

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNE ALTERNATİF BİR
YÖNTEM ÖNERİSİ: BÜTÜNLEŞTİRİCİ REFERANS NOKTASI YAKLAŞIMI**

**Hazırlayan
Abdullah ÖZÇİL**

**Danışman
Doç. Dr. Esra AYTAÇ ADALI**

**Eylül 2020
DENİZLİ**

**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNE
ALTERNATİF BİR YÖNTEM ÖNERİSİ: BÜTÜNLEŞTİRİCİ
REFERANS NOKTASI YAKLAŞIMI**

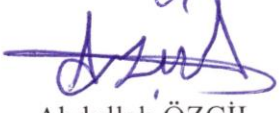
**Pamukkale Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Doktora Tezi
İşletme Anabilim Dalı
Genel İşletme Programı**

Abdullah ÖZÇİL

Danışman: Doç. Dr. Esra AYTAÇ ADALI

**Eylül 2020
DENİZLİ**

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



Abdullah ÖZÇİL

ÖNSÖZ

“Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerine Alternatif Bir Yöntem Önerisi: Bütünleştirici Referans Noktası Yaklaşımı” başlıklı tezimin hazırlanmasında emeği geçen danışman hocam Doç. Dr. Esra AYTAÇ ADALI’ya, Tez İzleme Komitesi’nde görev alan Prof. Dr. Muhsin ÖZDEMİR, Prof. Dr. Arzu ORGAN ve Doç. Dr. Ayşegül TUŞ hocalarıma ve Tez Savunma Sınavı’nda desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Nilsen KUNDAKCI ve Dr. Öğr. Üyesi Engin ÇAKIR hocalarıma değerli zamanlarını aldığım ve bilgi, birikim ve tecrübelerini benimle paylaştıkları için teşekkür ederim. Ayrıca akademik hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen Gülin Z. ÖZTAŞ, Tayfun ÖZTAŞ ve Habib KÜÇÜKŞAHİN’e ve diğer tüm mesai arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Son olarak hayatımda beni yalnız bırakmayan maddi ve manevi her türlü desteği esirgemeyen aileme de minnettarlığımı sunarım.

ÖZET

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNE ALTERNATİF BİR YÖNTEM ÖNERİSİ: BÜTÜNLEŞTİRİCİ REFERANS NOKTASI YAKLAŞIMI

Özçil, Abdullah

Doktora Tezi

İşletme ABD

Genel İşletme Programı

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Esra Aytac Adalı

Eylül 2020, XII+191 sayfa

Günlük hayatta karşılaşılan seçim, tercih veya sınıflandırma problemleri literatürde Karar Verme konusu içerisinde ele alınmaktadır. Karar verme konusu kendi içerisinde iki temel kısma ayrılmaktadır. Bunlardan ilki olan Çok Amaçlı Karar Verme’de (ÇAKV) alternatif yapısı tasarlanmaya ve fayda düzeyi optimize edilmeye çalışılırken, Çok Kriterli Karar Verme’de (ÇKKV) ise mevcut alternatiflerden elden edilen fayda düzeyinin maksimize edilmesi amaçlanmaktadır. Literatürde bu amaç ile önerilen birçok ÇKKV yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada ise “Bütünleştirici Referans Noktası Yöntemi” adı verilen yeni bir yöntem, mevcut ÇKKV yöntemlerine alternatif bir yöntem olarak önerilmiştir. Memnuniyet fonksiyonu ve referans değer yaklaşımı, önerilen yöntemin temel esaslarını oluşturmaktadır. Fayda düzeyini doğrusal olmayan eşik değer yaklaşımı ile ele alan memnuniyet fonksiyonu, literatürde yer alan Gauss eğrisinden türetilmiştir. Referans değer yaklaşımı ise karar vericilerin tercihlerini gerçeğe daha uygun bir şekilde modellemeye yarayan bir kavramdır. Çalışmada, önerilen yöntemin diğer ÇKKV yöntemleri ile benzerlikleri, farklılıkları ve diğer yöntemlerden üstünlüklerinden bahsedilmiş ve yöntemin işlem adımları ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Keshavarz Ghorabae vd. (2015)’nin çalışmalarında kullandıkları karar problemi, önerilen yöntem ve diğer 15 farklı ÇKKV yöntemi ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca simülasyon ile oluşturulan farklı boyuttaki çok sayıda karar verme problemleri ve bir gerçek hayat problemi, olarak bilgisayar seçim problemi önerilen yöntem ve diğer yöntemler ile çözülmüştür. Önerilen yöntemden ve diğer ÇKKV yöntemlerinden elde edilen sonuçlar, Spearman ve Pearson korelasyon değerleri ve bu değerler kullanılarak çizilen Çok Boyutlu Ölçekleme grafikleri yardımıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre önerilen yöntem, kriterlerin ağırlık değerlerine orta seviyede duyarlı ve diğer yöntemler ile korelasyon ortalaması olarak yüksek seviyede uyumludur. Bu nedenlerle önerilen yöntemin, özellikle referans değeri farklılaşabilen yöntemlere göre tercih edilebilir bir yöntem olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çok Kriterli Karar Verme, Memnuniyet Fonksiyonu, Bütünleştirici Referans Noktası Yöntemi, Simülasyon.

ABSTRACT

AN ALTERNATIVE METHOD PROPOSAL TO MULTI CRITERIA DECISION MAKING METHODS: INTEGRATIVE REFERENCE POINT APPROACH

Özçil, Abdullah

PhD. Thesis

Business Administration Department

PhD. in Business Administration

Adviser of Thesis: Assoc. Prof. Esra Aytaç Adalı

September 2020, XII+191 Pages

In the literature selection, preference or classification problems encountered in daily life are handled in the subject of Decision Making. The decision making is divided into two main parts, Multi-Attribute Decision Making (MADM) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM). MADM tries to design an alternative structure and to optimize the level of utility, while MCDM aims to maximize the level of benefit obtained from the existing alternatives. In the literature, there are many MCDM methods. In this study, a new method called “Integrative Reference Point Approach” has been proposed as an alternative method to existing MCDM methods. Satisfaction Function and reference value approach constitute the basic principles of the proposed method. The Satisfaction Function, which deals with the benefit level with a nonlinear threshold approach, is derived from the Gauss curve in the literature. The reference value approach is a concept that allows decision makers to model their preferences in a more realistic way. In the study, the similarities, differences and superiorities of the proposed method with other MCDM methods are mentioned and the application steps of the method have been explained in detail. The decision problem that Keshavarz Ghorabae et al. (2015) used in their studies has been solved by the proposed method and 15 different MCDM methods and the results have been compared. In addition, a large number of different decision making problems have been generated by simulation and computer selection problem as a real life problem have been solved with the proposed and other methods. The results obtained from the proposed method and other MCDM methods have been compared with the help of Spearman and Pearson correlation values and Multidimensional Scaling graphs drawn using these values. The results have been shown that the proposed method is moderately sensitive to criteria weights and highly compatible with other methods in terms of correlation means. It is concluded that the proposed method is a preferable method compared to other methods whose reference value may differ.

Keywords: Multi Criteria Decision Making, Satisfaction Function, Integrative Reference Point Approach, Simulation.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ	vii
EKLER DİZİNİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

1.1. “Karar Verme” Kavramı	4
1.1.1. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV)	6
1.1.1.1 ÇKKV Yöntemlerinin Sınıflandırılması	8
1.1.1.2. ÇKKV’de Normalizasyon Yöntemleri.....	10
1.1.1.3. ÇKKV Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	12
1.1.1.3.1. Spearman ve Pearson Korelasyon Katsayısı	13
1.1.1.3.2. Çok Boyutlu Ölçekleme Analizi	13
1.2. ÇKKV Yöntemleri	15
1.2.1. Basit Toplamsal Ağırlıklandırma Yöntemi (SAW)	16
1.2.2. İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Yöntemi (TOPSIS).....	18
1.2.3. Gri İlişkisel Analiz Yöntemi (GRA).....	22
1.2.4. Etkileşimli ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi (TODIM)	26
1.1.5. Karmaşık Nisbi Değerlendirme Yöntemi (COPRAS)	30
1.1.6. Çok Kriterli Uzlaşık Sıralama Yöntemi (VIKOR).....	33
1.1.7. Oran Analizini Temel Alan Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemi (MOORA) .	37
1.1.7.1. Oran Analizi Yaklaşımı (MOORA – I).....	39
1.1.7.2. Referans Noktası Yaklaşımı (MOORA – II)	40
1.1.7.3. Tam Çarpımsal Yaklaşım (MOORA – III)	41
1.1.8. Toplamsal Oran Değerlendirme Yöntemi (ARAS).....	42
1.1.9. Ağırlıklı Bütünleşik Toplamsal ve Çarpımsal Değerlendirme Yöntemi (WASPAS).....	45
1.1.10. Çok Kriterli İdeal-Gerçek Karşılaştırma Analiz Yöntemi (MAIRCA).....	48
1.1.11. Ortalama Çözümünden Uzaklığa Dayalı Değerlendirme Yöntemi (EDAS)	50
1.1.12. İdeal Referans Yöntemi (RIM)	53
1.1.13. Birleştirilebilir Uzaklık Esaslı Değerlendirme Yöntemi (CODAS)	55
1.1.14. Çift Normalizasyona Dayalı Çoklu Bütünleştirme Yöntemi (DNBMA).....	58

İKİNCİ BÖLÜM

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNE ALTERNATİF BİR YÖNTEM: BÜTÜNLEŞTİRİCİ REFERANS NOKTASI YAKLAŞIMI

2.1. ÇKKV’de Alternatif Bir Yöntem.....	63
2.1.1. Memnuniyet Fonksiyonu	64
2.1.2. Bütünleştirici Referans Noktası Yöntemi	67
2.2. IRPA Yönteminin Diğer ÇKKV Yöntemleri ile Karşılaştırmalı Analizi	75
2.2.1. SAW Yöntemi Çözümü	76
2.2.2. TOPSIS Yöntemi Çözümü.....	77
2.2.3. GRA Yöntemi Çözümü.....	78
2.2.4. TODIM Yöntemi Çözümü	79
2.2.5. COPRAS Yöntemi Çözümü.....	79
2.2.6. VIKOR Yöntemi Çözümü	80
2.2.7. MOORA Yöntemi Çözümleri.....	81
2.2.7.1. MOORA – I Yöntemi Çözümü	81
2.2.7.2. MOORA – II Yöntemi Çözümü.....	82
2.2.8. ARAS Yöntemi Çözümü.....	82
2.2.9. WASPAS Yöntemi Çözümü	83
2.2.10. MAIRCA Yöntemi Çözümü	84
2.2.11. EDAS Yöntemi Çözümü.....	85
2.2.12. RIM Yöntemi Çözümü.....	85
2.2.13. CODAS Yöntemi Çözümü.....	86
2.2.14. DNBMA Yöntemi Çözümü	87
2.2.15. IRPA Yöntemi Çözümü	88
2.3. ÇKKV Yöntemlerinin Sonuçlarının Karşılaştırılması	89

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BÜTÜNLEŞTİRİCİ REFERANS NOKTASI YÖNTEMİNİN UYGULAMALARI VE KARŞILAŞTIRMALARI

3.1. Simülasyon Uygulaması	94
3.1.1. Spearman Korelasyon Katsayısına Dayanan Karşılaştırmalar.....	95
3.1.2. Pearson Korelasyon Katsayısına Dayanan Karşılaştırmalar	99
3.2. Bilgisayar Seçim Problemi Uygulaması	103
3.2.1. Problemin Tanımı	103
3.2.2. Problemin IRPA ve Genel Yöntemler ile Çözümü.....	106
3.2.2.1. IRPA ve Genel Yöntemlerden Elde Edilen Çözümlerin Karşılaştırılması	108
3.2.3. Problemin IRPA ve Referans Noktası Yaklaşımına Dayalı Yöntemlerle Çözümü	111
3.2.3.1. IRPA ve Referans Noktası Yaklaşımına Dayalı Yöntemlerden Elde Edilen Çözümlerin Karşılaştırılması	113
SONUÇ	117
KAYNAKÇA.....	120
EKLER.....	147
ÖZGEÇMİŞ	191

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Beklenti Teorisinin Değer Fonksiyonu	27
Şekil 2. İdeal ve Uzlaşık Çözümler.....	35
Şekil 3. Memnuniyet Fonksiyonu	65
Şekil 4. Alternatifler Arasında Tercih Edilme Değeri	66
Şekil 5. Eşik Değerleri ile Memnuniyet Fonksiyonu	68
Şekil 6. IRPA Yönteminde Uzaklıkların Ağırlıklandırılması ve Memnuniyet Fonksiyonu	72
Şekil 7. Ağırlık Değerleri için Alternatif Skorlarının Duyarlılığı.....	72
Şekil 8. IRPA Yöntemi ve Diğer Yöntemler için Çok Boyutlu Ölçekleme Grafiği	92
Şekil 9. Spearman Korelasyonların Çok Boyutlu Ölçekleme Grafiği	99
Şekil 10. Pearson Korelasyonların Çok Boyutlu Ölçekleme Grafiği.....	102
Şekil 11. Genel Yöntemlerin Çok Boyutlu Ölçekleme Grafiği	111
Şekil 12. Referans Kümesi Farklılaşabilen Yöntemler için Çok Boyutlu Ölçekleme Grafiği	116

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Normalizasyon Yöntemleri.....	11
Tablo 2. ÇKKV Yöntemlerini Karşılaştırma Yöntemleri.....	12
Tablo 3. SAW Yöntemi Kullanılan Çalışmalar	17
Tablo 4. TOPSIS Yöntemi Kullanılan Çalışmalar	20
Tablo 5. GRA Yöntemi Kullanılan Çalışmalar.....	24
Tablo 6. TODIM Yöntemi Kullanılan Çalışmalar	28
Tablo 7. COPRAS Yöntemi Kullanılan Çalışmalar.....	31
Tablo 8. VIKOR Yöntemi Kullanılan Çalışmalar.....	34
Tablo 9. MOORA Yöntemi Kullanılan Çalışmalar	38
Tablo 10. ARAS Yöntemi Kullanılan Çalışmalar.....	43
Tablo 11. WASPAS Yöntemi Kullanılan Çalışmalar	46
Tablo 12. MAIRCA Yöntemi Kullanılan Çalışmalar	48
Tablo 13. EDAS Yöntemi Kullanılan Çalışmalar.....	51
Tablo 14. RIM Yöntemi Kullanılan Çalışmalar.....	53
Tablo 15. CODAS Yöntemi Kullanılan Çalışmalar.....	56
Tablo 16. DNBMA Yöntemi Kullanılan Çalışmalar	59
Tablo 17. IRPA Yönteminin Diğer Yöntemler ile Benzerlikleri ve Farklılıkları	74
Tablo 18. Karar Matrisi.....	76
Tablo 19. 8 Farklı Kriter Ağırlık Kümesi	76
Tablo 20. SAW Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları	77
Tablo 21. TOPSIS Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları	78
Tablo 22. GRA Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları	78
Tablo 23. TODIM Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları.....	79
Tablo 24. COPRAS Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları	80
Tablo 25. VIKOR Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları	81
Tablo 26. MOORA – I Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları.....	81
Tablo 27. MOORA - II Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları.....	82
Tablo 28. ARAS Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları	83
Tablo 29. WASPAS Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları.....	83
Tablo 30. MAIRCA Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları.....	84
Tablo 31. EDAS Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları	85
Tablo 32. RIM Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları	86
Tablo 33. CODAS Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları	86
Tablo 34. DNBMA Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları.....	87
Tablo 35. IRPA (Ort) Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları.....	88
Tablo 36. IRPA (Min/Maks) Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları	89
Tablo 37. IRPA Yöntemi (Ort ve Min/Maks) ve Diğer Yöntemlerin Ağırlık Kümesi Değişimi için Spearman Korelasyon Katsayısı Ortalamaları	90
Tablo 38. IRPA Yöntemi (Ort ve Min/Maks) ve Diğer Yöntemlerin Spearman Korelasyon Katsayıları	91
Tablo 39. Genel Yöntemlerin Spearman Korelasyonları.....	96
Tablo 40. Spearman Korelasyon Katsayıları Sonucu Elde Edilen Genel Yöntemlerin Uyum ve Uyumsuzlukları	98
Tablo 41. Genel Yöntemlerin Pearson Korelasyonları	101
Tablo 42. Bilgisayar Seçim Problemine İlişkin Literatür Taraması	105
Tablo 43. Karar Matrisi.....	106
Tablo 44. Genel ÇKKV Yöntemlerinin Sonuçları.....	107
Tablo 45. Genel Yöntemlerin Spearman Korelasyon Katsayıları.....	109

Tablo 46. Referans Kümesi Farklılaşabilen Yöntemlerin Alternatif Sıralamaları.....	112
Tablo 47. Referans Kümesi Farklılaşabilen Yöntemlerin Spearman Korelasyon Katsayıları	114



EKLER DİZİNİ

Ek 1. SAW Yöntemi	148
Ek 2. TOPSIS Yöntemi	149
Ek 3. GRA Yöntemi	150
Ek 4. TODIM Yöntemi	151
Ek 5. COPRAS Yöntemi	157
EK 6. VIKOR Yöntemi	159
Ek 7. MOORA – I Yöntemi	161
Ek 8. MOORA – II Yöntemi	162
Ek 9. ARAS Yöntemi	163
Ek 10. WASPAS Yöntemi	164
Ek 11. MAIRCA Yöntemi	165
Ek 12. EDAS Yöntemi	166
Ek 13. RIM Yöntemi	168
Ek 14. CODAS Yöntemi	170
Ek 15. DNBMA Yöntemi	172
Ek 16. IRPA (Min/Maks) Yöntemi	175
Ek 17. IRPA (Ort) Yöntemi	177
Ek 18. Spearman Korelasyon Fonksiyonu	179
Ek 19. Spearman Korelasyon ile Simülasyon Uygulaması	180
Ek 20. Pearson Korelasyon Fonksiyonu	185
Ek 21. Pearson Korelasyon ile Simülasyon Uygulaması	186

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process)
ANOVA	Varyans Analizi (ANalysis Of VAriance)
ANP	Analitik Ağ Süreci (Analytic Network Process)
ARAS	Toplamsal Oran Değerlendirmesi (Additive Ratio ASsessment)
ARD	Mutlak Sıralama Sapması (Absolute Rank Deviation)
AS	Değerlendirme Puanı (Appraisal Score)
AV	Ortalama Değer (Average Value)
BWM	En İyi-En Kötü Yöntemi (Best-Worst Method)
BSC	Dengelenmiş Skor Kart Yöntemi (Balanced Score Card)
CA	Konjoint Analizi (Conjoint Analysis)
CCM	Tam Dengeleyici Model (Complete Compensatory Model)
CILOS	Kriterlerin Kayıp Etkisi (Criterion Impact LOSs)
COCOSO	Birleşik Uzlaşma Çözümü (COMbined COMpromise SOLution)
CODAS	Birleştirilebilir Uzaklık Esaslı Değerlendirme (Combinative Distance-based ASsessment)
COPRAS	Karmaşık Nisbi Değerlendirme (COMplex PROportional ASsessment)
CP	Uzlaşık Programlama (Compromise Programming)
CRITIC	Kriterler Arası Korelasyon Açısından Kriterlerin Önemi (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation)
ÇAKV	Çok Amaçlı Karar Verme
ÇBÖ	Çok Boyutlu Ölçekleme (Multi Dimensional Scalling)
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DAF	Hesaplanan Dağılım (Dispersion Accounted For)
DEA	Veri Zarflama Analizi (Data Envelopment Analysis)
DEMATEL	Karar Vermede Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı (DECision MAKing Trial and Evaluation Laboratory)
DF	Fark Matrisi (Distance Matrix)
DF ⁻	Negatif Fark Matrisi (Negative Distance Matrix)
DF ⁺	Pozitif Fark Matrisi (Positive Distance Matrix)
DLM	Dijital Mantık Yöntemi (Digital Logic Method)
DNBMA	Çift Normalizasyona Dayalı Çoklu Bütünleştirme Yöntemi (Double Normalization Based Multi Aggregation method)
EDAS	Ortalama Çözüme Uzaklığa Göre Değerlendirme (Evaluation based on Distance from Average Solution)
ELECTRE	Eleme ve Seçim Yansıtan Gerçeklik (ELimination Et Choix Traduisant la REalité)
EVAMIX	Karışık Veri Değerlendirmesi (EVALuation of MIXed data)
DF	Fark Matrisi (Difference Matrix)
FUCOM	Tam Tutarlılık Yöntemi (FULL COnsistency Method)
GRA	Gri İlişkisel Analiz (Grey Relational Analysis)
G1	Sipariş İlişkisi Analiz Yöntemi (Order Relation Analysis Method)
ICM	Eksik Dengeleyici Model (Incomplete Compensatory Model)
IDOCRIW	Objektif Kriter Ağırlıklarının Bütünleşik Olarak Belirlenmesi (Integrated Determination of Objective CRIteria Weights,)
IOWA	Uyarılmış Sıralı Ağırlıklı Ortalama (Induced Ordered Weighted Averaging)

IPA	Önem – Performans Analizi (Importance-Performance Analysis)
IRPA	Bütünleştirici Referans Noktası Yöntemi (Integrative Reference Point Approach)
LEvSA	Örnekleme Yoluyla Öğrenme (LEarning via SAmples)
LINMAP	Çok Boyutlu Tercih Analizi için Doğrusal Programlama Tekniği (LINEar programming technique for Multidimensional Analysis of Preference)
MABAC	Çok Nitelikli Sınır Yakınlık Alanı Karşılaştırması (Multi-Attributive Border Approximation area Comparison)
MACBETH	Kategorik Tabanlı Değerlendirme Tekniği ile Çekiciliği Ölçme (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation TecHnique)
MAIRCA	Çok Kriterli İdeal-Gerçek Karşılaştırma Analiz (Multi-Attributive Ideal-Real Comparative Analysis)
MAUT	Çok Özellikli Fayda Teorisi (Multi-Attribute Utility Theory)
MATLAB	Matris Laboratuvarı (MATrix LABoratory)
MOORA	Oran Analizini Temel Alan Çok Amaçlı Optimizasyon (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis)
MOOSRA	Basit Oran Analizini Temel Alan Çok Amaçlı Optimizasyon (Multi-Objective Optimization on the basis of Simple Ratio Analysis)
MOPA	Çok Amaçlı Performans Analizi (Multi Objective Performance Analysis)
MSBM	Değiştirilmiş Benzerlik Esaslı Yöntem (Modified Similarity-Based Method)
MULTIMOORA	Oran Analizini Temel Alan Çok Amaçlı Optimizasyon ve Tam Çarpımsal Form (Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis Plus the Full Multiplicative Form)
M-DLM	Değiştirilmiş Dijital Mantık Yöntemi (Modified Digital Logic Method)
ND	Negatif Uzaklık (Negative Distance)
NDA	Ortalamadan Negatif Uzaklık (Negative Distance from Average)
NIS	Negatif İdeal Çözüm (Negative Ideal Solution)
NRV	Normalize Edilmiş Referans Değerler (Normalized Reference Values)
NSN	Normalize Edilmiş Ortalamadan Negatif Uzaklıklar Toplamı (Normalized Sum of Negative distances from averages)
NSP	Normalize Edilmiş Ortalamadan Pozitif Uzaklıklar Toplamı (Normalized Sum of Positive distances from averages)
OCRA	Operasyonel Rekabet Gücü (Operational Competitiveness RAting)
OWA	Sıralı Ağırlıklı Ortalama (Ordered Weighted Averaging)
PD	Pozitif Uzaklık (Positive Distance)
PDA	Ortalamadan Pozitif Uzaklık (Positive Distance from Average)
PIS	Pozitif İdeal Çözüm (Pozitif Ideal Solution)
PLP	Performansların Tercih Seviyeleri (Preffered Levels of Performances)
PROMETHEE	Değerlendirmelerin Zenginleştirilmesi için Tercih Sıralama Organizasyonu Yöntemi (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations)

PROXSCAL	Yakınlık Katsayıları (PROXimity SCALling)
PSI	Tercih Seçim İndeksi (Preference Selection Index)
RIM	İdeal Referans Yöntemi (Reference Ideal Method)
ROC	Sıralı Merkezi Ağırlıklar (Rank Order Centroid weights)
RS	Sıralama Değerleri (Ranking Scores)
RSW	Sıralı Toplam Ağırlıklar (Rank Sum Weights)
RV	Referans Değerler (Referance Values)
SAW	Basit Toplamsal Ağırlıklandırma Yöntemi (Simple Additive Weighting)
SN	Ortalamadan Negatif Uzaklıklar Toplamı (Sum of Negative distances from averages, SN)
SP	Ortalamadan Pozitif Uzaklıklar Toplamı (Sum of Positive distances from averages, SP)
SPSS	Sosyal Bilimler için İstatistik Programı (Statistical Package for the Social Sciences)
SWARA	Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (A Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis)
TL	Türk Lirası
TODIM	Etkileşimli ve Çok Kriterli Karar Verme yöntemi (TOMada de Decisao Interativa Multicriterio)
TOPSIS	İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Yöntemi (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
UCM	Dengeleyici olmayan Model (Un-Compensatory Model)
UW	Tekdüze Dağılım Ağırlıklar (Uniform Weights)
VIKOR	Çok Kriterli Uzlaşık Sıralama Yöntemi (VIšekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje)
WASPAS	Ağırlıklı Bütünleşik Toplamsal ve Çarpımsal Değerlendirme (Weighted Aggregated Sum Product ASsesment)
WDF	Ağırlıklı Fark Matrisleri (Weighted Difference Matrix)
WDF ⁻	Ağırlıklı Negatif Fark Matrisi (Weighted Negative Difference Matrix)
WDF ⁺	Ağırlıklı Pozitif Fark Matrisi (Weighted Pozitif Difference Matrix)
WDI ²	İki Parametrelili İdeal Ağırlıklı Değişim (The Weighted Displaced Ideal with Parameters 2)
WPM	Ağırlıklı Çarpım Yöntemi (Weighted Product Method)
WSA	Ağırlıklı Uygunluk Analizi (Weighted Suitability Analysis)
Q	Görelî Önem Seviyesi
Γ, γ	Gamma
Δ, δ	Delta
θ	Teta
λ	Lamda
ξ	Ksi
τ	Tau
Φ, φ	Phi
Ψ	Psi

GİRİŞ

Günümüzde insanlar; teknolojik gelişmelerin sağladığı imkânlar, bilgi birikimi ve bu bilgi birikiminin kullanımı sonucu günlük hayatlarında ihtiyaçları olan ürünlerin birçok alternatifine ulaşabilmekte ve alternatifleri değerlendirerek tercih yapmakta, başka bir deyişle karar verme durumu ile karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu tarz karar verme problemleri ile teknoloji, finans, pazarlama, üretim, çevre sorunları, uygun performans seviyelerinin tespiti gibi çeşitli alanlarda karşılaşılabilmektedir. Karşılaşılan karar verme problemlerinde yapılan tercihler, sıralamalar veya sınıflandırmalar; bireysel, toplumsal veya kurumsal nitelik taşıyabilmektedir. Aynı zamanda alternatif seçiminde birden fazla kriter, birbiri ile çelişebilmekte ve insanlar, çelişen bu kriterlere göre ihtiyaçlarını karşılamak için aynı anda mümkün olan en uygun kararı vermeye çalışmaktadırlar (Guitouni ve Martel, 1998: 501).

Karar verme problemleri, literatürde Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) olmak üzere iki temel kısımda ele alınmaktadır. Ölçülebilir veya kıyaslanabilir birden fazla kriterin olduğu karar verme problemlerinde sınırlı sayıda alternatifin değerlendirildiği çalışmalar ÇKKV, sınırsız sayıda alternatifin değerlendirildiği çalışmalar ise ÇAKV problemleri olarak adlandırılmaktadır. ÇAKV, genellikle ürün veya süreçler ile ilgili kısıtlamaları göz önünde bulundurarak planlama ve tasarım amacıyla kullanılırken; ÇKKV ise ürün veya süreçlerin özelliklerini göz önünde bulundurarak sıralama veya seçim yapmak amacıyla kullanılmaktadır. ÇAKV'den elde edilen optimal karar; sınırlı sayıda alternatif yapısı, matematiksel işlem öncelikleri veya farklılıkları ve farklı uzaklık ölçü birimlerinin kullanılabilmesi gibi nedenlerden dolayı ÇKKV'de elde edilememektedir. Dolayısıyla literatürde ÇAKV yöntemlerine kıyasla farklı özelliklere sahip çok fazla ÇKKV yöntemi bulunmaktadır (Bardos vd., 2001: 12).

ÇKKV süreci genel itibariyle; problemin tanımlanması, alternatiflerin ve karşılaştırma özelliklerinin belirlenmesi, problemin uygun çözüm yöntemi ile çözülmesi ve sonuçların elde edilmesi olarak tanımlanabilir. Bu süreçte birden fazla kriter bulunmakta ve kriterler, özelliklerine göre karar vericiye maliyet yükleyebilmekte veya fayda sağlayabilmektedir. Ayrıca ÇKKV sürecinde kriterlerin önceliklerinin belirlenmesi amacıyla kriter ağırlıkları, başka bir deyişle kriterlerin önem dereceleri de karar verme sürecine dahil edilebilmektedir (Kentli ve Kar, 2011: 5829; O'Brien ve Brugha, 2010: 757-758).

Literatürde farklı amaçlar için kullanılan bilgi türüne göre alternatiflerin ikili karşılaştırmalarına dayanan sıralama yöntemleri, kantitatif özelliklerine dayanan karşılaştırma yöntemleri ve kalitatif özelliklerini ölçek yardımı ile karşılaştıran yöntemler bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında, sınırlı sayıda alternatifin sınırlı sayıda kritere ait kantitatif özelliklerinin karşılaştırıldığı yöntemler esas alınmıştır. ÇKKV problemlerinin çözümünde kullanılan bu yöntemler, farklı yaklaşımları ve işlemleri temel almaktadır. Bu nedenle yöntemler arasında alternatiflerin sıralama farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Genellikle ÇKKV problemlerinde faydanın maksimum düzeye çıkarılması hedeflenmektedir. Ancak kriterler açısından karar vericilerin elde edebileceği fayda düzeyi, her zaman maksimum düzeyde olmayabilir. Bu nedenle kişinin alabileceği fayda düzeyi, alternatiflerin karşılaştırılmasında dikkate alınmalıdır ve kişinin alabileceği maksimum fayda düzeyini aşan bir değer, kişiye daha çok fayda sağlamayacak aksine kişinin daha fazla maliyet yüklenmesine neden olabilecektir. Bu nedenle çalışma kapsamında literatürde “Bütünleştirici Referans Noktası Yöntemi (Integrative Reference Point Approach, IRPA)” ismiyle yer alması hedeflenen, karar vericinin referans değerlerini temel alan ve doğrusal olmayan bir ÇKKV yöntemi önerilmiştir.

Literatürde mevcut ÇKKV yöntemlerinde alternatifler değerlendirilirken kriterlerin sağlayacağı fayda düzeyleri, genellikle doğrusal olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmalarda karar vericinin fayda düzeyinin, tüm kriterler açısından maksimum olması hedeflenmektedir. Kriterler dikkate alındığında karar vericinin elde edebileceği faydayı kısıtlayabilecek bütçe veya kapasite vb. referans değerler, genellikle kriterlerin değerlendirilmesinde dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle kriterlerin kişiye sağladığı fayda düzeyi, memnuniyet fonksiyonu temelli eşik değer yaklaşımı ile değerlendirilerek kişinin elde edebileceği fayda düzeyini doğrusal olmayan şekilde dikkate alan IRPA yöntemi önerisi yapılmıştır. Bu yöntem ile karar vericiler, gerçek hayattaki karar verme problemleri karşısında daha gerçekçi ve etkin karar verebileceklerdir.

Bu tez çalışması, giriş ve sonuç bölümleri dışında üç bölümden oluşmaktadır. *Birinci bölümde*; ÇKKV ile ilgili teorik bilgiler ve literatürde yer alan ÇKKV yöntemleri açıklanmıştır. *İkinci bölümde*, IRPA yöntemi ayrıntılı bir şekilde açıklanmış ve yöntemin uygulama adımlarına yer verilmiştir. Ayrıca mevcut yöntemler ile IRPA yöntemi karşılaştırılarak yöntemin farklılıklarından ve ortak yönlerinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde araştırma kapsamında IRPA yöntemi, aynı veri türlerini kullanan literatürde

öncü veya yeni olan; SAW, TOPSIS, GRA, TODIM, COPRAS, VIKOR, MOORA (I ve II), ARAS, WASPAS, MAIRCA, EDAS, RIM, CODAS ve DNBMA yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Yöntemlerin karşılaştırılması için literatürdeki benzer çalışmalar ve yöntemlerin önerildikleri ilk çalışmalar incelenmiştir. Yöntemlerin sonuçlarının karşılaştırılmasında, Spearman korelasyon katsayısı kullanılmıştır. Ayrıca yöntemlerin ikili korelasyon değerleri kullanılarak yöntemler arasındaki benzerliklerin ve farklılaşmaların görselleştirilmesi amacıyla Çok Boyutlu Ölçekleme (ÇBÖ) grafiklerinden faydalanılmıştır. *Üçüncü bölümde*, araştırmanın uygulama kısmı için IRPA yöntemi ve diğer yöntemler arasındaki Spearman ve Pearson korelasyon katsayılarının farklı kriter ve alternatif sayılarındaki değişimi, simülasyon yöntemi ve gerçek hayatta karşılaşılan bilgisayar seçim problemi ile incelenmiştir. Tüm yöntemlerin hesaplamalarında ve simülasyon uygulamalarında Ekler kısmında gösterilen ve çeşitli MATLAB (Matrix Laboratory) kütüphaneleri kullanılarak hazırlanan kodlar ile MATLAB R2020a ve Microsoft Excel Professional Plus 2013 programlarından faydalanılmıştır. ÇBÖ grafikleri için ise SPSS 21 (Statistical Package for Social Sciences Version 21) programı kullanılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

Günümüzde insanlar, günlük hayatlarında birçok kez tecrübelerini ve/veya bilgi birikimlerini kullanarak alternatifler arasında seçim yapma durumu ile karşı karşıya kalmaktadırlar. Rasyonel tercihlerde bulunduğu varsayılan insanlar, yapacakları seçimler ile fayda düzeylerini maksimize etmeye çalışmaktadırlar. Fayda teorisi temeli ile insanların birbirleriyle çelişen özelliklere sahip alternatifler arasında seçim yapma durumu, “Karar Verme” konusu altında matematiksel biçimde modellenmeye çalışılmaktadır.

1.1. “Karar Verme” Kavramı

Karar kelimesinin sözlük anlamı, bir iş veya sorun hakkında düşünülerek verilen kesin yargıdır (Web_1). Karar verme ise, karar vericinin değerlerine ve tercihlerine göre alternatiflerin belirlenmesi ve seçilmesi çalışmasıdır. Karar vermek, göz önünde bulundurulmuş alternatifler arasından bir seçim yapılacağı anlamına gelir ve böyle bir durumda, mümkün olan en fazla sayıda alternatifin tanımlanmasının yanı sıra, karar verenin hedeflerini, amaçlarını, isteklerini ve değerlerini karşılamak için en iyisinin seçildiği anlamına gelir. Bu açıdan düşünüldüğünde her karar verme süreci, nihai bir seçimdir (Chakraborty, 2011: 1155).

Literatürde “Karar Verme” kavramı yerine eşdeğer olarak “Karar Destek” kavramı da kullanılmaktadır. Destek sözcüğü; ihtiyaçları sağlamak, yardım etmek, müdafaa etmek, savunmak, doğrulamak, onaylamak anlamında kullanılmaktadır. Dolayısıyla “Karar Destek”, bir eylemin veya karar vermenin sonucunun doğrulanmasına ve onaylanmasına yardım etmektir. Tipik olarak karar verme, optimal veya en iyi yaklaşımın belirlenmesidir (Bardos vd., 2001: 12).

Bir projenin genel verimliliğini değerlendirmek, seçim niteliklerini belirlemek, bu özellikleriyle ilgili bilgileri değerlendirmek ve katılımcının ihtiyaçlarını karşılamak için projenin özelliklerinin değerlendirildiği yöntemler geliştirmek gereklidir. Karar verme durumunun ele alındığı karar analizi, karar vericinin ortak bir nitelikler kümesini göz önünde bulundurarak birkaç alternatif arasından seçim yapması gereken durumla ilgilidir (Zavadskas vd., 2008: 88). Karar analizi; kavramsal bir yapıyı (istatistiksel karar

teorisinden alınan), bir dizi uygulamalı tekniği (psikoloji, işletme araştırması veya başka bir yerden alınan) ve birçok karmaşık kaynağa sahip kararları incelemek için yararlı bir karar sürecini (uygulamalı pratikte geliştirilen) kapsar. Yaklaşım, sezgisel bir açıdan “sağduyunun gayri resmi kullanımı için çok karmaşık olan sorunların ortak anlamının biçimselleştirilmesi” olarak tanımlanmıştır. Temel yaklaşım, karmaşık kararların her zaman çelişkili hedefler arasındaki değişimleri içerdiğini kabul etmekten kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, bu çoklu hedefleri açıkça temsil etmenin ve karar vericilerin ve paydaş grupların ilgili hedefler arasındaki değişimleri nasıl değerlendirdiklerini dikkate almanın yararı vardır. Ayrıca yaklaşım, alternatiflerin karşılaştırılması esnasındaki etkiler hakkında belirsizlikleri temsil etmek için açıkça öznel olasılık kullanılmasını içerir. Bu nedenle karar analizi, açıkça tercihler ve değerlendirme yapma olasılıkları ile ilgili yargılara dayanır (McDaniels, 1996: 58-59).

Klasik yöneylem araştırma paradigması kapsamında bir karar problemi, bir dizi uygun çözüm üzerinde optimize edilmesi amaçlanan bir fonksiyon ile modellenir. Geçerli öncül, iktisadi insandır yani rasyonel karar verici, her zaman refahını en üst düzeye çıkaran çözümü tercih eder. Bu paradigma kapsamında bir karar verme sistemi ele alınırken durumun; matematiksel modeller tarafından ele alınabilecek iyi bir yapıda, istikrarlı ve şekil sınırlarıyla bağımsız olduğu varsayılır (Guitouni ve Martel, 1998: 502).

Karar verme sistemi genel olarak uzman bilgisini ve teknik bilgiyi, “depolanmış” bir yöntem veya sürece dönüştürür. “Depolanın” süreç, bir problemin nasıl ele alınacağına veya problemin analiz edilmesine yardım eder (Bardos vd., 2001: 13).

Karar verme problemleri, alternatiflerin tanım kümesine bağlı olarak sürekli veya kesikli olarak sınıflandırılabilir. Hwang ve Yoon (1981) tarafından bu sınıflandırma, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) ve Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) olarak yapılmıştır. ÇKKV, genellikle sınırlı sayıda alternatiflerin ve kriterlerin karşılaştırmasını gerektirir, örtük ve açık değişimler içerir. ÇAKV ise karar vericinin kısıtlamalarını, tercihlerini veya önceliklerini en iyi şekilde karşılamak için sürekli veya tam sayılı bir tanım kümesinde belirlenir ve çok sayıda sınırsız seçim karar değişken değerine sahiptir (Zavadskas ve Turskis, 2010: 162).

Karar vermenin tarihçesine bakılacak olursa, öncelik ve fayda fonksiyonunun belirlenmesi ilk olarak Pareto (1896) tarafından uygulanmıştır ve Debreu (1959)

tarafından geliştirilmiştir. Binlerce kararın ortalamaları ile ilgili bu yöntemler, ekonomik teori ile güçlü bir şekilde ilişkilidir. 1960'larda insan toplumun ve çevrenin artan gereksinimlerini karşılamak için çok kriterli analiz yöntemleri geliştirilmeye başlanmıştır (Zavadskas vd., 2005: 8).

MacCrimmon (1968) tarafından fayda fonksiyonu temelli ve kantitatif karşılaştırma verilerini kullanan Basit Toplamsal Ağırlıklandırma Yöntemi (Simple Additive Weighting, SAW), insanlara karar verme problemlerinde seçim veya sıralama yapmasına yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiştir. Benzer şekilde alternatiflerin ikili karşılaştırma verilerini kullanan Eleme ve Seçim Yansıtan Gerçeklik (ELimination Et Choix Traduisant la REalité, ELECTRE) yöntemi Roy (1968) tarafından literatüre kazandırılmıştır.

Saaty (1972) tarafından alternatiflerin veya kriterlerin ikili karşılaştırmalarına dayalı karar verme özelliklerini ve öz vektörün öncelik belirlemesi için kullanılmasının gerekliliği analiz edilmiştir ve Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process, AHP) yöntemi önerilmiştir (Zavadskas vd., 2009: 321). Keeney (1972) tarafından ÇAKV'nin literatüre eklenmesiyle karar verme problemlerinde optimizasyon sağlanması hedeflenmiştir (Tzeng ve Huang, 2011: 5-15).

1.1.1. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV)

Karar verirken insanlar, genellikle kriterler olarak değerlendirilen birçok faktörü göz önünde bulundururlar. Böyle bir durumda karar verme süreci, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) olarak kabul edilir. ÇKKV yöntemleri, her alternatifin tüm kriterlerdeki performanslarının kapsamlı bir şekilde göz önünde bulundurulması yoluyla insanların etkili ve verimli kararlar almasına yardımcı olur (Fu vd., 2019: 401). Başka bir deyişle ÇKKV yöntemleri ile karar vericiler, çelişkili kriterleri içeren karmaşık karar problemlerini sistematik ve tutarlı bir şekilde çözebilirler (Sennaroğlu ve Çelebi, 2018: 161).

Bir karar vericinin çoklu hedeflerinin var olduğu karar verme sürecinde, ölçülebilir veya ölçülebilir olmayan birden fazla kriter arasından seçim yapması gerekir. Hedefler, genellikle çelişkilidir ve bu nedenle çözüm, karar vericinin tercihlerine büyük ölçüde bağlıdır ve bir uzlaşma olmalıdır. Genellikle ÇKKV problemlerinde farklı karar verici grupları sürece dâhil edilir. Her grup, bir anlayış ve karşılıklı uzlaşma çerçevesinde

özölmesi gereken bakış açıları ve farklı kriterler sunar (Pohekar ve Ramachandran, 2004: 367). Aslında birbiriyle çelişen birçok açıdan konu, aynı anda ele alınacak ve bu nedenle karar artık optimal değil, tatmin edici veya uzlaşılın bir karar olacaktır (Guitouni ve Martel, 1998: 501).

ÇKKV, bir karar problemini çözmek için olası en iyi alternatifin seçilmesi, sınıflandırılması, en iyiden en kötüye sıralanması veya açıklanması gerektiğinde, aynı anda nicel ve/veya nitel kriterlerin varlığında yapılması gereken Yöneylem Araştırması alanıdır (Rangel vd., 2011: 236; Zavadskas vd., 2008: 87).

Tipik ÇKKV problemlerinde kriterler; maliyet kriterleri ve fayda kriterleri olmak üzere iki ana kategoride sınıflandırılabilir. Fayda kriterleri söz konusu olduğunda yüksek skor, performans sıralaması daha yüksek olan alternatifte atanır yani *j.* kritere göre maksimum olan alternatif tercih edilir. Maliyet kriterleri söz konusu olduğunda performans sıralaması daha düşük olan alternatifte daha yüksek skor atanır yani *j.* kritere göre minimum olan alternatif tercih edilir. En iyi çözüm veya en kabul edilebilir alternatif, performansının fayda oranları ile maliyet özelliklerinin performans sıralamaları arasında en iyi uzlaşmayı sağlayan alternatiftir (Stanujkic vd., 2013: 103-104).

Genel olarak ÇKKV süreci üç temel bileşenden oluşur; alternatifler, kriterler/özellikler ve her kriter için göreceli önem seviyeleridir (ağırlık değerleridir) (Kentli ve Kar, 2011: 5829).

O'Brien ve Brugha (2010) tarafından ÇKKV sürecinin özellikleri; erişilebilir, ayırt edilebilir, özetlenebilir, anlaşılabilir, doğrulanabilir, ölçülebilir, açıklanabilir ve kullanılabilir olarak açıklanmıştır (O'Brien ve Brugha, 2010: 757-758).

ÇKKV problemlerinin ele alınması Hung vd. (2011)'ne göre 5 adım içermektedir:

1. *Sorunun/Problemin belirlenmesi:* Karar vericilerin araştırma probleminin niteliğini tanımlamaları gerekir. Özellikle hangi kriterlerin dikkate alınması ve hangi karar verme stratejilerinin benimsenmesi gerektiği belirlenmelidir.
2. *Problemin yapılandırılması:* Karar vericilerin bu girişimin hedeflerini, değerlerini, kısıtlamalarını, dış ortamını, temel hususlarını, belirsizliklerini ve paydaşlarını tanımlamaları gerekir. Bu adımda, karar vericilerin tercihlerinin

doğru bir şekilde tanımlanması ve göz önünde bulundurulması için uygun veri veya bilgilerin toplanması gerekir.

3. *Model oluşturma:* Karar vericiler alternatifleri belirler, tüm kriterleri tanımlar ve model oluşturma için değerleri ortaya çıkarır. Bu süreç, hedefin gerçekleştirileceğini garanti etmek için bir dizi olası alternatif veya stratejiyi derlemelerine izin verir.
4. *Modelin kurulan düşünceyi bilgilendirmek ve sorgulamak için kullanılması:* Özellikle karar vericiler; bilgi toplar ve sentezler, insanların sezgilerinin doğruluğunu tartışır, başka alternatifler önerir ve modelin sağlamlığını ve hassasiyetini analiz eder.
5. *Bir eylem planının geliştirilmesi:* Son adımda, bir çözüm olarak bir eylem planı oluşturulur. Başka bir deyişle, olası alternatiflerin veya stratejilerin değerlendirilmesine ve sıralanmasına yardımcı olacak uygun yöntem seçilir başka bir deyişle en iyi alternatif belirlenir (Hung vd., 2011: 272).

Zavadskas ve Turskis'e (2010) göre ise ÇKKV'nin temel işlem adımları;

- Bir problemin asıl amacının belirlenmesi,
- Alternatiflerin değerlendirileceği temel amaç veya kriterlere ait bir sistemin oluşturulması,
- Hedeflere ulaşmayı sağlayacak uygun alternatiflerin (sınırlı sayıda alternatif plan veya seçenek) oluşturulması,
- Her kriterin karar verme işlevi üzerindeki veya kriter ağırlıklarının etkisinin değerlendirilmesidir. Bir karar verici, tercihlerini kriterlerin göreceli önemi olarak ifade etmelidir ve kriter ağırlıklarını ortaya koymalıdır. ÇKKV'deki bu ağırlıklar, açık bir ekonomik öneme sahip değildir ancak kullanımları, tercih yapısının asıl yönlerini modelleme fırsatı sağlar (Zavadskas ve Turskis, 2010: 162).

1.1.1.1 ÇKKV Yöntemlerinin Sınıflandırılması

ÇKKV, son yıllarda yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Farklı uygulama alanlarındaki rolü, özellikle yeni yöntemler geliştirildikçe ve eski yöntemler iyileştirildikçe, önemli ölçüde artmıştır (Velasquez ve Hester, 2013: 56). ÇKKV yöntemleri, öznel sayı yüksek ve alternatif sayısı orta olduğunda özellikle

kullanışlıdır. Girdi verilerine ve verilerin toplanması işlemlerine göre farklılık gösteren çeşitli ÇKKV yöntemleri geliştirilmiştir (Thies vd., 2019: 6).

ÇKKV yöntemleri, öncelikli olarak mevcut alternatiflerin faydalarını ölçmeyi ve sıralamayı amaçlamaktadır. Bununla birlikte, farklı ÇKKV yöntemleri farklı sonuçlara neden olabilir, başka bir deyişle aynı alternatifler dizisi farklı sıralamalarla ilişkilendirilebilir. Bu, uygulanan yöntemler tarafından kullanılan farklı matematiksel işlemlere bağlanabilir. Bu nedenle, belirli bir durum için en uygun ÇKKV yönteminin belirlenmesi konusu halen varlığını sürdürmektedir (Chen vd., 2018: 3). Bununla birlikte, çok sayıda mevcut ÇKKV yöntemine rağmen, bunların hiçbirisi her türlü karar verme durumu için en iyi sayılmaz. Daha iyi veya daha kötü yöntemler yoktur, yalnızca belirli bir duruma daha uygun ya da uygun olmayan yöntemler vardır (Polatidis vd., 2006: 182).

Farklı özelliklere sahip ÇKKV yöntemlerini sınıflandırmak için farklı yöntemler vardır. Bu sınıflandırmalardan biri, ÇKKV yöntemleriyle karşılaştırma yapılacak ilk bilginin türü (deterministik, stokastik veya bulanık küme teorisi) veya karar verici sayısıdır (bir veya grup) (Turskis, 2008: 226).

ÇKKV yöntemleri, elde edilen bilginin türüne göre şu şekilde de sınıflandırılabilir (Turskis, 2008: 226, Ustinovichius vd., 2007: 252);

- *Kantitatif ölçümlere dayanan yöntemler:* Bu grup, çok kriterli fayda teorisinde yaygın olarak bilinen yöntemlerden ve bazı yeni yöntemlerden oluşmaktadır. Bu gruba örnek olarak TOPSIS, SAW, LINMAP, COPRAS vb. diğer yöntemler verilebilir.
- *Kalitatif başlangıç ölçümlerine dayanan yöntemler:* Sonuçları daha sonra kantitatif bir biçimdedir. Bu grup, AHP yönteminin yanı sıra bulanık kümelerle dayalı yöntemlerden oluşur.
- *Kantitatif ölçümlere dayanan, ancak alternatifleri karşılaştırmak için birkaç kriter kullanan yöntemler (karşılaştırmalı tercih yöntemi):* Tercihlerin karşılaştırıldığı yöntemlerden oluşmaktadır. Bu gruba örnek olarak ELECTRE, PROMETHEE vb. yöntemler verilebilir.
- *Kantitatif değişkenlere dönüştürülemeyen kalitatif ölçümlere dayanan yöntemler:* Sözel karar verme analizi yöntemlerini içerir ve yüksek seviyelerde belirsizlik

içeren ortamlarda karar verme için kalitatif verileri kullanır (Turskis, 2008: 226, Ustinovichius vd., 2007: 252).

Stewart (1992)'ye göre ÇKKV yöntemleri, yöntemlerin önceliklerine veya işlem adımlarına göre şöyle sınıflandırılmaktadır (Stewart, 1992: 571-584):

- Değer veya fayda temelli yaklaşımlar,
- Hedefler ve referans noktası yaklaşımları,
- Üstünlük yaklaşımları,
- Bulanık küme yaklaşımları,
- Tanımlayıcı yöntemler,
- Belirsizlik yaklaşımları.

ÇKKV yöntemleri; değer fonksiyonuna, referans noktasına ve karşılaştırmalı üstünlük sıralamasına dayalı olarak da gruplandırılabilir. Değer fonksiyonunu temel alan yöntemler; SAW, WPM, MAUT, WASPAS'tır. Bu yöntemler, kriterler ile ilgili ağırlıkları dikkate alarak karar matrisinin normalize edilmiş değerlerini toplar. Saaty'nin AHP yöntemi, aynı zamanda bir değer fonksiyonu temelli olarak düşünülebilir. TOPSIS ve VIKOR, referans noktası temelli yaklaşımlara örnek olarak verilebilir. Bu durumda, alternatifler ve ideal çözümler (referans noktaları) arasındaki mesafe ölçülür. TOPSIS, Öklid (Euclidean) uzaklığına dayanırken; VIKOR, Manhattan ve Chebyshev uzaklıklarını içerir. MOORA yöntemi, hem referans noktası yaklaşımını hem de değer fonksiyonu yaklaşımını içerir. EDAS yöntemi, ortalama çözümü referans noktası olarak kabul eder. Son olarak, karşılaştırmalı üstünlük sıralaması yaklaşımları, tercih ilişkilerine dayanan yöntemler içerir. ELECTRE ve PROMETHEE yöntemleri, bu grupta yer almaktadır (Chen vd., 2018: 3).

1.1.1.2. ÇKKV'de Normalizasyon Yöntemleri

ÇKKV yöntemleri genellikle, her alternatif için genel tercih değerini elde etmek için iki işlem gerektirir. Bu işlemler, normalleştirme ve toplamadır. Normalleştirme, öncelikle performans derecelendirmelerini uyumlu bir birim ölçeğine dönüştürmek için kullanılır. Daha sonra normalleştirilmiş karar matrisini birleştirmek için bir toplama prosedürü kullanılır ve her alternatif için toplam alternatif sıralamasının dayandığı toplam tercih değerini elde etmek için kriter ağırlık değerleri (w) kullanılır (Chakraborty ve Yeh, 2007: 103).

ÇKKV problemlerinde her alternatif, alternatifin özelliklerini temsil eden her özellik için bir performans değerine sahiptir. Farklı özellikler için performans değerlerinin, farklı birimler tarafından ölçülmesi ile yaygın olarak karşılaşılmaktadır (Chakraborty ve Yeh, 2007: 102). Genel olarak ÇKKV’de normalizasyon, ortak bir skala kullanarak girdi verilerini sayısal ve karşılaştırılabilir şekle dönüştüren bir süreçtir. Literatürde yaygın olarak kullanılan normalizasyon yöntemleri Tablo 1’de gösterilmiştir (Vafaei vd., 2016: 264 - 265). Tablo 1’de gösterilen x_{ij} , i . alternatifin j . kriter altındaki performans değerini ve m , alternatif sayısını göstermektedir.

Tablo 1. Normalizasyon Yöntemleri

Doğrusal Normalizasyon: Maks	Fayda	$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}}$
	Maliyet	$\bar{x}_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}}$
Doğrusal Normalizasyon: Maks-Min	Fayda	$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}$
	Maliyet	$\bar{x}_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}$
Doğrusal Normalizasyon: Toplam	Fayda	$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$
	Maliyet	$\bar{x}_{ij} = \frac{\frac{1}{x_{ij}}}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{x_{ij}}}$
Vektör Normalizasyonu	Fayda	$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$
	Maliyet	$\bar{x}_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$
Logaritmik Normalizasyon	Fayda	$\bar{x}_{ij} = \frac{\ln(x_{ij})}{\ln(\prod_{i=1}^m x_{ij})}$
	Maliyet	$\bar{x}_{ij} = \frac{1 - \frac{\ln(x_{ij})}{\ln(\prod_{i=1}^m x_{ij})}}{m - 1}$

Her normalleştirme yönteminin farklı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin vektör normalizasyon yöntemi; özellikler arası karşılaştırmayı kolaylaştırırken, eşit olmayan ölçüm uzunluklarına sahip karşılaştırmalarda doğrudan karşılaştırmayı zorlaştırmaktadır. Doğrusal normalizasyon: maks-min yönteminin avantajı ise, ölçüm değerlerinin tam olarak sıfır ve bir arasında yer almasıdır. Ancak dezavantajı ise ölçek

dönüşümünün çıktılarına göre oransal olmamasıdır (Çelen, 2014: 193-194). Literatürde yer alan ÇKKV yöntemlerinde yaygın olarak Doğrusal (Maks-Min) veya Vektör Normalizasyonu kullanılmaktadır.

1.1.1.3. ÇKKV Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Literatürde ÇKKV yöntemlerini karşılaştıran birçok çalışma vardır. ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırılması ve seçim probleminin önemi, MacCrimmon (2010) tarafından ÇKKV yöntemlerinin taksonomisi olarak ilk defa yapılmıştır. Guitoni ve Martel (1998), belirli bir karar verme durumuna uygun bir ÇKKV yöntemi seçmek için metodolojik bir yaklaşım önermiştir. Farklı örneklerin hesaplamaları, değerlendirme sonucunun hem fayda fonksiyonunun seçimine hem de parametrelere bağlı olduğunu göstermektedir (Zavadskas vd., 2010: 125). Son yıllarda literatürde kullanılan, ÇKKV yöntemlerini karşılaştırma araçlarının özetine Tablo 2’de yer verilmiştir.

Tablo 2. ÇKKV Yöntemlerini Karşılaştırma Yöntemleri

Yöntem	Kaynak Çalışma
Spearman Korelasyon Katsayısı	Moradian vd. (2019), Mousavi-Nasab ve Sotoudeh-Anvari (2018), Arslan ve Bircan (2018), Arabameri vd. (2018), Leoneti (2016), Keshavarz Ghorabae vd. (2015), Karande ve Chakraborty (2012), Athawale ve Chakraborty (2011), Chatterjee vd. (2011)
Ağırlık Değerlerine Bağlı Duyarlılık Analizi	Wang vd. (2019), Sennaroğlu ve Çelebi (2018), Pamucar vd. (2018), Sindhu vd. (2017), Xu vd. (2017), Dey vd. (2017), Luo vd. (2016), Dey vd. (2016), Pamucar ve Cirovic (2015), Kang ve Park (2014), Gomes ve Rangel (2009),
Kendall Tau Korelasyon Katsayısı	Arabameri vd. (2018), Wu ve Tiao (2018), Chitsaz ve Banihabib (2015), Athawale ve Chakraborty (2011)
ANOVA ⁽¹⁾ Testi	Jadhav ve Tandale (2018), Dey vd. (2017), Dey vd. (2016)
Toplamsal ve Çarpımsal Sıralama Kuralı	Banerjee ve Ghosh (2013)
Borda ve Copeland Sıralamaları Karşılaştırması	Tuş Işık ve Aytaç Adalı (2016), Klamler (2005)

⁽¹⁾ Varyans Analizi (ANalysis Of VAriance, ANOVA)

Tablo 2’de verilen Toplamsal ve Çarpımsal Sıralama Kuralı ve Borda ve Copeland Sıralamaları Karşılaştırması, farklı ÇKKV yöntemlerinin sonuçlarından elde edilen ortak bir ağırlıklı sıralama ile ÇKKV yöntemlerini karşılaştırmaktadır. Kullanılan yöntemlerinin ortak sıralamaya katkısı, eşit olarak değerlendirilmektedir. Yöntemlerin sonuçlarının özdeş olarak değerlendirilmemesi ve her yöntemin ikili olarak kendi aralarındaki benzerlik veya farklılıkların diğer yöntemlerin sıralamalarından etkilenmemesi amacıyla bu çalışmada, farklı yöntemler karşılaştırılırken Spearman ve Pearson Korelasyon katsayıları ve ağırlık değerlerine bağlı Duyarlılık Analizi

kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan yöntemlerin görsel olarak farklılıklarının sunulması amacıyla Çok Boyutlu Ölçekleme (ÇBÖ) grafiklerinden faydalanılmıştır.

