



**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERMEDE YENİ BİR YÖNTEM  
ÖNERİSİ: GELİŞTİRİLMİŞ KRİTER AĞIRLIKLANDIRMA  
YÖNTEMİ, KESİN ve BULANIK SAYILARLA UYGULAMALAR**

**İrfan YACAN**

**Aralık 2024**

**DENİZLİ**

**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERMEDE YENİ BİR YÖNTEM  
ÖNERİSİ: GELİŞTİRİLMİŞ KRİTER AĞIRLIKLANDIRMA  
YÖNTEMİ, KESİN ve BULANIK SAYILARLA UYGULAMALAR**

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

---

**İrfan YACAN**

**Danışman: Prof. Dr. Halil SAVAŞ**

**Aralık 2024  
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.

İrfan Yacan

## ÖN SÖZ

“Çok Kriterli Karar Vermede Yeni Bir Yöntem Önerisi: Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi, Kesin ve Bulanık Sayılarla Uygulamalar” başlıklı tez çalışmamın tüm aşamalarında değerli görüşleri ile bana yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Halil SAVAŞ’a, Tez İzleme Komitesi’nde değerli yorumlarını sunan hocalarım Doç. Dr. Hüseyin KOÇAK ve Doç. Dr. Ejder AYÇİN’e, bilgi, birikim ve tecrübelerini benimle paylaştıkları için teşekkür ederim. Tüm eğitim öğretim hayatımda emekleri bulunan öğretmenlerime ve hocalarıma, lisansüstü eğitimime katkı sağlayan Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı’ndaki tüm hocalarıma, çalışmalarım süresince desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

İrfan Yacan

Aralık 2024

## ÖZET

### ÇOK KRİTERLİ KARAR VERMEDE YENİ BİR YÖNTEM ÖNERİSİ: GELİŞTİRİLMİŞ KRİTER AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMİ, KESİN ve BULANIK SAYILARLA UYGULAMALAR

Yacan, İrfan

Doktora Tezi

İşletme ABD.

Genel İşletme Programı

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Halil Savaş

Aralık 2024, xi+93 sayfa

Çok kriterli karar verme yöntemleri, işletme alanındaki karar verme süreçlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Hangi çok kriterli karar verme problemi olursa olsun, karar verme sürecindeki en önemli konulardan biri, kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesidir. Kriter ağırlıkları objektif ve subjektif yöntemlerle belirlenebilmektedir. Ancak, bu yöntemlerin güçlü yönlerinin olmasının yanında, zayıf yönlerinin de bulunduğu, bazı yöntemlerin tartışmaya açık taraflarının bulunduğu görülmüştür. Bu çalışmada, subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden AHP, SWARA, BWM, PIPRECIA ve FUCOM'un metodolojilerini irdeleyerek, iyileştirilmiş bir subjektif kriter ağırlıklandırma prosedürü geliştirmek, yeni önerilecek "Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi (ICWM)" çerçevesinde kesin ve bulanık sayılarla uygulama örnekleri vermek amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, çalışma kapsamında yöntemin bulanık sayılarla genişletilmiş hali olan "Bulanık Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi (ICWM-F)" metodolojisi de verilmektedir. Çalışmada ayrıca, karşılaştırma analizleri verilerek ICWM ve ICWM-F'nin güvenilirliğinin gösterilmesi hedeflenmektedir. Analiz sonuçlarına bakıldığında, ICWM ve ICWM-F'nin, literatürde güvenilir bulunan bu yöntemlerle yakın sonuçlar verdiği, bulunan ağırlıkların yöntemler arası korelasyonlarının çok güçlü olduğu görülmektedir. Ayrıca ICWM ve ICWM-F'nin, ikili karşılaştırma sayısı, tutarlılık ve pratiklik bakımından avantajlar sağladığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi, ICWM, Bulanık Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi, ICWM-F, AHP, SWARA, BWM, PIPRECIA, FUCOM.

## ABSTRACT

### A NEW PROCEDURE PROPOSAL FOR MULTI-CRITERIA DECISION MAKING: IMPROVED CRITERIA WEIGHTING METHOD, APPLICATIONS WITH CRISP AND FUZZY NUMBERS

Yacan, İrfan

Doctoral Thesis

Business Administration Department

General Business Doctorate Programme

Adviser of Thesis: Prof. Dr. Halil Savaş

December 2024, xi+93 pages

**Multi-criteria decision-making methods are widely used in business decision-making processes. Regardless of the multi-criteria decision making problem, one of the most important issues in the decision-making process is to determine the weights of the criteria. Criterion weights can be determined by objective and subjective methods. However, besides the strengths of these methods, it has been observed that there are also weaknesses and some methods have controversial aspects. In this study, it is aimed to develop an improved subjective criterion weighting procedure by examining the methodologies of AHP, SWARA, BWM, PIPRECIA and FUCOM, which are subjective criterion weighting methods, and to give application examples with exact and fuzzy numbers within the framework of the newly proposed "Improved Criteria Weighting Method (ICWM)". In this context, the "Fuzzy Improved Criterion Weighting Method (ICWM-F)" methodology, which is an extended version of the method with fuzzy numbers, is also given within the scope of the study. The study also aims to demonstrate the reliability of ICWM and ICWM-F by providing comparative analyses. Looking at the analysis results, it is seen that ICWM and ICWM-F give similar results to these methods, which are found to be reliable in the literature, and the correlations between the weights found are very strong. In addition, it has been determined that ICWM and ICWM-F provide advantages in terms of the number of pairwise comparisons, consistency and practicality.**

**Keywords: Improved Criteria Weighting Method, ICWM, Fuzzy Improved Criteria Weighting Method, ICWM-F, AHP, SWARA, BWM, PIPRECIA, FUCOM.**

## İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	vii
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
GİRİŞ.....	1

### BİRİNCİ BÖLÜM ÇOK KRİTERLİ KARAR VERMEDE KRİTER AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMLERİ

1.1. Objektif Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri.....	4
1.2. Subjektif Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri .....	6
1.2.1. AHP.....	9
1.2.2. SWARA .....	12
1.2.3. PIPRECIA.....	15
1.2.4. BWM.....	19
1.2.5. FUCOM .....	22

### İKİNCİ BÖLÜM GELİŞTİRİLMİŞ KRİTER AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMİ

2.1. Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi .....	26
2.1.1. Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Metodolojisi.....	26
2.1.2. Karşılaştırma Analizi .....	34
2.2. Bulanık Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi.....	44
2.2.1. Bulanık Küme Teorisi.....	44
2.2.2. Bulanık Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Metodolojisi .....	46
2.2.3. Bulanık Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi ile Örnek Problem Çözümü .....	50
2.2.4. Karşılaştırma Analizi .....	52

### ÜÇÜNCÜ BÖLÜM GELİŞTİRİLMİŞ KRİTER AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMİ ve BULANIK GELİŞTİRİLMİŞ KRİTER AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMİ ile UYGULAMA ÖRNEKLERİ

3.1. Bir Tekstil İşletmesinde Verimliliği Etkileyen Ergonomik Risk Faktörlerinin Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi ile Değerlendirilmesi .....	55
3.1.1. Giriş.....	55
3.1.2. Uygulama Alanı Literatürü .....	55
3.1.3. Uygulama.....	57
3.1.4. Sonuç.....	63
3.2. Bir İşletmede SWOT Analiziyle Belirlenen Dış Kaynak Performansını Etkileyen Faktörlerin Bulanık Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi ile Değerlendirilmesi.....	65
3.2.1. Giriş.....	65
3.2.2. Uygulama Alanı Literatürü .....	65
3.2.3. Uygulama.....	67

3.2.4. Sonuç.....	73
SONUÇ .....	75
KAYNAKLAR .....	79
EKLER.....	88
ÖZ GEÇMİŞ .....	93



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1: PIPRECIA yöntemi için tutarlılık analizi grafikleri .....	18
Şekil 2: Örnek problem 1 için kriter ağırlıkları grafiği .....	36
Şekil 3: Örnek problem 2 için kriter ağırlıkları grafiği .....	38
Şekil 4: Örnek problem 3 için kriter ağırlıkları grafiği .....	39
Şekil 5: Örnek problem 4 için kriter ağırlıkları grafiği .....	40
Şekil 6: Örnek problem 5 için kriter ağırlıkları grafiği .....	42
Şekil 7: Dört yöntemle bulunan durulaştırılmış kriter ağırlıkları grafiği.....	53

## TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1: Objektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri .....	5
Tablo 2: Subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri .....	7
Tablo 3: İkili karşılaştırma ölçeği (Saat, 2000: 156; Saaty, 1994: 26) .....	10
Tablo 4: Rassallık göstergeleri (Saaty, 1994: 40) .....	11
Tablo 5: AHP için örnek karar matrisi .....	12
Tablo 6: Karar probleminin AHP ile çözümü .....	12
Tablo 7: SWARA yöntemi için tutarlılık analizi .....	14
Tablo 8: SWARA için matriste işaretlenmiş karar problemi verileri .....	15
Tablo 9: Karar probleminin SWARA ile çözümü.....	15
Tablo 10: PIPRECIA yöntemi için tutarlılık analizi .....	17
Tablo 11: BWM için tutarlılık indeksi (Rezaei, 2015: 52) .....	20
Tablo 12: BWM için matriste işaretlenmiş karar problemi verileri.....	21
Tablo 13: Karar probleminin BWM ile çözümü .....	22
Tablo 14: FUCOM için matriste işaretlenmiş karar problemi verileri.....	24
Tablo 15: Karar probleminin FUCOM ile çözümü.....	25
Tablo 16: ICWM için ikili karşılaştırma ölçeği .....	26
Tablo 17: ICWM ikili karşılaştırma tablosu ( $a_{j,j+1}$ ) .....	27
Tablo 18: ICWM ikili karşılaştırma tablosu ( $b_{j,j+1}$ ) .....	28
Tablo 19: ICWM ile ağırlıkların belirlenmesi .....	30
Tablo 20: ICWM ile doğrusal model kurularak ağırlıkların belirlenmesi .....	31
Tablo 21: ICWM için matriste işaretlenmiş karar problemi verileri .....	31
Tablo 22: ICWM ikili karşılaştırma tablosu ( $a_{j,j+1}$ ) (Örnek problem 1 çözümü) .....	32
Tablo 23: ICWM ikili karşılaştırma tablosu ( $b_{j,j+1}$ ) (Örnek problem 1 çözümü) .....	32
Tablo 24: ICWM ile ağırlıkların belirlenmesi (Örnek problem 1 çözümü).....	33
Tablo 25: ICWM’de doğrusal modelle ağırlıkları belirleme(Örnek problem 1 çözümü) 34	
Tablo 26: Örnek problem 1 için karar matrisi.....	36
Tablo 27: Örnek problem 1 için kriter ağırlıkları ve sıralamaları.....	36
Tablo 28: Örnek problem 1 için yöntemler arası korelasyon katsayıları .....	37
Tablo 29: Örnek problem 2 için karar matrisi.....	37
Tablo 30: Örnek problem 2 için kriter ağırlıkları ve sıralamaları .....	37
Tablo 31: Örnek problem 2 için yöntemler arası korelasyon katsayıları .....	38
Tablo 32: Örnek problem 3 için karar matrisi.....	38
Tablo 33: Örnek problem 3 için kriter ağırlıkları ve sıralamaları .....	39
Tablo 34: Örnek problem 3 için yöntemler arası korelasyon katsayıları .....	39
Tablo 35: Örnek problem 4 için karar matrisi.....	40
Tablo 36: Örnek problem 4 için kriter ağırlıkları ve sıralamaları.....	40
Tablo 37: Örnek problem 4 için yöntemler arası korelasyon katsayıları .....	41
Tablo 38: Örnek problem 5 için karar matrisi.....	41
Tablo 39: Örnek problem 5 için kriter ağırlıkları ve sıralamaları .....	41
Tablo 40: Örnek problem 5 için yöntemler arası korelasyon katsayıları .....	42
Tablo 41: ICWM ve diğer yöntemlerin özelliklerinin karşılaştırılması.....	43
Tablo 42: Bulanık küme uzantıları.....	44
Tablo 43: ICWM için ikili karşılaştırma ölçeği .....	46
Tablo 44: ICWM-F ikili karşılaştırma tablosu ( $a_{j,j+1}$ ) .....	47

Tablo 45: ICWM ikili karşılaştırma tablosu ( $b_{j,j+1}$ ) .....	47
Tablo 46: Doğrusal model kurularak bulanık ağırlıkların belirlenmesi.....	49
Tablo 47: ICWM-F ikili karşılaştırma tablosu ( $a_{j,j+1}$ ) (Örnek problem 6 çözümü).....	50
Tablo 48: ICWM-F ikili karşılaştırma tablosu ( $b_{j,j+1}$ ) (Örnek problem 6 çözümü).....	51
Tablo 49: Doğrusal model ile bulanık ağırlıkları belirleme(Örnek problem 6 çözümü)	51
Tablo 50: Normalize bulanık ağırlıklar ve durulaştırılmış ağırlıklar .....	52
Tablo 51: Karşılaştırma analizi için bulanık karar matrisi .....	53
Tablo 52: Dört yöntemle bulunan bulanık kriter ağırlıkları.....	53
Tablo 53: Dört yöntemle bulunan durulaştırılmış kriter ağırlıkları .....	53
Tablo 54: Örnek problem 7 için yöntemler arası korelasyon katsayıları .....	54
Tablo 55: Verimliliği etkileyen ergonomik risk faktörleri.....	58
Tablo 56: Ana kriterler ICWM uygulama çözümü – Adım 1-2.....	58
Tablo 57: K <sub>1</sub> : Fiziksel faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 1-2 .....	59
Tablo 58: K <sub>2</sub> : Çevresel faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 1-2 .....	59
Tablo 59: K <sub>3</sub> : Bireysel ve sosyal faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 1-2 .....	60
Tablo 60: K <sub>4</sub> : Örgütsel faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 1-2 .....	60
Tablo 61: Ana kriterler ICWM uygulama çözümü – Adım 3-4.....	61
Tablo 62: K <sub>1</sub> : Fiziksel faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 3-4 .....	61
Tablo 63: K <sub>2</sub> : Çevresel faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 3-4 .....	62
Tablo 64: K <sub>3</sub> : Bireysel ve sosyal faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 3-4 .....	62
Tablo 65: K <sub>4</sub> : Örgütsel faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 3-4 .....	63
Tablo 66: ICWM uygulama çözümü – ana kriterler ve alt kriterler global ağırlıkları....	64
Tablo 67: SWOT analizi ile belirlenen dış kaynak performansını etkileyen faktörler...67	
Tablo 68: Ana kriterler ICWM-F uygulama çözümü – Adım 1-2 .....	68
Tablo 69: “K <sub>1</sub> : Güçlü yanlar” ICWM-F uygulama çözümü – Adım 1-2.....	68
Tablo 70: “K <sub>2</sub> : Zayıflıklar” ICWM-F uygulama çözümü – Adım 1-2.....	69
Tablo 71: “K <sub>3</sub> : Fırsatlar” ICWM-F uygulama çözümü – Adım 1-2 .....	69
Tablo 72: “K <sub>4</sub> : Tehditler” ICWM-F uygulama çözümü – Adım 1-2 .....	69
Tablo 73: Ana kriterler ICWM-F uygulama çözümü – Adım 3-4.....	71
Tablo 74: “K <sub>1</sub> : Güçlü yanlar” ICWM-F uygulama çözümü – Adım 3-4.....	71
Tablo 75: “K <sub>2</sub> : Zayıflıklar” ICWM-F uygulama çözümü – Adım 3-4.....	72
Tablo 76: “K <sub>3</sub> : Fırsatlar” ICWM-F uygulama çözümü – Adım 3-4 .....	72
Tablo 77: “K <sub>4</sub> : Tehditler” ICWM-F uygulama çözümü – Adım 3-4.....	73
Tablo 78: ICWM-F uygulama çözümü–ana kriterler ve alt kriterler global ağırlıkları ..73	
Tablo 79: ICWM ve diğer yöntemlerin özelliklerinin karşılaştırılması.....	77

## SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci)
ANP	Analytic Network Process (Analitik Ağ Süreci)
BWM	Best Worst Method (En İyi – En Kötü Yöntemi)
CILOS	Criterion Impact Loss (Kriter Etki Kaybı)
CRITIC	Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önem Tespiti)
DEMATEL	The Decision Making Trial an Evaluation Labrotary (Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı)
FUCOM	Full Consistency Method (Tam Tutarlılık Yöntemi)
FUCOM-F	Fuzzy Full Consistency Method (Bulanık Tam Tutarlılık Yöntemi)
ICWM	Improved Criteria Weighting Method (Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi)
ICWM-F	Fuzzy Improved Criteria Weighting Method (Bulanık Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi)
IDOCRIW	Integrated Determination of Objective Criteria Weights (Objektif Kriter Ağırlıklarının Bütünleşik Olarak Belirlenmesi)
LBWA	Level Based Weight Assesment (Seviye Bazlı Ağırlık Değerlendirmesi)
MACBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (Kategorik Tabanlı Değerlendirme Tekniği ile Çekicilik Ölçme)
MEREC	Method Based on the Removal Effects of Criteria (Kriterlerin Kaldırma Etkilerine Dayalı Yöntem)
PIPRECIA	Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment (Pivot İkili Göreceli Kriter Önem Değerlendirmesi)
RG	Rassallık Göstergesi
ROC	Rank-Order Centroid Weight Method (Merkezi Ağırlık Derece-Sıralama Yöntemi)

SD	Standard Deviation (Standart Sapma)
SMART	Simple Multi-Attribute Rating Technique (Basit Çok Nitelikli Derecelendirme Tekniği)
SWARA	Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi)
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (Güçlü Yanlar, Zayıflıklar, Fırsatlar, Tehditler)
TG	Tutarlılık Göstergesi
Tİ	Tutarlılık İndeksi
TO	Tutarlılık Oranı
TTS ( $X$ )	FUCOM'da Tam Tutarlılıktan Sapma
TTS ( $Y$ )	SWARA'da Tam Tutarlılıktan Sapma
TTS ( $Z$ )	ICWM'de Tam Tutarlılıktan Sapma
$A$	İkili Karşılaştırma Matrisi
$a_{Bj}$	En İyi Kriteri Temsil Eden $B$ 'nin, $j$ Kriterine Göre Tercihi
$a_{ij}$	Önem Derecesi
$a_{jW}$	$j$ Kriterinin En Kötü Kriter $W$ 'ye Göre Tercihi
$a_{j,j+1}$	Daha Önemli Kriterin Önem Derecesi
$\tilde{a}_{j,j+1}$	Daha Önemli Olan Kriterin, Bulanık Önem Derecesi
$(a^l, a^m, a^u)$	$\tilde{A}$ Üçgen Bulanık Sayısının Gösterimi
$B_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$ Değerlerinin Geometrik Ortalaması
$b_{j,j+1}$	$K_j$ 'nin $K_{j+1}$ 'e Göre Önem Derecesi
$\tilde{b}_{j,j+1}$	$K_j$ 'nin $K_{j+1}$ 'e Göre Bulanık Önem Derecesi
$\tilde{B}_{j,j+1}$	$\tilde{b}_{j,j+1}$ Değerlerinin Geometrik Ortalaması
$C$	Normalize Matris

$c_{ij}$	Normalize Matris Elemanı
$c_j$	Ağırlık Vektörü
$D$	$A$ Matrisi ile Ağırlık Matrisinin Çarpımı
$d_i$	$D$ Matrisi Elemanı
$j$	Kriter Numarası
$K$	Değerlendirme Kriteri
$k_j$	Katsayı
$k_j^r$	Katsayı
$\mu_{\tilde{A}}(x)$	$\tilde{A}$ Üçgen Bulanık Sayısının Üyelik Fonksiyonu
$\rho$	Spearman
$q_j$	Önem Vektörü Elemanı
$q_j^r$	Vektör Değeri
$r$	Pearson
$s_j$	Ortalama Değerin Karşılaştırmalı Önemi
$s_j^r$	Göreceli Önem
$w$	Kriter Ağırlığı
$\tilde{w}_j$	Kriter Bulanık ağırlığı
$\xi^L$	Tutarlılıktan Sapma Değeri
$\lambda_{max}$	En Büyük Özdeğer
$\sigma_{j,j+1}$	Bulanıklık Değeri
$\Phi$	Karşılaştırmalı Öncelik Vektörü
$\oplus$	Bulanık Sayılarda Toplama
$\ominus$	Bulanık Sayılarda Çıkarma
$\otimes$	Bulanık Sayılarda Çarpma
$\oslash$	Bulanık Sayılarda Bölme

## GİRİŞ

İşletmeler için önemli bir kavram olan “karar”, seçme veya tercih etme fiilleriyle yakından ilgilidir. Kişinin, konu üzerinde düşünmesi sonucunda çare veya çözüm olarak belirlediği yol, kararı ifade eder (Koçel, 2020: 133). İnsanlar, iş hayatındaki pozisyonları gereği bazı kararlar vermesi gerekebilir. Bazen bu kararlar, işletmelerin yönetimini ilgilendirecek boyutta önemli ve stratejik nitelik taşıyabilmektedir (Yıldırım, 2018: 1). Bu bağlamda işletmeler, belirledikleri stratejik hedeflere ulaşmak için karar verici nitelikte operasyon yöneticilerine ihtiyaç duyarlar. Bu karar vericiler, hangi karar verme yöntemlerini nasıl kullanacaklarını iyi bilmelidir. Çünkü işletmelerin başarısı, önemli ölçüde yöneticilerin doğru karar alabilmeleriyle ilişkilidir (Heizer ve Render, 2017: 668). Önceleri yöneticiler, yalnızca tecrübe, sezgi ve sınırlı bilgilerle karar vermekteydi. Ancak, artan rekabet ortamında rasyonel karar verebilmek için, karar süreçlerine ait diğer tüm öğeleri ve bilgileri, sistematik bir şekilde değerlendirmeye ve analitik düşünmeye gereksinim duyarlar (Can, 2018: 1). Bu nedenle, karar verici pozisyonunda bulunan işletme ve operasyon yöneticileri, karar süreçlerini doğru yönetebilmek ve başarıya ulaşmak için, bazı bilimsel yöntem ve tekniklerden faydalanmaları gerekir.

Literatürde, karar verme türleri ile ilgili birçok sınıflandırma bulunmaktadır. Karar verme türleri en basit haliyle; karar verici sayısına göre (bireysel kararlar ve grup kararları), bilgi derecesi açısından (belirlilik, risk ve belirlilik altında karar verme), amaç sayısı bakımından (tek veya çok amaçlı) veya kriter sayısı bakımından (tek ve çok kriterli karar verme) olarak sınıflandırılabilir (Atan ve Yılmaz, 2020: 9). Gerçek hayattaki karar verme süreçleri, genellikle birden fazla çelişen kriterin göz önüne alınmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, karar vermenin temel probleminin, “çelişen kriterler altında değerlendirilen bir dizi rakip alternatif arasından en iyisini seçmek” olduğu söylenebilir (Saaty, 1986: 841). Bir yöneylem araştırması alanı sayılan çok kriterli karar verme yöntemleri, bu tür karar problemleriyle ilgili tüm faktörlerin birlikte ele alınmasıyla oluşan karmaşık karar süreçleriyle başa çıkmak için bazı yöntem ve teknikler sunmaktadır. Bu yöntemler, nicel/nitel kriterler bağlamında ve belirli/belirsiz/riskli ortamlarda en uygun alternatifi bulmaya yaramaktadır (Ecer, 2020: 23). Çok kriterli karar verme yöntemleri, belirlenmiş kriterlerin ağırlıklarını ve bu seçim kriterlerine göre en uygun alternatifi tespit etmeyi sağlayan optimizasyon araçlarıdır ve işletmelerin rasyonel karar almada kullanabileceği çeşitli yöntemleri içermektedir.

Çok kriterli karar verme modellerinde dikkate alınması gereken en önemli konulardan biri olan, faktörlerin önem derecesi hakkında bilgi sağlayan kriter ağırlıklarının tespit edilmesi konusu, bu çalışmanın kapsamını oluşturmaktadır. Kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin önemli olmasının sebebi, çok kriterli analiz problemlerinin sonuçlandırılmasında ve alternatiflerin toplam puanlarının elde edilmesinde kilit nokta olmasıdır (Roszkowska, 2013: 30). Gerçek hayatta karar verme problemleri, genellikle birden fazla kriter içermektedir ve seçim yapılacak alternatifler, çok sayıda kriterden etkilenebilmektedir. Verilecek nihai karar da bu kriterlerin önem derecelerine ve ağırlıklarına bağlı olarak değişkenlik gösterir (Bardakçı, 2020b: 2). Bu nedenle, çok kriterli karar vermede kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin uygulanması, önemli bir alanı oluşturmaktadır.

Araştırmacılar, çok kriterli karar verme sürecinde mutlaka bulunması gereken bir fonksiyonu oluşturan kriter ağırlıklandırma yöntemlerini genellikle objektif ve subjektif yöntemler olarak ikiye ayırırlar (Keshavarz-Ghorabae vd., 2021: 17). Araştırmacıların ve uygulayıcıların yaptıkları çalışmalarda, bu yöntemlerin güçlü yönlerinin olmasının yanında, zayıf yönlerinin de bulunduğu, bazı yöntemlerin tartışmaya açık taraflarının olduğu görülmüştür. Bu çalışmada öncelikle, subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden, AHP (Analytic Hierarchy Process - Analitik Hiyerarşi Süreci) (Saaty, 1980), SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis - Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi) (Keršulienė vd., 2010), BWM (Best Worst Method - En İyi – En Kötü Yöntemi) (Rezaei, 2015, 2016), PIPRECIA (Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment - Pivot İkili Göreceli Kriter Önem Değerlendirmesi) (Stanujkic vd., 2017), FUCOM (Full Consistency Method - Tam Tutarlılık Yöntemi) (Pamučar vd., 2018)'un metodolojilerindeki güçlü ve zayıf yönler irdelenecektir. Ardından, çalışma kapsamında yeni bir subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemi önerilmektedir. Önerilen “ICWM (Improved Criteria Weighting Method - Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi)” ile iyileştirilmiş bir subjektif kriter ağırlıklandırma prosedürü oluşturmak, bu yeni yöntemin diğer subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemlerine göre avantajlarını ortaya koymak, ICWM ile bulanık küme teorisini bir arada kullanan “ICWM-F (Fuzzy Improved Criteria Weighting Method - Bulanık Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi)” metodolojisini oluşturmak ve ICWM ile ICWM-F'un kullanıldığı uygulama örnekleri vermek amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında yalnızca AHP, SWARA, BWM, PIPRECIA, FUCOM subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin



irdelenmesinin sebebi, yeni önerilen ICWM'nin de bu yöntemler gibi ikili karşılaştırma ve oran ölçeklendirmesine dayalı subjektif bir yöntem olması, bu yöntemler gibi kriterler arası ilişkileri dikkate almaması (kriterler arası ilişki olmadığını varsayması) ve bu beş yöntemin metodolojilerine atıf yapan iyileştirilmiş bir prosedür sunmayı amaçlamasıdır.

Çalışmanın birinci bölümünde, literatürdeki çok kriterli karar vermede kriter ağırlıklandırma yöntemlerine değinilecektir. Bu bağlamda ilk olarak, objektif kriter ağırlıklandırma kategorisinde bulunan yöntemler hakkında kısa bir bilgi verilecektir. Daha sonra, subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri anlatılacak, AHP, SWARA, BWM, PIPRECIA, FUCOM subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri detaylı şekilde irdelenecektir.

İkinci bölümde, çalışma kapsamında önerilen ICWM metodolojisi açıklanacak ve ICWM ile örnek problem çözümü verilecektir. Ardından, ICWM'un diğer yöntemlerle karşılaştırma analizi sunulacaktır. Ardından, önerilen yöntem ile bulanık küme teorisini bir arada kullanan ICWM-F metodolojisi açıklanacak ve ICWM-F ile örnek problem çözümü ve karşılaştırma analizi verilecektir.

Üçüncü bölüm, önceki bölümde önerilen ICWM VE ICWM-F ile yapılan uygulama örneklerini içermektedir. Bu bölümde, “Bir Tekstil İşletmesinde Verimliliği Etkileyen Ergonomik Risk Faktörlerinin ICWM ile Değerlendirilmesi” ve “Bir İşletmede SWOT Analiziyle Belirlenen Dış Kaynak Performansını Etkileyen Faktörlerin ICWM-F ile Değerlendirilmesi” ile ICWM ve ICWM-F yöntemlerinin gerçek hayat problemlerine uygulanması anlatılacaktır.

Son olarak, çalışmanın sonuçları verilecek, yapılan çıkarımlar tartışılacak ve öneriler sunulacaktır. Çalışmanın eklerinde, uygulayıcıların ve araştırmacıların ICWM yöntemini daha kolay kullanabilmeleri için Microsoft © Excel © Microsoft 365'te hazırlanan çözücünün nasıl kullanılacağı açıklanacaktır.

## BİRİNCİ BÖLÜM

### ÇOK KRİTERLİ KARAR VERMEDE KRİTER AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMLERİ

Kriter ağırlıkları, çok kriterli karar süreçlerine bilgi sağlayan ve karar alternatiflerinin puanlarının belirlenmesinde rol oynayan önemli bir unsurdur. Literatürde birçok kriter ağırlıklandırma yöntemi bulunmaktadır. Tzeng vd. (1998)'ne göre, kriter ağırlıklandırma yöntemleri objektif ve subjektif olarak sınıflandırılır. Objektif yöntemler, karar matrisindeki objektif bilgileri kullanarak matematiksel hesaplamalarla kriter ağırlıklarını hesaplar. Subjektif yaklaşımlar ise, karar vericiler tarafından verilen bilgilere, subjektif sezgilere veya yargılara bağlı olarak kriter ağırlıklarını tespit eden yöntemlerdir. (Roszkowska, 2013: 17). Bunun yanında, subjektif ve objektif yaklaşımların bir arada kullanılmasına dayanan hibrit/entegre yöntemler de bulunmaktadır (Şahin, 2022: 9). Bu karma yöntemlerin ayırt edici özellikleri yoktur ve diğer yöntemlerin özelliklerini kullanırlar (Keshavarz-Ghorabae vd., 2021: 2). Karma yöntemler, diğer yöntemlerin toplamsal ve çarpımsal sentezi ile oluşturulur (Bardakçı, 2020a: 98).

Bu bölümde, objektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri ile ilgili kısa bir bilgi verilecek, subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri anlatılacak ve ICWM'nin teorik alt yapısının benzerlik gösterdiği yöntemler olan AHP, SWARA, BWM, PIPRECIA, FUCOM subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri detaylı şekilde irdelenecektir. Bu beş yöntemin detaylı olarak ele alınmasının sebebi; ICWM'nin, bu yöntemler gibi "subjektif ağırlıklandırma, ikili karşılaştırma, oran ölçeklendirmesi" gibi ayırt edici özellikleri bir arada bulundurmasıdır. Nitekim ICWM; AHP, SWARA, BWM, PIPRECIA ve FUCOM'un teorik alt yapılarını ve aksiyomlarını dikkate alarak, iyileştirilmiş bir subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemi sunmayı amaçlamaktadır.

