bulanık sayılarından yakın zamanda Yager tarafından önerilen q seviyeli bulanık sayılara kadar bulanık kümelerin özelliklerine kısaca değinilmiştir.

Yapılan literatür çalışması sonucunda q seviyeli bulanık sayıların önceki bulanık sayılara göre karar vericilere daha geniş çapta bir değerlendirme alanı sunduğu, fakat bu alanda yeteri kadar uzaklık ölçüsü ve karar verme metodu bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında bahse konu boşluğu kapatmak maksadıyla q seviyeli bulanık sayı temelli bir uzaklık ölçüsü tanımlanmış ve bir uzaklık ölçüsünde olması gereken özellikler ispatlanarak gösterilmiştir. Önerilen ölçü literatürdeki mevcut ölçülerle kıyaslandığında, mevcut ölçülerin farklı durumlarda aynı sonucu vermesi, farklı uzaklıkların sonucunu eşit olarak göstermesi gibi birçok ölçme hatalarına sahip olduğu buna karşılık önerilen ölçünün test edilen tüm durumlarda doğru sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Bu tezde uzaklık ölçüsünün yanında, q seviyeli bulanık sayı temelli q -ROF TOPSIS ve q -ROF ELECTRE karar verme metotları önerilmiş ve bu metotlarda önerilen uzaklık ölçüsü kullanılmıştır. Önerilen iki metot ve önerilen uzaklık ölçüsü kullanılarak yerli bir perakende şirketi için 10 alternatif tedarikçi arasından en uygun TS uygulaması yapılmış, sonuçlar diğer metotların sonuçları ile kıyaslanmış ve önerilen yöntemlerin daha başarılı olduğu gözlenmiştir.

Öncelikle, önerilen uzaklık ölçülerini kullanan bu metotlar belirsizlik ortamında etkili olan parametrik bir özelliğe sahiptir. Bu kapsamda p ve q değerlerinin değiştirilmesi ile yapılan parametre analizinde her iki metodun sonuçlarının parametre değişimlerinden diğer metotlara kıyasla çok az etkilendiği görülmüştür. Önerilen metotların sonuçlarına bakıldığında alternatifler arasında gözle görülür puan farkları olduğundan tedarikçiler kolayca sıralanmıştır. Fakat diğer metotlarda (q -ROFWA ve q -ROFWG) tek parametre olmasına rağmen bu parametre artırıldığında, her iki metotta da skor fonksiyonları 0,5 değerine, doğruluk fonksiyonları da 0 değerine yaklaştığı gözlenmiş, özellikle q -ROFWA

metodunda değerlerin birbirine çok yakın olduğu, hatta $q=3$ durumunda bile bu farkın yüz binde iki seviyelerine kadar yaklaşabildiği, ve bu nedenle önerilen her iki metodun da alternatifleri ayırma kabiliyetinin mevcut metotlara göre daha iyi olduğu ve parametre değişikliklerinden daha az etkilendiği sonucuna varılmıştır. Diğer bir husus ise, önerilen uzaklık ölçüsü mevcut Hamming ve Öklid ölçüleri ile kıyaslanmış, özellikle q -ROF ELECTRE metodunda q seviyesi arttıkça mevcut ölçülerin istikrarsız sonuçlar ürettiği ve sıralamaların bozulduğu buna karşılık önerilen uzaklık ölçüsünün istikrarlı ve ayırt edici sonuçlar verdiği açıkça görülmüştür.

Sonuç olarak karar vericilere daha geniş ölçüde değerlendirme yapma fırsatı sunan q seviyeli bulanık sayılara yönelik yapılan bu çalışma ile literatüre katkı sağlanan uzaklık ölçüsünün mevcut ölçülerden daha üstün özelliklere sahip olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, bahse konu ölçü kullanılarak önerilen ve mevcut metotlardan daha istikrarlı ve ayırt edici sonuçlar ürettiği görülen q -ROF ELECTRE ve q -ROF TOPSIS yöntemleri ile de TS’de kullanılan bulanık ÇKKV metotları literatürüne katkı sağlanmıştır.

Gelecek çalışmalarda; bu tezde önerilen uzaklık ölçüsü başta sınıflandırma olmak üzere kümeleme vb. algoritmalarda kullanılarak diğer ÇKKV metotlarına uygulanabilir. Ayrıca q -ROF ELECTRE ve q -ROF TOPSIS metotları TS dışındaki alanlara ve q - seviyeli görsel bulanık (q -rung picture fuzzy) kümeler gibi diğer bulanık kümelere de uyarlanabilir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Basset, M., Mohamed, M., and Smarandache, F. (2018). A hybrid neutrosophic group ANP-TOPSIS framework for supplier selection problems. *Symmetry*, 10(6), 226.
- Abdullah, L., Chan, W., and Afshari, A. (2019). Application of PROMETHEE method for green supplier selection: a comparative result based on preference functions. *Journal of Industrial Engineering International*, 15(2), 271-285.
- Agarwal, P., Sahai, M., Mishra, V., Bag, M., and Singh, V. (2011). A review of multi-criteria decision making techniques for supplier evaluation and selection. *International journal of industrial engineering computations*, 2(4), 801-810.
- Aissaoui, N., Haouari, M., and Hassini, E. (2007). Supplier selection and order lot sizing modeling: A review. *Computers; operations research*, 34(12), 3516-3540.
- Aksakal, E., ve Dağdeviren, M. (2010). ANP ve DEMATEL Yöntemleri İle Personel Seçimi Problemine Bütünleşik Bir Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4).
- Aksoy, A., and Öztürk, N. (2011). Supplier selection and performance evaluation in just-in-time production environments. *Expert systems with applications*, 38(5), 6351-6359.
- Amid, A., Ghodsypour, S., and O'Brien, C. (2006). Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain. *International Journal of production economics*, 104(2), 394-407.
- Amid, A., Ghodsypour, S., and O'Brien, C. (2011). A weighted max–min model for fuzzy multi-objective supplier selection in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 139-145.
- Amin, S. H., and Razmi, J. (2009). An integrated fuzzy model for supplier management: A case study of ISP selection and evaluation. *Expert systems with applications*, 36(4), 8639-8648.
- Amin, S. H., and Zhang, G. (2012). An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 6782-6791.
- Anthony, T. F., and Buffa, F. P. (1977). Strategic purchase scheduling. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 13(3), 27-31.
- Aouadni, S., Rebai, A., and Turskis, Z. (2017). The meaningful mixed data TOPSIS (TOPSIS-MMD) method and its application in supplier selection. *Studies in Informatics and Control*, 26(3), 353-363.
- Arslan, H. M. (2017). AHP-VIKOR yöntemi ile en iyi tedarikçi seçimi ve bir uygulama. *Electronic Journal of Social Sciences*, 16(63).