1.1.1.3.1. Spearman ve Pearson Korelasyon Katsayısı

Korelasyon katsayısı değeri kullanılarak iki grup arasındaki benzerlik ölçülmektedir. Korelasyon değeri, -1 ile $+1$ arasında yer alır ve $+1$ değeri, iki grup sıralamaları arasındaki mükemmel uyumu gösterir (Athawale ve Chakraborty, 2011: 848).

ÇKKV yöntemleri çeşitli sonuçlara sahiptir, bu nedenle korelasyon testi en uyumlu yöntemin seçilmesi için ÇKKV yöntemlerinin sıralamalarına uygulanmaktadır. Farklı ÇKKV yöntemleri karşılaştırılırken parametrik olmayan sonuçlar için Eşitlik (1.1)'de gösterilen Spearman korelasyon katsayısı (r_s) ve parametrik sonuçlar için Eşitlik (1.2)'de gösterilen Pearson korelasyon katsayısı (r_p) kullanılmaktadır (Arabameri vd., 2018: 1141).

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2-1)} ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1.1)$$

$$r_p = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1.2)$$

Eşitlik (1.1)'de d_i , her alternatifin farklı yöntemler arasındaki sıralama farklılığını ve i ise alternatif sayısını göstermektedir. Eşitlik (1.2)'de gösterilen x_i ve y_i , farklı x ve y yöntemlerindeki i . alternatife ait sonuçları ve $\bar{x}$ ve $\bar{y}$ ise x ve y yöntemlerindeki n tane alternatife ait ortalama sonuçlarını göstermektedir.

1.1.1.3.2. Çok Boyutlu Ölçekleme Analizi

Klasik ölçeklendirme adı verilen Çok Boyutlu Ölçekleme (ÇBÖ), Torgerson (1952) tarafından önerilmiştir ve önde gelen farklı versiyonları, Kruskal (1964) tarafından geliştirilmiştir (Buja vd., 2008: 445). ÇBÖ, bir veri kümesindeki nesnelerin benzerliğini analiz etmek için kullanılan bir yöntemdir ve incelenen nesneler arasındaki gözlemlenen benzerlikleri veya alternatif olarak farklılıkları (yani mesafeleri) açıklayan anlamlı boyutları tespit etmeye çalışır (Machado ve Mehdipour, 2019: 5).

Görselleştirme, kalıpları anlamak ve bilimsel verilerden anlam üretmek için anahtar bir rol oynar (Urpa ve Anders, 2019: 1). Son yıllarda ÇBÖ; biyoloji, fizik, siyaset

bilimi, psikoloji, pazarlama ve sosyoloji vb. çeşitli disiplinlerde kullanılmaktadır (Roy, 2019: 1). ÇBÖ yöntemleri, yanıtlayanlar tarafından sağlanan nesneler veya özellikler hakkında sadece bir dizi benzerlik kullanarak temel boyutları ortaya çıkarabilir. ÇBÖ, nesnelerin niteliklerini temsil eden değişkenler temelinde iki veya daha fazla boyut kullanarak vakaların çok boyutlu bir alana yerleştirilmesini sağlar. Özetle ÇBÖ, nesnelerin karşılaştırılmasına dayanan bir yöntemdir (Yolal vd., 2019: 70).

ÇBÖ’de “Kayıp Fonksiyonu” olarak adlandırılan bir kriter parametresine göre giriş matrisinin bir fonksiyonuna mümkün olduğu kadar yaklaşan Öklid mesafelerinin matrisine karşılık gelen p -boyutlu bir uzaydaki vektör setini belirler. Bu parametre, gözlemciler tarafından ölçülen girdi verilerindeki noktalar arasındaki farklılıkların ilişki derecesini tanımlayan bir parametredir (Perales vd., 2019: 930).

ÇBÖ grafiklerinin çiziminde SPSS programında Commandeur ve Heiser (1993) tarafından yakınlık katsayılarını içeren simetrik veri matrisleri için önerilen Yakınlık Katsayıları (Proximity Scalling, PROXSCAL) yöntemi kullanılmıştır. PROXSCAL yönteminde minimize edilmesi hedeflenen Kayıp Fonksiyonu, Eşitlik (1.3)’te verilmiştir.

$$\sigma^2 = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \sum_{i < j}^n w_{ijk} [\hat{d}_{ijk} - d_{ij}(X_k)]^2 \quad (1.3)$$

Eşitlik (1.3)’te gösterilen m tane kaynaktan elde edilen n nesne ile dönüştürülmüş yakınlıklar arasındaki ağırlıklı ortalama karesel hatadır. Yakınlıkların dönüşüm işlevi, dönüştürülen yakınlıklar $(\hat{d}_{ijk})$ için negatif olmayan, monoton olarak azalan olmayan değerler sağlar. Mesafeler $(d_{ij}(X_k))$ basitçe nesne noktalarının (X_k) satırlarındaki koordinatlarla arasındaki Öklid mesafeleridir. PROXSCAL algoritmasının başlıca adımları şunlardır:

1. İlk yapılandırmalar (X_k) bulunur ve kayıp fonksiyonu değerlendirilir,
2. Yapılandırmalar (X_k) için bir güncelleme bulunur,
3. Dönüştürülen yakınlıklar için bir güncelleme bulunur,
4. Kayıp fonksiyonu değerlendirilir, önceden tanımlanmış bazı durma kriterleri yerine getirilirse durulur; aksi takdirde, 2. adıma gidilir (Web_2).

Genel olarak ÇBÖ’de nesnelere ait noktalar arası mesafeler, deneysel farklılıklarla bulunmaktadır. Deneysel ölçüm farklılıklarının yerine benzerlikler, karışıklık olasılıkları,

gruplar arasındaki etkileşim oranları, korelasyon katsayıları veya çeşitli türden diğer yakınlık veya farklılık ölçümleri olabilir. Büyük bir değerin yakınlık veya karşıtlık gerektirip gerektirmediği bir ayrıntıdır ve büyük bir öneme sahip değildir. Temel olarak konfigürasyondaki deneysel ölçümler ve mesafeler arasında artan veya azalan monoton bir ilişki istenilir (Kruskal, 1964: 1).

ÇBÖ’de Stres değerleri (S-Stress Value) verilerin uyumsuzluğunu ölçerken, “Dispersion Accounted For (DAF)” ve “Tucker’ın Uyum Katsayısı” da çözümün verileri yansıtma miktarını ölçmektedir. Daha düşük stres değerleri (en az 0'a kadar) ve daha yüksek uyum değerleri (en fazla 1'e kadar), daha iyi çözümleri göstermektedir. Kruskal (1964), 0.20’nin altındaki Stres değerlerinin iyi bir uyumu temsil ettiğini ve DAF ile Tucker’ın Uyum Katsayısı değerinin 1’e yakın değerlere sahip olmasını önermiştir (Pagliuca ve Rosciano, 2018: 325; Kruskal, 1964: 3).

1.2. ÇKKV Yöntemleri

En iyi alternatifin seçilmesi veya alternatiflerin sıralanması için ÇKKV problemleri, literatürde birçok farklı yöntemle ele alınmaktadır. Bu yöntemlerden günümüzde yoğun bir şekilde kullanılan ve bu tez çalışmasında önerilen yöntem ile karşılaştırılanlar, bu başlık altında detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Bundan sonraki başlıklar altında açıklanacak her yöntemde ele alınan karar probleminin m adet alternatif ($i = 1, 2, \dots, m$) ve n adet kriter ($j = 1, 2, \dots, n$) içerdiği varsayılmıştır. Tüm yöntemlerde ortak başlangıç işlem basamağı olarak Eşitlik (1.4)’te verilen alternatif ve kriter özelliklerine ait karar matrisi oluşturulur. Bu karar matrisinde x_{ij} , i . alternatifin j . kriter altındaki performansını göstermektedir.

$$X_i = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}; \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (1.4)$$

Tüm yöntemlerde w_j , j . kriterin ağırlığını (önem derecesini) göstermektedir. Kriter ağırlıklarının Eşitlik (1.5)’te gösterilen kısıta uyması gerekmektedir. Kriter ağırlıklarının belirlenebilmesine ilişkin literatürde birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada, bu yöntemlerden bahsedilmemiştir.

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1; \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (1.5)$$

1.2.1. Basit Toplamsal Ağırlıklandırma Yöntemi (SAW)

MacCrimmon (1968) tarafından ÇKKV problemlerini çözmek için önerilen Basit Toplamsal Ağırlıklandırma (Simple Additive Weighting, SAW) yöntemi, göreceli olarak basittir ve uygulaması kolaydır (Stanujkic vd., 2013: 104; Sahu vd., 2019: 312).

SAW yöntemi, ağırlıklı ortalamayı temel alır. Karar kuralına göre her alternatif ve kriter için değerlendirme skoru hesaplanır. Kriter skorları farklı ölçüm birimlerinde hesaplanmışsa, SAW yöntemi kullanılmadan önce birimler, ortak bir boyutta normalize edilmelidir (Forzieri vd., 2009: 2503). Bununla birlikte, toplam için sadece bir terim vardır (yani çıkarma için bir terim yoktur) çünkü SAW yönteminin normalizasyonu, doğrusal bir orana dayanmaktadır (Hafezalkotob vd., 2019: 148).

SAW yöntemi, literatürde farklı konulardaki problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Bu problemlerin bir özeti, Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. SAW Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Yazar	Konu	Ağırlık Belirleme Yöntemi	ÇKKV Yöntemi	Kriter Sayısı	Alternatif Sayısı	Birlikte Kullanılan Yöntem
Omrani vd. (2020)	Şehirlerin Gelişmişlik Seviyeleri	DEA ⁽¹⁾ Oyun Teorisi	SAW, TOPSIS, WPM ⁽²⁾ , WDI ⁽³⁾	68	13	DEA-Oyun Teorisi, Spearman Korelasyon
Sahu vd. (2019)	Torna Makinesi Alaşım İşlemleri	Eşit	SAW ve TOPSIS	2	25	Taguchi Yöntemi
Goodridge vd. (2017)	Bitkilerde Hastalık Teşhisi	AHP	SAW	13	3	Simülasyon (54 alternatif simüle edilmiştir.)
Miniotaite (2017)	Bina Yalıtım Malzemeleri ve Kalınlıkları	Yazar ⁽⁴⁾	SAW	8	3	-
Liu vd. (2016)	Bulut Bilişim Ağı Servis Sağlayıcıları	İstatistiksel Varyans ve Delphi – AHP	SAW ve TOPSIS	4	4	-
Sabbaghian vd. (2016)	Su Havzaları Yönetim Senaryoları	Entropi	SAW, OWA ⁽⁵⁾ ve IOWA ⁽⁶⁾	3	8	-
Setyani ve Saputra (2016)	Sel Taşkın Alanları	Yazar	SAW	4	177	Coğrafi Bilgi Sistemleri
Da Silva Filho (2015)	Problem Çözme Yaklaşımları	Swing	SAW	7	5	-
Ketkar ve Vaidya (2014)	Stok Ürün Sınıflandırma	Eşit	SAW	4	42	Farklı Stok Sınıflandırma Yöntemleri
Shakouri vd. (2014)	Enerji Tesis Türleri	Entropi	SAW	11	4	DEA (8 Girdi ve 3 Çıktı Yönlü Kriter)
Afshari vd. (2010)	Personel Seçimi	AHP	SAW	7	5	-
Jakimavicius ve Burinskiene (2009)	Ulaşım Açısından Şehir Gelişim Senaryoları	Uzman Görüşü	SAW	16	3	-

⁽¹⁾ Veri Zarflama Analizi (Data Envelopment Analysis, DEA)

⁽²⁾ Ağırlıklı Çarpım Yöntemi (The Weighted Product Method, WPM)

⁽³⁾ İki Parametrelili İdeal Ağırlıklı Değişim (The Weighted Displaced Ideal with Parameters 2, WDI²)

⁽⁴⁾ Yazar/Yazarlar tarafından ağırlık değerleri belirlenmiştir.

⁽⁵⁾ Sıralı Ağırlıklı Ortalama (The Ordered Weighted Averaging, OWA)

⁽⁶⁾ Uyarılmış Sıralı Ağırlıklı Ortalama (The Induced Ordered Weighted Averaging, IOWA)

ÇKKV problemlerinin çözümü için SAW yönteminin işlem adımları şöyledir (Memariani vd., 2009: 14):

Adım 1: Eşitlik (1.4)'te gösterilen karar matrisi oluşturulur. Karar matrisi, fayda ve maliyet kriterleri için sırasıyla Eşitlik (1.6) ve (1.7) kullanılarak normalize edilir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}} ; x_j^{max} = \max_{1 \leq i \leq m} x_{ij} ; j = 1, 2, \dots, n \quad (1.6)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{min}}{x_{ij}} ; x_j^{min} = \min_{1 \leq i \leq m} x_{ij} ; j = 1, 2, \dots, n \quad (1.7)$$

Eşitlik (1.6) ve (1.7)'de gösterilen r_{ij} değeri, karar matrisi elemanlarının normalize edilmiş değerleridir.

Adım 2: Her alternatifin toplam skoru (P_i), Eşitlik (1.8)'de gösterildiği gibi hesaplanır. Toplam skorlar, büyükten küçüğe sıralanır. Böylece alternatiflerin en iyiden en kötüye sıralaması elde edilmiş olur.

$$P_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot r_{ij} \quad ; i = 1, 2, \dots, m \quad (1.8)$$

Problemde herhangi bir kalitatif kriter varsa, kalitatif kriterler kantitatif kriterlere dönüştürülmelidir.

1.2.2. İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Yöntemi (TOPSIS)

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Yöntemi (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS), her bir özelliğin monoton olarak artan veya azalan bir faydaya sahip olduğunu varsayar. Bu, pozitif ideal ve negatif ideal çözümleri bulmayı kolaylaştırır. Böylece alternatiflerin tercih sırası, Öklid uzaklıklarının karşılaştırılmasıyla elde edilir (Pohekar ve Ramachandran, 2004: 372).

TOPSIS yöntemi, seçilen alternatifin ideal çözümünden en kısa Öklid uzaklığına ve negatif ideal çözümünden en uzak mesafeye sahip olması gerektiği kavramına dayanmaktadır (Rakhshan, 2017: 909). İdeal çözüm, karşılaştırma matrisindeki kriter değerlerinden tatmin edici maksimum kriter değerine karşılık geldiği ve negatif ideal çözüm, karşılaştırma matrisindeki kriter değerlerinden minimum kriter değerine karşılık geldiği varsayımsal bir çözümdür. Böylece TOPSIS, yalnızca varsayımsal olarak en iyiye en yakın olanı değil, aynı zamanda varsayımsal olarak en kötüye en uzak olanı da sunar (Rao, 2013: 10).

Basitliđi ve problem büyüklüğüne bakılmaksızın aynı sayıda adımda uygulanabilme avantajı, diğer yöntemlere göre karar verme aracı olarak yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır (Velasquez ve Hester, 2013: 63).

Literatürde farklı alanlardaki problemlerin çözümünde TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Özellikle son yıllarda TOPSIS yönteminin kullanıldığı çalışmalar, Tablo 4'te gösterilmiştir.



Tablo 4. TOPSIS Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Yazar	Konu	Ağırlık Belirleme Yöntemi	ÇKKV Yöntemi	Kriter Sayısı	Alternatif Sayısı	Birlikte Kullanılan Yöntem
Jiang vd. (2019a)	Çelik Fabrikaları Karbon Emisyon Süreçleri	Entropi	TOPSIS	26	12	-
Wang vd. (2019a)	Taşıtların Tersine Lojistik Firmaları	Entropi	TOPSIS, SAW, WP, ELECTRE	3	10	DEA
Dai vd. (2019)	Enerji Sistemi Alternatifleri	AHP ve Entropi	TOPSIS	5	5	-
Peng vd. (2019)	Motor Geri Dönüşüm Teknolojisi Seçimi	AHP	TOPSIS	11	4	-
Wu ve Tiao (2018)	Geçerlilik ve Etkinlik Açısından ÇKKV Yöntemleri	UW ⁽¹⁾ , ROC ⁽²⁾ , RSW ⁽³⁾	TOPSIS, VIKOR, ELECTRE, PLP ⁽⁴⁾ ve AHP	4	10	ARD ⁽⁵⁾ , Kendall Tau Korelasyon Katsayısı ve Simülasyon
Jozaghi vd. (2018)	Baraj Yeri Seçimi	AHP	TOPSIS	11	15	Coğrafi Bilgi Sistemleri
Shuai vd. (2017)	Şehirlerin Karbon Emisyon Özellikleri	AHP	TOPSIS	20	9	-
Sindhu vd. (2017)	Güneş Enerjisi Santralleri Yer Seçimi	AHP	Bulanık TOPSIS	18	5	Duyarlılık Analizi
Özcan vd. (2017)	Hidroelektrik Santrallerde Bakım Stratejisi Seçimi	AHP	TOPSIS	9	4	Hedef Programlama
Bai vd. (2016)	Granit Blok Kesim Teknolojileri	AHP	TOPSIS	30	5	-
Senouci vd. (2016)	Mobil Şebeke Arayüz Seçimi	Yazar	TOPSIS, SAW, GRA	5	7	Simülasyon ve Farklı Normalizasyon Yöntemleri
Ghiabakloo vd. (2016)	Çelik İşleme Parametreleri	Yazar	TOPSIS	3	12	Regresyon Analizi ve Pareto Optimizasyonu
Paul vd. (2015)	3D Yazıcı Seçimi	ANP ⁶	TOPSIS, Deng Benzerlik Yöntemi ve PROMETHEE	6	12	-

Çelen (2014)	Bankaların Finansal Performansları	Bulanık AHP	TOPSIS	29	13	-
Zhang vd. (2011)	Turizm Açısından Şehir Alternatifleri	Entropi	TOPSIS	35	16	-
Antucheviciene vd. (2010)	Bina Bakım-Onarım Alternatifleri	Korelasyon	TOPSIS ve TOPSIS-M	7	3	Mahallanobis Uzaklığı

(1) Tekdüze Dağılım Ağırlıklar (Uniform Weights, UW)

(2) Sıralı Merkezi Ağırlıklar (Rank Order Centroid Weights, ROC)

(3) Sıralı Toplam Ağırlıklar (Rank Sum Weights, RSW)

(4) Performansların Tercih Seviyeleri (Preferred Levels of Performances, PLP)

(5) Mutlak Sıralama Sapması (Absolute Rank Deviation, ARD)

(6) Analitik Ağ Süreci (Analytic Network Process, ANP)

ÇKKV probleminin TOPSIS yöntemi ile değerlendirme sürecinin işlem adımları şöyledir (Rao, 2013: 10-12):

Adım 1: Karar matrisi Eşitlik (1.4)'te gösterildiği gibi oluşturulur.

Adım 2: Normalize edilmiş karar matrisi (R), karar matrisi kullanılarak Eşitlik (1.9)'a göre hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} ; \quad i = 1, 2, \dots, m ; j = 1, 2, \dots, n \quad (1.9)$$

Adım 3: Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi (V), Eşitlik (1.10) kullanılarak hesaplanır.

$$v_{ij} = w_j * r_{ij} \quad (1.10)$$

Adım 4: A^* ile gösterilen Pozitif İdeal Çözüm (Pozitif Ideal Solution, PIS) ve A^- ile gösterilen Negatif İdeal Çözüm (Negative Ideal Solution, NIS) kümeleri sırasıyla Eşitlik (1.11) ve (1.12)'ye göre belirlenir. Fayda kriterleri J ile ve maliyet kriterleri J' ile gösterilir.

$$A^* = \left\{ \left(\max_j v_{ij} \mid j \in J \right) \text{ veya } \left(\min_j v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} \quad (1.11)$$

$$A^- = \left\{ \left(\min_j v_{ij} \mid j \in J \right) \text{ veya } \left(\max_j v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (1.12)$$

Adım 5: Her alternatif için Pozitif İdeal Çözüm kümesine uzaklık, Eşitlik (1.13) ve Negatif İdeal Çözüm kümesine uzaklık ise Eşitlik (1.14) ile hesaplanır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (1.13)$$

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

Adım 6: Yakınlık katsayıları (C_i^*), Eşitlik (1.15)'e göre hesaplanır ve alternatifler yakınlık katsayılarına göre sıralanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (1.15)$$

En iyi alternatif, $[0,1]$ aralığındaki C_i^* değerinin tercih sıralamasına göre belirlenir. Daha yüksek değer, daha iyi olanı gösterir. C_i^* değerinin 1'e yaklaşması, alternatifin Pozitif İdeal Çözüm kümesine daha yakın olduğunu gösterir.

1.2.3. Gri İlişkisel Analiz Yöntemi (GRA)

Gri Sistem Teorisi, ilk olarak 1982 yılında Deng Julong tarafından tanıtılmıştır (Deng, 1982: 288-294). Bulanık küme teorisi gibi gri teori de şüpheli ve belirsiz problemleri çözmek için etkili bir matematiksel yöntemdir. Gri sistem teorisi, temel olarak kesikli veri ve eksik bilgi içeren belirsiz problemleri veya durumları kapsar (Chen ve Chen, 2012: 2400). Genellikle mevcut gri ilişkilerin temelinde zayıf, eksik, belirsiz vb. anlamlara gelen bir Gri Sistemi, gri elemanlar ve gri sayılar tanımlayabilir (Deng, 1989: 1).

Gri Sistem ve uygulamalarının amacı, sosyal bilimlerle doğa bilimleri arasındaki boşluğu kapatmaktır. Böylece Gri Sistem teorisinin çeşitli uzmanlık alanları ile kesişen disiplinler arası bir teori olduğu söylenebilir ve 1982'den beri zaman testine dayandığı açıktır (Deng, 1989: 1). Halen tahmin, sistem kontrolü, veri işleme, modelleme ve karar verme gibi alanlarda kullanılmaktadır (Chen ve Chen, 2012: 2400).

Gri sistem teorisinin popüler avantajlarından biri, nispeten az miktarda veri veya faktörlerde büyük değişkenlik kullanarak tatmin edici sonuçlar üretebilmesidir. Verilerin düzenliliğini artırarak bu sonuçları elde eder (Chen ve Chen, 2012: 2400). Gri sistem

teorisi; Gri Tahmin, Gri İlişkisel Analiz (GRA), Gri Karar Verme, Gri Programlama ve Gri Kontrol olmak üzere beş bölümden oluşur (Yıldız ve Tüysüz, 2019: 4).

GRA, verilen bir sistemdeki bir ana faktör ile diğer tüm faktörler arasındaki belirsiz ilişkileri analiz eder (Chen ve Chen, 2012: 2400). GRA, nispeten küçük miktarda veri kullanarak faktörler arasındaki nicel ve nitel ilişkileri değerlendirme kabiliyeti ile klasik istatistiksel yöntemlerden ayrılmaktadır (Yıldız ve Tüysüz, 2019: 4).

GRA yönteminin en büyük avantajı, sonuçların orjinal verilere dayanması, hesapların basit ve anlaşılır olmasıdır (Wu, 2002: 211). Son yıllarda GRA yönteminin kullanıldığı çalışmaların özetine, Tablo 5'te yer verilmiştir.



Tablo 5. GRA Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Yazar	Konu	Ağırlık Belirleme Yöntemi	ÇKKV Yöntemi	Kriter Sayısı	Alternatif Sayısı	Birlikte Kullanılan Yöntem
Renuka vd. (2019)	Güneş Enerjisi Uygulamaları Cam Malzemesi Alternatifleri	Normalize Skorların Ortalaması	GRA	10	12	-
Jiang vd. (2019)	Bulut Tabanlı Geri Dönüşüm Hizmetindeki Kaynak Seçimi	Uzman Görüşü	GRA	8	5	-
Yıldız ve Tüysüz (2019)	Perakende Satış Yeri Seçimi	Tereddütlü AHP ⁽¹⁾	GRA	10	81	Monte Carlo Simülasyonu
Chiu vd. (2018)	Ürün Servis Sistemi	IPA ⁽²⁾ ve AHP	GRA	26	43	Senaryo Analizi
Jadhav ve Tandale (2018)	Biyoyakıt Kullanılan Tek Silindirli Motorlar	Yazar	GRA	7	25	Taguchi Metodu ve ANOVA Testi
Li vd. (2017)	Endüstriyel Atık Su Boşaltma İşlemleri	Uzman	GRA	9	6	WSA ⁽³⁾
Luo vd. (2016)	Jeotermal Su Sistemi Sıcaklık Değişkenleri	AHP	GRA	3	12	Duyarlılık Analizi
Wang (2015)	Akıllı Telefon Özellikleri	CA ⁽⁴⁾	GRA	8	256	Kansei Mühendisliği
Chen vd. (2014)	GYO Getirileri	Eşit	GRA	10	12	Yapay Sinir Ağı
Akay vd. (2013)	Enerji Santralleri Yatırım Alternatifleri	10 Farklı Ağırlık Senaryosu	GRA	17	6	-
Hamzaçebi ve Pekaya (2011)	Hisse Senedi Seçimi	Sezgisel, AHP, LEvSA ⁽⁵⁾	GRA	6	12, 12, 10, 15	-

⁽¹⁾ Tereddütlü AHP (Hesitant AHP)

⁽²⁾ Önem – Performans Analizi (Importance-Performance Analysis, IPA)

⁽³⁾ Ağırlıklı Uygunluk Analizi (Weighted Suitability Analysis, WSA)

⁽⁴⁾ Konjoint Analizi (Conjoint Analysis, CA)

⁽⁵⁾ Örneklem Yoluyla Öğrenme (Learning via Sample, LEvSA)

GRA yönteminin işlem adımları aşağıda gösterilen şekilde özetlenebilir (Wu, 2002: 211-212; Chen, 2005: 797; Chan, 2008: 2900-2901; Lin vd, 2005: 125-126):

Adım 1: Karar matrisi değerleri olan x_{ij} değerlerinin matris gösterimi Eşitlik (1.4)'teki gibi oluşturulur.

Adım 2: Referans seri (j tane referans değeri $x_0 = x_{0(1)}, x_{0(2)}, \dots, x_{0(n)}$) belirlenir.

Adım 3: Veri kümesi normalize edilir. Veriler, üç şekilde ele alınabilir. Diğer bir deyişle en küçük en iyi, en büyük en iyi ve nominal olarak bir değer en iyi olabilir. En büyük değer en iyi olduğu durumda, x_{ij} değeri, x_{ij}^* değerine Eşitlik (1.16) kullanılarak dönüştürülür.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min_j x_{ij}}{\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}} \quad (1.16)$$

Eşitlik (1.16)'daki $\max_j x_{ij}$, j sütunundaki en büyük değerdir ve $\min_j x_{ij}$, j sütunundaki en küçük değerdir. En küçük değer en iyi olduğu durumda, x_{ij} değeri x_{ij}^* değerine Eşitlik (1.17) kullanılarak dönüştürülür.

$$x_{ij}^* = \frac{\max_j x_{ij} - x_{ij}}{\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}} \quad (1.17)$$

Nominal bir değer en iyi olduğu durumda referans değer (x_{0j}) $\max_j x_{ij} \geq x_{0j} \geq \min_j x_{ij}$ aralığında olmak üzere Eşitlik (1.18) ile dönüşüm yapılır.

$$x_{ij}^* = 1 - \frac{|x_{ij} - x_{0j}|}{\max\{\max_j x_{ij} - x_{0j}, x_{0j} - \min_j x_{ij}\}} \quad (1.18)$$

Aynı zamanda referans değer x_{0j} , Eşitlik (1.16), (1.17) veya (1.18) kullanılarak normalize edilmelidir. Örneğin referans değer daha büyük olanın daha iyi olduğu durum için dönüşüm, Eşitlik (1.19)'da gösterilen şekilde uygulanır.

$$x_{0j}^* = \frac{x_{0j} - \min_j x_{ij}}{\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}} \quad (1.19)$$

Böylece normalize edilmiş referans seri x_0 değerleri $x_0^* = (x_{01}^*, x_{02}^*, \dots, x_{0n}^*)$ olarak elde edilir. Orijinal veriler, üç veri türünden biri ile dönüşümü yapıldıktan sonra Eşitlik (1.20)'deki gibi matris şeklinde gösterilebilir.

$$X_{ij}^* = [x_{ij}^*]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11}^* & \cdots & x_{1n}^* \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}^* & \cdots & x_{nn}^* \end{bmatrix} \quad (1.20)$$

Adım 4: Normalize edilmiş referans seri değerlerinden (Δ_{oij}) uzaklıklar hesaplanır. Mutlak değer olarak x_{0j}^* ve x_{ij}^* arasındaki farklar için Eşitlik (1.21) kullanılır.

$$\Delta_{0ij} = |\Delta_{0j}^* - x_{ij}^*| = \begin{bmatrix} \Delta_{011} & \cdots & \Delta_{01n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{0m1} & \cdots & \Delta_{0mn} \end{bmatrix} \quad (1.21)$$

Adım 5: Gri ilişki katsayısı γ_{0ij} kullanılarak Eşitlik (1.22)'de gösterilen gri ilişki eşitliği uygulanır.

$$\gamma_{0ij} = \frac{\Delta_{min} + \xi \Delta_{max}}{\Delta_{0ij} + \xi \Delta_{max}} \quad (1.22)$$

Eşitlik (1.22)'de gösterilen $\Delta_{max} = \max_i \max_j \Delta_{0ij}$, $\Delta_{min} = \min_i \min_j \Delta_{0ij}$ ve ξ ise $[0,1]$ aralığındadır. ξ , eşitlikteki karşılıklı ayarını belirtir ve $[0,1]$ aralığındaki dağılım katsayısı olarak da bilinir. Gri sistemler için ξ değeri, genelde 0,5 olarak belirlenir.

Adım 6: Gri katsayı derecesi (Γ_{0i}) hesaplanır. Kriter ağırlıkları (w_i) belirlenmişse gri katsayı derecesi, Eşitlik (1.23)'te gösterilen şekilde hesaplanır.

$$\Gamma_{0i} = \sum_{j=1}^n [w_j * \gamma_{0ij}] \quad (1.23)$$

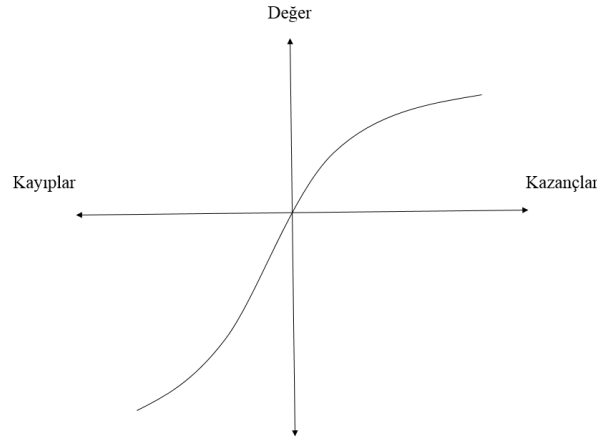
Karar verme sürecinde daha yüksek Γ_{0i} değerine sahip olan alternatif, daha önemli bir alternatiftir. Bu yüzden Γ_{0i} değerine göre alternatifler sıralanır.

1.2.4. Etkileşimli ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi (TODIM)

Etkileşimli ve Çok Kriterli Karar Verme yöntemi (TOMada de Decisao Interativa Multicriterio, TODIM), Gomes ve Lima tarafından 1991 ve 1992 yıllarında önerilen ve Beklenti teorisine dayanan bir ÇKKV yöntemidir (Llamazares, 2018: 1041). Beklenti teorisi, iki İsrailli psikolog olan Daniel Kahneman ve Amos Tversky'nin ortak araştırma çalışmalarından ortaya çıkmıştır ve ilk olarak 1979'da yayınlanmıştır. Araştırmanın amacı, karar verme sürecinde ve riskli durumdaki insan davranışını değerlendirmektir. Kahneman ve Tversky, kazançlar içeren durumlarda, insanların riskle ilgili olarak daha muhafazakâr olma eğiliminde olduğunu, başka bir deyişle, insanların risk almak yerine daha güvenli bir şekilde daha küçük bir kazancı seçmeyi tercih ettiklerini gözlemlemiştir. Öte yandan, kayıp içeren durumlarda, insanların risk almaya daha yatkın oldukları, yani daha küçük bir riski güvenli olmasına rağmen kabul etmekten ziyade daha büyük kayıp riskini (eğer hiçbir şey kaybetme olasılığı yoksa) taşımayı tercih ettikleri görülmektedir (Rangel vd., 2011: 237).

Pratikte tüm diğer çok kriterli yöntemler, karar vericinin daima bir global değer ölçüsünün maksimumuna tekabül eden bir çözüm aradığı fikrinden yola çıkarken TODIM yöntemi, Beklenti Teorisi paradigması uygulanarak hesaplanabilen global bir değer ölçümünden faydalanmaktadır. Her ne kadar çok kriterli tüm problemler risk ile uğraşmasa da, TODIM yönteminin değer fonksiyonunun şekli, Beklenti teorisi (Kazanç/Kayıp) fonksiyonunun şekli ile aynıdır (Gomes ve Rangel, 2009: 205). Alternatiflerin ikili olarak karşılaştırılmasına dayanan TODIM yöntemi, her kriter için Kahneman ve Tversky'nin ileriye dönük teori çerçevesinde getirdiği değer fonksiyonunu kullanarak bir alternatifin diğerine üstünlüğünü hesaplar. Şekil 1'de gösterilen S şeklindeki bir büyüme eğrisi gösteren bu değer işlevi, karar vericinin davranışının kazançlar ve kayıplara göre yansımaları sağlar. Her bir alternatifin genel performansı, global çok özellikli değer işlevi özelliği taşıyan bir toplamsal fonksiyon kullanılarak belirlenir (Llamazares, 2018: 1041).

TODIM, yatırımcıların davranış beklentilerini dikkate alan bir çözüm önerisi sunmaktadır (Alali ve Tolga, 2019: 341). Bu nedenle TODIM yöntemi; özgün, doğrusal olmayan olasılık teorisi üzerine kurgulandığı için benzer yöntemlerden farklılaşmaktadır (Gomes ve Gonzales, 2012: 3-4).



Şekil 1. Beklenti Teorisinin Değer Fonksiyonu (Rangel vd., 2011: 237)

TODIM yöntemi, niteliksel ve niceliksel kriterler için kullanılabilir. Nitel kriterlerin sözel ölçekleri, kardinal olanlara dönüştürülür ve her iki ölçek türü de normalleştirilir (Gomes ve Rangel, 2009: 205-206). TODIM yöntemi; alternatiflerin global değer fonksiyonu aracılığıyla Amerikan okulunun özelliklerini ve alternatiflerin ikili karşılaştırmasını yaparak Fransız okulunun formülasyon özelliklerini taşır (Rangel

vd., 2011: 236). Literatürde son yıllarda TODIM yöntemi kullanan ÇKKV çalışmalarına, Tablo 6’da yer verilmiştir.

Tablo 6. TODIM Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Yazar	Konu	Ağırlık Belirleme Yöntemi	ÇKKV Yöntemi	Kriter Sayısı	Alternatif Sayısı	Birlikte Kullanılan Yöntem
Alali ve Tolga (2019)	Portföy Seçimi	Eşit	TODIM	9	462	Sharpe Oranı ve Minimum Varyans
Aytaç Adalı (2016)	Personel Seçimi	AHP	TODIM ve EVAMIX ⁽¹⁾	6	5	-
Soni vd. (2016)	Farklı Endüstrilerin Emisyon Miktarları	Uzman Görüşü	TODIM	7	3	-
Leoneti (2016)	Seyahat Yeri Seçimi	ROC	TODIM, SAW, TOPSIS, ELECTRE III, PROMETHEE	8	5	Spearman Korelasyon Katsayısı
Gomes vd. (2009)	Doğalgaz Rezervi Yatırım Alternatifleri	Uzman Görüşü	TODIM	8	8	-
Gomes ve Rangel (2009)	Kiralık Ev Seçimi	Uzman Görüşü	TODIM	8	15	Duyarlılık Analizi

⁽¹⁾ Karışık Veri Değerlendirmesi (Evaluation of Mixed Data, EVAMIX)

TODIM yönteminde karar verme problemi ele alınırken uygulanan işlem adımları şöyledir (Gomes vd., 2009: 94-95; Gomes ve Rangel, 2009: 206-207; Zindani vd., 2017: 347-348):

Adım 1: Eşitlik (1.4)’te gösterildiği gibi karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Her fayda kriteri için alternatif değerleri, Eşitlik (1.24)’te ve her maliyet kriteri için de Eşitlik (1.25)’te gösterildiği gibi normalize edilir. Bu normalizasyon, her kriter için gerçekleştirilir böylece tüm değerlerin sıfır ile bir arasında olduğu bir matris elde edilir. Eşitlik (1.24) ve (1.25)’te gösterilen ve karar matrisi elemanları ile hesaplanan d_{ij} , j kriteri için i . alternatife normalize edilmiş değeridir.

$$d_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.24)$$

$$d_{ij} = \frac{1/x_{ij}}{\sum_{i=1}^m 1/x_{ij}} \quad ; \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.25)$$

Adım 3: Karar vericiler tarafından referans kriter belirlenir. Genellikle en yüksek ağırlığa sahip olan kriter, referans kriter olarak seçilir. Her kriterin ağırlığı, karar vericiler tarafından sayısal bir ölçekte (örneğin 1'den 5'e kadar) belirlenir ve ardından normalize edilir. Bu nedenle; Eşitlik (1.26)'da da gösterildiği gibi w_{rc} , kriter c 'nin ağırlığının (w_c), referans kriterin ağırlığına (w_r) ağırlığına bölünmesiyle elde edilen ağırlıktır. w_{rc} 'nin kullanılması, performans ölçümleri arasındaki tüm farklı çiftlerin aynı boyuta, yani referans kriterine göre çevrilmesine izin verir.

$$w_{rc} = \frac{w_c}{w_r} \quad c = 1, 2, \dots, n \quad (1.26)$$

Adım 4: Kısmi baskınlık matrisi ve nihai baskınlık matrisi hesaplanır. Beklenti teorisi kapsamında her bir alternatif için diğer alternatifler üzerindeki nihai baskınlık ölçümü, Eşitlik (1.27)'ye göre belirlenir. Bu ölçüm, kısmi kazanç ve kayıpların toplamına göre belirlenir. Eşitlik (1.28) değer fonksiyonunun kazanç kısmını, Eşitlik (1.30) ise kayıp kısmını tanımlamaktadır. Eşitlik (1.29), ne kazanç ne de kayıp olduğu durumlarda uygulanır. Her bir alternatifin (A_i) diğer alternatifler (A_j) üzerindeki beklenti teorisine göre nihai baskınlık ölçümünün matematiksel açılımı, Eşitlik (1.27)'de verilmiştir (Gomes ve Rangel, 2009: 206).

$$\delta(A_i, A_j) = \sum_{c=1}^n \Phi_c(A_i, A_j) \quad \forall (i, j), i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, m \quad (1.27)$$

$$\Phi_c(A_i, A_j) = \begin{cases} \sqrt{\frac{w_{rc}(P_{ic} - P_{jc})}{\sum_{c=1}^n w_{rc}}} & \text{Eğer } (P_{ic} - P_{jc}) > 0 \end{cases} \quad (1.28)$$

$$0 \quad \text{Eğer } (P_{ic} - P_{jc}) = 0 \quad (1.29)$$

$$\frac{-1}{\theta} \sqrt{\frac{(\sum_{c=1}^n w_{rc})(P_{ic} - P_{jc})}{w_{rc}}} \quad \text{Eğer } (P_{ic} - P_{jc}) < 0 \quad (1.30)$$

Farklı kısmi baskınlık matrisleri hesaplandıktan sonra, her kriter için bir tane olmak üzere nihai baskınlık matrisi farklı matrislerin elemanlarının toplamı yoluyla elde edilir.

Adım 5: Eşitlik (1.31), karşılıklı baskınlık ölçümlerinin normalleştirilmesi yoluyla alternatiflerin genel sıralama değerini belirlemek için kullanılır. Her alternatifin sırası, kendi sıralama değerinden kaynaklanır.

$$\xi_i = \frac{\sum_{j=1}^m \delta(A_i, A_j) - \min \sum_{j=1}^m \delta(A_i, A_j)}{\max \sum_{j=1}^m \delta(A_i, A_j) - \min \sum_{j=1}^m \delta(A_i, A_j)} \quad (1.31)$$

Eşitlik (1.31) ile hesaplanan global önemler, tüm alternatiflerin tam olarak sıralanmasını sağlar. Karar vericilerin tercihlerine göre sonuçların istikrarını doğrulamak için bir duyarlılık analizi uygulanmalıdır. Bu nedenle duyarlılık analizi; referans kriter seçimi, kriter ağırlıkları ve performans değerlendirmeleri üzerinde yapılmalıdır.

1.1.5. Karmaşık Nisbi Değerlendirme Yöntemi (COPRAS)

Zavadskas ve Kaklauskas (1996), farklı hedefleri koordine etme ve önceliklerini belirleme olanağı sunan Karmaşık Nisbi Değerlendirme (COMplex PROportional ASsessment, COPRAS) yöntemini tanıtmışlardır. Bu yöntem, bir alternatifin diğerine üstünlüğünü değerlendirerek alternatifleri karşılaştırmayı mümkün kılar (Zavadskas vd., 2009: 323). Metodolojinin başarısı, temel olarak sadeliğinden ve kullanım kolaylığından kaynaklanmaktadır (Rao, 2013: 24).

Tercih sıralaması yöntemi olan COPRAS yöntemi, çoğunlukla karşılıklı olarak birbiriyle çelişen kriterler varlığında mevcut alternatiflerin öncelik ve fayda derecesinin doğrudan ve orantılı bağımlılığını varsaymaktadır. Alternatiflerin, farklı kriterler ve bunlara karşılık gelen kriter ağırlıkları bakımından performansını dikkate almaktadır. Karar yaklaşımı; kriter, ağırlık ve performans değerleri ile sistemde alternatiflerin öneminin ve fayda derecesinin doğrudan ve orantılı bağımlılığının değerlendirilmesine izin verir. Yöntem, basit bir şekilde en iyi ve en kötü çözüme oransal olarak bir çözüm belirler. Fayda derecesi, analiz edilen alternatiflerin en iyisiyle karşılaştırılmasıyla belirlenir. Fayda derecesi, en kötü ve en iyi alternatifler arasında % 0 ile % 100 arasındadır (Gadakh, 2014: 25). Son yıllarda literatürde karşılaşılan ve COPRAS yöntemini kullanan çalışmalara Tablo 7’de yer verilmiştir.

Tablo 7. COPRAS Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Yazar	Konu	Ağırlık Belirleme Yöntemi	ÇKKV Yöntemi	Kriter Sayısı	Alternatif Sayısı	Birlikte Kullanılan Yöntem
Albahash ve Ansari (2019)	Araç Arkası Koruma Tasarımları	Eşit	COPRAS	3	5	-
Khatibi vd. (2019)	Kuraklığa Esneklik Açısından Yerleşim Yeri Alternatifleri	Entropi	COPRAS	23	5	Kartopu Örnekleme
Zolfani vd. (2018)	Otel İnşaat Projeleri	SWARA ⁽¹⁾	COPRAS	13	5	-
Mousavi-Nasab ve Sotoudeh-Anvari (2018)	Sürdürülebilir Materyal Seçimi ve Sıralama Değişim Problemi	Literatür	COPRAS, TOPSIS, SAW ve VIKOR	4	8	Spearman Korelasyon Katsayısı
Gomathisankar vd. (2018)	Alüminyum Alaşımları Parametre Değerleri	Entropi	COPRAS	2	9	Varyans Analizi
Arslan ve Bircan (2018)	Makro Ekonomik Göstergelerle OECD Ülkelerinin Sıralanması	Eşit	ARAS, MOORA, COPRAS, TOPSIS, GRA, VIKOR, MOORA II	5	23	Spearman Korelasyon Katsayısı
Polat vd. (2017)	İnşaat Projeleri Mekanik Tasarım Takımı Seçilmesi	AHP	COPRAS	12	6	-
Yazdani vd. (2017)	Yeşil Tedarikçi Seçimi	DEMATEL	COPRAS ve MOORA	8	10	Kalite Fonksiyon Göçerimi
Aytaç Adalı ve Tuş Işık (2016)	Klima Seçimi	AHP	COPRAS ve ARAS	8	6	-
Sarıçalı ve Kundakcı (2016)	Otel Seçimi	AHP	COPRAS	7	15	-
Nuuter vd. (2015)	Konut Piyasası Sürdürülebilirliği	Uzman Görüşü	COPRAS	6	8	-
Gadakh (2014)	Tedarik Zincirinde Etkin Bayi Seçimi	AHP	COPRAS	5, 8	18, 11	-
Chatterjee vd. (2011)	Materyal Seçimi	DLM ⁽²⁾ ve M-DLM ⁽³⁾	COPRAS ve EVAMIX	7, 4	7, 6	Spearman Korelasyon Katsayısı
Kaklauskas vd. (2006)	Pencere Seçimi	Uzman Görüşü	COPRAS	14	5	-

⁽¹⁾ Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (A Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis, SWARA)

⁽²⁾ Dijital Mantık Yöntemi (Digital Logic Method, DLM)

⁽³⁾ Değiştirilmiş Dijital Mantık Yöntemi (Modified Digital Logic Method, M-DLM)

COPRAS yönteminin değerlendirme sürecinin işlem adımları şöyledir (Banaitiene vd., 2008: 433):

Adım 1: Karar matrisi, Eşitlik (1.4)'e göre oluşturulur.

Adım 2: Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi hesaplanır. Ağırlıklı normalize değerler, Eşitlik (1.32)'de gösterilen şekilde karar matrisinden elde edilir. Karar matrisi elemanları ve kriter ağırlıkları kullanılarak hesaplanan ve Eşitlik (1.32)'de gösterilen d_{ij} , j kriteri için i . alternatifin normalize edilmiş ve ağırlıklandırılmış değeridir.

$$d_{ij} = \frac{x_{ij} \cdot w_j}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.32)$$

Adım 3: Maksimize (S_{+i}) ve minimize (S_{-i}) edilecek indeksler toplamı, Eşitlik (1.33)'te gösterilen şekilde hesaplanır.

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^n d_{+ij}, \quad S_{-i} = \sum_{j=1}^n d_{-ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.33)$$

Adım 4: Alternatiflerin pozitif ve negatif değerlerine bağlı olarak önemleri belirlenir. Göreceli önem seviyesi (Q_i), her alternatif için Eşitlik (1.34) ile gösterilen şekilde hesaplanır.

$$Q_i = S_{+i} + \frac{S_{-min} \cdot \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{S_{-min}}{S_{-i}}}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.34)$$

Eşitlik (1.34)'te gösterilen S_{-min} değeri, S_{-i} değerlerinin minimumudur.

Adım 5: Alternatiflere ait öncelikler belirlenir. Yüksek değere sahip Q_i değeri, sıralamada daha yüksekte olur. Göreceli Q_i önem düzeyi, karar vericinin ihtiyaçlarını karşılayan memnuniyet derecesini gösterir. Memnuniyet seviyesinin en yüksek olduğu derece, Q_{max} düzeyidir. Diğer alternatiflerin göreceli önem seviyeleri daha düşük olur ve karar vericinin ihtiyaçlarını, en iyi alternatife göre daha az karşılar.

Adım 6: Her alternatife ait fayda dereceleri hesaplanır. Alternatiflerin fayda derecesi, en iyi alternatifle karşılaştırılarak belirlenir. Fayda derecesi, % 0 ve % 100 arasında en kötü ve en iyi alternatifler için değer alır. Fayda derecesi her alternatif için Eşitlik (1.35)'te gösterilen şekilde hesaplanır.

$$N_i = (Q_i : Q_{max}) \cdot 100\% \quad (1.35)$$

Eşitlik (1.35)'te gösterilen Q_i ve Q_{max} , Eşitlik (1.34) ile hesaplanan alternatiflerin önem seviyeleridir.

1.1.6. Çok Kriterli Uzlaşık Sıralama Yöntemi (VIKOR)

Opricovic ve Tzeng (2004) tarafından önerilen Çok Kriterli Uzlaşık Sıralama Yöntemi (VIšekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje, VIKOR), karar değişkenlerinin belirlenerek çelişkili değerlendirme kriterlerini içeren uzlaşık bir çözümün seçilmesine izin verir (Mateusz vd., 2018: 1686).

VIKOR yöntemi, çoğunluk için maksimum grup faydası ve karşı taraf için minimum bireysel pişmanlık sağlar. İdeal çözüme belirli bir yakınlık ölçüsünü temel alan çoklu ölçüt, sıralama endeksini kullanarak uzlaşık sıralama listesini ve uzlaşık çözümü belirler. Bu sıralama indeksi; tüm kriterlerin toplamı, kriterlerin göreceli önemi ve toplam ve bireysel memnuniyet düzeyi arasındaki dengedir (Liu vd., 2013: 6328).

Uzlaşık sıralama için çok kriterli ölçümü, Uzlaşık Programlamada birleştirme fonksiyonu olarak kullanılan L_p -metrikten geliştirilmiştir. VIKOR yönteminin geliştirildiği L_p -metrik Eşitlik (1.36)'da gösterilmiştir (Opricovic ve Tzeng, 2004: 447). Eşitlik (1.36)'da gösterilen $L_{p,i}$, i . alternatifin j kriteri için p boyutlu uzayda orjinden uzaklığını göstermektedir. Karar matrisi elemanları x_{ij} , j kriteri için maksimum değer x_j^* ve j kriteri için minimum değer x_j^- ile gösterilmiştir.

$$L_{p,i} = \left\{ \sum_{j=1}^n [w_j (x_j^* - x_{ij}) / (x_j^* - x_j^-)]^p \right\}^{1/p}; \quad 1 \leq p \leq \infty, i = 1, 2, \dots, m \quad (1.36)$$

Son yıllarda literatürde yer alan VIKOR yöntemi çalışmaları, özet olarak Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. VIKOR Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Yazar	Konu	Ağırlık Belirleme Yöntemi	ÇKKV Yöntemi	Kriter Sayısı	Alternatif Sayısı	Birlikte Kullanılan Yöntem
Wang vd. (2019)	Tarımsal Atıklar İçin Sürdürülebilir Enerji Dönüşüm Teknolojileri	Bulanık AHP	VIKOR	15	7	Duyarlılık Analizi
Abdel-Baset vd. (2019)	Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimi	ANP ve Entropi	VIKOR	9	5	Genetik Algoritma
Mateusz vd. (2018)	AB Ülkelerinin Sürdürülebilir Gelişiminin Sınıflandırılması	Eşit	VIKOR ve TOPSIS	17	27	-
Gupta (2018)	Havayolu Servis Kalite Değerlendirmesi	BWM ⁽¹⁾	VIKOR	29	5	-
Kiani vd. (2018)	Beton Yapıların Onarımı İçin Malzeme Seçimi	Standart Sapma Yöntemi, Korelasyon Yöntemi ve M-DLM	VIKOR	7	5	-
Shojaei vd. (2018)	Havaalanı Servis Kalitesi Sıralaması	BWM	VIKOR	6	21	Taguchi Kayıp Fonksiyonu
Lee ve Chang (2018)	Yenilebilir Enerji Kaynakları Sıralaması	Entropi	TOPSIS, WSM, VIKOR, ELECTRE	10	5	-
Sharma vd. (2017)	Güneş Enerjisi Sistemi Hava Akımı Parametre Seçimi	Entropi	VIKOR	3	16	-
Xu vd. (2017)	Elektrikli Araçların Servis Performansının Değerlendirilmesi	G1 ⁽²⁾ ve Entropi	VIKOR	22	3	Duyarlılık Analizi
Rezaie vd. (2014)	Çimento Fabrikaları Finansal Performans Sıralaması	Bulanık AHP	VIKOR	13	21	-
Kang ve Park (2014)	Mobil Uygulamaların Müşteri Memnuniyeti Sıralaması	Uzman Görüşü	VIKOR	9	8	Duyarlılık Analizi
Liu vd. (2013)	Mühendislik Alanında Malzeme Seçimi	IOWA	VIKOR ve TOPSIS	4	5	-
San Cristobal (2011)	Yenilebilir Enerji Projesi Seçimi	AHP	VIKOR	7	13	-

⁽¹⁾ En İyi-En Kötü Yöntemi (Best-Worst Method, BWM)⁽²⁾ Sipariş İlişkisi Analiz Yöntemi (Order Relation Analysis Method, G1)

Uzlaşık sıralama algoritması olarak da ifade edilen VIKOR yöntemi için işlem adımları şöyledir (Opricovic ve Tzeng, 2004: 447-448):

Adım 1: Alternatiflerin kriter özelliklerini gösteren karar matrisi, Eşitlik (1.4)'teki gibi oluşturulur.

Adım 2: Bütün kriter değerleri için karar matrisindeki en iyi f_i^* ve en kötü f_i^- değerler belirlenir. Eğer i , fayda kriteri ise Eşitlik (1.37); maliyet kriteri ise Eşitlik (1.38) uygulanır.

$$f_i^* = \max_j f_{ij}, \quad f_i^- = \min_j f_{ij} \quad (1.37)$$

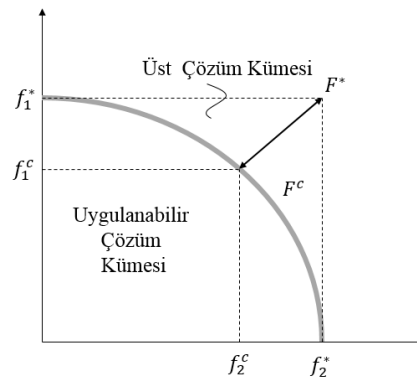
$$f_i^* = \min_j f_{ij}, \quad f_i^- = \max_j f_{ij} \quad (1.38)$$

Adım 3: Eşitlik (1.39)'a göre S_j ve Eşitlik (1.40)'a göre R_j değerleri hesaplanır.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (1.39)$$

$$R_j = \max_i [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)] \quad (1.40)$$

Karar probleminde iki kriter olduğu durum varsayılırsa, VIKOR yöntemi ile hedeflenen çözüm noktasının grafiği, Şekil 2'de gösterilmiştir (Opricovic ve Tzeng, 2004: 447).



Şekil 2. İdeal ve Uzlaşık Çözümler

VIKOR yöntemi Şekil 2'de de gösterildiği gibi ideal çözümler arasında maksimum kriter faydasını sağlayacak çözümü bulmayı hedeflemektedir.

Adım 4: Her alternatif için Eşitlik (1.41)'de gösterilen şekilde Q_j değerleri hesaplanır.

$$Q_j = \frac{v(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(1-v)(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (1.41)$$

Eşitlik (1.41)'de gösterilen $S^* = \min_j S_j$, $S^- = \max_j S_j$, $R^* = \min_j R_j$ ve $R^- = \max_j R_j$ değerleridir ve v değeri ile “kriterler çoğunluğu” (veya “maksimum grup faydası”) stratejisinin ağırlığı sunulur. Literatürde v değeri, genellikle 0,5 olarak alınmaktadır.

Adım 5: Alternatifler; S , R ve Q değerlerine göre azalan şekilde sıralanır. Sonuçlar ile üç sıralama listesi elde edilir.

Adım 6: C1 ve C2 koşullarının yerine getirilmesi durumunda en iyi Q (minimum) ölçümüne sahip olan alternatif (a') uzlaşık çözüm olarak önerilir.

C1. “Kabul edilebilir avantaj”;

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ \quad (1.42)$$

Alternatif a'' , Q sıralama listesinde ikinci sıradadır; i alternatif sayısı olmak üzere $DQ = 1/(i - 1)$ 'dir.

C2. “Karar vermede kabul edilebilir istikrar”; alternatif a' , S ve/veya R sıralamalarında en iyi alternatif olmalıdır. “Çoğunluk kuralı ile oylama” ($v > 0,5$), “Oybirliği” ($v \approx 0,5$) veya “Veto” ($v < 0,5$) uzlaşık çözüm karar verme sürecinde istikrar sağlar. Karar verme stratejisinin ağırlığı “kriterler çoğunluğu” (veya “maksimum grup faydası”) v değeridir.

Eğer bir koşul sağlanmazsa uzlaşık çözüm kümesi önerilir. Uzlaşık çözüm kümesi;

- Alternatif a' ve a'' sadece C2 koşulunu sağlamıyorsa veya,
- Alternatif a' , a'' , ..., $a^{(M)}$ sadece C1 koşulunu sağlamıyorsa, $a^{(M)}$ alternatifi maksimum M için $Q(a^{(M)}) - Q(a') < DQ$ ilişkisine göre belirlenir (bu alternatiflerin sıralamaları en yakın olandır.).

Q sıralamasına göre en iyi alternatif, minimum Q değerine sahip olandır. Başlıca sıralama sonuçları alternatiflerin uzlaşık sıralama listesidir ve “avantaj oranı” ile uzlaşık çözümdür.

1.1.7. Oran Analizini Temel Alan Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemi (MOORA)

İlk olarak Brauers (2004) tarafından tanıtılan ve Brauers ve Zavadskas (2006) tarafından geliştirilen Oran Analizini Temel Alan Çok Amaçlı Optimizasyon (Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis, MOORA) yöntemi, üretim ortamındaki çeşitli karmaşık karar verme problemlerini çözmek için başarıyla uygulanabilecek çok amaçlı bir optimizasyon yöntemidir (Chakraborty, 2011: 1156). MOORA yöntemi, kısıtlamalar altındaki iki veya daha fazla çakışan kriteri veya referans değeri aynı anda optimize etmeyi amaçlar (Kabak vd., 2018: 52).

MOORA yöntemi yalnızca basit oran analizine ve boyutsuz ölçüme (Teraiya vd., 2018: 17225) dayandığından, matematikte güçlü bir geçmişi olmayan karar vericilere oldukça yararlıdır ve en az miktarda matematiksel hesaplama içerir. Yine, minimum hesaplama gereklilikleri nedeniyle, MOORA yönteminin hesaplama süresi açıkça daha az olacaktır. Bu yöntemin bir diğer önemli avantajı, hesaplama işlem sürecinin, diğer ÇKKV yöntemlerinde olduğu gibi herhangi bir ekstra parametrenin kullanılmasından etkilenmemesidir. Bu nedenle MOORA yöntemi, çeşitli karar verme problemi sıralamaları için oldukça istikrarlıdır (Chakraborty, 2011: 1164).