#### 1.1. Objektif Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri

Objektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri, karar vericilerin yargılarını dikkate almadan, karar matrisindeki bilgilerden ve bazı matematiksel modellerden faydalanarak kriter ağırlıklarını tespit eder. Objektif yöntemlerin subjektif yöntemler kadar sık kullanılmadığı söylenebilir (Ecer, 2020: 53). Literatürdeki objektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri, Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1: Objektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri**

Yöntem	Çalışma
ENTROPY	Shannon (1948)
SD	Diakoulaki vd. (1995)
CRITIC	Diakoulaki vd. (1995)
CILOS	Zavadskas ve Podvezko (2016)
IDOCRIW	Zavadskas ve Podvezko (2016)
MEREC	Keshavarz-Ghorabae vd. (2021)

Bu kategorideki yöntemler kısaca aşağıda açıklanmıştır.

ENTROPY, ilk olarak R. Clausius tarafından 1865'te önerilen termodinamik bir kavramdır. Shannon ise, Bilgi Entropisi adıyla bir bilgi teorisi ortaya atmıştır. Shannon'ın bu yaklaşımı, farklı araştırma alanlarında kullanılmış olmakla birlikte, ENTROPY yöntemi olarak çok kriterli karar verme problemlerinde, objektif kriter ağırlıklandırmada da kullanılmaktadır (Demir vd., 2021: 76). Shannon'ın "A Mathematical Theory of Communication" isimli çalışmasında; kullanılan logaritmik ölçünün, pratik olarak daha kullanışlı, uygun ölçüye ilişkin sezgisel duygumuza daha yakın ve matematiksel olarak daha uygun olduğu ifade edilmektedir (Shannon, 1948: 1).

SD (Standard Deviation - Standart Sapma), kriterlerin ağırlıklarını belirlerken standart sapmalarını dikkate alır. Diakoulaki ve arkadaşları, bu yöntemin sadece kriterlerin kontrast yoğunluğuna dayandığını ifade etmektedir (Diakoulaki vd., 1995: 766; Şahin, 2022: 77).

CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation - Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önem Tespiti), Diakoulaki vd. (1995)'nin çalışması ile önerilen bir yöntemdir. Bu yöntem, kriterlerin objektif ağırlıklarını bulurken, kriterlerin standart sapmalarını ve kriterler arası korelasyonu birlikte kullanmaktadır (Ayçin, 2020: 76). Elde edilen ağırlıklar, karar probleminin yapısında yer alan hem kontrast yoğunluğunu hem de çatışmayı içerir. Yöntem, değerlendirme kriterlerinde yer alan tüm

bilgileri çıkarmak için değerlendirme matrisinin analitik incelemesine dayanmaktadır (Diakoulaki vd., 1995: 764).

CILOS (Criterion Impact Loss - Kriter Etki Kaybı), Mirkin'in 1974'te teorik temelini verdiği ancak algoritmasını tam olarak açıklamadığı bir yaklaşıma dayanmaktadır. Zavadskas ve Podvezko (2016), bu yaklaşımı çalışmalarında CILOS ismiyle sunmuşlardır. Yöntem, bir kriterin optimal en büyük veya en küçük değeri alması halinde, diğer kriterlerin önem veya etki kaybını dikkate alan bir perspektif sunmaktadır (Ecer, 2020: 107, 108; Zavadskas ve Podvezko, 2016: 1).

IDOCRIW (Integrated Determination of Objective Criteria Weights - Objektif Kriter Ağırlıklarının Bütünleşik Olarak Belirlenmesi), Zavadskas ve Podvezko (2016)'nın çalışmasında CILOS ve ENTROPY yöntemlerini en iyi özelliklerini entegre eden bir objektif kriter ağırlıklandırma yöntemidir. (Demir, 2020)(Demir, 2020: 52; Zavadskas ve Podvezko, 2016: 1)

MEREC (Method Based on the Removal Effects of Criteria - Kriterlerin Kaldırma Etkilerine Dayalı Yöntem), Keshavarz-Ghorabae vd. (2021) tarafından tanıtılan bir objektif yöntemdir. Bu yöntem, her bir kriterin, alternatiflerin toplam performansı üzerindeki kaldırılma etkisini dikkate alarak ağırlıklandırma yapar (Şahin, 2022: 59). Yapılan analizler, MEREC'in kriterlerin nesnel ağırlıklarını belirlemede etkin olduğunu göstermektedir (Keshavarz-Ghorabae vd., 2021: 1).

## **1.2. Subjektif Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri**

Subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri, karar vericilerin düşünce ve sezgilerini dikkate alır. Bu yöntemlerde, karar sürecindeki uzmanlardan elde edilen bilgilere göre ağırlıklandırma yapılır (Ecer, 2020: 53). Literatürdeki subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri, Tablo 2'de verilmiştir.

Bu kategorideki yöntemlerin yedi tanesi kısaca açıklanmış olup, ICWM'nin teorik alt yapısı oluşturulurken değinilecek olan beşi, AHP, SWARA, BWM, PIPRECIA, FUCOM subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri, ayrı başlıklar halinde detaylı şekilde açıklanmıştır.

**Tablo 2: Subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri**

Yöntem	Çalışma
DEMATEL	Cenevre Battelle Memorial Enst.; Gabus,Fontela,Warfield - 1970'ler
SMART SMARTS, SMARTER	Edwards (1977) Edwards ve Barron (1994)
SIMOS Simos-Figueira-Roy (SFR)	Dr. Jean Simos - 1990 Figueira ve Roy (2002)
MACBETH	Bana E Costa ve Vansnick (1994)
ROC	Barron ve Barrett (1996)
ANP	Saaty (1996)
LBWA	Žižovic ve Pamučar (2019)
AHP	Saaty (1980)
SWARA	Keršulienė vd. (2010)
PIPRECIA	Stanujkic vd. (2017)
BWM	Rezaei (2015, 2016)
FUCOM	Pamučar vd. (2018)

DEMATEL (The Decision Making Trial an Evaluation Labrotary - Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı), 1970'li yıllarda Cenevre Battelle Memorial Enstitüsü tarafından, karmaşık problemlere çözüm bulmak amacıyla geliştirilen bir yöntemdir (Ayçin, 2020: 86). 1970'li yıllarda, Gabus, Fontela ve Warfield adlı araştırmacıların yaptığı bazı çalışmalar ile DEMATEL'in ilk olarak çok kriterli karar vermede ve kriterler arası etkileşimleri incelemeye, kriterlerden merkezi önemde olanların belirlenmesinde kullanılmakta olduğu görülmektedir (Çınar, 2013: 162).

SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique), Edwards (1971-1977) tarafından geliştirilen çok kriterli faydalılık teorisini uygulamaya yardımcı olan bir kriter

ağırlıklandırma yöntemidir (Edwards, 1977: 326-340; Haste, 2020: 60). 1994 yılında yaptıkları bir çalışmada, SMART yöntemindeki bir hatayı düzelttiklerini ifade eden Edwards ve Barron, SMARTER ve SMARTS yöntemlerini önermişlerdir (Edwards ve Barron, 1994: 306-325).

SIMOS yöntemi, Dr. Jean Simos tarafından 1990 yılında geliştirilen bir subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemidir. Figueira ve Roy, 2002 yılında yönteme yönelik bir revizyon çalışması yapmıştır. Bu çalışmada, hesaplama prosedürü değiştirilmiş, revize yönteme Simos-Figueira-Roy (SFR) ismi verilmiştir (Bardakçı, 2020a: 99, 107; Figueira ve Roy, 2002: 317-326).

MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique - Kategorik Tabanlı Değerlendirme Tekniği ile Çekicilik Ölçme), Bana E Costa ve Vansnick (1994) tarafından tanıtılan ve belirli bir kümenin öğeleri arasındaki çekicilik özelliklerini kullanan bir yaklaşımdır. Yöntemde, AHP'ye benzer şekilde ikili karşılaştırmalar yapılmaktadır. Wang ve Poh (2014), MACBETH'te, AHP'deki oran ölçeklendirmesi yerine aralık ölçeklendirmesinin kullanıldığını ifade etmektedir (Yıldızbaşı vd., 2020: 335). Bu açıdan bakıldığında, AHP'den farklı bir metodolojik yapıya sahiptir. AHP'ye benzer yönü ise hem kriter ağırlıklandırılmasında hem de alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılabilmesidir.

ROC (Rank-Order Centroid Weight Method - Merkezi Ağırlık Derece-Sıralama Yöntemi), Barron ve Barrett tarafından 1996 yılında önerilmiştir. Bu yaklaşımda, "her bir ağırlığın maksimum hatasını en aza indiren ağırlıkların bir tahminini, objektif öneme sahip rütbe sırasını koruyan tüm olası ağırlıkların merkezini bularak ağırlıklar belirlenir" (Sel, 2020: 174). Barron ve Barrett, ROC ağırlıklarının, diğer sıra tabanlı formüllerden daha doğru olduğunu; ayrıca, ROC formülünün, öznitelik ağırlıkları ve kısmi derece sıralaması bilgileri hakkındaki diğer kısmi bilgi biçimlerini de dahil etmek için genelleştirdiğini ifade etmektedir. ROC tabanlı bir analiz çok basit ve etkili olduğundan, uygun bir uygulama aracı sağlar (Barron ve Barrett, 1996: 1515).

ANP (Analytic Network Process - Analitik Ağ Süreci), Saaty (1996) tarafından önerilmiştir. ANP, kriter ağırlıklarını tespit etmenin yanında, kriterlerin ve alt kriterlerin, kendi aralarındaki ve birbirleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesini sağlayabilmektedir (Yalçın, 2020: 43). ANP'de, hiyerarşi veya ağ yapısına ve ayrıca yapı içinde ilişkiler kurmak için ikili karşılaştırmalara ihtiyaç vardır (Saaty, 1996: 2).

LBWA (Level Based Weight Assesment - Seviye Bazlı Ağırlık Değerlendirmesi) yöntemi, Žižovic ve Pamučar tarafından 2019 yılında önerilen bir subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemidir. Yöntemin tanıtıldığı çalışmada önerilen modelin, kriterler arasındaki ilişkileri tanımlamak ve rasyonel karar vermeyi sağlamak amacıyla farklı alanlardan uzmanların katılımını sağladığı ve uzmanlaşmış karar verme destek sistemlerinde ve sanal ortamda alternatif uyumsuzluk çözümlerinde pratik durumlarda uygulanabilir olduğu ifade edilmektedir (Žižovic ve Pamučar, 2019: 126).

### 1.2.1. AHP

Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen AHP, en çok bilinen ve uygulanan çok kriterli karar verme yöntemlerindedir ve hem kriter ağırlıklandırılmasında hem de alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılabilir. Saaty (1980), kitabında açıkladığı metodolojinin, temelini ve ön dayanağını oluşturan aksiyomları, “Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process (Saaty, 1986)” adlı makalesinde anlatmıştır. Bu dört aksiyom şu şekilde özetlenebilir (Ayçin, 2020: 3; Önder ve Önder, 2018: 34; Özbek, 2021: 89; Saaty, 1986: 844-847):

**Karşılıklı kıyas:**  $i$ . kriterin  $j$ . kritere göre önem derecesi  $a_{ij}$  ise,  $j$ . kriterin  $i$ . kritere göre önem derecesi  $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$  olur.

**Homojenlik:** Karşılaştırılan karar kriterlerinin, birbirinden tamamen farklı unsurlar olmaması gerekir. Örneğin kriterler, birbirine göre sonsuz düzeyde önemli kabul edilemez.

**Bağımsızlık:** Karar kriterleri ve alternatifler birbirlerinden bağımsızdır.

**Beklentiler:** Hiyerarşik yapıda tasarlanan süreçte, karar verici ve problemle ilgili tüm beklentiler karşılanmalı ve hiyerarşi gereksiz unsurları içermemelidir.

AHP metodolojisinin adımları şu şekildedir (Ecer, 2020: 79-80; Kayahan Karakul ve Akpınar, 2022: 77-78; Keskin ve Altan, 2020: 49-88; Saaty, 1990: 9-26):

**Adım 1:**  $n$  adet değerlendirme kriteri ( $K_1, K_2, \dots, K_n$ ) olduğunu varsayalım. Kriterler, Tablo 3'teki ölçekten yararlanılarak ikili karşılaştırılır ve Eşitlik 1'deki gibi matris oluşturulur.  $a_{ij}$ 'ler, ikili karşılaştırma matrisinin elemanlarıdır.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Saaty, birden fazla karar verici olması halinde karar vericilerin yargılarını birleştirirken, geometrik ortalama ve ağırlıklı geometrik ortalamanın kullanılmasını önermektedir (Saaty, 2008: 305, 306).

**Tablo 3: İkili karşılaştırma ölçeği** (Saat, 2000: 156; Saaty, 1994: 26)

Önem Derecesi	Tanım ve Açıklama
1	Eşit önemli. Her iki kriter de amaca eşit katkıda bulunmaktadır.
3	Orta önemli. Bir kriter diğerine göre biraz daha fazla tercih edilir.
5	Güçlü önemde. Bir kriter diğerine göre çok daha fazla tercih edilir.
7	Çok güçlü önemde. Bir kriter diğerine göre çok güçlü şekilde tercih edilir.
9	Son derece önemli. Bir kriter diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.
2, 4, 6, 8	Yukarıdaki değerler arasındaki ara değerler, tercih edildiğinde kullanılabilir.
1,1 – 1,9	Kriterler birbirine yakınsa, önemleri arasındaki fark çok azsa kullanılabilir.
Değerlerin tersi	$i$ . kriterin $j$ . kritere göre önem derecesi $a_{ij}$ ise, $j$ . kriterin $i$ . kritere göre önem derecesi $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$ olur.
Oran ölçeklerinden ölçümler	Bu tür sayıların fiziksel uygulamalarda kullanılması istendiğinde. Alternatif olarak, çoğu zaman bu tür büyüklüklerin oranları yargıyı kullanarak tahmin edilir.

Tablo 3'teki ölçek, ikili karşılaştırması yapılan kriterlerin ağırlıklarının oranı için ( $w_i/w_j$ ) en yakın tamsayıyı ifade etmeyi sağlamaktadır. Saaty, ikili karşılaştırma prosedürü ile ilgili yaptığı bir açıklamada, Fechner'ın 1966'daki "Elements of Psychophysics" adlı çalışmasına da atıf yaparak, Tablo 3'teki ikili karşılaştırma yargılarında kullanılan tamsayı değerli yanıt ölçeğini, Weber-Fechner'ın iyi bilinen psikofiziksel logaritmik yanıt işlevinden matematiksel olarak türetilebildiğini ifade etmektedir. Bunun yanında Saaty, Wilkinson'a göre yargılamadaki küçük değişikliklerin, türetilen önceliklerde küçük değişikliklere yol açtığını bildirmektedir. Yaklaşık 7 ( $7 \pm 2$ )'den fazla öge karşılaştırıldığında tutarsızlığın artacağını, eğer 2,375 gibi kesin bir ölçü



bulunmaktaysa ve yargı belirtmek için olduğu gibi kullanılmak istenirse, yaklaşıklık olmadan tam değerinin kullanılabileceğini ifade etmektedir (Saaty, 2008: 257, 258).

**Adım 2:** Oluşturulan matrisin normalizasyonu Eşitlik 2 ile yapılır. Bu işlem; her eleman, bulunduğu  $j$  sütunundaki elemanların toplamına bölünerek yapılır ve Eşitlik 3'teki gibi normalize matris oluşturulur.  $c_{ij}$ 'ler, normalize matris elemanlarıdır.

$$c_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

**Adım 3:** Normalize matristeki her satırın ortalaması Eşitlik 4'teki gibi hesaplanır ve kriterlerin ağırlıklarını ifade eden  $w_i$  değerleri tespit edilir. Alt kriterler var ise, her alt kriter için bulunan ağırlıklar, hiyerarşide ait olduğu ana kriter ağırlığı ile çarpılarak, alt kriter global ağırlıkları bulunur.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (4)$$

**Adım 4:** Son adımda tutarlılık hesaplanır. Bunun için öncelikle en büyük özdeğerin ( $\lambda_{max}$ ) hesaplaması Eşitlik 5 ve Eşitlik 6 ile yapılır. Tutarlılık göstergesi ( $TG$ ), Eşitlik 7 ile hesaplanır. Tablo 4'teki rassallık göstergeleri ( $RG$ ) dikkate alınarak, tutarlılık oranı ( $TO$ ) Eşitlik 8 ile bulunur. Matrisin tutarlı olması için  $TO < 0,10$  olmalıdır.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{w_i}}{n} \quad (6)$$

$$TG = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (7)$$

**Tablo 4: Rassallık göstergeleri (Saaty, 1994: 40)**

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>RG</b>	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

$$TO = \frac{TG}{RG} \quad (8)$$

**Örnek Problem 1:** Karar matrisinin Tablo 5'teki gibi olduğunu varsayalım.

**Tablo 5: AHP için örnek karar matrisi**

<b>A</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>4</sub></b>	<b>K<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>6</sub></b>	<b>K<sub>7</sub></b>
<b>K<sub>1</sub></b>	1	2	5	2	1/2	7	8
<b>K<sub>2</sub></b>	1/2	1	2	1/2	1/4	2	4
<b>K<sub>3</sub></b>	1/5	1/2	1	1/2	1/9	1	2
<b>K<sub>4</sub></b>	1/2	2	2	1	1/4	2	2
<b>K<sub>5</sub></b>	2	4	9	4	1	9	9
<b>K<sub>6</sub></b>	1/7	1/2	1	1/2	1/9	1	2
<b>K<sub>7</sub></b>	1/8	1/4	1/2	1/2	1/9	1/2	1

**Çözüm:** Karar probleminin AHP ile çözümü Tablo 6’da verilmiştir.

**Tablo 6: Karar probleminin AHP ile çözümü**

	<b>w<sub>j</sub></b>	<b>D</b>	$\frac{d_i}{w_i}$	<b><math>\lambda_{max}</math></b>
<b>K<sub>1</sub></b>	0,242	1,750	7,223	7,176
<b>K<sub>2</sub></b>	0,100	0,719	7,171	<b>TG</b>
<b>K<sub>3</sub></b>	0,052	0,369	7,157	0,029342
<b>K<sub>4</sub></b>	0,112	0,807	7,211	<b>RG</b>
<b>K<sub>5</sub></b>	0,410	2,962	7,221	1,350
<b>K<sub>6</sub></b>	0,050	0,356	7,141	<b>TO</b>
<b>K<sub>7</sub></b>	0,034	0,242	7,108	0,022

$TO < 0,10$  olduğundan, sonuçların güvenilir olduğu söylenebilir.

### 1.2.2. SWARA

SWARA, Keršulienė vd. (2010) tarafından geliştirilmiştir.  $n - 1$  adet ikili karşılaştırmanın yapılmasının yeterli olduğu bu yöntemde, tutarlı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu yöntemin, literatürde geniş bir şekilde yer alan AHP ile benzerliklerinin ve bazı kritik farklılıklarının olduğu görülmektedir.

SWARA prosedürünün adımları şu şekildedir (Ayçin, 2020: 260-261; Keršulienė vd., 2010: 243-258; Stanujkic vd., 2015: 182):

**Adım 1:**  $n$  adet birbiriyle ilişkisiz değerlendirme kriteri ( $K_1, K_2, \dots, K_n$ ) olduğunu varsayalım. Karar verici, kriterleri azalan önem sırasına göre sıralar. Ardından, her “ $j$ . kriterin ( $j + 1$ ). kriterden ne kadar daha önemli olduğu (Keršulienė vd., 2010: 250)”nu belirterek ikili karşılaştırmaları yapar ve böylece  $s_j$  (ortalama değer karşılaştırmalı önemi) değerlerini ifade etmiş olur.

**Adım 2:** Her kriter için  $k_j$  katsayıları, Eşitlik 9’daki gibi hesaplanır.

$$k_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ s_j + 1, & j > 1 \end{cases} \quad (9)$$

**Adım 3:** Önem vektörünü oluşturmak için her kriter için  $q_j$  değerleri Eşitlik 10'daki gibi hesaplanır.

$$q_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (10)$$

**Adım 4:** Kriterlerin normalize ağırlıkları Eşitlik 11 ile bulunur.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (11)$$

Birden fazla karar verici olması halinde, her karar verici için ayrı ayrı hesaplanan kriter ağırlıkları, geometrik ortalama ile birleştirilebilir.

SWARA yöntemi, herhangi bir tutarlılık kontrolü sunmamaktadır. Ancak, SWARA'nın tam tutarlı sonuç verdiği,  $s_j = (w_{j-1} - w_j)/w_j$  formülü ile kontrol edilebilir. Tablo 7'de, iki kriterin karşılaştırılmasında altı farklı  $s_j$  değeri için sonuçlar verilmiştir.  $s_j = (w_{j-1} - w_j)/w_j$  eşitliğinin sağlandığı ve böylece tam tutarlı sonuçlar alındığı görülmüştür.

SWARA'yı AHP ile karşılaştırdığımızda, bazı benzerlikler ve farklılıklar bulunduğu görülmektedir. Her iki yöntem de kriterlerin ikili karşılaştırmasına dayanmakta olup, en dikkat çeken farklılık, SWARA'da  $n - 1$  adet ikili karşılaştırma yapılırken, AHP'de  $\frac{n \times (n-1)}{2}$  adet ikili karşılaştırmaya ihtiyaç duyulmasıdır. AHP'de fazla sayıda ikili karşılaştırma, tutarsız sonuçlara yol açabilmektedir. Ayrıca SWARA yönteminde karar vericiler, AHP'de kullanılan ikili karşılaştırma ölçeği gibi herhangi bir ölçeğe bağlı kalmadan yargılarını ifade edebilmektedirler (Stanujkic vd., 2015: 182). AHP prosedüründe, karar verici ikili karşılaştırma yaparken, bir kriterin diğerinden "kaç kat önemli olduğu"nu ifade eden  $a_{ij}$  (önem derecesi) belirtmektedir. SWARA'da ise karar verici, bir kriterin diğer kriterden "ne kadar daha önemli olduğu"nu  $s_j$  (ortalama değerlerin karşılaştırmalı önemi) ile belirtmektedir.  $k_j = s_j + 1$  formülü ise, kriterin diğer kriterden "kaç kat önemli olduğu"nu bulmaya yaramaktadır. Bu durumda, AHP'deki  $a_{ij}$  (önem derecesi) ile SWARA'daki  $k_j$  (katsayı) aynı anlama gelmektedir.

**Tablo 7: SWARA yöntemi için tutarlılık analizi**

		$s_j$	$k_j$	$q_j$	$w_j$	$(w_{j-1} - w_j)/w_j$
<b>1</b>	$K_1$	0,05	1,05	1,00	$w_1$ 0,512	0,05
	$K_2$			0,95	$w_2$ 0,488	
<b>2</b>	$K_1$	0,20	1,20	1,00	$w_1$ 0,545	0,20
	$K_2$			0,83	$w_2$ 0,455	
<b>3</b>	$K_1$	0,40	1,40	1,00	$w_1$ 0,583	0,40
	$K_2$			0,71	$w_2$ 0,417	
<b>4</b>	$K_1$	0,80	1,80	1,00	$w_1$ 0,643	0,80
	$K_2$			0,56	$w_2$ 0,357	
<b>5</b>	$K_1$	1,50	2,50	1,00	$w_1$ 0,714	1,50
	$K_2$			0,40	$w_2$ 0,286	
<b>6</b>	$K_1$	2,50	3,50	1,00	$w_1$ 0,778	2,50
	$K_2$			0,29	$w_2$ 0,222	

SWARA’da az sayıda ikili karşılaştırma yapılmasının, karar vericilerin yargılarını toplamada pratik olduğu bir gerçektir. Bunun yanında, AHP’de yapılan fazla sayıda ikili karşılaştırma, daha detaylı bir yanıt toplama prosedürü oluşturmakta ve üstelik, tutarsız olduğu tespit edilen yargıların tekrar gözden geçirilmesi sağlanabilmektedir. SWARA’da, herhangi bir ölçek kullanılmaması ile karar vericiler yargılarını özgürce belirtebilmektedir. Saaty ise, AHP’deki ikili karşılaştırma yargılarında kullanılan tamsayı değerli yanıt ölçeğini, Weber-Fechner’in iyi bilinen psikofiziksel logaritmik yanıt işlevinden matematiksel olarak türetilbildiğini, bunun yanında eğer 2,375 gibi kesin bir ölçü bulunmaktaysa ve yargı bildirmek için olduğu gibi kullanılmak istenirse, yaklaşıklık olmadan tam değerinin kullanılabileceğini ifade etmektedir (Saaty, 2008: 257, 258). SWARA’da, her karar vericinin kriterleri kendi yargılarına göre azalan önem sırasına göre sıralamasının gerekmesi, karar verici sayısı arttığında, AHP’ye göre uygulama ve hesaplama zorluğu oluşturabilse de tutarlı sonuç elde etmeyi ve daha az sayıda ikili karşılaştırma kolaylığını sağlayabilmektedir.

**Örnek Problem 1:** Karşılaştırma yapabilmek için AHP örneğindeki matris kullanılmıştır. SWARA yönteminde  $k_j$  değerlerine karşılık gelen veriler işaretlenmiştir.

**Tablo 8: SWARA için matriste işaretlenmiş karar problemi verileri**

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$
$K_1$	1	2	5	2	1/2	7	8
$K_2$	1/2	1	2	1/2	1/4	2	4
$K_3$	1/5	1/2	1	1/2	1/9	1	2
$K_4$	1/2	2	2	1	1/4	2	2
$K_5$	2	4	9	4	1	9	9
$K_6$	1/7	1/2	1	1/2	1/9	1	2
$K_7$	1/8	1/4	1/2	1/2	1/9	1/2	1

**Çözüm:** Ağırlıkların SWARA ile hesaplanması Tablo 9’da verilmiştir.

**Tablo 9: Karar probleminin SWARA ile çözümü**

	$s_j$	$k_j$	$q_j$	$w_j$	$(w_{j-1} - w_j)/w_j$
$K_5$			1	0,492	
	1	2			1
$K_1$			0,5	0,246	
	1	2			1
$K_4$			0,25	0,123	
	1	2			1
$K_2$			0,13	0,062	
	1	2			1
$K_3$			0,06	0,031	
	0	1			0
$K_6$			0,06	0,031	
	1	2			1
$K_7$			0,03	0,015	
			$\Sigma$ 2,03		$Y = 0$

Tüm  $s_j$  değerleri için,  $s_j = (w_{j-1} - w_j)/w_j$  şeklinde olması nedeniyle, tam tutarlı sonuçların elde edildiği söylenebilir. Zaten Tablo 7’de de gösterildiği üzere, SWARA’daki TTS ( $Y$ : tam tutarlılıktan sapma) değerlerinin her zaman  $Y = 0$  şeklinde bulunduğu söylenebilir. Yani SWARA ile tam tutarlı ağırlıklar elde edilir.

### 1.2.3. PIPRECIA

Stanujkic vd. (2017) tarafından önerilen PIPRECIA yöntemi, SWARA’nın bir uzantısıdır. Bu yöntemin ilk adımında, karar vericilerin her birinin kriterleri azalan önem sırasına göre sıralaması gerekmediğinden, grup kararı vermede avantaj sağlayabileceği

belirtilmektedir. PIPRECIA yönteminin adımları şu şekildedir (Jauković Jocić vd., 2020: 39; Stanujkic vd., 2017: 120,121):

**Adım 1:** Değerlendirme kriterleri, beklenen önemlerine göre azalan düzende sıralanır. Bu adım, az sayıda karar verici içerdiğinde sıradan SWARA yöntemine benzer. Ancak, çalışma daha fazla sayıda katılımcıyı içerdiğinde, değerlendirme kriterlerinin sıralanmış listesinin kullanılması gerekmez.

**Adım 2:** Karar vericiler,  $j$  adet kriter için göreceli önemi ifade eden  $s_j^r$  değerlerini Eşitlik 12'deki gibi belirtir.

$$s_j^r = \begin{cases} > 1, & K_j > K_{j-1} \text{ ise,} \\ 1, & K_j = K_{j-1} \text{ ise,} \\ < 1, & K_j < K_{j-1} \text{ ise,} \end{cases} \quad (12)$$

**Adım 3:** Her karar verici için,  $k_j^r$  katsayıları ve  $q_j^r$  vektör değerleri ile kriterlere ait  $w_j^r$  ağırlık değerleri Eşitlik 13, 14, 15 ile hesaplanır. Buradaki  $r$  ifadeleri, ilgili değer,  $R$  adet karar vericiden  $r$ . karar vericiye ait olduğunu ifade eder.

$$k_j^r = \begin{cases} 1, & j = 1 \text{ ise,} \\ 2 - s_j^r, & j > 1 \text{ ise,} \end{cases} \quad (13)$$

$$q_j^r = \begin{cases} 1, & j = 1 \text{ ise,} \\ \frac{q_{j-1}^r}{k_j^r}, & j > 1 \text{ ise,} \end{cases} \quad (14)$$

$$w_j^r = \frac{q_j^r}{\sum_{j=1}^n q_j^r} \quad (15)$$

**Adım 4:** Son olarak, Eşitlik 16 ve 17 ile her karar verici için bulunan  $w_j^r$  ağırlıkları birleştirilir ve normalizasyon işlemi yapılır.

$$w_j^* = \left( \prod_{r=1}^R w_j^r \right)^{1/R} \quad (16)$$

$$w_j = \frac{w_j^*}{\sum_{j=1}^n w_j^*} \quad (17)$$

Stanujkic vd. (2017) çalışmalarında, “Inverse PIPRECIA” prosedürü de önermiştir. Bu yaklaşım ile sıralanmış kriterler, bir de aşağıdan yukarıya doğru değerlendirilir ve ağırlıklar tekrar hesaplanır. Çalışmada, PIPRECIA ve Inverse PIPRECIA ile bulunan ağırlıklar arasındaki korelasyonun yüksek olması, sonuçların güvenilirliğini gösterdiği belirtilir. PIPRECIA ve Inverse PIPRECIA ile bulunan

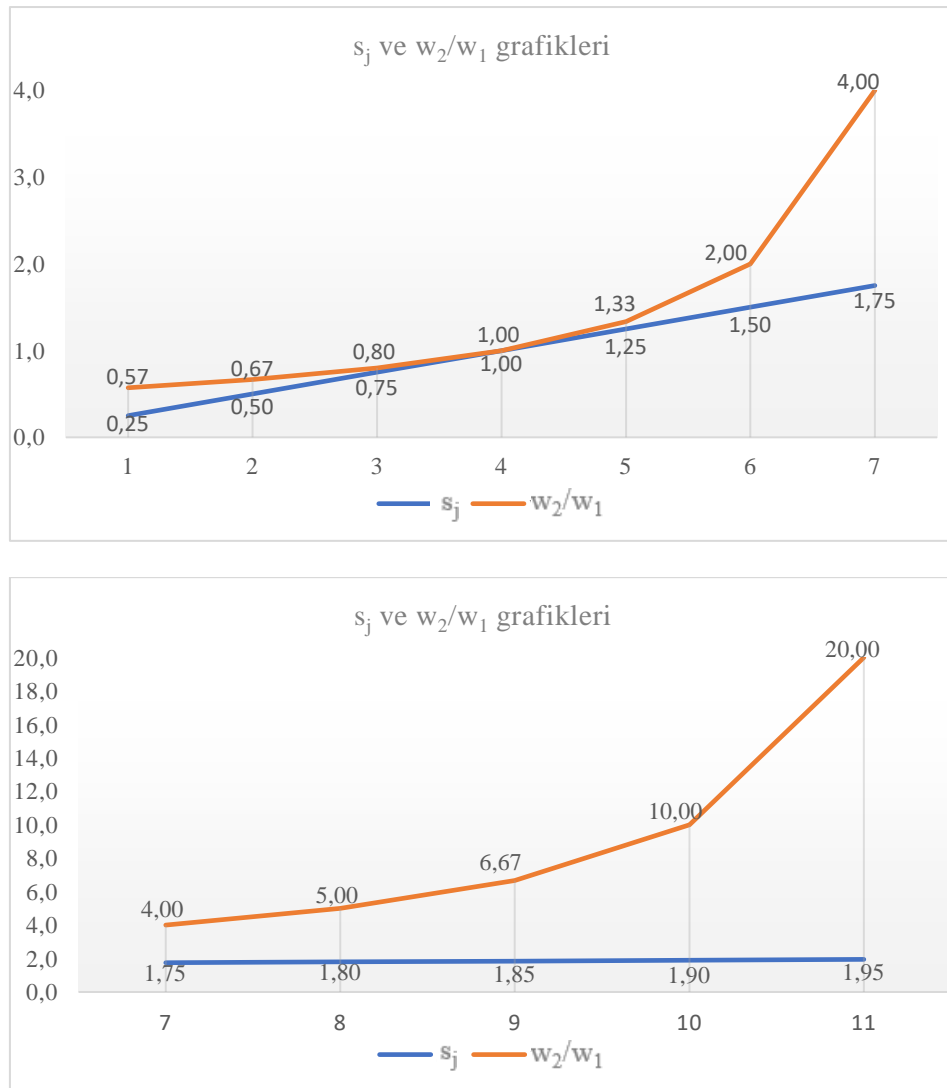
ağırlıkların aritmetik ortalaması hesaplanır ve nihai ağırlıklar bulunur. Yöntemin, çift yönlü bir yaklaşımın kullanılmasına dayanan bu haline, Genişletilmiş PIPRECIA (PIPRECIA-E) yöntemi adı verilmiştir (Stanujkic vd., 2017: 116-133).