- Asamoah, D., Annan, J., and Nyarko, S. (2012). AHP approach for supplier evaluation and selection in a pharmaceutical manufacturing firm in Ghana. *International Journal of Business and Management*, 7.
- Atanassov, K. (1999). Intuitionistic fuzzy sets, vol. 35 of Studies in Fuzziness and Soft Computing. *Physica, Heidelberg, Germany*.
- Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87-96. doi:10.1016/S0165-0114(86)80034-3
- Awasthi, A., Chauhan, S. S., and Goyal, S. K. (2010). A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers. *International Journal of Production Economics*, 126(2), 370-378.
- Awasthi, A., Govindan, K., and Gold, S. (2018). Multi-tier sustainable global supplier selection using a fuzzy AHP-VIKOR based approach. *International Journal of Production Economics*, 195, 106-117.
- Awasthi, A., and Kannan, G. (2016). Green supplier development program selection using NGT and VIKOR under fuzzy environment. *Computers & Industrial Engineering*, 91, 100-108.
- Azadeh, A., and Alem, S. M. (2010). A flexible deterministic, stochastic and fuzzy Data Envelopment Analysis approach for supply chain risk and vendor selection problem: Simulation analysis. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7438-7448.
- Badorf, F., Wagner, S. M., Hoberg, K., and Papier, F. (2019). How Supplier Economies of Scale Drive Supplier Selection Decisions. *Journal of Supply Chain Management*, 55(3), 45-67.
- Bana E Costa, C. A., and Vansnick, J. C. (1997). Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6(2), 107-114.
- Banaeian, N., Mobli, H., Fahimnia, B., Nielsen, I. E., and Omid, M. (2018). Green supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the agri-food industry. *Computers Operations Research*, 89, 337-347.
- Barla, S. B. (2003). A case study of supplier selection for lean supply by using a mathematical model. *Logistics Information Management*.
- Bayazit, O. (2006). Use of analytic network process in vendor selection decisions. *Benchmarking: An International Journal*.
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., and Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European journal of Operational research*, 200(1), 198-215.
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., and Ignatius, J. (2012). A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with applications*, 39(17), 13051-13069.

- Benayoun, R., Roy, B., and Sussman, B. (1966). ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples, Note de travail 49. Paris: SEMA-METRA International.
- Bevilacqua, M., Ciarapica, F., and Giacchetta, G. (2006). A fuzzy-QFD approach to supplier selection. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 12(1), 14-27.
- Bhutta, M. K. S. (2003). Supplier selection problem: methodology literature review. *Journal of International Information Management*, 12(2), 5.
- Boran, F. E., and Akay, D. (2014). A biparametric similarity measure on intuitionistic fuzzy sets with applications to pattern recognition. *Information Sciences*, 255, 45-57. doi:10.1016/j.ins.2013.08.013
- Boran, F. E., Genc, S., Kurt, M., and Akay, D. (2009). A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11363-11368. doi:10.1016/j.eswa.2009.03.039
- Bottani, E., and Rizzi, A. (2008). An adapted multi-criteria approach to suppliers and products selection—An application oriented to lead-time reduction. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 763-781.
- Brans, J.-P., Vincke, P., and Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European journal of operational research*, 24(2), 228-238.
- Brans, J.-P., and Mareschal, B. (2005). Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys, Promethee methods. *Figueira, J., Greco, S. and Ehrgott, M.(eds.)*.
- Brauers, W. K., and Zavadskas, E. K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control Cybernetics*, 35, 445-469.
- Brewer, P. C. (2000). Using the balanced scorecard to measure supply chain performance Peter C Brewer; Thomas WSpheh. *Journal of business logistics*, 21(1), 75.
- Bruno, G., Esposito, E., Genovese, A., and Passaro, R. (2012). AHP-based approaches for supplier evaluation: Problems and perspectives. *Journal of purchasing and supply management*, 18(3), 159-172.
- Büyüközkan, G., and Çifçi, G. (2011). A novel fuzzy multi-criteria decision framework for sustainable supplier selection with incomplete information. *Computers in industry*, 62(2), 164-174.
- Büyüközkan, G., and Çifçi, G. (2012). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3000-3011.
- Büyüközkan, G., and Göçer, F. (2017). *An extension of MOORA approach for group decision making based on interval valued intuitionistic fuzzy numbers in digital supply chain*. “2017 Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (IFSA-SCIS)” ta sunulmuştur.

- Büyüközkan, G., and Şakir Ersoy, M. (2009). Applying fuzzy decision making approach to IT outsourcing supplier selection. *system*, 2, 2.
- Çalık, A. (2018). Bulanık Çok-Amaçlı Doğrusal Programlama ve Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi İle Yeşil Tedarikçi Seçimi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(39), 96-109.
- Çelebi, D., and Bayraktar, D. (2008). An integrated neural network and data envelopment analysis for supplier evaluation under incomplete information. *Expert Systems with Applications*, 35(4), 1698-1710.
- Celik, E., Gumus, A. T., and Erdogan, M. (2015). A new extension of the ELECTRE method based upon interval type-2 fuzzy sets for green logistic service providers evaluation. *Journal of Testing Evaluation*, 44(5), 1813-1827.
- Cha, S.-H. (2007). Comprehensive survey on distance/similarity measures between probability density functions. *City*, 1(2), 1.
- Chamodrakas, I., Batis, D., and Martakos, D. (2010). Supplier selection in electronic marketplaces using satisficing and fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 490-498.
- Chan, F., Chan, H., Ip, R., and Lau, H. (2007). A decision support system for supplier selection in the airline industry. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 221(4), 741-758.
- Chan, F. S. (2003). Interactive selection model for supplier selection process: an analytical hierarchy process approach. *International Journal of Production Research*, 41(15), 3549-3579.
- Chan, F. T., and Chan, H. (2004). Development of the supplier selection model—a case study in the advanced technology industry. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 218(12), 1807-1824.
- Chan, F. T., and Kumar, N. (2007). Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega*, 35(4), 417-431.
- Chao, C., Scheuing, E. E., Dubas, K. M., and Mummalaneni, V. (1993). An assessment of supplier selection: Chinese purchasing managers' criteria and their implications for western marketers. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 23, 31-31.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
- Chen, C.-H. (2019). A new multi-criteria assessment model combining GRA techniques with intuitionistic fuzzy entropy-based TOPSIS method for sustainable building materials supplier selection. *Sustainability*, 11(8), 2265.
- Chen, C.-T., Lin, C.-T., and Huang, S.-F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International journal of production*