MOORA yöntemi; Oran Analizi yaklaşımı (MOORA - I), Referans Noktası yaklaşımı (MOORA – II) ve Tam Çarpımsal yaklaşım (MOORA – III) olmak üzere üç farklı şekilde önerilmiştir. Literatürde son yıllarda MOORA yöntemi kullanılan çalışmaların özetine Tablo 9’da yer verilmiştir.

Tablo 9. MOORA Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Yazar	Konu	Ağırlık Belirleme Yöntemi	ÇKKV Yöntemi	Kriter Sayısı	Alternatif Sayısı	Birlikte Kullanılan Yöntem
Erdoğan vd. (2019)	Biodizel Yakıt Seçimi	ANP ve SWARA	MOORA (I, II ve III) ve MULTIMOORA ⁽¹⁾	10	9	Duyarlılık Analizi
Chaudhari vd. (2018)	Kaynak İşlemi Parametreleri Seçimi	AHP	MOORA (I) ve ARAS	6	9	-
Kabak vd. (2018)	Bisiklet Paylaşım İstasyonu Yer Seçimi	AHP	MOORA (I, II ve III)	12	19	Coğrafi Bilgi Sistemleri
Moradian vd. (2018)	Taşıt Fren Sistemi İçin Malzeme Seçimi	Entropi ve AHP	MOORA (I), TOPSIS ve VIKOR	4	16	Spearman Korelasyon Yöntemi
Teraiya vd. (2018)	Motor İçi Malzeme Seçimi	Entropi ve AHP	MOORA, COPRAS, TOPSIS ve VIKOR	10	9	-
Mittal vd. (2017)	Üretim Sistemleri Strateji Seçimi	Entropi	MOORA (I) ve VIKOR	6	10	-
Zeeshan vd. (2017)	Isı Transfer Aleti Seçimi	Eşit	MOORA (I)	16	18	-
Dey vd. (2017)	Depo Yeri Seçimi	AHP	MOORA, SAW, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE II, COPRAS ve PROMETHEE	12	4	ANOVA Testi ve Duyarlılık Analizi
Varmazyar vd. (2016)	Araştırma Merkezlerinin Performans Sıralaması	ANP ve DEMATEL	MOORA (I), ARAS, COPRAS ve TOPSIS	17	12	BSC ⁽²⁾
Dey vd. (2016)	Yeşil Tedarikçi Seçimi	AHP	MOORA (I), TOPSIS, SAW, MOPA ⁽³⁾ , ELECTRE ve VIKOR	9	3	ANOVA Testi ve Duyarlılık Analizi
Patel ve Maniya (2015)	Çelik Tel Kesme İşlemi Parametreleri Seçimi	AHP	MOORA (I)	9	27	-
Pamucar ve Cirovic (2015)	Lojistik Merkez İçin Araç Seçimi	DEMATEL	MOORA (I), MABAC ⁽⁴⁾ , SAW, COPRAS, TOPSIS ve VIKOR	10	7	Duyarlılık Analizi
Zavadskas vd. (2013)	Bina Dış Görünüm Seçimi	Entropi	MOORA (I, II, III) ve WASPAS,	12	4	-

Karande ve Chakraborty (2012)	Kinetik Enerji Depolama Cihazı Seçimi	Yazar	MOORA (I, II ve III)	4	10	Spearman Korelasyon Katsayısı
-------------------------------	---------------------------------------	-------	----------------------	---	----	-------------------------------

(¹) Oran Analizini Temel Alan Çok Amaçlı Optimizasyon ve Tam Çarpımsal Form (Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis Plus the Full Multiplicative Form, MULTIMOORA)

(²) Dengelenmiş Skor Kart Yöntemi (Balanced ScoreCard, BSC)

(³) Çok Amaçlı Performans Analizi (Multi Objective Performance Analysis, MOPA)

(⁴) Çok Nitelikli Sınır Yakınlık Alanı Karşılaştırması (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison, MABAC)

1.1.7.1. Oran Analizi Yaklaşımı (MOORA – I)

Aritmetik ağırlıklı toplama operatörünü kullanan Oran Sistemi, tam olarak dengeleyici bir yöntemdir. Bu, alternatifin küçük normalleştirilmiş değerlerinin aynı derecede büyük değerlerde tamamen karşılanacağı anlamına gelir. Başka bir deyişle, bazı kriterlere göre düşük ve kalan kriterlere göre iyi bir performans gösteren bir alternatif, tüm kriterlere göre orta derecede performans gösteren bir alternatif ile ikame edilebilir (Hafezalkotob vd., 2019: 147).

MOORA yöntemleri içerisinde oran analizi yaklaşımına sahip MOORA – I yönteminin karar verme problemlerine uygulama sürecinin işlem adımları şöyledir (Brauers ve Zavadskas, 2006: 447; Zavadskas vd., 2013: 109):

Adım 1: MOORA – I yöntemi, Eşitlik (1.4)'te gösterilen karar matrisinin oluşturulması ile karar verme sürecine başlar.

Adım 2: Normalize karar matrisi oluşturulur. Karar matrisi, Eşitlik (1.43)'e göre normalize edilir.

$$n^{x_{ij}} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (1.43)$$

Boyutsuz sayı olarak $n^{x_{ij}}$ değerleri, her alternatifin her kriter açısından normalize edilmiş özellikleridir. Alternatiflerin kriterlerine ait bu normalize edilmiş özellikler, [0,1] aralığındadır.

Adım 3: Optimizasyon için normalize edilen değerler, maksimizasyon durumunda eklenir ve minimizasyon durumunda çıkarılır ve bu işlem, Eşitlik (1.44)'te gösterilmiştir.

$$n^{y_i} = \sum_{j=1}^{j=g} n^{x_{ij}} w_j - \sum_{j=g+1}^{j=n} n^{x_{ij}} w_j \quad (1.44)$$

Kriterler için $j=1, 2, \dots, g$ maksimize edilecek ve $j=g+1, g+2, \dots, n$ minimize edilecek kriterleri simgeler. Bütün kriterlere göre her alternatifin normalize edilmiş değerlendirmesi n^{yi} ile gösterilir. Bu formülde doğrusallık, ölçü biriminden bağımsız olan $[0,1]$ aralığındaki değerlerle ilgilidir.

Adım 4: Nihai tercih sıralaması n^{yi} değerlerinin büyüklük sıralamasından elde edilir. En büyük değere sahip alternatif, en çok tercih edilmesi gereken alternatiftir.

1.1.7.2. Referans Noktası Yaklaşımı (MOORA – II)

Referans noktası yaklaşımında en iyi alternatif, tüm kriterler açısından en kötü değerinin çok da kötü olmamasıdır. Bu yaklaşım, dengeleyici olmayan bir yöntem olarak, ilk önce her bir kritere göre en kötü performansı gösteren alternatif puanları bulur ve en sonunda bu en kötü puanlardan en iyi toplam değeri (yani minimum değeri) seçer. Referans noktası yaklaşımı, Tchebycheff (Min-Max) uzaklığına dayanmaktadır. Tchebycheff uzaklığı, Hedef Programlama gibi literatürdeki çeşitli karar analizi yaklaşımlarının kaynağı olan Minkowski uzaklığının genel teorisinden kaynaklanmaktadır (Hafezalkotob vd., 2019: 148).

Referans noktası yaklaşımına sahip MOORA – II yönteminin uygulama işlem adımları şöyledir (Brauers ve Zavadskas, 2006: 447-448):

Adım 1: Eşitlik (1.4)'te gösterilen karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Karar matrisi, Eşitlik (1.43)'e göre normalize edilir.

Adım 3: Maksimizasyon için bütün alternatiflerin her kriteri ile uyumlu en yüksek referans noktası (r_j) seçilir. Minimizasyon için en düşük referans noktası seçilir.

Adım 4: Alternatifler ve referans noktası arasındaki uzaklığı ölçmek için Eşitlik (1.45)'te gösterilen Tchebycheff Min-Max uzaklıkları hesaplanır.

$$n^{yi} = \min_i \left\{ \max_j |r_j - n^{x_{ij}}| \right\} \quad (1.45)$$

Eşitlik (1.45)'te gösterilen r_j değeri, j . kriter için maksimum referans noktasını göstermektedir. Her referans noktası alternatiflerle uyumlu en yüksek değer olarak seçilmiştir. i . alternatifin j . kriter normalize değeri, $n^{x_{ij}}$ ile gösterilmiştir.

Adım 5: Alternatifler, Eşitlik (1.45)'te gösterilen her alternatifin referans kümeden Tchebycheff uzaklıklarına göre büyükten küçüğe sıralanır. Sıralamada en yüksek değere sahip alternatif, ilk tercih edilmesi gereken alternatiftir.

1.1.7.3. Tam Çarpımsal Yaklaşım (MOORA – III)

Geometrik ağırlıklı birleştirme operatörünü kullanan Tam Çarpım Biçimli Form, tamamıyla dengeleyici bir yöntemdir. Bu yöntemde, alternatifin küçük normalleştirilmiş değerleri, aynı derecede büyük değerlerle tamamen karşılanamamıştır. Bu nedenle, orta dereceli performansa sahip bir alternatifin, farklı kriterlere göre hem iyi hem de kötü performans gösteren bir alternatiften daha üstün olabileceği algısına yol açmaktadır. (Hafezalkotob vd., 2019: 148).

Tam çarpımsal yaklaşıma sahip MOORA – III yöntemi işlem adımları şu şekilde özetlenebilir (Brauers ve Zavadskas, 2010: 10):

Adım 1: Eşitlik (1.4)'te verilen karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Alternatiflerin fayda ve maliyet kriterleri için ayrı ayrı A_i ve B_i değerleri hesaplanır. Eşitlik (1.46)'da gösterilen A_i değerleri her alternatif için $j=1, 2, \dots, g$ 'ye kadar olan maksimize edilecek fayda yönlü kriterlerin çarpımını ve Eşitlik (1.47)'de gösterilen B_i değerleri de her alternatif için $k=g+1, g+2, \dots, n$ 'e kadar olan minimize edilecek maliyet yönlü kriterlerin çarpımını göstermektedir.

$$A_i = \prod_{j=1}^g x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, g \quad (1.46)$$

$$B_i = \prod_{k=g+1}^n x_{ik} \quad i = 1, 2, \dots, m; k = g + 1, g + 2, \dots, n \quad (1.47)$$

Adım 3: Alternatiflerin genel fayda düzeyleri hesaplanır. Maksimize ve minimize edilmesi istenen kriterleri içeren problemlerde minimize edilmesi istenen kriterler, Eşitlik (1.48)'de gösterilen şekilde paydada yer alır. Eşitlik (1.48)'de gösterilen U_i , i . alternatifin genel faydasını göstermektedir. Farklı ölçüm birimlerinin çarpımları ile elde edilen genel fayda değerleri, ölçümden bağımsız hale gelir.

$$U_i = \frac{A_i}{B_i} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.48)$$

Eşitlik (1.49)'da ise maliyet yönlü kriterlerin olmaması durumunda çok kriterli problemler için karışık formları ayırt eden tam çarpımsal form gösterilmiştir.

$$U_i = \prod_{j=1}^n x_{ij}^{w_j} \quad (1.49)$$

Bir kriterin önemi, bir alfa terimi eklenerek veya oy birliğiyle veya en azından ilgili tüm paydaşların görüşüne göre güçlü bir yakınsama ile bir üs (önem katsayısı) tahsis edilerek vurgulanabilir.

Adım 4: Alternatifler genel fayda düzeylerine (U_i) göre sıralanır. Genel fayda düzeyi yüksek olan alternatif, tercih sıralamasında öncelikli olarak tercih edilmesi gereken alternatiftir.

1.1.8. Toplamsal Oran Değerlendirme Yöntemi (ARAS)

Toplamsal Oran Değerlendirme (Additive Ratio Assessment, ARAS) yöntemi, ilk olarak Zavadskas ve Turskis (2010) tarafından önerilmiştir. ARAS yöntemi, optimal çözüme en yakın güvenli alternatifi araştıran sezgisel ilkeyi temel alır (Kersulienė ve Turskis, 2014: 897).

ARAS yöntemine göre seçilebilir bir alternatifin karmaşık nispi etkinliğini belirleyen bir fayda fonksiyon değeri, bir problemde dikkate alınan ana kriterlerin değerlerinin ve ağırlıklarının nispi etkisiyle doğrudan orantılıdır (Zavadskas ve Turskis, 2010: 163).

ARAS yöntemi, gerçek hayattaki karmaşık problemlerin basit göreceli karşılaştırmalar kullanılarak çözülebileceği argümanına dayanır. Alternatiflerin karşılaştırılmasıyla elde edilen optimallik derecesini tanımlayan optimal alternatifin normalize edilmiş ve ağırlıklandırılmış kriter değerleri toplamının, alternatiflere ait ağırlıklandırılmış kriter değerlerinin ve normalize edilmiş değerlerinin toplamına oranı olduğu iddia edilmektedir (Medineckienė vd., 2015: 14). Son yıllarda ARAS yönteminin kullanıldığı çalışmalar, özet olarak Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. ARAS Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Yazar	Konu	Ağırlık Belirleme Yöntemi	ÇKKV Yöntemi	Kriter Sayısı	Alternatif Sayısı	Birlikte Kullanılan Yöntem
Fu (2019)	Hizmet Tedarikçisi Seçimi	AHP	ARAS	5	5	Çok Seçenekli Hedef Programlama
Arabameri vd. (2018)	Su Havzaları Önceliklerinin Sıralanması	AHP	ARAS, COPRAS, MOORA	17	42	Kendal Tau ve Spearman Korelasyon Katsayıları ve Cp ⁽¹⁾
Singaravel vd. (2018)	Çelik İşleme Makinesi Parametre Seçimi	Eşit	ARAS	3	18	-
Arslan vd. (2018)	Geri Dönüşüm Tesisi Yer Seçimi	-	ARAS ve COPRAS	7, 6, 6	15, 11, 3	Kümeleme Analizi
Aytekin ve Erol (2018)	Finansal Göstergelere Göre Şirketlerin Sıralanması	Entropi	ARAS	10	63	-
Singaravel vd. (2018)	Çelik İşleme Makinesi Parametre Seçimi	Eşit	ARAS	3	18	-
Balezenti ve Streimikiene (2017)	İklim Değişikliği Politika Senaryoları	1000 Farklı Ağırlık Senaryosu	WASPAS, ARAS ve TOPSIS	4	10	Monte Carlo Simülasyon
Ercan ve Kundakcı (2017)	Program Seçimi	MACBETH ⁽²⁾	ARAS ve OCRA ⁽³⁾	7	3	-
Ömürbek vd. (2017)	AB Ülkeleri Yaşam Kalitesi Seviyeleri	Entropi	ARAS ve MOOSRA ⁽⁴⁾	8	28	-
Arslan (2017)	Lojistik Amaçlı Araç Seçimi	AHP	ARAS	4	3	-
Medineckiene vd. (2015)	Sürdürülebilir İnşaat İşlemleri Kalkınma Stratejileri	AHP	ARAS	12	6	-
Yıldırım (2015)	Konut Seçimi	Yazar	ARAS	3	5	-
Zavadskas vd. (2015)	Liman Yerleşim Yeri Seçimi	Bulanık AHP	Bulanık ARAS	12	4	-
Kersuliene ve Turskis (2014)	Personel Seçimi	AHP	ARAS	8	3	-

Kutut vd. (2013)	Tarihi Yapıların Yatırım Ve Yenileme Öncelikleri	AHP	ARAS	10	7	-
Zavadskas ve Turskis (2010)	Ofis İçi Hava Şartları Seçimi	Uzman Görüşü	ARAS	6	14	-
Zavadskas vd. (2010)	Vakıf Kuruluş Yeri Seçimi	Uzman Görüşü	ARAS	6	3	-

⁽¹⁾ Uzlaşık Programlama (Compromise Programming, CP)

⁽²⁾ Kategorik Tabanlı Değerlendirme Tekniği ile Çekiciliği Ölçme (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique, MACBETH)

⁽³⁾ Operasyonel Rekabet Gücü (Operational Competitiveness Rating, OCRA)

⁽⁴⁾ Basit Oran Analizini Temel Alan Çok Amaçlı Optimizasyon (Multi-Objective Optimization on the Basis of Simple Ratio Analysis, MOOSRA)

ARAS yönteminin ÇKKV problemlerinin çözümü için işlem adımları şunlardır (Memariani vd., 2009: 14):

Adım 1: Eşitlik (1.4)'te gösterilen karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Her kriter için en iyi değeri gösteren referans seri değerleri (x_{0j}) belirlenir. Herhangi bir j kriteri için en iyi değer bilinmiyorsa fayda kriteri için Eşitlik (1.50) ve maliyet kriteri için (1.51) kullanılır.

$$x_{0j} = \max_i x_{ij} ; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (1.50)$$

$$x_{0j} = \min_i x_{ij} ; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (1.51)$$

Adım 3: Referans değerleri ve karar matrisi elemanları normalize edilir. Eğer normalize edilecek kriter, fayda yönlü ise Eşitlik (1.52); maliyet yönlü ise Eşitlik (1.53) kullanılır.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} ; i = 0, 1, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (1.52)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1/x_{ij}}{\sum_{i=0}^m 1/x_{ij}} ; i = 0, 1, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (1.53)$$

Adım 4: Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi hesaplanır. Sadece sağlam temelli ağırlıklar kullanılmalıdır çünkü ağırlıklar, her zaman özeldir ve çözümü etkiler. Kriter ağırlıkları, genellikle uzman görüşlerine göre belirlenir. Normalize edilmiş ağırlıklı karar matrisi değerleri, tüm kriterler için Eşitlik (1.54)'te gösterilen şekilde hesaplanır.

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij}w_j ; i = 0,1, \dots, m; j = 1,2, \dots, n \quad (1.54)$$

Adım 5: Son olarak optimallik fonksiyonu, Eşitlik (1.55)'te gösterilen şekilde her alternatif için hesaplanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij} ; i = 0,1, \dots, m; j = 1,2, \dots, n \quad (1.55)$$

En büyük değer, en iyi alternatifi ve en küçük değer, en kötü alternatifi gösterir. Hesaplama süreci göz önüne alındığında, optimallik fonksiyonunda incelenen kriterlerin alternatif ve ağırlık değerleri ve nihai sonuç üzerindeki göreceli etkileri arasında doğrudan ve orantılı bir ilişki vardır. Bu nedenle, optimallik fonksiyonunun değeri ne kadar büyükse, alternatif o kadar etkindir. Alternatiflerin öncelikleri, S_i değerine göre belirlenir. Sonuç olarak, bu yöntem ile karar alternatiflerini değerlendirmek ve sıralamak uygundur. Alternatif kullanımının derecesi, analiz edilen ideal olarak en iyi S_0 değişkeniyle karşılaştırılarak belirlenir. Alternatiflerin fayda derecesini hesaplamak için Eşitlik (1.56) kullanılır.

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; i = 1,2,3, \dots, m \quad (1.56)$$

Her alternatif için hesaplanan K_i değerleri, 0 ile 1 aralığında olacaktır ve istenilen tercih sıralamasına göre artan bir şekilde sıralanabilir. Uygun alternatiflerin göreceli karmaşık verimlilikleri, fayda fonksiyonu değerlerine göre belirlenebilir (Zavadskas ve Turskis, 2010: 163-164).

1.1.9. Ağırlıklı Bütünleşik Toplamsal ve Çarpımsal Değerlendirme Yöntemi (WASPAS)

Ağırlıklı Bütünleşik Toplamsal ve Çarpımsal Değerlendirme (Weighted Aggregated Sum Product Assesment, WASPAS) yöntemi, Zavadskas vd. (2012) tarafından önerilmiştir. WASPAS yönteminde sıralama doğruluğunun arttırılması amacıyla Ağırlıklı Toplam Modeli (Weighted Sum Model – WSM) ve Ağırlıklı Çarpım Modeli (Weighted Product Model – WPM) olmak üzere iki farklı yöntem birleşimi kullanılır (Zavadskas vd., 2012: 3). WASPAS yöntemi bu sayede üç kriter gere alternatiflerin optimalliğinin sağlanmasına izin verir. Birinci kriter, optimalliği bir dizi karar kriteri açısından bir dizi alternatifin değerlendirilmesi için WSM yöntemi uygulanmasıdır. İkinci kriter, optimalliği genellikle WPM yöntemine benzer şekilde

genelleştirilmiş üstel çarpımsal kriterler açısından alternatiflerin değerlendirilmesidir. Üçüncü ortak genelleştirilmiş kriter, optimalliği daha gerçekçi bir durum sağlamaya ve sıralama doğruluğunu arttırmaya izin veren toplamsal ve çarpımsal yöntemlerin ağırlıklı olarak birleştirilmesidir (Zavadskas vd., 2016: 79). Son yıllarda WASPAS yönteminin kullanıldığı çalışmaların özetine, Tablo 11’de yer verilmiştir.

Tablo 11. WASPAS Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Yazar	Konu	Ağırlık Belirleme Yöntemi	ÇKKV Yöntemi	Kriter Sayısı	Alternatif Sayısı	Birlikte Kullanılan Yöntem
Fazlollahtabar vd. (2019)	Forklift Seçimi	FUCOM ⁽¹⁾	WASPAS, SAW, ARAS	7	10	-
Tuş ve Aytaç Adalı (2019)	Yazılım Seçimi	CRITIC ⁽²⁾	WASPAS	6	5	-
Ighravwe ve Babatunde (2019)	Gaz Depolama Tesis Yeri Seçimi	CRITIC	GRA, WASPAS, TOPSIS	17	4	-
Prajapati vd. (2019)	Tersine Lojistik Uygulama Engellerinin Sıralanması	SWARA	WASPAS	34	21	-
Mihajlovic vd. (2019)	Lojistik Dağıtım Merkezi Yer Seçimi	AHP	WASPAS	7	9	-
Bid ve Siddique (2019)	Risk Alternatiflerinin Sıralanması	DELPHI	WASPAS, TOPSIS	5	9	-
Hassanpour (2019)	Endüstri Dallarının Sıralanması	Friedman Test ve Entropi	WASPAS	5	26	-
Kolagar (2019)	Kentsel Tarım Politikalarının Sıralanması	BWM	WASPAS	5	8	-
Badalpur ve Nurbakhsh (2019)	Yol Yapım Projesindeki Risklerin Değerlendirilmesi	Entropi	WASPAS	3	20	-
Yazdani vd. (2018)	Geri Dönüştürülebilir Enerji Teknolojisi Seçimi	DEMATEL-ANP	WASPAS, COPRAS	13	12	-
Mathew vd. (2017)	Endüstriyel Robot Seçimi	AHP	WASPAS,	5	7	-
Zavadskas vd. (2016)	Hava Kalitesi Değerlendirmesi	Uzman Görüşü	WASPAS	7	6	-
Yazdani vd. (2016)	Manyetik Malzeme Seçimi	SWARA	WASPAS, MOORA	5	24	-

⁽¹⁾ Tam Tutarlılık Yöntemi (Full Consistency Method, FUCOM)

⁽²⁾ Kriterler Arası Korelasyon Açısından Kriterlerin Önemi (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation, CRITIC)

WASPAS yönteminin işlem adımları şöyledir (Chakraborty ve Zavadskas, 2014: 2-4; Zavadskas vd., 2012: 3-4):

Adım 1: Karar matrisi, Eşitlik (1.4)'te gösterilen şekilde oluşturulur.

Adım 2: Fayda kriterleri için Eşitlik (1.57) ve maliyet kriterleri için Eşitlik (1.58) kullanılarak karar matrisi elemanları doğrusal olarak normalleştirilir.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (1.57)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (1.58)$$

Eşitlik (1.57) ve (1.58)'de gösterilen $\bar{x}_{ij}$, normalize edilmiş x_{ij} değerleridir.

Adım 3: WSM yöntemine göre alternatiflerin toplam nisbi önemleri Eşitlik (1.59) ile hesaplanır.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j \quad (1.59)$$

Adım 4: WPM yöntemine göre ise alternatiflerin toplam göreceli önemi, Eşitlik (1.60) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (1.60)$$

Adım 5: Toplamsal ve çarpımsal yöntemlerin sonuçlarının ağırlıklı olarak birleştirilmesi, Eşitlik (1.61)'de gösterilmiştir.

$$Q_i = 0.5Q_i^{(1)} + 0.5Q_i^{(2)} = 0.5 \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j + 0.5 \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (1.61)$$

Karar verme sürecinin sıralama doğruluğunu ve etkinliğini arttırmak için WASPAS yönteminde, i . alternatifin toplam göreceli öneminin hesaplanmasında kullanılan daha genel bir denklem, Eşitlik (1.62)'de gösterilen şekilde geliştirilmiştir.

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} = \lambda \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j + (1 - \lambda) \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j}; (\lambda = 0, 0.1, \dots, 1) \quad (1.62)$$

Adım 6: Alternatifler, Q_i değerlerine göre sıralanır. En iyi alternatif, en yüksek Q_i değerine sahip olan alternatiftir. Eğer λ değeri 0 (sıfır) veya 1 olursa WASPAS yöntemi, sırasıyla WPM veya WSM yöntemine dönüşür.

1.1.10. Çok Kriterli İdeal-Gerçek Karşılaştırma Analiz Yöntemi (MAIRCA)

Pamucar vd. (2014) tarafından önerilen Çok Kriterli İdeal-Gerçek Karşılaştırma Analiz (Multi-Attributive Ideal-Real Comparative Analysis, MAIRCA) yöntemi, temel varsayım olarak ideal ve deneysel ağırlıklar arasındaki boşluğun belirlenmesi ilkesine dayanmaktadır (Gigovic vd., 2016: 11). Gözlemlenen alternatiflerin her kriteri için boşluklar toplanarak, her alternatif için toplam boşluk belirlenir. Alternatiflerin sıralaması yapılırken en iyi alternatif olarak toplam boşluğu en düşük değere sahip olan alternatif seçilir. Toplam açığı en düşük olan alternatif, kriterler için ideal çözüme en yakın değerlere sahip olan en iyi alternatifi temsil eder (Pamucar vd., 2014: 91). Güncel bir yaklaşım olan MAIRCA yöntemi ile ilgili yapılan çalışmaların özetine, Tablo 12’de yer verilmiştir.

Tablo 12. MAIRCA Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Yazar	Konu	Ağırlık Belirleme Yöntemi	ÇKKV Yöntemi	Kriter Sayısı	Alternatif Sayısı	Birlikte Kullanılan Yöntem
Sennaroğlu ve Çelebi (2018)	Askeri Havaalanı Yer Seçimi	AHP	MAIRCA, MABAC, PROMETHEE ve VIKOR	33	4	Duyarlılık Analizi
Pamucar vd. (2018)	Lojistik Merkezi Yer Seçimi	DEMATEL	MAIRCA, MOORA, TOPSIS, ELECTRE, COPRAS ve PROMETHEE	11	8	Duyarlılık Analizi
Pamucar vd. (2018a)	Hemzemin Geçit Güvenlik Tedbiri Seçimi	Uzman Görüşü	FUCOM ve MAIRCA	7	10	-
Gigovic vd. (2016)	Mühimmat Deposu Yer Seçimi	DEMATEL ve ANP	MAIRCA	6	8	Coğrafi Bilgi Sistemleri
Pamucar vd. (2014)	Güvenlik Ekipmanı Kurulumu Öncelikli Hemzemin Geçit Seçimi	DEMATEL	MAIRCA	8	8	-

MAIRCA yöntemi, altı adımda uygulanır (Pamucar vd., 2014: 91):

Adım 1: İlk olarak Eşitlik (1.4)'te gösterilen karar matrisi tanımlanır. Karar matrisindeki kriter değerleri, tüm alternatifler dikkate alınarak belirlenir. Karar matrisinin değerleri, karar vericinin veya uzman kararlarının toplamına göre belirlenen kişisel tercihlerden elde edilir.

Adım 2: Alternatif P_{A_i} seçimine göre tercihler belirlenir. Karar vericinin, bazı alternatiflerin seçilme olasılığını dikkate almadığı varsayılır. Diğer bir deyişle alternatif seçimlerine göre tercihlerin olmadığı varsayılır. Her alternatifin eşit olasılıkla gerçekleşebileceği, Eşitlik (1.63)'teki gibi göz önünde bulundurulur.

$$P_{A_i} = \frac{1}{m}; \sum_{i=1}^m P_{A_i} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.63)$$

Eşitlik (1.63)'teki m değeri seçilebilir alternatif sayısını göstermektedir. Öncül olasılıkla karar verme analizinde karar vericinin risk ile ilişkisinin nötr olduğu varsayılır. Alternatiflerin seçim tercihlerinin, Eşitlik (1.64)'te gösterilen şekilde eşit olduğu kabul edilir.

$$P_{A_1} = P_{A_2} = \dots = P_{A_m} \quad (1.64)$$

Adım 3: Teorik düşüncenin (T_p) matris elemanları hesaplanır. Teorik düşünce matrisi, $n \times 1$ boyutlu (n kriter sayısı olmak üzere) olarak Eşitlik (1.65)'te gösterilen şekilde tanımlanır. Matris elemanları, alternatif P_{A_i} seçim tercihleri ve kriter ağırlık katsayıları (w_j) ile hesaplanır.

$$T_p = \begin{matrix} & w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ P_{A_i} & [P_{A_i} * w_1 & P_{A_i} * w_2 & \dots & P_{A_i} * w_n] \end{matrix} \quad (1.65)$$

Eşitlik (1.65)'te n kriter sayısını göstermek üzere, $t_{pi} (P_{A_i} * w_j)$ teorik düşüncüyü simgeler.

Adım 4: Gerçek düşünce matrisi (T_r) elemanları, Eşitlik (1.66)'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$T_r = \begin{matrix} & C_1 & \dots & C_n \\ A_1 & [t_{r11} & \dots & t_{r1n}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & [t_{rm1} & \dots & t_{rmn}] \end{matrix} \quad (1.66)$$

Gerçek düşünce matrisi (T_r) elemanları, teorik düşünce matrisi elemanları ve Eşitlik (1.67) ve (1.68) ile hesaplanan ilk karar matrisi elemanları çarpılarak hesaplanır. Eşitlik (1.67), fayda kriterleri için kullanılırken; Eşitlik (1.68), maliyet kriterleri için kullanılır.

$$t_{rij} = t_{pij} * \left(\frac{x_{ij} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \right) \quad (1.67)$$

$$t_{rij} = t_{pij} * \left(\frac{x_{ij} - x_i^+}{x_i^- - x_i^+} \right) \quad (1.68)$$

Adım 5: Toplam boşluk matrisi (G) hesaplanır. Toplam boşluk matrisi elemanları, teorik düşünce (t_{pij}) ve gerçek düşünce (t_{rij}) değerleri arasındaki fark olarak, Eşitlik (1.69) kullanılarak hesaplanır.

$$g_{ij} = t_{pij} - t_{rij} \quad (1.69)$$

Adım 6: Alternatiflerin son kriter fonksiyonu (Q_i) değerleri hesaplanır. Kriter fonksiyonu değerleri, alternatiflerin boşluklarının (g_{ij}) toplamı ile Eşitlik (1.70)'te gösterilen şekilde elde edilir.

$$Q_i = \sum_{j=1}^n g_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.70)$$

Alternatiflerin son kriter fonksiyonu (Q_i) değerleri, küçükten büyüğe sıralanır ve alternatiflerin sıralaması belirlenir. Daha küçük son kriter fonksiyonu (Q_i) değeri, daha çok tercih edilmesi gereken alternatifini gösterir.

1.1.11. Ortalama Çözümünden Uzaklığa Dayalı Değerlendirme Yöntemi (EDAS)

Keshavarz Ghorabae vd. (2015) tarafından bazı çelişkili kriterler olduğunda faydalı olabilecek Ortalama Çözüme Uzaklığa Göre Değerlendirme (Evaluation Based on Distance from Average Solution, EDAS) yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemdeki en iyi alternatif, ortalama çözüme mesafe ile ilgilidir. EDAS yönteminde pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıkların hesaplanması gerekmez. Bu yöntemde aranılan en iyi alternatif ile ilgili iki ölçüm vardır. Alternatiflerin değerlendirilmesi, ortalamaya oranla daha yüksek pozitif uzaklık değerlerine ve ortalamaya oranla daha düşük negatif uzaklık değerlerine

göre yapılır (Keshavarz Ghorabae vd., 2015: 438-439). EDAS yöntemi kullanılan çalışmaların özetine, Tablo 13'te yer verilmiştir.

Tablo 13. EDAS Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Yazar	Konu	Ağırlık Belirleme Yöntemi	ÇKKV Yöntemi	Kriter Sayısı	Alternatif Sayısı	Birlikte Kullanılan Yöntem
Zhang vd. (2019)	Enerji Tesisi Seçimi	OWA	TOPSIS, EDAS ve WASPAS	18	4	Monte Carlo Simülasyonu
Keshavarz Ghorabae vd. (2018)	Alternatif Sıralama Problemi	Eşit	EDAS ve TOPSIS	5-500	5-500	Simülasyon
Aggarwal vd. (2018)	Telefon Tercihi	Uzman Görüşü	EDAS	8	7	-
Chen vd. (2018)	Çayevi Yerleşim Yeri Seçimi	Uzman Görüşü	WASPAS ve EDAS	11	6	-
Çakır (2018)	Yaşam Merkezi Seçimi	SWARA	EDAS	11	6	-
Özbek ve Engür (2018)	İnternet Sayfaları Kalitesinin Sıralanması	Eşit	EDAS	11	7	-
Keshavarz Ghorabae vd. (2017)	Havayolu Servis Kalitesi Değerlendirmesi	Uzman Görüşü	TOPSIS, COPRAS, WASPAS ve EDAS	28	5	Monte Carlo Simülasyonu
Trinkuniene vd. (2017)	Müteahhit Sözleşmesi Paydaşlarının Sıralanması	Bulanık AHP, CILOS ⁽¹⁾ ve IDOCRIW ⁽²⁾	SAW, TOPSIS, COPRAS ve EDAS	7	6	-
Ulutaş (2017)	Dikiş Makinesi Seçimi	Eşit	EDAS	4	8	-
Keshavarz Ghorabae vd. (2015)	Stok Ürün Sınıflandırması	Yazar	EDAS, VIKOR, TOPSIS, SAW ve COPRAS	3, 7	47, 10	Spearman Korelasyon Katsayısı

⁽¹⁾ Kriterlerin Kayıp Etkisi (The Criterion Impact Loss, CILOS)

⁽²⁾ Objektif Kriter Ağırlıklarının Bütünleşik Olarak Belirlenmesi (Integrated Determination of Objective Criteria Weights, IDOCRIW)

ÇKKV problemleri için EDAS yönteminin uygulama işlem adımları şöyledir (Keshavarz Ghorabae vd., 2015: 439-441):

Adım 1: Alternatifleri tanımlayan en önemli kriterler seçilir ve Eşitlik (1.4)'te matris formu gösterilen karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Bütün kriter için ortalama çözüm değerleri belirlenir. Eşitlik (1.71)'de gösterilen şekilde ortalama çözüm değerleri hesaplanır.

$$AV = [AV_j]_{1 \times n}, \quad AV_j = \frac{\sum_{i=1}^m x_{ij}}{n} \quad (1.71)$$

Adım 3: Kriter türüne göre (Fayda ve Maliyet) Eşitlik (1.72)'deki ortalama pozitif (Positive Distance from Average, PDA) ve negatif (Negative Distance from Average, NDA) uzaklık matrisleri, Eşitlik (1.73) ve (1.74) ile gösterilen şekilde hesaplanır. Daha yüksek PDA değerleri ve/veya daha düşük NDA değerleri, alternatifin ortalama çözümden daha iyi olduğunu gösterir.

$$PDA = [PDA_{ij}]_{m \times n}, \quad NDA = [NDA_{ij}]_{m \times n} \quad (1.72)$$

Fayda kriteri için;

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AV_j))}{AV_j}, \quad NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - x_{ij}))}{AV_j} \quad (1.73)$$

Maliyet kriteri için;

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - x_{ij}))}{AV_j}, \quad NDA_{ij} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (1.74)$$

Adım 4: Bütün alternatifler için Eşitlik (1.75)'te gösterilen şekilde ağırlıklı toplam PDA ve NDA değerleri belirlenir.

$$SP_i = \sum_{j=1}^m w_j PDA_{ij}; \quad SN_i = \sum_{j=1}^m w_j NDA_{ij} \quad (1.75)$$

Adım 5: Bütün alternatifler için Eşitlik (1.76)'da gösterilen şekilde SP_i ve NP_i değerleri normalize edilerek NSP_i ve NSN_i değerleri elde edilir.

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max_i(SP_i)}; \quad NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max_i(SN_i)} \quad (1.76)$$

Adım 6: Bütün alternatifler için Eşitlik (1.77)'de gösterilen şekilde değerlendirme puanları (AS_i) hesaplanır.

$$AS_i = \frac{1}{2} (NSP_i + NSN_i) \quad (1.77)$$

Eşitlik (1.77)'de gösterilen değerlendirme puanı, $[0,1]$ aralığındadır.

Adım 7: Alternatifler, değerlendirme puanlarına göre azalan şekilde sıralanır. En yüksek AS_i değerine sahip alternatif, aday alternatifler arasındaki en iyi tercihtir.

1.1.12. İdeal Referans Yöntemi (RIM)

İdeal Referans Yöntemi (Reference Ideal Method, RIM), Cables vd. (2016) tarafından önerilmiştir. RIM yönteminin diğer yöntemlerden en önemli farkı, referans küme değerlerinin aralık ya da nokta olarak belirlenebilmesidir. İdeal referans değerleri; açık veya kapalı bir aralık, nominal bir değer veya nokta bir değer olabilir (Tayyar vd., 2018: 2492).

RIM yönteminin bir diğer avantajı ise ÇKKV yöntemlerinde rastlanan yeni bir alternatifin eklenmesi veya çıkarılması sonucu sıralamalarda değişikliği açıklayan sıra tersine çevirme (Rank Reversal) probleminin olmayışıdır (Prasad ve Jayswal, 2018: 6435).

En iyi bilginin olduğu durumlarda RIM yöntemi, sıralama işleminde değer kısıtlamaları ile başa çıkabilecek tek ÇKKV yöntemi olduğu için oldukça kullanışlıdır (Serrai vd., 2017: 2). RIM yöntemi kullanılan çalışmaların özetine, Tablo 14'te yer verilmiştir.

Tablo 14. RIM Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Yazar	Konu	Ağırlık Belirleme Yöntemi	ÇKKV Yöntemi	Kriter Sayısı	Alternatif Sayısı	Birlikte Kullanılan Yöntem
Sanchez-Lozano vd. (2019)	Asteroit Özelliklerinin Sıralanması	AHP	RIM	5	10	Duyarlılık Analizi
Gürgeç vd. (2019)	Makine Çıktılarının Optimize Edilmesi	Uzman Görüşü	RIM	3	24	ANOVA
Prasad ve Jayswal (2018)	Ürün Planlaması	Entropi	RIM	3	3	Duyarlılık Analizi
Tayyar vd. (2018)	Finansal Performans Sıralaması	AHP	RIM	17	4	-
Serrai vd. (2017)	İnternet Servis Sağlayıcı Seçimi	AHP	RIM, SAW, VIKOR, TOPSIS	9	10	-

RIM yöntemi için uygulama işlem adımları şöyledir (Cables vd., 2016: 5-6):

Adım 1: Alternatif özellikleri için Eşitlik (1.4)'te gösterilen karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Problemin içeriğine ait koşullar olan her kriter için aralık değerleri (t_j), maksimum ve minimum değerler arasındaki referans küme değerleri (s_j) ve ağırlık değerleri (w_j) belirlenir.

Adım 3: Referans ideal küme ile birlikte karar matrisi Eşitlik (1.78) kullanılarak normalize edilmiş karar matrisi (Y) elde edilir.

$$f(x, [A, B], [C, D]) = [y_{ij}]_{m \times n} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } x \in [C, D] \\ 1 - \frac{d_{\min}(x, [C, D])}{|A - C|} & \text{eğer } x \in [A, C] \wedge A \neq C \\ 1 - \frac{d_{\min}(x, [C, D])}{|D - B|} & \text{eğer } x \in [D, B] \wedge D \neq B \end{cases} \quad (1.78)$$

Eşitlik (1.78)'de gösterilen $[A, B]$ araştırmanın evren aralığını ve $[C, D]$ referans ideal küme aralığını gösterir. x değeri, $[A, B]$ aralığındadır ve $[C, D]$ aralığı $[A, B]$ aralığının alt kümesidir. Referans ideal kümeden uzaklık, Eşitlik (1.79) ile hesaplanır.

$$d_{\min}(x, [C, D]) = \min(|x - C|, |x - D|) \quad (1.79)$$

Adım 4: Ağırlıklı normalize edilmiş matris, Eşitlik (1.80)'de gösterilen şekilde hesaplanır.

$$Y' = Y \otimes W = [y'_{ij}]_{m \times n} = \begin{pmatrix} y_{11} \cdot w_1 & \cdots & y_{1n} \cdot w_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} \cdot w_1 & \cdots & y_{mn} \cdot w_n \end{pmatrix} \quad (1.80)$$

Adım 5: Her alternatif için normalize edilmiş referans kümeden farklar, Eşitlik (1.81) ile hesaplanır.

$$I_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y'_{ij} - w_j)^2}, \quad I_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y'_{ij})^2} \quad \text{ve } i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (1.81)$$

Adım 6: Her alternatif için göreceli skorlar (R_i), Eşitlik (1.82) ile hesaplanır.

$$R_i = \frac{I_i^-}{I_i^+ + I_i^-}, \quad 0 < R_i < 1, i = 1, 2, \dots, m \quad (1.82)$$

Adım 7: Alternatifler, azalan sıralama ile sıralanır. En yüksek skora sahip alternatif, en iyi alternatiftir.

1.1.13. Birleştirilebilir Uzaklık Esaslı Değerlendirme Yöntemi (CODAS)

Keshavarz Ghorabae vd. (2016) tarafından farklı uzaklık ölçümlerini dikkate alan Birleştirilebilir Uzaklık Esaslı Değerlendirme (Combinative Distance-Based Assessment, CODAS) yöntemi önerilmiştir.

CODAS yönteminde alternatiflerin performansları, negatif ideal çözümden Öklid ve Mutlak uzaklıklar ile ölçülmektedir. Öklid uzaklıklığı, değerlendirmenin ilk ölçümü olarak kullanılmaktadır. Eğer iki alternatifin Öklid uzaklıkları birbirine çok yakın ise karşılaştırma için Mutlak uzaklıklar kullanılmaktadır. Öklid uzaklıklarının yakınlık derecesi bir eşik değer parametresi ile belirlenmektedir (Keshavarz Ghorabae vd., 2016: 28). CODAS yönteminin farklı alanlarda uygulanan örneklerine, Tablo 15'te yer verilmiştir.

Tablo 15. CODAS Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Yazar	Konu	Ağırlık Belirleme Yöntemi	ÇKKV Yöntemi	Kriter Sayısı	Alternatif Sayısı	Birlikte Kullanılan Yöntem
Karakuş vd. (2020)	Depolama Alanı Seçimi	AHP, SAW	CODAS	7	4	-
Maghsoodi vd. (2019)	Baraj İnşaatı için Malzeme Seçimi	SWARA	CODAS	13	6	-
Ouhibi ve Frikha (2019)	Sınıflandırma Yöntemi Önerisi	Literatür	CODAS	7	13	-
Laha ve Biswas (2019)	Banka Performans Sıralaması	Entropi	CODAS	6	10	k-Ortalama Kümeleme
Aytaç Adalı ve Tuş (2019)	Hastane Yeri Seçimi	CRITIC	TOPSIS, EDAS, CODAS	8	4	-
Ecer vd. (2019)	Petrol Üreticisi Ülkelerin Sürdürülebilir Gelişimlerinin Sıralaması	Eşit	COCOSO ⁽¹⁾ , CODAS, MABAC, VIKOR, WASPAS	41	12	Duyarlılık Analizi
Hassanpour ve Pamucar (2019)	Ev Aletleri Endüstrilerinin Sınıflandırılması	Friedman Test ve Entropi	ARAS, CODAS, SAW	5	25	DEA
Bakır ve Alptekin (2018)	Havayolu İşletmeleri Hizmet Kalitesi Sıralaması	Literatür	CODAS	7	11	-
Tuş ve Aytaç Adalı (2018)	Personel Değerleme	CRITIC	CODAS, PSI ⁽²⁾	5	7	-
Badi vd. (2018)	Tedarikçi Seçimi	Uzman Görüşü	CODAS	4	6	-
Ayyıldız ve Yalçın (2018)	Lojistik Dostu Şehirlerin Sıralanması	Entropi	CODAS	6	81	Duyarlılık Analizi
Mathew ve Sahu (2018)	Malzeme Taşıma Ekipmanı Seçimi	Literatür	CODAS, EDAS, WASPAS, MOORA	6	4, 8	-

⁽¹⁾ Birleşik Uzlaşma Çözümü (COmbined COmpromise SOLution, COCOSO)

⁽²⁾ Tercih Seçim İndeksi (Preference Selection Index, PSI)

CODAS yönteminin uygulama işlem adımları şöyledir (Keshavarz Ghorabae vd., 2016: 29-31):

Adım 1. Karar matrisi, Eşitlik (1.4)'te gösterilen şekilde oluşturulur.

Adım 2. Normalize edilmiş karar matrisi hesaplanır. Eşitlik (1.83)'te gösterilen performans değerleri için doğrusal normalizasyon kullanılır.

$$n_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max_j x_{ij}} & \text{eğer } j \in N_f \\ \frac{\min_j x_{ij}}{x_{ij}} & \text{eğer } j \in N_m \end{cases} \quad (1.83)$$

Eşitlik (1.83)'te gösterilen N_f ve N_m , sırasıyla fayda veya maliyet kriterlerini temsil eder.

Adım 3. Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi hesaplanır. Ağırlıklı normalize edilmiş performans değerleri (r_{ij}), Eşitlik (1.84) kullanılarak hesaplanır.

$$r_{ij} = w_j n_{ij} \quad (1.84)$$

Adım 4. Negatif ideal çözüm (ns), Eşitlik (1.85)'te gösterilen şekilde belirlenir.

$$ns = [ns_j]_{1 \times n} = [\min_j r_{1j} \quad \dots \quad \min_j r_{1j}] \quad (1.85)$$

Adım 5. Öklid ve Mutlak Uzaklıklar ile alternatiflerin negatif ideal çözümünden uzaklıkları, Eşitlik (1.86) ve (1.87) kullanılarak hesaplanır.

$$E_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - ns_j)^2} \quad (1.86)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^n |r_{ij} - ns_j| \quad (1.87)$$

Adım 6. Göreceli değerlendirme matrisi, Eşitlik (1.88) ve (1.89)'da gösterilen şekilde oluşturulur.

$$Ra = [h_{ik}]_{m \times m} \quad (1.88)$$

$$h_{ik} = (E_i - E_k) + (\psi(E_i - E_k) \times (T_i - T_k)) \quad (1.89)$$

Eşitlik (1.89)'da gösterilen $k \in \{1, 2, \dots, m\}$ ve ψ , iki alternatifin eşitliğini tanımlayan bir eşik değer fonksiyonudur ve Eşitlik (1.90)'da gösterilen şekilde tanımlanmıştır.

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } |x| \geq \tau \\ 0 & \text{Eğer } |x| < \tau \end{cases} \quad (1.90)$$

Bu fonksiyonda gösterilen eşik değeri (τ) parametresi, karar verici tarafından belirlenir. Bu parametrenin, 0,01 ve 0,05 arasında bir değeri alması önerilir. Eğer iki alternatif arasındaki Öklid uzaklığı farkı eşik değerden fazlaysa, bu alternatifler Mutlak uzaklıklar da kullanılarak karşılaştırılır.

Adım 7. Her alternatifin değerlendirme skoru, Eşitlik (1.91)'e göre belirlenir.

$$H_i = \sum_{k=1}^n h_{ik} \quad (1.91)$$

Adım 8. Alternatiflerin değerlendirme skorları, büyükten küçüğe sıralanır. En yüksek değerlendirme skoruna (H_i) sahip alternatif, tüm alternatifler arasındaki en iyi seçimdir.

1.1.14. Çift Normalizasyona Dayalı Çoklu Bütünleştirme Yöntemi (DNBMA)

Liao vd. (2018) tarafından aynı anda fayda, maliyet ve referans değeri temelli kriterleri ele alan Çift Normalizasyona Dayalı Çoklu Bütünleştirme Yöntemi (Double Normalization Based Multi Aggregation Method – DNBMA) adlı yeni bir ÇKKV yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem, referans değeri tabanlı doğrusal ve referans değeri tabanlı vektör normalleştirme olmak üzere iki normalleştirme aracına dayanmaktadır. Ayrıca yöntem; Tam Dengeleyici Model (The Complete Compensatory Model, CCM), Dengeleyici Olmayan Model (The Un-Compensatory Model, UCM) ile aritmetik ağırlıklı toplama, ağırlıklı maksimizasyon formülü ve Eksik Dengeleyici Model (The Incomplete Compensatory Model, ICM) ile geometrik ağırlıklı toplama olmak üzere üç toplama modelinden oluşur. DNBMA yöntemini güçlü kılan bu alt yöntemler, farklı yönlerden alternatiflerin performansını gösterir (Liao vd., 2018: 8). DNBMA yöntemi ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalara Tablo 16'da yer verilmiştir.

Tablo 16. DNBMA Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Yazar	Konu	Ağırlık Belirleme Yöntemi	ÇKKV Yöntemi	Kriter Sayısı	Alternatif Sayısı	Birlikte Kullanılan Yöntem
Wu ve Liao (2019)	ÇKKV Yöntemlerinin Karşılaştırılması	-	DNBMA, MULTIMOORA, TOPSIS, VIKOR	-	-	-
Liao ve Wu (2019)	Demir Çelik İşletmelerinin Yeşil Gelişim Açısından Sıralanması	Uzman Görüşü	DNBMA, MULTIMOORA, TOPSIS, VIKOR	6, 4	7, 5	-
Wen vd. (2019)	Tedarikçi Sıralaması	SWARA	COCOSO, DNBMA	8	6	-

DNBMA yöntemi şu şekilde özetlenebilir (Liao vd., 2018: 3-6):

Adım 1: Alternatiflerin kriter özelliklerini gösteren karar matrisi, Eşitlik (1.4)'teki gibi oluşturulur.

Adım 2: Referans değer tabanlı doğrusal normalizasyon değerleri, Eşitlik (1.92) yardımıyla hesaplanır. Doğrusal normalizasyon yöntemi ile geliştirilen referans değer tabanlı doğrusal normalizasyon formülü, Eşitlik (1.92)'de gösterilmiştir.

$$y_{ij}^1 = 1 - \frac{|x_{ij} - r_j|}{\max_i |x_{ij} - r_j|} \quad (1.92)$$

Bütün fayda, maliyet ve referans değer için kriter değerlerinin vektör normalizasyonu ile normalize edilmesinin boşluğunu doldurmak için her referans değer yargısına uzaklığa dayalı referans değer tabanlı vektör normalizasyon formülü, Eşitlik (1.93)'te gösterilmiştir.

$$y_{ij}^2 = 1 - \frac{|x_{ij} - r_j|}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij})^2 + (r_j)^2}} \quad (1.93)$$

Adım 3: Fayda değerleri $u_1(a_i)$, $u_2(a_i)$ ve $u_3(a_i)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) Eşitlik (1.94), (1.95) ve (1.96)'ya göre hesaplanır. Üç alt türe göre $r_y(a_i)$ ($y = 1, 2, 3; i = 1, 2, \dots, m$) sıralamaları belirlenir.

Aritmetik ağırlıklı toplama operatörüne dayanan CCM için fayda değerleri, Eşitlik (1.94)'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$u_1(a_i) = \sum_{j=1}^n w_j y_{ij}^1 \quad (1.94)$$

Alternatifler, $u_1(a_i)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) değerlerine göre azalan bir şekilde sıralanır ve birinci tür $r_1(a_i)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) sıralamaları elde edilir.

Sıralama değerleri elde edilirken aynı fayda değerine sahip alternatifler, ortalama değer ile sıralanır. Örneğin a_i ve a_t aynı fayda değerine sahip ve sıralama pozisyonları u_1 ve u_2 ($u_1 + 1 = u_2$) ise sıralama değerleri, $r(a_i) = r(a_t) = \frac{u_1 + u_2 + 1}{2} = u_1 + 0,5$ şeklinde belirlenir.

Bir kritere göre oldukça düşük performansa sahip bir alternatifin seçilmesinden sakınmak için ikinci birleştirme fonksiyonu doğrusal normalizasyon değerleri oluşturulmuştur ve Eşitlik (1.95)'te gösterilmiştir.

$$u_2(a_i) = \max_j w_j (1 - y_{ij}^1) \quad (1.95)$$

Alternatifler, $u_2(a_i)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) değerlerine göre azalan bir şekilde sıralanır ve ikinci tür UCM için $r_2(a_i)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) sıralamaları elde edilir.

Bahsedilen iki birleştirme fonksiyonu, değerlerin boyutunu dikkate almada başarısızdır. Bu eksikliği çözmek ve daha güvenilir sonuçlar elde etmek için vektör normalizasyon değerleri çarpımsal formda birleştirilerek üçüncü birleştirme fonksiyonu ICM, Eşitlik (1.96)'da sunulmuştur.

$$u_3(a_i) = \prod_j (y_{ij}^2)^{w_j} \quad (1.96)$$

Çarpımsal form, insanların tercihlerini bahsedilen diğer birleştirme fonksiyonlarına göre daha iyi yansıtabilir. İyi performansa sahip olan bir alternatif, bütün birleştirme fonksiyonlarında kötü performans sergileyemez. Alternatifler, $u_3(a_i)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) değerlerine göre azalan bir şekilde sıralanır ve üçüncü tür $r_3(a_i)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) sıralamaları elde edilir.

Adım 4: Fayda değerleri $u_y(a_i)$ ($y = 1, 2, 3; i = 1, 2, \dots, m$), Eşitlik (1.97) yardımı ile normalize edilir.

$$u_y^N(a_i) = \frac{u_y(a_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (u_y(a_i))^2}}, \quad y = 1, 2, 3 \quad (1.97)$$

Adım 5: Normalize edilmiş fayda değerleri ve alt sıralamalar, Eşitlik (1.98)'de gösterilen ağırlıklı Öklid uzaklığı formülü ile birleştirilir. Son sıralamalar elde edilir ve algoritma sonlandırılır.

$$S_i = \sqrt{\varphi(u_1^N(a_i))^2 + (1 - \varphi)\left(\frac{m-r_1(a_1)+1}{m(m+1)/2}\right)^2} - \sqrt{\varphi(u_2^N(a_i))^2 + (1 - \varphi)\left(\frac{r_2(a_1)}{m(m+1)/2}\right)^2} + \sqrt{\varphi(u_3^N(a_i))^2 + (1 - \varphi)\left(\frac{m-r_3(a_1)+1}{m(m+1)/2}\right)^2} \quad (1.98)$$

Eşitlik (1.98)'de gösterilen phi (φ) katsayısı, alt fayda değerleri ve sıralamaları arasındaki önemi vurgular. Nihai sıralama, S_i ($i = 1, 2, \dots, m$) değerlerinin azalan şekilde sıralanması ile $R = \{r(a_1), r(a_2), \dots, r(a_m), \}$ şeklinde elde edilir.

İKİNCİ BÖLÜM

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNE ALTERNATİF BİR YÖNTEM: BÜTÜNLEŞTİRİCİ REFERANS NOKTASI YAKLAŞIMI

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri; izledikleri işlem adımları, kullandıkları normalizasyon yöntemleri veya referans kümeleri olarak birbirlerinden farklılaşmaktadır. Normalizasyon yöntemleri açısından bakıldığında SAW ve WASPAS yöntemleri doğrusal maksimizasyon normalizasyonunu; TOPSIS, MOORA ve GRA yöntemleri, vektör normalizasyonunu; COPRAS ve ARAS yöntemleri, doğrusal toplam normalizasyonunu; VIKOR ve MAIRCA yöntemleri, doğrusal maksimum-minimum normalizasyonunu; EDAS yöntemi, ortalamaya göre doğrusal normalizasyonu; RIM yöntemi, referans değerden fark ile doğrusal maksimizasyon normalizasyonunu; DBNMA yöntemi, hem referans değerden fark ile doğrusal maksimizasyon normalizasyonunu hem de vektör normalizasyonunu kullanmaktadır. Referans kümesi olarak ARAS, DNBMA, GRA, MOORA ve RIM yöntemleri, maksimum ile minimum arasındaki değerleri ve diğer yöntemler ise maksimum veya minimum değerleri referans kümesi olarak almaktadır. Bu çalışmada ise öncelikle referans kümesi yaklaşımını temel alan bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemin adı, Bütünleştirici Referans Noktası Yöntemi (Integrative Referance Point Approach, IRPA) olarak belirlenmiştir. Çalışmanın devamında bu yöntemden kısaca, IRPA olarak bahsedilecektir. IRPA yönteminde; vektör normalizasyonu, referans değerden mutlak farklılıklar gibi diğer yöntemlerle benzer işlem adımları kullanılmaktadır. Ancak referans kümesi yaklaşımında, EDAS yönteminin ortalamaya göre normalize işlem basamağına benzer şekilde referans kümeye olan uzaklıklar oransal şekilde belirlenmektedir.

Karar vericinin elde edebileceği fayda veya kullanım düzeyi, maksimum/minimum seviyenin altında/üstünde ise bu, karar vericinin daha çok maliyet yüklenmesine neden olacaktır. Bu nedenle referans küme yaklaşımı ile gerçek hayattaki problemlere daha uygun çözümler sunulması hedeflenmiştir. IRPA yönteminde, karar vericilerin maksimum veya minimum fayda düzeyi değil, kendi amaçlarına ve kullanım özelliklerine göre referans değerler belirlemesi amaçlanmıştır.

ÇKKV yöntemleri, karar vericinin fayda düzeyini maksimize etmeyi hedeflerken doğrusal ilişkiyi temel almaktadır. Buna karşın Beklenti Teorisi yaklaşımını temel alan TODIM yöntemi, alternatiflerin sağladığı fayda düzeyinin doğrusal olmadığını ve fayda ve maliyet yönlü kriterlerin birbirlerinden farklı doğrusal olmayan ilişkiye sahip olduğunu varsaymaktadır ve ikili karşılaştırmalara dayanan bir yöntem olarak diğer yöntemlerden farklılaşmaktadır. Ayrıca kriterlerin ağırlık değerleri, sadece WASPAS yönteminde kısmi olarak üstel bir şekilde değerlendirilmektedir. IRPA yönteminin diğer yöntemlere göre en önemli farklılıklarından biri de memnuniyet fonksiyonu yaklaşımını temel almasıdır. Bu özelliği ile TODIM veya WASPAS gibi diğer yöntemlerden tamamen farklılaşmaktadır. Memnuniyet fonksiyonu yaklaşımı ile IRPA yöntemi, referans değerden pozitif ve negatif farklılıkları aynı şekilde ve doğrusal olmayan olarak değerlendirmektedir. Ayrıca IRPA yönteminde referans değerden farklılıklar arttıkça alternatiflerin de aldığı skorlar, öncelikle azalarak artan ve ağırlık değerine bağlı olarak sonradan ise artan bir fonksiyon şeklinde ele alınmaktadır. Bu sayede IRPA yönteminin ayırt ediciliği, referans kümesine yakın değerlerde azalmakta iken, yakın olmayan değerlerde artmaktadır.