**Tablo 10: PIPRECIA yöntemi için tutarlılık analizi**

		$s_j$	$k_j$	$q_j$	$w_j$		$w_j/w_{j-1}$
1	$K_1$	0,25	1,75	1,00	$w_1$	0,64	0,57
	$K_2$			0,57	$w_2$	0,36	
2	$K_1$	0,50	1,50	2,00	$w_1$	0,60	0,67
	$K_2$			1,33	$w_2$	0,40	
3	$K_1$	0,75	1,25	2,00	$w_1$	0,56	0,80
	$K_2$			1,60	$w_2$	0,44	
4	$K_1$	1,00	1,00	3,00	$w_1$	0,50	1,00
	$K_2$			3,00	$w_2$	0,50	
5	$K_1$	1,25	0,75	3,00	$w_1$	0,43	1,33
	$K_2$			4,00	$w_2$	0,57	
6	$K_1$	1,50	0,50	4,00	$w_1$	0,33	2,00
	$K_2$			8,00	$w_2$	0,67	
7	$K_1$	1,75	0,25	4,00	$w_1$	0,20	4,00
	$K_2$			16,00	$w_2$	0,80	
8	$K_1$	1,80	0,20	5,00	$w_1$	0,17	5,00
	$K_2$			25,00	$w_2$	0,83	
9	$K_1$	1,85	0,15	5,00	$w_1$	0,13	6,67
	$K_2$			33,33	$w_2$	0,87	
10	$K_1$	1,90	0,10	6,00	$w_1$	0,09	10,00
	$K_2$			60,00	$w_2$	0,91	
11	$K_1$	1,95	0,05	6,00	$w_1$	0,05	20,00
	$K_2$			120,00	$w_2$	0,95	

Yöntemde, karar vericilerin tutumları ile bulunan kriter ağırlıkları arasındaki tutarlılık hakkında güvenilir bir doğrulama yapılamamıştır. Bu husus, Tablo 10'da gösterilmiştir. PIPRECIA yönteminin tutarlılığı,  $s_j$  değerinin  $w_j/w_{j-1}$  ile ilişkisine bakarak kontrol edilebilir. Tablo 10'da, iki kriterin karşılaştırılmasında on bir farklı  $s_j$  değeri için sonuçlar verilmiştir.  $s_j = w_j/w_{j-1}$  eşitliğinin sağlanamaması ve ikisi arasında çok büyük farkların oluşması, bulunan ağırlık değerlerinin karar vericinin tutumunu yansıtamadığını düşündürmektedir.

**Şekil 1: PIPRECIA yöntemi için tutarlılık analizi grafikleri**



Kriter ağırlıklarını bulmak için izlediğimiz yol, sezgimize ve genel düşüncemize doğal bir yaklaşım sunmalıdır (Saaty, 1994: 28). PIPRECIA yöntemi ile bulunan ağırlıkların, karar vericinin tutumlarını sağlamada tutarlı olmadığı, karar vericinin yargılarıyla doğrusal sonuçlar vermediği, yöntem açıklanırken bu doğrusal olmayan ilişkinin neye dayandığının belirtilmediği, ayrıca karar verici bir kriterin diğerinden 2



veya daha fazla kat önemli olduğunu belirttiği durumlarda  $2 - s_j$  formülü nedeniyle metodolojinin çalışmadığı göz önüne alındığında, bu yöntemin güvenilirliği konusunda kuşklar oluşmaktadır.

Bu yöntemle örnek problem çözülmemiştir. Bunun sebebi yöntemin güvenilirliği konusundaki şüphelerdir. Bununla birlikte çözülmek istense bile, kullanılacak 2 ve daha büyük  $s_j$  değerleri ve yöntemdeki  $2 - s_j$  formülü nedeniyle, PIPRECIA yöntemi sonuç vermeyecektir. PIPRECIA yöntemini irdelerken ortaya çıkan bu husus, Şekil 1’de daha açık şekilde görülmektedir.

Tablo 10 ve Şekil 1, PIPRECIA ile genellikle tutarlılıktan çok uzak sonuçlar elde edildiğini göstermektedir. Bu durum, yöntemin güvenilirliği sağlayamadığını gösterir.

#### 1.2.4. BWM

Rezaei (2015) tarafından önerilen BWM, karar vericilerin öznel değerlendirmelerini dikkate alan diğer bir yöntemdir. Karar vericiler tarafından tespit edilen en iyi ve en kötü kriterlerin, diğer kriterlerle ikili karşılaştırmasına dayanır (Şahin, 2022: 10). Bilindiği üzere, ikili karşılaştırmaya dayalı yöntemlerde, karşılaştırma sayısının artması tutarlılığı olumsuz etkileyebilmektedir (Aytekin, 2022: 142). Tutarlılığın da kontrol edildiği BWM’de,  $n$  adet kriter için  $2n - 3$  adet karşılaştırma yeterli olmaktadır. En iyi ve en kötü kriterlerin referans alınarak karşılaştırmaların yapılması, yöntemde duyulan güveni arttırmaktadır (Ecer, 2020: 102, 103). Rezaei (2016), 2015’te doğrusal olmayan bir model ile verilen bu yöntem için doğrusal bir model de önermiştir. BWM, ikili karşılaştırmalar için 1-9 ölçeğini kullanmaktadır (Demir ve Bircan, 2020: 174). Yöntemin adımları şu şekildedir (Aytekin, 2022: 143, 144 ; Demir ve Bircan, 2020: 173-175; Ecer, 2020: 104, 105 ; Rezaei, 2015: 49-57, 2016: 126-130; Şahin, 2022: 11, 12):

**Adım 1:**  $n$  adet değerlendirme kriteri ( $K_1, K_2, \dots, K_n$ ) belirlenir. Karar vericilerin her biri, en iyi (en önemli) ve en kötü (en önemsiz) kriterin hangileri olduğunu kendi yargıları ile tayin eder.

**Adım 2:** Her bir karar verici, en önemli gördüğü kriterin diğerlerine göre önem derecesini 1-9 skalası ile belirler. Buradaki  $a_{Bj}$ , en iyi kriteri temsil eden  $B$ ’nin,  $j$  kriterine göre tercihidir.

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})^T \quad (18)$$

**Adım 3:** Her bir karar verici, kriterlerin en önemsiz kritere göre önem derecesini 1-9 skalası ile belirler. Buradaki  $a_{jW}$ ,  $j$  kriterinin en kötü kriter  $W$ 'ye göre tercihini belirtmektedir.

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T \quad (19)$$

**Adım 4:** Doğrusal olmayan model Eşitlik 20'deki gibi kurulur. TO, Tablo 11'den tespit edilen  $Ti$ (Tutarlılık İndeksi)'nin  $\xi^*$ 'ye bölünmesiyle bulunur.  $TO \in [0,1]$  olup, 0'a yakın olması, sonuçların tutarlılık açısından daha güvenilir olduğunu gösterir.

Yazılması gereken,  $\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|$  ve  $\left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right|$  farklarının maksimumunu minimum yapan model, Eşitlik 20'deki şekilde bir doğrusal olmayan model ile aynıdır.

$\min \xi$

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \forall j$$

$$\left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \leq \xi, \forall j \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \forall j$$

**Tablo 11: BWM için tutarlılık indeksi (Rezaei, 2015: 52)**

$a_{BW}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Tİ (max \xi)$	0,00	0,44	1,00	1,63	2,30	3,00	3,73	4,47	5,23

Rezaei (2016), bu modeli doğrusal modele Eşitlik 21'deki gibi dönüştürmüştür. Model çözümlenerek ağırlıklar ve tutarlılık oranı bulunur.  $\xi^{L*}$ 'nin 0'a yakın olması, sonuçların tutarlılık açısından daha güvenilir olduğunu gösterir. Doğrusal model için herhangi bir tutarlılık indeksi önerilmemiştir.

$\min \xi^L$

öyle ki

$$|w_B - a_{Bj}w_j| \leq \xi^L, \forall j \quad (21)$$

$$|w_j - a_{jW}w_W| \leq \xi^L, \forall j$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad w_j \geq 0, \forall j$$

BWM, doğrusal model oluşturmaya dayalı hesaplama prosedürü ile, AHP ve SWARA yöntemlerinden farklı bir yapıya sahiptir.  $n$  adet kriter için  $2n - 3$  adet ikili karşılaştırma, SWARA'daki  $n - 1$  karşılaştırmadan daha fazla, ancak AHP'deki karşılaştırma sayısına göre daha avantajlı görünmektedir. Bunun yanında, AHP'de yapılan fazla sayıda ikili karşılaştırma, daha detaylı bir yanıt toplama prosedürü oluşturmaktadır. BWM'da, her karar vericinin ayrı ayrı en iyi ve en kötü kriteri kendi yargılarına göre tayin etmesinin gerekmesi, karar verici sayısı arttığında, AHP'ye göre uygulama ve hesaplama zorluğu oluşturabilse de daha tutarlı sonuç elde etmeyi ve daha az sayıda ikili karşılaştırma kolaylığını sağlayabilmektedir. BWM'da, kriter sayısının fazla olması durumunda, modeli oluşturmak karmaşık bir hal alabilir ve AHP'ye benzer şekilde tutarsızlık artabilir.

**Örnek Problem 1:** Karşılaştırma yapabilmek için AHP örneğindeki matris kullanılmıştır. Tablo 12'de, aslen AHP için hazırlanmış karar matrisinde, BWM'de kullanılacak veriler işaretlenmiştir.

**Tablo 12: BWM için matriste işaretlenmiş karar problemi verileri**

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$
$K_1$	1	2	5	2	1/2	7	8
$K_2$	1/2	1	2	1/2	1/4	2	4
$K_3$	1/5	1/2	1	1/2	1/9	1	2
$K_4$	1/2	2	2	1	1/4	2	2
$K_5$	2	4	9	4	1	9	9
$K_6$	1/7	1/2	1	1/2	1/9	1	2
$K_7$	1/8	1/4	1/2	1/2	1/9	1/2	1

**Çözüm:** Doğrusal model, Tablo 13'e bakarak şu şekilde kurulur.

$$\min \xi^L$$

öyle ki

$$|w_5 - 2w_1| \leq X$$

$$|w_5 - 4w_2| \leq X$$

$$|w_5 - 9w_3| \leq X$$

$$|w_5 - 4w_4| \leq X$$

$$|w_5 - 9w_6| \leq X$$

$$|w_5 - 9w_7| \leq X$$

$$|w_1 - 8w_7| \leq X \quad |w_2 - 4w_7| \leq X \quad |w_3 - 2w_7| \leq X$$

$$|w_4 - 2w_7| \leq X \quad |w_6 - 2w_7| \leq X$$

$$w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7 = 1$$

$$w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7 \geq 0$$

Model Microsoft © Excel © Microsoft 365'te çözülebilmektedir. Sonuç olarak,  $w_j$  kriter ağırlıkları ve tutarlılıktan sapma değeri  $\xi^L$ , Tablo 13'teki gibi bulunur.

**Tablo 13: Karar probleminin BWM ile çözümü**

En iyi	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$
$K_5$	2	4	9	4	1	9	9

En kötü $K_7$	
$K_1$	8
$K_2$	4
$K_3$	2
$K_4$	2
$K_5$	9
$K_6$	2
$K_7$	1

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$\xi^L$
$w_j$	0,231	0,116	0,051	0,116	0,398	0,051	0,037	0,065

### 1.2.5. FUCOM

Oldukça yeni bir sübjektif kriter ağırlıklandırma yöntemi olan FUCOM, Pamučar vd. (2018) tarafından geliştirilmiştir (Demir ve Bircan, 2020: 172). Yöntemin avantajları olarak, tam tutarlı sonuçların elde edilmesi ve  $n - 1$  adet ikili karşılaştırmanın yeterli olması sayılabilir (Ecer, 2021a: 28, 2021b: 33). Ayrıca, karmaşık olmaması ve grup karar vermede tercih edilebilir olması, öne çıkan diğer bir diğer özelliğidir (Ayçin ve Aşan, 2021: 200). Doğrusal programlama modeliyle uygulanabilen yöntem, içerisinde iki adet koşula işaret etmektedir. Bunlardan ilki, kriter ağırlıkları arası ilişkinin karşılaştırmalı önceliklere eşit olmasının beklenmesidir. İkincisi ise, matematiksel geçişlilik kuralına dayandırılır. Modelin çözümüyle birlikte, kriter ağırlıklarının yanında bir TTS ( $X$ : tam tutarlılıktan sapma) değeri hesaplanır. FUCOM metodolojisi özetle şu şekildedir (Ecer, 2020: 119-124; Pamučar vd., 2018: 1-22):

**Adım 1:**  $n$  adet değerlendirme kriteri ( $j = 1, \dots, n$ ) belirlenir. Karar vericilerin her biri, kriterleri azalan beklenen önem sırasına göre ( $k = 1, \dots, n$ ) Eşitlikteki gibi sıralar. Önem derecesi eşit olan kriterler için “=” işareti kullanılır.

$$K_{j(1)} > K_{j(2)} > \dots > K_{j(n)} \quad (22)$$

**Adım 2:** Karar vericilerin her biri, en önemli olduğunu düşündükleri kriterin, diğer kriterlere göre önem derecesini belirtir. Daha sonra, karşılaştırmalı öncelik değerleri ( $\varphi_{k/(k+1)}$ ) belirlenir.  $\varphi_{k/(k+1)}$ ,  $K_{j(k)}$ 'nın  $K_{j(k+1)}$ 'e göre avantajını temsil eder. Karşılaştırmalı öncelik vektörü şu şekilde oluşur.

$$\Phi = (\varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \varphi_{3/4}, \dots, \varphi_{(n-1)/n}) \quad (23)$$

**Adım 3:** Bu adımda iki koşulu sağlamak gereklidir. Böylelikle tam tutarlık sağlanır ve TTS ( $X$ : tam tutarlılıktan sapma) değeri  $X = 0$  olur.

Koşul 1: Ağırlık değerlerinin oranı, kriterlerin karşılaştırmalı öncelik değerlerine ( $\varphi_{k/(k+1)}$ ) eşit olmalıdır.

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (24)$$

Koşul 2: Ağırlık değerleri, matematiksel geçişliliği sağlamalıdır.  $\varphi_{k/(k+1)} = \frac{w_k}{w_{k+1}}$

ve  $\varphi_{(k+1)/(k+2)} = \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}}$  ele alındığında, matematiksel geçişlilik Eşitlik 25 ile sağlanır.

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} \times \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{(k+1)/(k+2)} = \frac{w_k}{w_{k+2}} \quad (25)$$

**Adım 4:** Doğrusal model şu şekilde oluşturulur. Çözüm yapıldığında ağırlıklar bulunur.

$\min X$

öyle ki

$$\left| \frac{w_k}{w_{k+1}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq X, \forall j$$

$$\left| \frac{w_k}{w_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq X, \forall j \quad (26)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \forall j$$

Pamućar vd., (2018) tarafından önerilen bu modelin yapısı aslında doğrusal olmayan bir modeli ifade etmektedir. Ancak  $X = 0$  varsayımı nedeniyle ve kısıtlardaki paydaların eşitsizliğin sağ tarafına geçmesi durumunda doğrusal bir model oluşmaktadır.

Her karar verici için ayrı ayrı hesaplanan ağırlıkların ortalaması alınarak yargılar birleştirilebilir.

FUCOM, doğrusal model oluşturmaya dayalı hesaplama prosedürü ile BWM'a benzemekte olup, AHP ve SWARA yöntemlerinden farklı bir yapıya sahiptir.  $n$  adet kriter için SWARA'daki gibi  $n - 1$  adet ikili karşılaştırma, AHP ve BWM'a göre daha pratiktir. Bunun yanında, AHP ve BWM'da yapılan daha fazla sayıda ikili karşılaştırmalar, daha detaylı bir yanıt toplama prosedürü oluşturabilmekte ve üstelik, tutarsız olduğu tespit edilen yargıların tekrar gözden geçirilmesi sağlanabilmektedir. FUCOM'da, her karar vericinin kriterleri kendi yargılarına göre azalan önem sırasına göre sıralamasının gerekmesi, karar verici sayısı arttığında, AHP'ye göre uygulama ve hesaplama zorluğu oluşturabilse de tutarlı sonuç elde etmeyi ve daha az sayıda ikili karşılaştırma kolaylığını sağlayabilmektedir. FUCOM'da, kriter sayısının fazla olması durumunda, modeli oluşturmak karmaşık bir hal alabilir.

**Örnek Problem 1:** Karşılaştırma yapabilmek için AHP örneğindeki matris kullanılacaktır. Tablo 14'te, aslen AHP için hazırlanmış karar matrisinde, FUCOM'da kullanılacak veriler işaretlenmiştir.

**Tablo 14: FUCOM için matriste işaretlenmiş karar problemi verileri**

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$
$K_1$	1	2	5	2	1/2	7	8
$K_2$	1/2	1	2	1/2	1/4	2	4
$K_3$	1/5	1/2	1	1/2	1/9	1	2
$K_4$	1/2	2	2	1	1/4	2	2
$K_5$	2	4	9	4	1	9	9
$K_6$	1/7	1/2	1	1/2	1/9	1	2
$K_7$	1/8	1/4	1/2	1/2	1/9	1/2	1

**Çözüm:** Doğrusal model, Tablo 15'e bakarak şu şekilde kurulur.

$\min X$

öyle ki

$$\left| \frac{w_5}{w_1} - 2 \right| \leq X \quad \left| \frac{w_1}{w_2} - 2 \right| \leq X \quad \left| \frac{w_2}{w_4} - 1 \right| \leq X$$

$$\left| \frac{w_4}{w_3} - 2,25 \right| \leq X \quad \left| \frac{w_3}{w_6} - 1 \right| \leq X \quad \left| \frac{w_6}{w_7} - 1 \right| \leq X$$

$$\left| \frac{w_5}{w_2} - 4 \right| \leq X \quad \left| \frac{w_1}{w_4} - 2 \right| \leq X \quad \left| \frac{w_2}{w_3} - 2,25 \right| \leq X$$

$$\left| \frac{w_4}{w_6} - 2,25 \right| \leq X \quad \left| \frac{w_3}{w_7} - 1 \right| \leq X$$

$$w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7 = 1$$

$$w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7 \geq 0$$

Model Microsoft © Excel © Microsoft 365'te çözüldüğünde,  $w_j$  kriter ağırlıkları ve  $TTS(X)$  değeri, Tablo 15'teki gibi bulunur.

**Tablo 15: Karar probleminin FUCOM ile çözümü**

En iyi	$K_5$	$K_1$	$K_2$	$K_4$	$K_3$	$K_6$	$K_7$
$K_5$	1	2	4	4	9	9	9

	$K_5$	$K_1$	$K_2$	$K_4$	$K_3$	$K_6$	$K_7$	$X$
$w_j$	0,429	0,214	0,107	0,107	0,048	0,048	0,048	0,000

Bu bölümde, objektif ve subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri anlatılmış ve ikinci bölümde önerilecek olan ICWM'nin teorik alt yapısının benzerlik gösterdiği yöntemler olan AHP, SWARA, BWM, PIPRECIA, FUCOM subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri detaylı şekilde irdelenmiştir. PIPRECIA yöntemi güvenilir bulunmazken, AHP, SWARA, BWM ve FUCOM arasındaki farklılıklar analiz edilmiştir. Yöntemler arasındaki farklılıkların, bir yöntemin diğer yönteme göre kesin bir şekilde avantajı veya dezavantajı şeklinde düşünülmesi mümkün olmayabilir. Bu farklılıklar, kendi içerisinde avantajları ve dezavantajları birlikte barındıran dört farklı subjektif kriter ağırlıklandırma prosedürünü oluşturmaktadır.

## İKİNCİ BÖLÜM

### GELİŞTİRİLMİŞ KRİTER AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMİ

Bu bölümde, önerilen “Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi” ve bulanık uzantısı “Bulanık Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi” açıklanmıştır.

#### 2.1. Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi

Bu çalışma kapsamında önerilen ICWM, bir subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemidir. AHP, SWARA, BWM, PIPRECIA ve FUCOM’un metodolojileri incelendikten sonra önerilen ICWM, iyileştirilmiş bir subjektif kriter ağırlıklandırma prosedürü oluşturmayı amaçlamaktadır. ICWM metodolojisi aşağıda açıklanmaktadır.

##### 2.1.1. Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Metodolojisi

ICWM metodolojisi, dört adımdan oluşur. Son adımda, Adım 4a veya Adım 4b’den birisi kullanılabilir. Hesaplama prosedürü şu şekildedir:

**Adım 1:**  $n$  adet ( $j = 1, \dots, n$ ) birbiriyle “ilişkisiz” değerlendirme kriteri ( $K_1, K_2, \dots, K_n$ ) olduğunu varsayalım. Kriterler, her bir karar vericiye ikili karşılaştırma yapması için aşağıdaki gibi sunulur. Karar vericilerin her biri, ikili karşılaştırma yaptıkları kriterlerin hangisinin daha önemli olduğunu,  $[K_j]$  veya  $[K_{j+1}]$  şeklinde işaretler. Eşit önemli ise, herhangi bir işaretleme yapmaz. Daha önemli olan kriterin diğer kriterle göre önem derecesini ( $a_{j,j+1}$ ), Tablo 16’ya bakarak belirtir ve Tablo 17 oluşturulur.

**Tablo 16: ICWM için ikili karşılaştırma ölçeği**

Önem Derecesi	Tanım ve Açıklama
1	Eşit önemli.
2	Eşit-orta arası önemli
3	Orta önemli.
4	Orta-güçlü arası önemli
5	Güçlü önemli.
6	Güçlü-çok güçlü arası önemli
7	Çok güçlü önemli.
8	Çok güçlü-son derece arası önemli
9	Son derece önemli.
<b>Ara değerler</b>	1-9 arası ondalık değerler
<b>Büyük değerler</b>	9’dan büyük ölçü belirten değerler

*Bu ölçek, ikili karşılaştırması yapılan kriterlerin ağırlıklarının oranı için ( $w_i/w_j$ ) en yakın tamsayıyı ifade etmeyi sağlamaktadır. Saaty, ikili karşılaştırma prosedürü ile*



ilgili yaptığı bir açıklamada, Fechner'ın 1966'daki "Elements of Psychophysics" adlı çalışmasına da atıf yaparak, AHP için verilen ve ikili karşılaştırma yargularında kullanılan tamsayı değerli yanıt ölçeğini, Weber-Fechner'ın iyi bilinen psikofiziksel logaritmik yanıt işlevinden matematiksel olarak türetilbildiğini ifade etmektedir. Bunun yanında Saaty, Wilkinson'a göre yargılamadaki küçük değişikliklerin, türetilen önceliklerde küçük değişikliklere yol açtığını bildirmektedir. Eğer 2,375 gibi kesin bir ölçü bulunmaktaysa ve yargı belirtmek için olduğu gibi kullanılmak istenirse, yaklaşıklık olmadan tam değerinin kullanılabileceğini ifade etmektedir (Saaty, 2008: 257, 258). ICWM için kullanılan Tablo 3'teki ölçek de bu açıklama dikkate alınarak, AHP'deki gibi 1-9 ölçeği şeklinde tasarlanmıştır. Yargı belirtirken, tamsayı değerleri arası değerlerin ifade edilebileceği bir ölçü bulunmaktaysa, ara ondalık değerler kullanılabilir. Eğer karar verici, 9'dan büyük bir ölçü kullanması gerektiğine kanaat getirmiş ise, bu yargının belirtilmesinde de metodolojik açıdan sorun görünmemektedir.

**Tablo 17: ICWM ikili karşılaştırma tablosu ( $a_{j,j+1}$ )**

$K$	İkili karşılaştırma yapınız. Hangisi daha önemli? ( $\overline{K}$ )	Daha önemli olanın, önem derecesi nedir? ( $a_{j,j+1}$ )
$K_1$	$K_1$ $K_2$	$a_{1,2}$
$K_2$	$K_2$ $K_3$	$a_{2,3}$
$K_3$	..      ..	..
..	..      ..	..
$K_{n-1}$	$K_{n-1}$ $K_n$	$a_{n-1,n}$
$K_n$		

Bu adımda kriterler, rassal olarak sıralanır. Karar vericiden, SWARA, FUCOM ve BWM'daki gibi herhangi bir önem sırası belirtmesini istemeye ihtiyaç bulunmamaktadır. Nitekim, PIPRECIA (Stanujkic vd., 2017) yönteminde de önem sırasının belirtilmesine ihtiyaç duyulmayan bir prosedür amaçlanmıştır. Ancak PIPRECIA, bu çalışmanın birinci bölümünde yapılan analizlerde güvenilir bulunmamıştır. Tablo 17'deki  $a_{j,j+1}$ , AHP (Saaty, 1980)'de kullanılan "önem derecesi"

gibi ikili karşılaştırma yapılan kriterler arasında bir oran ölçeklendirmesini ifade eder.  $a_{j,j+1}$  ayrıca, SWARA'daki " $k_j$  (katsayı) =  $s_j + 1$  (Keršulienė vd., 2010: 253)" ifadesinin geliştirilmiş bir formudur.

**Adım 2:** Her  $K_j$  kriterinin,  $K_{j+1}$  kriterinden kaç kat önemli olduğu ( $b_{j,j+1}$ ), Eşitlik 27 ile belirlenir ve Tablo 18 oluşturulur.

$$b_{j,j+1} = \begin{cases} a_{j,j+1}, & K_j, K_{j+1}'den \text{ daha önemli ise,} \\ \frac{1}{a_{j,j+1}}, & K_{j+1}, K_j'den \text{ daha önemli ise,} \\ 1, & K_j \text{ ve } K_{j+1} \text{ eşit önemli ise,} \end{cases} \quad (27)$$

**Tablo 18:** ICWM ikili karşılaştırma tablosu ( $b_{j,j+1}$ )

$K$	İkili karşılaştırma yapınız. Hangisi daha önemli? ( $\overline{K}$ )	Daha önemli olanın, önem derecesi nedir? ( $a_{j,j+1}$ )	$K_j$ 'nin $K_{j+1}$ 'e göre önem derecesi ( $b_{j,j+1}$ )
$K_1$	$K_1$ $K_2$	$a_{1,2}$	$b_{1,2}$
$K_2$	$K_2$ $K_3$	$a_{2,3}$	$b_{2,3}$
$K_3$	.. ..	..	..
..	.. ..	..	..
$K_{n-1}$	$K_{n-1}$ $K_n$	$a_{n-1,n}$	$b_{n-1,n}$
$K_n$			

Saaty tarafından, AHP'nin teorik alt yapısında geliştirilen aksiyomlardan biri olan "karşılıklı kıyas aksiyomu"na göre, örneğin  $K_{j+1}$ 'in  $K_j$ 'ye göre önem derecesi  $x$  ( $K_{j+1}$ ,  $K_j$ 'den  $x$  kat önemli) ise, ikili karşılaştırma matrisinde  $K_j$ 'nin  $K_{j+1}$ 'e göre önem derecesi  $\frac{1}{x}$  ( $K_j$ ,  $K_{j+1}$ 'den  $\frac{1}{x}$  kat önemli) olarak ifade edilir (Ayçin, 2020: 3; Özbek, 2021: 89; Saaty, 1986: 844, 845; Saaty, 1990: 15). ICWM'de de Tablo 16 ile oran ölçeklendirmesi yapılmaktadır ve karşılıklı kıyas aksiyomu benimsenmiştir.  $b_{j,j+1}$ 'in formülasyonu, bu doğrultuda geliştirilmiştir.

**Adım 3:** Karar sürecine katılan  $p$  adet ( $i = 1, \dots, p$ ) karar verici ( $KV_1, KV_2, \dots, KV_p$ ) olduğunu varsayalım. Eğer karar komitesi üyeleri, eşit ağırlıkta karar

hakkına sahipse, değerlendirmeleri doğrultusunda bulunan  $b_{j,j+1}$  değerlerinin geometrik ortalaması ( $B_{j,j+1}$ ) Eşitlik 28 ile hesaplanır. Eğer karar vericiler, farklı ağırlıklarda ( $q_1, q_2, \dots, q_p$ ) karar hakkına sahipse, Eşitlik 29'daki ağırlıklı geometrik ortalama formülü kullanılır. Eğer sadece bir karar verici var ise,  $B_{j,j+1} = b_{j,j+1}$  olur.

$$B_{j,j+1} = \sqrt[p]{\prod_{i=1}^p (b_{j,j+1})_i} \quad (28)$$

$$B_{j,j+1} = \sqrt[\sum_{i=1}^p q_i]{\prod_{i=1}^p (b_{j,j+1})_i^{q_i}} \quad (29)$$

“AHP ile grup kararı alınırken, kolektif yargıların da karşılıklı kıyas aksiyomunu sağlaması gerektiğinden, grupta yer alan karar vericilerin kişisel yargılarını yansıtan ikili karşılaştırma matrislerindeki değerler, geometrik ortalama alınarak bütünleştirilmelidir” (Ayçin, 2020: 6). Saaty, karar vericilerin yargılarını birleştirirken, geometrik ortalama ve ağırlıklı geometrik ortalamanın kullanılmasını önermektedir (Saaty, 2008: 305, 306). ICWM'deki  $b_{j,j+1}$ 'in, AHP'deki “önem derecesi” gibi olması, oran ölçeklendirmesini kullanması ve “karşılıklı kıyas aksiyomu”nu benimsemiş olması nedeniyle,  $B_{j,j+1}$ 'in formülasyonunda geometrik ortalama ve ağırlıklı geometrik ortalama tercih edilmiştir.