- economics*, 102(2), 289-301.
- Chen, P.-S., and Wu, M.-T. (2013). A modified failure mode and effects analysis method for supplier selection problems in the supply chain risk environment: A case study. *Computers & Industrial Engineering*, 66(4), 634-642.
- Chen, S.-J., and Hwang, C.-L. (1992). Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods. In *Fuzzy multi attribute decision making, lecture notes in economics and mathematical system series*, vol. 375 Springer-Verlag New York.
- Chen, S.-M. (1995). Measures of similarity between vague sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 74(2), 217-223.
- Chen, T.-Y. (2007). A note on distances between intuitionistic fuzzy sets and/or interval-valued fuzzy sets based on the Hausdorff metric. *Fuzzy Sets and Systems*, 158(22), 2523-2525. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fss.2007.04.024>
- Chen, W.-H., Tsai, M.-S., and Kuo, H.-L. (2005). Distribution system restoration using the hybrid fuzzy-grey method. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(1), 199-205.
- Chen, Y.-H., and Chao, R.-J. (2012). Supplier selection using consistent fuzzy preference relations. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3233-3240.
- Chen, Y.-J. (2011). Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. *Information Sciences*, 181(9), 1651-1670.
- Chou, S.-Y., and Chang, Y.-H. (2008). A decision support system for supplier selection based on a strategy-aligned fuzzy SMART approach. *Expert systems with applications*, 34(4), 2241-2253.
- Choy, K. L., Lee, W. B., Lau, H. C., and Choy, L. (2005). A knowledge-based supplier intelligence retrieval system for outsource manufacturing. *Knowledge-based systems*, 18(1), 1-17.
- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management*: Pearson UK.
- Çobanoğlu, B. (2000). *Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Teorisi*: Niksar MYO.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., and Zhu, J. (2004). Data envelopment analysis. Handbook on data envelopment analysis. *International Series in Operations Research Management Science*, 71, 1-39.
- Costa, C. A. B. E., and Vansnick, J.-C. (1999). The MACBETH approach: Basic ideas, software, and an application. In *Advances in decision analysis* (pp. 131-157): Springer.
- Dağdeviren, M., Dönmez, N., ve Mustafa, K. (2006). Bir İşletmede Tedarikçi Değerlendirme Süreci İçin Yeni Bir Model Tasarımı Ve Uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(2).
- Dağdeviren, M., ve Erarslan, E. (2008). PROMETHEE sıralama yöntemi ile tedarikçi seçimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1).

- Dargi, A., Anjomshoe, A., Galankashi, M. R., Memari, A., and Tap, M. B. M. (2014). Supplier selection: A fuzzy-ANP approach. *Procedia Computer Science*, 31, 691-700.
- De Boer, L., Labro, E., and Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European journal of purchasing supply management*, 7(2), 75-89.
- Degraeve, Z., Labro, E., and Roodhooft, F. (2000). An evaluation of vendor selection models from a total cost of ownership perspective. *European journal of operational research*, 125(1), 34-58.
- Deng, J.-L. (1982). Control problems of grey systems. *Systems and Control Letters*, 1(5), 288-294.
- Dengfeng, L., and Chuntian, C. (2002). New similarity measures of intuitionistic fuzzy sets and application to pattern recognitions. *Pattern Recognition Letters*, 23(1-3), 221-225.
- Dey, B., Bairagi, B., Sarkar, B., and Sanyal, S. (2012). A MOORA based fuzzy multi-criteria decision making approach for supply chain strategy selection. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 3(4), 649-662.
- Dickson, G. W. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of purchasing*, 2(1), 5-17.
- Dobos, I., and Vörösmarty, G. (2014). Green supplier selection and evaluation using DEA-type composite indicators. *International Journal of Production Economics*, 157, 273-278.
- Dobos, I., and Vörösmarty, G. (2019). Inventory-related costs in green supplier selection problems with Data Envelopment Analysis (DEA). *International Journal of Production Economics*, 209, 374-380.
- Du, W. S. (2018). Minkowski-type distance measures for generalized orthopair fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems* 33(4), 802-817.
- Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S. A., and Jain, V. (2016). Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications*, 62, 273-283.
- E Costa, C. A. B., and Vansnick, J.-C. (1994). MACBETH—An interactive path towards the construction of cardinal value functions. *International transactions in operational Research*, 1(4), 489-500.
- Emrouznejad, A., and Yang, G.-l. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, 61, 4-8.
- Fahmi, A., Kahraman, C., and Bilen, Ü. (2016). ELECTRE I method using hesitant linguistic term sets: An application to supplier selection. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(1), 153-167.
- Fan, L., and Zhangyan, X. (2001). Similarity measures between vague sets. *Journal of Software*, 12(6), 922-927.

- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A*, 120(3), 253-281.
- Figueira, J., Mousseau, V., and Roy, B. (2005). ELECTRE methods. In *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys* (pp. 133-153): Springer.
- Florez-Lopez, R. (2007). Strategic supplier selection in the added-value perspective: A CI approach. *Information Sciences*, 177(5), 1169-1179.
- Fontela, E., and Gabus, A. (1976). The DEMATEL observer, DEMATEL 1976 report. Battelle Geneva Research Center, Geneva.
- Freeman, J., and Chen, T. (2015). Green supplier selection using an AHP-Entropy-TOPSIS framework. *Supply Chain Management: An International Journal*, 20(3), 327-340.
- Gaballa, A. (1974). Minimum cost allocation of tenders. *Journal of the Operational Research Society*, 25(3), 389-398.
- Gabus, A., and Fontela, E. (1972). World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL, Battelle Geneva Research Centre, Geneva.
- Galo, N. R., Calache, L. D. D. R., and Carpinetti, L. C. R. (2018). A group decision approach for supplier categorization based on hesitant fuzzy and ELECTRE TRI. *International Journal of Production Economics*, 202, 182-196.
- Ganeshan, R., Tyworth, J. E., and Guo, Y. (1999). Dual sourced supply chains: the discount supplier option. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 35(1), 11-23.
- Gencer, C., and Gürpınar, D. (2007). Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm. *Applied mathematical modelling*, 31(11), 2475-2486.
- Ghodsypour, S. H., and O'brien, C. (2001). The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint. *International journal of production economics*, 73(1), 15-27.
- Ghorabae, M. K., Amiri, M., Zavadskas, E. K., and Antucheviciene, J. (2017). Supplier evaluation and selection in fuzzy environments: a review of MADM approaches. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 30(1), 1073-1118.
- Golmohammadi, D. (2011). Neural network application for fuzzy multi-criteria decision making problems. *International Journal of Production Economics*, 131(2), 490-504.
- Gören, H. G., and Şenocak, A. A. (2018). Macbeth Based Taguchi Loss Functions Approach for Green Supplier Selection: A Case Study in Textile Industry. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 28(2), 90-97.
- Govindan, K., Kadziński, M., Ehling, R., and Miebs, G. (2019). Selection of a sustainable third-party reverse logistics provider based on the robustness analysis of an outranking graph kernel conducted with ELECTRE I and SMAA. *Omega*, 85, 1-15.
- Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., and Murugesan, P. (2015). Multi criteria decision

- making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 98, 66-83. doi:10.1016/j.jclepro.2013.06.046
- Grzegorzewski, P. (2004). Distances between intuitionistic fuzzy sets and/or interval-valued fuzzy sets based on the Hausdorff metric. *Fuzzy Sets and Systems*, 148(2), 319-328. doi:https://doi.org/10.1016/j.fss.2003.08.005.
- Gupta, H., and Barua, M. K. (2017). Supplier selection among SMEs on the basis of their green innovation ability using BWM and fuzzy TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 152, 242-258.
- Ha, S. H., and Krishnan, R. (2008). A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain. *Expert systems with applications*, 34(2), 1303-1311.
- Hashemi, S. H., Karimi, A., and Tavana, M. (2015). An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis. *International Journal of Production Economics*, 159, 178-191.
- Ho, W., Xu, X., and Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision-making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of operational research*, 202(1), 16-24.
- Holland, J. H. (1973). Genetic algorithms and the optimal allocation of trials. *SIAM Journal on Computing*, 2(2), 88-105.
- Hong, D. H., and Kim, C. (1999). A note on similarity measures between vague sets and between elements. *Information sciences*, 115(1-4), 83-96.
- Hong, G. H., Park, S. C., Jang, D. S., and Rho, H. M. (2005). An effective supplier selection method for constructing a competitive supply-relationship. *Expert Systems with Applications*, 28(4), 629-639.
- Hosseini, S., and Al Khaled, A. (2019). A hybrid ensemble and AHP approach for resilient supplier selection. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(1), 207-228.
- Hou, J. (2010). Grey relational analysis method for multiple attribute decision making in intuitionistic fuzzy setting. *Journal of Convergence Information Technology*, 5(10), 194-199.
- Hou, J., and Su, D. (2006). Integration of web services technology with business models within the total product design process for supplier selection. *Computers in Industry*, 57(8-9), 797-808.
- Huang, S. H., and Keskar, H. (2007). Comprehensive and configurable metrics for supplier selection. *International journal of production economics*, 105(2), 510-523.
- Hugos, M. H. (2018). *Essentials of supply chain management*: John Wiley & Sons.
- Hung, W.-L., and Yang, M.-S. (2004). Similarity measures of intuitionistic fuzzy sets based on Hausdorff distance. *Pattern Recognition Letters*, 25(14), 1603-1611.

- Jafarzadeh Ghouschi, S., Dodkanloi Milan, M., and Jahangoshai Rezaee, M. (2018). Evaluation and selection of sustainable suppliers in supply chain using new GP-DEA model with imprecise data. *Journal of Industrial Engineering International*, 14(3), 613-625. doi:10.1007/s40092-017-0246-2.
- Jain, V., Sangaiah, A. K., Sakhuja, S., Thoduka, N., and Aggarwal, R. (2018). Supplier selection using fuzzy AHP and TOPSIS: a case study in the Indian automotive industry. *Neural Computing and Applications*, 29(7), 555-564.
- Jiang, B. C., Tasi, S.-L., and Wang, C.-C. (2002). Machine vision-based gray relational theory applied to IC marking inspection. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 15(4), 531-539.
- Jolai, F., Yazdian, S. A., Shahanaghi, K., and Khojasteh, M. A. (2011). Integrating fuzzy TOPSIS and multi-period goal programming for purchasing multiple products from multiple suppliers. *Journal of purchasing and Supply Management*, 17(1), 42-53.
- Junior, F. R. L., Osiro, L., and Carpinetti, L. C. R. (2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Applied Soft Computing*, 21, 194-209.
- Kanagaraj, G., Ponnambalam, S., and Jawahar, N. (2016). Reliability-based total cost of ownership approach for supplier selection using cuckoo-inspired hybrid algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(5-8), 801-816.
- Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., and Diabat, A. (2013). Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Cleaner production*, 47, 355-367.
- Kar, A. K. (2014). Revisiting the supplier selection problem: An integrated approach for group decision support. *Expert systems with applications*, 41(6), 2762-2771.
- Karande, P., and Chakraborty, S. (2012). Decision making for supplier selection using the MOORA method. *IUP Journal of Operations Management*, 11(2), 6.
- Karande, P., and Chakraborty, S. (2013). Using MACBETH method for supplier selection in manufacturing environment. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 4(2), 259-279.
- Karpak, B., Kumcu, E., and Kasuganti, R. R. (2001). Purchasing materials in the supply chain: managing a multi-objective task. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(3), 209-216.
- Kaya, R., and Yet, B. (2019). Building Bayesian networks based on DEMATEL for multiple criteria decision problems: A supplier selection case study. *Expert Systems with Applications*, 134, 234-248.
- Keskin, G. A., İlhan, S., and Özkan, C. (2010). The Fuzzy ART algorithm: A categorization method for supplier evaluation and selection. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1235-1240.