Bu bölümde IRPA yöntemi, detaylı bir şekilde anlatılmış ve diğer yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken Spearman korelasyon katsayısı ve bu katsayılar yardımı ile çizilen ÇBÖ grafiklerinden faydalanılmıştır. Hesaplamalar için MATLAB ve Microsoft Excel programları, ÇBÖ grafikleri için ise SPSS programı kullanılmıştır.

2.1. ÇKKV’de Alternatif Bir Yöntem

Bütünleştirici Referans Noktası Yönteminde (Integrative Reference Point Approach, IRPA) alternatiflerin maksimum ve minimum performans değerlerinin arasındaki değerler, referans kümesi olarak belirlenmektedir. Bu temel özelliği ile IRPA yöntemi; ARAS, DNBMA, GRA, MOORA ve RIM yöntemleri ile benzer bir özelliğe sahiptir. Ancak doğrusal olmayan ilişki ve vektör normalizasyonu ile bu yöntemlerden farklılaşmaktadır. Çünkü IRPA yöntemi, temel olarak karar vericilerin tercihlerini daha iyi yansıtabilecek memnuniyet fonksiyonu yaklaşımı ile alternatifler arasında doğrusal olmayan ilişki varsayımına dayanmaktadır. Bu varsayımı ile IRPA yöntemi, TODIM yöntemi ile ortak bir özellik taşımaktadır. Ayrıca doğrusal olmayan ilişki özelliğini,

ağırlık değerlerini referans değere olan oransal pozitif ve negatif uzaklıklara çarpan ve WASPAS yöntemindeki gibi kriterlere üstel şekilde atayarak gerçekleştirmektedir.

2.1.1. Memnuniyet Fonksiyonu

Çoğu Hedef Programlama türünde, karar verici tercihlerinin bütünleştirilmesi ve ağırlık ve/veya öncelik seviyeleri düzenlemesi olasıdır. Genellikle karar verici için arzu edilen seviyelerin öncelikli olarak seçilmesi kolay değildir (Kharrat vd., 2011: 89).

Martel ve Aouni (1990), karar vericinin tercihlerini belirgin bir şekilde Hedef Programlamanın amaç fonksiyonuna ve çözüm sürecine dâhil edebileceklerini göstermişlerdir. Önerdikleri memnuniyet fonksiyonu ile karar vericiler, her amacın arzu edilen başarı seviyesinden herhangi bir sapması için tercihlerini açıkça ifade edebilmektedirler (Allouche vd., 2009: 463).

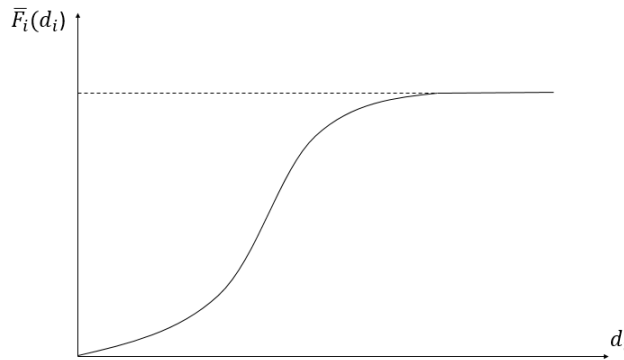
Hedef Programlamada farklı ölçüm birimlerinin karşılaştırılması, değişkenlerin pozitif veya negatif saptmalarının normalize edilerek Öklid uzaklığı ile yapılmaktadır. Bu yaklaşım, ölçüm birimi problemini kısmen çözmektedir. Ölçüm birimleri normalize edildiğinde farklı ölçüm birimlerinin kıyaslanabilir olması ve karar verici için aynı öneme sahip olup olmaması standart Hedef Programlama için hala sorgulanabilir durumlardır. Ayrıca Hedef Programlamanın diğer zorluklarından biri de farklı amaçlar için farklı hedeflerin belirlenmesidir. Çoğu yöntem, bu eksiklikler ile geliştirilmiştir. Örneğin ideal çözümden uzaklığı minimize etmeyi hedefleyen Uzlaşık Programlamada (Compromise Programming, CP) seçilen hedefler bulunmamaktadır. Daha fazlasının iyi olduğu varsayımı, bazı amaçlar için doğrulanamaz. Bundan dolayı CP’de karar verici, tercihlerini tamamıyla doğru olarak tasvir edemez (Martel ve Aouni, 1990: 1124). Bu nedenle Martel ve Aouni (1990), karar verici tercihlerinin her amaç için farklı bir hedef belirlenebileceği yeni bir yaklaşım sunmuştur.

Memnuniyet fonksiyonlarının eşik değerlerine bağlı olarak pozitif ve negatif saptmaları, farklı şekilde ödüllendirilir veya cezalandırılır ve böylece hedeflere ulaşma olasılığı değiştirilebilir (Aouni vd., 2013: 81).

Memnuniyet fonksiyonu ile karar vericinin memnuniyet derecesini en üst düzeye çıkarmak hedeflenir. Farklılıklar ne kadar küçük olursa çözüm, o kadar iyidir. Memnuniyet fonksiyonları sayesinde karar verici, tercihlerini açıkça ortaya koyma

olanağına sahiptir ve karar verici, herhangi bir zamanda memnuniyet işlevlerini değiştirebilir. Memnuniyet fonksiyonları hedeflerin değerlerine ilişkin belirsizliğin modellenmesinde de kullanılabilir. Üst ve alt sınırlarının karar verici tarafından belirlendiği aralıklarla ifade edilebilir (Aouni vd., 2005: 613).

Martel ve Aouni (1990) tarafından karar verici tercihleri, Hedef Programlama içerisinde yer alırken, PROMETHEE yöntemindeki gibi tercih fonksiyonlarını temel almışlardır. Her bir kriter için karşılaştırmalar yapılırken alternatiflere ait skorların farkları 0 (sıfır) olduğunda tercihlerde farksızlık, 0'a yakın fark olduğunda zayıf bir tercih, 1'e yakın olduğunda güçlü bir tercih ve 1 olduğunda kesin bir tercih olarak açıklamışlardır. Her bir kriter için iki alternatif arasındaki farklılığın performansı, memnuniyet fonksiyonu olarak Şekil 3'te gösterilmiştir (Martel ve Aouni, 1990: 1125).

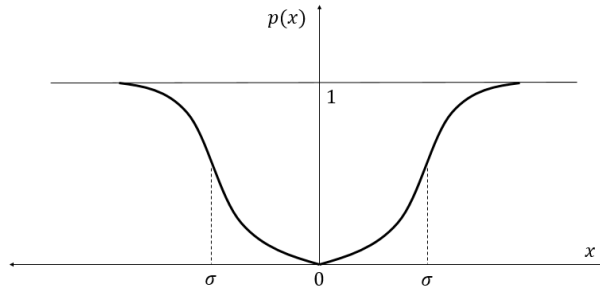


Şekil 3. Memnuniyet Fonksiyonu

Şekil 3'te gösterilen d_i , her kriter için bir alternatifin başka bir alternatife olan üstünlük değeri farklılığını ve $\bar{F}_i$, her kriter için olan üstünlük değeri farklılıklarının karar vericiye sağladığı fayda açısından toplamını ifade etmektedir. Alternatif değerleri arasındaki fark arttıkça aralarındaki memnuniyet seviyesi ilişkisi, fonksiyonu konveks bir yapıdan konkav bir yapıya dönüştürmektedir.

Brans ve Vincke (1985) tarafından yapılan PROMETHEE yönteminin anlatıldığı çalışmada, alternatiflerin ikili karşılaştırılmasında kullanılabilecek karşılaştırma fonksiyonları verilmiştir. Gaussian kriter karşılaştırma fonksiyonunda karar vericinin tercihleri, alternatiflerin dağılımına ait standart sapma değeri ile artar. Standart sapma değeri, normal dağılımdan elde edilen bilgilere göre düzenlenebilir. Standart sapma değeri, orijin ile eğri üzerindeki kıvrım arasındadır. Şekil 4'te memnuniyet fonksiyonunun elde edildiği $p(x)$ fonksiyonunun, iki alternatif arasındaki tercih edilme

değeri farklılığı ve Eşitlik (2.1)'de ise $p(x)$ fonksiyonu gösterilmektedir (Brans ve Vincke, 1985: 650-652).



Şekil 4. Alternatifler Arasında Tercih Edilme Değeri

$$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, & x \geq 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

Martel ve Aouni (1990), Şekil 4'te verilen Gaussian karşılaştırma yöntemlerinden faydalanarak kriterleri, ikili olarak doğrusal olmayan Hedef Programlama ile etkin bir şekilde karşılaştırmışlardır. Literatürde memnuniyet fonksiyonu kullanılan çalışmalara ve ilgili kullanım alanlarına örnekler;

- Lee vd. (1994), bulanık değerlerin memnuniyet fonksiyonu ile sıralanması,
- Martel ve Aouni (1996), karar verici tercihlerini memnuniyet fonksiyonu ile Bulanık Hedef Programlamaya dahil edilmesi,
- Aouni vd. (2005), Stokastik Hedef Programlama ile karar verici tercihlerinin modellenmesi,
- Mansour vd. (2007), Hedef Programlama ve memnuniyet fonksiyonu ile portföy yönetimi,
- Cherif vd. (2008), Hedef Programlama ve memnuniyet fonksiyonu ile kalite kontrol sistem tasarımı,
- Allouche vd. (2009), Uzlaşık Programlama ve memnuniyet fonksiyonu ile çizelgeleme akış problemi çözümü,
- Aouni vd. (2009), Hedef Programlama ve memnuniyet fonksiyonu ile karar verici tercihlerinin modellenmesi,
- Kanoun vd. (2010), yangın ve acil servis tesisleri için memnuniyet fonksiyonu ve Hedef Programlama ile yer seçimi,

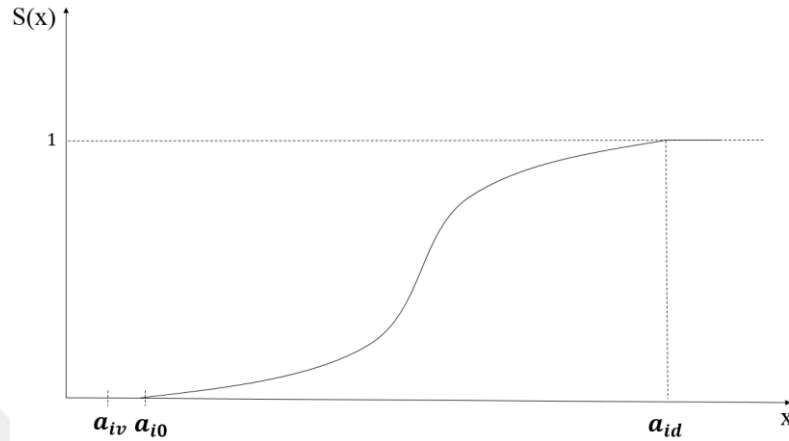
- Aouni vd. (2012), Stokastik Hedef Programlama yöntemi ve memnuniyet fonksiyonu ile medya seçimi ve planlama problemi çözümü,
- Maggis ve La Torre (2012), memnuniyet fonksiyonuna sahip bir Hedef Programlama yöntemi ile risk yönetimi ve optimal portföy çeşitlendirmesi,
- Mezghani ve Loukil (2012), Hedef Programlama ve memnuniyet fonksiyonları ile yeniden üretim planlaması,
- Aouni vd. (2013), memnuniyet fonksiyonu ve Stokastik Hedef Programlama ile risk sermayesi yatırım kararının verilmesi,
- Al-Refaie (2014), Taguchi yönteminde çoklu kalite yanıtları ile süreç performansını optimize etmek için memnuniyet fonksiyonu yöntemi önerisi,
- Jayaraman vd. (2015), sektörlerin sürdürülebilirlik hedefleri için yatırımların memnuniyet fonksiyonu ve Hedef Programlama ile planlanması,
- Abhishek vd. (2017), memnuniyet fonksiyonu, Bulanık Çıkarım sistemi ve Taguchi yaklaşımını birleştiren makine performans optimizasyonu,
- Nechi vd. (2019), Hedef Programlama ve memnuniyet fonksiyonları ile sürdürülebilir kalkınma yönetimi şeklinde özetlenebilir.

2.1.2. Bütünleştirici Referans Noktası Yöntemi

Standart Hedef Programlama yöntemi, objektif amaçları tam ve deterministik olarak ele alır. Ancak parametrelerinin bulanık, kesin olmadığı veya stokastik olabildiği bazı karar verme durumları vardır. Literatürde kesin olmayan ve bulanık değerlerle ilgilenen üç farklı Hedef Programlama türü; Bulanık Hedef Programlama, Aralık Değerli Hedef Programlama ve memnuniyet fonksiyonu ile Hedef Programlama önerilmiştir. Ancak Bulanık ve Aralık Değerli Hedef Programlama, karar verici tercihlerini açık olarak dikkate almamaktadır. Bulanık ve Aralık Değerli Hedef Programlama yöntemleri, doğrusal ve simetrik olan ceza fonksiyonları ve üyelik durumları ile ilgilenirler. Bu fonksiyonlar, hedeften sapmanın merkezi noktaya olan uzaklığını dikkate almaktadırlar. Bu yöntemler, tüketici tercihlerini modellemekten çok hedef değerden kesin olmayan sapmaları vurgularlar (Cherif vd., 2008: 1085).

Martel ve Aouni (1990) tarafından tanıtılan memnuniyet fonksiyonu, Bulanık Hedef Programlamada kullanılan üyelik fonksiyonu ve Aralık Değerli Hedef programlamada kullanılan ceza fonksiyonu gibi doğrusal ve simetrik olmayı gerektirmez (Cherif vd., 2008: 1086). Şekil 5'te memnuniyet fonksiyonunun eşik değerlerini içeren

genel şekline yer verilmiştir. $S(x)$, sapma miktarı x ile ilgili memnuniyet fonksiyonunu, α_{iv} , α_{i0} ve α_{id} sırasıyla farksızlık, memnuniyetsizlik ve reddetme eşik değerlerini göstermektedir.



Şekil 5. Eşik Değerleri ile Memnuniyet Fonksiyonu

Şekil 5'e göre karar verici, sapma değeri d_i 'nin α_{id} üzerinde olması durumunda tamamen memnun olacaktır. Sapma değerinin $d_i \in [\alpha_{i0}, \alpha_{id}]$ olması durumunda karar vericinin memnuniyet seviyesi artan hızda olacaktır. Ayrıca sapma değeri d_i 'nin $[0, \alpha_{iv}]$ aralığında yer alması durumunda karar verici, tamamen kayıtsız kalacaktır (Abhishek vd., 2017: 3505).

Memnuniyet fonksiyonunun eşik değerleri, bu tez çalışmasında önerilen IRPA yönteminde referans kümeden uzaklıkların hesaplanmasındaki temel yaklaşım için kullanılmıştır. Alternatiflerin referans kümeden uzaklıklarının, memnuniyet derecesi ile doğrusal olmayan bir şekilde ilişkili olduğu varsayılmıştır. Referans kümeden uzaklıklar değerlendirilirken memnuniyet fonksiyonundaki eşik değer yaklaşımı, IRPA yönteminin ağırlıklandırma aşamasında kullanılmıştır. Karar vericinin isteklerine ve ihtiyaçlarına daha fazla uygunluk gösterecek memnuniyet fonksiyonu temelli IRPA yönteminin uygulanabilmesi için öncelikle ÇKKV probleminde m adet alternatifin ($i = 1, 2, \dots, m$) ve n adet kriterin ($j = 1, 2, \dots, n$) olduğu varsayılmıştır. Bu varsayım altında IRPA yöntemi için şu işlem adımlarının izlenmesi gerekmektedir:

Adım 1: IRPA yönteminde de diğer yöntemlerde olduğu gibi ÇKKV problemi için karşılaştırma kriterleri ve alternatifler belirlendikten sonra Eşitlik (1.4)'te gösterildiği gibi karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Alternatiflerin karşılaştırılması amacıyla her bir kriter için Referans Değerler (*Referance Values, RV*) belirlenir. Referans değerler, karar vericiden karar vericiye değişebilmekte ve alternatifleri değerlendirirken kişisel optimizasyon kısıtlarının belirlenebilmesine imkan tanımaktadır. Referans değerler ile ilgili satır matrisi, Eşitlik (2.2)'de gösterilmiştir.

$$RV = [rv_{1j}]_{1 \times n} = [rv_{11} \quad \cdots \quad rv_{1j}]; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

Referans değer, karar matrisindeki değerlerin kriter bazında ortalaması olabilir. Ayrıca referans değer, kriter değerlerinin minimumu veya maksimumu olarak veya karar vericinin bilgi ve deneyimine göre herhangi bir değer olarak da belirlenebilir.

Adım 3: Karar matrisi, vektör normalizasyonu yöntemi kullanılarak normalize edilir ve Eşitlik (2.3)'te gösterilen normalize edilmiş karar matrisi (N) bulunur. Karar matrisi elemanlarının Öklid uzaklıkları toplamı ile normalize edilmesi ve normalize edilmiş karar matrisi elemanlarının hesaplanması (n_{ij}), Eşitlik (2.4)'te gösterilmiştir.

$$N = [n_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} n_{11} & \cdots & n_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{m1} & \cdots & n_{mn} \end{bmatrix}; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.3)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^m x_{ij}^2) + rv_{1j}^2}}; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.4)$$

Adım 4: Eşitlik (2.5)'te gösterilen Normalize Edilmiş Referans Değerler (*Normalized Referance Values, NRV*) satır matrisi elemanları (nr_{1j}) da benzer şekilde Eşitlik (2.6)'da gösterildiği gibi alternatiflerin karar matrisinden elde edilen Öklid uzaklıkları ile normalize edilir.

$$NRV = [nr_{1j}]_{1 \times n} = [nr_{11} \quad \cdots \quad nr_{1n}]; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.5)$$

$$nr_{1j} = \frac{rv_{1j}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^m x_{ij}^2) + rv_{1j}^2}}; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.6)$$

Adım 5: Normalize edilmiş performans değerleri ile referans değerler arasındaki farklar belirlenir. Eşitlik (2.7)'de gösterilen Fark Matrisi (*Difference Matrix, DF*) hesaplanır. Fark matrisinin her elemanı (df_{ij}), Eşitlik (2.8)'de gösterildiği gibi normalize

edilmiş karar matrisi elemanlarından normalize edilmiş referans değerler çıkarılarak hesaplanır.

$$DF = [df_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} df_{11} & \cdots & df_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ df_{m1} & \cdots & df_{mn} \end{bmatrix}; \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (2.7)$$

$$df_{ij} = n_{ij} - nrv_{1j}; \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (2.8)$$

Adım 6: Fark matrisinin hesaplanmasının ardından Eşitlik (2.9)'da gösterilen Pozitif Fark Matrisi (*Positive Distance Matrix*, DF^+) ve Eşitlik (2.12)'de gösterilen Negatif Fark Matrisi (*Negative Distance Matrix*, DF^-) hesaplanır. Bu hesaplamalar yapılırken kriterlerin yönleri dikkate alınır. Buna göre Pozitif Fark Matrisi elemanları, fayda yönlü kriterler için Eşitlik (2.10) ve maliyet yönlü kriterler için Eşitlik (2.11) kullanılarak belirlenir. Benzer şekilde Negatif Fark Matrisi elemanları, fayda yönlü kriterler için Eşitlik (2.13) ve maliyet yönlü kriterler için Eşitlik (2.14) kullanılarak belirlenir.

$$DF^+ = [df_{ij}^+]_{m \times n} = \begin{bmatrix} df_{11}^+ & \cdots & df_{1n}^+ \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ df_{m1}^+ & \cdots & df_{mn}^+ \end{bmatrix}; \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (2.9)$$

$$df_{ij}^+ = \begin{cases} \frac{df_{ij}}{NRV_j}, & df_{ij} > 0 \\ 0, & df_{ij} \leq 0 \end{cases} \quad (2.10)$$

$$df_{ij}^+ = \begin{cases} 0, & df_{ij} \geq 0 \\ \left| \frac{df_{ij}}{NRV_j} \right|, & df_{ij} < 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

$$DF^- = [df_{ij}^-]_{m \times n} = \begin{bmatrix} df_{11}^- & \cdots & df_{1n}^- \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ df_{m1}^- & \cdots & df_{mn}^- \end{bmatrix}; \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (2.12)$$

$$df_{ij}^- = \begin{cases} \left| \frac{df_{ij}}{NRV_j} \right|, & df_{ij} < 0 \\ 0, & df_{ij} \geq 0 \end{cases} \quad (2.13)$$

$$df_{ij}^- = \begin{cases} 0, & df_{ij} \leq 0 \\ \frac{df_{ij}}{NRV_j}, & df_{ij} > 0 \end{cases} \quad (2.14)$$

Adım 7: Eşitlik (2.15)'te gösterilen Ağırlıklı Pozitif Fark Matrisi (*Weighted Pozitif Difference Matrix*, WDF^+) ve Eşitlik (2.17)'de gösterilen Ağırlıklı Negatif Fark Matrisi (*Weighted Negative Difference Matrix*, WDF^-) olmak üzere Ağırlıklı Fark Matrisleri (*Weighted Difference Matrix*, WDF) hesaplanır. Bu matris elemanlarının hesaplanmasında kriterlerin ağırlıkları (w_j), Eşitlik (2.16) ve (2.18)'de gösterildiği gibi hem üstel hem de çarpımsal şekilde kullanılmıştır. Başka bir deyişle, üstel ve çarpımsal ağırlıklandırma yapılmıştır. Kriter ağırlıklarının, Eşitlik (1.5)'teki kısıtı sağladığı varsayılmıştır.

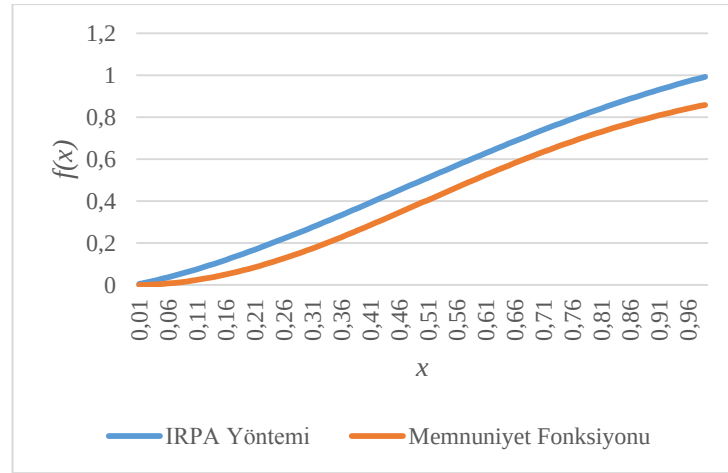
$$WDF^+ = [wdf_{ij}^+]_{m \times n} = \begin{bmatrix} wdf_{11}^+ & \cdots & wdf_{1n}^+ \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ wdf_{m1}^+ & \cdots & wdf_{mn}^+ \end{bmatrix}; \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (2.15)$$

$$wdf_{ij}^+ = (w_j * DF^+)^{(1-w_j)} \quad (2.16)$$

$$WDF^- = [wdf_{ij}^-]_{m \times n} = \begin{bmatrix} wdf_{11}^- & \cdots & wdf_{1n}^- \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ wdf_{m1}^- & \cdots & wdf_{mn}^- \end{bmatrix}; \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (2.17)$$

$$wdf_{ij}^- = (w_j * DF^-)^{(1-w_j)} \quad (2.18)$$

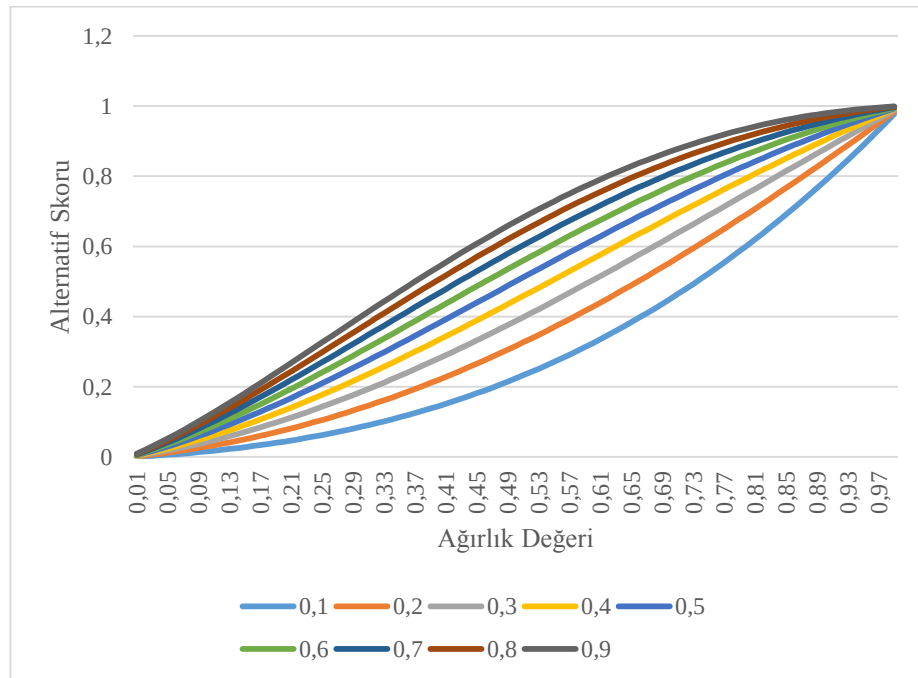
Eşik değer yaklaşımına sahip memnuniyet fonksiyonu ve IRPA yönteminin ağırlıklandırma işlem basamağının varsayımsal örneği, Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'da karar problemindeki herhangi bir kriterin ağırlığı ve memnuniyet fonksiyonu standart sapma değeri 0,5 olarak alınmıştır. Yatay eksen, IRPA yöntemi için Fark Matrisi elemanlarının değişimi, memnuniyet fonksiyonu için ise Eşitlik (2.1)'de gösterilen x değerinin (iki alternatif arasındaki tercih edilme farklılığı) değişimi gösterilmiştir. Dikey eksen ise IRPA yöntemi için Fark Matrisi elemanlarının, Eşitlik (2.16)'da gösterilen performans skoru ve memnuniyet fonksiyonuna ait alternatifler arasındaki performans skoru farklılığı gösterilmiştir.



Şekil 6. IRPA Yönteminde Uzaklıkların Ağırlıklandırılması ve Memnuniyet Fonksiyonu

IRPA yönteminin diğer ÇKKV yöntemlerinden temel farklılığı, ağırlıklandırma işlem basamağında memnuniyet fonksiyonuna benzer bir yapının kullanılmasıdır. Varsayımsal örnek dikkate alındığında IRPA yönteminin ağırlıklandırma işlem basamağı ve memnuniyet fonksiyonunun paralel yapısı Şekil 6'da gösterilmiştir.

IRPA yönteminde Fark Matrisi elmanlarının, kriter ağırlıklarının ve dolayısı ile Ağırlıklı Pozitif veya Negatif Fark Matrisi elemanlarının değişimi Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Ağırlık Değerleri için Alternatif Skorlarının Duyarlılığı

Şekil 7 incelediğinde öncelikle Ağırlıklı Fark Matrisi elamanlarının, düşük kriter ağırlıklarında konveks bir yapıda olduğu ve kriter ağırlık değerleri yükseldikçe konveks bir yapıdan konkav bir yapıya geçtiği görülmektedir. Dolayısıyla kriter ağırlık değerleri 0,5'ten küçük olduğunda, düşük Fark Matrisi elemanları için IRPA yönteminin ayırt ediciliği azalmaktadır. Ayırt edicilik, kriter ağırlık değerleri 0,5'in üzeri olduğunda artmaktadır. Bu sayede IRPA yönteminin doğrusal olmayan ağırlıklandırma ilişkisi, memnuniyet fonksiyonu eşik değerlerine benzer yapıda ağırlık değerleri ile modellenmesine imkân tanımaktadır. Eşik değerler, kriter ağırlık seviyeleri ile ters orantılıdır. Başka bir deyişle, kriter ağırlık değerleri arttıkça eşik değerin azaldığı, kriter ağırlık değerleri azaldıkça eşik değerin yükseldiği görülmektedir.

Adım 8: Her bir alternatif için Eşitlik (2.19)'da gösterilen Pozitif Uzaklık (*Positive Distance, PD*) ve Eşitlik (2.21)'de gösterilen Negatif Uzaklık (*Negative Distance, ND*) matrisleri elemanları pd_i ve nd_i sırasıyla Eşitlik (2.20) ve (2.22) kullanılarak hesaplanır.

$$PD = [pd_i]_{m \times 1} = \begin{bmatrix} pd_{11} \\ \vdots \\ pd_{in} \end{bmatrix}; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.19)$$

$$pd_i = \sum_{j=1}^n wdf_{ij}^+ \quad (2.20)$$

$$ND = [nd_i]_{m \times 1} = \begin{bmatrix} nd_{11} \\ \vdots \\ nd_{in} \end{bmatrix}; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.21)$$

$$nd_i = \sum_{j=1}^n wdf_{ij}^- \quad (2.22)$$

Adım 9: Her bir alternatif için Eşitlik (2.23)'te gösterilen Sıralama Değerleri (*Ranking Scores, RS*) hesaplanır. Bu hesaplamada, alternatiflerin pozitif ve negatif uzaklıkları dikkate alınır. Sıralama değerleri için gerekli hesaplama, Eşitlik (2.24)'teki gibidir.

$$RS = [rs_i]_{m \times 1} = \begin{bmatrix} rs_1 \\ \vdots \\ rs_n \end{bmatrix}; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.23)$$

$$rs_i = \frac{PD_i - ND_i}{2} \quad (2.24)$$

Adım 10: Alternatifler, sıralama değerlerine (rs_i) göre büyükten küçüğe sıralanır. Yöntemin sonuçlarına göre en büyük rs_i değeri, en iyi alternatifi; en küçük rs_i değeri ise en kötü alternatifi gösterir.

IRPA yöntemi de dahil olmak üzere tüm yöntemlere ait işlem adımlarının sınıflandırılması Tablo 17’de verilmiştir. Tablo 17 incelendiğinde IRPA yönteminin ve diğer yöntemlerin işlem adımlarının birbirlerinden önemli derecede farklılık oluşturmadığı, aksine IRPA yönteminin diğer yöntemlerle benzer işlem adımları içerdiği görülmektedir. IRPA yönteminin diğer yöntemlerden en belirgin farklılığı, doğrusal olmayan ağırlıklandırmada memnuniyet fonksiyonu yaklaşımını kullanmasıdır. Yöntemin en önemli farklılıklarından biri, ideal çözüme uzaklıkların oransal bir şekilde belirlenmesidir. İdeal çözüme uzaklıklar, sadece EDAS yönteminde oransal olarak hesaplanmakta ve IRPA yöntemi, referans noktası yaklaşımı ve doğrusal olmayan ağırlıklandırma ile EDAS yönteminden farklılaşmaktadır.

Tablo 17. IRPA Yönteminin Diğer Yöntemler ile Benzerlikleri ve Farklılıkları

İşlem Basamağı Gruplandırması	YÖNTEM														
	SAW	TOPSIS	GRA	TODIM	COPRAS	VIKOR	MOORA-I	MOORA-II	ARAS	WASPAS	MAIRCA	EDAS	RIM	CODAS	DNBMA
Doğrusal: Maks. Normalizasyonu	+									+				+	+
Doğrusal: Toplam Normalizasyonu				+	+				+						
Doğrusal: Maks.-Min. Normalizasyonu			+			+					+		+		
Doğrusal: Ort. Normalizasyonu												+			
Vektör Normalizasyonu		+					+	+							+
Referans Kümesi Yaklaşımı			+					+	+				+		+
P&N* Uzaklıkların Vektörel Hesaplanması		+											+	+	
P&N Uzaklıkların Toplamsal Hesaplanması					+	+	+		+	+		+			
P&N Uzaklıkların Oransal Hesaplanması															+
P&N Uzaklıkların Sıralamalara Göre Hesaplanması															+
P&N Uzaklıkların Mutlak Değer ile Hesaplanması			+											+	
P** Uzaklıkların Toplamsal Hesaplanması											+				
P&N Uzaklıkların İkili Karşılaştırmalar ile Hesaplanması				+											
Doğrusal Ağırlıklandırma	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Doğrusal Olmayan Ağırlıklandırma				+						+					+
P&N Uzaklıklara Toplamsal Yaklaşım	+			+			+		+	+	+	+		+	+
P&N Uzaklıklara Çarpımsal Yaklaşım										+				+	
P&N Uzaklıklara Oransal Yaklaşım		+	+		+	+						+	+		
P&N Uzaklıklara Vektörel Yaklaşım															+
Tchebycheff Uzaklık Karşılaştırması								+							
Taxi-cab Uzaklık														+	
Farklı Girdi Değişkeni			ξ	θ		ν				λ				τ	φ

* P&N: Pozitif ve Negatif
 ** P: Pozitif

2.2. IRPA Yönteminin Diğer ÇKKV Yöntemleri ile Karşılaştırmalı Analizi

Çalışmanın bu bölümünde IRPA yönteminin diğer yöntemler ile karşılaştırılmasında, hem açıklayıcı bir örnek uygulama olması hem de farklı ağırlık kümesi değerlerine göre yöntemlerin duyarlılıklarının gösterilmesi amacıyla Keshavarz Ghorabae vd.'nin 2015 yılındaki çalışmalarındaki veri kümesi kullanılmıştır. Bu veri kümesi, CODAS yönteminin önerildiği çalışmada da kullanılmıştır. Yapılan karşılaştırma ile IRPA yönteminin diğer yöntemler ile Spearman korelasyon değerlerinin benzerliğinin ve ortalamalar üzeri korelasyon değerlerine sahip olduğunun gösterilmesi hedeflenmiştir.

Keshavarz Ghorabae vd. (2015) çalışmalarında, EDAS yöntemini temel almışlar ve aynı veri kümesini kullanarak VIKOR, TOPSIS, SAW ve COPRAS yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırma yapmışlardır. Bu tez çalışmasında ise IRPA yöntemi; EDAS, VIKOR, TOPSIS, SAW ve COPRAS yöntemlerine ek olarak GRA, TODIM, MOORA (I ve II), ARAS, WASPAS, MAIRCA, RIM, CODAS ve DNBMA yöntemleri ile de karşılaştırılmıştır. Ayrıca literatürde aynı kapsamda değerlendirilen;

- COCOSO yöntemi, WASPAS yönteminin uzantısı olması ve diğer yöntemlerle olan uyumsuzluğundan,
- MOORA – III yöntemi, karşılaştırmalardaki MOORA yöntemi ağırlığının arttırılmaması amacıyla ve kısmi olarak üstel ağırlıklandırma ile WASPAS yöntemine benzemesi nedenleriyle,
- Değiştirilmiş Benzerlik Esaslı Yöntem (Modified Similarity-Based Method, MSBM) yöntemi, diğer yöntemlerle negatif korelasyona sahip olacak derecede uyumsuz olduğundan,
- Operasyonel Rekabet Gücü (Operational Competitiveness Rating, OCRA) yöntemi de kendi içinde alternatiflere bağlı sonuç değişkenliğinden dolayı karşılaştırmalara dâhil edilmemiştir.

Keshavarz Ghorabae vd. (2015)'in çalışmalarında kullandıkları problem, 7 karşılaştırma kriterini ($C_1, C_2, \dots, C_7$) ve 10 alternatifi ($A_1, A_2, \dots, A_{10}$) içermektedir. Karşılaştırma kriterlerinden C_1, C_2 ve C_3 fayda kriterleri iken C_4, C_5, C_6 ve C_7 kriterleri

maliyet kriterleri olarak belirlenmiştir. Alternatiflerin ve kriterlerin karşılaştırma değerlerini içeren karar matrisi, Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 18. Karar Matrisi

Alternatifler	Kriterler						
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
A ₁	23	264	2,37	0,05	167	8900	8,71
A ₂	20	220	2,2	0,04	171	9100	8,23
A ₃	17	231	1,98	0,15	192	10800	9,91
A ₄	12	210	1,73	0,2	195	12300	10,21
A ₅	15	243	2	0,14	187	12600	9,34
A ₆	14	222	1,89	0,13	180	13200	9,22
A ₇	21	262	2,43	0,06	160	10300	8,93
A ₈	20	256	2,6	0,07	163	11400	8,44
A ₉	19	266	2,1	0,06	157	11200	9,04
A ₁₀	8	218	1,94	0,11	190	13400	10,11

Ayrıca yazarlar, kriterler için farklı ağırlık değerlerini içeren 7 adet kriter ağırlık kümesi belirlemişlerdir. Bu tez çalışmasında ise belirlenen 7 ağırlık kümesine ek olarak kriterlere *eşit ağırlık* atanabilmesi durumu da dikkate alınmıştır. Böylece farklı ağırlık küme sayısı, 8’e çıkmıştır. Tablo 19’da tüm kriter ağırlık kümeleri gösterilmiştir.

Tablo 19. 8 Farklı Kriter Ağırlık Kümesi

Ağırlık Kümeleri	Kriter Ağırlıkları						
	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆	w ₇
Küme 1	0,250	0,214	0,179	0,143	0,107	0,071	0,036
Küme 2	0,182	0,212	0,182	0,152	0,121	0,091	0,061
Küme 3	0,139	0,167	0,194	0,167	0,139	0,111	0,083
Küme 4	0,108	0,135	0,162	0,189	0,162	0,135	0,108
Küme 5	0,083	0,111	0,139	0,167	0,194	0,167	0,139
Küme 6	0,061	0,091	0,121	0,152	0,182	0,212	0,182
Küme 7	0,036	0,071	0,107	0,143	0,179	0,214	0,250
Küme 8	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143

Çalışmanın devamında Tablo 18 ve 19’da gösterilen alternatiflerin karşılaştırma değerleri ve ağırlık kümeleri kullanılarak IRPA yöntemine ve karşılaştırmaya alınan yöntemlere ait sonuçlar verilmiştir.

2.2.1. SAW Yöntemi Çözümü

Keshavarz Ghorabae vd. (2015)’nin çalışmalarında kullanılan ve Tablo 18’de verilen ÇKKV problemi, SAW yöntemi ile çözülmüştür. Çözüm esnasında Tablo 19’da verilen 8 farklı ağırlık kümesi dikkate alınmış ve her bir ağırlık kümesi kullanılarak alternatiflerin sıralamaları elde edilmiştir. Sıralama sonuçları, MATLAB programı ile

bulunmuş ve Tablo 20’de gösterilmiştir. SAW yönteminin çözümünde kullanılan MATLAB kodu ise Ek 1’de verilmiştir.

Tablo 20. SAW Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A ₁	1	1	1	1	1	2	2	1
A ₂	3	2	2	2	2	1	1	2
A ₃	6	6	6	6	6	6	6	6
A ₄	9	10	10	10	10	10	10	10
A ₅	7	7	7	7	7	7	7	7
A ₆	8	8	8	8	8	8	8	8
A ₇	2	3	3	3	3	3	3	3
A ₈	4	4	4	4	4	4	4	4
A ₉	5	5	5	5	5	5	5	5
A ₁₀	10	9	9	9	9	9	9	9

SAW yöntemi sonuçlarının gösterildiği Tablo 20 incelendiğinde Küme 1 – Küme 2, Küme 5 – Küme 6 ve Küme 7 – Küme 8 ağırlık kümeleri geçişlerinde alternatiflerin sıralama farklılıkları bulunmaktadır. En yüksek değişimin Küme 1 ve Küme 2 arasında olduğu ve A₂, A₄, A₇ ve A₁₀ alternatiflerinden kaynaklandığı görülmektedir. Benzer şekilde Küme 7 – Küme 8 geçişi de en düşük değişimin olduğu küme geçişidir. Ayrıca Küme 2 – Küme 3, Küme 3 – Küme 4, Küme 4 – Küme 5 ve Küme 6 – Küme 7 geçişleri arasında sıralama farklılıkları oluşmamıştır. SAW yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı düşük seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.2.2. TOPSIS Yöntemi Çözümü

Keshavarz Ghorabae vd. (2015)’nin çalışmalarında kullanılan ve Tablo 18’de verilen ÇKKV problemi, TOPSIS yöntemi ile çözülmüştür. Çözümde kullanılan MATLAB kodu, Ek 2’de verilmiştir. TOPSIS yönteminden elde edilen 8 ağırlık kümesine ait alternatif sıralamaları, Tablo 21’de gösterilmiştir.

Tablo 21. TOPSIS Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A ₁	1	1	1	1	1	1	1	1
A ₂	4	4	3	2	2	2	2	3
A ₃	6	6	9	9	9	9	9	8
A ₄	10	10	10	10	10	10	10	10
A ₅	7	7	8	8	8	8	8	9
A ₆	8	8	7	7	7	7	7	6
A ₇	2	2	2	3	3	3	3	2
A ₈	3	3	4	5	5	5	5	4
A ₉	5	5	5	4	4	4	4	5
A ₁₀	9	9	6	6	6	6	6	7

Tablo 21 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için en yüksek değişimin, Küme 2 ve Küme 3 arasında olduğu ve A₂, A₃, A₅, A₆, A₈ ve A₁₀ alternatiflerinden kaynaklandığı görülmektedir. Burada A₃ ve A₁₀ alternatiflerinin sıralamada, 3 sıra birden farklılık göstermesi dikkat çekmektedir. Küme 1 – Küme 2, Küme 4 – Küme 5, Küme 5 – Küme 6 ve Küme 6 – Küme 7 geçişleri arasında sıralama farklılıkları oluşmamıştır. Ayrıca 4 farklı küme geçişinde sıralamalar değişmemesine rağmen A₃ ve A₁₀ alternatiflerinin sıralamalarındaki değişim nedeniyle TOPSIS yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı yüksek seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.2.3. GRA Yöntemi Çözümü

Keshavarz Ghorabae vd. (2015)'nin çalışmalarında sunulan ÇKKV problemi, GRA yöntemi dikkate alınarak çözülmüştür. GRA yöntemi için Tablo 18'de gösterilen alternatiflerin karşılaştırma değerlerinin maksimum ve minimum değerleri, referans değeri olarak kullanılmış ve ksi değeri (ξ), 0,5 olarak alınmıştır. 8 ağırlık kümesi için elde edilen alternatif sıralamaları, Tablo 22'de gösterilmiştir. GRA yönteminin uygulanmasında kullanılan MATLAB kodu, Ek 3'te verilmiştir.

Tablo 22. GRA Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A ₁	1	1	1	1	1	1	2	1
A ₂	5	5	5	4	3	2	1	4
A ₃	7	7	7	7	7	6	8	7
A ₄	10	10	10	10	10	10	10	10
A ₅	6	6	6	6	6	7	6	6
A ₆	8	8	8	8	8	8	7	8
A ₇	2	2	2	2	2	4	4	2
A ₈	3	3	3	3	4	3	3	3
A ₉	4	4	4	5	5	5	5	5
A ₁₀	9	9	9	9	9	9	9	9

Tablo 22 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için en yüksek değişimin, Küme 7 ve Küme 8 arasında olduğu ve A_1 , A_2 , A_3 , A_6 ve A_7 alternatiflerinden kaynaklandığı görülmektedir. Buradaki en dikkat çekici değişim ise A_2 alternatifinin sıralamada 3 sıradan birden farklılık göstermesidir. Küme 1 – Küme 2 ve Küme 2 – Küme 3 geçişleri arasında sıralama farklılıkları oluşmamıştır. GRA yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı çok yüksek seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.2.4. TODIM Yöntemi Çözümü

TODIM yöntemi ile Keshavarz Ghorabae vd. (2015)'nin çalışmalarında sunulan ÇKKV problemi ele alınmıştır. Tablo 18'de gösterilen alternatiflerin karşılaştırma değerlerinin 8 ağırlık kümesi için elde edilen sıralama sonuçları, Tablo 23'te gösterilmiştir. İkili karşılaştırmalarda kullanılan teta (θ) değeri, 1 olarak alınmıştır. Ek 4'te ise TODIM yöntemine ilişkin MATLAB kodları verilmiştir.

Tablo 23. TODIM Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A_1	1	1	1	1	1	1	1	1
A_2	2	3	3	3	3	3	3	3
A_3	7	6	6	6	6	6	6	6
A_4	10	10	10	10	10	10	10	10
A_5	6	7	7	7	7	7	7	7
A_6	8	8	8	8	8	8	8	8
A_7	3	2	2	2	2	2	2	2
A_8	4	4	4	4	4	4	4	4
A_9	5	5	5	5	5	5	5	5
A_{10}	9	9	9	9	9	9	9	9

Tablo 23 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için tek değişimin, Küme 1 ve Küme 2 arasında olduğu ve A_2 , A_3 , A_5 , ve A_7 alternatiflerinin tek sıra değişikliğinden kaynaklandığı görülmektedir. Buradaki en dikkat çekici nokta, sıralama farklılıkları arasındaki değişimin sadece bir defa gerçekleşmesi ve aynı sıralamayla devam etmesidir. TODIM yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı çok düşük seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.2.5. COPRAS Yöntemi Çözümü

COPRAS yöntemi ile Keshavarz Ghorabae vd. (2015)'nin çalışmalarında sunulan ÇKKV problemi ele alınmıştır. Benzer şekilde 8 ağırlık kümesi için

alternatiflerin sıralaması elde edilmiş ve sonuçlar, Tablo 24'te gösterilmiştir. Ek 5, COPRAS yönteminin MATLAB kodlarından oluşmaktadır.

Tablo 24. COPRAS Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A ₁	1	1	1	1	1	1	2	1
A ₂	3	3	2	2	2	2	1	2
A ₃	6	6	6	7	7	6	7	6
A ₄	10	10	10	10	10	10	10	10
A ₅	7	7	7	6	6	7	6	7
A ₆	8	8	8	8	8	8	8	8
A ₇	2	2	3	3	3	3	3	3
A ₈	4	4	4	4	4	4	4	4
A ₉	5	5	5	5	5	5	5	5
A ₁₀	9	9	9	9	9	9	9	9

Tablo 24 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için en yüksek değişimin, Küme 6 – Küme 7 ve Küme 7 – Küme 8 arasında olduğu ve A₁, A₂, A₃ ve A₅ alternatiflerinden kaynaklandığı görülmektedir. Burada alternatiflerin, sıralamada 1 sıra birden farklılık göstermesi dikkat çekmektedir. Küme 1 – Küme 2 ve Küme 4 – Küme 5 geçişleri arasında sıralama farklılıkları oluşmamıştır. Ayrıca 5 farklı küme geçişinde sıralamalar değişmemesine rağmen alternatif sıralamalarında çok büyük farklılıklar olmaması nedeniyle COPRAS yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı orta seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.2.6. VIKOR Yöntemi Çözümü

VIKOR yöntemi ile Keshavarz Ghorabae vd. (2015)'nin çalışmalarında sunulan ÇKKV problemi ele alınmıştır. 8 ağırlık kümesi için Ek 6'da gösterilen MATLAB kodlarının çalıştırılması ile elde edilen alternatiflere ilişkin sıralama sonuçları, Tablo 25'te gösterilmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanıldığı için yöntemin uygulamasında v değeri 0,5 olarak alınmıştır.

Tablo 25. VIKOR Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A ₁	2	2	2	1	1	1	1	1
A ₂	5	5	5	5	5	3	2	5
A ₃	7	7	7	8	8	6	8	7
A ₄	9	10	10	10	10	9	10	10
A ₅	6	6	6	6	6	7	6	6
A ₆	8	8	8	7	7	8	7	8
A ₇	1	1	1	2	2	2	3	2
A ₈	3	3	3	3	3	4	4	3
A ₉	4	4	4	4	4	5	5	4
A ₁₀	10	9	9	9	9	10	9	9

Tablo 25 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için en yüksek değişimin, Küme 5 – Küme 6 ve Küme 7 – Küme 8 arasında olduğu ve bu iki geçiş için hemen hemen tüm alternatiflerin sıralamalarında değişim olduğu görülmektedir. Buradaki en dikkat çekici değişim, A₂ alternatifinin sıralamada 2 ve 3 sıra birden farklılık göstermesidir. Küme 2 – Küme 3 ve Küme 4 – Küme 5 geçişleri arasında sıralama farklılıkları oluşmamıştır. VIKOR yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı çok yüksek seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.2.7. MOORA Yöntemi Çözümleri

2.2.7.1. MOORA – I Yöntemi Çözümü

Keshavarz Ghorabae vd. (2015)'nin çalışmalarında sunulan ÇKKV problemi, MOORA yöntemi önem katsayısı yaklaşımı ile ele alınmıştır. Ek 7'de gösterilen MATLAB kodları ile 8 ağırlık kümesi için MOORA – I yöntemi sıralama sonuçları, Tablo 26'da gösterilmiştir.

Tablo 26. MOORA -I Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A ₁	1	1	1	1	1	1	1	1
A ₂	4	4	3	3	2	2	2	3
A ₃	6	6	7	7	6	6	6	6
A ₄	10	10	10	10	10	10	10	10
A ₅	7	7	6	6	7	7	7	7
A ₆	8	8	8	8	8	8	8	8
A ₇	2	2	2	2	3	3	3	2
A ₈	3	3	4	4	4	4	4	4
A ₉	5	5	5	5	5	5	5	5
A ₁₀	9	9	9	9	9	9	9	9

Tablo 26 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için en yüksek değişimin Küme 2 – Küme 3 ve Küme 4 – Küme 5 arasında olduğu ve A₂, A₃, A₅ ve A₈ alternatiflerinden

kaynaklandığı görülmektedir. Bu yöntemde de alternatiflerin sıralamalarında en fazla 1 sıra farklılık göstermesi dikkat çekmektedir. Küme 1 – Küme 2, Küme 3 – Küme 4, Küme 5 – Küme 6 ve Küme 6 – Küme 7 geçişleri arasında sıralama değişiklikleri olmamıştır. MOORA – I yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı düşük seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.2.7.2. MOORA – II Yöntemi Çözümü

Keshavarz Ghorabae vd. (2015)'nin çalışmalarında sunulan ÇKKV problemi, MOORA - II yöntemi referans noktası yaklaşımı ile ele alınmıştır. Ek 8'de gösterilen MATLAB kodları ile 8 ağırlık kümesi için MOORA – II yöntemi sıralama sonuçları Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27. MOORA - II Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A ₁	1	1	1	1	1	1	2	2
A ₂	4	4	3	2	2	2	1	1
A ₃	8	8	9	9	9	7	6	9
A ₄	9	10	10	10	10	10	10	10
A ₅	6	7	8	8	8	6	7	8
A ₆	7	6	7	7	7	8	8	7
A ₇	2	2	2	3	3	3	3	3
A ₈	4	3	4	5	5	5	5	5
A ₉	5	5	5	4	4	4	4	4
A ₁₀	10	9	6	6	6	9	9	6

Tablo 27 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için en yüksek değişimin, sırasıyla Küme 7 – Küme 8 ve Küme 5 – Küme 6 arasında olduğu ve A₃, A₅, A₆ ve A₁₀ alternatiflerinden kaynaklandığı görülmektedir. En yüksek sıralama farklılığının 2 ve 3 sıralama değeri olarak A₂ ve A₁₀ alternatiflerinde olduğu göze çarpmaktadır. Küme 4 ve Küme 5 arasındaki geçişlerde, sıralama farklılığı olmamıştır. MOORA – II yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı en yüksek seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.2.8. ARAS Yöntemi Çözümü

Keshavarz Ghorabae vd. (2015)'nin çalışmalarında sunulan ÇKKV problemi, ARAS yöntemi ve Ek 9'da gösterilen MATLAB kodları ile ele alınmıştır. Referans değer olarak fayda kriterleri için maksimum ve maliyet kriterleri için minimum değerler

seçilmiştir. ARAS yöntemi ile 8 ağırlık kümesi için elde edilen sıralama sonuçları, Tablo 28’de gösterilmiştir.

Tablo 28. ARAS Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A ₁	1	1	1	2	2	2	2	1
A ₂	2	2	2	1	1	1	1	2
A ₃	6	6	6	6	6	6	6	6
A ₄	10	10	10	10	10	10	10	10
A ₅	7	7	7	7	7	7	7	7
A ₆	8	8	8	8	8	8	8	8
A ₇	3	3	3	3	3	3	3	3
A ₈	4	4	4	4	4	4	4	4
A ₉	5	5	5	5	5	5	5	5
A ₁₀	9	9	9	9	9	9	9	9

Tablo 28 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için değişimin, Küme 3 – Küme 4 ve Küme 7 – Küme 8 geçişlerinde olduğu ve A₁ ve A₂ alternatiflerinden kaynaklandığı görülmektedir. Sıralama değişiminin sadece bir sıra değeri olarak gerçekleştiği dikkat çekmektedir. Ayrıca ARAS yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı çok düşük seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.2.9. WASPAS Yöntemi Çözümü

Keshavarz Ghorabae vd. (2015)’nin çalışmalarında sunulan ÇKKV problemi, WASPAS yöntemi ile ele alınmıştır. Q değerleri için literatürde yaygın olarak kullanılan lambda (λ) değeri 0,5 alınarak birleştirilmiştir. Ek 10’da verilen MATLAB kodları kullanılarak elde edilen WASPAS yönteminin 8 ağırlık kümesine ilişkin sıralama sonuçları, Tablo 29’da gösterilmiştir.

Tablo 29. WASPAS Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A ₁	1	1	1	1	1	1	2	1
A ₂	3	2	2	2	2	2	1	2
A ₃	6	6	6	6	6	6	6	6
A ₄	10	10	10	10	10	10	10	10
A ₅	7	7	7	7	7	7	7	7
A ₆	8	8	8	8	8	8	8	8
A ₇	2	3	3	3	3	3	3	3
A ₈	4	4	4	4	4	4	4	4
A ₉	5	5	5	5	5	5	5	5
A ₁₀	9	9	9	9	9	9	9	9

Tablo 29 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için en yüksek değişimin, Küme 1 – Küme 2, Küme 6 – Küme 7 ve Küme 7 – Küme 8 arasında olduğu ve A_1 , A_2 ve A_7 alternatiflerinden kaynaklandığı görülmektedir. Diğer küme geçişleri arasında sıralama farklılıkları bulunamamaktadır. Buradaki değişimlerin birer sıra olduğu ve diğer yöntemlere göre değişimin daha düşük seviyede kaldığı görülmektedir. WASPAS yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı çok düşük seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.2.10. MAIRCA Yöntemi Çözümü

Keshavarz Ghorabae vd. (2015)'nin çalışmalarında sunulan ÇKKV problemi, MAIRCA yöntemi ile ele alınmıştır. Ek 11'de verilen MATLAB kodu, MAIRCA yöntemi için oluşturulmuştur. Bu kodlar kullanılarak 8 ağırlık kümesi için elde edilen sıralama sonuçları, Tablo 30'da gösterilmiştir.

Tablo 30. MAIRCA Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A_1	1	1	1	1	1	1	1	1
A_2	5	5	5	5	4	3	2	5
A_3	7	7	7	7	7	7	8	7
A_4	10	10	10	10	10	10	10	10
A_5	6	6	6	6	6	6	6	6
A_6	8	8	8	8	8	8	7	8
A_7	2	2	2	2	2	2	3	2
A_8	3	3	3	3	3	4	4	3
A_9	4	4	4	4	5	5	5	4
A_{10}	9	9	9	9	9	9	9	9

Tablo 30 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için en yüksek değişimin, Küme 7 - Küme 8 arasında olduğu ve A_2 , A_3 , A_6 , A_7 , A_8 ve A_9 alternatiflerinden kaynaklandığı görülmektedir. En yüksek değişimin ise 3 sıra değeri farklılığı ile A_2 alternatifinde olduğu dikkat çekmektedir. Küme 1 – Küme 2, Küme 2 – Küme 3 ve Küme 3 – Küme 4 geçişleri arasında sıralama farklılıkları oluşmamıştır. Ayrıca MAIRCA yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı orta seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.2.11. EDAS Yöntemi Çözümü

Keshavarz Ghorabae vd. (2015)'nin çalışmalarında sunulan ÇKKV problemi, Ek 12'de verilen MATLAB kodları kullanılarak EDAS yöntemine ilişkin 8 ağırlık kümesi için sıralama sonuçları, Tablo 31'de gösterilmiştir.

Tablo 31. EDAS Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A ₁	1	1	1	1	1	1	1	1
A ₂	4	4	3	2	2	2	2	3
A ₃	6	6	7	7	6	6	6	6
A ₄	10	10	10	10	10	10	10	10
A ₅	7	7	6	6	7	7	7	7
A ₆	8	8	8	8	8	8	8	8
A ₇	2	2	2	3	3	3	3	2
A ₈	3	3	4	4	4	4	4	4
A ₉	5	5	5	5	5	5	5	5
A ₁₀	9	9	9	9	9	9	9	9

Tablo 31 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için en yüksek değişimin, Küme 2 – Küme 3 arasındadır. Bu değişimin nedeni A₂, A₃, A₅ ve A₈ alternatiflerindeki sıralama farklılıklarıdır. Bu sıralamalarda dikkat çeken diğer bir husus da sıralama değerlerinde birer fark olmasıdır. Küme 1 – Küme 2, Küme 5 – Küme 6 ve Küme 6 – Küme 7 geçişleri arasında sıralama farklılıkları oluşmamıştır. Ayrıca EDAS yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı düşük seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.2.12. RIM Yöntemi Çözümü

Keshavarz Ghorabae vd. (2015)'nin çalışmalarında sunulan ÇKKV problemi, RIM yöntemi için oluşturulan ve Ek 13'te verilen MATLAB kodları ile ele alınmıştır. Referans değer aralıkları; % 5, % 10 ve % 20'lik aralıklar olarak denenmiştir. Referans değer aralıkları olarak diğer yöntemlerle en yüksek korelasyonu veren % 10 aralık değeri seçilmiştir. Buna göre referans değeri olarak fayda kriterleri için maksimum değer ve maksimum değer % 90'ı ve maliyet kriterleri için minimum değer ve minimum değer % 110'u kullanılmıştır. RIM yöntemi ile 8 ağırlık kümesi için elde edilen sıralama sonuçları, Tablo 32'de gösterilmiştir.