**Adım 4a:** En sondaki kriter  $K_n$ 'e rassal bir ağırlık değeri  $c_n$  atanır.  $c_n > 0$  olmalıdır. Diğer kriterlerin ağırlık değerlerini içeren ağırlık vektörü aşağıdan başlayarak yukarıya doğru Eşitlik 30'daki gibi belirlenir.  $c_j$  değerleri, Eşitlik 31 ile normalize edilir. Çözüm, Tablo 19'da gösterilmiştir.

$$c_j = B_{j,j+1} \times c_{j+1} \quad (30)$$

$$w_j = \frac{c_j}{\sum_{j=1}^n c_j} \quad (31)$$

$c_n$ , SWARA'daki “ $\frac{x_{j-1}}{k_j}$  (Keršulienė vd., 2010: 253)” formülasyonu ile elde edilen “önem vektörü” gibidir ve kriterlere ait ağırlık vektörünü tespit etmeye yarar. Son olarak, normalize ağırlıklar bulunarak hesaplama sonuçlandırılmış olur.

**Adım 4b:** Kriter ağırlıkları bulunurken, tam tutarlılığın sağlanması için TTS ( $Z$ : tam tutarlılıktan sapma)'nın minimum değeri alması gerekir. Bu durum,  $Z = 0$  olmasını gerektirir. Bu bağlamda,  $Z$ 'nin minimizasyonu için kriter ağırlıklarının optimal değerleri hesaplanırken, öncelikle doğrusal olmayan model Eşitlik 32'deki gibi kurulur.

$\min Z$

öyle ki

$$\left| \frac{w_j}{w_{j+1}} - B_{j,j+1} \right| \leq Z, \forall j \quad (32)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \forall j$$

Tam tutarlılığı elde etmek için,  $\frac{w_j}{w_{j+1}} - B_{j,j+1} = 0$  olması gerekir. Böylece, Eşitlik 32'de verilen model, Eşitlik 33'teki gibi doğrusal modele dönüştürülebilir. Kurulan doğrusal model çözülür ve kriter ağırlıkları bulunur. Çözüm, Tablo 20'de gösterilmiştir.

$\min Z$

öyle ki

$$\left| w_j - B_{j,j+1} \times w_{j+1} \right| \leq Z, \forall j \quad (33)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \forall j$$

**Tablo 19: ICWM ile ağırlıkların belirlenmesi**

$K$	$K_j$ 'nin $K_{j+1}$ 'e göre önem derecesi ( $B_{j,j+1}$ )	Ağırlık vektörü ( $c_j$ )	Normalize ağırlıklar ( $w_j$ )
$K_1$		$c_1$	$w_1$
$K_2$	$B_{1,2}$	$c_2$	$w_2$
$K_3$	$B_{2,3}$	$c_3$	$w_3$
..	..	..	..
$K_{n-1}$	..	$c_{n-1}$	$w_{n-1}$
$K_n$	$B_{n-1,n}$	$c_n$	$w_n$

Tablo 20: ICWM ile doğrusal model kurularak ağırlıkların belirlenmesi

$K$	$K_j$ 'nin $K_{j+1}$ 'e göre önem derecesi ( $B_{j,j+1}$ )	Doğrusal programlama modeli	Normalize ağırlıklar ( $w_j$ )
$K_1$		$min Z$	$w_1$
	$B_{1,2}$	$ w_1 - B_{1,2} \times w_2  \leq Z$	
$K_2$			$w_2$
	$B_{2,3}$	$ w_2 - B_{2,3} \times w_3  \leq Z$	
$K_3$	..	..	$w_3$
..	..	..	..
$K_{n-1}$			$w_{n-1}$
	$B_{n-1,n}$	$ w_{n-1} - B_{n-1,n} \times w_n  \leq Z$	
$K_n$		$\sum_{j=1}^n w_{K_j} = 1, \quad w_{K_j} \geq 0, \forall j$	$w_n$

Önerilen doğrusal programlama modeli, BWM (Rezaei, 2015, 2016), FUCOM (Pamućar vd., 2018) ve FUCOM-F (Pamućar ve Ecer, 2020) yöntemlerinde kullanılan modellerin geliştirilmiş bir formudur. ICWM modelinin çözümüyle, tam tutarlı sonuçlar elde edilebilmektedir.

**Örnek Problem 1:** Karşılaştırma yapabilmek için AHP örneğindeki veriler kullanılacaktır. Tablo 21'de, aslen AHP için hazırlanmış karar matrisinde, ICWM yönteminde kullanılacak veriler işaretlenmiştir.

Tablo 21: ICWM için matriste işaretlenmiş karar problemi verileri

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$
$K_1$	1	2	5	2	1/2	7	8
$K_2$	1/2	1	2	1/2	1/4	2	4
$K_3$	1/5	1/2	1	1/2	1/9	1	2
$K_4$	1/2	2	2	1	1/4	2	2
$K_5$	2	4	9	4	1	9	9
$K_6$	1/7	1/2	1	1/2	1/9	1	2
$K_7$	1/8	1/4	1/2	1/2	1/9	1/2	1

**Çözüm:** Karar probleminin ICWM ile çözümü aşağıda verilmiştir.

**Adım 1:** İkili karşılaştırma yapılan kriterlerin hangisi daha önemli ise işaretlenir ve önem derecesi ( $a_{j,j+1}$ ) belirtilir.

Tablo 22: ICWM ikili karşılaştırma tablosu ( $a_{j,j+1}$ ) (Örnek problem 1 çözümü)

$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$
$K_1$	$\overline{K_1}$ $K_2$	2
$K_2$	$\overline{K_2}$ $K_3$	2
$K_3$	$K_3$ $\overline{K_4}$	2
$K_4$	$K_4$ $\overline{K_5}$	4
$K_5$	$\overline{K_5}$ $K_6$	9
$K_6$	$\overline{K_6}$ $K_7$	2
$K_7$		

Adım 2:  $b_{j,j+1}$  değerleri, Eşitlik 27 ile belirlenir.

Tablo 23: ICWM ikili karşılaştırma tablosu ( $b_{j,j+1}$ ) (Örnek problem 1 çözümü)

$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$
$K_1$	$\overline{K_1}$ $K_2$	2	2
$K_2$	$\overline{K_2}$ $K_3$	2	2
$K_3$	$K_3$ $\overline{K_4}$	2	0,5
$K_4$	$K_4$ $\overline{K_5}$	4	0,25
$K_5$	$\overline{K_5}$ $K_6$	9	9
$K_6$	$\overline{K_6}$ $K_7$	2	2
$K_7$			

Adım 3: Bir karar verici olduğu varsayıldığı için  $B_{j,j+1} = b_{j,j+1}$  olur.

**Adım 4a:** Bu adımda, ağırlık vektörü Eşitlik 30 ve normalize ağırlıklar Eşitlik 31 ile bulunur.

**Tablo 24: ICWM ile ağırlıkların belirlenmesi (Örnek problem 1 çözümü)**

$K$	$K_j$ 'nin $K_{j+1}$ 'e göre önem derecesi ( $B_{j,j+1}$ )	Ağırlık vektörü ( $c_j$ )	Normalize ağırlıklar ( $w_j$ )
$K_1$		27	0,218
$K_2$	2	13,5	0,109
$K_3$	2	6,75	0,055
$K_4$	0,5	13,5	0,109
$K_5$	0,25	54	0,436
$K_6$	9	6	0,048
$K_7$	2	3	0,024
		$\Sigma$ 123,75	

Listenin en altındaki kriter olan  $K_7$  için rassal bir  $c_7$  değeri atanır. Bu rassal değer atanırken göz önünde bulundurulması gereken tek şart, 0'dan büyük olmasıdır. Bu problem için  $c_7 = 3$  olsun. Bu şart yerine geldiği durumda, hangi değer atanırsa atansın, bulunacak normalize kriter ağırlıkları değişmeyecektir. Bu değer ile başlayarak, ağırlık vektörü aşağıdan yukarıya doğru Eşitlik 30'daki gibi belirlenir.

$$c_6 = 2 \times 3 = 6 \quad c_5 = 9 \times 6 = 54 \quad c_4 = 0,25 \times 54 = 13,55$$

$$c_3 = 0,5 \times 13,5 = 6,75 \quad c_2 = 2 \times 6,75 = 13,5 \quad c_1 = 2 \times 13,5 = 27$$

Bulunan ağırlık vektörü, Eşitlik 31 ile normalize edilir.

$$w_1 = \frac{27}{123,75} = 0,218 \quad w_2 = \frac{13,5}{123,75} = 0,109 \quad w_3 = \frac{6,75}{123,75} = 0,055$$

$$w_4 = \frac{13,5}{123,75} = 0,109 \quad w_5 = \frac{54}{123,75} = 0,436 \quad w_6 = \frac{6}{123,75} = 0,048$$

$$w_7 = \frac{3}{123,75} = 0,024$$

**Adım 4b:** İkinci bir yol olarak normalize ağırlıklar, doğrusal programlama modeli kurularak Eşitlik 33 yardımı ile bulunur. Model, Microsoft © Excel © Microsoft 365'te çözülebilir.

**Tablo 25: ICWM'de doğrusal model modelle ağırlıkları belirleme (Örnek problem 1 çözümü)**

$K$	$K_j$ 'nin $K_{j+1}$ 'e göre önem derecesi ( $B_{j,j+1}$ )	Doğrusal programlama modeli	Normalize ağırlıklar ( $w_j$ )
$K_1$		$\min Z$	0,218
	2	$(w_1 - 2 \times w_2) \leq Z$	
$K_2$		$-(w_1 - 2 \times w_2) \leq Z$	0,109
	2	$(w_2 - 2 \times w_3) \leq Z$	
$K_3$		$-(w_2 - 2 \times w_3) \leq Z$	0,055
	0,5	$(w_3 - 0,5 \times w_4) \leq Z$	
$K_4$		$-(w_3 - 0,5 \times w_4) \leq Z$	0,109
	0,25	$(w_4 - 0,25 \times w_5) \leq Z$	
$K_5$		$-(w_4 - 0,25 \times w_5) \leq Z$	0,436
	9	$(w_5 - 9 \times w_6) \leq Z$	
$K_6$		$-(w_5 - 9 \times w_6) \leq Z$	0,048
	2	$(w_6 - 2 \times w_7) \leq Z$	
$K_7$		$-(w_6 - 2 \times w_7) \leq Z$	0,024
		$w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7 = 1$	<b>Z = 0,000</b>
		$w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7 \geq 0$	

$TTS(Z) = 0$  olduğundan, tam tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.

### 2.1.2. Karşılaştırma Analizi

Çok kriterli karar vermede yeni bir ağırlıklandırma yöntemi önerildiğinde, bu yöntemin güvenilirliğini ortaya koymak için daha önce güvenilir bulunan yöntemlerle karşılaştırılması gerekir. Böylece, elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkinin gözlemlenmesi sağlanır. Bu çalışmada ICWM'nin güvenilirliğini test etmek için, örnekler üzerinde ICWM ve diğer yöntemlerle kriter ağırlıkları bulunmuş, daha sonra bulunan sonuçlar arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla Spearman sıra farkları korelasyon katsayısı ve Pearson momentler çarpımı korelasyon katsayısı hesaplanmıştır.

Spearman sıra korelasyon katsayısı (Spearman, 1904, 1906), iki bağımsız değişken arasındaki korelasyon derecesini değerlendirmek için parametrik olmayan bir



tekniktir. Bu teknik, verilerin sıraları üzerinde çalıştığı için, aykırı değerlere daha az duyarlıdır. Dezavantajı, veriler sıralara dönüştürüldüğünde bilgi kaybı olması ve veriler normal dağılmışsa, Pearson korelasyon katsayısından daha az güçlü olmasıdır (Gauthier, 2001: 359). Myers ve Well, 2003 yılındaki bir çalışmasında, Spearman sıra korelasyon katsayısının, sıra numaraları arasında hiç bir beraberlik olmaması halinde kullanılabileceğini ifade etmektedir (Karabina ve Kılıç, 2016: 1802). Spearman (1906)'ın ise, çalışmasında verdiği bir örnekte, beraberlik halinde eşit değerdeki değişkenlerin alabileceği sıra numaralarının ortalamasını alarak bu korelasyon katsayısını kullandığı görülmektedir. Spearman sıra korelasyon katsayısının formülü Eşitlik 34'te gösterilmiştir. Spearman formülündeki  $d_j$ , değişkenlerin sıra farkını,  $n$  ise örneklem büyüklüğünü ifade etmektedir (Spearman, 1906: 98, 99).

$$Spearman(\rho) = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^n (d_j)^2}{n(n^2-1)} \quad (34)$$

Pearson momentler çarpımı korelasyon katsayısı ise, her iki değişkenin normal dağılım gösterdiği ve en az eşit aralık düzeyinde olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Bu tekniğin formülü, Tabachnick ve Fidell'in 2019'daki çalışmasından aktarımla, Eşitlik 35'teki gibi gösterilmektedir. Pearson formülündeki  $X$  ve  $Y$ , değişkenlerin aldıkları değerleri,  $n$  ise örneklem büyüklüğünü ifade etmektedir (Kılıç, 2022: 53).

$$Pearson(r) = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (35)$$

Bu çalışmada, Spearman sıra farkları korelasyon katsayısı ve Pearson momentler çarpımı korelasyon katsayısı, ICWM ve diğer yöntemlerle bulunan kriter ağırlıkları arasında nasıl bir ilişki olduğunu daha iyi anlamak ve elde edilecek verilerin ICWM'nin güvenilirliği hakkında fikir vermesi amacıyla kullanılmaktadır. Korelasyon katsayıları, Microsoft © Excel © Microsoft 365 yardımıyla hesaplanabilmektedir. Her iki yöntemde bulunan katsayılar,  $[+1, -1]$  aralığında değer alabilir.  $+1$ 'e yakın değerler, doğrusal olarak pozitif yönlü daha güçlü ilişkiyi ifade etmektedir.

**Örnek Problem 1:** Bu çalışmanın birinci bölümünde Örnek Problem 1, AHP, SWARA, BWM ve FUCOM ile çözülmüştü. Her bir yöntem açıklandıktan sonra, aynı karar matrisindeki verilerle kriter ağırlıkları bulunmuş, ardından bu karar problemi ikinci bölümde ICWM ile de çözülmüştür. Örnek Problem 1'e ait karar matrisi Tablo 26'da verilmiştir.

Tablo 26: Örnek problem 1 için karar matrisi

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$
$K_1$	1	2	5	2	1/2	7	8
$K_2$	1/2	1	2	1/2	1/4	2	4
$K_3$	1/5	1/2	1	1/2	1/9	1	2
$K_4$	1/2	2	2	1	1/4	2	2
$K_5$	2	4	9	4	1	9	9
$K_6$	1/7	1/2	1	1/2	1/9	1	2
$K_7$	1/8	1/4	1/2	1/2	1/9	1/2	1

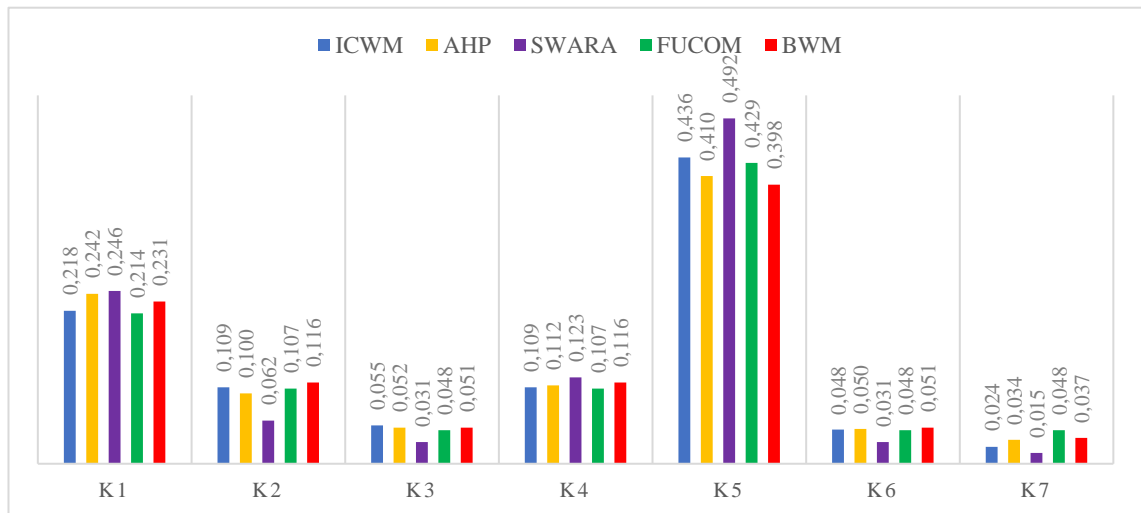
Beş yöntemle ayrı ayrı bulunan kriter ağırlıkları ve sıralamaları Tablo 27’de dir.

Tablo 27: Örnek problem 1 için kriter ağırlıkları ve sıralamaları

$K$	ICWM		AHP		SWARA		FUCOM		BWM	
	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra
$K_1$	0,218	2,0	0,242	2,0	0,246	2,0	0,214	2,0	0,231	2,0
$K_2$	0,109	3,5	0,100	4,0	0,062	4,0	0,107	3,5	0,116	3,5
$K_3$	0,055	5,0	0,052	5,0	0,031	5,5	0,048	6,0	0,051	5,0
$K_4$	0,109	3,5	0,112	3,0	0,123	3,0	0,107	3,5	0,116	3,5
$K_5$	0,436	1,0	0,410	1,0	0,492	1,0	0,429	1,0	0,398	1,0
$K_6$	0,048	6,0	0,050	6,0	0,031	5,5	0,048	6,0	0,051	6,0
$K_7$	0,024	7,0	0,034	7,0	0,015	7,0	0,048	6,0	0,037	7,0
$TTS$	$Z = 0,000$		$TO = 0,022$		$Y = 0,000$		$X = 0,000$		$\xi^L = 0,065$	

Kriter ağırlıkları, Şekil 2’de grafik olarak da gösterilmiştir.

Şekil 2: Örnek problem 1 için kriter ağırlıkları grafiği



Beş yöntemle ayrı ayrı bulunan kriter ağırlıkları arasında ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları Tablo 28’de verilmiştir. Bulunmuş olan +1’e yakın değerler, doğrusal olarak pozitif yönlü güçlü ilişkiyi ifade etmektedir.

**Tablo 28: Örnek problem 1 için yöntemler arası korelasyon katsayıları**

Korelasyon	ICWM-AHP	AHP-SWARA	SWARA-FUCOM	FUCOM-BWM	ICWM-SWARA	AHP-FUCOM	SWARA-BWM	ICWM-FUCOM	AHP-BWM	ICWM-BWM
<b>Spearman (<math>\rho</math>)</b>	<b>0,991</b>	0,991	0,964	0,964	<b>0,982</b>	0,955	0,982	<b>0,964</b>	0,991	<b>1,000</b>
<b>Pearson (<math>r</math>)</b>	<b>0,995</b>	0,995	0,993	0,995	<b>0,993</b>	0,994	0,992	<b>0,998</b>	0,999	<b>0,996</b>

**Örnek Problem 2:** Örnek Problem 2'ye ait karar matrisi, Pamučar vd. (2018) tarafından FUCOM'un tanıtıldığı çalışmada, AHP, BWM ve FUCOM ile elde edilen sonuçları karşılaştırmak için kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında, aynı matris verileri alınarak SWARA ve ICWM ile de sonuçlar bulunmuştur. Böylece beş yöntemin karşılaştırılması sağlanmıştır. Karar matrisi, Tablo 29'da verilmiştir.

**Tablo 29: Örnek problem 2 için karar matrisi**

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$
$K_1$	1	2	1/2	2	1/2	2	1/2	2
$K_2$	1/2	1	1/4	1	1/4	1	1/4	1
$K_3$	1	4	1	4	1	4	1	4
$K_4$	1/2	1	1/4	1	1/4	1	1/4	1
$K_5$	1	4	1	4	1	4	1	4
$K_6$	1/2	1	1/4	1	1/4	1	1/4	1
$K_7$	1	4	1	4	1	4	1	4
$K_8$	1/2	1	1/4	1	1/4	1	1/4	1

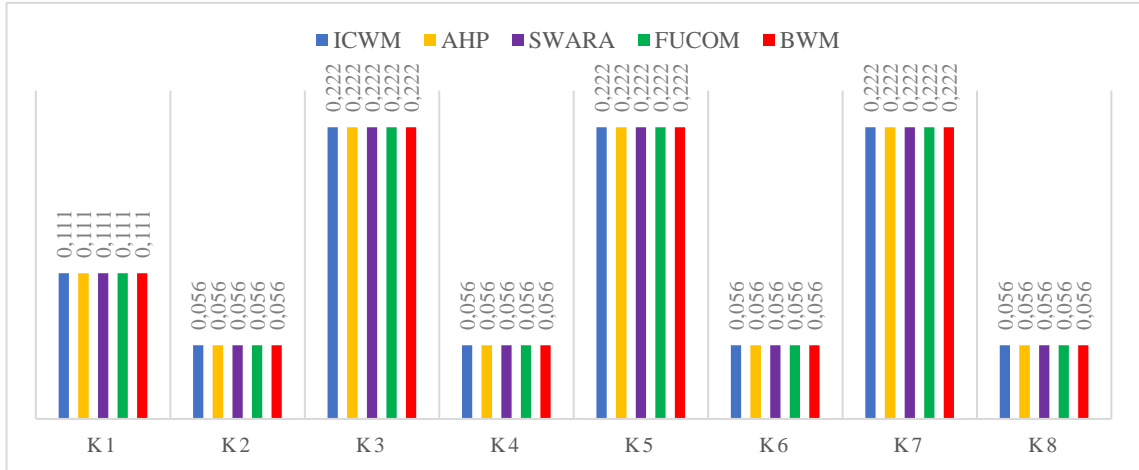
Beş yöntemle ayrı ayrı bulunan kriter ağırlıkları ve sıralamaları Tablo 30'dadır.

**Tablo 30: Örnek problem 2 için kriter ağırlıkları ve sıralamaları**

$K$	ICWM		AHP		SWARA		FUCOM		BWM	
	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra
$K_1$	0,111	4,0	0,111	4,0	0,111	4,0	0,111	4,0	0,111	4,0
$K_2$	0,056	6,5	0,056	6,5	0,056	6,5	0,056	6,5	0,056	6,5
$K_3$	0,222	2,0	0,222	2,0	0,222	2,0	0,222	2,0	0,222	2,0
$K_4$	0,056	6,5	0,056	6,5	0,056	6,5	0,056	6,5	0,056	6,5
$K_5$	0,222	2,0	0,222	2,0	0,222	2,0	0,222	2,0	0,222	2,0
$K_6$	0,056	6,5	0,056	6,5	0,056	6,5	0,056	6,5	0,056	6,5
$K_7$	0,222	2,0	0,222	2,0	0,222	2,0	0,222	2,0	0,222	2,0
$K_8$	0,056	6,5	0,056	6,5	0,056	6,5	0,056	6,5	0,056	6,5
<b>TTS</b>	<b>Z = 0,000</b>		<b>TO = 0,000</b>		<b>Y = 0,000</b>		<b>X = 0,000</b>		<b><math>\xi^L = 0,000</math></b>	

Kriter ağırlıkları, Şekil 3'te grafik olarak da gösterilmiştir.

Şekil 3: Örnek problem 2 için kriter ağırlıkları grafiği



Beş yöntemle ayrı ayrı bulunan kriter ağırlıkları arasında ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları Tablo 31’de verilmiştir.

Tablo 31: Örnek problem 2 için yöntemler arası korelasyon katsayıları

Korelasyon	ICWM-AHP	AHP-SWARA	SWARA-FUCOM	FUCOM-BWM	ICWM-SWARA	AHP-FUCOM	SWARA-BWM	ICWM-FUCOM	AHP-BWM	ICWM-BWM
Spearman ( $\rho$ )	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Pearson ( $r$ )	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Tam tutarlı bir AHP matrisindeki verilerle, beş yöntemle de elde edilen sonuçlar aynı çıkmaktadır. Bu nedenle yöntemler arası korelasyonların da +1 oldukları da görülmektedir.

**Örnek Problem 3:** Örnek Problem 3’e ait karar matrisi, Pamučar vd. (2018) tarafından FUCOM’un tanıtıldığı çalışmada, AHP, BWM ve FUCOM ile edilen sonuçları karşılaştırmak için kullanılmıştı. Bu tez çalışmasında, aynı matris verileri alınarak SWARA ve ICWM ile de sonuçlar bulunmuştur. Böylece beş yöntemin karşılaştırılması sağlanmıştır. Tablo 32’de verilmiştir.

Tablo 32: Örnek problem 3 için karar matrisi

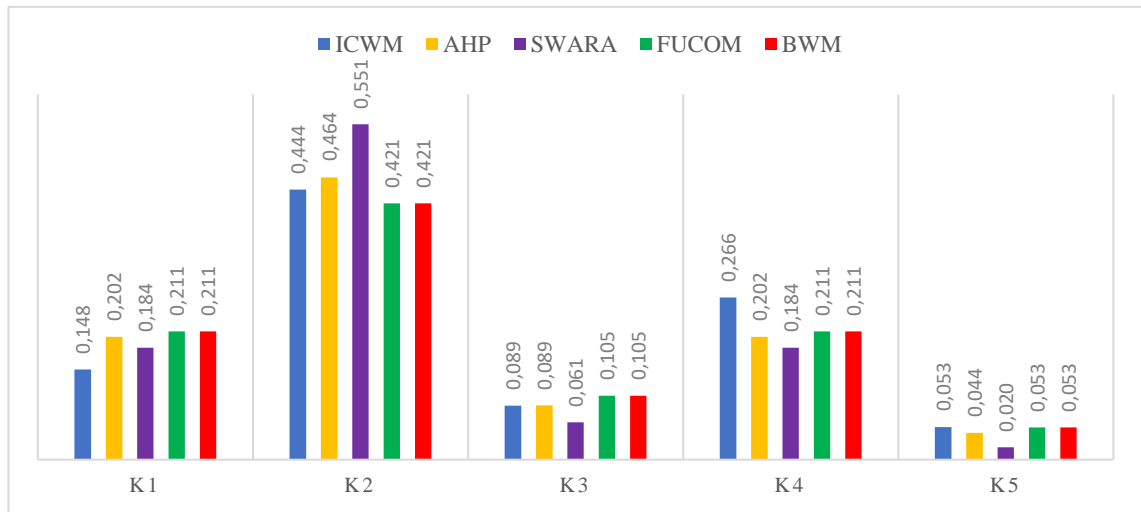
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$
$K_1$	1	1/3	3	1	5
$K_2$	3	1	5	3	7
$K_3$	1/3	1/5	1	1/3	3
$K_4$	1	1/3	3	1	5
$K_5$	1/5	1/7	1/3	1/5	1

Beş yöntemle ayrı ayrı bulunan kriter ağırlıkları ve sıralamaları Tablo 33'te verilmiştir. Kriter ağırlıkları, Şekil 4'te grafik olarak da gösterilmiştir.

**Tablo 33: Örnek problem 3 için kriter ağırlıkları ve sıralamaları**

K	ICWM		AHP		SWARA		FUCOM		BWM	
	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra
$K_1$	0,148	3,0	0,202	2,5	0,184	2,5	0,211	2,5	0,211	2,5
$K_2$	0,444	1,0	0,464	1,0	0,551	1,0	0,421	1,0	0,421	1,0
$K_3$	0,089	4,0	0,089	4,0	0,061	4,0	0,105	4,0	0,105	4,0
$K_4$	0,266	2,0	0,202	2,5	0,184	2,5	0,211	2,5	0,211	2,5
$K_5$	0,053	5,0	0,044	5,0	0,020	5,0	0,053	5,0	0,053	5,0
<b>TTS</b>	<b>Z = 0,000</b>		<b>TO = 0,029</b>		<b>Y = 0,000</b>		<b>X = 0,000</b>		<b><math>\xi^L = 0,000</math></b>	

**Şekil 4: Örnek problem 3 için kriter ağırlıkları grafiği**



Beş yöntemle ayrı ayrı bulunan kriter ağırlıkları arasında ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları Tablo 34'te verilmiştir.

**Tablo 34: Örnek problem 3 için yöntemler arası korelasyon katsayıları**

Korelasyon	ICWM-AHP	AHP-SWARA	SWARA-FUCOM	FUCOM-BWM	ICWM-SWARA	AHP-FUCOM	SWARA-BWM	ICWM-FUCOM	AHP-BWM	ICWM-BWM
<b>Spearman (<math>\rho</math>)</b>	<b>0,991</b>	1,000	1,000	1,000	<b>0,991</b>	1,000	1,000	<b>0,991</b>	1,000	<b>0,991</b>
<b>Pearson (<math>r</math>)</b>	<b>0,964</b>	0,996	0,988	1,000	<b>0,958</b>	0,998	0,988	<b>0,963</b>	0,998	<b>0,963</b>

Bulunmuş olan +1'e yakın değerler, doğrusal olarak pozitif yönlü güçlü ilişkiyi ifade etmektedir.

**Örnek Problem 4:** Örnek Problem 4'e ait karar matrisi, Saaty (1994) tarafından kullanılmıştır. Bu çalışmada, beş yöntem ile çözümler bulup karşılaştırma analizi yapmak için kullanılmaktadır. Karar matrisi, **Tablo 35** Tablo 35'te verilmiştir.