- Keskin, H. (2011). *Lojistik El Kitabı*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Khorasani, O., and Bafruei, M. K. (2011). A fuzzy AHP approach for evaluating and selecting supplier in pharmaceutical industry. *International Journal of Academic Research*, 3(1).
- Kilincei, O., and Onal, S. A. (2011). Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company. *Expert systems with Applications*, 38(8), 9656-9664.
- Kokangul, A., and Susuz, Z. (2009). Integrated analytical hierarch process and mathematical programming to supplier selection problem with quantity discount. *Applied mathematical modelling*, 33(3), 1417-1429.
- Krishankumar, R., Ravichandran, K., and Saeid, A. B. (2017). A new extension to PROMETHEE under intuitionistic fuzzy environment for solving supplier selection problem with linguistic preferences. *Applied Soft Computing*, 60, 564-576.
- Kull, T. J., and Talluri, S. (2008). A supply risk reduction model using integrated multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Engineering management*, 55(3), 409-419.
- Kumar Kar, A., and K. Pani, A. (2014). Exploring the importance of different supplier selection criteria. *Management Research Review*, 37(1), 89-105.
- Kumar, M., Garg, D., and Agarwal, A. (2019). *Fuzzy DEMATEL approach for agile supplier selections performance criteria*. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series.
- Kundakcı, N., and Işık, A. (2016). Integration of MACBETH and COPRAS methods to select air compressor for a textile company. *Decision Science Letters*, 5(3), 381-394.
- Kuo, R. J., Wang, Y. C., and Tien, F. C. (2010). Integration of artificial neural network and MADA methods for green supplier selection. *Journal of cleaner production*, 18(12), 1161-1170.
- Kuo, Y., Yang, T., and Huang, G.-W. (2008). The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems. *Computers industrial engineering*, 55(1), 80-93.
- Lambert, D. M., and Cooper, M. C. (2000). Issues in supply chain management. *Industrial marketing management*, 29(1), 65-83.
- Lee, A. H. (2009). A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks. *Expert systems with applications*, 36(2), 2879-2893.
- Lee, A. H., Kang, H.-Y., Hsu, C.-F., and Hung, H.-C. (2009). A green supplier selection model for high-tech industry. *Expert systems with applications*, 36(4), 7917-7927. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.11.052>
- Li, D., and Zeng, W. (2018). Distance measure of Pythagorean fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 33(2), 348-361. doi:<https://doi.org/10.1002/int.21934>

- Li, G.-D., Yamaguchi, D., and Nagai, M. (2008). A grey-based rough decision-making approach to supplier selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(9-10), 1032.
- Li, Y., Zhongxian, C., and Degin, Y. (2002). Similarity measures between vague sets and vague entropy. *Journal of Computational Science* 29(12), 129-132.
- Liang, Z., and Shi, P. (2003). Similarity measures on intuitionistic fuzzy sets. *Pattern Recognition Letters*, 24(15), 2687-2693. doi:[https://doi.org/10.1016/S0167-8655\(03\)00111-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8655(03)00111-9)
- Liao, C.-N., and Kao, H.-P. (2011). An integrated fuzzy TOPSIS and MCGP approach to supplier selection in supply chain management. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 10803-10811.
- Liao, S.-K., Chang, K.-L., and Tseng, T.-W. (2010). Optimal selection of program suppliers for TV companies using an analytic network process (ANP) approach. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 27(06), 753-767.
- Liao, Z., and Rittscher, J. (2007). A multi-objective supplier selection model under stochastic demand conditions. *International Journal of Production Economics*, 105(1), 150-159.
- Lin, R.-H. (2012). An integrated model for supplier selection under a fuzzy situation. *International Journal of Production Economics*, 138(1), 55-61.
- Liu, F.-H. F., and Hai, H. L. (2005). The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier. *International journal of production economics*, 97(3), 308-317.
- Liu, P. D., and Wang, P. (2018). Some q-Rung Orthopair Fuzzy Aggregation Operators and their Applications to Multiple-Attribute Decision Making. *International Journal of Intelligent Systems*, 33(2), 259-280. doi:10.1002/int.21927
- Liu, S., Forrest, J., and Yang, Y. (2012). A brief introduction to grey systems theory. *Grey Systems: Theory Application*, 2(2), 89-104.
- Liu, T., Deng, Y., and Chan, F. (2018). Evidential supplier selection based on DEMATEL and game theory. *International Journal of Fuzzy Systems*, 20(4), 1321-1333.
- Luthra, S., Govindan, K., Kannan, D., Mangla, S. K., and Garg, C. P. (2017). An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 140. 1686-1698.
- Mafakheri, F., Breton, M., and Ghoniem, A. (2011). Supplier selection-order allocation: A two-stage multiple criteria dynamic programming approach. *International Journal of Production Economics*, 132(1), 52-57.
- Mahdiloo, M., Noorizadeh, A., and Saen, R. F. (2011). A new approach for considering a dual-role factor in supplier selection problem. *International Journal of Academic Research*, 3(1), 261-266.
- Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., and Valipour, A. (2015). Multiple