Tablo 32. RIM Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A ₁	1	1	1	1	1	1	1	1
A ₂	5	5	5	5	4	3	2	5
A ₃	7	7	7	7	8	6	8	7
A ₄	10	10	10	10	10	10	10	10
A ₅	6	6	6	6	6	8	7	6
A ₆	8	8	8	8	7	7	6	8
A ₇	2	2	2	2	2	2	3	2
A ₈	3	3	3	3	3	4	4	3
A ₉	4	4	4	4	5	5	5	4
A ₁₀	9	9	9	9	9	9	9	9

Tablo 32 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için en yüksek değişimin sırasıyla Küme 7 – Küme 8 ve Küme 5 – Küme 6 arasında olduğu görülmektedir. Küme 7 – Küme 8 arasındaki sıralama farklılıklarından sadece A₂, A₃, A₅, A₆, A₇, A₈ ve A₉ alternatifleri etkilenmişken, Küme 5 – Küme 6 arasındaki sıralama farklılıklarından A₂, A₃, A₅ ve A₈ alternatifleri etkilenmiştir. Burada A₂ alternatifinde 3 sıra ve A₅, A₇ ve A₈ alternatiflerinde ise 2 sıra değişikliğinin olduğu dikkat çekmektedir. Küme 1 – Küme 2, Küme 2 – Küme 3 ve Küme 3 – Küme 4 geçişleri arasında sıralama farklılıkları oluşmamıştır. Ayrıca RIM yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı çok yüksek seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.2.13. CODAS Yöntemi Çözümü

Keshavarz Ghorabae vd. (2015)'nin çalışmalarında sunulan ÇKKV problemi, CODAS yöntemine göre Ek 14'te oluşturulan MATLAB kodları ile çözülmüştür. CODAS yöntemi ile 8 ağırlık kümesi için elde edilen sıralama sonuçları, Tablo 33'te gösterilmiştir. Yöntemin eşik değer (τ) parametresi 0,02 olarak alınmıştır.

Tablo 33. CODAS Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A ₁	1	1	1	2	2	2	2	1
A ₂	2	2	2	1	1	1	1	2
A ₃	6	6	6	6	6	6	6	6
A ₄	9	10	10	10	10	10	10	10
A ₅	7	7	7	7	7	7	7	7
A ₆	8	8	8	8	8	8	8	8
A ₇	3	3	3	3	3	3	3	3
A ₈	4	4	4	4	4	4	4	4
A ₉	5	5	5	5	5	5	5	5
A ₁₀	10	9	9	9	9	9	9	9

Tablo 33 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için en yüksek değişimin Küme 1 – Küme 2, Küme 3 – Küme 4 ve Küme 7 – Küme 8 arasında olduğu ve A_1 , A_2 , A_4 ve A_{10} alternatiflerinden kaynaklandığı görülmektedir. Ağırlık kümeleri arasındaki sıralama farklılığının, en fazla 1 sıralama değeri olduğu göze çarpmaktadır. Diğer kümeler arası geçişlerde sıralama farklılığı olmamıştır. Ayrıca CODAS yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı çok düşük seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.2.14. DNBMA Yöntemi Çözümü

Keshavarz Ghorabae vd. (2015)'nin çalışmalarında sunulan ÇKKV problemi, DNBMA yöntemi ile ele alınmıştır. Referans değer olarak fayda kriterleri için maksimum ve maliyet kriterleri için minimum değerler seçilmiştir. Yöntemin uygulama işlem adımlarında kullanılan ϕ (φ) katsayısı 0,5 olarak alınmıştır. Ek 15'te gösterilen MATLAB kodları ile çözülen ve 8 ağırlık kümesi için elde edilen sıralama sonuçları, Tablo 34'te gösterilmiştir.

Tablo 34. DNBMA Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A_1	1	1	1	1	1	1	1	1
A_2	5	5	5	5	4	3	2	5
A_3	7	7	7	8	8	6	8	7
A_4	9	10	10	10	10	10	10	10
A_5	6	6	6	6	6	7	6	6
A_6	8	8	8	7	7	8	7	8
A_7	2	2	2	2	2	2	3	2
A_8	3	3	3	3	3	4	4	3
A_9	4	4	4	4	5	5	5	4
A_{10}	10	9	9	9	9	9	9	9

Tablo 34 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için en yüksek değişimin Küme 7 - Küme 8 arasında olduğu ve A_2 , A_3 , A_6 , A_7 , A_8 ve A_9 alternatiflerinden kaynaklandığı görülmektedir. Sıralama farklılıklarındaki en yüksek değişimin, 3 sıra değeri farkıyla A_2 alternatifinde olduğu görülmektedir. Küme 2 – Küme 3 arasında sıralama değişiminin olmadığı göze çarpmaktadır. Ayrıca DNBMA yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı çok yüksek seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.2.15. IRPA Yöntemi Çözümü

Son olarak bu tez çalışmasında, IRPA yöntemi ile Keshavarz Ghorabae vd. (2015)'nin çalışmalarında sunulan ÇKKV problemi ele alınmıştır. IRPA yöntemine göre referans değerler, iki farklı şekilde değerlendirilmiştir:

- İlk olarak referans değer, ortalama olarak alınmış ve çalışmanın ilerleyen kısımlarında “IRPA (Ort)” adı altında gösterilmiştir.
- İkinci olarak referans değer, maksimum/minimum değerler olarak alınmış ve benzer şekilde çalışmada “IRPA (Min/Maks)” olarak adlandırılmıştır.

Problemin çözümüne ilişkin MATLAB kodları, Ek 16 ve Ek 17’de verilmiştir. IRPA yöntemi ile referans küme olarak ortalama değerlerin seçilmesi durumunda 8 ağırlık kümesi için elde edilen sıralama sonuçları, Tablo 35’te gösterilmiştir.

Tablo 35. IRPA (Ort) Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A ₁	1	1	1	1	1	1	1	1
A ₂	5	4	4	3	2	2	2	3
A ₃	6	6	6	6	6	6	6	6
A ₄	10	10	10	10	10	10	10	10
A ₅	7	7	7	7	7	7	8	7
A ₆	8	8	8	8	8	8	7	8
A ₇	2	2	2	2	3	3	3	2
A ₈	3	3	3	4	4	4	4	4
A ₉	4	5	5	5	5	5	5	5
A ₁₀	9	9	9	9	9	9	9	9

Tablo 35 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için en yüksek değişimin, Küme 7 - Küme 8 arasında olduğu ve A₂, A₅, A₆ ve A₇ alternatiflerinden kaynaklandığı görülmektedir. Burada alternatiflerin sıralamalarında en fazla 1 sıra değeri farklılık göstermesi dikkat çekmektedir. Küme 2 – Küme 3 ve Küme 5 – Küme 6 geçişleri arasında sıralama farklılıkları oluşmamıştır. Ayrıca 5 farklı küme geçişinde sıralamalar değişmesine rağmen alternatif sıralamalarında çok büyük farklılıklar olmaması nedeniyle IRPA (Ort) yöntemi sonuçlarının ağırlık kümeleri değişimine karşı orta seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

IRPA yöntemi ile referans küme olarak fayda kriterleri için maksimum ve maliyet kriterleri için minimum değerlerin seçilmesi durumunda 8 ağırlık kümesi kullanılarak hesaplanan sıralama sonuçları, Tablo 36’da gösterilmiştir.

Tablo 36. IRPA (Min/Maks) Yönteminden Elde Edilen Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	Ağırlık Kümeleri							
	Küme1	Küme2	Küme3	Küme4	Küme5	Küme6	Küme7	Küme8
A ₁	1	1	1	2	2	2	2	1
A ₂	3	2	2	1	1	1	1	2
A ₃	7	9	9	9	9	9	9	9
A ₄	10	10	10	10	10	10	10	10
A ₅	6	6	8	8	8	8	8	7
A ₆	8	7	7	7	7	7	6	6
A ₇	2	3	3	3	3	3	3	3
A ₈	4	4	4	5	5	5	4	4
A ₉	5	5	5	4	4	4	5	5
A ₁₀	9	8	6	6	6	6	7	8

Tablo 36 incelendiğinde farklı ağırlık kümeleri için en yüksek değişimin, Küme 1 – Küme 2 ve Küme 2 – Küme 3 arasında olduğu ve A₂, A₃, A₅, A₆, A₇ ve A₁₀ alternatiflerinden kaynaklandığı görülmektedir. Buradaki en dikkat çekici değişim, A₃, A₅ ve A₁₀ alternatiflerinin sıralamada 2 sıra birden farklılık göstermesidir. Küme 4 - Küme 5 ve Küme 5 - Küme 6 geçişleri arasında sıralama farklılıkları oluşmamıştır. Ayrıca IRPA (Min/Maks) yöntemi sonuçlarının, ağırlık kümeleri değişimine karşı yüksek seviyede bir sıralama değişimi gösterdiği söylenebilir.

2.3. ÇKKV Yöntemlerinin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Önceki bölümlerde dikkate alınan tüm yöntemlerin tüm ağırlık kümeleri için kümeler arası geçiş korelasyonlarının ortalamalarına Tablo 37’de yer verilmiştir. Buna göre her bir yöntemin her ağırlık kümesi değişiminden ortaya çıkan alternatif sıralamalarındaki korelasyonu hesaplanmış ve böylece yöntemlerin ağırlık değişimine duyarlılıkları ölçülmeye çalışılmıştır. Ağırlık küme sayısı 8 olduğu için ortalamalar alınırken 7 tane Spearman korelasyon katsayısı kullanılmıştır.

Tablo 37. IRPA Yöntemi (Ort ve Min/Maks) ve Diğer Yöntemlerin Ağırlık Kümesi Değişimi için Spearman Korelasyon Katsayısı Ortalamaları

Sıralama	Yöntem	Korelasyon Ort.	Değişim
1	MOORA – II	0,9437	En Yüksek
2	VIKOR	0,9619	Çok Yüksek
3	RIM	0,9654	Çok Yüksek
4,5	DNBMA	0,9688	Çok Yüksek
4,5	GRA	0,9688	Çok Yüksek
6	TOPSIS	0,9706	Yüksek
7	IRPA (Min/Maks)	0,9758	Yüksek
8	MAIRCA	0,9810	Orta
9	COPRAS	0,9879	Orta
10	IRPA (Ort)	0,9896	Orta
11,5	MOORA – I	0,9913	Düşük
11,5	EDAS	0,9913	Düşük
13	SAW	0,9931	Düşük
14,5	CODAS	0,9948	Çok Düşük
14,5	WASPAS	0,9948	Çok Düşük
16	ARAS	0,9965	Çok Düşük
17	TODIM	0,9965	Çok Düşük

Tablo 37 incelendiğinde, ağırlık kümelerinin değişimine karşı en hassas olan yöntemlerin sırasıyla MOORA – II, VIKOR, RIM, GRA ve DNBMA, TOPSIS, IRPA (Min/Maks), MAIRCA, COPRAS, IRPA (Ort), MOORA – I ve EDAS, SAW, WASPAS ve CODAS, ARAS ve TODIM yöntemi olduğu görülmektedir. Ağırlık değerlerine karşı duyarlılığın test edildiği bu uygulama sonucunda, IRPA (Ort) yönteminin karşılaştırmaya alınan yöntemlere göre orta seviyede bir benzerliğe sahip olduğu görülmektedir.

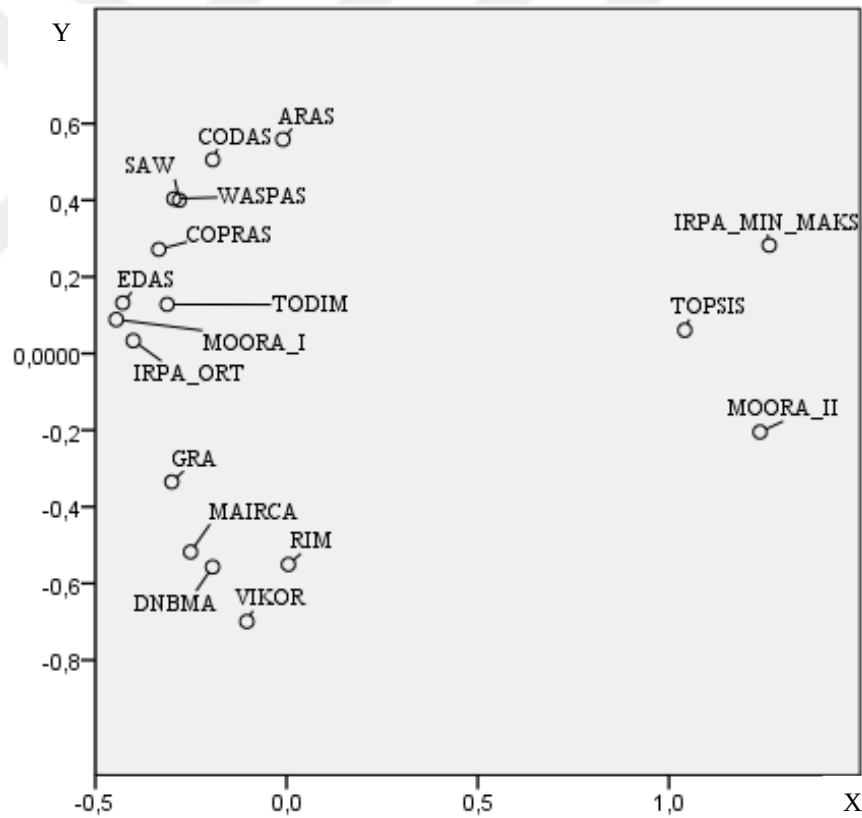
Yöntemlerin kendi içinde ağırlık değerlerine göre değişimlerinin incelendiği bu kısmın devamında, Spearman korelasyon katsayıları ortalamaları kullanılarak yöntemler birbirleriyle kıyaslanmıştır. Her ağırlık kümesi için yöntemlerin birbirleri ile olan 8 tane korelasyon değerinin ortalamaları alınmıştır. Elde edilen Spearman Korelasyon katsayısı ortalamalarına Tablo 38’de yer verilmiştir.

Tablo 38. IRPA Yöntemi (Ort ve Min/Maks) ve Diğer Yöntemlerin Spearman Korelasyon Katsayıları

Yöntem	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17
ARAS ^(Y1)	1	0,9985	0,9879	0,9121	0,9788	0,9364	0,9182	0,9758	0,8746	0,8985	0,9697	0,9046	0,9940	0,9758	0,9758	0,8955	0,9955
CODAS ^(Y2)	0,9985	1	0,9864	0,9137	0,9773	0,9349	0,9167	0,9743	0,8761	0,8970	0,9682	0,9031	0,9955	0,9742	0,8863	0,8970	0,9940
COPRAS ^(Y3)	0,9879	0,9864	1	0,9440	0,9879	0,9606	0,9470	0,9864	0,8890	0,8985	0,9773	0,9318	0,9909	0,9803	0,9031	0,9319	0,9924
DNBMA ^(Y4)	0,9121	0,9137	0,9440	1	0,9561	0,9834	0,9940	0,9606	0,8837	0,8606	0,9591	0,9849	0,9288	0,9500	0,8863	0,9924	0,9273
EDAS ^(Y5)	0,9788	0,9773	0,9879	0,9561	1	0,9697	0,9606	0,9985	0,8936	0,8879	0,9909	0,9485	0,9834	0,9834	0,9091	0,9455	0,9849
GRA ^(Y6)	0,9364	0,9349	0,9606	0,9834	0,9697	1	0,9864	0,9728	0,8792	0,8712	0,9728	0,9682	0,9470	0,9546	0,8864	0,9743	0,9485
MAIRCA ^(Y7)	0,9182	0,9167	0,9470	0,9940	0,9606	0,9864	1	0,9652	0,8776	0,8576	0,9652	0,9833	0,9318	0,9561	0,8833	0,9864	0,9334
MOORA – I ^(Y8)	0,9758	0,9743	0,9864	0,9606	0,9985	0,9728	0,9652	1	0,8921	0,8848	0,9924	0,9530	0,9818	0,9849	0,9076	0,9500	0,9834
MOORA – II ^(Y9)	0,8746	0,8761	0,8890	0,8837	0,8936	0,8792	0,8776	0,8921	1	0,9739	0,8868	0,8958	0,8815	0,8837	0,9845	0,8701	0,8799
IRPA (Min/Maks) ^(Y10)	0,8985	0,8970	0,8985	0,8606	0,8879	0,8712	0,8576	0,8848	0,9739	1	0,8788	0,8743	0,8955	0,8773	0,9667	0,8424	0,8970
IRPA (Ort) ^(Y11)	0,9697	0,9682	0,9773	0,9591	0,9909	0,9728	0,9652	0,9924	0,8868	0,8788	1	0,9546	0,9773	0,9803	0,9030	0,9485	0,9788
RIM ^(Y12)	0,9046	0,9031	0,9318	0,9849	0,9485	0,9682	0,9833	0,9530	0,8958	0,8743	0,9546	1	0,9167	0,9439	0,9015	0,9758	0,9182
SAW ^(Y13)	0,9940	0,9955	0,9909	0,9288	0,9834	0,9470	0,9318	0,9818	0,8815	0,8955	0,9773	0,9167	1	0,9788	0,8924	0,9152	0,9985
TODIM ^(Y14)	0,9758	0,9742	0,9803	0,9500	0,9834	0,9546	0,9561	0,9849	0,8837	0,8773	0,9803	0,9439	0,9788	1	0,8924	0,9394	0,9803
TOPSIS ^(Y15)	0,9758	0,8863	0,9031	0,8863	0,9091	0,8864	0,8833	0,9076	0,9845	0,9667	0,9030	0,9015	0,8924	0,8924	1	0,8727	0,8939
VIKOR ^(Y16)	0,8955	0,8970	0,9319	0,9924	0,9455	0,9743	0,9864	0,9500	0,8701	0,8424	0,9485	0,9758	0,9152	0,9394	0,8727	1	0,9136
WASPAS ^(Y17)	0,9955	0,9940	0,9924	0,9273	0,9849	0,9485	0,9334	0,9834	0,8799	0,8970	0,9788	0,9182	0,9985	0,9803	0,8939	0,9136	1
ORTALAMA	0,9524	0,9466	0,9586	0,9433	0,9621	0,9498	0,9449	0,9626	0,9013	0,8978	0,9590	0,9387	0,9535	0,9550	0,9144	0,9324	0,9541
SIRALAMA	8	10	4	12	2	9	11	1	16	17	3	13	7	5	15	14	6

Tablo 38 incelendiğinde, 8 farklı ağırlık kümesi için ortalama korelasyon değerlerinin en yüksek yöntemlerin sırasıyla MOORA - I, EDAS ve IRPA (Ort) olduğu görülmektedir. En düşük korelasyon ortalamalarına ise sırasıyla MOORA – II, TODIM ve IRPA (Min/Maks) yöntemleri sahiptir. Yöntemlerin ikili korelasyonlarına bakıldığında en yüksek korelasyon ortalaması ARAS – CODAS, MOORA – I – EDAS, ile SAW – WASPAS arasında, en düşük korelasyon ortalaması ise IRPA (Min/Maks) – TOPSIS yöntemleri arasındadır.

IRPA yöntemi ve diğer yöntemlerin korelasyon ortalamalarının kolay bir şekilde izlenebilmesi amacıyla ÇBÖ grafiği (S-Stress=0,0034 ve D.A.F.=0,9979) çizilmiş ve Şekil 8’de gösterilmiştir. SPSS paket programı yardımı ile çizilen ÇBÖ grafiği için Öklid uzaklıklar seçilmiştir.



Şekil 8. IRPA Yöntemi ve Diğer Yöntemler için Çok Boyutlu Ölçekleme Grafiği

Şekil 8 incelendiğinde genel olarak korelasyon ortalaması yüksek olan yöntemlerin merkez noktaya ($x=-0,5$ ve $y=0$) yakın olduğu, korelasyon ortalaması düşük yöntemlerin ise merkez noktadan daha uzakta konumlandığı görülmüştür. Ayrıca Şekil 8’de WASPAS ile SAW yönteminin çok yakın olduğu ve korelasyon ortalamaları

incelendiğinde en yüksek korelasyona sahip oldukları görülmektedir. Benzer durum, CODAS - ARAS ve EDAS – MOORA - I yöntemleri arasında da vardır.

EDAS ve CODAS yöntemlerinin önerildiği çalışmalarda veriler kullanılarak yapılan karşılaştırmalar sonucunda, IRPA yöntemi işlem adımları olarak da diğer yöntemlerden sadece ağırlıklandırma ve referans değere oransal uzaklığı dikkate almasına rağmen diğer yöntemlerle yüksek seviyede benzerlik gösterdiği Spearman korelasyon ortalamaları sonuçlarından anlaşılmaktadır. Genel olarak tüm ağırlık kümeleri göz önünde bulundurulduğunda, IRPA (Ort) yönteminin en yüksek 3 korelasyon ortalamasına sahip yöntemlerden biri olduğu görülmüştür ve ÇBÖ grafiğinde de IRPA (Ort) yöntemi, merkez noktaya en yakın konumda yer alarak diğer yöntemler ile olan benzerliğini ortaya koymuştur. Bu sonuç, IRPA (Ort) yönteminin diğer yöntemlerle büyük benzerlik gösterdiğini kanıtlamaktadır.

IRPA (Min/Maks) yönteminin korelasyon ortalaması olarak son sırada olması ve ÇBÖ grafiğinde merkez noktaya en uzak noktalardan biri olarak konumlanması yöntemin, referans değerlere duyarlılığını kanıtlar niteliktedir. Referans değer yaklaşımını kullanmayı tercih eden karar verici, IRPA yönteminin versiyonları arasındaki farklılık nedeniyle IRPA yöntemi sonuçlarını dikkate almalıdır. Karar verici referans değerleri farklılaştırarak ortalama, maksimum/minimum değerler veya maksimum/minimum değerler arasında her kriter için farklı bir değer belirleyebilecek ve bu sayede kendisi için en uygun kararı verebilecektir.

Ağırlık değerlerine bağlı yöntemlerin alternatif sıralamalarındaki değişimlerinin analizi sonucunda; ağırlık değerlerine karşı aşırı hassasiyet ve duyarsızlık istenmeyen durumlar olarak göz önünde bulundurulursa, IRPA yönteminin ağırlık değerleri değişimine karşı orta seviye duyarlılığı, yöntemin karar vericiler tarafından tercih edilmesine neden teşkil edebilecektir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BÜTÜNLEŞTİRİCİ REFERANS NOKTASI YÖNTEMİNİN UYGULAMALARI VE KARŞILAŞTIRMALARI

ÇKKV yöntemleri, farklı prensipleri ve işlemleri temel alarak farklı özelliklere ve sonuçlara sahiptir. Tez çalışmasının bu bölümünde “Bütünleştirici Referans Noktası Yöntemi” adı ile önerilen yöntemin, diğer yöntemler ile olan benzerliklerinin, farklılıklarının ve temel esaslarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amacın gerçekleştirilebilmesi için simülasyon yöntemi ile oluşturulan çok sayıda karar problemi ve gerçek hayattan alınan bilgisayar seçim problemi çözülmüştür. Başka bir deyişle IRPA yönteminin diğer yöntemler ile korelasyonlarının normal dağılıma yakınsayan şekilde gösterilmesi amacıyla tekdüze dağılıma sahip rastgele oluşturulan matrislerin girdi olarak kullanıldığı simülasyon uygulaması yapılmıştır. Ayrıca gerçek hayatta karşılaşılan problemlerden biri olan bilgisayar seçim problemi uygulaması, IRPA yönteminin kullanılabilirliğinin ve etkinliğinin gösterilmesi ve kullanımının örneklendirilmesi amacıyla ele alınmıştır. Simülasyon ve bilgisayar seçim uygulaması kullanılarak IRPA yöntemi, alternatif sayıları bakımından Pearson veya Spearman korelasyon katsayıları ve ÇBÖ grafikleri kullanılarak literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca bilgisayar seçim probleminin çözümünde IRPA yönteminin, referans noktası yaklaşımını temel alan benzer yöntemlere göre üstünlüğünün gösterilmesi amacıyla literatürde yer alan referans noktası farklılaşabilen yöntemlerle de karşılaştırılmıştır.

3.1. Simülasyon Uygulaması

ÇKKV yöntemleri, önerildikleri çalışmalarda kriterlerin ağırlık değerlerinin duyarlılığına göre diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Başka bir deyişle farklı ağırlık kümeleri ile yöntemlerin, alternatifleri sıralamalarındaki değişim incelenmiştir. Ancak alternatif değişiminin sıralamaya etkisi, Keshavarz Ghorabae vd. (2018) tarafından simülasyon yöntemi ile TOPSIS ve EDAS yöntemleri karşılaştırılarak araştırılmıştır. Benzer şekilde bu tez çalışmasında da IRPA yönteminin ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırılmasında simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Rastgele ve (0,1) aralığında eşit olasılık değerlerine sahip girdi verileri, MATLAB programında “RAND()” komutuyla türetilmiştir. Keshavarz Ghorabae vd. (2018) tarafından da kullanılan tekdüze dağılıma sahip ağırlık ve karar matrisleri, Spearman veya Pearson korelasyon katsayıları

kullanılarak IRPA yönteminin diğer ÇKKV yöntemlerine olan benzerliklerinin ve farklılıklarının sunulması amacıyla kullanılmıştır.

3.1.1. Spearman Korelasyon Katsayısına Dayanan Karşılaştırmalar

IRPA(Ort) ve IRPA(Min/Maks) olmak üzere IRPA yönteminin iki farklı versiyonunun ve diğer 15 farklı ÇKKV yöntemlerinin simülasyon yöntemi ile oluşturulan farklı problemlerin çözüm sonuçları, Spearman Korelasyon katsayısı kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar için alternatif ($m = 3, 4, \dots, 29$) ve kriter ($n = 3, 4, \dots, 29$) değişkenlerinin ikili kombinasyonlarını içeren problemler oluşturulmuştur. Belirlenen bu ikili kombinasyonlar, 10.000 defa tekrarlanarak ÇKKV yöntemleri arasındaki 7.290.000 ($27 \times 27 \times 10000$) karşılaştırmaların korelasyon ortalaması sonuçlarının normal dağılıma yakınsaması hedeflenmiştir. Yineleme sayıları, kodların birden fazla çalıştırılması durumunda farklı sonuçların 0,001'lik benzerlik göstermesine göre belirlenmiştir. Alternatif, kriter ve yineleme sayıları değiştikçe yeni oluşturulan problemin sonuçlarının korelasyon ortalamaları alınmış ve sonuçlar, Tablo 39'da verilmiştir. Ayrıca Spearman korelasyon ve simülasyon uygulaması fonksiyonlarının MATLAB kodları, Ek 18 ve 19'da gösterilmiştir.

Tablo 39. Genel Yöntemlerin Spearman Korelasyonları

Yöntem	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17
ARAS ^(Y1)	1	0,8505	0,7551	0,6796	0,7483	0,8003	0,7409	0,7514	0,329	0,4175	0,7414	0,7014	0,8877	0,4682	0,7112	0,5948	0,8955
CODAS ^(Y2)	0,8505	1	0,7624	0,7036	0,76	0,826	0,7629	0,7652	0,3472	0,2686	0,7606	0,7534	0,9514	0,4393	0,7499	0,6239	0,9026
COPRAS ^(Y3)	0,7551	0,7624	1	0,8871	0,9654	0,8925	0,9334	0,9641	0,4913	0,4939	0,9612	0,8896	0,8105	0,4971	0,9144	0,7827	0,8496
DNBMA ^(Y4)	0,6796	0,7036	0,8871	1	0,9103	0,8424	0,9349	0,92	0,6201	0,4546	0,9165	0,9292	0,7563	0,4506	0,8918	0,9157	0,7947
EDAS ^(Y5)	0,7483	0,76	0,9654	0,9103	1	0,8987	0,9522	0,9885	0,518	0,5002	0,9855	0,9075	0,8093	0,4988	0,935	0,8061	0,8504
GRA ^(Y6)	0,8003	0,826	0,8925	0,8424	0,8987	1	0,9254	0,9076	0,3747	0,4581	0,8981	0,8662	0,855	0,4922	0,8493	0,7317	0,8548
MAIRCA ^(Y7)	0,7409	0,7629	0,9334	0,9349	0,9522	0,9254	1	0,9649	0,4762	0,4715	0,9553	0,9354	0,8183	0,5032	0,8956	0,8281	0,8439
MOORA – I ^(Y8)	0,7514	0,7652	0,9641	0,92	0,9885	0,9076	0,9649	1	0,5107	0,4955	0,9864	0,9179	0,8162	0,5021	0,9323	0,8138	0,8537
MOORA – II ^(Y9)	0,329	0,3472	0,4913	0,6201	0,518	0,3747	0,4762	0,5107	1	0,2661	0,5241	0,5544	0,3653	0,1829	0,604	0,7121	0,4264
IRPA (Min/Maks) ^(Y10)	0,4175	0,2686	0,4939	0,4546	0,5002	0,4581	0,4715	0,4955	0,2661	1	0,4933	0,4287	0,2969	0,241	0,4717	0,3939	0,3829
IRPA (Ort) ^(Y11)	0,7414	0,7606	0,9612	0,9165	0,9855	0,8981	0,9553	0,9864	0,5241	0,4933	1	0,9255	0,8059	0,4823	0,9462	0,8154	0,8442
RIM ^(Y12)	0,7014	0,7534	0,8896	0,9292	0,9075	0,8662	0,9354	0,9179	0,5544	0,4287	0,9255	1	0,7839	0,4055	0,9278	0,8688	0,8106
SAW ^(Y13)	0,8877	0,9514	0,8105	0,7563	0,8093	0,855	0,8183	0,8162	0,3653	0,2969	0,8059	0,7839	1	0,5087	0,7662	0,6673	0,955
TODIM ^(Y14)	0,4682	0,4393	0,4971	0,4506	0,4988	0,4922	0,5032	0,5021	0,1829	0,241	0,4823	0,4055	0,5087	1	0,3978	0,3814	0,5174
TOPSIS ^(Y15)	0,7112	0,7499	0,9144	0,8918	0,935	0,8493	0,8956	0,9323	0,604	0,4717	0,9462	0,9278	0,7662	0,3978	1	0,8215	0,8215
VIKOR ^(Y16)	0,5948	0,6239	0,7827	0,9157	0,8061	0,7317	0,8281	0,8138	0,7121	0,3939	0,8154	0,8688	0,6673	0,3814	0,8215	1	0,7086
WASPAS ^(Y17)	0,8955	0,9026	0,8496	0,7947	0,8504	0,8548	0,8439	0,8537	0,4264	0,3829	0,8442	0,8106	0,955	0,5174	0,8215	0,7086	1
Ortalama	0,7102	0,7193	0,8147	0,8004	0,8255	0,7925	0,8201	0,8288	0,4884	0,4432	0,8260	0,8003	0,7561	0,4687	0,8021	0,7333	0,7830
Siralama	14	13	5	7	3	9	4	1	15	17	2	8	11	16	6	12	10

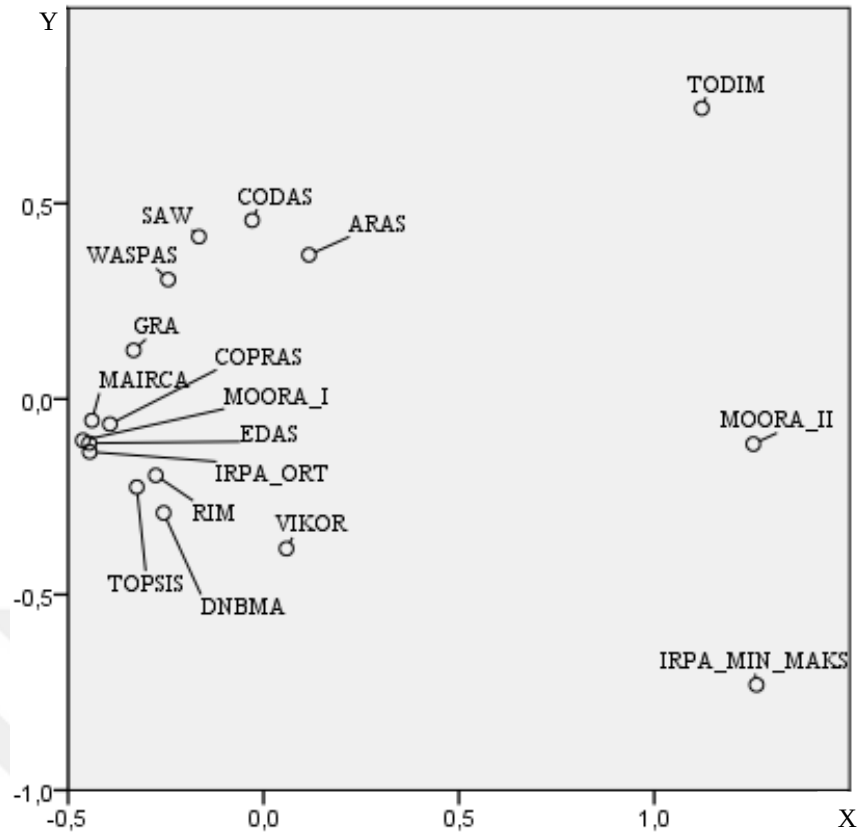
Tablo 39 incelendiğinde en düşük korelasyonun, MOORA – II ile TODIM yöntemleri arasında olduğu ve bu düşük korelasyon seviyesini sırasıyla IRPA (Min/Maks) ile TODIM ve sonrasında MOORA - II ile IRPA (Min/Maks) yöntemlerinin korelasyonlarının takip ettiği görülmektedir. En yüksek korelasyon seviyeleri, EDAS ve MOORA - I yöntemleri arasındadır. Bu korelasyon değerini sırasıyla MOORA – I ile IRPA (Ort) ve EDAS ile IRPA (Ort) yöntemleri takip etmektedir. Yöntemlerin korelasyon ortalamaları incelendiğinde ise en yüksek korelasyon ortalamasına sahip yöntemlerin sırasıyla MOORA, IRPA (Ort), EDAS, MAIRCA ve COPRAS olduğu görülmüştür. En düşük korelasyon ortalamalarına ise sırasıyla CODAS, ARAS, MOORA – II, TODIM ve IRPA (Min/Maks) yöntemleri sahiptir. Referans değeri farklılaşabilen ARAS, DNBMA, GRA, MOORA – II ve RIM yöntemlerinin ise korelasyon ortalamaları olarak sırasıyla 14., 7., 9., 15. ve 8. sırada olduğu görülmektedir. Referans değeri farklılaşabilen yöntemler içinde IRPA yöntemi versiyonlarının, diğer tüm yöntemleri kapsayıcı şekilde en yüksek ve en düşük ortalama değerlerine sahip olduğu göze çarpmaktadır.

Simülasyon uygulamasının sonuçlarının gösterildiği Tablo 39, yöntem tercihinde bulunacak karar vericiler için her yöntem açısından detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda her yöntemin Spearman korelasyon katsayısı bakımından en çok ve en az uyum gösterdiği (benzediği) yöntemler dikkate alınarak Tablo 40 oluşturulmuştur. Örneğin; ARAS yönteminden elde edilen sıralamaların, sırasıyla WASPAS, SAW ve CODAS yöntemlerinin sonuçları ile benzediği ve ARAS yönteminin en az benzerlik gösterdiği yöntemlerin ise azalan değer sıralaması ile TODIM, IRPA (Min/Maks) ve MOORA - II olduğu görülmüştür.

Tablo 40. Spearman Korelasyon Katsayıları Sonucu Elde Edilen Genel Yöntemlerin Uyum ve Uyumsuzlukları

Yöntem	En Çok Uyum	En Çok Uyumsuzluk
ARAS	WASPAS, SAW ve CODAS	TODIM, IRPA (Min/Maks) ve MOORA - II
CODAS	SAW, WASPAS ve ARAS	TODIM, MOORA – II ve IRPA (Min/Maks)
COPRAS	EDAS, MOORA - I ve IRPA (Ort)	TODIM, IRPA (Min/Maks) ve MOORA – II
DNBMA	MAIRCA, RIM ve MOORA – I	MOORA – II, IRPA (Min/Maks) ve TODIM
EDAS	MOORA – I, IRPA (Ort) ve COPRAS	MOORA – II, IRPA (Min/Maks) ve TODIM
GRA	MAIRCA, MOORA – I ve IRPA (Ort)	TODIM, IRPA (Min/Maks) ve MOORA – II
MAIRCA	MOORA – I, IRPA (Ort) ve EDAS	TODIM, MOORA – II ve IRPA (Min/Maks)
MOORA – I	EDAS, IRPA (Ort) ve MAIRCA	MOORA – II, TODIM ve IRPA (Min/Maks)
MOORA – II	VIKOR, DNBMA ve TOPSIS	ARAS, IRPA (Min/Maks) ve TODIM
IRPA (Min/Maks)	EDAS, MOORA – I ve COPRAS	CODAS, MOORA – II ve TODIM
IRPA (Ort)	EDAS, MOORA – I ve COPRAS	MOORA – II, IRPA (Min/Maks) ve TODIM
RIM	DNBMA, TOPSIS ve IRPA (Ort)	MOORA – II, IRPA (Min/Maks) ve TODIM
SAW	WASPAS, CODAS ve ARAS	TODIM, MOORA – II ve IRPA (Min/Maks)
TODIM	WASPAS, SAW ve MAIRCA	VIKOR, IRPA (Min/Maks) ve MOORA – II
TOPSIS	IRPA(Ort), EDAS ve MOORA – I	MOORA – II, IRPA (Min/Maks) ve TODIM
VIKOR	DNBMA, RIM ve MAIRCA	ARAS, IRPA (Min/Maks) ve TODIM
WASPAS	SAW, CODAS ve ARAS	TODIM, MOORA – II ve IRPA (Min/Maks)

Yöntemlerin benzerlik grafiklerinin oluşturulması amacıyla korelasyon değerleri, ÇBÖ yönteminin girdileri olarak da kullanılmıştır. Verilerin, ÇBÖ yöntemi ile uygunluk seviyesinin, yüksek olduğu tespit edilmiştir (S-stress= 0,0187 ve D.A.F.= 0,9921). Ayrıca uzaklık ölçüsü olarak Öklid uzaklığı seçilmiştir. SPSS’te oluşturulan ÇBÖ grafiğine, Şekil 9’da yer verilmiştir.



Şekil 9. Spearman Korelasyonların Çok Boyutlu Ölçekleme Grafiği

Şekil 9 incelendiğinde korelasyon değerlerine göre en yüksek korelasyonlara sahip MAIRCA, MOORA, EDAS, COPRAS ve IRPA (Ort) yöntemlerinin merkezi konumda olduğu, en düşük korelasyonlara sahip MOORA – II, TODIM ve IRPA (Min/Maks) yöntemlerinin ise en uzak noktalarda yer aldığı görülmektedir. Bu nedenle ÇBÖ grafiği, korelasyon ortalamaları sonuçlarını destekler niteliktedir. IRPA (Ort) ve IRPA (Min/Maks) versiyonlarının farklı uçlarda yer alması, referans kümedeki değişiklikler ile IRPA yönteminin farklı konumlandırılabilceğini, diğer yöntemlerle olan benzerliğinin artırılabilir veya azaltılabilir olduğunu göstermektedir.

3.1.2. Pearson Korelasyon Katsayısına Dayanan Karşılaştırmalar

Simülasyon uygulamasında rastgele ve tekdüze dağılım ile oluşturulan karar problemleri; IRPA (Ort), IRPA (Min/Maks) ve diğer 15 farklı ÇKKV yöntemi ile çözülmüştür. Yöntemlerin sıralama sonuçları, Pearson Korelasyon katsayısı kullanılarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar için farklı yöntemlerde alternatiflerin aldığı skorlar, Doğrusal (Min-Maks) normalizasyon yöntemi ile normalize edilmiş ve Pearson korelasyon değerleri hesaplanmıştır. Alternatif ($m=30, 31, \dots, 100$) ve kriter ($n=30, 31,$

..., 100) sayısı değişkenlerinin ikili kombinasyonları, 100 defa tekrarlanarak ÇKKV yöntemleri arasındaki 504.100 ($71 \times 71 \times 100$) karşılaştırmanın korelasyon sonuçlarının normal dağılıma yakınsaması hedeflenmiştir. Yineleme sayısı, kodların birden fazla çalıştırılması durumunda farklı sonuçların maksimum 0,001’lik benzerlik göstermesine göre belirlenmiştir. Alternatif, kriter ve yinelemeler değiştikçe oluşturulan problemlerin sonuçlarının korelasyon ortalamaları alınmış ve Tablo 41’de gösterilmiştir. Ayrıca Pearson korelasyonu ve simölasyon uygulaması fonksiyonlarının MATLAB kodları, Ek 20 ve 21’de verilmiştir.

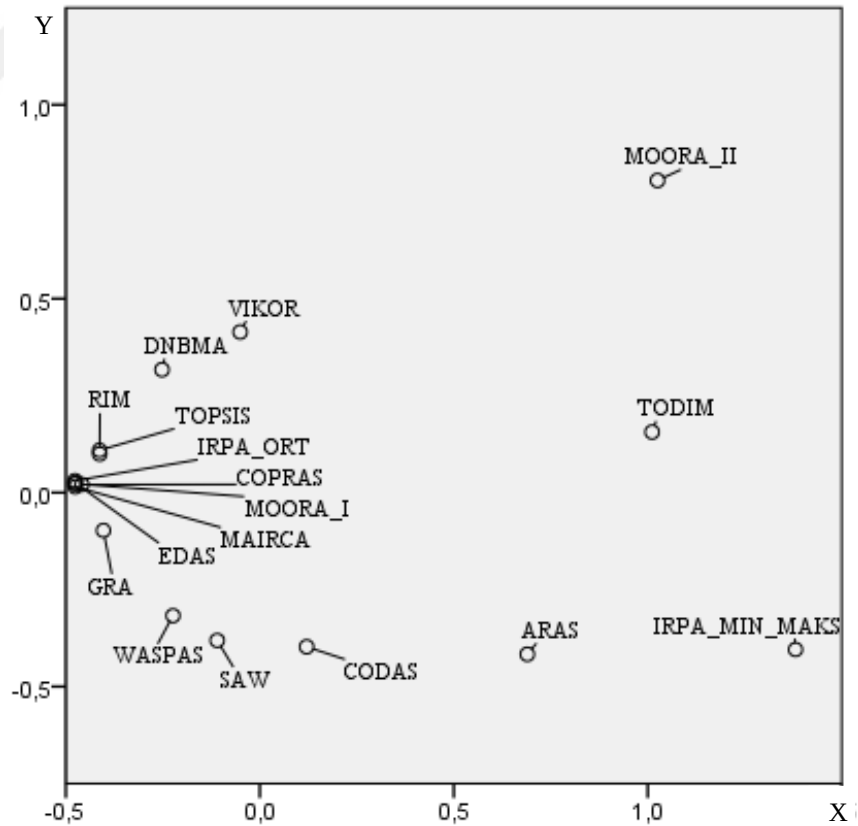


Tablo 41. Genel Yöntemlerin Pearson Korelasyonları

Yöntem	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17
ARAS ^(Y1)	1	0,5628	0,4769	0,3995	0,4719	0,5491	0,4724	0,4725	0,1021	0,2092	0,4704	0,4472	0,6357	0,2412	0,4542	0,3454	0,6784
CODAS ^(Y2)	0,5628	1	0,6711	0,5913	0,6796	0,7332	0,6833	0,6811	0,1837	0,0553	0,6821	0,7022	0,9122	0,3147	0,6917	0,5231	0,8697
COPRAS ^(Y3)	0,4769	0,6711	1	0,8805	0,9915	0,9506	0,9888	0,9915	0,3114	0,3548	0,9915	0,9543	0,7776	0,4400	0,9582	0,7829	0,8373
DNBMA ^(Y4)	0,3995	0,5913	0,8805	1	0,8866	0,8191	0,8896	0,8879	0,6210	0,3031	0,8888	0,9030	0,6892	0,3684	0,8926	0,9770	0,7498
EDAS ^(Y5)	0,4719	0,6796	0,9915	0,8866	1	0,9545	0,9966	0,9995	0,3154	0,3523	0,9995	0,9621	0,7861	0,4445	0,9663	0,7894	0,8425
GRA ^(Y6)	0,5491	0,7332	0,9506	0,8191	0,9545	1	0,9576	0,9557	0,2247	0,3317	0,9539	0,9117	0,8112	0,4276	0,9193	0,7149	0,8552
MAIRCA ^(Y7)	0,4724	0,6833	0,9888	0,8896	0,9966	0,9576	1	0,9981	0,3023	0,3452	0,9967	0,9653	0,7900	0,4462	0,9605	0,7920	0,8448
MOORA – I ^(Y8)	0,4725	0,6811	0,9915	0,8879	0,9995	0,9557	0,9981	1	0,3126	0,3508	0,9995	0,9636	0,7876	0,4454	0,9659	0,7904	0,8436
MOORA – II ^(Y9)	0,1021	0,1837	0,3114	0,6210	0,3154	0,2247	0,3023	0,3126	1	0,1084	0,3191	0,3775	0,2177	0,0810	0,3896	0,7131	0,2594
IRPA (Min/Maks) ^(Y10)	0,2092	0,0553	0,3548	0,3031	0,3523	0,3317	0,3452	0,3508	0,1084	1	0,3513	0,3143	0,0779	0,0842	0,3344	0,2674	0,1607
IRPA (Ort) ^(Y11)	0,4704	0,6821	0,9915	0,8888	0,9995	0,9539	0,9967	0,9995	0,3191	0,3513	1	0,9675	0,7854	0,4373	0,9714	0,7921	0,8415
RIM ^(Y12)	0,4472	0,7022	0,9543	0,9030	0,9621	0,9117	0,9653	0,9636	0,3775	0,3143	0,9675	1	0,7725	0,3527	0,9907	0,8233	0,8239
SAW ^(Y13)	0,6357	0,9122	0,7776	0,6892	0,7861	0,8112	0,7900	0,7876	0,2177	0,0779	0,7854	0,7725	1	0,4379	0,7559	0,6083	0,9823
TODIM ^(Y14)	0,2412	0,3147	0,4400	0,3684	0,4445	0,4276	0,4462	0,4454	0,081	0,0842	0,4373	0,3527	0,4379	1	0,3464	0,3155	0,4504
TOPSIS ^(Y15)	0,4542	0,6917	0,9582	0,8926	0,9663	0,9193	0,9605	0,9659	0,3896	0,3344	0,9714	0,9907	0,7559	0,3464	1	0,8112	0,8112
VIKOR ^(Y16)	0,3454	0,5231	0,7829	0,9770	0,7894	0,7149	0,7920	0,7904	0,7131	0,2674	0,7921	0,8233	0,6083	0,3155	0,8112	1	0,667
WASPAS ^(Y17)	0,6784	0,8697	0,8373	0,7498	0,8425	0,8552	0,8448	0,8436	0,2594	0,1607	0,8415	0,8239	0,9823	0,4504	0,8112	0,6670	1
Ortalama	0,4699	0,6198	0,7858	0,7498	0,7905	0,7688	0,7900	0,7909	0,3435	0,2942	0,7911	0,7783	0,6957	0,3902	0,7776	0,6890	0,7363
Sıralama	14	13	5	9	3	8	4	2	16	17	1	6	11	15	7	12	10

Tablo 41 incelendiğinde en yüksek korelasyon ortalamasının EDAS, MOORA I ve IRPA (Ort) yöntemleri arasında olduğu görülmüştür. Bu korelasyon ortalamalarını, MOORA ve MAIRCA yöntemleri takip etmektedir. En düşük korelasyon ortalaması ise sırasıyla MOORA – II ile TODIM, IRPA (Min/Maks) ile SAW ve IRPA (Min/Maks) ile CODAS yöntemleri arasındadır. Pearson korelasyon ortalamaları bakımından yöntemlerin sıralamalarında en yüksek ortalamaya sahip yöntemler sırasıyla IRPA (Ort), MOORA – I ve EDAS iken, en düşük ortalamaya sahip olanlar ise sırasıyla TODIM, MOORA – II ve IRPA (Min/Maks) yöntemleridir.

Yöntemlerin Pearson korelasyonları, benzerlik grafiklerinin oluşturulması amacıyla ÇBÖ yönteminin girdileri olarak kullanılmıştır. Verilerin, ÇBÖ yöntemi ile uygunluk seviyesinin, yüksek olduğu tespit edilmiştir (S-stress= 0,0177 ve D.A.F.= 0,9924). SPSS’te Öklid uzaklığı seçilerek oluşturulan ÇBÖ grafiğine Şekil 10’da yer verilmiştir.



Şekil 10. Pearson Korelasyonların Çok Boyutlu Ölçekleme Grafiği

Simülasyon uygulaması sonucu elde edilen Pearson korelasyon ortalamaları kullanılarak çizilen ÇBÖ grafiğinde korelasyon ortalamaları en yüksek olan ilk 5 yöntemin (IRPA (Ort), MOORA – I, EDAS, MAIRCA ve COPRAS) merkez noktaya ($x=-0,5$ ve $y=0$) en yakın olacak şekilde gruplandığı görülmektedir. Ayrıca korelasyon ortalamaları en düşük olan yöntemler (ARAS, TODIM, MOORA – II ve IRPA (Min/Maks) ise merkez noktaya en uzak konumlarda yer almıştır.

3.2. Bilgisayar Seçim Problemi Uygulaması

Günümüzde teknoloji çağının gereksinimi olarak akıllı telefon, tablet, bilgisayar vb. gibi teknolojik ürünler, günlük hayatın vazgeçilmez unsurları arasında yer almaktadır. Global ticaret ağının getirdiği olanaklar sayesinde insanlar, bu ürünler karşısında birçok alternatif ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu alternatifler, birçok özellik açısından birbirinden farklılaşmaktadır. Farklı özelliklere sahip çeşitli alternatifler arasından seçim yapma konusu, literatürde ÇKKV alanında ele alınmaktadır. Bu seçimlerden biri olan bilgisayar alternatiflerinin tercih sıralaması veya seçim yapma konusu da ÇKKV alanında değerlendirilebilmektedir. Bu tez çalışmasında da bilgisayar seçim problemine, IRPA yöntemi ve literatürde kullanılan diğer yöntemler ile çözüm önerisi sunulmaya çalışılmıştır.

3.2.1. Problemin Tanımı

İnsanlar, günlük hayatlarında haberleşme, iletişim, finansal işlemler, öğrenme vb. gibi nedenlerle bilgisayar kullanma gereksinimi duymaktadırlar. Global rekabet ağı ile birlikte bilgisayar tercihinde bulunacak karar verici, birçok alternatif arasından seçim yapma problemi ile karşı karşıya kalmaktadır. Literatürdeki bilgisayar seçim problemine ilişkin çalışmalar, Tablo 42’de özetlenmiştir.

Bu çalışmada ise karar vericinin etkin bir şekilde karar vermesini sağlamak amacıyla gerçek hayattan alınan bilgisayar seçim problemi, IRPA yöntemi ile çözülmüş ve karar vericiye alternatiflere ilişkin bir sıralama sunulmuştur. Ayrıca aynı problem ile IRPA yönteminin diğer yöntemlerle benzerliğinin ve referans noktası farklılaşabilen yöntemlere karşı üstünlüğünün sınanması amaçlanmıştır. Bu amaç ile IRPA yönteminin ve diğer yöntemlerin bilgisayar seçim problemi çözümleri karşılaştırılmıştır.

Çalışmada dikkate alınan karar vericinin, internet erişimi ile Türkiye'nin herhangi bir yerinden çevrimiçi sipariş ile bilgisayar alternatiflerinden herhangi birini tercih edebilir olduğu varsayılmıştır. Farklı satış sitelerindeki fiyat ve model farklılığının yaşanmaması için veriler tek bir satış sitesinden alınmıştır. Karar vericinin:

- Özel amaçla kullanılan herhangi bir bilgisayara ihtiyacının olmadığı,
- Bütçe kısıtlamasından dolayı fiyatı, 5.000 – 10.000 TL arasında olan,
- Günümüzün en son teknolojik gelişmelerinden biri olan SSD özelliğine sahip, bir bilgisayar tercihinde bulunmak istediği varsayılmıştır.



Tablo 42. Bilgisayar Seçim Problemine İlişkin Literatür Taraması

Yazar (Çalışmanın Yılı)	Yöntem	Ağırlık Belirleme Yöntemi	Kriter Sayısı	Alternatif Sayısı
Mitra ve Goswami (2019)	TOPSIS	AHP	5 (İşlemci, Marka, Ekran Boyutu, Sabit Sürücü, Geçici Hafıza)	5
Aytaç Adalı ve Tuş Işık (2017)	MULTIMOORA, MOOSRA	AHP	10 (İşlemci Hızı, Önbellek, Hafıza/Sabit Sürücü, Ekran Kartı, Geçici Hafıza, Ekran Çözünürlüğü, Ekran Boyutu, Marka Güvenilirliği, Ağırlık, Fiyat)	7
Lakshmi vd. (2015)	TOPSIS	Eşit	9 (Fiyat, Teknik Özellik, Garanti, Boyut, Pil Ömrü, İşletim Sistemi, Ağırlık, Klavye ve Dokunmatik Yüzey, Kablosuz Bağlantı)	10
Pekkaya ve Aktogan (2014)	DEA, TOPSIS, VIKOR	AHP, AHP-DEA	18 (İşlemci Türü, İşlemci Hızı, Sabit Disk Hızı, Parça Kalitesi, Görüntü/Dizayn, Servis Hizmeti, Sabit Disk, Geçici Hafıza, Ekran Kartı, Çözünürlük, Boyutlar, Kart Okuyucu, Pil, CD/DVD, Kamera, Ağırlık, USB Portu, Fiyat)	25
Srichetta ve Thurachon (2012)	Bulanık AHP	Bulanık AHP	8 (Sabit Sürücü, Geçici Hafıza, İşlemci, Ekran Çözünürlüğü, Ağırlık, Fiyat, Dayanıklılık, Estetik)	10
Kasım vd. (2011)	SAW	ROC ⁽¹⁾ (Karar verici)	6 (İşlemci, Sabit Sürücü, Fiyat, Geçici Hafıza, Boyut, Ağırlık)	25
Sumi ve Kabir (2010)	AHP	AHP	4 (Hafıza Kapasitesi, Ekran Kartı Kapasitesi, Boyut ve Ağırlık, Fiyat)	4

⁽¹⁾ Sıralı Merkezi Ağırlıklar (Rank Order Centroid, ROC)

Bilgisayar seçim probleminin çözümü için öncelikle, seçim kriterleri belirlenmiştir. Literatürde ele alınan kriterlere odaklanılmış ve bu kriterlerden ortak ve temel olanları, uygulamaya dâhil edilmiştir. Bu anlamda bilgisayar seçim uygulamasında ele alınan kriterler; Fiyat (C_1 , TL), İşlemci Hızı (C_2 , GHZ), Geçici Hafıza (C_3 , GB), Hafıza (C_4 , GB), Ekran Kartı Kapasitesi (C_5 , GB), Ekran Büyüklüğü (C_6 , inç) şeklindedir. Bu kriterlerden sadece C_1 kriteri, maliyet kriteri; diğer kriterler ise fayda kriteri olarak belirlenmiştir. Kriterlerin birbirlerine göre üstünlüklerinin olmadığı varsayılarak kriter ağırlıkları, eşit olarak değerlendirilmiştir. Bilgisayar tercihinde bulunacak karar verici için fiyat ve SSD özelliği kısıtlamalarına göre 6 farklı markaya ait 14 farklı alternatif belirlenmiştir (Web_3). Belirlenen alternatiflere ve özelliklerine, Tablo 43'te yer verilmiştir. Bu tablo, aynı zamanda bilgisayar seçim probleminin karar matrisi olarak kullanılmıştır.

Tablo 43. Karar Matrisi

Alternatif	Kriterler					
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A_1	6864,35	1,80	8	256	2	14,00
A_2	9298,99	2,20	16	512	6	17,30
A_3	9796,62	1,80	16	512	2	13,30
A_4	9583,66	1,80	16	1024	2	14,00
A_5	7299,00	1,80	8	512	2	14,00
A_6	7699,00	2,60	8	256	4	15,60
A_7	8558,15	1,80	16	256	2	13,30
A_8	9999,00	2,60	16	512	6	15,60
A_9	8899,00	1,80	8	512	2	13,30
A_{10}	8023,87	2,60	8	256	4	15,60
A_{11}	8331,94	2,20	8	256	4	15,60
A_{12}	7047,69	1,80	8	256	2	14,00
A_{13}	7651,86	2,20	8	1024	4	17,30
A_{14}	9735,88	1,80	16	512	2	14,00

3.2.2. Problemin IRPA ve Genel Yöntemler ile Çözümü

Belirlenen alternatifler, IRPA yöntemi ve diğer yöntemlerle sıralanmıştır. Bilgisayar alternatiflerinin literatürde yer alan 15 yöntem ile sıralama sonuçları, Tablo 44'te gösterilmiştir. Bu yöntemler içerisinde;

- GRA yönteminde ise ξ değeri 0,5 olarak alınmıştır.
- TODIM yönteminde θ değeri 1 olarak alınmıştır.
- VIKOR yönteminde v değeri 0,5 olarak alınmıştır.

- MOORA - II yönteminde ise referans değerler, ortalama değerler olarak seçilmiştir.
- WASPAS yönteminde lamda (λ) değeri 0,5 olarak alınmıştır.
- RIM yönteminde referans değerler, aralık olarak belirlendiği için maksimum veya minimum değerler ile maksimum veya minimum değerlerin % 10'u aralık referans değerler olarak belirlenmiştir.
- CODAS yönteminde eşik değeri (τ) parametresi 0,02 olarak alınmıştır.
- DNBMA yönteminde phi (ϕ) katsayısı 0,5 olarak alınmıştır.

Tüm yöntemlerin çözümleri, Ekler kısmında gösterilen MATLAB kodları ile elde edilmiştir.