**Tablo 35: Örnek problem 4 için karar matrisi**

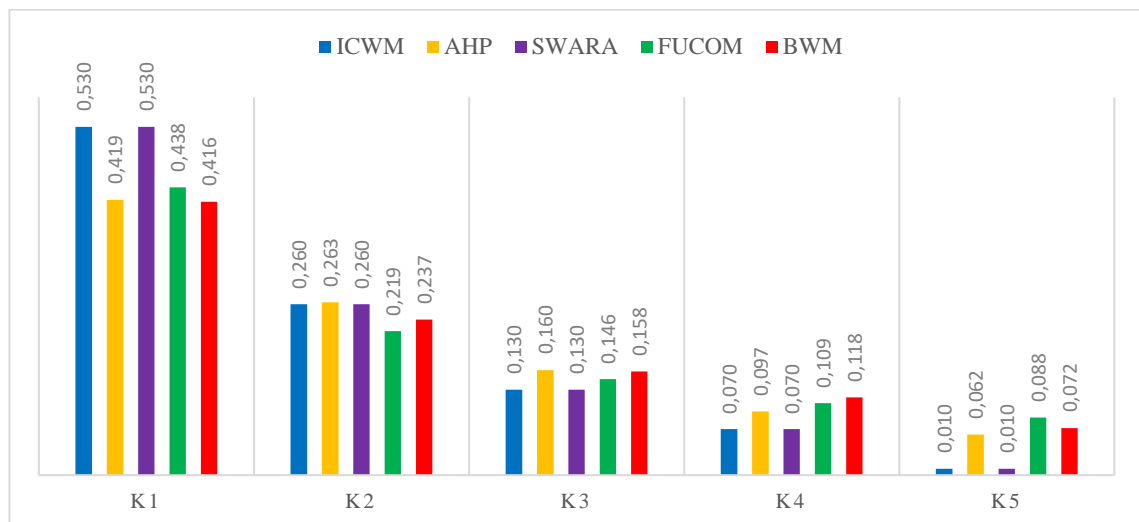
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$
$K_1$	1	2	3	4	5
$K_2$	1/2	1	2	3	4
$K_3$	1/3	1/2	1	2	3
$K_4$	1/4	1/3	1/2	1	2
$K_5$	1/5	1/4	1/3	1/2	1

Beş yöntemle ayrı ayrı bulunan kriter ağırlıkları ve sıralamaları Tablo 36'da verilmiştir. Kriter ağırlıkları, Şekil 5'te grafik olarak da gösterilmiştir.

**Tablo 36: Örnek problem 4 için kriter ağırlıkları ve sıralamaları**

$K$	ICWM		AHP		SWARA		FUCOM		BWM	
	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra
$K_1$	0,530	1,0	0,419	1,0	0,530	1,0	0,438	1,0	0,416	1,0
$K_2$	0,260	2,0	0,263	2,0	0,260	2,0	0,219	2,0	0,237	2,0
$K_3$	0,130	3,0	0,160	3,0	0,130	3,0	0,146	3,0	0,158	3,0
$K_4$	0,070	4,0	0,097	4,0	0,070	4,0	0,109	4,0	0,118	4,0
$K_5$	0,010	5,0	0,062	5,0	0,010	5,0	0,088	5,0	0,072	5,0
$TTS$	$Z = 0,000$		$TO = 0,015$		$Y = 0,000$		$X = 0,000$		$\xi^L = 0,057$	

**Şekil 5: Örnek problem 4 için kriter ağırlıkları grafiği**



Beş yöntemle ayrı ayrı bulunan kriter ağırlıkları arasında ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları Tablo 37'de verilmiştir. Bulunmuş olan +1'e yakın değerler, doğrusal olarak pozitif yönlü güçlü ilişkiyi ifade etmektedir.

**Tablo 37: Örnek problem 4 için yöntemler arası korelasyon katsayıları**

Korelasyon	ICWM-AHP	AHP-SWARA	SWARA-FUCOM	FUCOM-BWM	ICWM-SWARA	AHP-FUCOM	SWARA-BWM	ICWM-FUCOM	AHP-BWM	ICWM-BWM
<b>Spearman (<math>\rho</math>)</b>	<b>1,000</b>	1,000	1,000	1,000	<b>1,000</b>	1,000	1,000	<b>1,000</b>	1,000	<b>1,000</b>
<b>Pearson (<math>r</math>)</b>	<b>0,995</b>	0,995	0,994	0,993	<b>1,000</b>	0,980	1,000	<b>0,994</b>	0,994	<b>1,000</b>

**Örnek Problem 5:** Örnek Problem 5 için bu çalışma kapsamında karşılaştırma analizi için bir karar matrisi oluşturulmuştur. Karar matrisi, **Tablo 35**Tablo 38'de verilmiştir.

**Tablo 38: Örnek problem 5 için karar matrisi**

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$
$K_1$	1	2	1/2	1/2	1	3
$K_2$	1/2	1	1/4	1/4	1/2	3/2
$K_3$	2	4	1	1	2	6
$K_4$	2	4	1	1	2	6
$K_5$	1	2	1/2	1/2	1	3
$K_6$	1/3	2/3	1/6	1/6	1/3	1

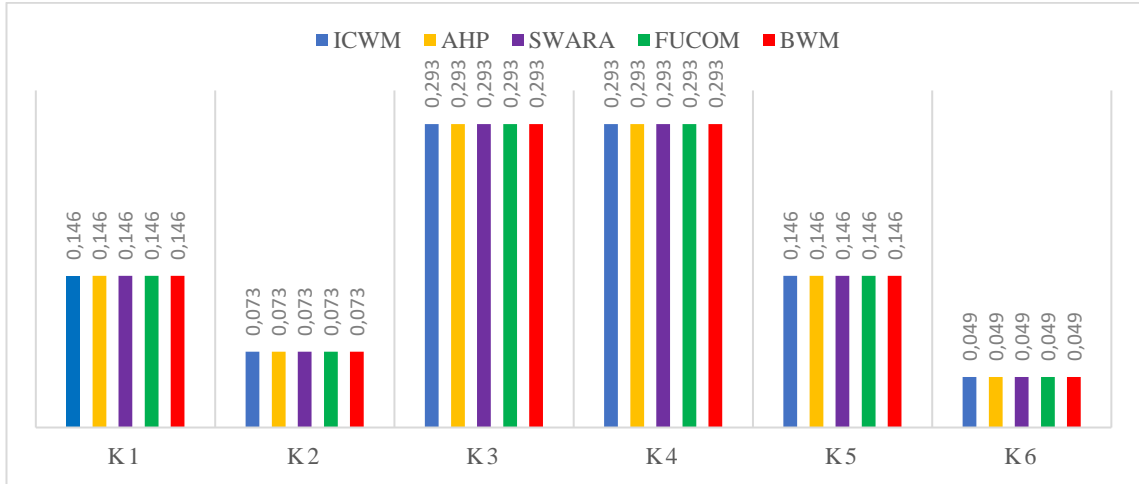
Beş yöntemle ayrı ayrı bulunan kriter ağırlıkları ve sıralamaları **Tablo 39**Tablo 27'da verilmiştir.

**Tablo 39: Örnek problem 5 için kriter ağırlıkları ve sıralamaları**

$K$	ICWM		AHP		SWARA		FUCOM		BWM	
	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra	$w_j$	Sıra
$K_1$	0,146	3,5	0,146	3,5	0,146	3,5	0,146	3,5	0,146	3,5
$K_2$	0,073	5,0	0,073	5,0	0,073	5,0	0,073	5,0	0,073	5,0
$K_3$	0,293	1,5	0,293	1,5	0,293	1,5	0,293	1,5	0,293	1,5
$K_4$	0,293	1,5	0,293	1,5	0,293	1,5	0,293	1,5	0,293	1,5
$K_5$	0,146	3,5	0,146	3,5	0,146	3,5	0,146	3,5	0,146	3,5
$K_6$	0,049	6,0	0,049	6,0	0,049	6,0	0,049	6,0	0,049	6,0
<b>TTS</b>	<b>Z = 0,000</b>		<b>TO = 0,000</b>		<b>Y = 0,000</b>		<b>X = 0,000</b>		<b><math>\xi^L = 0,000</math></b>	

Kriter ağırlıkları, Şekil 6'da grafik olarak da gösterilmiştir. Beş yöntemle ayrı ayrı bulunan kriter ağırlıkları arasında ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları **Tablo 40**'ta verilmiştir. Görüldüğü gibi, tam tutarlı bir AHP matrisindeki verilerle, beş yöntemle elde edilen sonuçlar aynı çıkmaktadır. Bu nedenle yöntemler arası korelasyonların da +1 oldukları da görülmektedir.

Şekil 6: Örnek problem 5 için kriter ağırlıkları grafiği



Tablo 40: Örnek problem 5 için yöntemler arası korelasyon katsayıları

Korelasyon	ICWM-AHP	AHP-SWARA	SWARA-FUCOM	FUCOM-BWM	ICWM-SWARA	AHP-FUCOM	SWARA-BWM	ICWM-FUCOM	AHP-BWM	ICWM-BWM
Spearman ( $\rho$ )	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Pearson ( $r$ )	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Çözülen problemlerin sonuçlarına bakıldığında, ICWM'un, literatürde güvenilir bulunan yöntemlerle yakın sonuçlar verdiği, bulunan ağırlıkların yöntemler arası korelasyonlarının çok güçlü olduğu görülmektedir.

ICWM, özellikleri bakımından da diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır.  $n$  adet kriterin olduğu bir problemde ICWM kullanıldığı takdirde, SWARA ve FUCOM'daki gibi  $n - 1$  adet karşılaştırma yeterli olmaktadır. Bunun yanında, AHP'de  $\frac{n \times (n-1)}{2}$ , BWM'ta  $2n - 3$  adet karşılaştırma yapılır. Bu durumu, sebepleri ve sonuçları açısından değerlendirmek gerekir. Çünkü, daha az sayıda ikili karşılaştırma, pratiklik ve kolaylık sağlasa da yöntemlerin farklı özellikleri nedeniyle her açıdan avantaj sağlamayabilir. Nitekim, AHP ve BWM'ta yapılan fazla sayıda ikili karşılaştırma, daha ayrıntılı bir değerlendirme prosedürü sağlayabilir. Bu nedenle, yöntemlerin kendi içerisinde pratiklik ve detaylı değerlendirme gibi farklı avantajlar içerdiği söylenebilir.

ICWM, FUCOM ve SWARA'daki gibi her zaman tam tutarlı sonuçlar edilmesini sağlayabilmektedir. Fazla sayıdaki kriterler tutarlılığı olumsuz etkilemez. Diğer yandan,



AHP ve BWM'ta tutarsız sonuçlar çıkabilir, ancak tutarsız olduğu tespit edilen değerlendirmelerin tekrar gözden geçirilmesi sağlanabilir. Ne var ki, fazla sayıdaki kriterler tutarsızlığı arttırabilmektedir.

ICWM'ta, karar vericilerden kriterleri önem sırasına göre sıralamasını veya en iyi ve en kötü kriterleri belirlemesini istemeye ihtiyaç yoktur. Bu açıdan ICWM; SWARA, FUCOM ve BWM'a göre avantajlıdır. Nitekim, her karar vericiden bu tür bir sıralama istenmesi, her karar verici için ayrı bir anket oluşturulmasına ve her biri için ayrı ağırlık hesaplaması yapıp sonuçların en son birleştirilmesini gerektirir. ICWM ve AHP'de ise, kriterler rastgele sıralanıp numaralandırılabilir ve her karar vericiye aynı anket formu uygulanabilir, hesaplama aşamasında ise her bir karar vericinin yargıları kolayca birleştirilip hesaplama tek seferde tamamlanabilir.

Bu karşılaştırma analizinde, PIPRECIA ile herhangi bir kıyaslama yapılmamasının sebebi, bu yöntemin, karar vericinin tutumlarını sağlamada stabil ve tutarlı sonuçlar vermemesidir. ICWM'un, literatürde güvenilir bulunan AHP, SWARA, FUCOM ve BWM ile özellikleri bakımından karşılaştırılması, Tablo 41'de özetlenmiştir.

**Tablo 41: ICWM ve diğer yöntemlerin özelliklerinin karşılaştırılması**

	ICWM	AHP	SWARA	FUCOM	BWM
<b>İkili karşılaştırma sayısı</b>	$n - 1$	$\frac{n \times (n - 1)}{2}$	$n - 1$	$n - 1$	$2n - 3$
<b>Sonuçlardaki tutarlılık</b>	Tam tutarlı	Tutarsızlık olabilir.	Tam tutarlı	Tam tutarlı	Tutarsızlık olabilir.
<b>Karar vericiden önem sırası istenmesi</b>	Gerekmez	Gerekmez	Azalan önem sırası istenir.	Azalan önem sırası istenir.	En iyi ve en kötü kriterleri belirler.

Sonuç olarak ICWM, benzer özellikler taşıdığı SWARA ve FUCOM'dan, karar vericiden önem sırası istenmemesi avantajıyla ayrılmaktadır. ICWM'u, AHP ve BWM ile karşılaştırdığımızda, pratiklik bakımından avantaj sağlasa da AHP ve BWM'un da daha detaylı bir değerlendirme avantajı sağladığı söylenebilir. Ancak, AHP ve BWM, tam tutarlı sonuçlar vermeyebilir, bu bağlamda belki değerlendirme tekrar gözden geçirilebilir ama kriter sayısı arttıkça tutarsızlık artabilir. Bunun yanında ICWM, her zaman tam tutarlı sonuçlar sağlar.

## 2.2. Bulanık Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi

Bu çalışma kapsamında önerilen ICWM'nin bulanık uzantısı olan ICWM-F, ICWM'un bulanık kümelerle sentezlenmesine dayanmaktadır. ICWM-F metodolojisi hazırlanırken, BWM-F (Guo ve Zhao, 2017) ile FUCOM-F (Pamucar ve Ecer, 2020) yöntemleri de göz önünde bulundurulmuştur. Bu bağlamda, öncelikle bulanık küme teorisi açıklanarak ICWM-F metodolojisi verilmekte, ardından örnek problem çözümü ve karşılaştırma analizi sunulmaktadır.

### 2.2.1. Bulanık Küme Teorisi

L.A. Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya atıldığı bilinen bulanık kümeler, üyelik için yeterli kriterlerin olmadığı, yetersiz tanımlanmış nesnelere kümesi olarak tanımlanmaktadır (Paksoy vd., 2013: 5). Zadeh'in klasik bulanık kümelerinden sonra, literatürde birçok bulanık küme uzantısı ortaya atılmıştır. Bunlar Tablo 42'de gösterilmektedir (Kabak ve Erdebili, 2021: 6).

**Tablo 42: Bulanık küme uzantıları**

Öneren Araştırmacı	Bulanık Küme Uzantısı
Zadeh, 1965	Klasik Bulanık Kümeler
Zadeh 1975	Tip-2 Bulanık Kümeler
Zadeh 1975, Sambuc 1975, Jahn 1975	Aralık Değerli Bulanık Kümeler
Atanassov, 1986	Sezgisel Bulanık Kümeler
Yager, 1986	Bulanık Çoklu Kümeler
Smarandache, 1998	Nötrosofik Kümeler
Garibaldi ve Ozen, 2007	Durağan Olmayan Bulanık Kümeler
Torra, 2010	Teraddütlü Bulanık Kümeler
Yager, 2013	Pisagor Bulanık Kümeler
Cuong 2014	Resimli Bulanık Kümeler
Yager, 2017	Q Seviyeli Orthopair Bulanık Kümeler
Kutlu Gundogdu ve Kahraman, 2019	Küresel Bulanık Kümeler
Senapati ve Yager, 2020	Fermatean Bulanık Kümeler

Karar verme süreçleri, yetersiz tanımlamalar ve belirsizliklerden etkilenebildiği için bulanık kümeler, bu belirsizliğin üstesinden gelmek için faydalanılabilecek önemli araçlardır. Bu çalışma kapsamında, literatürdeki bulanık küme uzantıları incelenmiş, kullanım açısından pratik olması nedeniyle klasik bulanık kümeler ve üçgen bulanık sayıların kullanımı tercih edilmiştir. Eşitlik 36-45 arasında, bulanık kümelerin bazı temel kavramları ve tanımları sunulmaktadır. Tanım 1 ve Tanım 2, Chen ve Hwang'ın 1992 yılındaki çalışmasında, Tanım 3 ise Ma vd. (2000)'nin çalışmasında gösterilmektedir (Keshavarz Ghorabae vd., 2018: 35, 36).

**Tanım 1:** Bulanık sayı  $\tilde{A}$ 'nin üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekildeyse,  $\tilde{A}$  bir üçgen bulanık sayıdır. Bu bulanık sayı,  $\tilde{A} = (a^l, a^m, a^u)$  şeklinde bir üçlü ile de tanımlanabilir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x - a^l)/(a^m - a^l), & a^l \leq x \leq a^m \\ (a^u - x)/(a^u - a^m), & a^m \leq x \leq a^u \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (36)$$

**Tanım 2:**  $\tilde{A} = (a^l, a^m, a^u)$  ve  $\tilde{B} = (b^l, b^m, b^u)$  'nin iki pozitif üçgen bulanık sayı olduğunu ( $a^l \geq 0$  ve  $b^l \geq 0$ ) ve  $k$ 'nin net bir sayı (crisp number) olduğunu varsayalım. Bu bulanık sayılarla yapılan aritmetik işlemler aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a^l + b^l, a^m + b^m, a^u + b^u) \quad (37)$$

$$\tilde{A} + k = (a^l + k, a^m + k, a^u + k) \quad (38)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a^l - b^u, a^m - b^m, a^u - b^l) \quad (39)$$

$$\tilde{A} - k = (a^l - k, a^m - k, a^u - k) \quad (40)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a^l \times b^l, a^m \times b^m, a^u \times b^u) \quad (41)$$

$$\tilde{A} \times k = \begin{cases} (a^l \times k, a^m \times k, a^u \times k), & k \geq 0 \text{ ise} \\ (a^u \times k, a^m \times k, a^l \times k), & k < 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (42)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a^l/b^u, a^m/b^m, a^u/b^l) \quad (43)$$

$$\tilde{A}/k = \begin{cases} (a^l/k, a^m/k, a^u/k), & k > 0 \text{ ise} \\ (a^u/k, a^m/k, a^l/k), & k < 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (44)$$

**Tanım 3:**  $2\sigma$  (bulanıklık değeri =  $\sigma$ ) temelli,  $a$ 'da ortalanmış simetrik üçgen bulanık sayı aşağıdaki şekilde tanımlanır (Ma vd., 2000: 351, 356; Keshavarz Ghorabae vd., 2018: 35, 36).

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x - a + \sigma)/\sigma, & a - \sigma \leq x \leq a \\ (a + \sigma - x)/\sigma, & a \leq x \leq a + \sigma \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (45)$$

### 2.2.2. Bulanık Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Metodolojisi

ICWM-F metodolojisi, dört adımdan oluşmaktadır. Hesaplama prosedürü şu şekildedir:

**Adım 1:**  $n$  adet ( $j = 1, \dots, n$ ) birbiriyle “ilişkisiz” değerlendirme kriteri ( $K_1, K_2, \dots, K_n$ ) olduğunu varsayalım. Kriterler, her bir karar vericiye ikili karşılaştırma yapması için aşağıdaki gibi sunulur. Karar vericilerin her biri, ikili karşılaştırma yaptıkları kriterlerin hangisinin daha önemli olduğunu,  $[K_j]$  veya  $[K_{j+1}]$  şeklinde işaretler. Eşit önemli ise, herhangi bir işaretleme yapmaz. Daha önemli olan kriterin diğer kritere göre bulanık önem derecesini ( $\tilde{a}_{j,j+1}$ ) belirlerken, Tablo 43’teki ICWM ikili karşılaştırma ölçeğinden faydalanır, önem derecesini ( $a_{j,j+1}$ ) bir bulanıklık değeri ( $\sigma_{j,j+1}$ ) ile birlikte belirtir. Eşitlik 46’nın yardımıyla Tablo 44 oluşturulur.

$$\tilde{a}_{j,j+1} = (a_{j,j+1} - \sigma_{j,j+1}), (a_{j,j+1}), (a_{j,j+1} + \sigma_{j,j+1}) \quad (46)$$

**Tablo 43: ICWM için ikili karşılaştırma ölçeği**

Önem Derecesi	Tanım ve Açıklama
1	Eşit önemli.
2	Eşit-orta arası önemli
3	Orta önemli.
4	Orta-güçlü arası önemli
5	Güçlü önemli.
6	Güçlü-çok güçlü arası önemli
7	Çok güçlü önemli.
8	Çok güçlü-son derece arası önemli
9	Son derece önemli.
<b>Ara değerler</b>	1-9 arası ondalık değerler
<b>Büyük değerler</b>	9’den büyük ölçü belirten değerler

**Adım 2:** Her  $K_j$  kriterinin,  $K_{j+1}$  kriterine göre bulanık önem derecesi ( $\tilde{b}_{j,j+1}$ ), Eşitlik 47 ile belirlenir ve Tablo 45 oluşturulur.

$$\tilde{b}_{j,j+1} = \begin{cases} \tilde{a}_{j,j+1}, & K_j, K_{j+1} \text{ 'den daha önemli ise,} \\ (1, 1, 1) \odot \tilde{a}_{j,j+1}, & K_{j+1}, K_j \text{ 'den daha önemli ise,} \\ (1, 1, 1), & K_j \text{ ve } K_{j+1} \text{ eşit önemli ise,} \end{cases} \quad (47)$$

Tablo 44: ICWM-F ikili karşılaştırma tablosu ( $\tilde{a}_{j,j+1}$ )

$K$	İkili karşılaştırma yapınız. Hangisi daha önemli? ( $\overline{K}$ )	Önem derecesi ( $a_{j,j+1}$ )	Bulanıklık değeri ( $\sigma_{j,j+1}$ )	Daha önemli olanın, bulanık önem derecesi ( $\tilde{a}_{j,j+1}$ )
$K_1$	$K_1 \quad K_2$	$a_{1,2}$	$\sigma_{1,2}$	$\tilde{a}_{1,2}$
$K_2$	$K_2 \quad K_3$	$a_{2,3}$	$\sigma_{2,3}$	$\tilde{a}_{2,3}$
$K_3$	.. ..	..	..	..
..	.. ..	..	..	..
$K_{n-1}$	$K_{n-1} \quad K_n$	$a_{n-1,n}$	$\sigma_{n-1,n}$	$\tilde{a}_{n-1,n}$
$K_n$				

Tablo 45: ICWM ikili karşılaştırma tablosu ( $\tilde{b}_{j,j+1}$ )

$K$	İkili karşılaştırma yapınız. Hangisi daha önemli? ( $\overline{K}$ )	Önem derecesi ( $a_{j,j+1}$ )	Bulanıklık değeri ( $\sigma_{j,j+1}$ )	Daha önemli olanın, bulanık önem derecesi ( $\tilde{a}_{j,j+1}$ )	$K_j$ 'nin $K_{j+1}$ 'e göre bulanık önem derecesi ( $\tilde{b}_{j,j+1}$ )
$K_1$	$K_1 \quad K_2$	$a_{1,2}$	$\sigma_{1,2}$	$\tilde{a}_{1,2}$	$\tilde{b}_{1,2}$
$K_2$	$K_2 \quad K_3$	$a_{2,3}$	$\sigma_{2,3}$	$\tilde{a}_{2,3}$	$\tilde{b}_{2,3}$
$K_3$	.. ..	..	..	..	..
..	.. ..	..	..	..	..
$K_{n-1}$	$K_{n-1} \quad K_n$	$a_{n-1,n}$	$\sigma_{n-1,n}$	$\tilde{a}_{n-1,n}$	$\tilde{b}_{n-1,n}$
$K_n$					

**Adım 3:** Karar sürecine katılan  $p$  adet ( $i = 1, \dots, p$ ) karar verici ( $KV_1, KV_2, \dots, KV_p$ ) olduğunu varsayalım. Eğer karar komitesi üyeleri, eşit ağırlıkta karar hakkına sahipse, değerlendirmeleri doğrultusunda bulunan  $\tilde{b}_{j,j+1}$  değerlerinin geometrik ortalaması ( $\tilde{B}_{j,j+1}$ ) Eşitlik 48 ile hesaplanır. Eğer karar vericiler, farklı ağırlıklarda ( $q_1, q_2, \dots, q_p$ ) karar hakkına sahipse; Eşitlik 49 ile ağırlıklı geometrik ortalama formülü kullanılır. Eğer sadece bir karar verici var ise,  $\tilde{B}_{j,j+1} = \tilde{b}_{j,j+1}$  olur.  $\tilde{B}_{j,j+1} = (B_{j,j+1}^l; B_{j,j+1}^m; B_{j,j+1}^u)$  olmak üzere Eşitlik 48 ve 49 aşağıdaki gibidir.

$$B_{j,j+1}^l = \sqrt[p]{\prod_{i=1}^p (b_{j,j+1}^l)_i} \quad B_{j,j+1}^m = \sqrt[p]{\prod_{i=1}^p (b_{j,j+1}^m)_i} \quad B_{j,j+1}^u = \sqrt[p]{\prod_{i=1}^p (b_{j,j+1}^u)_i} \quad (48)$$

$$B_{j,j+1}^l = \sqrt[p]{\prod_{i=1}^p (b_{j,j+1}^l)_i^{q_i}} \quad B_{j,j+1}^m = \sqrt[p]{\prod_{i=1}^p (b_{j,j+1}^m)_i^{q_i}} \quad B_{j,j+1}^u = \sqrt[p]{\prod_{i=1}^p (b_{j,j+1}^u)_i^{q_i}} \quad (49)$$

**Adım 4:** Kriterlerin bulanık ağırlıkları bulunurken, tam tutarlılığın sağlanması için TTS ( $Z$ : tam tutarlılıktan sapma)'nın minimum değeri alması gerekir. Bu durum,  $Z = 0$  olmasını gerektirir. Bu bağlamda,  $Z$ 'nin minimizasyonu için kriterlerin bulanık ağırlıklarının optimal değerleri hesaplanırken, öncelikle doğrusal olmayan model kurulur. Bu model,  $\tilde{w}_j \otimes \tilde{w}_{j+1}$  bulanık oranlarına ait " $l, m, u$ " değerlerinin,  $\tilde{B}_{j,j+1}$  bulanık önem derecelerinin " $l, m, u$ " değerleri arasındaki mutlak sapmaları ayrı ayrı bularak sonuca ulaşır.

$$\tilde{w}_j \otimes \tilde{w}_{j+1} = \left( \frac{w_j^l}{w_{j+1}^u}; \frac{w_j^m}{w_{j+1}^m}; \frac{w_j^u}{w_{j+1}^l} \right) \text{ ve } \tilde{B}_{j,j+1} = (B_{j,j+1}^l; B_{j,j+1}^m; B_{j,j+1}^u) \text{ olmak üzere,}$$

doğrusal olmayan model, Eşitlik 50'deki gibidir.

*min Z*

*öyle ki*

$$\left| \frac{w_j^l}{w_{j+1}^u} - B_{j,j+1}^l \right| \leq Z, \quad \left| \frac{w_j^m}{w_{j+1}^m} - B_{j,j+1}^m \right| \leq Z, \quad \left| \frac{w_j^u}{w_{j+1}^l} - B_{j,j+1}^u \right| \leq Z, \quad \forall j$$

$$\sum_{j=1}^n [(w_j^l + 4w_j^m + w_j^u) / 6] = 1 \quad (50)$$

$$w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u, \quad \forall j$$

$$w_j^l \geq 0, \quad \forall j$$

Tam tutarlılığı elde etmek için,  $Z = 0$  olması gerekir. ICWM yönteminde yapılan ikili karşılaştırmalar, birbiriyle çelişkili cevaplar vermeye imkân vermeyecek şekilde

tasarlandığından, ICWM-F’de de tam tutarlı sonuçlar alınması beklenir. Eşitlik 50’de verilen model, Eşitlik 51’deki gibi doğrusal modele dönüştürülebilir.

$\min Z$

öyle ki

$$|w_j^l - B_{j,j+1}^l w_{j+1}^u| \leq Z \quad |w_j^m - B_{j,j+1}^m w_{j+1}^m| \leq Z \quad |w_j^u - B_{j,j+1}^u w_{j+1}^l| \leq Z, \quad \forall j$$

$$\sum_{j=1}^n [(w_j^l + 4w_j^m + w_j^u) / 6] = 1 \quad (51)$$

$$w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u, \quad \forall j$$

$$w_j^l \geq 0, \quad \forall j$$

Model, Tablo 46’da daha açık bir şekilde gösterilmiştir. Kurulan doğrusal model çözümler ve kriterlerin bulanık ağırlıkları bulunur.

**Tablo 46: Doğrusal model kurularak bulanık ağırlıkların belirlenmesi**

$K$	$K_j$ 'nin $K_{j+1}$ 'e göre bulanık önem derecesi ( $\tilde{B}_{j,j+1}$ )	Doğrusal programlama modeli	Normalize bulanık ağırlıklar ( $\tilde{w}_j$ )
$K_1$	$\tilde{B}_{1,2}$	$\min Z$ $ w_1^l - B_{1,2}^l w_2^u  \leq Z \quad  w_1^m - B_{1,2}^m w_2^m  \leq Z \quad  w_1^u - B_{1,2}^u w_2^l  \leq Z$	$\tilde{w}_1$
$K_2$	$\tilde{B}_{2,3}$	$ w_2^l - B_{2,3}^l w_3^u  \leq Z \quad  w_2^m - B_{2,3}^m w_3^m  \leq Z \quad  w_2^u - B_{2,3}^u w_3^l  \leq Z$	$\tilde{w}_2$
$K_3$	..	..	$\tilde{w}_3$
..	..	..	..
$K_{n-1}$	$\tilde{B}_{n-1,n}$	$ w_{n-1}^l - B_{n-1,n}^l w_n^u  \leq Z \quad  w_{n-1}^m - B_{n-1,n}^m w_n^m  \leq Z \quad  w_{n-1}^u - B_{n-1,n}^u w_n^l  \leq Z$	$\tilde{w}_{n-1}$
$K_n$		$\sum_{j=1}^n [(w_j^l + 4w_j^m + w_j^u) / 6] = 1$ $w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u, \quad \forall j \quad w_j^l \geq 0, \quad \forall j$	$\tilde{w}_n$

### 2.2.3. Bulanık Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi ile Örnek Problem Çözümü

**Örnek Problem 6:** Bu problemde, Örnek Problem 1'in ICWM ile çözümünde kullanılan verilere birer bulanıklık değeri ( $\sigma$ ) eklenerek ICWM-F yöntemi ile çözümü gösterilmektedir.

**Çözüm: Adım 1:** İkili karşılaştırma yapılan kriterlerin hangisi daha önemli ise işaretlenir ve önem derecesi ( $a_{j,j+1}$ ) bir bulanıklık değeri ( $\sigma_{j,j+1}$ ) ile birlikte belirtilir. Eşitlik 46 yardımıyla, daha önemli olanın bulanık önem derecesi ( $\tilde{a}_{j,j+1}$ ) bulunur.

**Tablo 47: ICWM-F ikili karşılaştırma tablosu ( $\tilde{a}_{j,j+1}$ ) (Örnek problem 6 çözümü)**

$K$	İkili karşılaştırma yapınız. Hangisi daha önemli? ( $\boxed{K}$ )	Önem derecesi ( $a_{j,j+1}$ )	Bulanıklık değeri ( $\sigma_{j,j+1}$ )	Daha önemli olanın, bulanık önem derecesi ( $\tilde{a}_{j,j+1}$ )
$K_1$	$\boxed{K_1}$ $K_2$	2	0,500	(1,500; 2,000; 2,500)
$K_2$	$\boxed{K_2}$ $K_3$	2	0,200	(1,800; 2,000; 2,200)
$K_3$	$K_3$ $\boxed{K_4}$	2	0,350	(1,650; 2,000; 2,350)
$K_4$	$K_4$ $\boxed{K_5}$	4	0,500	(3,500; 4,000; 4,500)
$K_5$	$\boxed{K_5}$ $K_6$	9	1,000	(8,000; 9,000; 10,00)
$K_6$	$\boxed{K_6}$ $K_7$	2	0,300	(1,700; 2,000; 2,300)
$K_7$				

**Adım 2:** ( $\tilde{b}_{j,j+1}$ ) değerleri, Eşitlik 47 ile belirlenir. Tablo 48'de verilmiştir.

**Adım 3:** Bir karar verici olduğu varsayıldığı için  $\tilde{B}_{j,j+1} = \tilde{b}_{j,j+1}$  olur.

**Adım 4:** Normalize ağırlıklar, doğrusal programlama modeli kurularak Eşitlik 51 yardımı ile bulunur. İlgili model Tablo 49'da gösterilmektedir. Bu model, Microsoft © Excel © Microsoft 365'te çözülebilir. Bulunan normalize bulanık ağırlıklar ve durulaştırılmış halleri Tablo 50'de verilmiştir.