- criteria decision-making techniques and their applications—a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research- Ekonomska Istraživanja*, 28(1), 516-571.
- Mardani, A., Jusoh, A., and Zavadskas, E. K. (2015). Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications—Two decades review from 1994 to 2014. *Expert systems with Applications*, 42(8), 4126-4148.
- Mardani, A., Nilashi, M., Zavadskas, E. K., Awang, S. R., Zare, H., and Jamal, N. M. (2018). Decision Making Methods Based on Fuzzy Aggregation Operators: Three Decades Review from 1986 to 2017. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 17(2), 391-466. doi:10.1142/S021962201830001x
- McCall, J. (2005). Genetic algorithms for modelling and optimisation. *Journal of Computational Applied Mathematics*, 184(1), 205-222.
- Memari, A., Dargi, A., Jokar, M. R. A., Ahmad, R., and Rahim, A. R. A. (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *Journal of Manufacturing Systems*, 50. 9-24. doi:https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.11.002
- Mendoza, A., Santiago, E., and Ravindran, A. R. (2008). A three-phase multicriteria method to the supplier selection problem. *International Journal of Industrial Engineering*, 15(2), 195-210.
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., and Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business logistics*, 22(2), 1-25.
- Mitchell, H. B. (2003). On the Dengfeng–Chuntian similarity measure and its application to pattern recognition. *Pattern Recognition Letters* 24(16), 3101-3104.
- Morán, J., Granada, E., Míguez, J., and Porteiro, J. (2006). Use of grey relational analysis to assess and optimize small biomass boilers. *Fuel Processing Technology*, 87(2), 123-127.
- Muralidharan, C., Anantharaman, N., and Deshmukh, S. (2002). A multi-criteria group decisionmaking model for supplier rating. *Journal of supply chain management*, 38(3), 22-33.
- Narasimhan, R., Talluri, S., and Mahapatra, S. K. (2006). Multiproduct, multicriteria model for supplier selection with product life-cycle considerations. *Decision Sciences*, 37(4), 577-603.
- Narasimhan, R., Talluri, S., and Mendez, D. (2001). Supplier evaluation and rationalization via data envelopment analysis: an empirical examination. *Journal of supply chain management*, 37(2), 28-37.
- Nazari-Shirkouhi, S., Shakouri, H., Javadi, B., and Keramati, A. (2013). Supplier selection and order allocation problem using a two-phase fuzzy multi-objective linear programming. *Applied Mathematical Modelling*, 37(22), 9308-9323.
- Ng, W. L. (2008). An efficient and simple model for multiple criteria supplier selection problem. *European journal of operational research*, 186(3), 1059-1067.

- Okwu, M. O., and Tartibu, L. K. (2020). Sustainable supplier selection in the retail industry: A TOPSIS-and ANFIS-based evaluating methodology. *International Journal of Engineering Business Management*, 12, 1847979019899542.
- Oliver, R. K., and Webber, M. D. (1982). Supply-chain management: logistics catches up with strategy. *Outlook*, 5(1), 42-47.
- Olson, D. L., and Wu, D. (2006). Simulation of fuzzy multiattribute models for grey relationships. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 111-120.
- Önüt, S., Kara, S. S., and Işık, E. (2009). Long term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: A case study for a telecommunication company. *Expert systems with applications*, 36(2), 3887-3895.
- Opricovic, S. (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems. *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1), 5-21.
- Opricovic, S., and Tzeng, G.-H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455.
- Orji, I. J., and Wei, S. (2014). A decision support tool for sustainable supplier selection in manufacturing firms. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 7(5), 1293-1315.
- Özbek, A. (2014). Tedarikçi seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılması. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 5(11).
- Perçin, S. (2006). An application of the integrated AHP-PGP model in supplier selection. *Measuring Business Excellence*.
- Pérez-Domínguez, L., Alvarado-Iniesta, A., Rodríguez-Borbón, I., and Vergara-Villegas, O. (2015). Intuitionistic fuzzy MOORA for supplier selection. *Dyna*, 82(191), 34-41.
- Pinar, A., and Boran, F. E. (2020). A q-rung orthopair fuzzy multi-criteria group decision making method for supplier selection based on a novel distance measure. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 1-32.
- Punniyamoorthy, M., Mathiyalagan, P. & Parthiban, P. (2011). A strategic model using structural equation modeling and fuzzy logic in supplier selection. *Expert Systems with Applications*, 38, 458–474.
- Qin, J., Liu, X., and Pedrycz, W. (2017). An extended TODIM multi-criteria group decision making method for green supplier selection in interval type-2 fuzzy environment. *European Journal of Operational Research*, 258(2), 626-638.
- Rajesh, G., and Malliga, P. (2013). Supplier selection based on AHP QFD methodology. *Procedia Engineering*, 64, 1283-1292.
- Ramanathan, R. (2007). Supplier selection problem: integrating DEA with the approaches of total cost of ownership and AHP. *Supply Chain Management: an international journal*.

- Razmi, J., Rafiei, H., and Hashemi, M. (2009). Designing a decision support system to evaluate and select suppliers using fuzzy analytic network process. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1282-1290.
- Rezaei, J., Fahim, P. B., and Tavasszy, L. (2014). Supplier selection in the airline retail industry using a funnel methodology: Conjunctive screening method and fuzzy AHP. *Expert systems with applications*, 41(18), 8165-8179. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.07.005>
- Rouyendegh, B. D., and Saputro, T. E. (2014). Supplier selection using integrated fuzzy TOPSIS and MCGP: a case study. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 116, 3957-3970.
- Roy, B., and Hugonnard, J.-C. (1982). Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by a multicriteria method. *Transportation Research Part A: General*, 16(4), 301-312.
- Saaty, T. (1980). The Analytic Hierarchy Process McGraw Hill, New York. *Agricultural Economics Review*, 70.
- Saaty, T. L. (1996). *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process* (Vol. 4922): RWS Publ.
- Safa, M., Shahi, A., Haas, C. T., and Hipel, K. W. (2014). Supplier selection process in an integrated construction materials management model. *Automation in Construction*, 48, 64-73.
- Safari, H., Fagheyi, M. S., Ahangari, S. S., and Fathi, M. R. (2012). Applying PROMETHEE method based on entropy weight for supplier selection. *Business management and strategy*, 3(1), 97-106.
- Sanayei, A., Mousavi, S. F., and Yazdankhah, A. (2010). Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 24-30. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.04.063>
- Sarkis, J., and Talluri, S. (2002). A model for strategic supplier selection. *Journal of supply chain management*, 38(4), 18-28.
- Şen, C. G., Şen, S., ve Başlıgil, H. (2010). Pre-selection of suppliers through an integrated fuzzy analytic hierarchy process and max-min methodology. *International Journal of Production Research*, 48(6), 1603-1625.
- Senvar, O., Tuzkaya, G., ve Kahraman, C. (2014). Multi criteria supplier selection using fuzzy PROMETHEE method. In *Supply chain management under fuzziness* (pp. 21-34): Springer.
- Sevкли, M., Lenny Koh, S., Zaim, S., Demirbag, M., ve Tatoglu, E. (2007). An application of data envelopment analytic hierarchy process for supplier selection: a case study of BEKO in Turkey. *International Journal of Production Research*, 45(9), 1973-2003.
- Shahanaghi, K., and Yazdian, S. A. (2009). Vendor selection using a new fuzzy group TOPSIS approach. *Journal of Uncertain Systems*, 3(3), 221-231.