Tablo 44. Genel ÇKKV Yöntemlerinin Sonuçları

Alternatifler	Yöntemler																
	ARAS	CODAS	COPRAS	DNBMA	EDAS	GRA	MAIRCA	MOORA	MOORA – II	IRPA (Min/Maks)	IRPA (Ort)	RIM	SAW	TODIM	TOPSIS	VIKOR	WASPAS
A ₁	13	12	13	12	13	11	12	13	11,5	12	13	12,5	12	13	13	12	13
A ₂	2	2	2	1	1	1	1	1	2,5	1	1	1	2	1	2	1	1
A ₃	8	8	8	10	8	9	10	8	6	9	9	11	8	10	6	10	8
A ₄	4	4	4	6	4	4	6	4	6	4	4	7	4	4	4	6	4
A ₅	10	11	10	11	10	13	11	10	6	11	10	10	11	9	11	11	10
A ₆	5	5	5	4	5	5	4	5	11,5	5	5	4	5	5	7	4	5
A ₇	11	9	11	9	11	8	9	11	11,5	10	11	9	10	11	10	9	11
A ₈	1	1	1	2	2	2	2	2	2,5	2	2	3	1	2	3	2	2
A ₉	12	14	12	14	12	14	14	12	6	14	12	14	13	12	12	14	12
A ₁₀	6	6	6	5	6	6	5	6	11,5	6	6	5	6	6	8	5	6
A ₁₁	9	10	9	7	9	10	7	9	11,5	7	8	6	9	7	9	7	9
A ₁₂	14	13	14	13	14	12	13	14	11,5	13	14	12,5	14	14	14	13	14
A ₁₃	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	2	3	3	1	3	3
A ₁₄	7	7	7	8	7	7	8	7	6	8	7	8	7	8	5	8	7

Tablo 44 incelendiğinde A₉, A₆ ve A₅ alternatiflerinin, farklı yöntemler ile elde edilen sıralamalarında en yüksek değişkenliğe sahip olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Tablo 44'e göre en düşük sıralama değişkenliğine sahip alternatif A₂ iken bu alternatifi, aynı değer ile A₁, A₈ ve A₁₃ alternatifleri takip etmektedir.

3.2.2.1. IRPA ve Genel Yöntemlerden Elde Edilen Çözümlerin Karşılaştırılması

Bilgisayar seçim probleminde 14 alternatif olması nedeniyle IRPA yöntemi ve genel yöntemler, Spearman korelasyon değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bilgisayar seçim uygulamasına ait tüm yöntemlerin sıralamaları arasındaki Spearman korelasyon değerlerine, Tablo 45’te yer verilmiştir.



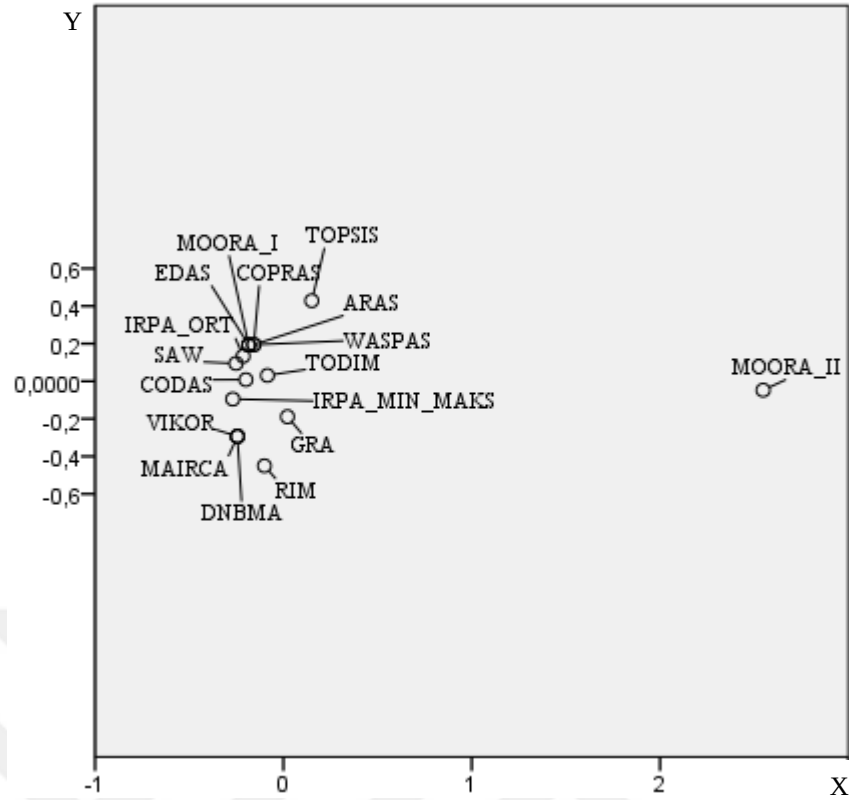
Tablo 45. Genel Yöntemlerin Spearman Korelasyon Katsayıları

Yöntemler	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17
ARAS ^(Y1)	1	0,9738	1	0,9388	0,9956	0,9257	0,9388	0,9956	0,6611	0,9650	0,9913	0,8983	0,9913	0,9738	0,9431	0,9388	0,9956
CODAS ^(Y2)	0,9738	1	0,9738	0,9519	0,9694	0,9781	0,9519	0,9694	0,5889	0,9694	0,9606	0,9027	0,9913	0,9344	0,9300	0,9519	0,9694
COPRAS ^(Y3)	1	0,9738	1	0,9388	0,9956	0,9257	0,9388	0,9956	0,6611	0,9650	0,9913	0,8983	0,9913	0,9738	0,9431	0,9388	0,9956
DNBMA ^(Y4)	0,9388	0,9519	0,9388	1	0,9431	0,9475	1	0,9431	0,4687	0,9825	0,9563	0,9858	0,9563	0,9563	0,8601	1	0,9431
EDAS ^(Y5)	0,9956	0,9694	0,9956	0,9431	1	0,9300	0,9431	1	0,6611	0,9694	0,9956	0,9071	0,9869	0,9781	0,9475	0,9431	1
GRA ^(Y6)	0,9257	0,9781	0,9257	0,9475	0,9300	1	0,9475	0,9300	0,5168	0,9563	0,9257	0,8983	0,9606	0,8950	0,8950	0,9475	0,9300
MAIRCA ^(Y7)	0,9388	0,9519	0,9388	1	0,9431	0,9475	1	0,9431	0,4687	0,9825	0,9563	0,9858	0,9563	0,9563	0,8601	1	0,9431
MOORA – I ^(Y8)	0,9956	0,9694	0,9956	0,9431	1	0,9300	0,9431	1	0,6611	0,9694	0,9956	0,9071	0,9869	0,9781	0,9475	0,9431	1
MOORA – II ^(Y9)	0,6611	0,5889	0,6611	0,4687	0,6611	0,5168	0,4687	0,6611	1	0,5408	0,6370	0,4523	0,6130	0,6130	0,7464	0,4687	0,6611
IRPA (Min/Maks) ^(Y10)	0,9650	0,9694	0,9650	0,9825	0,9694	0,9563	0,9825	0,9694	0,5408	1	0,9781	0,9552	0,9781	0,9738	0,9082	0,9825	0,9694
IRPA (Ort) ^(Y11)	0,9913	0,9606	0,9913	0,9563	0,9956	0,9257	0,9563	0,9956	0,6370	0,9781	1	0,9289	0,9825	0,9913	0,9344	0,9563	0,9956
RIM ^(Y12)	0,8983	0,9027	0,8983	0,9858	0,9071	0,8983	0,9858	0,9071	0,4523	0,9552	0,9289	1	0,9093	0,9421	0,8240	0,9858	0,9071
SAW ^(Y13)	0,9913	0,9913	0,9913	0,9563	0,9869	0,9606	0,9563	0,9869	0,6130	0,9781	0,9825	0,9093	1	0,9606	0,9431	0,9563	0,9869
TODIM ^(Y14)	0,9738	0,9344	0,9738	0,9563	0,9781	0,8950	0,9563	0,9781	0,6130	0,9738	0,9913	0,9421	0,9606	1	0,8950	0,9563	0,9781
TOPSIS ^(Y15)	0,9431	0,9300	0,9431	0,8601	0,9475	0,8950	0,8601	0,9475	0,7464	0,9082	0,9344	0,8240	0,9431	0,8950	1	0,8601	0,9475
VIKOR ^(Y16)	0,9388	0,9519	0,9388	1	0,9431	0,9475	1	0,9431	0,4687	0,9825	0,9563	0,9858	0,9563	0,9563	0,8601	1	0,9431
WASPAS ^(Y17)	0,9956	0,9694	0,9956	0,9431	1	0,9300	0,9431	1	0,6611	0,9694	0,9956	0,9071	0,9869	0,9781	0,9475	0,9431	1
Ortalama	0,9486	0,9392	0,9486	0,9278	0,9509	0,9123	0,9278	0,9509	0,6129	0,9439	0,9516	0,8993	0,9500	0,9386	0,9050	0,9278	0,9509
Sıralama	6,5	9	6,5	12	3	14	12	3	17	8	1	16	5	10	15	12	3

Tablo 45 incelendiğinde en düşük korelasyonun MOORA – II ve RIM yöntemleri arasında olduğu görülmektedir. Aynı korelasyon değerine sahip MAIRCA ve MOORA – II, DNBMA ve MOORA – II, VIKOR ve MOORA – II yöntemleri arasındaki korelasyonlar da diğer en düşük korelasyon değerleridir. ARAS – CODAS, DNBMA – MAIRCA – VIKOR, EDAS – MOORA – I – WASPAS yöntemleri aynı alternatif sıralamalarına sahiptir. Bu nedenle en yüksek korelasyon seviyeleri, bu yöntemler arasındadır.

Yöntemlerin korelasyon ortalamaları incelediğinde ise en yüksek korelasyon ortalamasına sahip yöntemlerin sırasıyla IRPA (Ort) ve SAW olduğu görülmekte ve bu yöntemleri, EDAS, MOORA – I ve WASPAS yöntemleri takip etmektedir. En düşük korelasyon ortalamalarına ise sırasıyla GRA, TODIM, RIM ve MOORA – II yöntemleri sahiptir. Referans değeri farklılaşabilen yöntemler açısından en yüksek korelasyon değerine sahip yöntemin ARAS yöntemi olduğu ve CODAS yöntemi ile aynı sıralamaya sahip olduğu için 6,5. sırada yer aldığı görülmüştür. Bilgisayar uygulaması özelinde, referans değeri farklılaşabilen yöntemler içinde IRPA yönteminin, diğer tüm yöntemlere en çok benzerlik gösterecek şekilde en yüksek korelasyon değerine sahip olduğu göze çarpmaktadır.

Bilgisayar seçim problemi uygulaması sonuçlarından benzerliklerin görselleştirilmesi amacıyla hazırlana ÇBÖ grafiğine, Şekil 11’de (S-stress= 0,0012 ve D.A.F.= 0,9987) yer verilmiştir.



Şekil 11. Genel Yöntemlerin Çok Boyutlu Ölçekleme Grafiği

Şekil 11’de korelasyon ortalaması en yüksek yöntemlerin merkeze en yakın olacak şekilde konumlandığı görülmektedir. Ayrıca MOORA – II yöntemi, diğer yöntemlerle en düşük benzerlik gösteren yöntem olarak en uzak noktada konumlanmıştır.

3.2.3. Problemin IRPA ve Referans Noktası Yaklaşımına Dayalı Yöntemlerle Çözümü

ÇKKV yöntemleri içerisinde referans kümesi değişkenlik gösterebilen yöntemler bulunmaktadır. Referans kümesi, maksimum ve minimum değer arasında belirlenebilen yöntemler; ARAS, DNBMA, GRA, MOORA - II ve RIM yöntemleridir. Bir önceki bölümden farklı olarak bu bölümde, adı geçen yöntemlerin referans değerleri değiştirilmiştir. Her yöntemde referans değerler ve değişkenler, şu şekilde belirlenmiştir:

- Referans değer, maksimum veya minimum değer olarak alınmıştır. Yöntemin bu versiyonu, Tablo 46’da A olarak gösterilmiştir.
- Referans değer, ortalama değerler olarak alınmıştır. Yöntemin bu versiyonu, Tablo 46’da B olarak gösterilmiştir.
- DNBMA yönteminde ϕ (phi) katsayısı 0,5 olarak alınmıştır.

- GRA yönteminde ise ksi (ξ) değeri 0,5 olarak alınmıştır.
- RIM yönteminde referans değerler, kesin bir değer yerine aralık olarak belirlenmektedir. Bu nedenle RIM yönteminin referans kümesi, ortalama veya maksimum/minimum değerlerin % 10'una göre belirlenmiştir.
- IRPA yönteminde referans değerler, ilk 5 kriter için ortalama veya maksimum/minimum ve 6. kriter için maksimum değerlerin % 10 üst değeri olarak alınmıştır. Yöntemin bu versiyonu, Tablo 46'da C olarak gösterilmiştir.

Referans kümesi seçimi ile ilgili oluşan farklılıkların ve referans kümesi farklılaşabilen yöntemlerin karşılaştırılması amacıyla bilgisayar seçim uygulaması referans kümesi maksimum/minimum veya ortalama olarak seçildiğinde oluşan sıralama farklılıkları, Tablo 46'da gösterilmiştir.

Tablo 46. Referans Kümesi Farklılaşabilen Yöntemlerin Alternatif Sıralamaları

Yöntemler	ARAS		DNBMA		GRA		MOORA - II		IRPA			RIM	
Referans Değer	A ¹	B ²	A	B	A	B	A	B	A	B	C ³	A	B
A ₁	13	13	12	3	11	11	11,5	7,5	12	13	11	12,5	1,5
A ₂	2	2	1	11	1	8	2,5	11,5	1	1	2	1	13,5
A ₃	8	8	10	9	9	7	6	3,5	9	9	6	11	9
A ₄	4	4	6	13	4	14	6	13,5	4	4	3	7	9
A ₅	10	10	11	5	13	3	6	1,5	11	10	10	10	3
A ₆	5	5	4	10	5	9	11,5	7,5	5	5	5	4	6,5
A ₇	11	11	9	6	8	4	11,5	7,5	10	11	7	9	4,5
A ₈	1	1	2	14	2	13	2,5	11,5	2	2	1	3	13,5
A ₉	12	12	14	4	14	2	6	1,5	14	12	14	14	4,5
A ₁₀	6	6	5	8	6	6	11,5	7,5	6	6	8	5	6,5
A ₁₁	9	9	7	2	10	1	11,5	7,5	7	8	12	6	12
A ₁₂	14	14	13	1	12	10	11,5	7,5	13	14	13	12	1,5
A ₁₃	3	3	3	12	3	12	1	13,5	3	3	4	2	11
A ₁₄	7	7	8	7	7	5	6	3,5	8	7	9	8	9

¹ A, referans kümesi maksimum veya minimum değerler.

² B, referans kümesi ortalama değerler.

³ C, referans kümesi maksimum/minimum, ortalama veya maksimum/minimum üstü/altı değerler.

Referans yöntemlerinin sıralamaları incelendiğinde en yüksek değişkenliğin, A₈ ve A₁₂ alternatiflerin sıralamalarında olduğu görülmektedir. En düşük sıralama değişkenliğine sahip alternatiflerin ise A₁₄ ve A₁₀ alternatiflerinin olduğu ve bu alternatifleri, A₃, A₆ ve A₇ alternatiflerinin takip ettiği görülmektedir. ARAS yönteminde, farklı referans kümeleri kullanıldığında elde edilen alternatif sıralamalarında bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Farklı referans kümelerine göre en az değişkenlik ise IRPA yönteminde.

3.2.3.1. IRPA ve Referans Noktası Yaklaşımına Dayalı Yöntemlerden Elde Edilen Çözümlerin Karşılaştırılması

Bu bölümde IRPA yöntemi, literatürde referans noktası yaklaşımına sahip diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken alternatif sayısının 14 olması nedeniyle Spearman korelasyon katsayıları kullanılmıştır. Farklı referans kümelerine sahip yöntemlerin korelasyonlarına ait değerler, Tablo 47’de gösterilmiştir.



Tablo 47. Referans Kümesi Farklılaşabilen Yöntemlerin Spearman Korelasyon Katsayıları

Yöntemler		ARAS		DNBMA		GRA		MOORA - II		IRPA			RIM	
	Referans Değer	A ⁽¹⁾	B ⁽²⁾	A	B	A	B	A	B	A	B	C ⁽³⁾	A	B
ARAS	A	1	1	0,9388	-0,9111	0,9257	-0,4519	0,6611	-0,5558	0,9650	0,9913	0,8950	0,8945	-0,8149
	B	1	1	0,9388	-0,9111	0,9257	-0,4519	0,6611	-0,5558	0,9650	0,9913	0,8950	0,8945	-0,8149
DNBMA	A	0,9388	0,9388	1	-0,7843	0,9475	-0,3950	0,4687	-0,6345	0,9825	0,9563	0,8469	0,9841	-0,7799
	B	-0,9111	-0,9111	-0,7843	1	-0,8630	0,6020	-0,5459	0,6250	-0,8324	-0,8673	-0,9373	-0,6798	0,6698
GRA	A	0,9257	0,9257	0,9475	-0,8630	1	-0,5743	0,5168	-0,7044	0,9563	0,9257	0,9213	0,8989	-0,7296
	B	-0,4519	-0,4519	-0,3950	0,6020	-0,5743	1	-0,2201	0,7562	-0,4650	-0,4038	-0,6050	-0,3081	0,1844
MOORA - II	A	0,6611	0,6611	0,4687	-0,5459	0,5168	-0,2201	1	-0,1447	0,5408	0,6370	0,5911	0,4539	-0,4858
	B	-0,5558	-0,5558	-0,6345	0,6250	-0,7044	0,7562	-0,1447	1	-0,6695	-0,5733	-0,6082	-0,5968	0,5419
IRPA	A	0,9650	0,9650	0,9825	-0,8324	0,9563	-0,4650	0,5408	-0,6695	1	0,9781	0,8819	0,9535	-0,8214
	B	0,9913	0,9913	0,9563	-0,8673	0,9257	-0,4038	0,6370	-0,5733	0,9781	1	0,8644	0,9251	-0,8280
	C	0,8950	0,8950	0,8469	-0,9373	0,9213	-0,6050	0,5911	-0,6082	0,8819	0,8644	1	0,7720	-0,6509
RIM	A	0,8945	0,8945	0,9841	-0,6798	0,8989	-0,3081	0,4539	-0,5968	0,9535	0,9251	0,7720	1	-0,7312
	B	-0,8149	-0,8149	-0,7799	0,6698	-0,7296	0,1844	-0,4858	0,5419	-0,8214	-0,8280	-0,6509	-0,7312	1
Ortalamalar		0,4260	0,4260	0,4208	-0,3412	0,3959	-0,1025	0,3180	-0,1631	0,4181	0,4305	0,3743	0,4200	-0,3277
Sıralamalar		2,5	2,5	4	13	7	10	9	11	6	1	8	5	12

⁽¹⁾ A, referans kümesi maksimum veya minimum değerler.

⁽²⁾ B, referans kümesi ortalama değerler.

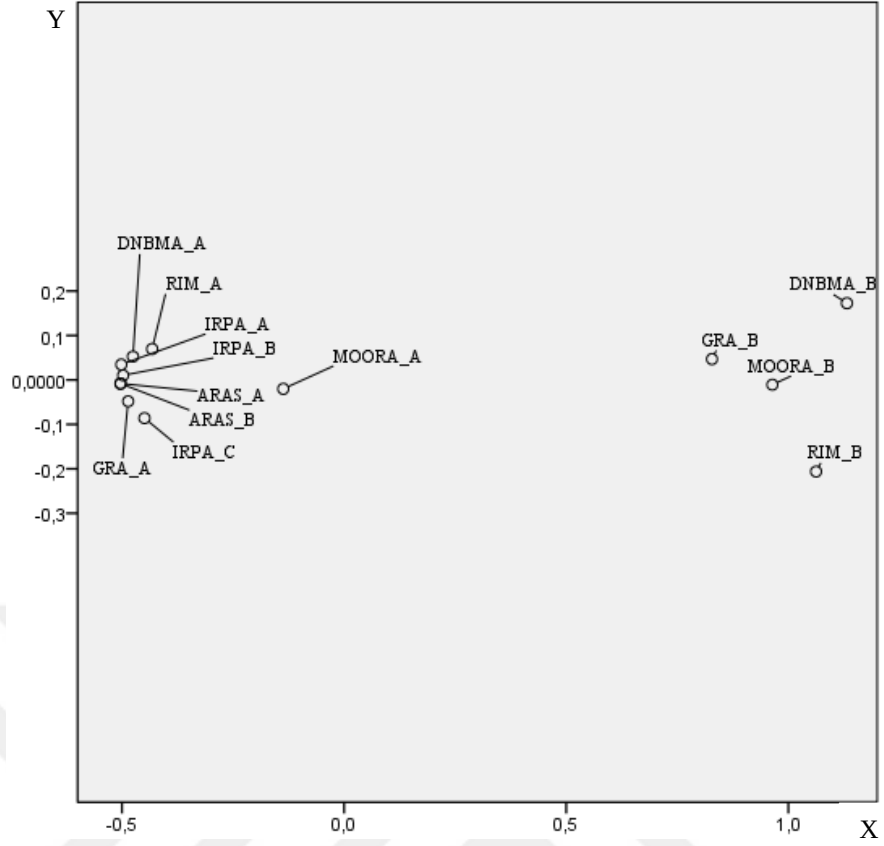
⁽³⁾ C, referans kümesi maksimum/minimum, ortalama veya maksimum/minimum üstü/altı değerler.

Tablo 47 incelediğinde şu sonuçlara varılmıştır:

- ARAS yönteminde referans kümesi değiştiğinde sıralamalarda herhangi bir değişiklik olmamıştır.
- DNBMA yönteminde sıralamalar aşırı bir değişkenlik göstererek, yöntemin farklı versiyonları arasındaki korelasyon değeri, -0,7843 seviyesindedir.
- RIM yönteminin farklı versiyonları arasındaki korelasyon değeri, -0,7312'dir.
- GRA yöntemindeki farklı versiyonlar arasındaki sıralamaların korelasyon değeri, -0,5743'tür.
- MOORA - II yönteminde farklı versiyonları arasındaki sıralamaların korelasyon değeri, -0,1447'dir.
- Referans küme farklılığının en düşük seviyede kaldığı yöntem, farklı versiyonlar arasındaki korelasyon değeri 0,8644 ile IRPA yöntemidir.

Ortalama korelasyon değerleri incelendiğinde diğer yöntemler ile en uyumlu sıralamaya sahip yöntemin, IRPA (Ort) yöntemi olduğu görülmektedir. IRPA yöntemini, ortalama veya maksimum/minimum değerleri referans alan ARAS yöntemi takip etmektedir. ARAS yöntemini; DNBMA, RIM ve IRPA (Min/Maks) yöntemleri takip etmektedir.

Referans kümesi farklılaşabilen yöntemlerin korelasyon değerleri kullanılarak SPSS programında çizdirilen ÇBÖ grafiğine Şekil 11'de (S-stress= 0,0006 ve D.A.F.= 0,9989) yer verilmiştir.



Şekil 12. Referans Kümesi Farklılaşabilen Yöntemler için Çok Boyutlu Ölçekleme Grafiği

ÇBÖ grafiği incelendiğinde merkez noktaya en yakın yöntemlerin, IRPA ve ARAS yöntemleri olduğu görülmektedir. Negatif korelasyon değerlerine sahip yöntemlerin merkez noktadan en uzak olacak şekilde konumlandığı da görülmektedir.

SONUÇ

Günlük hayatta karşılaşılan ÇKKV problemlerine, verilerin yapısına ve problemin türüne göre farklı yöntemler ile çözüm önerileri sunulmaktadır. Günümüze kadar literatüre kazandırılan ÇKKV yöntemleri içerisinde alternatif ve kriter değerleri hakkında verilerin kantitatif bir şekilde elde edildiği problemler, bu çalışmanın kapsamını oluşturmaktadır. Bu nedenle literatürde sınırlı sayıda alternatif ve kriter için sıralama, sınıflama veya seçim amacıyla yaygın olarak kullanılan 15 farklı yöntem ve IRPA yöntemi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar yapılırken Spearman ve Pearson korelasyonlar katsayılarından ve benzerlik ve farklılık seviyelerinin görselleştirilmesi amacıyla ÇBÖ grafiklerinden faydalanılmıştır. Literatürde yer alan Keshavarz Ghorabae vd. (2015) tarafından ele alınan sıralama probleminin, bu çalışma kapsamında ilk kez ele alınan bilgisayar seçim problemi uygulamasının ve simülasyon uygulamasının IRPA yöntemi ve diğer yöntemler ile elde edilen sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çalışma kapsamında ele alınan 15 farklı yöntem ve IRPA yönteminin iki farklı versiyonu, EDAS ve CODAS yöntemlerinin önerildikleri çalışmalarda yer alan veriler ile hesaplanmıştır ve çıkan sonuçlar, kriter ağırlık değişimleri için değerlendirilmiştir. Ağırlık değişimlerine karşı aşırı duyarlılık veya duyarsızlık istenilmeyen bir durum olarak karar verici tarafından göz önünde bulundurulduğunda, EDAS ve CODAS verileri için en uygun tercih edilmesi gereken yöntemlerin ağırlık değişimlerine karşı hassasiyeti tüm yöntemler içerisinde orta seviyede olarak değerlendirilen COPRAS, MAIRCA ve IRPA (Ort) yöntemlerinin olduğu sonucuna varılmıştır. Ağırlık kümelerinin tamamı için yöntemlerin birbirleri ile korelasyon değerlerinin ortalamalarına bakıldığında, en yüksek korelasyonlara sahip ilk üç sırada MOORA – I, EDAS ve IRPA (Ort) yöntemleri göze çarpmaktadır. Dolayısıyla bu, hem ağırlık değişimleri hem de yöntemlerin birbirleri ile uyumu açısından en iyi yöntemin IRPA (Ort) olduğunu göstermektedir.

Simülasyon uygulamaları sonuçlarına göre IRPA yöntemi; Spearman korelasyon katsayıları ortalaması için ikinci sırada, Pearson korelasyon katsayıları ortalamaları için ise ilk sırada yer almaktadır. Bu sonuçlar, IRPA yönteminin diğer yöntemler ile benzerliğini ispatlamaktadır. Pearson korelasyon katsayılarının Spearman korelasyon katsayılarına göre daha hassas sonuçlar verdiğinin düşünülmesi, IRPA yönteminin diğer yöntemlere alternatif olarak tercih edilebileceğini göstermektedir. Ayrıca Spearman korelasyonlar için yapılan simülasyon uygulaması sonucunda en yakın referans noktası

farklılaşabilen yöntemin 7. sıralama ile DNBMA yöntemi ve Pearson korelasyonlar için ise 6. sıralama ile RIM yöntemi olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar da IRPA yönteminin, özellikle referans noktası farklılaşabilen yöntemlere göre tercih edilebilir olduğunu göstermektedir.

IRPA yöntemi ve diğer yöntemler ile yapılan bilgisayar seçim uygulamasında da benzer sonuçlar elde edilmiştir. IRPA yönteminin hem diğer yöntemler hem de referans kümesi farklılaşabilen yöntemler arasında en yüksek korelasyona sahip olduğu görülmüştür. IRPA yöntemi ve diğer yöntemlerin korelasyon ortalamaları sıralamasında referans kümesi farklılaşabilen yöntemlerden en yakınının, 6,5. sıradaki ARAS yöntemi olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bilgisayar seçim uygulaması sonuçları da IRPA yöntemi için önceki uygulama sonuçlarını desteklemiştir.

Tekdüze dağılıma sahip girdi değişkenleri ile yapılan simülasyon uygulaması sonuçları, IRPA yönteminin ayırt ediciliğinin diğer yöntemler karşısında yüksek olduğunu göstermektedir. Bilgisayar seçim uygulamasında olduğu gibi gerçek hayattaki uygulamaların tekdüze dağılıma sahip olmayacağı ihtimalinin yüksek olması, IRPA yönteminin tüm yöntemler yerine alternatif olarak seçilmesine neden olacaktır.

Referans kümesi seçimlerinin (Ort ve Min/Maks) diğer yöntemlere göre konumlandırılması, ÇBÖ grafikleri ile görsel bir şekilde sunulmuştur. IRPA yönteminin ÇBÖ grafiklerinde farklı bir yerde konumlandırılması için referans kümesinin değerleri değiştirilebilir ve böylece diğer yöntemlere olan benzerlikler arttırılabilir veya azaltılabilir. Ayrıca simülasyon uygulaması sonuçlarından Pearson korelasyon katsayısı ortalamaları ile çizilen ÇBÖ grafiklerinin, korelasyon ortalamaları ile daha çok uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Pearson korelasyon katsayıları ortalamaları kullanılarak çizilen ÇBÖ grafiklerinde, korelasyon ortalamaları sıralaması ile yöntemlerin merkez noktaya olan uzaklık sıralamaları daha çok benzerlik göstermiştir.

Uygulama sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde; ağırlık değişimlerine duyarlı, literatürdeki mevcut yöntemlerle uyumlu, referans değerleri farklılaşabilen ve doğrusal olmayan memnuniyet fonksiyonunu temel alan IRPA yönteminin literatürde kendisine bir yer edinmesi beklenmektedir. Örnek problem, bilgisayar seçim problemi ve simülasyon ile edilen farklı karar verme problemlerinin IRPA ve 15 farklı yöntem ile çözüm sonuçlarının karşılaştırılması ile literatürde olmayan bir karşılaştırma kapsamına

ulaşılmıştır. Ayrıca bu tez çalışmasının Ekler bölümünde verilen MATLAB kodları, diğer çalışmalara kolaylık ve zaman tasarrufu sağlayacaktır.

IRPA yöntemi, memnuniyet fonksiyonu yaklaşımı ile pazarlama, ürün seçimi, kariyer seçimi, makine çalışma koşulları veya çıktıları, finans vb. alanlarda doğrusal ilişki içermeyen ve referans noktası değişebilen karar verme problemlerinde daha gerçekçi seçim yapma şansı tanıyacaktır. Başka bir deyişle doğrusal ilişki varsayımının olduğu birden fazla ve sınırlı sayıdaki kriter ve alternatifler arasında karar tercihlerinin açıklanamayan ve modele dahil edilmeyen kısmı nedeniyle ilişkinin, doğrusal olmayan bir şekilde ele alınması gerçek hayata daha uygun çözümler üretilmesini sağlayacaktır.

Bundan sonraki çalışmalarda IRPA yönteminde ağırlık değişimlerine karşı hassasiyet, farklı karar verme problemlerindeki ağırlık küme sayısı artırılarak karşılaştırılabilir. Pearson ve Spearman simülasyon uygulamaları, ağırlık değişimlerini de kapsayacak bir şekilde genişletilebilir. Bu tez çalışmasındaki simülasyon uygulaması, sadece referans noktası farklılaşabilen yöntemler için hem Spearman hem de Pearson korelasyon katsayıları kullanılarak yapılabilir. Referans noktası farklılaşabilen yöntemler için referans değerinin değişimi kademeli olarak attırılarak bu farklı versiyonlar arasındaki ilişkiler incelenebilir. IRPA yönteminin hesaplama süresi, basitlik ve matematiksel işlemler açısından dezavantajlarının da görülebilmesi amacıyla diğer yöntemlerle karşılaştırılabilir.

Uzman görüşüne dayalı belirlenen sıralamalar ve kriter ağırlıkları, IRPA yöntemi ve referans değeri farklılaşabilen yöntemlerin çözümünde kullanılabilir ve yöntemlerin sonuçları karşılaştırılabilir.

Son olarak IRPA yöntemi, farklı küme teorileri (Bulanık, Sezgisel, Neutrosophic, Plithogenic) ile birleştirilerek insan davranışlarının gerçek hayattaki değişkenlere göre daha etkin bir şekilde modellenmesi için kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- Abdel-Baset, M., Chang, V., Gamal, A., & Smarandache, F. (2019). "An Integrated Neutrosophic ANP and VIKOR Method for Achieving Sustainable Supplier Selection: A Case Study in Importing Field", *Computers in Industry*, 106, 94-110.
- Abhishek, K., Datta, S., Biswal, B. B., & Mahapatra, S. S. (2017). "Machining Performance Optimization for Electro-Discharge Machining of Inconel 601, 625, 718 and 825: An Integrated Optimization Route Combining Satisfaction Function, Fuzzy Inference System and Taguchi Approach", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 39(9), 3499-3527.
- Afshari, A., Mojahed, M., & Yusuff, R. M. (2010). "Simple Additive Weighting Approach to Personnel Selection Problem", *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 1(5), 511.
- Aggarwal, A., Choudhary, C., & Mehrotra, D. (2018). "Evaluation of Smartphones in Indian Market Using EDAS", *Procedia Computer Science*, 132, 236-243.
- Akay, D., Boran, F. E., Yilmaz, M., & Atak, M. (2013). "The Evaluation of Power Plants Investment Alternatives with Grey Relational Analysis Approach for Turkey", *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 8(1), 35-43.
- Alali, F., & Tolga, A. C. (2019). "Portfolio Allocation with the TODIM Method", *Expert Systems with Applications*, 124, 341-348.
- Albahash, Z. F., & Ansari, M. N. M. (2019). "Selection of Design Variables Using Complex Proportional Assessment and Analysis of a Rear Underride Protection Device", *International Journal of Crashworthiness*, 2019, 1-8.
- Allouche, M. A., Aouni, B., Martel, J. M., Loukil, T., & Rebai, A. (2009). "Solving Multi-Criteria Scheduling Flow Shop Problem Through Compromise Programming and Satisfaction Functions", *European Journal of Operational Research*, 192(2), 460-467.
- Al-Refaie, A. (2014). "A Proposed Satisfaction Function Model to Optimize Process Performance with Multiple Quality Responses in the Taguchi Method",

Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 228(2), 291-301.

Antucheviciene, J., Zavadskas, E. K., & Zakarevicius, A. (2010). "Multiple Criteria Construction Management Decisions Considering Relations between Criteria", *Technological and Economic Development of Economy*, 16(1), 109-125.

Aouni, B., Abdelaziz, F. B., & Martel, J. M. (2005). "Decision-Maker's Preferences Modeling in the Stochastic Goal Programming", *European Journal of Operational Research*, 162(3), 610-618.

Aouni, B., Colapinto, C., & La Torre, D. (2012). "Stochastic Goal Programming Model and Satisfaction Functions for Media Selection and Planning Problem", *International Journal of Multicriteria Decision Making*, 2(4), 391-407.

Aouni, B., Colapinto, C., & La Torre, D. (2013). "A Cardinality Constrained Stochastic Goal Programming Model with Satisfaction Functions for Venture Capital Investment Decision Making", *Annals of Operations Research*, 205(1), 77-88.

Aouni, B., Hassaine, A., & Martel, J. M. (2009). "Decision-Maker's Preferences Modelling within the Goal-Programming Model: A New Typology", *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 16(5-6), 163-178.

Arabameri, A., Pradhan, B., Pourghasemi, H. R., & Rezaei, K. (2018). "Identification of Erosion-Prone Areas Using Different Multi-Criteria Decision-Making Techniques and GIS", *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 1129-1155.

Arslan, H. M. (2017). "AHP-ARAS Hibrit Yöntemi ile Lojistik İşletmelerinin En Uygun Araç Seçimi", *Alphanumeric Journal*, 5(2), 271-282.

Arslan, R., & Bircan, H. (2018). "Alternatif Sayısının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Sonuçlarına Etkisi", *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(18), 239-264.

Arslan, R., Bircan, H., & Eleroğlu, H. (2018). "Optimally Rating of Biogas, Compost, Vermicompost Facilities to be Installed in Yozgat Province with ARAS and

COPRAS Methods”, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(12), 1844-1852.

Athawale, V. M., & Chakraborty, S. (2011). “A Comparative Study on the Ranking Performance of Some Multi-Criteria Decision-Making Methods for Industrial Robot Selection”, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 2(4), 831-850.

Aytaç Adalı, E. & Tuş Işık, A. (2016). “Air Conditioner Selection Problem with COPRAS and ARAS Methods”, *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(2), 124-138.

Aytaç Adalı, E. (2016). “Personnel Selection in Health Sector with EVAMIX and TODIM Methods”, *Alphanumeric Journal*, 4(2), 69-84.

Aytaç Adalı, E., & Tuş Işık, A. (2017). “The Multi-Objective Decision Making Methods based on MULTIMOORA and MOOSRA for the Laptop Selection Problem”, *Journal of Industrial Engineering International*, 13(2), 229-237.

Aytaç Adalı, E., & Tuş, A. (2019). “Hospital Site Selection with Distance-Based Multi-Criteria Decision-Making Methods”, *International Journal of Healthcare Management*, <https://doi.org/10.1080/20479700.2019.1674005>, 1-11.

Aytekin, S., & Erol, A. F. (2018). “Finansal Performans Kurumsal Sürdürülebilirlik Performansının Temel Belirleyicisi Midir? BIST Sürdürülebilirlik Endeksinde Aras Yöntemi ile Bir Uygulama”, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 2018(17. UİK Özel Sayısı), 869-886.

Ayyıldız, E., & Yalçın, S. (2018). “Türkiye’de Yer Alan Lojistik Dostu Şehirlerin Bütünleşik Entropi-Codas Kullanılarak Belirlenmesi”, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(4), 127-140.

Badalpur, M., & Nurbakhsh, E. (2019). “An Application of WASPAS Method in Risk Qualitative Analysis: A Case Study of a Road Construction Project in Iran”, *International Journal of Construction Management*, 1-9.

Badi, I. A., Abdulshahed, A. M., & Shetwan, A. G. (2018). “A Case Study of Supplier Selection for a Steelmaking Company in Libya by Using the Combinative

- Distance-based ASsessment (CODAS) Model”, *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1(1), 1-12.
- Bai, S. W., Zhang, J. S., & Wang, Z. (2016). “Selection of a Sustainable Technology for Cutting Granite Block into Slabs”, *Journal of Cleaner Production*, 112, 2278-2291.
- Bakır M., & Alptekin N. (2018). “Hizmet Kalitesi Ölçümüne Yeni Bir Yaklaşım: CODAS Yöntemi ile Havayolu İşletmeleri Üzerine Bir Uygulama”, *Business & Management Studies: An International Journal*, 6(4), 1336-1353.
- Balezentis, T., & Streimikiene, D. (2017). “Multi-Criteria Ranking of Energy Generation Scenarios with Monte Carlo Simulation”, *Applied Energy*, 185, 862-871.
- Banaitiene, N., Banaitis, A., Kaklauskas, A., & Zavadskas, E. K. (2008). “Evaluating the Life Cycle of a Building: A Multivariant and Multiple Criteria Approach”, *Omega*, 36(3), 429-441.
- Banerjee, R., & Ghosh, D. N. (2013). “Faculty Recruitment in Engineering Organization Through Fuzzy Multi-Criteria Group Decision Making Methods”, *International Journal of u-and e-Service, Science and Technology*, 6(4), 139-154.
- Bardos, R. P., Mariotti, C., Marot, F., & Sullivan, T. (2001). “Framework for Decision Support Used in Contaminated Land Management in Europe and North America”, *NATO/CCMS Pilot Study*, Wiesbaden, 9-30.
- Bid, S., & Siddique, G. (2019). “Human risk assessment of Panchet Dam in India using TOPSIS and WASPAS Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods”, *Heliyon*, 5(6), 1-13.
- Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). “Note—A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making)”. *Management Science*, 31(6), 647-656.
- Brauers, W. K. (2004). “Multiobjective Optimization (MOO) in Privatization”, *Journal of Business Economics and Management*, 5 (2), 59-65.

- Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2010). "Project Management by MULTIMOORA as an Instrument for Transition Economies", *Technological and Economic Development of Economy*, 16(1), 5-24.
- Brauers, W. K., & Zavadskas, E. K. (2006). "The MOORA Method and Its Application to Privatization in a Transition Economy", *Control and Cybernetics*, 35, 445-469.
- Buja, A., Swayne, D. F., Littman, M. L., Dean, N., Hofmann, H., & Chen, L. (2008). "Data Visualization with Multidimensional Scaling", *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 17(2), 444-472.
- Cables, E., Lamata, M. T., & Verdegay, J. L. (2016). "RIM-Reference Ideal Method in Multicriteria Decision Making", *Information Sciences*, 337, 1-10.
- Chakraborty, S. (2011). "Applications of the MOORA Method for Decision Making in Manufacturing Environment", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54(9-12), 1155-1166.
- Chakraborty, S., & Yeh, C. H. (2007, February). "A Simulation Based Comparative Study of Normalization Procedures in Multiattribute Decision Making", *In Proceedings of the 6th Conference on 6th WSEAS Int. Conf. on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases*, 6, 102-109.
- Chakraborty, S., & Zavadskas, E. K. (2014). "Applications of WASPAS Method in Manufacturing Decision Making", *Informatica*, 25(1), 1-20.
- Chan, J. W. (2008). "Product End-of-Life Options Selection: Grey Relational Analysis Approach", *International Journal of Production Research*, 46(11), 2889-2912.
- Chatterjee, P., Athawale, V. M., & Chakraborty, S. (2011). "Materials Selection Using Complex Proportional Assessment and Evaluation of Mixed Data Methods", *Materials & Design*, 32(2), 851-860.
- Chaudhari, P. G., Patel, P. B., & Patel, J. D. (2018). "Evaluation of MIG Welding Process Parameter Using Activated Flux on SS316L by AHP-MOORA method", *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 5208-5220.

- Chen, J. H., Chang, T. T., Ho, C. R., & Diaz, J. F. (2014). "Grey Relational Analysis and Neural Network Forecasting of REIT Returns", *Quantitative Finance*, 14(11), 2033-2044.
- Chen, J. K., & Chen, I. S. (2012). "A Network Hierarchical Feedback System for Taiwanese Universities based on the Integration of Total Quality Management and Innovation", *Applied Soft Computing*, 12(8), 2394-2408.
- Chen, J., Wang, J., Baležentis, T., Zagurskaitė, F., Streimikiene, D., & Makutėnienė, D. (2018). "Multicriteria Approach towards the Sustainable Selection of a Teahouse Location with Sensitivity Analysis", *Sustainability*, 10(8), 2926.
- Chen, W. H. (2005). "A Grey-Based Approach for Distribution Network Reconfiguration", *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 28(5), 795-802.
- Cherif, M. S., Chabchoub, H., & Aouni, B. (2008). "Quality Control System Design Through the Goal Programming Model and the Satisfaction Functions", *European Journal of Operational Research*, 186(3), 1084-1098.
- Chitsaz, N., & Banihabib, M. E. (2015). "Comparison of Different Multi Criteria Decision-Making Models in Prioritizing Flood Management Alternatives", *Water Resources Management*, 29(8), 2503-2525.
- Chiu, M. C., Chu, C. Y., & Chen, C. C. (2018). "An Integrated Product Service System Modelling Methodology with a case Study of Clothing Industry", *International Journal of Production Research*, 56(6), 2388-2409.
- Commandeur, J. J., & Heiser, W. J. (1993). *Mathematical Derivations in the Proximity Scaling (PROXSCAL) of Symmetric Data Matrices*, Technical Report, University of Leiden.
- Çakır, E. (2018). "Bütünleşik SWARA ve EDAS Yöntemi Kullanarak Fitness Merkezlerinin Değerlendirilmesi: Örnek Bir Uygulama", *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(3), 1907-1923.

- Çelen, A. (2014). "Comparative Analysis of Normalization Procedures in TOPSIS Method: with an Application to Turkish Deposit Banking Market", *Informatica*, 25(2), 185-208.
- Da Silva Filho, M. T. (2015). "Problem Structuring Methods Recommendation for a Public Organization of the Rio de Janeiro State", *Procedia Computer Science*, 55, 196-202.
- Dai, H., Wang, J., Li, G., Chen, W., Qiu, B., & Yan, J. (2019). "A Multi-Criteria Comprehensive Evaluation Method for Distributed Energy System", *Energy Procedia*, 158, 3748-3753.
- Deng, J. (1989). "Introduction to Grey System Theory", *The Journal of Grey System*, 1(1), 1-24.
- Deng, J. L. (1982). "Control Problems of Grey Systems", *System. & Control. Letters.*, 1(5), 288-294.
- Dey, B., Bairagi, B., Sarkar, B., & Sanyal, S. K. (2016). "Multi Objective Performance Analysis: A Novel Multi-Criteria Decision Making Approach for a Supply Chain", *Computers & Industrial Engineering*, 94, 105-124.
- Dey, B., Bairagi, B., Sarkar, B., & Sanyal, S. K. (2017). "Group Heterogeneity in Multi Member Decision Making Model with an Application to Warehouse Location Selection in a Supply Chain", *Computers & Industrial Engineering*, 105, 101-122.
- Ecer, F., Pamucar, D., Zolfani, S. H., & Eshkalag, M. K. (2019). "Sustainability Assessment of OPEC Countries: Application of a Multiple Attribute Decision Making Tool", *Journal of Cleaner Production*, 241, 1-17.
- Ercan, E., & Kundakcı, N. (2017). "Bir Tekstil İşletmesi için Desen Programı Seçiminde ARAS ve OCRA Yöntemlerinin Karşılaştırılması", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(1), 83-105.
- Erdoğan, S., Balki, M. K., Aydın, S., & Sayin, C. (2019). "The Best Fuel Selection with Hybrid Multiple-Criteria Decision Making Approaches in a CI Engine Fueled

With Their Blends and Pure Biodiesels Produced from Different Sources”, *Renewable Energy*, 134, 653-668.

Fazlollahtabar, H., Smailbasic, A., & Stevic, Z. (2019). “FUCOM Method in Group Decision-Making: Selection of Forklift in a Warehouse”, *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 49-65.

Forzieri, G., Guarnieri, L., Vivoni, E. R., Castelli, F., & Preti, F. (2009). “Multiple Attribute Decision Making for Individual Tree Detection Using High-Resolution Laser Scanning”, *Forest Ecology and Management*, 258(11), 2501-2510.

Fu, C., Chang, W., Xu, D., & Yang, S. (2019). “An Evidential Reasoning Approach based on Criterion Reliability and Solution Reliability”, *Computers & Industrial Engineering*, 128, 401-417.

Fu, Y. K. (2019). “An Integrated Approach to Catering Supplier Selection Using AHP-ARAS-MCGP Methodology”, *Journal of Air Transport Management*, 75, 164-169.

Gadakh, V. S. (2014). “Application of Complex Proportional Assessment Method for Vendor Selection”, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 17(1), 23-34.

Ghiabakloo, H., Lee, K., Kazeminezhad, M., & Kang, B. S. (2016). “Surrogate-based Pareto Optimization of Annealing Parameters for Severely Deformed Steel”, *Materials & Design*, 92, 1062-1069.

Gigovic, L., Pamucar, D., Bajic, Z., & Milicevic, M. (2016). “The Combination of Expert Judgment and GIS-MAIRCA Analysis for the Selection of Sites for Ammunition Depots”, *Sustainability*, 8(4), 372.

Gomathisankar, M., Gangatharan, M., & Pitchipoo, P. (2018). “A Novel Optimization of Friction Stir Welding Process Parameters on Aluminum Alloy 6061-T6”, *Materials Today: Proceedings*, 5(6), 14397-14404.

- Gomes, L. F. A. M. & González, X. I. (2012). “Behavioral Multi-Criteria Decision Analysis: Further Elaborations on the TODIM Method”, *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 37(1), 3-8.
- Gomes, L. F. A. M. & Rangel, L. A. D. (2009). “An Application of the TODIM Method to the Multicriteria Rental Evaluation of Residential Properties”, *European Journal of Operational Research*, 193(1), 204-211.
- Gomes, L. F. A. M., Rangel, L. A. D., & Maranhão, F. J. C. (2009). “Multicriteria Analysis of Natural Gas Destination in Brazil: An Application of the TODIM Method”, *Mathematical and Computer Modelling*, 50(1-2), 92-100.
- Goodridge, W., Bernard, M., Jordan, R., & Rampersad, R. (2017). “Intelligent Diagnosis of Diseases in Plants Using a Hybrid Multi-Criteria Decision Making Technique”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 133, 80-87.
- Guitouni, A., & Martel, J. M. (1998). “Tentative Guidelines to Help Choosing an Appropriate MCDA Method”, *European Journal of Operational Research*, 109(2), 501-521.
- Gupta, H. (2018). “Evaluating Service Quality of Airline Industry Using Hybrid Best Worst Method and VIKOR”, *Journal of Air Transport Management*, 68, 35-47.
- Gürgen, S., Çakır, F. H., Sofuoğlu, M. A., Orak, S., Kuşhan, M. C., & Li, H. (2019). “Multi-Criteria Decision-Making Analysis of Different Non-Traditional Machining Operations of Ti6Al4V”, *Soft Computing*, 23(13), 5259-5272.
- Hafezalkotob, A., Hafezalkotob, A., Liao, H., & Herrera, F. (2019). “An Overview of MULTIMOORA for Multi-Criteria Decision-Making: Theory, Developments, Applications, and Challenges”, *Information Fusion*, 51, 145-177.
- Hamzaçebi, C., & Pekkaya, M. (2011). “Determining of Stock Investments with Grey Relational Analysis”, *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9186-9195.
- Hassanpour, M. (2019). “Evaluation of Iranian Mining and Aggregate Industries”, *Industrial Engineering Journal*, 12(3), 1-15.

- Hassanpour, M., & Pamucar, D. (2019). "Evaluation of Iranian Household Appliance Industries Using MCDM Models", *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 2(3), 1-25.
- Hung, Y. H., Chou, S. C. T., & Tzeng, G. H. (2011). "Knowledge Management Adoption and Assessment for SMEs by a Novel MCDM Approach", *Decision Support Systems*, 51(2), 270-291.
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications A State-of-the-Art Survey*. Springer-Verlag, Berlin.
- Ighravwe, D. E., & Babatunde, D. E. (2019). "Evaluation of Landfill Gas Plant Siting Problem: a Multi-Criteria Approach", *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 6(1), 1-10.
- Jadhav, S. D., & Tandale, M. S. (2018). "Part Load and Full Load Multi-Objective Performance Optimization of a Single-Cylinder Diesel Engine Operating on Mangifera Indica Biodiesel as Biofuel", *Biofuels*, 9(1), 29-44.
- Jakimavicius, M., & Burinskiene, M. (2009). "Assessment of Vilnius City Development Scenarios based on Transport System Modelling and Multicriteria Analysis", *Journal of Civil Engineering and Management*, 15(4), 361-368.
- Jayaraman, R., Liuzzi, D., Colapinto, C., & La Torre, D. (2015). "A Goal Programming Model with Satisfaction Function for Long-Run Sustainability in the United Arab Emirates", *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 6-9 December, Singapore, s. 249-253.
- Jiang, H., Yi, J., Zhou, K., & Zhu, X. (2019). "A Decision-Making Methodology for the Cloud-based Recycling Service of Smart Products: A Robot Vacuum Cleaner Case Study", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(1), 58-71.
- Jiang, Y., Zhang, J., Asante, D., & Yang, Y. (2019a). "Dynamic Evaluation of Low-Carbon Competitiveness (LCC) based on improved Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS) Method: A Case Study of Chinese Steelworks", *Journal of Cleaner Production*, 217, 484-492.

- Jozaghi, A., Alizadeh, B., Hatami, M., Flood, I., Khorrami, M., Khodaei, N., & Ghasemi Tousi, E. (2018). "A Comparative Study of the AHP and TOPSIS Techniques for Dam Site Selection Using GIS: A Case Study of Sistan and Baluchestan Province, Iran", *Geosciences*, 8(12), 494.
- Kabak, M., Erbaş, M., Çetinkaya, C., & Özceylan, E. (2018). "A GIS-based MCDM Approach for the Evaluation of Bike-Share Stations", *Journal of Cleaner Production*, 201, 49-60.
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K., Raslanas, S., Ginevicius, R., Komka, A., & Malinauskas, P. (2006). "Selection of Low-e Windows in Retrofit of Public Buildings by Applying Multiple Criteria Method COPRAS: A Lithuanian Case", *Energy and Buildings*, 38(5), 454-462.
- Kang, D., & Park, Y. (2014). "Based Measurement of Customer Satisfaction in Mobile Service: Sentiment Analysis and VIKOR Approach", *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1041-1050.
- Kanoun, I., Chabchoub, H., & Aouni, B. (2010). "Goal Programming Model for Fire And Emergency Service Facilities Site Selection", *Information Systems and Operational Research*, 48(3), 143-153.
- Karakuş, C. B., Demiroğlu, D., Çoban, A., & Ulutaş, A. (2020). "Evaluation of GIS-based Multi-Criteria Decision-Making Methods for Sanitary Landfill Site Selection: the Case of Sivas City, Turkey", *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22(1), 254-272.
- Karande, P., & Chakraborty, S. (2012). "Application of Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis (MOORA) Method for Materials Selection", *Materials & Design*, 37, 317-324.
- Kasim, M. M., Ibrahim, H., & Bataineh, M. S. B. (2011). "Multi-Criteria Decision Making Methods for Determining Computer Preference Index", *Journal of Information, and Communication Technology*, 10, 137-148.
- Keeney, R. L. (1972). "Utility Functions for Multiattributed Consequences", *Management Science*, 18(5-part-1), 276-287.

- Kentli, A., & Kar, A. K. (2011). "A Satisfaction Function and Distance Measure based Multi-Criteria Robot Selection Procedure", *International Journal of Production Research*, 49(19), 5821-5832.
- Kersulienė, V., & Turskis, Z. (2014). "An Integrated Multi-Criteria Group Decision Making Process: Selection of the Chief Accountant", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 110, 897-904.
- Keshavarz Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2017). "A New Hybrid Simulation-based Assignment Approach for Evaluating Airlines with Multiple Service Quality Criteria", *Journal of Air Transport Management*, 63, 45-60.
- Keshavarz Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2018). "A Comparative Analysis of the Rank Reversal Phenomenon in the EDAS and TOPSIS Methods", *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 52(3), 121-134.
- Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). "Multi-Criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS)", *Informatica*, 26(3), 435-451.
- Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2016). "A New Combinative Distance-Based Assessment (CODAS) Method for Multi-Criteria Decision-Making", *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 50(3), 25-44.
- Ketkar, M., & Vaidya, O. S. (2014). "Developing Ordering Policy based on Multiple Inventory Classification Schemes", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 133, 180-188.
- Kharrat, A., Dhouib, S., Chabchoub, H., & Aouni, B. (2011). "Decision-Maker's Preferences Modelling in the Engineering Design Through the Interactive Goal-Programming", *International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies*, 3(1), 85-104.

- Khatibi, S. A., Golkarian, A., Mosaedi, A., & Sojasi Qeidari, H. (2019). "Assessment of Resilience to Drought of Rural Communities in Iran", *Journal of Social Service Research*, 45(2), 151-165.
- Kiani, B., Liang, R. Y., & Gross, J. (2018). "Material Selection for Repair of Structural Concrete Using VIKOR Method", *Case Studies in Construction Materials*, 8, 489-497.
- Klamler, C. (2005). "On the Closeness Aspect of Three Voting Rules: Borda–Copeland–Maximin", *Group Decision and Negotiation*, 14(3), 233-240.
- Kolagar, M. (2019). "Adherence to Urban Agriculture in Order to Reach Sustainable Cities; a BWM–WASPAS Approach", *Smart Cities*, 2 (1), 31-45.
- Kruskal, J. B. (1964). "Multidimensional Scaling by Optimizing Goodness of Fit to a Nonmetric Hypothesis", *Psychometrika*, 29 (1), 1-27.
- Kutut, V., Zavadskas, E. K., & Lazauskas, M. (2013). "Assessment of Priority Options for Preservation of Historic City Centre Buildings Using MCDM (ARAS)", *Procedia Engineering*, 57, 657-661.
- Laha, S., & Biswas, S. (2019). "A Hybrid Unsupervised Learning and Multi-Criteria Decision Making Approach for Performance Evaluation of Indian Banks", *Accounting*, 5(4), 169-184.
- Lakshmi, T. M., Venkatesan, V. P., & Martin, A. (2015). "Identification of a Better Laptop with Conflicting Criteria Using TOPSIS", *International Journal of Information Engineering and Electronic Business*, 7(6), 28-36.
- Lee, H. C., & Chang, C. T. (2018). "Comparative Analysis of MCDM Methods for Ranking Renewable Energy Sources in Taiwan", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 883-896.
- Lee, K. M., Cho, C. H., & Lee-Kwang, H. (1994). "Ranking Fuzzy Values with Satisfaction Function", *Fuzzy Sets and Systems*, 64(3), 295-309.
- Leoneti, A. B. (2016). "Considerations Regarding the Choice of ranking Multiple Criteria Decision Making Methods", *Pesquisa Operacional*, 36(2), 259-277.

- Li, Y., Lin, C., Wang, Y., Gao, X., Xie, T., Hai, R., ... & Zhang, X. (2017). "Multi-Criteria Evaluation Method for Site Selection of Industrial Wastewater Discharge in Coastal Regions", *Journal of Cleaner Production*, 161, 1143-1152.
- Liao, H., & Wu, X. (2019). "DNMA: A Double Normalization-Based Multiple Aggregation Method for Multi-Expert Multi-Criteria Decision Making", *Omega*, 94, 1-15.
- Liao, H., Wu, X., & Herrera, F. (2018). "DNBMA: A Double Normalization-based Multi-Aggregation Method", In *International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems*, Springer, Cham, June, 63-73.
- Lin, C. T., Chang, C. W., & Lin, Y. J. (2005). "Grey Relational Analysis Evaluation of Digital Video Recorder", *Journal of Information and Optimization Sciences*, 26(1), 123-133.
- Liu, H. C., Mao, L. X., Zhang, Z. Y., & Li, P. (2013). "Induced Aggregation Operators in the VIKOR Method and its Application in Material Selection", *Applied Mathematical Modelling*, 37(9), 6325-6338.
- Liu, S., Chan, F. T., & Ran, W. (2016). "Decision Making for the Selection of Cloud Vendor: An Improved Approach Under Group Decision-Making with Integrated Weights and Objective/Subjective Attributes", *Expert Systems with Applications*, 55, 37-47.
- Llamazares, B. (2018). "An Analysis of the Generalized TODIM Method", *European Journal of Operational Research*, 269(3), 1041-1049.
- Luo, X., Wang, Y., Zhao, J., Chen, Y., Mo, S., & Gong, Y. (2016). "Grey Relational Analysis of an Integrated Cascade Utilization System of Geothermal Water", *International Journal of Green Energy*, 13(1), 14-27.
- MacCrimmon, K. R. (1968). *Decision Making among Multiple-Attribute Alternatives: a Survey and Consolidated Approach*. The Rand Corporation (No. RM-4823-ARPA), California.