Tablo 48: ICWM-F ikili karşılaştırma tablosu ( $\tilde{b}_{j,j+1}$ ) (Örnek problem 6 çözümü)

$K$	İkili karşılaştırma Hangisi daha önemli? ( $\boxed{K}$ )	Önem derecesi ( $a_{j,j+1}$ )	Bulanıklık değeri ( $\sigma_{j,j+1}$ )	Daha önemli olanın, bulanık önem derecesi ( $\tilde{a}_{j,j+1}$ )	$K_j$ 'nin $K_{j+1}$ 'e göre bulanık önem derecesi ( $\tilde{b}_{j,j+1}$ )
$K_1$	$\boxed{K_1}$ $K_2$	2	0,500	(1,500; 2,000; 2,500)	(1,500; 2,000; 2,500)
$K_2$	$\boxed{K_2}$ $K_3$	2	0,200	(1,800; 2,000; 2,200)	(1,800; 2,000; 2,200)
$K_3$	$K_3$ $\boxed{K_4}$	2	0,350	(1,650; 2,000; 2,350)	(0,426; 0,500; 0,606)
$K_4$	$K_4$ $\boxed{K_5}$	4	0,500	(3,500; 4,000; 4,500)	(0,222; 0,250; 0,286)
$K_5$	$\boxed{K_5}$ $K_6$	9	1,000	(8,000; 9,000; 10,000)	(8,000; 9,000; 10,000)
$K_6$	$\boxed{K_6}$ $K_7$	2	0,300	(1,700; 2,000; 2,300)	(1,700; 2,000; 2,300)
$K_7$					

Tablo 49: Doğrusal model ile bulanık ağırlıkların belirlenmesi (Örnek problem 6 çözümü)

$K$	$K_j$ 'nin $K_{j+1}$ 'e göre bulanık önem derecesi ( $\tilde{B}_{j,j+1}$ )	Doğrusal programlama modeli	Normalize b. ağırlıklar ( $\tilde{w}_j$ )
$K_1$	(1,500; 2,000; 2,500)	$min Z$ $w_1^l - 1,500w_2^u \leq Z$ $w_1^m - 2,000w_2^m \leq Z$ $w_1^u - 2,500w_2^l \leq Z$	$(w_1^l, w_1^m, w_1^u)$
$K_2$	(1,800; 2,000; 2,200)	$-(w_1^l - 1,500w_2^u) \leq Z$ $-(w_1^m - 2,000w_2^m) \leq Z$ $-(w_1^u - 2,500w_2^l) \leq Z$ $w_2^l - 1,800w_3^u \leq Z$ $w_2^m - 2,000w_3^m \leq Z$ $w_2^u - 2,200w_3^l \leq Z$	$(w_2^l, w_2^m, w_2^u)$
$K_3$	(0,426; 0,500; 0,606)	$-(w_2^l - 1,800w_3^u) \leq Z$ $-(w_2^m - 2,000w_3^m) \leq Z$ $-(w_2^u - 2,200w_3^l) \leq Z$ $w_3^l - 0,426w_4^u \leq Z$ $w_3^m - 0,500w_4^m \leq Z$ $w_3^u - 0,606w_4^l \leq Z$	$(w_3^l, w_3^m, w_3^u)$
$K_4$	(0,222; 0,250; 0,286)	$-(w_3^l - 0,426w_4^u) \leq Z$ $-(w_3^m - 0,500w_4^m) \leq Z$ $-(w_3^u - 0,606w_4^l) \leq Z$ $w_4^l - 0,222w_5^u \leq Z$ $w_4^m - 0,250w_5^m \leq Z$ $w_4^u - 0,286w_5^l \leq Z$	$(w_4^l, w_4^m, w_4^u)$
$K_5$	(8,000; 9,000; 10,000)	$-(w_4^l - 0,222w_5^u) \leq Z$ $-(w_4^m - 0,250w_5^m) \leq Z$ $-(w_4^u - 0,286w_5^l) \leq Z$ $w_5^l - 8,000w_6^u \leq Z$ $w_5^m - 9,000w_6^m \leq Z$ $w_5^u - 10,000w_6^l \leq Z$	$(w_5^l, w_5^m, w_5^u)$
$K_6$	(1,700; 2,000; 2,300)	$-(w_5^l - 8,000w_6^u) \leq Z$ $-(w_5^m - 9,000w_6^m) \leq Z$ $-(w_5^u - 10,000w_6^l) \leq Z$ $w_6^l - 1,700w_7^u \leq Z$ $w_6^m - 2,000w_7^m \leq Z$ $w_6^u - 2,300w_7^l \leq Z$	$(w_6^l, w_6^m, w_6^u)$
$K_7$		$-(w_6^l - 1,700w_7^u) \leq Z$ $-(w_6^m - 2,000w_7^m) \leq Z$ $-(w_6^u - 2,300w_7^l) \leq Z$ $\sum_{j=1}^n [(w_j^l + 4w_j^m + w_j^u) / 6] = 1$ $w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u, \forall j$ $w_j^l \geq 0, \forall j$	$(w_7^l, w_7^m, w_7^u)$

**Tablo 50: Normalize bulanık ağırlıklar ve durulaştırılmış ağırlıklar**

$K$	Normalize bulanık ağırlıklar ( $\tilde{w}_j$ )		Durulaştırılmış ağırlıklar ( $w_j$ )
$K_1$	$(w_1^l, w_1^m, w_1^u)$	(0,165; 0,220; 0,267)	0,219
$K_2$	$(w_2^l, w_2^m, w_2^u)$	(0,107; 0,110; 0,110)	0,109
$K_3$	$(w_3^l, w_3^m, w_3^u)$	(0,050; 0,055; 0,059)	0,055
$K_4$	$(w_4^l, w_4^m, w_4^u)$	(0,098; 0,110; 0,117)	0,109
$K_5$	$(w_5^l, w_5^m, w_5^u)$	(0,411; 0,440; 0,440)	0,435
$K_6$	$(w_6^l, w_6^m, w_6^u)$	(0,044; 0,049; 0,051)	0,048
$K_7$	$(w_7^l, w_7^m, w_7^u)$	(0,022; 0,024; 0,026)	0,024
<b>Z = 0,000</b>			

#### 2.2.4. Karşılaştırma Analizi

Yöntemin güvenilirliğini göstermek amacıyla bir kriter ağırlıklandırma problemi, Bulanık ICWM ile birlikte Bulanık SWARA (Keshavarz Ghorabae vd., 2018), Bulanık BWM (Guo ve Zhao, 2017) ve Bulanık FUCOM (Pamucar ve Ecer, 2020) yöntemleri ile çözümlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bulanık AHP (Chang, 1996), çok farklı matematiksel hesaplamalar içermesi ve kullanılan ikili karşılaştırma ölçeğinin sonuçlara etki etmesiyle bu yöntemlerden ayrılmaktadır. Karşılaştırma analizinin, benzer yöntemlerle yapılması daha uygun olacağı için Bulanık AHP ile karşılaştırma yapılmasına gerek duyulmamıştır. Bulanık ICWM'nin, Bulanık SWARA, Bulanık BWM ve Bulanık FUCOM yöntemleri ile karşılaştırılması yeterli görülmüştür. Aşağıda, analizde kullanılacak örnek problem ve çözümleri verilmiştir.

**Örnek Problem 7:** Bu problemdeki bulanık karar matrisi, şu şekilde tasarlanmıştır. Öncelikle, tam tutarlı bir ikili karşılaştırma matrisi alınmış ve 1'den büyük önem derecelerinin her birine aynı bulanıklık değeri ( $\sigma_{j,j+1} = 0,5$ ) eklenmiştir. Daha sonra, oluşan bu bulanık önem derecelerinin tersleri de yazılarak Tablo 51'deki bulanık

karar matrisi oluşturulmuştur. Karşılaştırma analizinde sonuçların daha sağlıklı kıyaslanabilmesi için tam tutarlı bir matrisin bulanık hali tercih edilmiştir.

**Tablo 51: Karşılaştırma analizi için bulanık karar matrisi**

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$
$K_1$	(1,00; 1,00; 1,00)	(0,400; 0,500; 0,667)	(2,50; 3,00; 3,50)	(1,50; 2,00; 2,50)	(1,00; 1,00; 1,00)
$K_2$	(1,50; 2,00; 2,50)	(1,00; 1,00; 1,00)	(5,50; 6,00; 6,50)	(5,50; 6,00; 6,50)	(1,50; 2,00; 2,50)
$K_3$	(0,286; 0,333; 0,400)	(0,154; 0,167; 0,182)	(1,00; 1,00; 1,00)	(1,00; 1,00; 1,00)	(0,286; 0,333; 0,400)
$K_4$	(0,286; 0,333; 0,400)	(0,154; 0,167; 0,182)	(1,00; 1,00; 1,00)	(1,00; 1,00; 1,00)	(0,286; 0,333; 0,400)
$K_5$	(1,00; 1,00; 1,00)	(0,400; 0,500; 0,667)	(2,50; 3,00; 3,50)	(2,50; 3,0; 3,50)	(1,00; 1,00; 1,00)

Her bir yöntem ile bulunan bulanık kriter ağırlıkları Tablo 52’de verilmiştir.

**Tablo 52: Dört yöntemle bulunan bulanık kriter ağırlıkları**

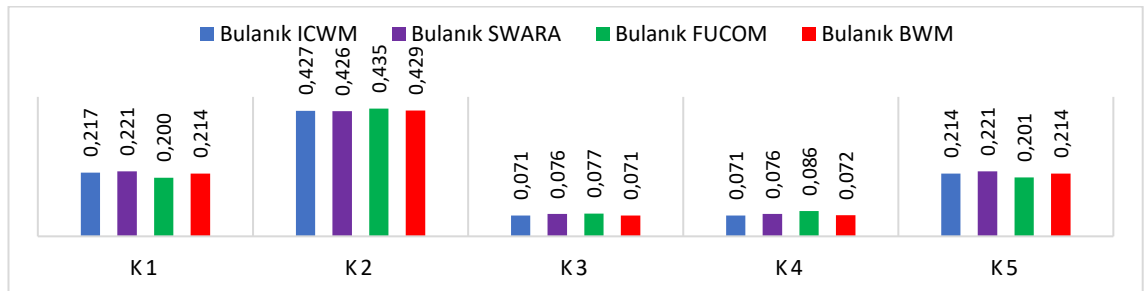
$K$	Bulanık ICWM	Bulanık SWARA	Bulanık BWM	Bulanık FUCOM
	$\tilde{w}_j$	$\tilde{w}_j$	$\tilde{w}_j$	$\tilde{w}_j$
$K_1$	(0,185; 0,214; 0,261)	(0,140; 0,214; 0,329)	(0,182; 0,212; 0,254)	(0,170; 0,206; 0,206)
$K_2$	(0,392; 0,427; 0,463)	(0,349; 0,429; 0,493)	(0,391; 0,430; 0,463)	(0,252; 0,470; 0,482)
$K_3$	(0,071; 0,071; 0,071)	(0,040; 0,071; 0,131)	(0,071; 0,071; 0,072)	(0,037; 0,085; 0,085)
$K_4$	(0,071; 0,071; 0,071)	(0,040; 0,071; 0,131)	(0,072; 0,072; 0,072)	(0,053; 0,091; 0,100)
$K_5$	(0,178; 0,214; 0,249)	(0,140; 0,214; 0,329)	(0,182; 0,212; 0,254)	(0,129; 0,216; 0,216)
$TTS$	<b><math>Z = 0,000</math></b>	–	<b><math>CR = 0,004</math></b>	<b><math>X = 0,058</math></b>

Her bir yöntem ile bulunan durulaştırılmış kriter ağırlıkları ve sıralamaları Tablo 53’te verilmiştir. Bu ağırlıklar, Şekil 7’deki grafikte de gösterilmiştir.

**Tablo 53: Dört yöntemle bulunan durulaştırılmış kriter ağırlıkları**

$K$	Bulanık ICWM		Bulanık SWARA		Bulanık BWM		Bulanık FUCOM	
	$w_j$	sıra	$w_j$	sıra	$w_j$	sıra	$w_j$	sıra
$K_1$	0,217	2	0,221	2,5	0,214	3	0,200	3
$K_2$	0,427	1	0,426	1	0,429	1	0,435	1
$K_3$	0,071	4	0,076	4,5	0,071	5	0,077	5
$K_4$	0,071	5	0,076	4,5	0,072	4	0,086	4
$K_5$	0,214	3	0,221	2,5	0,214	2	0,201	2

**Şekil 7: Dört yöntemle bulunan durulaştırılmış kriter ağırlıkları grafiği**



Dört yöntemle ayrı ayrı bulunan durulaştırılmış kriter ağırlıkları arasında ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları Tablo 54’te verilmiştir.

**Tablo 54: Örnek problem 7 için yöntemler arası korelasyon katsayıları**

Korelasyon	Bulanık ICWM-Bulanık SWARA	Bulanık ICWM-Bulanık BWM	Bulanık ICWM-Bulanık FUCOM	Bulanık SWARA-Bulanık BWM	Bulanık SWARA-Bulanık FUCOM	Bulanık FUCOM-Bulanık BWM
Spearman ( $\rho$ )	<b>0,982</b>	<b>0,929</b>	<b>0,929</b>	0,982	0,982	1,000
Pearson ( $r$ )	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>0,995</b>	1,000	0,994	0,996

Bulunmuş olan +1’e yakın değerler, doğrusal olarak pozitif yönlü güçlü ilişkiyi ifade etmektedir. Sonuçlara bakıldığında, ICWM-F’nin, literatürde güvenilir bulunan yöntemlerle yakın sonuçlar verdiği, bulunan durulaştırılmış ağırlıkların yöntemler arası korelasyonlarının çok güçlü olduğu görülmektedir.

ICWM-F, özellikleri bakımından da diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Bulanık SWARA’da, herhangi bir tutarlılık analizi bulunmamaktadır. Bulanık FUCOM’un, normal şartlarda tam tutarlılığa çok yakın olması beklenir. Ancak, kriter sayısı arttıkça, belirgin bir tutarsızlık oluşabilmektedir. Bunun yanında, karar vericinin en iyi olduğunu belirttiği kriter, diğer kriterlerden iki tanesinden de aynı derece bulanık öneme sahip olduğu durumlarda, bu diğer iki kriterin ağırlıklarının aynı olması beklenirken, Bulanık FUCOM’da bulanık sayılarda yapılan bölme işlemleri nedeniyle sonuç eşit ağırlıkta çıkmayabilmektedir. Bulanık ICWM ile, bu sorunlar önemli ölçüde çözülmüş görünmektedir. Bulanık BWM’da, karar vericinin kriterleri en iyi ve en kötü kritere göre değerlendirmesi tutarsız olabilse de tutarsız değerlendirmenin tekrar gözden geçirilmesi ile değerlendirme düzeltiler. Ayrıca, daha ayrıntılı bir değerlendirme prosedürünün varlığı avantaj sağlayabilir. Bulanık ICWM ise, daha pratik olma ve tutarlı sonuçlar verme avantajı sağlamaktadır.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### GELİŞTİRİLMİŞ KRİTER AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMİ ve BULANIK GELİŞTİRİLMİŞ KRİTER AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMİ ile UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Bu bölümde, ICWM ve ICWM-F yöntemlerinin gerçek hayattaki karar problemlerinde kriter ağırlıklandırma yöntemi olarak kullanılmasına birer örnek verilmiştir. Bu örneklerde, uygulama yapılan işletmelerin üretim alanındaki karar süreçlerine katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

#### **3.1. Bir Tekstil İşletmesinde Verimliliği Etkileyen Ergonomik Risk Faktörlerinin Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi ile Değerlendirilmesi**

Tüm üretim işletmelerinde olduğu gibi tekstil işletmelerinde de verimlilik önemli bir konudur. Verimliliği etkileyen birçok faktör olmakla birlikte ergonomik risk faktörlerinin de bu konuda önemli bir payı bulunmaktadır. Bu uygulamada, bir tekstil işletmesinde verimliliği etkileyen ergonomik risk faktörleri ICWM ile değerlendirilmiştir.

##### **3.1.1. Giriş**

Tekstil sektöründeki üretim süreçlerinde, insan gücüne bağımlılığın sürdüğü adımlar bulunmaktadır. Bunlardan biri, emek yoğun üretim işlemlerini içeren ve dikiş makinalarının kullanıldığı bölümlerde yapılan dikim faaliyetleridir. Bu alanlardaki ergonomik riskler, iş sağlığı ve güvenliğini sağlamada önem arz etmekle birlikte, üretimin verimliliğine de etki eden kritik faktörleri içermektedir. Bu uygulama örneği kapsamında, bir tekstil işletmesinde, dikiş makinası operatörlerinin maruz kalabildiği, üretim verimliliğini etkileyen ergonomik risk faktörlerinin ICWM ile değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

##### **3.1.2. Uygulama Alanı Literatürü**

Bu uygulama kapsamında, işletmedeki ergonomik risk faktörlerini belirlemek için, öncelikle literatürdeki bazı çalışmalar incelenmiştir. İncelenen çalışmalar şu şekildedir:

Vandyck ve Fianu (2012)'nin çalışmasında, giyim üreticilerinin katılımcı olduğu anket ile elde edilen bulgular, stres faktörlerinin; “gürültü, yetersiz havalandırma, uygun

olmayan koltuk yükseklikleri, genişlikleri ve derinlikleri ve uygunsuz duruşları” içerdiğini ortaya koydu.

Efe ve Efe (2015) çalışmalarında, kumaş üreten bir tekstil firmasının 2011-2014 yılları arasındaki iş kazası kayıtlarını ele almış ve ergonomik risk faktörlerinin, gerçekleşen kazaların %37’sini oluşturduğunu bulmuştur. Çalışmada ergonomik risk faktörleri, ergonomik temeline göre; “ağır kaldırma, tekrarlayan hareketler, uzanma, çekme, dönme vb., uzun süre çalışma ve yoğun odaklanma, çalışma süresince duruş/konum” olmak üzere sınıflandırılmıştır.

Park vd. (2017), Koreli erkek ve kadınlarda işle ilgili kas-iskelet sistemi bozuklukları (MSD'ler) açısından yüksek risk taşıyan iş sektörlerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Özellikle, istihdam sektörü, cinsiyet ve yaşa göre 5 ergonomik risk faktörüne (“ağrılı/yorucu duruşlar, ağır malzemeleri kaldırma/hareket ettirme, ayakta durma/yürüme, tekrarlayan el/kol hareketleri ve el/kol titreşimi”) maruz kalma ile ilgili verileri analiz etmişlerdir.

Charles vd. (2017) yaptıkları araştırmada, titreşime mesleki olarak maruz kalma ve uygunsuz duruşun, omuz ve boyun kas-iskelet sistemi bozuklukları ile ilişkili olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Sakthi Nagaraj vd. (2019), Sri Lanka tekstil endüstrisindeki ayakta dikiş makinesi operatörleri arasında kas iskelet bozuklukları prevalansını ve ilgili ergonomik risk faktörlerini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, regresyon modelleri; “yaş, vücut kitle indeksi, medeni durum, iş deneyimi, iş tatmini, iş stresi, biniş yerine/fabrikaya günlük yürüme mesafesi, iş rotasyonuna ilgi, dikiş makinesinin tasarımından memnuniyet” gibi çeşitli vücut bölümlerinde kas-iskelet semptomları ile ilişkili risk faktörlerini ortaya çıkardı.

Aksüt vd. (2020) yaptıkları literatür incelemesinde, çalışmaları ergonomik riskler ve sektörlere göre sınıflandırılmıştır. Ergonomik riskler; “fiziksel, bilişsel, örgütsel, çevresel, kişisel ve psikososyal” faktörler olmak üzere altı ana sınıf ve 55 alt sınıfa ayrılmıştır. Ayrıca çalışmada sektörlere göre karşılaşılan risk faktörleri belirlenmiştir.

Aksüt vd. (2021)’nin çalışmasında, tekstilde dikiş makinesi operatörü olarak çalışan kadınların ergonomik riskleri ile ilgili altı kriter ile 36 alt kriter belirlenmiş, analitik ağ süreci yöntemi kullanılarak uzman görüşleri doğrultusunda kriterlerin

ağırlıklandırılması yapılmıştır. Ağırlığı en yüksek olan kriter, fiziksel risk etmenlerinden, “uzun süre oturarak çalışma ve tekrarlı hareketler” olarak belirlenmiştir.

Arana vd. (2022) çalışmalarında, bir tekstil firmasının kesim alanındaki bir iş istasyonunda uygun ergonomik ve fiziki koşulların uygulanması yoluyla verimliliği artırmayı ve meslek hastalığı risklerini azaltmayı amaçlamıştır.

Chaiklieng (2023)’nin çalışmasında, tekstil işçileri arasında kas-iskelet bozukluklarının riskini azaltmak için bir kılavuz olarak kullanılacak ergonomi yönetimi önlemleri, sanayi çalışanlarının verimli çalışmasını sağlamak için kas-iskelet hastalıklarının izlenmesini önerir.

Das vd. (2023)’nin araştırmasının birincil amacı, kas-iskelet bozukluklarının prevalansını belirlemek ve risklerini azaltmaktır. Dikiş, paketleme, ütöleme sırasında meydana gelen bildirilen kas-iskelet sistemi semptomları (ağrı) incelenmiştir. “Garip duruş, rahatsız edici hareketler, uzun süreli ayakta durma” ve diğer faktörlerin, giysileri korurken işçi riskinin artmasına katkıda bulunması kritik öneme sahiptir.

Murugan vd. (2023) çalışmalarında, tekstil endüstrisindeki elle malzeme taşıma operasyonlarında yer alan “kaldırma, itme, çekme, tekrarlama, bükme, uygunsuz duruş, ısı stresi ve temas stresi” gibi süreçlerde, mevcut ve potansiyel tehlikeleri belirleyerek ergonomik bir değerlendirme yapmayı amaçlamaktadır.

### 3.1.3. Uygulama

Uygulamanın yapıldığı tekstil işletmesindeki karar vericiler ile literatürdeki çalışmalarda belirlenen faktörler gözden geçirilmiştir. Daha sonra, bu işletme özelinde verimliliği etkileyen ergonomik risk faktörlerinin tam listesi hazırlanmış, Tablo 55’te verilmiştir.

Belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması için ICWM yönteminin adımları aşağıda adımlar halinde uygulanmıştır.

**Adım 1-2:** İkili karşılaştırma yapılan kriterlerin hangisi daha önemli ise  $[K]$  şeklinde işaretlenir ve önem derecesi ( $a_{j,j+1}$ ) belirtilir.

Üç karar verici uygulamaya katılmaktadır, değerlendirmeleri Tablo 56-60 aralığındaki tablolarda verilmiştir.  $b_{j,j+1}$ ’ler, Eşitlik 27 ile belirlenir.

**Tablo 55: Verimliliği etkileyen ergonomik risk faktörleri**

$K_1$ : Fiziksel Faktörler	$K_{11}$ : Uygunsuz duruş $K_{12}$ : Tekrarlayan hareketler $K_{13}$ : Uzun oturma $K_{14}$ : Statik duruş $K_{15}$ : Uygun olmayan tezgâh düzeni $K_{16}$ : Fazla sayıda malzeme ve araç-gereç $K_{17}$ : Aşırı güç uygulama
$K_2$ : Çevresel Faktörler	$K_{21}$ : Gürültü $K_{22}$ : Uygun olmayan aydınlatma $K_{23}$ : Uygun olmayan sıcaklık $K_{24}$ : Titreşim $K_{25}$ : Toz
$K_3$ : Bireysel ve Sosyal Faktörler	$K_{31}$ : İş yükü $K_{32}$ : Stres $K_{33}$ : İş memnuniyetsizliği $K_{34}$ : Ücret memnuniyetsizliği $K_{35}$ : Sağlık sorunları $K_{36}$ : İleri yaş
$K_4$ : Örgütsel Faktörler	$K_{41}$ : Yönetimle iletişim sorunları $K_{42}$ : Uygun olmayan çalışma tasarımı $K_{43}$ : Fazla çalışma süreleri $K_{44}$ : Yetersiz mola süreleri $K_{45}$ : Monotonluk $K_{46}$ : İş rotasyonu

**Tablo 56: Ana kriterler ICWM uygulama çözümü – Adım 1-2**

$KV_1$				$KV_2$				$KV_3$						
$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$	$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$	$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$			
$K_1$	$\overline{K_1}$	$K_2$	6,5	6,5	$K_1$	$\overline{K_1}$	$K_2$	6	6	$K_1$	$\overline{K_1}$	$K_2$	6,5	6
$K_2$	$K_2$	$\overline{K_3}$	5	0,2	$K_2$	$K_2$	$\overline{K_3}$	4	0,25	$K_2$	$K_2$	$\overline{K_3}$	5	0,2
$K_3$	$\overline{K_3}$	$K_4$	5,5	5,5	$K_3$	$\overline{K_3}$	$K_4$	4	4	$K_3$	$\overline{K_3}$	$K_4$	5	5
$K_4$					$K_4$					$K_4$				



Tablo 57:  $K_1$ : Fiziksel faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 1-2

$KV_1$				$KV_2$				$KV_3$			
$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$	$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$	$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$
$K_{11}$	$\overline{K_{11}}$ $K_{12}$	8,5	8,5	$K_{11}$	$\overline{K_{11}}$ $K_{12}$	8	8	$K_{11}$	$\overline{K_{11}}$ $K_{12}$	9	9
$K_{12}$	$\overline{K_{12}}$ $K_{13}$	2,5	2,5	$K_{12}$	$\overline{K_{12}}$ $K_{13}$	2	2	$K_{12}$	$\overline{K_{12}}$ $K_{13}$	3	3
$K_{13}$	$K_{13}$ $K_{14}$	1	1	$K_{13}$	$K_{13}$ $K_{14}$	1	1	$K_{13}$	$K_{13}$ $K_{14}$	1	1
$K_{14}$	$K_{14}$ $\overline{K_{15}}$	3	0,333	$K_{14}$	$K_{14}$ $\overline{K_{15}}$	3	0,333	$K_{14}$	$K_{14}$ $\overline{K_{15}}$	3,5	0,286
$K_{15}$	$\overline{K_{15}}$ $K_{16}$	7,5	7,5	$K_{15}$	$\overline{K_{15}}$ $K_{16}$	7	7	$K_{15}$	$\overline{K_{15}}$ $K_{16}$	7,5	7,5
$K_{16}$	$K_{16}$ $\overline{K_{25}}$	9	0,111	$K_{16}$	$K_{16}$ $\overline{K_{25}}$	7	0,143	$K_{16}$	$K_{16}$ $\overline{K_{25}}$	8,5	0,118
$K_{17}$				$K_{17}$				$K_{17}$			

Tablo 58:  $K_2$ : Çevresel faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 1-2

$KV_1$				$KV_2$				$KV_3$			
$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$	$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$	$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$
$K_{21}$	$K_{21}$ $\overline{K_{22}}$	7	0,143	$K_{21}$	$K_{21}$ $\overline{K_{22}}$	6	0,167	$K_{21}$	$K_{21}$ $\overline{K_{22}}$	8	0,125
$K_{22}$	$\overline{K_{22}}$ $K_{23}$	3	3	$K_{22}$	$\overline{K_{22}}$ $K_{23}$	3,25	3,25	$K_{22}$	$\overline{K_{22}}$ $K_{23}$	3	3
$K_{23}$	$K_{23}$ $\overline{K_{24}}$	2,5	0,4	$K_{23}$	$K_{23}$ $\overline{K_{24}}$	3	0,333	$K_{23}$	$K_{23}$ $\overline{K_{24}}$	2,5	0,4
$K_{24}$	$K_{24}$ $\overline{K_{25}}$	5	0,2	$K_{24}$	$K_{24}$ $\overline{K_{25}}$	6	0,167	$K_{24}$	$\overline{K_{24}}$ $K_{25}$	1,1	1,1
$K_{25}$				$K_{25}$				$K_{25}$			

**Tablo 59:  $K_3$ : Bireysel ve sosyal faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 1-2**

$KV_1$				$KV_2$				$KV_3$			
$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$	$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$	$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$
$K_{31}$	$K_{31}$ $\overline{K_{32}}$	8	0,125	$K_{31}$	$K_{31}$ $\overline{K_{32}}$	7	0,143	$K_{31}$	$K_{31}$ $\overline{K_{32}}$	8	0,125
$K_{32}$	$K_{32}$ $\overline{K_{33}}$	4,5	0,222	$K_{32}$	$K_{32}$ $\overline{K_{33}}$	4	0,250	$K_{32}$	$K_{32}$ $\overline{K_{33}}$	5	0,200
$K_{33}$	$\overline{K_{33}}$ $K_{34}$	3	3	$K_{33}$	$\overline{K_{33}}$ $K_{34}$	4	4	$K_{33}$	$K_{33}$ $\overline{K_{34}}$	1,5	0,667
$K_{34}$	$K_{34}$ $\overline{K_{35}}$	9	0,111	$K_{34}$	$K_{34}$ $\overline{K_{35}}$	7	0,143	$K_{34}$	$K_{34}$ $\overline{K_{35}}$	7	0,143
$K_{35}$	$\overline{K_{35}}$ $K_{36}$	9	9	$K_{35}$	$\overline{K_{35}}$ $K_{36}$	7	7	$K_{35}$	$\overline{K_{35}}$ $K_{36}$	8	8
$K_{36}$				$K_{36}$				$K_{36}$			

**Tablo 60:  $K_4$ : Örgütsel faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 1-2**

$KV_1$				$KV_2$				$KV_3$			
$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$	$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$	$K$	$\overline{K}$	$a_{j,j+1}$	$b_{j,j+1}$
$K_{41}$	$K_{41}$ $\overline{K_{43}}$	8,5	0,118	$K_{41}$	$K_{41}$ $\overline{K_{43}}$	8	0,125	$K_{41}$	$K_{41}$ $\overline{K_{43}}$	7	0,143
$K_{42}$	$\overline{K_{42}}$ $K_{43}$	6	6	$K_{42}$	$\overline{K_{42}}$ $K_{43}$	6	6	$K_{42}$	$\overline{K_{42}}$ $K_{43}$	5	5
$K_{43}$	$\overline{K_{43}}$ $K_{44}$	4,5	4,5	$K_{43}$	$\overline{K_{43}}$ $K_{44}$	4	4	$K_{43}$	$\overline{K_{43}}$ $K_{44}$	5	5
$K_{44}$	$\overline{K_{44}}$ $K_{45}$	1,75	1,75	$K_{44}$	$\overline{K_{44}}$ $K_{45}$	1,5	1,5	$K_{44}$	$\overline{K_{44}}$ $K_{45}$	2	2
$K_{45}$	$\overline{K_{45}}$ $K_{46}$	4,5	4,5	$K_{45}$	$\overline{K_{45}}$ $K_{46}$	4,25	4,25	$K_{45}$	$\overline{K_{45}}$ $K_{46}$	3	3
$K_{46}$				$K_{46}$				$K_{46}$			

**Adım 3-4:** Karar komitesi tarafından, karar vericilerin ( $KV_1, KV_2, KV_3$ ) ağırlıkları ( $q_1, q_2, q_3$ ) sırasıyla (0,7; 0,2; 0,1) şeklinde belirlendiğinden, karar vericilerin değerlendirmelerini birleştirmek için Eşitlik 29'daki ağırlıklı geometrik ortalama formülü kullanılır. Böylece,  $B_{j,j+1}$  değerleri bulunur. Örneğin, Tablo 56'daki  $b_{j,j+1}$  değerleri aşağıdaki gibi birleştirilir ve  $B_{j,j+1}$  değerleri, Tablo 61'e yazılır.

$$B_{1,2} = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{(b_{1,2})_1^{0,7} \times (b_{1,2})_2^{0,2} \times (b_{1,2})_3^{0,1}} = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{6,5^{0,7} \times 6^{0,2} \times 6,5^{0,1}} = 6,397$$

$$B_{2,3} = {}^{0,7+0,2+0,1}\sqrt{(b_{2,3})_1^{0,7} \times (b_{2,3})_2^{0,2} \times (b_{2,3})_3^{0,1}} = {}^{0,7+0,2+0,1}\sqrt{0,2^{0,7} \times 0,25^{0,2} \times 0,2^{0,1}} = 0,209$$

$$B_{3,4} = {}^{0,7+0,2+0,1}\sqrt{(b_{3,4})_1^{0,7} \times (b_{3,4})_2^{0,2} \times (b_{3,4})_3^{0,1}} = {}^{0,7+0,2+0,1}\sqrt{5,5^{0,7} \times 4^{0,2} \times 5^{0,1}} = 5,112$$

Normalize kriter ağırlıkları, doğrusal programlama modeli kurularak Eşitlik 33 yardımı ile bulunur (Bkz. Tablo 61-65). Model, Microsoft © Excel © Microsoft 365'te çözülebilir. Ana kriter ağırlıkları ve alt kriter global ağırlıkları Tablo 66'da verilmiştir.