- Shyur, H.-J., and Shih, H.-S. (2006). A hybrid MCDM model for strategic vendor selection. *Mathematical and computer modelling*, 44(7-8), 749-761.
- Simić, D., Kovačević, I., Svirčević, V., and Simić, S. (2017). 50 years of fuzzy set theory and models for supplier assessment and selection: A literature review. *Journal of Applied Logic*, 24, 85-96.
- Simić, D., Svirčević, V., and Simić, S. (2015). A hybrid evolutionary model for supplier assessment and selection in inbound logistics. *Journal of Applied Logic*, 13(2), 138-147.
- Song, W., Xu, Z., and Liu, H.-C. (2017). Developing sustainable supplier selection criteria for solar air-conditioner manufacturer: An integrated approach. *Renewable sustainable energy reviews*, 79, 1461-1471.
- Sönmez, M. (2006). *Review and critique of supplier selection process and practices.*: © Loughborough University.
- Stock, J. R., and Boyer, S. L. (2009). Developing a consensus definition of supply chain management: a qualitative study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- Swift, C. O. (1995). Preferences for single sourcing and supplier selection criteria. *Journal of Business Research*, 32(2), 105-111.
- Szmidt, E., and Kacprzyk, J. (2000). Distances between intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(3), 505-518. doi:[https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(98\)00244-9](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(98)00244-9)
- Talluri, S. (2002). A buyer–seller game model for selection and negotiation of purchasing bids. *European Journal of Operational Research*, 143(1), 171-180.
- Talluri, S., and Narasimhan, R. (2003). Vendor evaluation with performance variability: A max–min approach. *European journal of operational research*, 146(3), 543-552.
- Tavana, M., Yazdani, M., and Di Caprio, D. (2017). An application of an integrated ANP–QFD framework for sustainable supplier selection. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(3), 254-275.
- Timur, M. N. (2013). *Tedarik Zinciri Yönetimi*: AÖF yayınları.
- Torğul, B., and Paksoy, T. (2019). A new multi objective linear programming model for lean and green supplier selection with fuzzy TOPSIS. In *Lean and green supply chain management* (pp. 101-141): Springer.
- Tzeng, G.-H., and Huang, J.-J. (2011). *Multiple attribute decision making: methods and applications*: Chapman and Hall/CRC.
- Verma, R., and Pullman, M. E. (1998). An analysis of the supplier selection process. *Omega*, 26(6), 739-750.
- Vinodh, S., Ramiya, R. A., and Gautham, S. (2011). Application of fuzzy analytic network process for supplier selection in a manufacturing organisation. *Expert Systems with*

Applications, 38(1), 272-280.

- Vonderembse, M. A., and Tracey, M. (1999). The Impact of Supplier Selection Criteria and Supplier Involvement on Manufacturing Performance. *Journal of Supply Chain Management*, 35(2), 33-39. doi:10.1111/j.1745-493X.1999.tb00060.x
- Wan, S.-p., Xu, G.-l., and Dong, J.-y. (2017). Supplier selection using ANP and ELECTRE II in interval 2-tuple linguistic environment. *Information Sciences*, 385, 19-38.
- Wang, H., Ju, Y., and Liu, P. (2019). Multi-attribute group decision-making methods based on q-rung orthopair fuzzy linguistic sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 34(6), 1129-1157.
- Wang, J.-W., Cheng, C.-H., and Huang, K.-C. (2009). Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection. *Applied soft computing*, 9(1), 377-386.
- Wang, P., Wang, J., Wei, G., and Wei, C. (2019). Similarity measures of q-rung orthopair fuzzy sets based on cosine function and their applications. *Mathematics*, 7(4), 340.
- Wang, R., and Li, Y. (2018). A Novel Approach for Green Supplier Selection under a q-Rung Orthopair Fuzzy Environment. *Symmetry*, 10(12), 687. doi:https://doi.org/10.3390/sym10120687.
- Wang, T.-K., Zhang, Q., Chong, H.-Y., and Wang, X. (2017). Integrated supplier selection framework in a resilient construction supply chain: An approach via analytic hierarchy process (AHP) and grey relational analysis (GRA). *Sustainability*, 9(2), 289.
- Wang, W. Q., and Xin, X. L. (2005). Distance measure between intuitionistic fuzzy sets. *Pattern Recognition Letters*, 26(13), 2063-2069.
- Wang, Y.-M., and Chin, K.-S. (2011). Fuzzy analytic hierarchy process: A logarithmic fuzzy preference programming methodology. *International Journal of Approximate Reasoning*, 52(4), 541-553.
- Ware, N., Sing, S., and Banwet, D. (2012). Supplier selection problem: A state-of-the-art review. *Management Science Letters*, 2(5), 1465-1490.
- Ware, N. R., Singh, S., and Banwet, D. (2014). A mixed-integer non-linear program to model dynamic supplier selection problem. *Expert Systems with Applications*, 41(2), 671-678.
- Weber, C. A., Current, J. R., and Benton, W. (1991). Vendor selection criteria and methods. *European journal of operational research*, 50(1), 2-18.
- Wei, G., Gao, H., and Wei, Y. (2018). Some q-rung orthopair fuzzy Heronian mean operators in multiple attribute decision making. *International Journal of Intelligent Systems*, 33(7), 1426-1458. doi:https://doi.org/10.1002/int.21985
- Wei, G.-W. (2011). Grey relational analysis method for 2-tuple linguistic multiple attribute group decision making with incomplete weight information. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 4824-4828.