- Machado, J. T., & Mehdipour, S. H. (2019). "Multidimensional Scaling Analysis of the Solar System Objects", *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 70, 1-18.
- Maggis, M., & La Torre, D. (2012). "A Goal Programming Model with Satisfaction Function for Risk Management and Optimal Portfolio Diversification", *Information Systems and Operational Research*, 50(3), 117-126.
- Maghsoodi, A. I., Maghsoodi, A. I., Poursoltan, P., Antucheviciene, J., & Turskis, Z. (2019). "Dam Construction Material Selection by Implementing the Integrated SWARA–CODAS Approach with Target-Based Attributes", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 19(4), 1194-1210.
- Mansour, N., Rebai, A., & Aouni, B. (2007). "Portfolio Selection Through Imprecise Goal Programming Model: Integration of the Managers Preferences", *Journal of Industrial Engineering*, 3(5), 1-8.
- Martel, J. M., & Aouni, B. (1990). "Incorporating the Decision-Maker's Preferences in the Goal-Programming Model", *Journal of the Operational Research Society*, 41(12), 1121-1132.
- Martel, J. M., & Aouni, B. (1996). *Incorporating the Decision-Maker's Preferences in the Goal Programming Model with Fuzzy Goal Values: A New Formulation*. In *Multi-Objective Programming and Goal Programming* (pp. 257-269). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Mateusz, P., Danuta, M., Małgorzata, Ł., Mariusz, B., & Kesra, N. (2018). "TOPSIS and VIKOR Methods in Study of Sustainable Development in the EU Countries", *Procedia Computer Science*, 126, 1683-1692.
- Mathew, M., & Sahu, S. (2018). "Comparison of new Multi-Criteria Decision Making Methods for Material Handling Equipment Selection", *Management Science Letters*, 8(3), 139-150.
- Mathew, M., Sahu, S., & Upadhyay, A. K. (2017). "Effect of Normalization Techniques in Robot Selection Using Weighted Aggregated Sum Product Assessment", *International Journal of Innovative Research and Advanced Studies*, 4(2), 59-63.

- McDaniels, T. L. (1996). "A Multiattribute Index for Evaluating Environmental Impacts of Electric Utilities", *Journal of Environmental Management*, 46(1), 57-66.
- Medineckiene, M., Zavadskas, E. K., Björk, F., & Turskis, Z. (2015). "Multi-Criteria Decision-Making System for Sustainable Building Assessment/Certification", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15(1), 11-18.
- Memariani, A., Amini, A., & Alinezhad, A. (2009). "Sensitivity Analysis of Simple Additive Weighting Method (SAW): the Results of Change in the Weight of one Attribute on the Final Ranking of Alternatives", *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, (4), 13-18.
- Mezghani, M., & Loukil, T. (2012). "Remanufacturing Planning with Imprecise Quality Inputs Through the Goal Programming and the Satisfaction Functions", *International Journal of Multicriteria Decision Making*, 2(4), 379-390.
- Mihajlovic, J., Rajkovic, P., Petrovic, G., & Ciric, D. (2019). "The Selection of the Logistics Distribution Center Location Based on MCDM Methodology in Southern and Eastern Region in Serbia", *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 2(2), 72-85.
- Miniotaite, R. (2017). "Research into the Structure and Technologies of the Building Envelope", *Energy Procedia*, 132, 460-465.
- Mitra, S., & Goswami, S. S. (2019). "Selection of the Desktop Computer Model by AHP-TOPSIS Hybrid MCDM Methodology", *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 6(1), 784-790.
- Mittal, V. K., Sindhwani, R., Kalsariya, V., Salroo, F., Sangwan, K. S., & Singh, P. L. (2017). "Adoption of Integrated Lean-Green-Agile Strategies for Modern Manufacturing Systems", *Procedia Cirp*, 61, 463-468.
- Moradian, M., Modanloo, V., & Aghaiee, S. (2019). "Comparative Analysis of Multi Criteria Decision Making Techniques for Material Selection of Brake Booster Valve Body", *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 6(5), 526-534.

- Mousavi-Nasab, S. H., & Sotoudeh-Anvari, A. (2018). "A new Multi-Criteria Decision Making Approach for Sustainable Material Selection Problem: A Critical Study on Rank Reversal Problem", *Journal of Cleaner Production*, 182, 466-484.
- Nechi, S., Aouni, B., & Mrabet, Z. (2019). "Managing Sustainable Development Through Goal Programming Model and Satisfaction Functions", *Annals of Operations Research*, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03139-9>, 1-20.
- Nuuter, T., Lill, I., & Tupenaite, L. (2015). "Comparison of Housing Market Sustainability in European Countries based on Multiple Criteria Assessment", *Land Use Policy*, 42, 642-651.
- O'Brien, D. B., & Brugha, C. M. (2010). "Adapting and Refining in Multi-Criteria Decision-Making", *Journal of the Operational Research Society*, 61(5), 756-767.
- Omrani, H., Fahimi, P., & Mahmoodi, A. (2020). "A data Envelopment Analysis Game Theory Approach for Constructing Composite Indicator: An Application to Find Out Development Degree of Cities in West Azarbaijan Province of Iran", *Socio-Economic Planning Sciences*, 69(2020), 1-14.
- Opricovic, S., & 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.
- Ouhibi, A., & Frikha, H. (2019). "CODAS-SORT: A New CODAS based Method for Sorting Problems", *6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, IEEE, 23-26 April, Paris, 855-860.
- Ömürbek, N., Eren, H., & Dağ, O. (2017). "Entropi-ARAS ve Entropi-MOOSRA Yöntemleri ile Yaşam Kalitesi Açısından AB Ülkelerinin Değerlendirilmesi", *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(2), 29-48.
- Özbek, A., & Engür, M. (2018). "EDAS Yöntemi İle Lojistik Firma Web Sitelerinin Değerlendirilmesi", *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 21(2), 417-429.

- Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., & Eren, T. (2017). “A Combined Goal Programming–AHP Approach Supported with TOPSIS for Maintenance Strategy Selection in Hydroelectric Power Plants”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1410-1423.
- Pagliuca, M. M., & Rosciano, M. (2018). “The Multidimensional Positioning of Italian Destinations”, *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 22 (2), 317–328.
- Pamucar, D. S., Tarle, S. P., & Parezanovic, T. (2018). “New Hybrid Multi-Criteria Decision-Making DEMATEL-MAIRCA Model: Sustainable Selection of a Location for the Development of Multimodal Logistics Centre”, *Economic Research*, 31(1), 1641-1665.
- Pamucar, D., & Cirovic, G. (2015). “The Selection of Transport and Handling Resources in Logistics Centers Using Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC)”, *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3016-3028.
- Pamucar, D., Lukovac, V., Bozanic, D., & Komazec, N. (2018a). “Multi-Criteria FUCOM-MAIRCA Model for the Evaluation of Level Crossings: Case Study in the Republic of Serbia”, *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 1(1), 108-129.
- Pamucar, D., Vasin, L., & Lukovac, L. (2014). “Selection of railway Level Crossings for Investing in Security Equipment Using Hybrid DEMATEL-MARICA Model”, *In XVI International Scientific-expert Conference on Railway, Railcon*, 89-92.
- Patel, J. D., & Maniya, K. D. (2015). “Application of AHP/MOORA Method to Select Wire Cut Electrical Discharge Machining Process Parameter to Cut EN31 Alloys Steel with Brasswire”, *Materials Today: Proceedings*, 2(4-5), 2496-2503.
- Paul, D., Agarwal, P., Mondal, G., & Banerjee, D. (2015). “A Comparative Analysis of Different Hybrid MCDM Techniques Considering A Case of Selection of 3D Printers”, *Management Science Letters*, 5(7), 695-708.
- Pekkaya, M. & Aktogan, M. (2014). “Dizüstü Bilgisayar Seçimi: DEA, TOPSIS ve VIKOR ile Karşılaştırmalı Bir Analiz”, *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(10), 157-178.

- Peng, S., Li, T., Li, M., Guo, Y., Shi, J., Tan, G. Z., & Zhang, H. (2019). "An Integrated Decision Model of Restoring Technologies Selection for Engine Remanufacturing Practice", *Journal of Cleaner Production*, 206, 598-610.
- Perales, E., Burgos, F. J., Vilaseca, M., Viqueira, V., & Martínez-Verdú, F. M. (2019). "Graininess Characterization by Multidimensional Scaling", *Journal of Modern Optics*, 66(9), 929-938.
- Pohekar, S. D., & Ramachandran, M. (2004). "Application of Multi-Criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning - A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(4), 365-381.
- Polat, G., Bingol, B. N., & Var, O. (2017). "An Integrated Multi-Criteria-Decision-Making Tool for Mechanical Designer Selection", *Procedia engineering*, 196, 278-285.
- Polatidis, H., Haralambopoulos, D. A., Munda, G., & Vreeker, R. (2006). "Selecting An Appropriate Multi-Criteria Decision Analysis Technique for Renewable Energy Planning", *Energy Sources, Part B*, 1(2), 181-193.
- Prajapati, H., Kant, R., & Shankar, R. (2019). "Prioritizing the Solutions of Reverse Logistics Implementation to Mitigate its Barriers: A Hybrid Modified SWARA and WASPAS Approach", *Journal of Cleaner Production*, 240, 118219.
- Prasad, D., & Jayswal, S. C. (2018). "Reconfigurability Consideration and Scheduling of Products in a Manufacturing Industry", *International Journal of Production Research*, 56(19), 6430-6449.
- Rakhshan, S. A. (2017). "Efficiency Ranking of Decision Making Units in Data Envelopment Analysis by Using TOPSIS-DEA Method", *Journal of the Operational Research Society*, 68(8), 906-918.
- Rangel, L. A. D., Gomes, L. F. A. M., & Cardoso, F. P. (2011). "An Application of the TODIM Method to the Evaluation of Broadband Internet Plans", *Pesquisa Operacional*, 31(2), 235-249.

- Rao, R. V. (2013). *Decision Making in the Manufacturing Environment Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods*, Springer Series in Advanced Manufacturing, Springer-Verlag, London.
- Renuka, M., Balaji, K., Sakthivadivel, D., Meikandan, M., & Ganesh Kumar, P. (2019). "Selection of Optimal Glazing Material for Solar Thermal Applications Using Grey Relational Analysis", *International Journal of Ambient Energy*, 2019, 1-5.
- Rezaie, K., Ramiyani, S. S., Nazari-Shirkouhi, S., & Badizadeh, A. (2014). "Evaluating Performance of Iranian Cement Firms Using an Integrated Fuzzy AHP–VIKOR Method", *Applied Mathematical Modelling*, 38(21-22), 5033-5046.
- Roy, A. (2019). "Studying Positioning and Repositioning of Brands Using Multidimensional Scaling", *Journal of Education for Business*, DOI: 10.1080/08832323.2019.1599795.
- Roy, B. (1968). "Classement et Choix en Presence de Points de vue Multiples (la methode Electre)", *Revue Francaise d'Informatique et de Recherche Operationnelle*, 8(1), 57–75.
- Saaty, T.L. (1972). "An Eigenvalue Allocation Model for Prioritization and Planning", *Energy Management and Policy Center*, University of Pennsylvania, 28-31.
- Sabbaghian, R. J., Zarghami, M., Nejadhashemi, A. P., Sharifi, M. B., Herman, M. R., & Daneshvar, F. (2016). "Application of Risk-based Multiple Criteria Decision Analysis for Selection of the Best Agricultural Scenario for Effective Watershed Management", *Journal of Environmental Management*, 168, 260-272.
- Sahu, A. K., Sahu, N. K., Sahu, A. K., Rajput, M. S., & Narang, H. K. (2019). "T-SAW Methodology for Parametric Evaluation of Surface Integrity Aspects in AlMg3 (AA5754) Alloy: Comparison with T-TOPSIS Methodology", *Measurement*, 132, 309-323.
- San Cristobal, J. R. (2011). "Multi-Criteria Decision-Making in the Selection of a Renewable Energy Project in Spain: The Vikor method", *Renewable Energy*, 36(2), 498-502.

- Sanchez-Lozano, J. M., Fernandez-Martinez, M., & Lamata, M. T. (2019). "Near-Earth Asteroid Impact Dates: A Reference Ideal Method (RIM) Approach", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 81, 157-168.
- Sarıçalı, G., & Kundakcı, N. (2016). "AHP ve COPRAS Yöntemleri ile Otel Alternatiflerinin Değerlendirilmesi", *International Review of Economics and Management*, 4(1), 45-66.
- Sennaroğlu, B., & Çelebi, G. V. (2018). "A Military Airport Location Selection by AHP Integrated PROMETHEE and VIKOR Methods", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 160-173.
- Senouci, M. A., Mushtaq, M. S., Hoceini, S., & Mellouk, A. (2016). "TOPSIS-based Dynamic Approach for Mobile Network Interface Selection", *Computer Networks*, 107, 304-314.
- Serrai, W., Abdelli, A., Mokdad, L., & Serrai, A. (2017). "Dealing with User Constraints in MCDM based Web Service Selection", *2017 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, 3-6 July, Heraklion, Greece.
- Setyani, R. E., & Saputra, R. (2016). "Flood-Prone Areas Mapping at Semarang City By Using Simple Additive Weighting Method", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 227, 378-386.
- Shakouri, H., Nabae, M., & Aliakbarisani, S. (2014). "A Quantitative Discussion on the Assessment of Power Supply Technologies: DEA (Data Envelopment Analysis) and SAW (Simple Additive Weighting) as Complementary Methods for the "Grammar"", *Energy*, 64, 640-647.
- Sharma, A., Chauhan, R., Singh, T., Kumar, A., Kumar, R., & Sethi, M. (2017). "Optimizing Discrete V Obstacle Parameters Using A Novel Entropy-VIKOR Approach in A Solar Air Flow Channel", *Renewable Energy*, 106, 310-320.
- Shojaei, P., Haeri, S. A. S., & Mohammadi, S. (2018). "Airports Evaluation and Ranking Model Using Taguchi Loss Function, Best-Worst Method and VIKOR Technique", *Journal of Air Transport Management*, 68, 4-13.

- Shuai, G., Chongqing, X., Lijun, L., Shoucheng, Z., & Guihuan, Y. (2017). "Evaluation Framework of City's Carbon Emission Reduction Responsibility", *Energy Procedia*, 105, 3629-3635.
- Sindhu, S., Nehra, V., & Luthra, S. (2017). "Investigation of Feasibility Study of Solar Farms Deployment Using Hybrid AHP-TOPSIS Analysis: Case Study of India", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 496-511.
- Singaravel, B., Shankar, D. P., & Prasanna, L. (2018). "Application of MCDM Method for the Selection of Optimum Process Parameters in Turning Process", *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 13464-13471.
- Soni, N., Christian, R. A., & Jariwala, N. (2016). "Pollution Potential Ranking of Industries Using Classical TODIM Method", *Journal of Environmental Protection*, 7(11), 1645-1656.
- Srichetta, P., & Thurachon, W. (2012). "Applying Fuzzy Analytic Hierarchy Process to Evaluate and Select Product of Notebook Computers", *International Journal of Modeling and Optimization*, 2(2), 168-173.
- Stanujkic, D., Magdalinovic, N., & Jovanovic, R. (2013). "A Multi-Attribute Decision Making Model based on Distance from Decision Maker's Preferences", *Informatica*, 24(1), 103-118.
- Stewart, T. J. (1992). "A Critical Survey on the Status of multiple Criteria Decision Making Theory and Practice", *Omega*, 20(5-6), 569-586.
- Sumi, R. S., & Kabir, G. (2010). "Analytical Hierarchy Process for Higher Effectiveness of Buyer Decision Process", *Global Journal of Management and Business Research*, 10(2), 2-9.
- Tayyar, N., Koray, Y., Durmuş, M., & Akbulut, İ. (2018). "Referans İdeal Metodu ile Finansal Performans Analizi: BİST Sigorta Şirketleri Üzerinde Bir Uygulama", *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 7(4), 2490-2509.

- Teraiya, V., Jariwala, D., Patel, H. V., & Babariya, D. (2018). "Material Selection of Connecting Rod using Primary Multi Attribute Decision Making Methods: A Comparative Study", *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 17223-17230.
- Thies, C., Kieckhäfer, K., Spengler, T. S., & Sodhi, M. S. (2019). "Operations Research for Sustainability Assessment of Products: A Review", *European Journal of Operational Research*, 274(1), 1-21.
- Torgerson, W. S. (1952). "Multidimensional Scaling: I. Theory and Method", *Psychometrika*, 17 (4), 401-419.
- Trinkuniene, E., Podvezko, V., Zavadskas, E. K., Joksiene, I., Vinogradova, I., & Trinkunas, V. (2017). "Evaluation of Quality Assurance in Contractor Contracts by Multi-Attribute Decision-Making Methods", *Economic Research*, 30(1), 1152-1180.
- Turskis, Z. (2008). "Multi-Attribute Contractors Ranking Method by Applying Ordering of Feasible Alternatives of Solutions in terms of Preferability Technique", *Technological and Economic Development of Economy*, 14(2), 224-239.
- Tuğ Işık, A., & Aytaç Adalı, E. (2016). "A Comparative Study for the Agricultural Tractor Selection Problem", *Decision Science Letters*, 5(4), 569-580.
- Tuğ, A., & Aytaç Adalı, E. (2018). "CODAS ve PSI Yöntemleri ile Personel Değerlendirmesi", *Alphanumeric Journal*, 6(2), 243-256.
- Tuğ, A., & Aytaç Adalı, E. (2019). "The New Combination with CRITIC and WASPAS Methods for the Time and Attendance Software Selection Problem", *Opsearch*, 56(2), 528-538.
- Tzeng, G. H. & Huang, J. J. (2011). *"Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications"*, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Ulutaş, A. (2017). "EDAS Yöntemi Kullanılarak Bir Tekstil Atölyesi için Dikiş Makinesi Seçimi", *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 169-183.

- Urpa, L. M., & Anders, S. (2019). "Focused Multidimensional Scaling: Interactive Visualization for Exploration of High-Dimensional Data", *BMC Bioinformatics* 20, 221(2019), 1-8.
- Ustinovichius, L., Zavadkas, E. K., & Podvezko, V. (2007). "Application of A Quantitative Multiple Criteria Decision Making (MCDM-1) Approach to the Analysis of Investments in Construction", *Control and Cybernetics*, 36(1), 251.
- Vafaei, N., Ribeiro, R. A., & Camarinha-Matos, L. M. (2016). "Normalization Techniques for Multi-Criteria Decision Making: Analytical Hierarchy Process Case Study", *In Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems*, Springer Cham., 261-269.
- Varmazyar, M., Dehghanbaghi, M., & Afkhami, M. (2016). "A Novel Hybrid MCDM Model for Performance Evaluation of Research and Technology Organizations based on BSC Approach", *Evaluation and Program Planning*, 58, 125-140.
- Velasquez, M., & Hester, P. T. (2013). "An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods", *International Journal of Operations Research*, 10(2), 56-66.
- Wang, B., Song, J., Ren, J., Li, K., Duan, H., & Wang, X. E. (2019). "Selecting Sustainable Energy Conversion Technologies for Agricultural Residues: A Fuzzy AHP-VIKOR based Prioritization from Life Cycle Perspective", *Resources, Conservation and Recycling*, 142, 78-87.
- Wang, C. H. (2015). "Integrating Kansei Engineering with Conjoint Analysis to Fulfil Market Segmentation and Product Customisation for Digital Cameras", *International Journal of Production Research*, 53(8), 2427-2438.
- Wang, Z., Hao, H., Gao, F., Zhang, Q., Zhang, J., & Zhou, Y. (2019a). "Multi-Attribute Decision Making on Reverse Logistics based on DEA-TOPSIS: A Study of the Shanghai End-of-life Vehicles Industry", *Journal of Cleaner Production*, 214, 730-737.
- Web_1. TDK Sözlükleri Güncel Türkçe Sözlük, <https://sozluk.gov.tr/> (11.06.2020).

- Web_2. Proxscal, <http://mondi.web.elte.hu/spssdoku/algoritmusok/proxscal.pdf> (17.12.2019).
- Web_3. Vatan Bilgisayar, <https://www.vatanbilgisayar.com/5000-10000-tl-arasi/laptop/?opf=p29924634> (21.11.2019).
- Wen, Z., Liao, H., Ren, R., Bai, C., Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., & Al-Barakati, A. (2019). "Cold Chain Logistics Management of Medicine with an Integrated Multi-Criteria Decision-Making Method", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(23), 1-21.
- 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, J. Z., & Tiao, P. J. (2018). "A Validation Scheme for Intelligent and effective Multiple Criteria Decision-Making", *Applied Soft Computing*, 68, 866-872.
- Wu, X., & Liao, H. (2019). "Comparison Analysis Between DNMA Method and Other MCDM Methods", *ICES Transactions on Neural and Fuzzy Computing*, 2(1), 4-10.
- Xu, F., Liu, J., Lin, S., & Yuan, J. (2017). "A VIKOR-based Approach for Assessing the Service Performance of Electric Vehicle Sharing Programs: A Case Study in Beijing", *Journal of Cleaner Production*, 148, 254-267.
- Yazdani, M., Chatterjee, P., Zavadskas, E. K., & Streimikiene, D. (2018). "A Novel Integrated Decision-Making Approach for the Evaluation and Selection of Renewable Energy Technologies", *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(2), 403-420.
- Yazdani, M., Chatterjee, P., Zavadskas, E. K., & Zolfani, S. H. (2017). "Integrated QFD-MCDM Framework for Green Supplier Selection", *Journal of Cleaner Production*, 142, 3728-3740.
- Yazdani, M., Zavadskas, E. K., Ignatius, J., & Abad, M. D. (2016). "Sensitivity Analysis in MADM Methods: Application of Material Selection", *Engineering Economics*, 27(4), 382-391.

- Yıldırım, B. F. (2015). “Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde ARAS Yöntemi”, *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(9), 285-296.
- Yıldız, N., & Tüysüz, F. (2019). “A Hybrid Multi-Criteria Decision Making Approach for Strategic Retail Location Investment: Application to Turkish Food Retailing”, *Socio-Economic Planning Sciences*, 68(2019), 1-25.
- Yolal, M., Özdemir, C., & Batmaz, B. (2019). “Multidimensional Scaling of Spectators’ Motivations to Attend a Film Festival”, *In Journal of Convention & Event Tourism*, 20(1), 64-83.
- Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). “A New Additive Ratio Assessment (ARAS) Method in Multicriteria Decision-Making”, *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159-172.
- Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Šaparauskas, J., & Turskis, Z. (2013). “Multi-Criteria Assessment of Facades’ Alternatives: Peculiarities of Ranking Methodology”, *Procedia Engineering*, 57, 107-112.
- Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., & Vilutiene, T. (2009). “Multicriteria Evaluation of Apartment Blocks Maintenance Contractors: Lithuanian Case Study”, *International Journal of Strategic Property Management*, 13(4), 319-338.
- Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., Turskis, Z., & Tamošaitiene, J. (2008). “Selection of the Effective Dwelling House Walls by Applying Attributes Values Determined at Intervals”, *Journal of Civil Engineering and Management*, 14(2), 85-93.
- Zavadskas, E. K., Kalibatas, D., & Kalibatiene, D. (2016). “A Multi-Attribute Assessment Using WASPAS for Choosing an Optimal Indoor Environment”, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 16(1), 76-85.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Bagočius, V. (2015). “Multi-Criteria Selection of a Deep-Water Port in the Eastern Baltic Sea”, *Applied Soft Computing*, 26, 180-192.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Vilutiene, T. (2005). “Simulation of Multi-Criteria Selection of Buildings’ Maintenance Contractor Using the Game Theory”, *Computer Modelling and New Technologies*, 9(2), 7-16.

- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Vilutiene, T. (2010). "Multiple Criteria Analysis of Foundation Instalment Alternatives by Applying Additive Ratio Assessment (ARAS) Method", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 10(3), 123-141.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., & Zakarevicius, A. (2012). "Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment", *Elektronika ir Elektrotechnika*, 122(6), 3-6.
- Zeeshan, M., Nath, S., & Bhanja, D. (2017). "Numerical Study to Predict Optimal Configuration of Fin and Tube Compact Heat Exchanger with Various Tube Shapes and Spatial Arrangements", *Energy Conversion and Management*, 148, 737-752.
- Zhang, C., Wang, Q., Zeng, S., Balezentis, T., Streimikiene, D., Alisauskaite-Seskiene, I., & Chen, X. (2019). "Probabilistic Multi-Criteria Assessment of Renewable Micro-Generation Technologies in Households", *Journal of Cleaner Production*, 212, 582-592.
- Zhang, H., Gu, C. L., Gu, L. W., & Zhang, Y. (2011). "The Evaluation of Tourism Destination Competitiveness by TOPSIS & Information Entropy—A Case in the Yangtze River Delta of China", *Tourism Management*, 32(2), 443-451.
- Zolfani, S. H., Pourhossein, M., Yazdani, M., & Zavadskas, E. K. (2018). "Evaluating Construction Projects of Hotels based on Environmental Sustainability with MCDM Framework", *Alexandria Engineering Journal*, 57(1), 357-365.



EKLER

ÇKKV yöntemlerinin hesaplamaları için kullanılan kodlarda “A” simgesi ile gösterilen girdi değişkeni, alternatiflere ve kriterlere ait karar matrisini; “B” simgesi ile gösterilen girdi değişkeni, kriter ağırlıkları matrisini ve “C” simgesi ile gösterilen girdi değişkeni de kriterlerin maliyet (1) veya fayda (0) yönlü olmasını ifade etmektedir.

Ek 1. SAW Yöntemi

```

1.  function [sum_saw]=SAW(A,B,C)
2.  [m,n]=size(A);
3.  normalizemax=max(A);
4.  normalizemin=min(A);
5.  normalized_saw=zeros(m,n);
6.  for i=1:m
7.      for j=1:n
8.          if C(j)==0
9.              normalized_saw(i,j)=A(i,j)/normalizemax(:,j);
10.         else
11.             normalized_saw(i,j)=normalizemin(:,j)/A(i,j);
12.         end
13.     end
14. end
15. weighted_saw=normalized_saw.*repmat(B,m,1);
16. score_saw=sum(weighted_saw,2);
17. sira=m:-1:1;
18. sc_saw=sort(transpose(score_saw));
19. sirali_saw=[sira;sc_saw];
20. bos_saw=zeros(m,m);
21. for i=1:m
22.     for j=1:m
23.         if score_saw(i,1)==sirali_saw(2,j)
24.             bos_saw(i,j)=sirali_saw(1,j);
25.         else
26.             end
27.     end
28. end
29. maks_bos_saw=transpose(max(transpose(bos_saw)));
30. bos_saw_iki=ones(m,m)*m;
31. for i=1:m
32.     for j=1:m
33.         if score_saw(i,1)==sirali_saw(2,j)
34.             bos_saw_iki(i,j)=sirali_saw(1,j);
35.         else
36.             end
37.     end
38. end
39. min_bos_saw=transpose(min(transpose(bos_saw_iki)));
40. sum_saw=(maks_bos_saw+min_bos_saw)/2;
41. score_rsaw=[score_saw sum_saw];
42. end

```

Ek 2. TOPSIS Yöntemi

```

1.  function sum_topsis=TOPSIS(A,B,C)
2.  [m,n]=size(A);
3.  kare=A.*A;
4.  karekok=sqrt(sum(kare));
5.  normalized_topsis=zeros(m,n);
6.  for i=1:m
7.      for j=1:n
8.          normalized_topsis(i,j)=A(i,j)/karekok(:,j);
9.      end
10. end
11. w_topsis=normalized_topsis.*repmat(B,m,1);
12. pozitif_topsis=zeros(1,n);
13. negatif_topsis=zeros(1,n);
14. for j=1:n
15.     if C(j)==0
16.         pozitif_topsis(1,j)=max(w_topsis(:,j));
17.         negatif_topsis(1,j)=min(w_topsis(:,j));
18.     else
19.         pozitif_topsis(1,j)=min(w_topsis(:,j));
20.         negatif_topsis(1,j)=max(w_topsis(:,j));
21.     end
22. end
23. pozitifuzaklik_topsis=(w_topsis-
    repmat(pozitif_topsis,m,1)).*(w_topsis-
    repmat(pozitif_topsis,m,1));
24. negatifuzaklik_topsis=(w_topsis-
    repmat(negatif_topsis,m,1)).*(w_topsis-
    repmat(negatif_topsis,m,1));
25. toplam_p_u_topsis=sqrt(sum(pozitifuzaklik_topsis,2));
26. toplam_n_u_topsis=sqrt(sum(negatifuzaklik_topsis,2));
27. score_topsis=toplam_n_u_topsis./(toplam_p_u_topsis+toplam_n_u_t
    opsis);
28. sira=m:-1:1;
29. sc_topsis=sort(transpose(score_topsis));
30. sirali_topsis=[sira;sc_topsis];
31. bos_topsis=zeros(m,m);
32. for i=1:m
33.     for j=1:m
34.         if score_topsis(i,1)==sirali_topsis(2,j)
35.             bos_topsis(i,j)=sirali_topsis(1,j);
36.         else
37.             end
38.         end
39.     end
40. maks_bos_topsis=transpose(max(transpose(bos_topsis)));
41. bos_topsis_iki=ones(m,m)*m;
42. for i=1:m
43.     for j=1:m
44.         if score_topsis(i,1)==sirali_topsis(2,j)
45.             bos_topsis_iki(i,j)=sirali_topsis(1,j);
46.         else
47.             end
48.         end
49.     end
50. min_bos_topsis=transpose(min(transpose(bos_topsis_iki)));
51. sum_topsis=(maks_bos_topsis+min_bos_topsis)/2;
52. score_rtopsis=[score_topsis sum_topsis];
53. end

```

Ek 3. GRA Yöntemi

```

1.  function [sum_gra]=GRA(A,B,C)
2.  [m,n]=size(A);
3.  maks_A=max(A);
4.  min_A=min(A);
5.  normalize_gra=zeros(m,n);
6.  for i=1:m
7.      for j=1:n
8.          if C(j)==0
9.              normalize_gra(i,j)=(A(i,j)-
min_A(1,j))/(maks_A(1,j)-min_A(1,j));
10.         else
11.             normalize_gra(i,j)=(maks_A(1,j)-
A(i,j))/(maks_A(1,j)-min_A(1,j));
12.         end
13.     end
14. end
15. referans=max(normalize_gra);
16. fark=abs(referans-normalize_gra);
17. min_fark=min(fark);
18. minmin_fark=min(min_fark);
19. maks_fark=max(fark);
20. maksmaks_fark=max(maks_fark);
21. xi_gra=0.5;
22. r_gra=zeros(m,n);
23. for i=1:m
24.     for j=1:n
25.         r_gra(i,j)=(minmin_fark+xi_gra*maksmaks_fark)./(fark(i,j)+xi_gra
a*maksmaks_fark);
26.     end
27. end
28. w_gra=r_gra.*repmat(B,m,1);
29. score_gra=sum(w_gra,2);
30. sira=m:-1:1;
31. sc_gra=sort(transpose(score_gra));
32. sirali_gra=[sira;sc_gra];
33. bos_gra=zeros(m,m);
34. for i=1:m
35.     for j=1:m
36.         if score_gra(i,1)==sirali_gra(2,j)
37.             bos_gra(i,j)=sirali_gra(1,j);
38.         else
39.             end
40.     end
41. end
42. maks_bos_gra=transpose(max(transpose(bos_gra)));
43. bos_gra_iki=ones(m,m)*m;
44. for i=1:m
45.     for j=1:m
46.         if score_gra(i,1)==sirali_gra(2,j)
47.             bos_gra_iki(i,j)=sirali_gra(1,j);
48.         else
49.             end
50.     end
51. end
52. min_bos_gra=transpose(min(transpose(bos_gra_iki)));
53. sum_gra=(maks_bos_gra+min_bos_gra)/2;
54. score_rgra=[score_gra sum_gra];
55. end

```

Ek 4. TODIM Yöntemi

```

1.  function sum_todim=TODIMASD(A,B,C)
2.  [m,n]=size(A);
3.  n_sum=sum(A,1);
4.  n_m_sum=zeros(m,n);
5.  for i=1:m
6.      for j=1:n
7.          n_m_sum(i,j)=1/A(i,j);
8.      end
9.  end
10. n_mm_sum=sum(n_m_sum,1);
11. n_todim=zeros(m,n)
12. for i=1:m
13.     for j=1:n
14.         if C(j)==0
15.             n_todim(i,j)=(A(i,j))/(n_sum(:,j));
16.         else
17.             n_todim(i,j)=(1/A(i,j))/(n_mm_sum(:,j));
18.         end
19.     end
20. end
21. if m==10
22.     altvektor_bir=n_todim(1,1:n);
23.     altvektor_iki=n_todim(2,1:n);
24.     altvektor_uc=n_todim(3,1:n);
25.     altvektor_dort=n_todim(4,1:n);
26.     altvektor_bes=n_todim(5,1:n);
27.     altvektor_alti=n_todim(6,1:n);
28.     altvektor_yedi=n_todim(7,1:n);
29.     altvektor_sekiz=n_todim(8,1:n);
30.     altvektor_dokuz=n_todim(9,1:n);
31.     altvektor_on=n_todim(10,1:n);
32. else
33.     end
34.     if m==10
35.         altmatris_bir=repmat(altvektor_bir,m,1);
36.         altmatris_iki=repmat(altvektor_iki,m,1);
37.         altmatris_uc=repmat(altvektor_uc,m,1);
38.         altmatris_dort=repmat(altvektor_dort,m,1);
39.         altmatris_bes=repmat(altvektor_bes,m,1);
40.         altmatris_alti=repmat(altvektor_alti,m,1);
41.         altmatris_yedi=repmat(altvektor_yedi,m,1);
42.         altmatris_sekiz=repmat(altvektor_sekiz,m,1);
43.         altmatris_dokuz=repmat(altvektor_dokuz,m,1);
44.         altmatris_on=repmat(altvektor_on,m,1);
45.     else
46.     end
47.     if m==10
48.         fark_bir=altmatris_bir-n_todim;
49.         fark_iki=altmatris_iki-n_todim;
50.         fark_uc=altmatris_uc-n_todim;
51.         fark_dort=altmatris_dort-n_todim;
52.         fark_bes=altmatris_bes-n_todim;
53.         fark_alti=altmatris_alti-n_todim;
54.         fark_yedi=altmatris_yedi-n_todim;
55.         fark_sekiz=altmatris_sekiz-n_todim;
56.         fark_dokuz=altmatris_dokuz-n_todim;
57.         fark_on=altmatris_on-n_todim;
58.     else

```

```

59. end
60. weights=B./max(B);
61. weights_todim=repmat(weights,m,1);
62. w_total=sum(weights,2);
63. w_todim=repmat(weights,m,1);
64. if m>0
65.     ikili_bir=zeros(m,n);
66.     for i=1:m
67.         for j=1:n
68.             if fark_bir(i,j)>0
69.
70.                 ikili_bir(i,j)=sqrt((weights_todim(i,j)*fark_bir(i,j))/w_total(
71.                     1,1));
72.             else
73.                 if fark_bir(i,j)==0
74.                     ikili_bir(i,j)=0;
75.                 else
76.                     ikili_bir(i,j)=(-
77.                     1)*sqrt((w_total(1,1)*abs(fark_bir(i,j)))/weights_todim(i,j));
78.                 end
79.             end
80.         end
81.     end
82.     sum_ikili_bir=sum(sum(ikili_bir,1),2);
83. else
84.     if m>1
85.         ikili_iki=zeros(m,n);
86.         for i=1:m
87.             for j=1:n
88.                 if fark_iki(i,j)>0
89.
90.                     ikili_iki(i,j)=sqrt((weights_todim(i,j)*fark_iki(i,j))/w_total(
91.                         1,1));
92.                 else
93.                     if fark_iki(i,j)==0
94.                         ikili_iki(i,j)=0;
95.                     else
96.                         ikili_iki(i,j)=(-
97.                         1)*sqrt((w_total(1,1)*abs(fark_iki(i,j)))/weights_todim(i,j));
98.                     end
99.                 end
100.             end
101.         end
102.         sum_ikili_iki=sum(sum(ikili_iki,1),2);
103. else
104.     if m>2
105.         ikili_uc=zeros(m,n);
106.         for i=1:m
107.             for j=1:n
108.                 if fark_uc(i,j)>0
109.
110.                     ikili_uc(i,j)=sqrt((weights_todim(i,j)*fark_uc(i,j))/w_total(1,
111.                         1));
112.                 else
113.                     if fark_uc(i,j)==0
114.                         ikili_uc(i,j)=0;
115.                     else
116.                         ikili_uc(i,j)=(-
117.                         1)*sqrt((w_total(1,1)*abs(fark_uc(i,j)))/weights_todim(i,j));
118.                     end
119.                 end
120.             end
121.         end
122.         sum_ikili_uc=sum(sum(ikili_uc,1),2);
123.     end
124. end

```

```

111.         end
112.     end
113. end
114. end
115.     sum_ikili_uc=sum(sum(ikili_uc,1),2);
116. else
117. end
118. if m>3
119.     ikili_dort=zeros(m,n);
120.     for i=1:m
121.         for j=1:n
122.             if fark_dort(i,j)>0
123.
124.                 ikili_dort(i,j)=sqrt((weights_todim(i,j)*fark_dort(i,j))/w_total(1,1));
125.             else
126.                 if fark_dort(i,j)==0
127.                     ikili_dort(i,j)=0;
128.                 else
129.                     ikili_dort(i,j)=(-
130. 1)*sqrt((w_total(1,1)*abs(fark_dort(i,j)))/weights_todim(i,j));
131.                 end
132.             end
133.         end
134.     end
135.     sum_ikili_dort=sum(sum(ikili_dort,1),2);
136. else
137. end
138. if m>4
139.     ikili_bes=zeros(m,n);
140.     for i=1:m
141.         for j=1:n
142.             if fark_bes(i,j)>0
143.
144.                 ikili_bes(i,j)=sqrt((weights_todim(i,j)*fark_bes(i,j))/w_total(1,1));
145.             else
146.                 if fark_bes(i,j)==0
147.                     ikili_bes(i,j)=0;
148.                 else
149.                     ikili_bes(i,j)=(-
150. 1)*sqrt((w_total(1,1)*abs(fark_bes(i,j)))/weights_todim(i,j));
151.                 end
152.             end
153.         end
154.     end
155.     sum_ikili_bes=sum(sum(ikili_bes,1),2);
156. else
157. end
158. if m>5
159.     ikili_alti=zeros(m,n);
160.     for i=1:m
161.         for j=1:n
162.             if fark_alti(i,j)>0
163.
164.                 ikili_alti(i,j)=sqrt((weights_todim(i,j)*fark_alti(i,j))/w_total(1,1));
165.             else
166.                 if fark_alti(i,j)==0
167.                     ikili_alti(i,j)=0;
168.                 else

```

```

164.         ikili_alti(i,j)=(-
165.         1)*sqrt((w_total(1,1)*abs(fark_alti(i,j)))/weights_todim(i,j));
166.         end
167.     end
168. end
169.     sum_ikili_alti=sum(sum(ikili_alti,1),2);
170. else
171. end
172. if m>6
173.     ikili_yedi=zeros(m,n);
174.     for i=1:m
175.         for j=1:n
176.             if fark_yedi(i,j)>0
177.
178.                 ikili_yedi(i,j)=sqrt((weights_todim(i,j)*fark_yedi(i,j))/w_tota
179.                 l(1,1));
180.             else
181.                 if fark_yedi(i,j)==0
182.                     ikili_yedi(i,j)=0;
183.                 else
184.                     ikili_yedi(i,j)=(-
185.                     1)*sqrt((w_total(1,1)*abs(fark_yedi(i,j)))/weights_todim(i,j));
186.                 end
187.             end
188.         end
189.     end
190.     sum_ikili_yedi=sum(sum(ikili_yedi,1),2);
191. else
192. end
193. if m>7
194.     ikili_sekiz=zeros(m,n);
195.     for i=1:m
196.         for j=1:n
197.             if fark_sekiz(i,j)>0
198.
199.                 ikili_sekiz(i,j)=sqrt((weights_todim(i,j)*fark_sekiz(i,j))/w_to
200.                 tal(1,1));
201.             else
202.                 if fark_sekiz(i,j)==0
203.                     ikili_sekiz(i,j)=0;
204.                 else
205.                     ikili_sekiz(i,j)=(-
206.                     1)*sqrt((w_total(1,1)*abs(fark_sekiz(i,j)))/weights_todim(i,j))
207.                     ;
208.                 end
209.             end
210.         end
211.     end
212.     sum_ikili_sekiz=sum(sum(ikili_sekiz,1),2);
213. else
214. end
215. if m>8
216.     ikili_dokuz=zeros(m,n);
217.     for i=1:m
218.         for j=1:n
219.             if fark_dokuz(i,j)>0
220.
221.                 ikili_dokuz(i,j)=sqrt((weights_todim(i,j)*fark_dokuz(i,j))/w_to
222.                 tal(1,1));
223.             else
224.

```

```

215.         if fark_dokuz(i,j)==0
216.             ikili_dokuz(i,j)=0;
217.         else
218.             ikili_dokuz(i,j)=(-
1)*sqrt((w_total(1,1)*abs(fark_dokuz(i,j)))/weights_todim(i,j))
;
219.         end
220.     end
221. end
222. end
223.     sum_ikili_dokuz=sum(sum(ikili_dokuz,1),2);
224. else
225. end
226. if m>9
227.     ikili_on=zeros(m,n);
228.     for i=1:m
229.         for j=1:n
230.             if fark_on(i,j)>0
231.                 ikili_on(i,j)=sqrt((weights_todim(i,j)*fark_on(i,j))/w_total(1,
1));
232.             else
233.                 if fark_on(i,j)==0
234.                     ikili_on(i,j)=0;
235.                 else
236.                     ikili_on(i,j)=(-
1)*sqrt((w_total(1,1)*abs(fark_on(i,j)))/weights_todim(i,j));
237.                 end
238.             end
239.         end
240.     end
241.     sum_ikili_on=sum(sum(ikili_on,1),2);
242. else
243. end
244. if m==10
    scr_todim=[sum_ikili_bir;sum_ikili_iki;sum_ikili_uc;sum_ikili_d
ort;sum_ikili_bes;sum_ikili_alti;sum_ikili_yedi;sum_ikili_sekiz
;sum_ikili_dokuz;sum_ikili_on];
245.     score_todim=(scr_todim-min(scr_todim))./(max(scr_todim)-
min(scr_todim));
246. else
247. end
248. sira=m:-1:1;
249. sc_todim=sort(transpose(score_todim));
250. sirali_todim=[sira;sc_todim];
251. bos_todim=zeros(m,m);
252. for i=1:m
253.     for j=1:m
254.         if score_todim(i,1)==sirali_todim(2,j)
255.             bos_todim(i,j)=sirali_todim(1,j);
256.         else
257.             end
258.     end
259. end
260. maks_bos_todim=transpose(max(transpose(bos_todim)));
261. bos_todim_iki=ones(m,m)*m;
262. for i=1:m
263.     for j=1:m
264.         if score_todim(i,1)==sirali_todim(2,j)
265.             bos_todim_iki(i,j)=sirali_todim(1,j);
266.         else

```

```
267.         end
268.     end
269. end
270. min_bos_todim=transpose(min(transpose(bos_todim_iki)));
271. sum_todim=(maks_bos_todim+min_bos_todim)/2;
272. score_rtodim=[score_todim sum_todim];
273. end
```



Ek 5. COPRAS Yöntemi

```

1.  function sum_copras=COPRAS(A,B,C)
2.  [m,n]=size(A);
3.  n_sum_copras=sum(A,1);
4.  n_copras=A./repmat(n_sum_copras,m,1);
5.  w_copras=n_copras.*repmat(B,m,1);
6.  s_w_pozitif=zeros(m,n);
7.  s_w_negatif=zeros(m,n);
8.  for i=1:m
9.      for j=1:n
10.         if C(j)==0
11.             s_w_pozitif(i,j)=w_copras(i,j);
12.         else
13.             s_w_pozitif(i,j)=0;
14.         end
15.     end
16. end
17. for i=1:m
18.     for j=1:n
19.         if C(j)==1
20.             s_w_negatif(i,j)=w_copras(i,j);
21.         else
22.             s_w_negatif(i,j)=0;
23.         end
24.     end
25. end
26. s_pozitif=sum(s_w_pozitif,2);
27. s_negatif=sum(s_w_negatif,2);
28. sum_s_negatif=sum(s_negatif,1);
29. s_s_negatif=repmat(sum_s_negatif,m,1);
30. s_kesirli_negatif=1./s_negatif;
31. sum_s_kesirli_negatif=sum(s_kesirli_negatif,1);
32. sum_s_k_negatif=repmat(sum_s_kesirli_negatif,m,1);
33. score_copras=s_pozitif+s_s_negatif./(s_negatif.*sum_s_k_negatif);
34. sira=m:-1:1;
35. sc_copras=sort(transpose(score_copras));
36. sirali_copras=[sira;sc_copras];
37. bos_copras=zeros(m,m);
38. for i=1:m
39.     for j=1:m
40.         if score_copras(i,1)==sirali_copras(2,j)
41.             bos_copras(i,j)=sirali_copras(1,j);
42.         else
43.             end
44.     end
45. end
46. maks_bos_copras=transpose(max(transpose(bos_copras)));
47. bos_copras_iki=ones(m,m)*m;
48. for i=1:m
49.     for j=1:m
50.         if score_copras(i,1)==sirali_copras(2,j)
51.             bos_copras_iki(i,j)=sirali_copras(1,j);
52.         else
53.             end
54.     end
55. end
56. min_bos_copras=transpose(min(transpose(bos_copras_iki)));
57. sum_copras=(maks_bos_copras+min_bos_copras)/2;

```

```
58. score_rcopras=[score_copras sum_copras];  
59. end
```



EK 6. VIKOR Yöntemi

```

1.  function sum_vikor=VIKOR(A,B,C)
2.  [m,n]=size(A);
3.  n_maks=max(A);
4.  n_min=min(A);
5.  n_fark=n_maks-n_min;
6.  n_r_maks= repmat(n_maks,m,1);
7.  n_r_min= repmat(n_min,m,1);
8.  n_r_fark= repmat(n_fark,m,1);
9.  v_vikor=size(m,n);
10. for i=1:m
11.     for j=1:n
12.         if C(j)==0
13.             n_vikor(i,j)=(n_r_maks(i,j)-A(i,j))./n_r_fark(i,j);
14.         else
15.             n_vikor(i,j)=(A(i,j)-n_r_min(i,j))./n_r_fark(i,j);
16.         end
17.     end
18. end
19. w_vikor=n_vikor.* repmat(B,m,1);
20. s_vikor=sum(w_vikor,2);
21. r_vikor=transpose(max(transpose(w_vikor)));
22. s_maks_vikor=max(s_vikor);
23. s_r_maks_vikor= repmat(s_maks_vikor,m,1);
24. s_min_vikor=min(s_vikor);
25. s_r_min_vikor= repmat(s_min_vikor,m,1);
26. r_maks_vikor=max(r_vikor);
27. r_r_maks_vikor= repmat(r_maks_vikor,m,1);
28. r_min_vikor=min(r_vikor);
29. r_r_min_vikor= repmat(r_min_vikor,m,1);
30. for i=1:m
31.     scr_vikor(i,1)=0.5*((s_vikor(i,1)-
32.         s_r_min_vikor(i,1))./(s_r_maks_vikor(i,1)-
33.         s_r_min_vikor(i,1)))+0.5*((r_vikor(i,1)-
34.         r_r_min_vikor(i,1))./(r_r_maks_vikor(i,1)-r_r_min_vikor(i,1)));
35. end
36. score_vikor=scr_vikor;
37. sira=1:1:m;
38. sc_vikor=sort(transpose(score_vikor));
39. sirali_vikor=[sira;sc_vikor];
40. bos_vikor=zeros(m,m);
41. for i=1:m
42.     for j=1:m
43.         if score_vikor(i,1)==sirali_vikor(2,j)
44.             bos_vikor(i,j)=sirali_vikor(1,j);
45.         else
46.             end
47.     end
48. end
49. maks_bos_vikor=transpose(max(transpose(bos_vikor)));
50. bos_vikor_iki=ones(m,m)*m;
51. for i=1:m
52.     for j=1:m
53.         if score_vikor(i,1)==sirali_vikor(2,j)
54.             bos_vikor_iki(i,j)=sirali_vikor(1,j);
55.         else
56.             end
57.     end
58. end

```

```
56. min_bos_vikor=transpose(min(transpose(bos_vikor_iki)));  
57. sum_vikor=(maks_bos_vikor+min_bos_vikor)/2;  
58. score_rvikor=[score_vikor sum_vikor];  
59. end
```



Ek 7. MOORA – I Yöntemi

```

1.  function sum_moora=MOORA(A,B,C)
2.  [m,n]=size(A);
3.  kare=A.*A;
4.  karekok=sqrt(sum(kare));
5.  normalized_moora=zeros(m,n);
6.  for i=1:m
7.      for j=1:n
8.          normalized_moora(i,j)=A(i,j)/karekok(:,j);
9.      end
10. end
11. weighted_moora=normalized_moora.*repmat(B,m,1);
12. sum_p_moora=zeros(m,n);
13. for i=1:m
14.     for j=1:n
15.         if C(j)==0
16.             sum_p_moora(i,j)=weighted_moora(i,j);
17.         else
18.             sum_p_moora(i,j)=(-1).*weighted_moora(i,j);
19.         end
20.     end
21. end
22. score_moora=sum(sum_p_moora,2);
23. siram=-1:1;
24. sc_moora=sort(transpose(score_moora));
25. sirali_moora=[siram;sc_moora];
26. bos_moora=zeros(m,m);
27. for i=1:m
28.     for j=1:m
29.         if score_moora(i,1)==sirali_moora(2,j)
30.             bos_moora(i,j)=sirali_moora(1,j);
31.         else
32.             end
33.     end
34. end
35. maks_bos_moora=transpose(max(transpose(bos_moora)));
36. bos_moora_iki=ones(m,m)*m;
37. for i=1:m
38.     for j=1:m
39.         if score_moora(i,1)==sirali_moora(2,j)
40.             bos_moora_iki(i,j)=sirali_moora(1,j);
41.         else
42.             end
43.     end
44. end
45. min_bos_moora=transpose(min(transpose(bos_moora_iki)));
46. sum_moora=(maks_bos_moora+min_bos_moora)/2;
47. score_rmoora=[score_moora sum_moora];
48. end

```

Ek 8. MOORA – II Yöntemi

```

1.  function sum_mooraa=MOORAA(A,B,C)
2.  [m,n]=size(A);
3.  kare=A.*A;
4.  karekok=sqrt(sum(kare));
5.  normalized_mooraa=zeros(m,n);
6.  for i=1:m
7.      for j=1:n
8.          normalized_mooraa(i,j)=A(i,j)/karekok(:,j);
9.      end
10. end
11. weighted_mooraa=normalized_mooraa.*repmat(B,m,1);
12. referans_mooraa=zeros(1,n);
13. for j=1:n
14.     if C(j)==0
15.         referans_mooraa(1,j)=max(weighted_mooraa(:,j));
16.     else
17.         referans_mooraa(1,j)=min(weighted_mooraa(:,j));
18.     end
19. end
20. uzaklik_mooraa=abs(repmat(referans_mooraa,m,1)-
    weighted_mooraa);
21. score_mooraa=zeros(m,1);
22. for i=1:m
23.     score_mooraa(i,1)=max(uzaklik_mooraa(i,:));
24. end
25. sirali_mooraa=[sira;score_mooraa];
26. sc_mooraa=sort(transpose(score_mooraa));
27. sirali_mooraa=[sira;sc_mooraa];
28. bos_mooraa=zeros(m,m);
29. for i=1:m
30.     for j=1:m
31.         if score_mooraa(i,1)==sirali_mooraa(2,j)
32.             bos_mooraa(i,j)=sirali_mooraa(1,j);
33.         else
34.             end
35.     end
36. end
37. maks_bos_mooraa=transpose(max(transpose(bos_mooraa)));
38. bos_mooraa_iki=ones(m,m)*m;
39. for i=1:m
40.     for j=1:m
41.         if score_mooraa(i,1)==sirali_mooraa(2,j)
42.             bos_mooraa_iki(i,j)=sirali_mooraa(1,j);
43.         else
44.             end
45.     end
46. end
47. min_bos_mooraa=transpose(min(transpose(bos_mooraa_iki)));
48. sum_mooraa=(maks_bos_mooraa+min_bos_mooraa)/2;
49. score_rmooraa=[score_mooraa sum_mooraa];
50. end

```

Ek 9. ARAS Yöntemi

```

1.  function sum_aras=ARAS(A,B,C)
2.  [m,n]=size(A);
3.  aras_referans=zeros(1,n);
4.  for j=1:n
5.      if C(j)==0
6.          aras_referans(1,j)=max(A(:,j));
7.      else
8.          aras_referans(1,j)=min(A(:,j));
9.      end
10. end
11. p=m+1;
12. aras_v_ref=[A;aras_referans];
13. sum_aras=sum(aras_v_ref,1);
14. normalize_aras=zeros(p,n);
15. for i=1:p
16.     for j=1:n
17.         if C(:,j)==0
18.             normalize_aras(i,j)=aras_v_ref(i,j)/sum_aras(:,j);
19.         else
20.             normalize_aras(i,j)=(1/aras_v_ref(i,j))/sum_aras(:,j);
21.         end
22.     end
23. end
24. w_aras=normalize_aras.*repmat(B,p,1);
25. sum_w_aras=sum(w_aras,2);
26. oran_aras=[sum_w_aras(1:m)];
27. maks_sum_w_aras=max(sum_w_aras);
28. score_aras=oran_aras/maks_sum_w_aras;
29. sira=m:-1:1;
30. sc_aras=sort(transpose(score_aras));
31. sirali_aras=[sira;sc_aras];
32. bos_aras=zeros(m,m);
33. for i=1:m
34.     for j=1:m
35.         if score_aras(i,1)==sirali_aras(2,j)
36.             bos_aras(i,j)=sirali_aras(1,j);
37.         else
38.             end
39.     end
40. end
41. maks_bos_aras=transpose(max(transpose(bos_aras)));
42. bos_aras_iki=ones(m,m)*m;
43. for i=1:m
44.     for j=1:m
45.         if score_aras(i,1)==sirali_aras(2,j)
46.             bos_aras_iki(i,j)=sirali_aras(1,j);
47.         else
48.             end
49.     end
50. end
51. min_bos_aras=transpose(min(transpose(bos_aras_iki)));
52. sum_aras=(maks_bos_aras+min_bos_aras)/2;
53. score_raras=[score_aras sum_aras];
54. end

```

Ek 10. WASPAS Yöntemi

```

1.  function [sum_waspas]=WASPAS (A,B,C)
2.  [m,n]=size (A);
3.  normalizemax=max (A);
4.  normalizemin=min (A);
5.  normalized_waspas=zeros (m,n);
6.  for i=1:m
7.      for j=1:n
8.          if C(j)==0
9.              normalized_waspas(i,j)=A(i,j)/normalizemax(:,j);
10.         else
11.             normalized_waspas(i,j)=normalizemin(:,j)/A(i,j);
12.         end
13.     end
14. end
15. weighted_p_waspas=normalized_waspas.*repmat (B,m,1);
16. sum_p_waspas=sum(weighted_p_waspas,2);
17. weighted_q_waspas=zeros (m,n);
18. for i=1:m
19.     for j=1:n
20.         weighted_q_waspas(i,j)=normalized_waspas(i,j)^(B(1,j));
21.     end
22. end
23. pro_q_waspas=zeros (m,1);
24. for i=1:m
25.     pro_q_waspas(i,1)=prod(weighted_q_waspas(i,:));
26. end
27. score_waspas=0.5*sum_p_waspas+0.5*pro_q_waspas;
28. sira=m:-1:1;
29. sc_waspas=sort (transpose (score_waspas));
30. sirali_waspas=[sira;sc_waspas];
31. bos_waspas=zeros (m,m);
32. for i=1:m
33.     for j=1:m
34.         if score_waspas(i,1)==sirali_waspas(2,j)
35.             bos_waspas(i,j)=sirali_waspas(1,j);
36.         else
37.             end
38.     end
39. end
40. maks_bos_waspas=transpose (max (transpose (bos_waspas)));
41. bos_waspas_iki=ones (m,m)*m;
42. for i=1:m
43.     for j=1:m
44.         if score_waspas(i,1)==sirali_waspas(2,j)
45.             bos_waspas_iki(i,j)=sirali_waspas(1,j);
46.         else
47.             end
48.     end
49. end
50. min_bos_waspas=transpose (min (transpose (bos_waspas_iki)));
51. sum_waspas=(maks_bos_waspas+min_bos_waspas)/2;
52. score_rwaspas=[score_waspas sum_waspas];
53. end

```

Ek 11. MAIRCA Yöntemi

```

1. function [sum_mairca]=MAIRCA(A,B,C)
2. [m,n]=size(A);
3. weights= repmat( (B*(1/m)) ,m,1);
4. normalize=zeros(m,n);
5. maks_n=max(A);
6. min_n=min(A);
7. for i=1:m
8.     for j=1:n
9.         if C(j)==0
10.            normalize(i,j)=(A(i,j)-min_n(1,j))/(maks_n(1,j)-
11.            min_n(1,j));
12.        else
13.            normalize(i,j)=(maks_n(1,j)-A(i,j))/(maks_n(1,j)-
14.            min_n(1,j));
15.        end
16.    end
17. end
18. tr_mairca=normalize.*weights;
19. p_mairca=zeros(m,n);
20. for i=1:m
21.     for j=1:n
22.         if weights(i,j)==tr_mairca(i,j)
23.             p_mairca(i,j)=0;
24.         else
25.             p_mairca(i,j)=weights(i,j)-tr_mairca(i,j);
26.         end
27.     end
28. end
29. score_mairca=sum(p_mairca,2);
30. sirali_mairca=[sira;sc_mairca];
31. bos_mairca=zeros(m,m);
32. for i=1:m
33.     for j=1:m
34.         if score_mairca(i,1)==sirali_mairca(2,j)
35.             bos_mairca(i,j)=sirali_mairca(1,j);
36.         else
37.             end
38.         end
39.     end
40. maks_bos_mairca=transpose(max(transpose(bos_mairca)));
41. bos_mairca_iki=ones(m,m)*m;
42. for i=1:m
43.     for j=1:m
44.         if score_mairca(i,1)==sirali_mairca(2,j)
45.             bos_mairca_iki(i,j)=sirali_mairca(1,j);
46.         else
47.             end
48.         end
49.     end
50. min_bos_mairca=transpose(min(transpose(bos_mairca_iki)));
51. sum_mairca=(maks_bos_mairca+min_bos_mairca)/2;
52. score_rmairca=[score_mairca sum_mairca];
53. end