**Tablo 61: Ana kriterler ICWM uygulama çözümü – Adım 3-4**

$K$	$B_{j,j+1}$	<i>Doğrusal Model</i>	$w_j$
$K_1$		$\min Z$	0,488
	6,397	$(w_1 - 6,397 \times w_2) \leq Z$	
$K_2$		$-(w_1 - 6,397 \times w_2) \leq Z$	0,076
	0,209	$(w_2 - 0,209 \times w_3) \leq Z$	
$K_3$		$-(w_2 - 0,209 \times w_3) \leq Z$	0,365
	5,112	$(w_3 - 5,112 \times w_4) \leq Z$	
$K_4$		$-(w_3 - 5,112 \times w_4) \leq Z$	0,071
		$w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$	
		$w_1, w_2, w_3, w_4 \geq 0$	
			$Z = 0,000$

**Tablo 62:  $K_1$ : Fiziksel faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 3-4**

$K$	$B_{j,j+1}$	<i>Doğrusal Model</i>	$w_j$
$K_{11}$		$\min Z$	0,643
	8,446	$(w_{11} - 8,446 \times w_{12}) \leq Z$	
$K_{12}$		$-(w_{11} - 8,446 \times w_{12}) \leq Z$	0,076
	2,435	$(w_{12} - 2,435 \times w_{13}) \leq Z$	
$K_{13}$		$-(w_{12} - 2,435 \times w_{13}) \leq Z$	0,031
	1,000	$(w_{13} - 1,000 \times w_{14}) \leq Z$	
$K_{14}$		$-(w_{13} - 1,000 \times w_{14}) \leq Z$	0,031
	0,328	$(w_{14} - 0,328 \times w_{15}) \leq Z$	
$K_{15}$		$-(w_{14} - 0,328 \times w_{15}) \leq Z$	0,095
	7,397	$(w_{15} - 7,397 \times w_{16}) \leq Z$	
$K_{16}$		$-(w_{15} - 7,397 \times w_{16}) \leq Z$	0,013
	0,118	$(w_{16} - 0,118 \times w_{17}) \leq Z$	
$K_{17}$		$-(w_{16} - 0,118 \times w_{17}) \leq Z$	0,110
		$w_{11} + w_{12} + w_{13} + w_{14} + w_{15} + w_{16} + w_{17} = 1$	
		$w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{14}, w_{15}, w_{16}, w_{17} \geq 0$	
			$Z = 0,000$

**Tablo 63:  $K_2$ : Çevresel faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 3-4**

$K$	$B_{j,j+1}$	<i>Doğrusal Model</i>	$w_j$
$K_{21}$		$\min Z$	0,024
	0,145	$(w_{21} - 0,145 \times w_{22}) \leq Z$	
$K_{22}$		$-(w_{21} - 0,145 \times w_{22}) \leq Z$	0,165
	3,048	$(w_{22} - 3,048 \times w_{23}) \leq Z$	
$K_{23}$		$-(w_{22} - 3,048 \times w_{23}) \leq Z$	0,054
	0,386	$(w_{23} - 0,386 \times w_{24}) \leq Z$	
$K_{24}$		$-(w_{23} - 0,386 \times w_{24}) \leq Z$	0,141
	0,229	$(w_{24} - 0,229 \times w_{25}) \leq Z$	
$K_{25}$		$-(w_{24} - 0,229 \times w_{25}) \leq Z$	0,615
		$w_{21} + w_{22} + w_{23} + w_{24} + w_{25} = 1$	
		$w_{21}, w_{22}, w_{23}, w_{24}, w_{25} \geq 0$	$Z = 0,000$

**Tablo 64:  $K_3$ : Bireysel ve sosyal faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 3-4**

$K$	$B_{j,j+1}$	<i>Doğrusal Model</i>	$w_j$
$K_{31}$		$\min Z$	0,006
	0,128	$(w_{31} - 0,128 \times w_{32}) \leq Z$	
$K_{32}$		$-(w_{31} - 0,128 \times w_{32}) \leq Z$	0,045
	0,225	$(w_{32} - 0,225 \times w_{33}) \leq Z$	
$K_{33}$		$-(w_{32} - 0,225 \times w_{33}) \leq Z$	0,199
	2,734	$(w_{33} - 2,734 \times w_{34}) \leq Z$	
$K_{34}$		$-(w_{33} - 2,734 \times w_{34}) \leq Z$	0,073
	0,120	$(w_{34} - 0,120 \times w_{35}) \leq Z$	
$K_{35}$		$-(w_{34} - 0,120 \times w_{35}) \leq Z$	0,606
	8,459	$(w_{35} - 8,459 \times w_{36}) \leq Z$	
$K_{36}$		$-(w_{35} - 8,459 \times w_{36}) \leq Z$	0,072
		$w_{31} + w_{32} + w_{33} + w_{34} + w_{35} + w_{36} = 1$	
		$w_{31}, w_{32}, w_{33}, w_{34}, w_{35}, w_{36} \geq 0$	$Z = 0,000$

Tablo 65:  $K_4$ : Örgütsel faktörler ICWM uygulama çözümü – Adım 3-4

$K$	$B_{j,j+1}$	<i>Doğrusal Model</i>	$w_j$
$K_{41}$		$\min Z$	0,089
	0,121	$(w_{41} - 0,121 \times w_{42}) \leq Z$	
$K_{42}$		$-(w_{41} - 0,121 \times w_{42}) \leq Z$	0,737
	5,892	$(w_{42} - 5,892 \times w_{43}) \leq Z$	
$K_{43}$		$-(w_{42} - 5,892 \times w_{43}) \leq Z$	0,125
	4,442	$(w_{43} - 4,442 \times w_{44}) \leq Z$	
$K_{44}$		$-(w_{43} - 4,442 \times w_{44}) \leq Z$	0,028
	1,720	$(w_{44} - 1,720 \times w_{45}) \leq Z$	
$K_{45}$		$-(w_{44} - 1,720 \times w_{45}) \leq Z$	0,016
	4,272	$(w_{45} - 4,272 \times w_{46}) \leq Z$	
$K_{46}$		$-(w_{45} - 4,272 \times w_{46}) \leq Z$	0,004
		$w_{41} + w_{42} + w_{43} + w_{44} + w_{45} + w_{46} = 1$	
		$w_{41}, w_{42}, w_{43}, w_{44}, w_{45}, w_{46} \geq 0$	
			$Z = 0,000$

### 3.1.4. Sonuç

Bu uygulamada, bir tekstil işletmesinde dikiş makinası operatörlerinin maruz kalabildiği, üretim verimliliğini etkileyen ergonomik risk faktörleri, ICWM ile ağırlıklandırılmıştır. Uygulamada bulunan sonuçlar, sadece örnek uygulamanın yapıldığı işletmenin sadece o dönemki mevcut durumu yansıtmaktadır. Üretim verimliliğini etkileyen ergonomik risk faktörleri ve bu faktörlerin ağırlıkları, her işletme için farklılıklar gösterebilmektedir. Bir işletme içerisinde yapılan değerlendirmeler ve uygulanan karar süreçleri de mevcut duruma uygun olarak her defasında tekrar tasarlanmalıdır. Çünkü, her uygulama ve karar sürecinin kendine özgü özellikleri bulunmaktadır. Bu sebeple, araştırmacılar ve uygulayıcılar, her çalışma öncesinde, uygulanacak adımları tekrar gözden geçirmeli, belirlenen değerlendirme kriterlerinden kullanılan yöntem kadar her detayı en baştan ele almalı, karar sürecini o anki duruma uygun şekilde tasarlamalıdır. Gelecek çalışmalarda, daha fazla işletme, sektör ve karar verici ile uygulamalar yapılabilir.

**Tablo 66: ICWM uygulama çözümü – ana kriterler ve alt kriterler global ağırlıkları**

Ana Kriter Ağırlıkları		Alt Kriter Global Ağırlıkları	
K <sub>1</sub> : Fiziksel Faktörler	<b>0,488</b>	K <sub>11</sub> : Uygunsuz duruş	<b>0,314</b>
		K <sub>12</sub> : Tekrarlayan hareketler	<b>0,037</b>
		K <sub>13</sub> : Uzun oturma	<b>0,015</b>
		K <sub>14</sub> : Statik duruş	<b>0,015</b>
		K <sub>15</sub> : Uygun olmayan tezgâh düzeni	<b>0,046</b>
		K <sub>16</sub> : Fazla sayıda malzeme ve araç-gereç	<b>0,006</b>
		K <sub>17</sub> : Aşırı güç uygulama	<b>0,053</b>
K <sub>2</sub> : Çevresel Faktörler	<b>0,076</b>	K <sub>21</sub> : Gürültü	<b>0,002</b>
		K <sub>22</sub> : Uygun olmayan aydınlatma	<b>0,013</b>
		K <sub>23</sub> : Uygun olmayan sıcaklık	<b>0,004</b>
		K <sub>24</sub> : Titreşim	<b>0,011</b>
		K <sub>25</sub> : Toz	<b>0,047</b>
K <sub>3</sub> : Bireysel ve Sosyal Faktörler	<b>0,365</b>	K <sub>31</sub> : İş yükü	<b>0,002</b>
		K <sub>32</sub> : Stres	<b>0,016</b>
		K <sub>33</sub> : İş memnuniyetsizliği	<b>0,072</b>
		K <sub>34</sub> : Ücret memnuniyetsizliği	<b>0,026</b>
		K <sub>35</sub> : Sağlık sorunları	<b>0,221</b>
		K <sub>36</sub> : İleri yaş	<b>0,026</b>
K <sub>4</sub> : Örgütsel Faktörler	<b>0,071</b>	K <sub>41</sub> : Yönetimle iletişim sorunları	<b>0,006</b>
		K <sub>42</sub> : Uygun olmayan çalışma tasarımı	<b>0,053</b>
		K <sub>43</sub> : Fazla çalışma süreleri	<b>0,009</b>
		K <sub>44</sub> : Yetersiz mola süreleri	<b>0,002</b>
		K <sub>45</sub> : Monotonluk	<b>0,001</b>
		K <sub>46</sub> : İş rotasyonu	<b>0,0003</b>

### **3.2. Bir İşletmede SWOT Analiziyle Belirlenen Dış Kaynak Performansını Etkileyen Faktörlerin Bulanık Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi ile Değerlendirilmesi**

Bu uygulama örneği kapsamında, bir tekstil işletmesinde SWOT (Strengths (Güçlü Yanlar), Weaknesses (Zayıflıklar), Opportunities (Fırsatlar) ve Threats (Tehditler)) analiziyle belirlenen dış kaynak performansını etkileyen faktörlerin ağırlıklandırılması amaçlanmaktadır.

#### **3.2.1. Giriş**

Tedarik zinciri yönetimi stratejilerinden biri olan dış kaynak kullanımını benimseyen işletmeler, temel yeteneklerine odaklanarak kendi yaptıkları faaliyetler dışında kalan işleri dış tedarikçilere yaptırırlar. Tekstil üretimi yapan işletmeler, bu stratejiyi yaygın olarak kullanmaktadırlar. Bu strateji ile rekabet avantajı sağlamanın kilit noktalarından birisi, tercih edilen tedarikçilerin performanslarının takip edilmesidir. Böylece, performansı daha iyi tedarikçilerin daha çok tercih edilmesi ve performansı düşük tedarikçilerin geliştirilmesine yönelik kararlar alınabilir. Bunun için de öncelikle dış kaynak performansını etkileyen faktörler değerlendirilmelidir. Bu uygulama örneği kapsamında, bir tekstil işletmesinde SWOT analiziyle belirlenen dış kaynak performansını etkileyen faktörlerin ağırlıklandırılması amaçlanmaktadır. Bu uygulamada, işletmedeki karar vericilerin, tutumlarını kesin sayılarla ifade ederken kararsızlık yaşadıkları, kriterleri değerlendirirken bulanık sayıların kullanılmasını daha uygun gördükleri öğrenilmiştir. Nitekim, gerçek hayat problemlerinde değerlendirmelerin kesin sayılarla ifadesi her zaman mümkün olmayabilir. Bulanık küme teorisinin, karar verme süreçlerinde bu tür belirsizliklerin üstesinden gelmek için kullanılabilmesi nedeniyle, bu uygulamada kapsamında faktörlerin değerlendirilmesi için, ICWM'nin bulanık sayılarla kullanımına imkân sağlayan ICWM-F tercih edilmiştir.

#### **3.2.2. Uygulama Alanı Literatürü**

Bu uygulama kapsamında, işletmedeki dış kaynak performansını etkileyen faktörleri belirlemek için, öncelikle literatürdeki bazı çalışmalar incelenmiştir.

Cheng ve Huang (2012) yaptıkları uygulamada, inşaat yöneticileri için, evrimsel gauss süreci çıkarım modelini kullanarak alt yüklenici performans değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmada, "İnşaat tekniği, süre kontrol yetenekleri, iş birliği yapmak isteyen yöneticiler, malzeme israfı, işin tamamlanmasından sonra sağlanan hizmetler, diğer

taşeronlarla iş birliği, güvenli çalışma ortamı, kendine ait araçlar, temiz çalışma ortamı, etkili yönetim yetenekleri, yönetici kişiliği, ekonomik durum” kriterlerini kullanmıştır.

Hadipour vd. (2014) yaptıkları çalışmada, genel yüklenici kuruluşlarda alt yüklenici seçimi için “ilgili uygulama geçmişi, mevcut tesisler, teknik ekibin yeterliliği, finansal yetenek, şirketin eskiliği, önceki işveren memnuniyeti” kriterleri belirlemiştir.

Erer (2018) yaptığı çalışmada, işletmeleri dış kaynak kullanımına yönelten nedenleri, “maliyetleri azaltmak, temel yeteneklere odaklanmak, küçülme, esnekliği artırmak, riski azaltmak, maliyetleri önceden belirlemek, performans geliştirmek, verimlilik artışı sağlamak, kaliteyi arttırmak, teknolojik yenilikleri takip etmek, süreç yenilemek, kaynak dağılımını sağlamak” olarak, dış kaynak kullanımı sonucu ortaya çıkabilecek olası riskleri de “yanlış tedarikçi firma seçimi, esnekliğin kaybedilmesi, tedarikçi firmaya karşı bağımlılığın artması ve kontrolün kaybedilmesi, işletmelerin temel yeteneklerini kaybetmesi, gizli maliyetlerin ortaya çıkması, bilgi gizliliğinin sağlanmaması, çalışanlar üzerindeki olumsuz etkileri, kısa vadeli ekonomik amaçlara odaklanma” şeklinde belirlemiştir.

Aydın ve Kahraman (2019), e-ticaret faaliyeti yapan bir mobilya şirketinin alt yüklenicilerinin sipariş karşılama performans değerlendirmesi için kriterler belirlemiş, ardından alternatiflerin değerlendirmesi yapılmıştır. Bu kriterler, “sipariş oluşturun ve iletin, sipariş girin, siparişi işleyin, belgeleri yönetin, siparişi doldurun, siparişi teslim edin, teslimat sonrası etkinlikleri gerçekleştirin.” şeklindedir.

Çağlıyan ve Acar (2019) hazırladıkları çalışmada, sürdürülebilirlik çerçevesinde tedarik zinciri yönetimi ve dış kaynak kullanımına değinmiştir.

Ramadhani ve Handayati (2020), hazır giyim sektöründeki bir konfeksiyon için AHP ile alt yüklenici seçimi yapmış, “kalite, maliyet, teslimat, esneklik, güvenilirlik kriterleri bunların alt kriterleri”ni kullanmıştır. Bu araştırma, alt yüklenici seçiminde kullanılan kriter ve alt kriterlerin önem derecesini belirlemek, mevcut ve alternatif alt yüklenicilerin performanslarını değerlendirmek ve alt yüklenici seçimine göre işletmeye öneriler sunmak amacıyla yapılmıştır.

Çakır (2020), taşeron seçimi ile ilgili çalışmada, “üretim kabiliyeti, kalite kontrol sistemleri, teslimat, maliyeti, finansal güç, geçmiş performans” kriterlerini kullanmıştır.

Lahdhiri vd. (2021) tarafında yapılan çalışmada, konfeksiyon endüstrisinde, bulanık mantık ve AHP yöntemleri kullanılarak taşeron seçim modellerinin geliştirilmesi



amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle değerlendirme kriterleri belirlenmiş, alternatifler değerlendirilmiştir. Kriterler, “kalite, kapasite, teslim gecikmesi, fiyat”tır.

Keleş ve Demiral (2023), üçüncü parti lojistik tedarikçisi seçim kriterlerini belirlemek için bir çalışma yapmış, çalışmada sürdürülebilirlik temelinde belirlenen kriterler, “ekonomik, sosyal, çevresel” faktörler olarak üç ana kriter altında verilmiştir.

### 3.2.3. Uygulama

Uygulamanın yapıldığı tekstil işletmesindeki karar vericiler ile literatürdeki çalışmalarda belirlenen faktörler gözden geçirilmiştir. Daha sonra, bu işletme özelinde SWOT analizi ile belirlenen dış kaynak performansını etkileyen faktörlerin tam listesi hazırlanmıştır. SWOT ile belirlenen ana kriterlerle bunların alt kriterleri aşağıdadır. Belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması için ICWM-F yönteminin adımları uygulanmıştır.

**Tablo 67: SWOT analizi ile belirlenen dış kaynak performansını etkileyen faktörler**

<i>K</i> <sub>1</sub> : Güçlü Yanlar	<i>K</i> <sub>11</sub> : Maliyet azaltma <i>K</i> <sub>12</sub> : Maliyetleri önceden belirleme <i>K</i> <sub>13</sub> : Verim artışı <i>K</i> <sub>14</sub> : Kalite artışı <i>K</i> <sub>15</sub> : Esnekliğin artışı <i>K</i> <sub>16</sub> : Mevcut talebe hızlı cevap verme <i>K</i> <sub>17</sub> : Belirsiz koşullara yönelik riski azaltma
<i>K</i> <sub>2</sub> : Zayıflıklar	<i>K</i> <sub>21</sub> : Çalışanlar üzerinde olumsuz etki <i>K</i> <sub>22</sub> : Bilgi gizliliği ihlalleri <i>K</i> <sub>23</sub> : Gizli maliyetler
<i>K</i> <sub>3</sub> : Fırsatlar	<i>K</i> <sub>31</sub> : Temel yeteneklere odaklanma <i>K</i> <sub>32</sub> : Örgütsel küçülme ve yalın yönetim <i>K</i> <sub>33</sub> : Teknolojik yenilikleri takip etme <i>K</i> <sub>34</sub> : Yeni pazarlara girme <i>K</i> <sub>35</sub> : Uzun vadeli stratejiler geliştirme
<i>K</i> <sub>4</sub> : Tehditler	<i>K</i> <sub>41</sub> : Tedarikçiye bağımlılık ve esnekliği kaybetme <i>K</i> <sub>42</sub> : Temel yetenekleri kaybetme <i>K</i> <sub>43</sub> : Teslimatta gecikme <i>K</i> <sub>44</sub> : Kısa vadeli ekonomik amaçlara odaklanma





**Adım 3-4:** Karar komitesi tarafından, karar vericilerin  $(KV_1, KV_2, KV_3)$  ağırlıkları  $(q_1, q_2, q_3)$  sırasıyla  $(0,7; 0,2; 0,1)$  şeklinde belirlendiğinden, karar vericilerin değerlendirmelerini birleştirmek için Eşitlik 49'daki ağırlıklı geometrik ortalama formülü kullanılır. Böylece,  $\tilde{B}_{j,j+1}$  değerleri bulunur. Örneğin, Tablo 68'deki  $\tilde{b}_{j,j+1}$  değerleri aşağıdaki gibi birleştirilir ve  $\tilde{B}_{j,j+1}$  değerleri, Tablo 73'e yazılır.

$$B_{1,2}^l = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{(b_{1,2}^l)_1^{0,7} \times (b_{1,2}^l)_2^{0,2} \times (b_{1,2}^l)_3^{0,1}} = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{7,5^{0,7} \times 7^{0,2} \times 6^{0,1}} = 7,234$$

$$B_{1,2}^m = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{(b_{1,2}^m)_1^{0,7} \times (b_{1,2}^m)_2^{0,2} \times (b_{1,2}^m)_3^{0,1}} = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{8,5^{0,7} \times 8^{0,2} \times 7^{0,1}} = 8,236$$

$$B_{1,2}^u = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{(b_{1,2}^u)_1^{0,7} \times (b_{1,2}^u)_2^{0,2} \times (b_{1,2}^u)_3^{0,1}} = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{9,5^{0,7} \times 9^{0,2} \times 8^{0,1}} = 9,238$$

$$B_{2,3}^l = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{(b_{2,3}^l)_1^{0,7} \times (b_{2,3}^l)_2^{0,2} \times (b_{2,3}^l)_3^{0,1}} = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{4^{0,7} \times 5^{0,2} \times 4^{0,1}} = 4,183$$

$$B_{2,3}^m = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{(b_{2,3}^m)_1^{0,7} \times (b_{2,3}^m)_2^{0,2} \times (b_{2,3}^m)_3^{0,1}} = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{5,5^{0,7} \times 6^{0,2} \times 5^{0,1}} = 5,543$$

$$B_{2,3}^u = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{(b_{2,3}^u)_1^{0,7} \times (b_{2,3}^u)_2^{0,2} \times (b_{2,3}^u)_3^{0,1}} = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{7^{0,7} \times 7^{0,2} \times 6^{0,1}} = 6,893$$

$$B_{3,4}^l = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{(b_{3,4}^l)_1^{0,7} \times (b_{3,4}^l)_2^{0,2} \times (b_{3,4}^l)_3^{0,1}} = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{2^{0,7} \times 2^{0,2} \times 1,5^{0,1}} = 1,943$$

$$B_{3,4}^m = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{(b_{3,4}^m)_1^{0,7} \times (b_{3,4}^m)_2^{0,2} \times (b_{3,4}^m)_3^{0,1}} = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{2,5^{0,7} \times 3^{0,2} \times 2^{0,1}} = 2,536$$

$$B_{3,4}^u = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{(b_{3,4}^u)_1^{0,7} \times (b_{3,4}^u)_2^{0,2} \times (b_{3,4}^u)_3^{0,1}} = \sqrt[0,7+0,2+0,1]{3^{0,7} \times 4^{0,2} \times 2,5^{0,1}} = 3,120$$

Bulanık kriter ağırlıkları, doğrusal programlama modeli kurularak Eşitlik 51 yardımı ile bulunur ve daha sonra normalize edilir. Model, Microsoft © Excel © Microsoft 365'te çözülebilir.

**Tablo 73: Ana kriterler ICWM-F uygulama çözümü – Adım 3-4**

$K$	$\tilde{B}_{jj+1}$	$DP$ modeli	$\tilde{w}_j$	$w_j$
$K_1$	7,234 8,236 9,238	$min Z$ $w_1^l - 7,234w_2^u \leq Z$ $w_1^m - 8,236w_2^m \leq Z$ $w_1^u - 9,238w_2^l \leq Z$	0,778 0,885 0,885	0,867
$K_2$	4,183 5,543 6,893	$-(w_1^l - 7,234w_2^u) \leq Z$ $-(w_1^m - 8,236w_2^m) \leq Z$ $-(w_1^u - 9,238w_2^l) \leq Z$ $w_2^l - 4,183w_3^u \leq Z$ $w_2^m - 5,543w_3^m \leq Z$ $w_2^u - 6,893w_3^l \leq Z$	0,096 0,108 0,108	0,106
$K_3$	1,943 2,536 3,120	$-(w_2^l - 4,183w_3^u) \leq Z$ $-(w_2^m - 5,543w_3^m) \leq Z$ $-(w_2^u - 6,893w_3^l) \leq Z$ $w_3^l - 1,943w_4^u \leq Z$ $w_3^m - 2,536w_4^m \leq Z$ $w_3^u - 3,120w_4^l \leq Z$	0,016 0,019 0,023	0,019
$K_4$		$-(w_3^l - 1,943w_4^u) \leq Z$ $-(w_3^m - 2,536w_4^m) \leq Z$ $-(w_3^u - 3,120w_4^l) \leq Z$ $\sum_{j=1}^n [(w_j^l + 4w_j^m + w_j^u) / 6] = 1$ $w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u, \forall j$ $w_j^l \geq 0, \forall j$	Z = 0,000	
			$\Sigma$	0,896 1,020 1,024 1,000

**Tablo 74: “ $K_1$ : Güçlü yanlar” ICWM-F uygulama çözümü – Adım 3-4**

$K$	$\tilde{B}_{jj+1}$	$DP$ modeli	$\tilde{w}_j$	$w_j$
$K_{11}$	6,119 7,123 8,127	$min Z$ $w_{11}^l - 6,119w_{12}^u \leq Z$ $w_{11}^m - 7,123w_{12}^m \leq Z$ $w_{11}^u - 8,127w_{12}^l \leq Z$	0,079 0,090 0,092	0,088
$K_{12}$	0,164 0,184 0,209	$-(w_{11}^l - 6,119w_{12}^u) \leq Z$ $-(w_{11}^m - 7,123w_{12}^m) \leq Z$ $-(w_{11}^u - 8,127w_{12}^l) \leq Z$ $w_{12}^l - 0,164w_{13}^u \leq Z$ $w_{12}^m - 0,184w_{13}^m \leq Z$ $w_{12}^u - 0,209w_{13}^l \leq Z$	0,011 0,013 0,013	0,012
$K_{13}$	3,088 4,442 5,785	$-(w_{12}^l - 0,164w_{13}^u) \leq Z$ $-(w_{12}^m - 0,184w_{13}^m) \leq Z$ $-(w_{12}^u - 0,209w_{13}^l) \leq Z$ $w_{13}^l - 3,088w_{14}^u \leq Z$ $w_{13}^m - 4,442w_{14}^m \leq Z$ $w_{13}^u - 5,785w_{14}^l \leq Z$	0,062 0,069 0,069	0,068
$K_{14}$	0,172 0,223 0,320	$-(w_{13}^l - 3,088w_{14}^u) \leq Z$ $-(w_{13}^m - 4,442w_{14}^m) \leq Z$ $-(w_{13}^u - 5,785w_{14}^l) \leq Z$ $w_{14}^l - 0,172w_{15}^u \leq Z$ $w_{14}^m - 0,223w_{15}^m \leq Z$ $w_{14}^u - 0,320w_{15}^l \leq Z$	0,012 0,015 0,020	0,016
$K_{15}$	0,139 0,153 0,171	$-(w_{14}^l - 0,172w_{15}^u) \leq Z$ $-(w_{14}^m - 0,223w_{15}^m) \leq Z$ $-(w_{14}^u - 0,320w_{15}^l) \leq Z$ $w_{15}^l - 0,139w_{16}^u \leq Z$ $w_{15}^m - 0,153w_{16}^m \leq Z$ $w_{15}^u - 0,171w_{16}^l \leq Z$	0,063 0,069 0,069	0,068
$K_{16}$	1,139 1,498 1,826	$-(w_{15}^l - 0,139w_{16}^u) \leq Z$ $-(w_{15}^m - 0,153w_{16}^m) \leq Z$ $-(w_{15}^u - 0,171w_{16}^l) \leq Z$ $w_{16}^l - 1,139w_{17}^u \leq Z$ $w_{16}^m - 1,498w_{17}^m \leq Z$ $w_{16}^u - 1,826w_{17}^l \leq Z$	0,405 0,453 0,453	0,445
$K_{17}$		$-(w_{16}^l - 1,139w_{17}^u) \leq Z$ $-(w_{16}^m - 1,498w_{17}^m) \leq Z$ $-(w_{16}^u - 1,826w_{17}^l) \leq Z$ $\sum_{j=1}^n [(w_j^l + 4w_j^m + w_j^u) / 6] = 1$ $w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u, \forall j$ $w_j^l \geq 0, \forall j$	Z = 0,000	
			$\Sigma$	0,881 1,012 1,072 1,000

Tablo 75: “K<sub>2</sub>: Zayıflıklar” ICWM-F uygulama çözümü – Adım 3-4

<i>K</i>	$\tilde{B}_{j,j+1}$	<i>DP modeli</i>	$\tilde{w}_j$	<i>w<sub>j</sub></i>
<i>K</i> <sub>21</sub>	0,138 0,160 0,191 1,730 2,161 2,592	<i>min Z</i> $w_{21}^l - 0,138w_{22}^u \leq Z$ $w_{21}^m - 0,160w_{22}^m \leq Z$ $w_{21}^u - 0,191w_{22}^l \leq Z$	0,087 0,101 0,101	0,099
<i>K</i> <sub>22</sub>		$-(w_{21}^l - 0,138w_{22}^u) \leq Z$ $-(w_{21}^m - 0,160w_{22}^m) \leq Z$ $-(w_{21}^u - 0,191w_{22}^l) \leq Z$	0,530 0,631 0,631	0,615
<i>K</i> <sub>23</sub>		$w_{22}^l - 1,730w_{23}^u \leq Z$ $w_{22}^m - 2,161w_{23}^m \leq Z$ $w_{22}^u - 2,592w_{23}^l \leq Z$	0,244 0,292 0,306	0,286
$\sum_{j=1}^n [(w_j^l + 4w_j^m + w_j^u) / 6] = 1$ $w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u, \forall j$ $w_j^l \geq 0, \forall j$			Z = 0,000	
			Σ 0,861 1,025 1,039 1,000	