- Wei, J.-Y., Sun, A.-F., and Wang, C.-H. (2010). *The application of fuzzy-ANP in the selection of supplier in supply chain management*. Paper presented at the 2010 International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management (ICLSIM).
- Wetzstein, A., Hartmann, E., Benton Jr, W., and Hohenstein, N.-O. (2016). A systematic assessment of supplier selection literature—state-of-the-art and future scope. *International Journal of Production Economics*, 182, 304-323. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.06.022
- Wilson, E. J. (1994). The Relative Importance of Supplier Selection Criteria: A Review and Update. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 30(2), 34-41. doi:10.1111/j.1745-493X.1994.tb00195.x
- Wu, H.-H. (2002). A comparative study of using grey relational analysis in multiple attribute decision making problems. *Quality Engineering*, 15(2), 209-217.
- Wu, M.-C., and Chen, T.-Y. (2011). The ELECTRE multicriteria analysis approach based on Atanassov's intuitionistic fuzzy sets. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12318-12327.
- Wu, M.-Q., Zhang, C.-H., Liu, X.-N., and Fan, J.-P. (2019). Green supplier selection based on DEA model in interval-valued Pythagorean fuzzy environment. *IEEE Access*, 7, 108001-108013.
- Wu, W.-Y., Sukoco, B. M., Li, C.-Y., and Chen, S. H. (2009). An integrated multi-objective decision-making process for supplier selection with bundling problem. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2327-2337.
- Xia, M. M., and Xu, Z. S. (2010). Some New Similarity Measures for Intuitionistic Fuzzy Values and Their Application in Group Decision Making. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 19(4), 430-452. doi:10.1007/s11518-010-5151-9
- Xia, W., and Wu, Z. (2007). Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. *Omega*, 35(5), 494-504.
- Xu, Z., and Chen, J. (2008). An overview of distance and similarity measures of intuitionistic fuzzy sets. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness Knowledge-Based Systems* 16(04), 529-555.
- Yager, R. R. (2008). Prioritized aggregation operators. *International Journal of Approximate Reasoning*, 48(1), 263-274.
- Yager, R. R. (2013). Pythagorean Membership Grades in Multicriteria Decision Making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22(4), 958-965.
- Yager, R. R. (2017). Generalized Orthopair Fuzzy Sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 25(5), 1222-1230. doi:10.1109/Tfuzz.2016.2604005
- Yager, R. R., and Abbasov, A. M. (2013). Pythagorean membership grades, complex numbers, and decision making. *International Journal of Intelligent Systems*, 28(5), 436-452.

- Yager, R. R., and Alajlan, N. (2017). Approximate reasoning with generalized orthopair fuzzy sets. *Information Fusion*, 38, 65-73. doi:10.1016/j.inffus.2017.02.005
- Yang, C.-C., and Chen, B.-S. (2006). Supplier selection using combined analytical hierarchy process and grey relational analysis. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(7), 926-941.
- Yazdani, M., Chatterjee, P., Zavadskas, E. K., and Zolfani, S. H. (2017). Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3728-3740.
- Ye, J. (2011). Cosine similarity measures for intuitionistic fuzzy sets and their applications. *Mathematical computer modelling* 53(1-2), 91-97.
- Yıldırım, B., Önder, E., ve Turan, G. (Eds.). (2015). *Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* (Vol. 2): Dora Yayıncılık.
- Yıldırım, B. F. (2017). *Fuzzy ve Grey Copras yöntemleri ile çok kriterli karar verme uygulaması*. (Yayımlanmış Doktora Tezi), İstanbul Ü.,
- Yoon, K. P., and Hwang, C.-L. (1995). *Multiple attribute decision making: an introduction* (Vol. 104): Sage publications.
- Yu, C., Shao, Y., Wang, K., and Zhang, L. (2019). A group decision making sustainable supplier selection approach using extended TOPSIS under interval-valued Pythagorean fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 121, 1-17.
- Yu, C., and Wong, T. (2015). A multi-agent architecture for multi-product supplier selection in consideration of the synergy between products. *International Journal of Production Research*, 53(20), 6059-6082.
- Yu, P.-L. (1973). A class of solutions for group decision problems. *Management science*, 19(8), 936-946.
- Yu, X., Zhang, S., Liao, X., and Qi, X. (2018). ELECTRE methods in prioritized MCDM environment. *Information Sciences*, 424, 301-316.
- Yüksel, H., Çalışkan, F., ve Dayık, M. (2019). Genetik Algoritmaların Tasarım Sürecinde Kullanılması. *Teknik Bilimler Dergisi*, 6(2).
- Zadeh, L. (1994). *Fuzzy logic (abstract) issues, contentions and perspectives*. "Proceedings of the 22nd annual ACM computer science" konferansında sunulmuştur.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information control*, 8(3), 338-353.
- Zaied, A. N. H., Ismail, M., and Gamal, A. (2019). An Integrated of Neutrosophic-ANP Technique for Supplier Selection. *Neutrosophic Sets and Systems*, 27(1), 21.
- Zammori, F. (2010). The analytic hierarchy and network processes: Applications to the US presidential election and to the market share of ski equipment in Italy. *Applied Soft Computing*, 10(4), 1001-1012.

- Zeleny, M. (1982). Multiple Criteria Decision Making, McGraw-Hill, Company. In: London.
- Zeydan, M., Çolpan, C., and Çobanoğlu, C. (2011). A combined methodology for supplier selection and performance evaluation. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2741-2751.
- Zhang, X., and Xu, Z. (2014). Extension of TOPSIS to multiple criteria decision making with Pythagorean fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 29(12), 1061-1078. doi: <https://doi.org/10.1002/int.21676>
- Zhao, J., You, X.-Y., Liu, H.-C., and Wu, S.-M. (2017). An extended VIKOR method using intuitionistic fuzzy sets and combination weights for supplier selection. *Symmetry*, 9(9), 169.
- Zhong, L., and Yao, L. (2017). An ELECTRE I-based multi-criteria group decision making method with interval type-2 fuzzy numbers and its application to supplier selection. *Applied Soft Computing*, 57, 556-576.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : PINAR, Adem
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 26.09.1977, Samsun
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 202 37 28
 Faks : 0 (312) 202 37 10
 e-mail : adem.pinar@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / Tedarik ve Lojistik Yönetimi	Devam ediyor
Yüksek lisans	ODTÜ / Bilişim Sistemleri	2004
Yüksek lisans	Trakya Ü./ Uluslararası İlişkiler	2003
Lisans	Kara Harp Okulu / Sistem Mühendisliği	1999
Lise	Kuleli Askeri Lisesi	1995

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1999-Halen	Kara Kuvvetleri Komutanlığı	Subay

Yabancı Dil

İngilizce, İtalyanca (Başlangıç)

Yayınlar

Pinar, A., and Boran, F. E. (2020). A q-rung orthopair fuzzy multi-criteria group decision making method for supplier selection based on a novel distance measure. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics (SCI-Expanded)*, 1-32.

Pinar, A., and Boran, F. E. (2020). A q-rung picture fuzzy distance measure for decision making and classification problems. *Applied Soft Computing (SCI-Expanded)* dergisine gönderildi.

Hobiler

Satranç, Tenis.



GAZİ GELECEKTİR..