```

Ek 12. EDAS Yöntemi

```

1.  function sum_edas=EDAS(A,B,C)
2.  [m,n]=size(A);
3.  ort_edas=zeros(1,n);
4.  ort_edas=mean(A);
5.  pozitiffark_edas=A-repmat(ort_edas,m,1);
6.  pozitif_edas=zeros(m,n);
7.  for j=1:n
8.      for i=1:m
9.          if C(j)==0
10.             if pozitiffark_edas(i,j)>0
11.
12.                 pozitif_edas(i,j)=pozitiffark_edas(i,j)./ort_edas(:,j);
13.             else
14.                 pozitif_edas(i,j)=0;
15.             end
16.         else
17.             if pozitiffark_edas(i,j)<0
18.
19.                 pozitif_edas(i,j)=abs(pozitiffark_edas(i,j))./ort_edas(:,j);
20.             else
21.                 pozitif_edas(i,j)=0;
22.             end
23.         end
24.     end
25. end
26. w_p_edas=pozitif_edas.*repmat(B,m,1);
27. sum_p_edas=sum(w_p_edas,2);
28. mak_sum_p_edas=max(sum_p_edas);
29. n_sum_p_edas=sum_p_edas./repmat(mak_sum_p_edas,m,1);
30. negatiffark_edas=A-repmat(ort_edas,m,1);
31. negatif_edas=zeros(m,n);
32. for j=1:n
33.     for i=1:m
34.         if C(j)==0
35.             if negatiffark_edas(i,j)>0
36.                 negatif_edas(i,j)=0;
37.             else
38.
39.                 negatif_edas(i,j)=abs(negatiffark_edas(i,j))./ort_edas(:,j);
40.             end
41.         else
42.             if negatiffark_edas(i,j)<0
43.                 negatif_edas(i,j)=0;
44.             else
45.
46.                 negatif_edas(i,j)=pozitiffark_edas(i,j)./ort_edas(:,j);
47.             end
48.         end
49.     end
50. end
51. w_n_edas=negatif_edas.*repmat(B,m,1);
52. sum_n_edas=sum(w_n_edas,2);
53. mak_sum_n_edas=max(sum_n_edas);
54. n_sum_n_edas=1-(sum_n_edas./repmat(mak_sum_n_edas,m,1));
55. score_edas=(n_sum_p_edas+n_sum_n_edas)./2;
56. sira=m:-1:1;
57. sc_edas=sort(transpose(score_edas));
58. sirali_edas=[sira;sc_edas];

```

```
55. bos_edas=zeros(m,m);
56. for i=1:m
57.     for j=1:m
58.         if score_edas(i,1)==sirali_edas(2,j)
59.             bos_edas(i,j)=sirali_edas(1,j);
60.         else
61.             end
62.         end
63.     end
64. maks_bos_edas=transpose(max(transpose(bos_edas)));
65. bos_edas_iki=ones(m,m)*m;
66. for i=1:m
67.     for j=1:m
68.         if score_edas(i,1)==sirali_edas(2,j)
69.             bos_edas_iki(i,j)=sirali_edas(1,j);
70.         else
71.             end
72.         end
73.     end
74. min_bos_edas=transpose(min(transpose(bos_edas_iki)));
75. sum_edas=(maks_bos_edas+min_bos_edas)/2;
76. score_redas=[score_edas sum_edas];
77. end
```

Ek 13. RIM Yöntemi

```

1.  function [sum_rim]=RIM(A,B,C)
2.  [m,n]=size(A);
3.  ref_rim=zeros(2,n);
4.  mean_rim=mean(A);
5.  maks_rim=max(A);
6.  min_rim=min(A);
7.  for j=1:n
8.      if C(1,j)==0
9.          ref_rim(1,j)=maks_rim(1,j);
10.         ref_rim(2,j)=maks_rim(1,j)-maks_rim(1,j).*0.1;
11.     else
12.         ref_rim(1,j)=min_rim(1,j);
13.         ref_rim(2,j)=min_rim(1,j)+min_rim(1,j).*0.1;
14.     end
15. end
16. normalize_rim=zeros(m,n);
17. for i=1:m
18.     for j=1:n
19.         if C(1,j)==0
20.             if A(i,j)>=ref_rim(2,j)
21.                 normalize_rim(i,j)=1;
22.             else
23.                 normalize_rim(i,j)=1-((ref_rim(2,j)-
A(i,j))./abs(ref_rim(2,j)-min_rim(1,j)));
24.             end
25.         else
26.             if A(i,j)<=ref_rim(2,j)
27.                 normalize_rim(i,j)=1;
28.             else
29.                 normalize_rim(i,j)=1-((A(i,j)-
ref_rim(2,j))./abs(ref_rim(2,j)-maks_rim(1,j)));
30.             end
31.         end
32.     end
33. end
34. w_rim= repmat(B,m,1);
35. weighted_rim=normalize_rim.*w_rim;
36. i_n_rim=sqrt(sum(weighted_rim.^2,2));
37. y_w_rim=weighted_rim-w_rim;
38. i_p_rim=sqrt(sum(y_w_rim.^2,2));
39. score_rim=i_n_rim./(i_n_rim+i_p_rim);
40. sira=m:-1:1;
41. sc_rim=sort(transpose(score_rim));
42. sirali_rim=[sira;sc_rim];
43. bos_rim=zeros(m,m);
44. for i=1:m
45.     for j=1:m
46.         if score_rim(i,1)==sirali_rim(2,j)
47.             bos_rim(i,j)=sirali_rim(1,j);
48.         else
49.             end
50.     end
51. end
52. maks_bos_rim=transpose(max(transpose(bos_rim)));
53. bos_rim_iki=ones(m,m)*m;
54. for i=1:m
55.     for j=1:m
56.         if score_rim(i,1)==sirali_rim(2,j)

```

```
57.         bos_rim_iki(i,j)=sirali_rim(1,j);  
58.     else  
59.     end  
60. end  
61. end  
62. min_bos_rim=transpose(min(transpose(bos_rim_iki)));  
63. sum_rim=(maks_bos_rim+min_bos_rim)/2;  
64. score_rrim=[score_rim sum_rim];  
65. end
```



Ek 14. CODAS Yöntemi

```

1.  function sum_codas=CODAS(A,B,C)
2.  [m,n]=size(A);
3.  n_max=max(A);
4.  n_min=min(A);
5.  n_codas=zeros(m,n);
6.  for i=1:m
7.      for j=1:n
8.          if C(j)==0
9.              n_codas(i,j)=A(i,j)/n_max(:,j);
10.         else
11.             n_codas(i,j)=n_min(:,j)/A(i,j);
12.         end
13.     end
14. end
15. w_codas=n_codas.*repmat(B,m,1);
16. ns_codas=min(w_codas);
17. euc_codas=w_codas-repmat(ns_codas,m,1);
18. euclidean_codas=euc_codas.*euc_codas;
19. taxicab_codas=abs(w_codas-repmat(ns_codas,m,1));
20. sum_euclidean_codas=sqrt(sum(euclidean_codas,2));
21. sum_taxicab_codas=sum(taxicab_codas,2);
22. t_sum_euc_codas=transpose(sum_euclidean_codas);
23. t_sum_taxi_codas=transpose(sum_taxicab_codas);
24. m_euc_fark=zeros(m,m);
25. for i=1:m
26.     for j=1:m
27.         if abs(t_sum_euc_codas(1,j)-
28.             sum_euclidean_codas(i,1))<0.02
29.             m_euc_fark(i,j)=0;
30.         else
31.             m_euc_fark(i,j)=1;
32.         end
33.     end
34. end
35. m_taxicab_fark=zeros(m,m);
36. for i=1:m
37.     for j=1:m
38.         m_taxicab_fark(i,j)=sum_taxicab_codas(i,1)-
39.             t_sum_taxi_codas(1,j);
40.     end
41. end
42. m_euclidean_fark=zeros(m,m);
43. for i=1:m
44.     for j=1:m
45.         m_euclidean_fark(i,j)=sum_euclidean_codas(i,1)-
46.             t_sum_euc_codas(1,j);
47.     end
48. end
49. ra_codas=m_euc_fark.*m_taxicab_fark+m_euclidean_fark;
50. score_codas=sum(ra_codas,2);
51. sira=m:-1:1;
52. sc_codas=sort(transpose(score_codas));
53. sirali_codas=[sira;sc_codas];
54. bos_codas=zeros(m,m);
55. for i=1:m
56.     for j=1:m
57.         if score_codas(i,1)==sirali_codas(2,j)
58.             bos_codas(i,j)=sirali_codas(1,j);

```

```
56.         else
57.         end
58.     end
59. end
60. maks_bos_codas=transpose(max(transpose(bos_codas)));
61. bos_codas_iki=ones(m,m)*m;
62. for i=1:m
63.     for j=1:m
64.         if score_codas(i,1)==sirali_codas(2,j)
65.             bos_codas_iki(i,j)=sirali_codas(1,j);
66.         else
67.         end
68.     end
69. end
70. min_bos_codas=transpose(min(transpose(bos_codas_iki)));
71. sum_codas=(maks_bos_codas+min_bos_codas)/2;
72. score_rcodas=[score_codas sum_codas];
73. end
```

Ek 15. DNBMA Yöntemi

```

1.  function sum_dnbma=DNBMA(A,B,C)
2.  [m,n]=size(A);
3.  maks_a=max(A);
4.  min_a=min(A);
5.  n_dnbma=zeros(m,n);
6.  for i=1:m
7.      for j=1:n
8.          if C(j)==0
9.              n_dnbma(i,j)=abs(A(i,j)-maks_a(1,j));
10.         else
11.             n_dnbma(i,j)=abs(A(i,j)-min_a(1,j));
12.         end
13.     end
14. end
15. maks_n=max(n_dnbma);
16. min_n=min(n_dnbma);
17. y_bir=zeros(m,n);
18. for i=1:m
19.     for j=1:n
20.         y_bir(i,j)=1-n_dnbma(i,j)/maks_n(1,j);
21.     end
22. end
23. n_dnbma_kare=n_dnbma.^2;
24. kare_top=sum(n_dnbma_kare,1);
25. ref_a=zeros(1,n);
26. for j=1:n
27.     if C(j)==0
28.         ref_a(1,j)=maks_a(1,j).^2;
29.     else
30.         ref_a(1,j)=min_a(1,j).^2;
31.     end
32. end
33. karekok_sum=sqrt(kare_top+ref_a);
34. y_iki=zeros(m,n);
35. for i=1:m
36.     for j=1:n
37.         y_iki(i,j)=1-(n_dnbma(i,j)./karekok_sum(1,j));
38.     end
39. end
40. w_dnbma=repmat(B,m,1);
41. n_bir=y_bir.*w_dnbma;
42. n_iki=w_dnbma.*(1-y_bir);
43. n_uc=zeros(m,n);
44. for i=1:m
45.     for j=1:n
46.         n_uc(i,j)=y_iki(i,j)^(B(1,j));
47.     end
48. end
49. sum_n_bir=sum(n_bir,2);
50. maks_n_iki=transpose(max(transpose(n_iki)));
51. carp_n_uc=transpose(prod(transpose(n_uc)));
52. n_n_bir=sum_n_bir./sqrt(sum(sum_n_bir.^2));
53. n_n_iki=maks_n_iki./sqrt(sum(maks_n_iki.^2));
54. n_n_uc=carp_n_uc./sqrt(sum(carp_n_uc.^2));
55. t_n_n_bir=transpose(n_n_bir);
56. sira_bir=m:-1:1;
57. sirali_t_n_n_bir=sort(t_n_n_bir);
58. sirali_n_bir=[sira_bir;sirali_t_n_n_bir];

```

```

59. rank_bir=zeros(m,n);
60. for i=1:m
61.     for j=1:m
62.         if n_n_bir(i,1)==sirali_t_n_n_bir(1,j)
63.             rank_bir(i,j)=sira_bir(1,j);
64.         else
65.             rank_bir(i,j)=0;
66.         end
67.     end
68. end
69. rank_n_bir=sum(rank_bir,2);
70. t_n_n_iki=transpose(n_n_iki);
71. sira_iki=m:-1:1;
72. sirali_t_n_n_iki=sort(t_n_n_iki);
73. sirali_n_iki=[sira_iki;sirali_t_n_n_iki];
74. rank_iki=zeros(m,n);
75. for i=1:m
76.     for j=1:m
77.         if n_n_iki(i,1)==sirali_t_n_n_iki(1,j)
78.             rank_iki(i,j)=sira_iki(1,j);
79.         else
80.             rank_iki(i,j)=0;
81.         end
82.     end
83. end
84. rank_n_iki=sum(rank_iki,2);
85. t_n_n_uc=transpose(n_n_uc);
86. sira_uc=m:-1:1;
87. sirali_t_n_n_uc=sort(t_n_n_uc);
88. sirali_n_uc=[sira_uc;sirali_t_n_n_uc];
89. rank_uc=zeros(m,n);
90. for i=1:m
91.     for j=1:m
92.         if n_n_uc(i,1)==sirali_t_n_n_uc(1,j)
93.             rank_uc(i,j)=sira_uc(1,j);
94.         else
95.             rank_uc(i,j)=0;
96.         end
97.     end
98. end
99. rank_n_uc=sum(rank_uc,2);
100. score_n_bir=sqrt((0.5*((n_n_bir).^2))+0.5*((m-
    rank_n_bir+1)/(m*(m+1)/2)).^2));
101. score_n_iki=sqrt((0.5*((n_n_iki).^2))+0.5*((rank_n_iki/(m*(m+1)
    /2)).^2));
102. score_n_uc=sqrt((0.5*((n_n_uc).^2))+0.5*((m-
    rank_n_uc+1)/(m*(m+1)/2)).^2));
103. score_dnbma=score_n_bir-score_n_iki+score_n_uc;
104. sira=m:-1:1;
105. sc_dnbma=sort(transpose(score_dnbma));
106. sirali_dnbma=[sira;sc_dnbma];
107. bos_dnbma=zeros(m,m);
108. for i=1:m
109.     for j=1:m
110.         if score_dnbma(i,1)==sirali_dnbma(2,j)
111.             bos_dnbma(i,j)=sirali_dnbma(1,j);
112.         else
113.             end
114.     end
115. end
116. maks_bos_dnbma=transpose(max(transpose(bos_dnbma)));

```

```
117. bos_dnbma_iki=ones(m,m)*m;
118. for i=1:m
119.     for j=1:m
120.         if score_dnbma(i,1)==sirali_dnbma(2,j)
121.             bos_dnbma_iki(i,j)=sirali_dnbma(1,j);
122.         else
123.             end
124.         end
125. end
126. min_bos_dnbma=transpose(min(transpose(bos_dnbma_iki)));
127. sum_dnbma=(maks_bos_dnbma+min_bos_dnbma)/2;
128. score_rdnbma=[score_dnbma sum_dnbma];
129. end
```



Ek 16. IRPA (Min/Maks) Yöntemi

```

1.  function sum_irpa=IRPA(A,B,C)
2.  [m,n]=size(A);
3.  referans_deger=zeros(1,n);
4.  for j=1:n
5.      if C(j)==0
6.          referans_deger(1,j)=max(A(:,j));
7.      else
8.          referans_deger(1,j)=min(A(:,j));
9.      end
10. end
11. kare=A.*A;
12. hd_kare=referans_deger.*referans_deger;
13. kare_hd=[kare; hd_kare];
14. karekok=sqrt(sum(kare_hd));
15. normalize_irpa=zeros(m,n);
16. for i=1:m
17.     for j=1:n
18.         normalize_irpa(i,j)=A(i,j)/karekok(:,j);
19.     end
20. end
21. hd_normalize=referans_deger./karekok;
22. fark_irpa=normalize_irpa-hd_normalize;
23. p_uzaklik=zeros(m,n);
24. for i=1:m
25.     for j=1:n
26.         if C(j)==0
27.             if fark_irpa(i,j)>0
28.                 p_uzaklik(i,j)=fark_irpa(i,j)./hd_normalize(1,j);
29.             else
30.                 p_uzaklik(i,j)=0;
31.             end
32.         else
33.             if fark_irpa(i,j)<0
34.                 p_uzaklik(i,j)=abs(fark_irpa(i,j)./hd_normalize(1,j));
35.             else
36.                 p_uzaklik(i,j)=0;
37.             end
38.         end
39.     end
40. end
41. w_p_uzaklik=zeros(m,n);
42. for i=1:m
43.     for j=1:n
44.         w_p_uzaklik(i,j)=(p_uzaklik(i,j).*B(1,j))^(1-B(1,j));
45.     end
46. end
47. toplam_p_uzaklik=sum(w_p_uzaklik,2);
48. n_uzaklik=zeros(m,n);
49. for i=1:m
50.     for j=1:n
51.         if C(j)==0
52.             if fark_irpa(i,j)<0
53.                 n_uzaklik(i,j)=abs(fark_irpa(i,j)./hd_normalize(1,j));
54.             else
55.                 n_uzaklik(i,j)=0;

```

```

56.         end
57.     else
58.         if fark_irpa(i,j)>0
59.
60.             n_uzaklik(i,j)=fark_irpa(i,j)./hd_normalize(1,j);
61.         else
62.             n_uzaklik(i,j)=0;
63.         end
64.     end
65. end
66. w_n_uzaklik=zeros(m,n);
67. for i=1:m
68.     for j=1:n
69.         w_n_uzaklik(i,j)=(n_uzaklik(i,j).*B(1,j))^(1-B(1,j));
70.     end
71. end
72. toplam_n_uzaklik=sum(w_n_uzaklik,2);
73. score_irpa=(toplam_p_uzaklik-toplam_n_uzaklik)/2;
74. sirali_irpa=[sira;sc_irpa];
75. bos_irpa=zeros(m,m);
76. for i=1:m
77.     for j=1:m
78.         if score_irpa(i,1)==sirali_irpa(2,j)
79.             bos_irpa(i,j)=sirali_irpa(1,j);
80.         else
81.             end
82.         end
83.     end
84. end
85. maks_bos_irpa=transpose(max(transpose(bos_irpa)));
86. bos_irpa_iki=ones(m,m)*m;
87. for i=1:m
88.     for j=1:m
89.         if score_irpa(i,1)==sirali_irpa(2,j)
90.             bos_irpa_iki(i,j)=sirali_irpa(1,j);
91.         else
92.             end
93.         end
94.     end
95. end
96. min_bos_irpa=transpose(min(transpose(bos_irpa_iki)));
97. sum_irpa=(maks_bos_irpa+min_bos_irpa)/2;
98. score_rirpa=[score_irpa sum_irpa];
99. end

```

Ek 17. IRPA (Ort) Yöntemi

```

1.  function sum_irpaort=IRPAORT(A,B,C)
2.  [m,n]=size(A);
3.  referans_deger=zeros(1,n);
4.  for j=1:n
5.      if C(j)==0
6.          referans_deger(1,j)=mean(A(:,j));
7.      else
8.          referans_deger(1,j)=mean(A(:,j));
9.      end
10. end
11. kare=A.*A;
12. hd_kare=referans_deger.*referans_deger;
13. kare_hd=[kare; hd_kare];
14. karekok=sqrt(sum(kare_hd));
15. normalize_irpa=zeros(m,n);
16. for i=1:m
17.     for j=1:n
18.         normalize_irpa(i,j)=A(i,j)/karekok(:,j);
19.     end
20. end
21. hd_normalize=referans_deger./karekok;
22. fark_irpa =normalize_irpa -hd_normalize;
23. p_uzaklik=zeros(m,n);
24. for i=1:m
25.     for j=1:n
26.         if C(j)==0
27.             if fark_irpa(i,j)>0
28.                 p_uzaklik(i,j)=fark_irpa
29.                 (i,j)./hd_normalize(1,j);
30.             else
31.                 p_uzaklik(i,j)=0;
32.             end
33.         else
34.             if fark_irpa(i,j)<0
35.                 p_uzaklik(i,j)=abs(fark_irpa
36.                 (i,j)./hd_normalize(1,j));
37.             else
38.                 p_uzaklik(i,j)=0;
39.             end
40.         end
41.     end
42. end
43. w_p_uzaklik=zeros(m,n);
44. for i=1:m
45.     for j=1:n
46.         w_p_uzaklik(i,j)=(p_uzaklik(i,j).*B(1,j))^(1-B(1,j));
47.     end
48. end
49. toplam_p_uzaklik=sum(w_p_uzaklik,2);
50. n_uzaklik=zeros(m,n);
51. for i=1:m
52.     for j=1:n
53.         if C(j)==0
54.             if fark_irpa(i,j)<0
55.                 n_uzaklik(i,j)=abs(fark_irpa

```

```

56.         end
57.     else
58.         if fark_irpa (i,j)>0
59.             n_uzaklik(i,j)=fark_irpa
(i,j)./hd_normalize(1,j);
60.         else
61.             n_uzaklik(i,j)=0;
62.         end
63.     end
64. end
65. end
66. w_n_uzaklik=zeros(m,n);
67. for i=1:m
68.     for j=1:n
69.         w_n_uzaklik(i,j)=(n_uzaklik(i,j).*B(1,j))^(1-B(1,j));
70.     end
71. end
72. toplam_n_uzaklik=sum(w_n_uzaklik,2);
73. score_irpa =(toplam_p_uzaklik-toplam_n_uzaklik)/2;
74. sirali_irpa =[sira;sc_irpa];
75. sc_irpa =sort(transpose(score_irpa));
76. sirali_irpa =[sira;sc_irpa];
77. bos_irpa =zeros(m,m);
78. for i=1:m
79.     for j=1:m
80.         if score_irpa (i,1)==sirali_irpa (2,j)
81.             bos_irpa (i,j)=sirali_irpa (1,j);
82.         else
83.             end
84.         end
85.     end
86. maks_bos_irpa =transpose(max(transpose(bos_irpa)));
87. bos_irpa _iki=ones(m,m)*m;
88. for i=1:m
89.     for j=1:m
90.         if score_irpa (i,1)==sirali_irpa (2,j)
91.             bos_irpa _iki(i,j)=sirali_irpa (1,j);
92.         else
93.             end
94.         end
95.     end
96. min_bos_irpa =transpose(min(transpose(bos_irpa _iki)));
97. sum_irpa =(maks_bos_irpa +min_bos_irpa)/2;
98. score_rirpa =[score_irpa sum_irpa];
99. end

```

Ek 18. Spearman Korelasyon Fonksiyonu

```
1. function [s_korr]=S_KORR(x,y)
2. [s,t]=size(x);
3. fark=x-y;
4. fark_kare=fark.*fark;
5. fark_toplam=sum(fark_kare);
6. s_korr=1-((6*fark_toplam)/(s*((s^2)-1)));
7. end
```

Ek 19. Spearman Korelasyon ile Simülasyon Uygulaması

Spearman Korelasyonu ile yapılan simülasyon uygulamasında yöntemlerin çıktıları olarak sıralama değerleri dikkate alınmıştır. Fonksiyon girdilerinde gösterilen “p” değişkeni kaç alternatife (3 alternatiften başlamak üzere) kadar, “r” değişkeni ise kaç kritere (3 kriterden başlamak üzere) kadar matris kombinasyonu olacağını göstermektedir. Örneğin p=5 ve r=6 olursa karşılaştırma yapılan matris sayısı 12 (3x3, 3x4, 3x5, 3x6, 4x3, 4x4, 4x5, 4x6, 5x3, 5x4, 5x5, 5x6) tane olacaktır. “s” değişkeni ise matris kombinasyonlarının kaç defa tekrarlanacağını göstermektedir. Aynı örnek için s=3 olması durumunda karşılaştırma yapılan matris sayısı 36 (3*12) tane olacaktır.

```

1. function deneme_iki = COKLUDENEME(p,r,s)
2. t_ort=zeros(17,17);
3. t=1;
4. k=0;
5. for t=0:1:s-1
6.     t=t+1;
7.     Z_ort=zeros(17,17);
8.     for i=3:1:p
9.         for j=3:1:r
10.            A=rand(i,j);
11.            D=rand(1,j);
12.            B=D./sum(D);
13.            E=rand(1,j);
14.            C=zeros(1,j);
15.            g=j;
16.            for s=1:1:g
17.                if E(1,s)<0.5
18.                    C(1,s)=0;
19.                else
20.                    C(1,s)=1;
21.                end
22.            end
23.            C;
24.            y_bir=ARAS(A,B,C);
25.            y_iki=CODAS(A,B,C);
26.            y_uc=COPRAS(A,B,C);
27.            y_dort=DNBMA(A,B,C);
28.            y_bes=EDAS(A,B,C);
29.            y_alti=GRA(A,B,C);
30.            y_yedi=MAIRCA(A,B,C);
31.            y_sekiz=MOORA(A,B,C);
32.            y_dokuz=MOORAA(A,B,C);
33.            y_on=IRPA(A,B,C);
34.            y_onbir=IRPAORT(A,B,C);
35.            y_oniki=RIM(A,B,C);
36.            y_onuc=SAW(A,B,C);
37.            y_ondort=TODIM(A,B,C);
38.            y_onbes=TOPSIS(A,B,C);
39.            y_onalti=VIKOR(A,B,C);
40.            y_onyedi=WASPAS(A,B,C);
41.            bir_iki=S_KORR(y_bir,y_iki);
42.            bir_uc=S_KORR(y_bir,y_uc);

```

```

43.      bir_dort=S_KORR(y_bir,y_dort);
44.      bir_bes=S_KORR(y_bir,y_bes);
45.      bir_alti=S_KORR(y_bir,y_alti);
46.      bir_yedi=S_KORR(y_bir,y_yedi);
47.      bir_sekiz=S_KORR(y_bir,y_sekiz);
48.      bir_dokuz=S_KORR(y_bir,y_dokuz);
49.      bir_on=S_KORR(y_bir,y_on);
50.      bir_onbir=S_KORR(y_bir,y_onbir);
51.      bir_oniki=S_KORR(y_bir,y_oniki);
52.      bir_onuc=S_KORR(y_bir,y_onuc);
53.      bir_ondort=S_KORR(y_bir,y_ondort);
54.      bir_onbes=S_KORR(y_bir,y_onbes);
55.      bir_onalti=S_KORR(y_bir,y_onalti);
56.      bir_onyedi=S_KORR(y_bir,y_onyedi);
57.      iki_uc=S_KORR(y_iki,y_uc);
58.      iki_dort=S_KORR(y_iki,y_dort);
59.      iki_bes=S_KORR(y_iki,y_bes);
60.      iki_alti=S_KORR(y_iki,y_alti);
61.      iki_yedi=S_KORR(y_iki,y_yedi);
62.      iki_sekiz=S_KORR(y_iki,y_sekiz);
63.      iki_dokuz=S_KORR(y_iki,y_dokuz);
64.      iki_on=S_KORR(y_iki,y_on);
65.      iki_onbir=S_KORR(y_iki,y_onbir);
66.      iki_oniki=S_KORR(y_iki,y_oniki);
67.      iki_onuc=S_KORR(y_iki,y_onuc);
68.      iki_ondort=S_KORR(y_iki,y_ondort);
69.      iki_onbes=S_KORR(y_iki,y_onbes);
70.      iki_onalti=S_KORR(y_iki,y_onalti);
71.      iki_onyedi=S_KORR(y_iki,y_onyedi);
72.      uc_dort=S_KORR(y_uc,y_dort);
73.      uc_bes=S_KORR(y_uc,y_bes);
74.      uc_alti=S_KORR(y_uc,y_alti);
75.      uc_yedi=S_KORR(y_uc,y_yedi);
76.      uc_sekiz=S_KORR(y_uc,y_sekiz);
77.      uc_dokuz=S_KORR(y_uc,y_dokuz);
78.      uc_on=S_KORR(y_uc,y_on);
79.      uc_onbir=S_KORR(y_uc,y_onbir);
80.      uc_oniki=S_KORR(y_uc,y_oniki);
81.      uc_onuc=S_KORR(y_uc,y_onuc);
82.      uc_ondort=S_KORR(y_uc,y_ondort);
83.      uc_onbes=S_KORR(y_uc,y_onbes);
84.      uc_onalti=S_KORR(y_uc,y_onalti);
85.      uc_onyedi=S_KORR(y_uc,y_onyedi);
86.      dort_bes=S_KORR(y_dort,y_bes);
87.      dort_alti=S_KORR(y_dort,y_alti);
88.      dort_yedi=S_KORR(y_dort,y_yedi);
89.      dort_sekiz=S_KORR(y_dort,y_sekiz);
90.      dort_dokuz=S_KORR(y_dort,y_dokuz);
91.      dort_on=S_KORR(y_dort,y_on);
92.      dort_onbir=S_KORR(y_dort,y_onbir);
93.      dort_oniki=S_KORR(y_dort,y_oniki);
94.      dort_onuc=S_KORR(y_dort,y_onuc);
95.      dort_ondort=S_KORR(y_dort,y_ondort);
96.      dort_onbes=S_KORR(y_dort,y_onbes);
97.      dort_onalti=S_KORR(y_dort,y_onalti);
98.      dort_onyedi=S_KORR(y_dort,y_onyedi);
99.      bes_alti=S_KORR(y_bes,y_alti);
100.     bes_yedi=S_KORR(y_bes,y_yedi);
101.     bes_sekiz=S_KORR(y_bes,y_sekiz);
102.     bes_dokuz=S_KORR(y_bes,y_dokuz);
103.     bes_on=S_KORR(y_bes,y_on);

```

```

104.      bes_onbir=S_KORR(y_bes,y_onbir);
105.      bes_oniki=S_KORR(y_bes,y_oniki);
106.      bes_onuc=S_KORR(y_bes,y_onuc);
107.      bes_ondort=S_KORR(y_bes,y_ondort);
108.      bes_onbes=S_KORR(y_bes,y_onbes);
109.      bes_onalti=S_KORR(y_bes,y_onalti);
110.      bes_onyedi=S_KORR(y_bes,y_onyedi);
111.      alti_yedi=S_KORR(y_alti,y_yedi);
112.      alti_sekiz=S_KORR(y_alti,y_sekiz);
113.      alti_dokuz=S_KORR(y_alti,y_dokuz);
114.      alti_on=S_KORR(y_alti,y_on);
115.      alti_onbir=S_KORR(y_alti,y_onbir);
116.      alti_oniki=S_KORR(y_alti,y_oniki);
117.      alti_onuc=S_KORR(y_alti,y_onuc);
118.      alti_ondort=S_KORR(y_alti,y_ondort);
119.      alti_onbes=S_KORR(y_alti,y_onbes);
120.      alti_onalti=S_KORR(y_alti,y_onalti);
121.      alti_onyedi=S_KORR(y_alti,y_onyedi);
122.      yedi_sekiz=S_KORR(y_yedi,y_sekiz);
123.      yedi_dokuz=S_KORR(y_yedi,y_dokuz);
124.      yedi_on=S_KORR(y_yedi,y_on);
125.      yedi_onbir=S_KORR(y_yedi,y_onbir);
126.      yedi_oniki=S_KORR(y_yedi,y_oniki);
127.      yedi_onuc=S_KORR(y_yedi,y_onuc);
128.      yedi_ondort=S_KORR(y_yedi,y_ondort);
129.      yedi_onbes=S_KORR(y_yedi,y_onbes);
130.      yedi_onalti=S_KORR(y_yedi,y_onalti);
131.      yedi_onyedi=S_KORR(y_yedi,y_onyedi);
132.      sekiz_dokuz=S_KORR(y_sekiz,y_dokuz);
133.      sekiz_on=S_KORR(y_sekiz,y_on);
134.      sekiz_onbir=S_KORR(y_sekiz,y_onbir);
135.      sekiz_oniki=S_KORR(y_sekiz,y_oniki);
136.      sekiz_onuc=S_KORR(y_sekiz,y_onuc);
137.      sekiz_ondort=S_KORR(y_sekiz,y_ondort);
138.      sekiz_onbes=S_KORR(y_sekiz,y_onbes);
139.      sekiz_onalti=S_KORR(y_sekiz,y_onalti);
140.      sekiz_onyedi=S_KORR(y_sekiz,y_onyedi);
141.      dokuz_on=S_KORR(y_dokuz,y_on);
142.      dokuz_onbir=S_KORR(y_dokuz,y_onbir);
143.      dokuz_oniki=S_KORR(y_dokuz,y_oniki);
144.      dokuz_onuc=S_KORR(y_dokuz,y_onuc);
145.      dokuz_ondort=S_KORR(y_dokuz,y_ondort);
146.      dokuz_onbes=S_KORR(y_dokuz,y_onbes);
147.      dokuz_onalti=S_KORR(y_dokuz,y_onalti);
148.      dokuz_onyedi=S_KORR(y_dokuz,y_onyedi);
149.      on_onbir=S_KORR(y_on,y_onbir);
150.      on_oniki=S_KORR(y_on,y_oniki);
151.      on_onuc=S_KORR(y_on,y_onuc);
152.      on_ondort=S_KORR(y_on,y_ondort);
153.      on_onbes=S_KORR(y_on,y_onbes);
154.      on_onalti=S_KORR(y_on,y_onalti);
155.      on_onyedi=S_KORR(y_on,y_onyedi);
156.      onbir_oniki=S_KORR(y_onbir,y_oniki);
157.      onbir_onuc=S_KORR(y_onbir,y_onuc);
158.      onbir_ondort=S_KORR(y_onbir,y_ondort);
159.      onbir_onbes=S_KORR(y_onbir,y_onbes);
160.      onbir_onalti=S_KORR(y_onbir,y_onalti);
161.      onbir_onyedi=S_KORR(y_onbir,y_onyedi);
162.      oniki_onuc=S_KORR(y_oniki,y_onuc);
163.      oniki_ondort=S_KORR(y_oniki,y_ondort);
164.      oniki_onbes=S_KORR(y_oniki,y_onbes);

```

```

165.      oniki_onalti=S_KORR(y_oniki,y_onalti);
166.      oniki_onyedi=S_KORR(y_oniki,y_onyedi);
167.      onuc_ondort=S_KORR(y_onuc,y_ondort);
168.      onuc_onbes=S_KORR(y_onuc,y_onbes);
169.      onuc_onalti=S_KORR(y_onuc,y_onalti);
170.      onuc_onyedi=S_KORR(y_onuc,y_onyedi);
171.      ondort_onbes=S_KORR(y_ondort,y_onbes);
172.      ondort_onalti=S_KORR(y_ondort,y_onalti);
173.      ondort_onyedi=S_KORR(y_ondort,y_onyedi);
174.      onbes_onalti=S_KORR(y_onbes,y_onalti);
175.      onbes_onyedi=S_KORR(y_onbes,y_onalti);
176.      onalti_onyedi=S_KORR(y_onalti,y_onyedi);
177.      Z=[1 bir_iki bir_uc bir_dort bir_bes bir_alti bir_yedi
bir_sekiz bir_dokuz bir_on bir_onbir bir_oniki bir_onuc
bir_ondort bir_onbes bir_onalti bir_onyedi;bir_iki 1 iki_uc
iki_dort iki_bes iki_alti iki_yedi iki_sekiz iki_dokuz iki_on
iki_onbir iki_oniki iki_onuc iki_ondort iki_onbes iki_onalti
iki_onyedi;bir_uc iki_uc 1 uc_dort uc_bes uc_alti uc_yedi
uc_sekiz uc_dokuz uc_on uc_onbir uc_oniki uc_onuc uc_ondort
uc_onbes uc_onalti uc_onyedi;bir_dort iki_dort uc_dort 1
dort_bes dort_alti dort_yedi dort_sekiz dort_dokuz dort_on
dort_onbir dort_oniki dort_onuc dort_ondort dort_onbes
dort_onalti dort_onyedi;bir_bes iki_bes uc_bes dort_bes 1
bes_alti bes_yedi bes_sekiz bes_dokuz bes_on bes_onbir
bes_oniki bes_onuc bes_ondort bes_onbes bes_onalti
bes_onyedi;bir_alti iki_alti uc_alti dort_alti bes_alti 1
alti_yedi alti_sekiz alti_dokuz alti_on alti_onbir alti_oniki
alti_onuc alti_ondort alti_onbes alti_onalti
alti_onyedi;bir_yedi iki_yedi uc_yedi dort_yedi bes_yedi
alti_yedi 1 yedi_sekiz yedi_dokuz yedi_on yedi_onbir yedi_oniki
yedi_onuc yedi_ondort yedi_onbes yedi_onalti
yedi_onyedi;bir_sekiz iki_sekiz uc_sekiz dort_sekiz bes_sekiz
alti_sekiz yedi_sekiz 1 sekiz_dokuz sekiz_on sekiz_onbir
sekiz_oniki sekiz_onuc sekiz_ondort sekiz_onbes sekiz_onalti
sekiz_onyedi;bir_dokuz iki_dokuz uc_dokuz dort_dokuz bes_dokuz
alti_dokuz yedi_dokuz sekiz_dokuz 1 dokuz_on dokuz_onbir
dokuz_oniki dokuz_onuc dokuz_ondort dokuz_onbes dokuz_onalti
dokuz_onyedi;bir_on iki_on uc_on dort_on bes_on alti_on yedi_on
sekiz_on dokuz_on 1 on_onbir on_oniki on_onuc on_ondort
on_onbes on_onalti on_onyedi;bir_onbir iki_onbir uc_onbir
dort_onbir bes_onbir alti_onbir yedi_onbir sekiz_onbir
dokuz_onbir on_onbir 1 onbir_oniki onbir_onuc onbir_ondort
onbir_onbes onbir_onalti onbir_onyedi;bir_oniki iki_oniki
uc_oniki dort_oniki bes_oniki alti_oniki yedi_oniki sekiz_oniki
dokuz_oniki on_oniki onbir_oniki 1 oniki_onuc oniki_ondort
oniki_onbes oniki_onalti oniki_onyedi;bir_onuc iki_onuc uc_onuc
dort_onuc bes_onuc alti_onuc yedi_onuc sekiz_onuc dokuz_onuc
on_onuc onbir_onuc oniki_onuc 1 onuc_ondort onuc_onbes
onuc_onalti onuc_onyedi;bir_ondort iki_ondort uc_ondort
dort_ondort bes_ondort alti_ondort yedi_ondort sekiz_ondort
dokuz_ondort on_ondort onbir_ondort oniki_ondort onuc_ondort 1
ondort_onbes ondort_onalti ondort_onyedi;bir_onbes iki_onbes
uc_onbes dort_onbes bes_onbes alti_onbes yedi_onbes sekiz_onbes
dokuz_onbes on_onbes onbir_onbes oniki_onbes onuc_onbes
ondort_onbes 1 onbes_onalti onbes_onyedi;bir_onalti iki_onalti
uc_onalti dort_onalti bes_onalti alti_onalti yedi_onalti
sekiz_onalti dokuz_onalti on_onalti onbir_onalti oniki_onalti
onuc_onalti ondort_onalti onbes_onalti 1
onalti_onyedi;bir_onyedi iki_onyedi uc_onyedi dort_onyedi
bes_onyedi alti_onyedi yedi_onyedi sekiz_onyedi dokuz_onyedi

```

```
on_onyedi onbir_onyedi oniki_onyedi onuc_onyedi ondort_onyedi  
onbes_onyedi onalti_onyedi 1];  
178.     Z_ort=Z_ort+Z;  
179.     k=k+1;  
180.     fprintf('i = %d \n', i);  
181.     fprintf('j = %d \n', j);  
182.     fprintf('t = %d \n', t);  
183.     fprintf('k = %d \n', k);  
184.     end  
185. end  
186. t_ort=Z_ort+t_ort;  
187. end  
188. deneme_iki=t_ort./(k)  
189. deneme_uc=mean(deneme_iki)  
190. end
```



Ek 20. Pearson Korelasyon Fonksiyonu

```
1. function [p_kor]=P_KOR(x,y)
2. ss_ort=mean(x);
3. tt_ort=mean(y);
4. x_ort=x-ss_ort;
5. y_ort=y-tt_ort;
6. x_y_ort=x_ort.*y_ort;
7. toplam_xyort=sum(x_y_ort);
8. xx_ort=x_ort.*x_ort;
9. yy_ort=y_ort.*y_ort;
10. toplam_xxort=sum(xx_ort);
11. toplam_yyort=sum(yy_ort);
12. p_kor=(toplam_xyort)/(sqrt(toplam_xxort*toplam_yyort));
13. end
```



Ek 21. Pearson Korelasyon ile Simülasyon Uygulaması

Pearson Korelasyonu ile yapılan simülasyon uygulamasında alternatiflere skor değerleri Maks-Min normalizasyonu kullanılarak normalize edilmiştir ve bu normalize edilen değerler yöntemlerin çıktıları olarak dikkate alınmıştır. Fonksiyon girdilerinde gösterilen “p” değişkeni kaç alternatife (30 alternatiften başlamak üzere) kadar, “r” değişkeni ise kaç kritere (30 kriterden başlamak üzere) kadar matris kombinasyonu olacağını göstermektedir. Örneğin p=33 ve r=34 olması durumunda karşılaştırma yapılan matris sayısı 20 (30x30, 31x30, 32x30, 33x30, 30x31, 31x31, 32x31, 33x31, 30x32, 31x32, 32x32, 33x32, 30x33, 31x33, 32x33, 33x33, 30x34, 31x34, 32x34, 33x34) tane olacaktır. “s” değişkeni ise matris kombinasyonlarının kaç defa tekrarlanacağını göstermektedir. Aynı örnek için s=4 olması durumunda karşılaştırma yapılan matris sayısı 80 (4*20) tane olacaktır.

```

1.  function deneme_iki = ZZCOKLUDENEME(p,r,s)
2.  t_ort=zeros(17,17);
3.  t=1;
4.  k=0;
5.  for t=0:1:s-1
6.  t=t+1;
7.  Z_ort=zeros(17,17);
8.  for i=30:1:p
9.      for j=30:1:r
10.         A=rand(i,j);
11.         D=rand(1,j);
12.         B=D./sum(D);
13.         E=rand(1,j);
14.         C=zeros(1,j);
15.         g=j;
16.         for s=1:1:g
17.             if E(1,s)<0.5
18.                 C(1,s)=0;
19.             else
20.                 C(1,s)=1;
21.             end
22.         end
23.         C;
24.         y_bir=ZZARAS(A,B,C);
25.         y_iki=ZZCODAS(A,B,C);
26.         y_uc=ZZCOPRAS(A,B,C);
27.         y_dort=ZZDNBMA(A,B,C);
28.         y_bes=ZZEDAS(A,B,C);
29.         y_alti=ZZGRA(A,B,C);
30.         y_yedi=ZZMAIRCA(A,B,C);
31.         y_sekiz=ZZMOORA(A,B,C);
32.         y_dokuz=ZZMOORAA(A,B,C);
33.         y_on=ZZIRPA(A,B,C);
34.         y_onbir=ZZIRPAORT(A,B,C);
35.         y_oniki=ZZRIM(A,B,C);
36.         y_onuc=ZZSAW(A,B,C);
37.         y_ondort=ZZTODIM(A,B,C);

```

```

38.      y_onbes=ZZTOPSIS(A,B,C);
39.      y_onalti=ZZVIKOR(A,B,C);
40.      y_onyedi=ZZWASPAS(A,B,C);
41.      bir_iki=P_KOR(y_bir,y_iki);
42.      bir_uc=P_KOR(y_bir,y_uc);
43.      bir_dort=P_KOR(y_bir,y_dort);
44.      bir_bes=P_KOR(y_bir,y_bes);
45.      bir_alti=P_KOR(y_bir,y_alti);
46.      bir_yedi=P_KOR(y_bir,y_yedi);
47.      bir_sekiz=P_KOR(y_bir,y_sekiz);
48.      bir_dokuz=P_KOR(y_bir,y_dokuz);
49.      bir_on=P_KOR(y_bir,y_on);
50.      bir_onbir=P_KOR(y_bir,y_onbir);
51.      bir_oniki=P_KOR(y_bir,y_oniki);
52.      bir_onuc=P_KOR(y_bir,y_onuc);
53.      bir_ondort=P_KOR(y_bir,y_ondort);
54.      bir_onbes=P_KOR(y_bir,y_onbes);
55.      bir_onalti=P_KOR(y_bir,y_onalti);
56.      bir_onyedi=P_KOR(y_bir,y_onyedi);
57.      iki_uc=P_KOR(y_iki,y_uc);
58.      iki_dort=P_KOR(y_iki,y_dort);
59.      iki_bes=P_KOR(y_iki,y_bes);
60.      iki_alti=P_KOR(y_iki,y_alti);
61.      iki_yedi=P_KOR(y_iki,y_yedi);
62.      iki_sekiz=P_KOR(y_iki,y_sekiz);
63.      iki_dokuz=P_KOR(y_iki,y_dokuz);
64.      iki_on=P_KOR(y_iki,y_on);
65.      iki_onbir=P_KOR(y_iki,y_onbir);
66.      iki_oniki=P_KOR(y_iki,y_oniki);
67.      iki_onuc=P_KOR(y_iki,y_onuc);
68.      iki_ondort=P_KOR(y_iki,y_ondort);
69.      iki_onbes=P_KOR(y_iki,y_onbes);
70.      iki_onalti=P_KOR(y_iki,y_onalti);
71.      iki_onyedi=P_KOR(y_iki,y_onyedi);
72.      uc_dort=P_KOR(y_uc,y_dort);
73.      uc_bes=P_KOR(y_uc,y_bes);
74.      uc_alti=P_KOR(y_uc,y_alti);
75.      uc_yedi=P_KOR(y_uc,y_yedi);
76.      uc_sekiz=P_KOR(y_uc,y_sekiz);
77.      uc_dokuz=P_KOR(y_uc,y_dokuz);
78.      uc_on=P_KOR(y_uc,y_on);
79.      uc_onbir=P_KOR(y_uc,y_onbir);
80.      uc_oniki=P_KOR(y_uc,y_oniki);
81.      uc_onuc=P_KOR(y_uc,y_onuc);
82.      uc_ondort=P_KOR(y_uc,y_ondort);
83.      uc_onbes=P_KOR(y_uc,y_onbes);
84.      uc_onalti=P_KOR(y_uc,y_onalti);
85.      uc_onyedi=P_KOR(y_uc,y_onyedi);
86.      dort_bes=P_KOR(y_dort,y_bes);
87.      dort_alti=P_KOR(y_dort,y_alti);
88.      dort_yedi=P_KOR(y_dort,y_yedi);
89.      dort_sekiz=P_KOR(y_dort,y_sekiz);
90.      dort_dokuz=P_KOR(y_dort,y_dokuz);
91.      dort_on=P_KOR(y_dort,y_on);
92.      dort_onbir=P_KOR(y_dort,y_onbir);
93.      dort_oniki=P_KOR(y_dort,y_oniki);
94.      dort_onuc=P_KOR(y_dort,y_onuc);
95.      dort_ondort=P_KOR(y_dort,y_ondort);
96.      dort_onbes=P_KOR(y_dort,y_onbes);
97.      dort_onalti=P_KOR(y_dort,y_onalti);
98.      dort_onyedi=P_KOR(y_dort,y_onyedi);

```

```

99.      bes_alti=P_KOR(y_bes,y_alti);
100.     bes_yedi=P_KOR(y_bes,y_yedi);
101.     bes_sekiz=P_KOR(y_bes,y_sekiz);
102.     bes_dokuz=P_KOR(y_bes,y_dokuz);
103.     bes_on=P_KOR(y_bes,y_on);
104.     bes_onbir=P_KOR(y_bes,y_onbir);
105.     bes_oniki=P_KOR(y_bes,y_oniki);
106.     bes_onuc=P_KOR(y_bes,y_onuc);
107.     bes_ondort=P_KOR(y_bes,y_ondort);
108.     bes_onbes=P_KOR(y_bes,y_onbes);
109.     bes_onalti=P_KOR(y_bes,y_onalti);
110.     bes_onyedi=P_KOR(y_bes,y_onyedi);
111.     alti_yedi=P_KOR(y_alti,y_yedi);
112.     alti_sekiz=P_KOR(y_alti,y_sekiz);
113.     alti_dokuz=P_KOR(y_alti,y_dokuz);
114.     alti_on=P_KOR(y_alti,y_on);
115.     alti_onbir=P_KOR(y_alti,y_onbir);
116.     alti_oniki=P_KOR(y_alti,y_oniki);
117.     alti_onuc=P_KOR(y_alti,y_onuc);
118.     alti_ondort=P_KOR(y_alti,y_ondort);
119.     alti_onbes=P_KOR(y_alti,y_onbes);
120.     alti_onalti=P_KOR(y_alti,y_onalti);
121.     alti_onyedi=P_KOR(y_alti,y_onyedi);
122.     yedi_sekiz=P_KOR(y_yedi,y_sekiz);
123.     yedi_dokuz=P_KOR(y_yedi,y_dokuz);
124.     yedi_on=P_KOR(y_yedi,y_on);
125.     yedi_onbir=P_KOR(y_yedi,y_onbir);
126.     yedi_oniki=P_KOR(y_yedi,y_oniki);
127.     yedi_onuc=P_KOR(y_yedi,y_onuc);
128.     yedi_ondort=P_KOR(y_yedi,y_ondort);
129.     yedi_onbes=P_KOR(y_yedi,y_onbes);
130.     yedi_onalti=P_KOR(y_yedi,y_onalti);
131.     yedi_onyedi=P_KOR(y_yedi,y_onyedi);
132.     sekiz_dokuz=P_KOR(y_sekiz,y_dokuz);
133.     sekiz_on=P_KOR(y_sekiz,y_on);
134.     sekiz_onbir=P_KOR(y_sekiz,y_onbir);
135.     sekiz_oniki=P_KOR(y_sekiz,y_oniki);
136.     sekiz_onuc=P_KOR(y_sekiz,y_onuc);
137.     sekiz_ondort=P_KOR(y_sekiz,y_ondort);
138.     sekiz_onbes=P_KOR(y_sekiz,y_onbes);
139.     sekiz_onalti=P_KOR(y_sekiz,y_onalti);
140.     sekiz_onyedi=P_KOR(y_sekiz,y_onyedi);
141.     dokuz_on=P_KOR(y_dokuz,y_on);
142.     dokuz_onbir=P_KOR(y_dokuz,y_onbir);
143.     dokuz_oniki=P_KOR(y_dokuz,y_oniki);
144.     dokuz_onuc=P_KOR(y_dokuz,y_onuc);
145.     dokuz_ondort=P_KOR(y_dokuz,y_ondort);
146.     dokuz_onbes=P_KOR(y_dokuz,y_onbes);
147.     dokuz_onalti=P_KOR(y_dokuz,y_onalti);
148.     dokuz_onyedi=P_KOR(y_dokuz,y_onyedi);
149.     on_onbir=P_KOR(y_on,y_onbir);
150.     on_oniki=P_KOR(y_on,y_oniki);
151.     on_onuc=P_KOR(y_on,y_onuc);
152.     on_ondort=P_KOR(y_on,y_ondort);
153.     on_onbes=P_KOR(y_on,y_onbes);
154.     on_onalti=P_KOR(y_on,y_onalti);
155.     on_onyedi=P_KOR(y_on,y_onyedi);
156.     onbir_oniki=P_KOR(y_onbir,y_oniki);
157.     onbir_onuc=P_KOR(y_onbir,y_onuc);
158.     onbir_ondort=P_KOR(y_onbir,y_ondort);
159.     onbir_onbes=P_KOR(y_onbir,y_onbes);

```

```

160.         onbir_onalti=P_KOR(y_onbir,y_onalti);
161.         onbir_onyedi=P_KOR(y_onbir,y_onyedi);
162.         oniki_onuc=P_KOR(y_oniki,y_onuc);
163.         oniki_ondort=P_KOR(y_oniki,y_ondort);
164.         oniki_onbes=P_KOR(y_oniki,y_onbes);
165.         oniki_onalti=P_KOR(y_oniki,y_onalti);
166.         oniki_onyedi=P_KOR(y_oniki,y_onyedi);
167.         onuc_ondort=P_KOR(y_onuc,y_ondort);
168.         onuc_onbes=P_KOR(y_onuc,y_onbes);
169.         onuc_onalti=P_KOR(y_onuc,y_onalti);
170.         onuc_onyedi=P_KOR(y_onuc,y_onyedi);
171.         ondort_onbes=P_KOR(y_ondort,y_onbes);
172.         ondort_onalti=P_KOR(y_ondort,y_onalti);
173.         ondort_onyedi=P_KOR(y_ondort,y_onyedi);
174.         onbes_onalti=P_KOR(y_onbes,y_onalti);
175.         onbes_onyedi=P_KOR(y_onbes,y_onyedi);
176.         onalti_onyedi=P_KOR(y_onalti,y_onyedi);
177.         Z=[1 bir_iki bir_uc bir_dort bir_bes bir_alti bir_yedi
bir_sekiz bir_dokuz bir_on bir_onbir bir_oniki bir_onuc
bir_ondort bir_onbes bir_onalti bir_onyedi;bir_iki 1 iki_uc
iki_dort iki_bes iki_alti iki_yedi iki_sekiz iki_dokuz iki_on
iki_onbir iki_oniki iki_onuc iki_ondort iki_onbes iki_onalti
iki_onyedi;bir_uc iki_uc 1 uc_dort uc_bes uc_alti uc_yedi
uc_sekiz uc_dokuz uc_on uc_onbir uc_oniki uc_onuc uc_ondort
uc_onbes uc_onalti uc_onyedi;bir_dort iki_dort uc_dort 1
dort_bes dort_alti dort_yedi dort_sekiz dort_dokuz dort_on
dort_onbir dort_oniki dort_onuc dort_ondort dort_onbes
dort_onalti dort_onyedi;bir_bes iki_bes uc_bes dort_bes 1
bes_alti bes_yedi bes_sekiz bes_dokuz bes_on bes_onbir
bes_oniki bes_onuc bes_ondort bes_onbes bes_onalti
bes_onyedi;bir_alti iki_alti uc_alti dort_alti bes_alti 1
alti_yedi alti_sekiz alti_dokuz alti_on alti_onbir alti_oniki
alti_onuc alti_ondort alti_onbes alti_onalti
alti_onyedi;bir_yedi iki_yedi uc_yedi dort_yedi bes_yedi
alti_yedi 1 yedi_sekiz yedi_dokuz yedi_on yedi_onbir yedi_oniki
yedi_onuc yedi_ondort yedi_onbes yedi_onalti
yedi_onyedi;bir_sekiz iki_sekiz uc_sekiz dort_sekiz bes_sekiz
alti_sekiz yedi_sekiz 1 sekiz_dokuz sekiz_on sekiz_onbir
sekiz_oniki sekiz_onuc sekiz_ondort sekiz_onbes sekiz_onalti
sekiz_onyedi;bir_dokuz iki_dokuz uc_dokuz dort_dokuz bes_dokuz
alti_dokuz yedi_dokuz sekiz_dokuz 1 dokuz_on dokuz_onbir
dokuz_oniki dokuz_onuc dokuz_ondort dokuz_onbes dokuz_onalti
dokuz_onyedi;bir_on iki_on uc_on dort_on bes_on alti_on yedi_on
sekiz_on dokuz_on 1 on_onbir on_oniki on_onuc on_ondort
on_onbes on_onalti on_onyedi;bir_onbir iki_onbir uc_onbir
dort_onbir bes_onbir alti_onbir yedi_onbir sekiz_onbir
dokuz_onbir on_onbir 1 onbir_oniki onbir_onuc onbir_ondort
onbir_onbes onbir_onalti onbir_onyedi;bir_oniki iki_oniki
uc_oniki dort_oniki bes_oniki alti_oniki yedi_oniki sekiz_oniki
dokuz_oniki on_oniki onbir_oniki 1 oniki_onuc oniki_ondort
oniki_onbes oniki_onalti oniki_onyedi;bir_onuc iki_onuc uc_onuc
dort_onuc bes_onuc alti_onuc yedi_onuc sekiz_onuc dokuz_onuc
on_onuc onbir_onuc oniki_onuc 1 onuc_ondort onuc_onbes
onuc_onalti onuc_onyedi;bir_ondort iki_ondort uc_ondort
dort_ondort bes_ondort alti_ondort yedi_ondort sekiz_ondort
dokuz_ondort on_ondort onbir_ondort oniki_ondort onuc_ondort 1
ondort_onbes ondort_onalti ondort_onyedi;bir_onbes iki_onbes
uc_onbes dort_onbes bes_onbes alti_onbes yedi_onbes sekiz_onbes
dokuz_onbes on_onbes onbir_onbes oniki_onbes onuc_onbes
ondort_onbes 1 onbes_onalti onbes_onyedi;bir_onalti iki_onalti
uc_onalti dort_onalti bes_onalti alti_onalti yedi_onalti

```

```
    sekiz_onalti dokuz_onalti on_onalti onbir_onalti oniki_onalti  
    onuc_onalti ondort_onalti onbes_onalti 1  
    onalti_onyedi; bir_onyedi iki_onyedi uc_onyedi dort_onyedi  
    bes_onyedi alti_onyedi yedi_onyedi sekiz_onyedi dokuz_onyedi  
    on_onyedi onbir_onyedi oniki_onyedi onuc_onyedi ondort_onyedi  
    onbes_onyedi onalti_onyedi 1];  
178.     Z_ort=Z_ort+Z;  
179.     k=k+1;  
180.     fprintf('i = %d \n', i);  
181.     fprintf('j = %d \n', j);  
182.     fprintf('t = %d \n', t);  
183.     fprintf('k = %d \n', k);  
184.     end  
185. end  
186. t_ort=Z_ort+t_ort;  
187. end  
188. deneme_iki=t_ort./(k)  
189. deneme_uc=mean(deneme_iki)  
190. end
```

ÖZGEÇMİŞ

KİMLİK BİLGİLERİ

Adı Soyadı : Abdullah ÖZÇİL
Doğum Yeri : Kilis
Doğum Tarihi : 1988
E-posta : abduallahozcil@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lise : Adıyaman Lisesi
Lisans : Çukurova Üniversitesi - İİBF - İşletme
Yüksek Lisans : Pamukkale Üniversitesi - SBE - Sayısal Yöntemler ABD
Doktora : Pamukkale Üniversitesi - SBE - Genel İşletme ABD
Yabancı Dil ve Düzeyi: İngilizce ve Orta Seviye

İŞ DENEYİMİ : Pamukkale Üniversitesi (Arş. Gör.)

ARAŞTIRMA ALANLARI: Çok Kriterli Karar Verme, Toplam Kalite Kontrol, Optimizasyon Teknikleri, Güvenilirlik Analizleri.

TEZDEN ÜRETİLEN TEBLİĞ VE YAYINLAR: -