Tablo 76: “K<sub>3</sub>: Fırsatlar” ICWM-F uygulama çözümü – Adım 3-4

<i>K</i>	$\tilde{B}_{j,j+1}$	<i>DP modeli</i>	$\tilde{w}_j$	<i>w<sub>j</sub></i>
<i>K</i> <sub>31</sub>	0,145 0,170 0,205 5,555 6,888 8,219	<i>min Z</i> $w_{31}^l - 0,145w_{32}^u \leq Z$ $w_{31}^m - 0,170w_{32}^m \leq Z$ $w_{31}^u - 0,205w_{32}^l \leq Z$	0,053 0,062 0,062	0,061
<i>K</i> <sub>32</sub>		$-(w_{31}^l - 0,145w_{32}^u) \leq Z$ $-(w_{31}^m - 0,170w_{32}^m) \leq Z$ $-(w_{31}^u - 0,205w_{32}^l) \leq Z$	0,304 0,367 0,367	0,356
<i>K</i> <sub>33</sub>		$w_{32}^l - 5,555w_{33}^u \leq Z$ $w_{32}^m - 6,888w_{33}^m \leq Z$ $w_{32}^u - 8,219w_{33}^l \leq Z$	0,045 0,053 0,055	0,052
<i>K</i> <sub>34</sub>	0,184 0,225 0,291 0,560 0,754 1,097	$w_{33}^l - 0,184w_{34}^u \leq Z$ $w_{33}^m - 0,225w_{34}^m \leq Z$ $w_{33}^u - 0,291w_{34}^l \leq Z$	0,188 0,236 0,243	0,229
<i>K</i> <sub>35</sub>		$-(w_{33}^l - 0,184w_{34}^u) \leq Z$ $-(w_{33}^m - 0,225w_{34}^m) \leq Z$ $-(w_{33}^u - 0,291w_{34}^l) \leq Z$	0,221 0,313 0,336	0,302
$\sum_{j=1}^n [(w_j^l + 4w_j^m + w_j^u) / 6] = 1$ $w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u, \forall j$ $w_j^l \geq 0, \forall j$			Z = 0,000	
			Σ 0,811 1,032 1,062 1,000	

Tablo 77: “K<sub>4</sub>: Tehditler” ICWM-F uygulama çözümü – Adım 3-4

<i>K</i>	$\tilde{B}_{jj+1}$	<i>DP modeli</i>	$\tilde{w}_j$	<i>w<sub>j</sub></i>
<i>K</i> <sub>41</sub>	5,227 6,231 7,234	<i>min Z</i> $w_{41}^l - 5,227w_{42}^u \leq Z \quad w_{41}^m - 6,231 \leq Z \quad w_{41}^u - 7,234w_{42}^l \leq Z$	0,661 0,751 0,751	0,736
<i>K</i> <sub>42</sub>	1,943 3,281 4,614	$-(w_{41}^l - 5,227w_{42}^u) \leq Z \quad -(w_{41}^m - 6,231w_{42}^m) \leq Z \quad -(w_{41}^u - 7,234w_{42}^l) \leq Z$ $w_{42}^l - 1,943w_{43}^u \leq Z \quad w_{42}^m - 3,281w_{43}^m \leq Z \quad w_{42}^u - 4,614w_{43}^l \leq Z$	0,104 0,121 0,126	0,119
<i>K</i> <sub>43</sub>	0,253 0,339 0,515	$-(w_{42}^l - 1,943w_{43}^u) \leq Z \quad -(w_{42}^m - 3,281w_{43}^m) \leq Z \quad -(w_{42}^u - 4,614w_{43}^l) \leq Z$ $w_{43}^l - 0,253w_{44}^u \leq Z \quad w_{43}^m - 0,339w_{44}^m \leq Z \quad w_{43}^u - 0,515w_{44}^l \leq Z$	0,027 0,037 0,053	0,038
<i>K</i> <sub>44</sub>		$-(w_{43}^l - 0,253w_{44}^u) \leq Z \quad -(w_{43}^m - 0,339w_{44}^m) \leq Z \quad -(w_{43}^u - 0,515w_{44}^l) \leq Z$ $\sum_{j=1}^n [(w_j^l + 4w_j^m + w_j^u) / 6] = 1 \quad w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u, \forall j \quad w_j^l \geq 0, \forall j$	<i>Z</i> = 0,000	
			$\Sigma$ 0,896 1,016 1,039	1,000

### 3.2.4. Sonuç

Bu uygulamada, bir tekstil işletmesinde SWOT analizi ile belirlenen dış kaynak performansını etkileyen faktörler, ICWM-F ile ağırlıklandırılmıştır. Ana kriter ağırlıkları ve alt kriter global ağırlıkları aşağıda verilmiştir. Uygulamada bulunan sonuçlar, sadece örnek uygulamanın yapıldığı işletmenin sadece o dönemki mevcut durumu yansıtmaktadır. SWOT analizi ile belirlenen dış kaynak performansını etkileyen faktörler ve bu faktörlerin ağırlıkları, her işletme için farklılıklar gösterebilmektedir. Bir işletme içerisinde yapılan değerlendirmeler ve uygulanan karar süreçleri de mevcut duruma uygun olarak her defasında tekrar tasarlanmalıdır. Çünkü, her uygulama ve karar sürecinin kendine özgü özellikleri bulunmaktadır. Bu sebeple, araştırmacılar ve uygulayıcılar, her çalışma öncesinde, uygulanacak adımları tekrar gözden geçirmeli, belirlenen değerlendirme kriterlerinden kullanılan yöntem kadar her detayı en baştan ele almalı, karar sürecini o anki duruma uygun şekilde tasarlamalıdır. Gelecek çalışmalarda, daha fazla işletme, sektör ve karar verici ile uygulamalar yapılabilir.

Tablo 78: ICWM-F uygulama çözümü–ana kriterler ve alt kriterler global ağırlıkları

Ana Kriter Ağırlıkları			Alt Kriter Global Ağırlıkları		
Ana Kriter Kodu	$\tilde{w}$	$w$	Alt Kriter Kodu	$\tilde{w}$	$w$
<b>K<sub>1</sub></b>	(0,778; 0,885; 0,885)	<b>0,867</b>	<b>K<sub>11</sub></b>	(0,062; 0,079; 0,081)	<b>0,077</b>
			<b>K<sub>12</sub></b>	(0,009; 0,011; 0,011)	<b>0,011</b>
			<b>K<sub>13</sub></b>	(0,048; 0,061; 0,061)	<b>0,059</b>
			<b>K<sub>14</sub></b>	(0,009; 0,014; 0,018)	<b>0,014</b>
			<b>K<sub>15</sub></b>	(0,049; 0,061; 0,061)	<b>0,059</b>
			<b>K<sub>16</sub></b>	(0,315; 0,401; 0,401)	<b>0,387</b>
			<b>K<sub>17</sub></b>	(0,193; 0,268; 0,315)	<b>0,263</b>
<b>K<sub>2</sub></b>	(0,096; 0,108; 0,108)	<b>0,106</b>	<b>K<sub>21</sub></b>	(0,008; 0,011; 0,011)	<b>0,010</b>
			<b>K<sub>22</sub></b>	(0,051; 0,068; 0,068)	<b>0,065</b>
			<b>K<sub>23</sub></b>	(0,023; 0,031; 0,033)	<b>0,030</b>
<b>K<sub>3</sub></b>	(0,016; 0,019; 0,023)	<b>0,019</b>	<b>K<sub>31</sub></b>	(0,001; 0,001; 0,001)	<b>0,001</b>
			<b>K<sub>32</sub></b>	(0,005; 0,007; 0,008)	<b>0,007</b>
			<b>K<sub>33</sub></b>	(0,001; 0,001; 0,001)	<b>0,001</b>
			<b>K<sub>34</sub></b>	(0,003; 0,005; 0,006)	<b>0,004</b>
			<b>K<sub>35</sub></b>	(0,003; 0,006; 0,008)	<b>0,006</b>
<b>K<sub>4</sub></b>	(0,007; 0,008; 0,008)	<b>0,008</b>	<b>K<sub>41</sub></b>	(0,005; 0,006; 0,006)	<b>0,006</b>
			<b>K<sub>42</sub></b>	(0,001; 0,001; 0,001)	<b>0,001</b>
			<b>K<sub>43</sub></b>	(0,0002; 0,0003; 0,0004)	<b>0,0003</b>
			<b>K<sub>44</sub></b>	(0,001; 0,001; 0,001)	<b>0,001</b>



## SONUÇ

İşletmeler faaliyetlerini sürdürürken, karşılaştıkları problemlere çareler ve çözümler üretmeleri gerekir. Bu amaçla verdikleri kararlar doğrultusunda, yol haritalarını şekillendirirler. İşletmeler, başarılı olmak için öncelikle doğru kararlar vermeli, bu yönde faaliyetlerini sürdürmelidirler. Önceleri sadece sezgileri ve tecrübeleri doğrultusunda karar veren işletmeler, günümüzde karar süreçlerine, sistematik değerlendirme, analitik düşünme, bilimsel yöntem ve tekniklerden faydalanma gibi bileşenleri de dahil etmelidirler. Verilen doğru kararlar, artan rekabet ortamında işletmelerin stratejik hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olur. Literatürde karar verme türleri ile ilgili birçok sınıflandırma bulunmakta olup, bunlardan bir tanesi kriter sayısı bakımından yapılan sınıflandırmadır. Çok kriterli karar verme yöntemleri, kriterlerin ağırlıklarını ve bu ağırlıklar dikkate alınarak en uygun alternatifi tespit etmeyi sağlayan optimizasyon araçlarıdır ve işletmelerin rasyonel karar almada kullanabileceği tekniklerdir. Bu bağlamda, çok kriterli karar verme yöntemlerinin bir parçası olan ve faktörlerin önem derecesi hakkında bilgi sağlayan kriter ağırlıklarının tespit edilmesi, bu tekniklerin önemli bir parçasıdır. Bu çalışmada üzerinde durulan, kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi için kullanılan yöntemler, subjektif ve objektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri olarak ikiye ayrılmakta olup, subjektif yöntemler üzerinde yoğunlaşmıştır.

Çalışma kapsamında yeni bir subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemi olarak ICWM önerilmiştir. Bunun için öncelikle, AHP, SWARA, BWM, PIPRECIA, FUCOM subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri incelenmiştir. Çünkü, yeni önerilen ICWM, bu yöntemler gibi ikili karşılaştırma ve oran ölçeklendirmesine dayalı subjektif bir yöntemdir ve bu yöntemler gibi kriterler arası ilişkileri dikkate almamaktadır (kriterler arası ilişki olmadığını varsaymaktadır). Çalışmada ICWM ile birlikte, bu beş yöntemin metodolojik alt yapısına atıf yapan iyileştirilmiş bir prosedür sunmak, bu yeni yöntemin diğer subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemlerine göre avantajlarını ortaya koymak, ICWM ile bulanık küme teorisini bir arada kullanan ICWM-F metodolojisini oluşturmak ve ICWM ile ICWM-F'nin kullanıldığı uygulama örnekleri vermek hedeflenmiştir.

Yapılan karşılaştırma analizlerine bakıldığında, ICWM'nin, literatürde güvenilir bulunan yöntemlerle yakın sonuçlar verdiği, bulunan ağırlıkların yöntemler arası korelasyonlarının çok güçlü olduğu görülmektedir. ICWM, özellikleri bakımından da diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır.  $n$  adet kriterin olduğu bir problemde ICWM kullanıldığı takdirde, SWARA ve FUCOM'daki gibi  $n - 1$  adet karşılaştırma yeterli

olmaktadır. Bunun yanında, AHP’de  $\frac{n \times (n-1)}{2}$ , BWM’ta  $2n - 3$  adet karşılaştırma yapılır. Bu durumu, sebepleri ve sonuçları açısından değerlendirmek gerekir. Çünkü, daha az sayıda ikili karşılaştırma, pratiklik ve kolaylık sağlasa da yöntemlerin farklı özellikleri nedeniyle her açıdan avantaj sağlamayabilir. Nitekim, AHP ve BWM’ta yapılan fazla sayıda ikili karşılaştırma, daha ayrıntılı bir değerlendirme prosedürü sağlayabilir. Bu nedenle, yöntemlerin kendi içerisinde pratiklik ve detaylı değerlendirme gibi farklı avantajlar içerdiği söylenebilir. ICWM, FUCOM ve SWARA’daki gibi her zaman tam tutarlı sonuçlar edilmesini sağlayabilmektedir. Fazla sayıdaki kriterler tutarlılığı olumsuz etkilemez. Diğer yandan, AHP ve BWM’ta tutarsız sonuçlar çıkabilir, ancak tutarsız olduğu tespit edilen değerlendirmelerin tekrar gözden geçirilmesi sağlanabilir. Ne var ki, fazla sayıdaki kriterler tutarsızlığı arttırabilmektedir. ICWM’ta, karar vericilerden kriterleri önem sırasına göre sıralamasını veya en iyi ve en kötü kriterleri belirlemesini istemeye ihtiyaç yoktur. Bu açıdan ICWM; SWARA, FUCOM ve BWM’a göre avantajlıdır. Nitekim, her karar vericiden bu tür bir sıralama istenmesi, her karar verici için ayrı bir anket oluşturulmasına ve her biri için ayrı ağırlık hesaplaması yapıp sonuçların en son birleştirilmesini gerektirir. ICWM ve AHP’de ise, kriterler rastgele sıralanıp numaralandırılabilir ve her karar vericiye aynı anket formu uygulanabilir, hesaplama aşamasında ise her bir karar vericinin yargıları kolayca birleştirilip hesaplama tek seferde tamamlanabilir.

Bu karşılaştırma analizinde, PIPRECIA ile herhangi bir kıyaslama yapılmamasının sebebi, bu yöntemin, karar vericinin tutumlarını sağlamada stabil ve tutarlı sonuçlar vermemesidir. ICWM’un, literatürde güvenilir bulunan AHP, SWARA, FUCOM ve BWM ile özellikleri bakımından karşılaştırılması, aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. Sonuç olarak ICWM, benzer özellikler taşıdığı SWARA ve FUCOM’dan, karar vericiden önem sırası istenmemesi avantajıyla ayrılmaktadır. ICWM’u, AHP ve BWM ile karşılaştırdığımızda, pratiklik bakımından avantaj sağlasa da AHP ve BWM’un da daha detaylı bir değerlendirme avantajı sağladığı söylenebilir. Ancak, AHP ve BWM, tam tutarlı sonuçlar vermeyebilir, bu bağlamda belki değerlendirme tekrar gözden geçirilebilir ama kriter sayısı arttıkça tutarsızlık artabilir. Bunun yanında ICWM, her zaman tam tutarlı sonuçlar sağlar.

**Tablo 79: ICWM ve diğer yöntemlerin özelliklerinin karşılaştırılması**

	<b>ICWM</b>	<b>AHP</b>	<b>SWARA</b>	<b>FUCOM</b>	<b>BWM</b>
<b>İkili karşılaştırma sayısı</b>	$n - 1$	$\frac{n \times (n - 1)}{2}$	$n - 1$	$n - 1$	$2n - 3$
<b>Sonuçlardaki tutarlılık</b>	Tam tutarlı	Tutarsızlık olabilir.	Tam tutarlı	Tam tutarlı	Tutarsızlık olabilir.
<b>Karar vericiden önem sırası istenmesi</b>	Gerekmez	Gerekmez	Azalan önem sırası istenir.	Azalan önem sırası istenir.	En iyi ve en kötü kriterleri belirler.

ICWM-F için yapılan karşılaştırma analizlerinin sonuçlarına bakıldığında, yöntemin, literatürde güvenilir bulunan yöntemlerle yakın sonuçlar verdiği, bulunan durulaştırılmış ağırlıkların yöntemler arası korelasyonlarının çok güçlü olduğu görülmektedir. ICWM-F, özellikleri bakımından da diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Bulanık SWARA'da, herhangi bir tutarlılık analizi bulunmamaktadır. Bulanık FUCOM'un, normal şartlarda tam tutarlılığa çok yakın olması beklenir. Ancak, kriter sayısı arttıkça, belirgin bir tutarsızlık oluşabilmektedir. Bunun yanında, karar vericinin en iyi olduğunu belirttiği kriter, diğer kriterlerden iki tanesinden de aynı derece bulanık öneme sahip olduğu durumlarda, bu diğer iki kriterin ağırlıklarının aynı olması beklenirken, Bulanık FUCOM'da bulanık sayılarda yapılan bölme işlemleri nedeniyle sonuç eşit ağırlıkta çıkmayabilmektedir. Bulanık ICWM ile, bu sorunlar önemli ölçüde çözülmüş görünmektedir. Bulanık BWM'da, karar vericinin kriterleri en iyi ve en kötü kriterlere göre değerlendirmesi tutarsız olabilse de tutarsız değerlendirmenin tekrar gözden geçirilmesi ile değerlendirme düzeltilebilir. Ayrıca, daha ayrıntılı bir değerlendirme prosedürünün varlığı avantaj sağlayabilir. Bulanık ICWM ise, daha pratik olma ve tutarlı sonuçlar verme avantajı sağlamaktadır.

ICWM ve ICWM-F, pratiklik ve tutarlı sonuçlar verme avantajlarını kullanırken, detaylı bir ikili karşılaştırma prosedürü konusunda bazı yöntemlerden geride kalabilmektedir. ICWM ve ICWM-F geliştirilebilir, daha farklı çalışmaların alt yapısını oluşturabilir. Gelecek çalışmalarda, detaylı bir ikili karşılaştırmanın dezavantaj olup olmadığı, eğer dezavantaj ise, pratik ve tutarlı sonuçlar vermekle birlikte detaylı ikili karşılaştırmayı bir arada barındıran yöntemlerin geliştirilmesi üzerinde çalışılabilir.

Bunun dışında, ICWM ve ICWM-F'nin, kriterler arası ilişkileri de dikkate alan açılımları da geliştirilebilir. ICWM-F'de, kullanım açısından pratik olması nedeniyle klasik bulanık kümeler ve üçgen bulanık sayıların kullanımı tercih edilmiştir. Gelecek çalışmalarda bu yöntem, literatürdeki diğer bulanık küme uzantılarıyla genişletilebilir.

Çalışma kapsamında, ICWM ve ICWM-F'nin güvenilirlikleri ve avantajları açıklandıktan sonra, gerçek hayatta nasıl uygulanabileceğine yönelik uygulama örnekleri verilmiştir. Uygulamalarda bulunan sonuçlar, sadece örnek uygulamaların yapıldığı işletmenin sadece o dönemki mevcut durumu yansıtmaktadır. Belirlenen faktörler ve bu faktörlerin ağırlıkları, her işletme için farklılıklar gösterebilir. Bir işletme içerisinde yapılan değerlendirmeler ve uygulanan karar süreçleri de mevcut duruma uygun olarak her defasında tekrar tasarlanmalıdır. Çünkü, her uygulama ve karar sürecinin kendine özgü özellikleri bulunmaktadır. Bu sebeple, araştırmacılar ve uygulayıcılar, her çalışma öncesinde, uygulanacak adımları tekrar gözden geçirmeli, belirlenen değerlendirme kriterlerinden kullanılan yöntem kadar her detayı en baştan ele almalı, karar sürecini o anki duruma uygun şekilde tasarlamalıdır.

Araştırmacılar ve uygulamacılar, ICWM ve ICWM-F'yi kullanırken, çözümleri bulmak için Microsoft © Excel © Microsoft 365'ten faydalanabilir. Ek-1'de ICWM için hazırlanan bir çözücünün, tek karar verici olması halinde nasıl kullanılacağı anlatıldığı bir içerik verilmiştir. Ek-2'de ise bu çözücünün, birden fazla karar verici olması durumunda nasıl kullanılacağı anlatılmıştır. ICWM-F yöntemini kullanımı için herhangi bir örnek çözücü verilmemiştir. Çünkü, ICWM-F'nin bulanık sayılar nedeniyle daha detaylı bir metodolojisi vardır ve bu nedenle yöntemi kullanmak isteyen uygulayıcıların, kendilerine en uygun gelen şekilde çözücü dosyası oluşturabilecekleri düşünülmüştür. Gelecek çalışmalarda, ICWM ve ICWM-F çözümleri için başka bilgisayar programları önerilebilir veya yeni yazılımlar geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- Aksüt, G., Eren, T., & Tüfekçi, M. (2020). Ergonomik Risk Faktörlerinin Sınıflandırılması: Bir Literatür Taraması. *Ergonomi*, 3(3), 169–192. <https://doi.org/10.33439/ergonomi.773896>
- Aksüt, G., Eren, T., & Tüfekçi, M. (2021). Tekstil Sektör Çalışanlarının Maruz Kaldığı Ergonomik Risklerin Analitik Ağ Süreci ile Değerlendirilmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 13(1), 231–242.
- Arana, M. L., Guillen, A. V., & Flores, R. V. (2022). Redesign of a Workstation in The Cutting Area of a Company in the Textile Industry to Increase Productivity. *Proceedings of the 3rd South American International Industrial Engineering and Operations Management Conference (July 19-21)*, 1825–1837.
- Atan, M., & Yılmaz, E. (2020). Karar Verme ve Karar Teorisi. İçinde M. Atan & Ş. Altan (Ed.), *Örnek Uygulamalarla Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* (1. baskı, ss. 3–18). Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti.
- Ayçin, E. (2020). *Çok Kriterli Karar Verme: Bilgisayar Uygulamalı Çözümler* (2. basım). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Ayçin, E., & Aşan, H. (2021). İş Zekası Uygulamaları Seçimindeki Kriterlerin Önem Ağırlıklarının FUCOM Yöntemi ile Belirlenmesi. *KOCATEPEİİBFD*, 23(2), 195–208.
- Aydın, S., & Kahraman, C. (2019). Order Fulfillment Performance Evaluation in Supply Chain Management Under Intuitionistic Fuzzy Environment. *Proceedings of the 2019 Conference of the International Fuzzy Systems Association and the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT 2019)*, 1, 60–65. <https://doi.org/10.2991/eusflat-19.2019.9>
- Aytekin, A. (2022). *Çok Kriterli Karar Analizi* (1. baskı). Nobel Bilimsel Eserler.
- Bana E Costa, C. A., & Vansnick, J. C. (1994). MACBETH - An Interactive Path Towards the Construction of Cardinal Value Functions. *International Transactions in Operational Research*, 1(4), 489–500. [https://doi.org/10.1016/0969-6016\(94\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0969-6016(94)90010-8)
- Bardakçı, S. (2020a). SIMOS Yöntemi. İçinde H. Bircan (Ed.), *Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri* (1. basım, ss. 97–115). Nobel

Akademik Yayıncılık.

- Bardakçı, S. (2020b). SWARA Yöntemi. İçinde H. Bircan (Ed.), *Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri* (1. baskı, ss. 1–18). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Barron, F. H., & Barrett, B. E. (1996). Decision Quality Using Ranked Attribute Weights. *Management Science*, 42(11), 1515–1523.
- Çağlıyan, V., & Acar, Ö. E. (2019). *Sürdürülebilirlik Çerçevesinde Tedarik Zinciri Yönetimi ve Dış Kaynak Kullanımı* (1. baskı). Billur Yayınevi ve Basımevi.
- Çakır, S. (2020). Subcontractor Selection in a Textile Company Using an Integrated Fuzzy MCDM Based Approach. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, Prof.Dr.T.*, 1–18. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.513503>
- Can, M. (2018). Karar Teorisi. İçinde B. F. Yıldırım & E. Önder (Ed.), *Operasyonel, Yönetimsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* (3. baskı, ss. 1–2). Dora Basım-Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
- Chaiklieng, S. (2023). Effectiveness of Ergonomics Management on Risk Reduction of Work-Related Musculoskeletal Disorders Among Textile Export Industrial Workers. *Human Factors for Apparel and Textile Engineering*, 86, 29–38. <https://doi.org/10.54941/ahfe1003637>
- Chang, D.-Y. (1996). Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. *Eur. J. Oper. Res.*, 95(3), 649–655.
- Charles, L. E., Ma, C. C., Burchfiel, C. M., & Dong, R. G. (2017). Vibration and Ergonomic Exposures Associated With Musculoskeletal Disorders of the Shoulder and Neck. *Safety and Health at Work*. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2017.10.003>
- Cheng, M.-Y., & Huang, C.-C. (2012). Evaluating Subcontractor Performance Using Evolutionary Gaussian Process Inference Model. *Life Science Journal*, 9(2), 527–532.
- Çınar, Y. (2013). Kariyer Tercihi Probleminin Yapısal bir Modeli ve Riske Karşı Tutumlar: Olasılıklı DEMATEL Yöntemi Temelli Bütünleşik bir Yaklaşım. *Sosyoekonomi*, 19(19), 157–185.

- Das, S., Krishna Moorthy, M., & Shanmugaraja, K. (2023). Analysis of Musculoskeletal Disorder Risk in Cotton Garment Industry Workers. *Journal of Natural Fibers*, 20(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2162182>
- Demir, G. (2020). IDOCRIW Yöntemi. İçinde H. Bircan (Ed.), *Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri* (1. baskı, ss. 51–75). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Demir, G., & Bircan, H. (2020). Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinden BWM ve FUCOM Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Bir Uygulama. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(2), 170–185. <https://doi.org/10.37880/cumuiibf.616766>
- Demir, G., Özyalçın, A. T., & Bircan, H. (2021). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve ÇKKV Yazılımı ile Problem Çözümü* (1. baskı). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems: The CRITIC Method. *Computers and Operations Research*, 22(7), 763–770.
- Ecer, F. (2020). *Çok Kriterli Karar Verme Geçmişten Günümüze Kapsamlı Bir Yaklaşım* (1. baskı). Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş.
- Ecer, F. (2021a). FUCOM Sübjektif Ağırlıklandırma Yöntemi ile Rüzgâr Çiftliği Yer Seçimini Etkileyen Faktörlerin Analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 24–34. <https://doi.org/10.5505/pajes.2020.93271>
- Ecer, F. (2021b). Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimi: FUCOM Sübjektif Ağırlıklandırma Yöntemi Temelli MAIRCA Yaklaşımı. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 26–48.
- Edwards, W. (1977). How to Use Multiattribute Utility Measurement for Social Decisionmaking. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 7(5), 326–340.
- Edwards, W., & Barron, F. H. (1994). SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 60(3), 306–325.
- Efe, Ö. F., & Efe, B. (2015). Tekstil Sektöründe İş Kazalarının Oluşumuna Ait Ergonomik Risklerin Değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi*

*Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 623–629.

- Erer, B. (2018). İşletmelerde Dış Kaynak Kullanımının Nedenleri ve Riskleri. *Social Sciences Studies Journal*, 4(27), 6114–6124. <https://doi.org/10.26449/sss.1088>
- Figueira, J., & Roy, B. (2002). Determining the Weights of Criteria in the ELECTRE Type Mmethods with a Revised Simos' Procedure. *European Journal of Operational Research*, 139(2), 317–326.
- Gauthier, T. D. (2001). Detecting Trends Using Spearman's Rank Correlation Coefficient. *Environmental Forensics*, 2(4), 359–362. <https://doi.org/10.1006/enfo.2001.0061>
- Guo, S., & Zhao, H. (2017). Fuzzy Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method and Its Applications. *Knowledge-Based Systems*, 121, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.01.010>
- Hadipour, H., Azizmohammadi, R., Mahmoudabadi, A., & Khoshnoud, M. (2014). Application of ELECTRE Method for Sub-Contractor Selection using Interval-Valued Fuzzy Sets - Case Study. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 713–722.
- Haste, H. (2020). SMART, SMARTS ve SMARTER Yöntemleri. İçinde H. Bircan (Ed.), *Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri* (1. basım, ss. 159–171). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Heizer, J., & Render, B. (2017). *Üretim Yönetimi - Sürdürülebilirlik ve Tedarik Zinciri Yönetimi (11. Baskıdan Çeviri, Çeviri Editörü: Prof Dr. Umut Rifat TUZKAYA)*. Palme Yayıncılık.
- Jauković Jocić, K., Karabašević, D., & Jocić, G. (2020). The Use of the PIPRECIA Method for Assessing the Quality of E-Learning Materials. *Ekonomika*, 66(3), 37–45. <https://doi.org/10.5937/ekonomika2003037J>
- Kabak, M., & Erdebilli, B. (2021). Bulanık Mantık, Bulanık Kümeler ve Yeni Tip Bulanık Kümeler. İçinde P. D. M. Kabak & D. D. B. Erdebilli (Ed.), *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri - MS Excel® ve Software Çözümlü Uygulamalar* (1. basım, ss. 1–14). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Karabina, A., & Kılıç, E. (2016). An Automated Clustering Algorithm Based On Agglomerative Clustering. *2016 24th Signal Processing and Communication*



*Application Conference (SIU)*, 1801–1804.  
<https://doi.org/10.1109/SIU.2016.7496111>

- Kayahan Karakul, A., & Akpınar, H. (2022). COVID-19 Salgın Dönemi Şartlarında İşletmeler için AHP temelli TOPSIS Yöntemi ile Personel Seçimi. *Journal of Business, Innovation and Governance*, 5(1), 73–89.
- Keleş, S., & Demiral, Ö. (2023). Üçüncü Parti Lojistik Tedarikçisi Seçim Kriterlerinin Uzman Görüşlerine Göre Belirlenmesi. *Artuklu Kaime Uluslararası İktisadi ve İdari Araştırmalar Dergisi*, 6(1), 1–19.
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243–258. <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2021). Determination of Objective Weights Using a New Method Based on the Removal Effects of Criteria (MEREK). *Symmetry*, 13(4), 1–20. <https://doi.org/10.3390/sym13040525>
- Keshavarz Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., & Antucheviciene, J. (2018). A New Hybrid Fuzzy MCDM Approach for Evaluation of Construction Equipment with Sustainability Considerations. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 18(1), 32–49. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2017.04.011>
- Keskin, İ., & Altan, Ş. (2020). Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS). İçinde M. Atan & Ş. Altan (Ed.), *Örnek Uygulamalarla Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* (1. baskı, ss. 43–68). Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti.
- Kılıç, A. F. (2022). Değişkenlerin Kategori Sayısı ve Dağılımın Korelasyon Katsayılarına Etkisi. *Ege Eğitim Dergisi*, 23(1), 50–80. <https://doi.org/10.12984/eggeefd.890104>
- Koçel, T. (2020). *İşletme Yöneticiliği* (18. Baskı). Beta Basım Yayım Dağıtım.
- Lahdhiri, M., Babay, A., & Jmali, M. (2021). Development of Subcontractor Selection Models Using Fuzzy and AHP Methods in the Apparel Industry Supply Chain. *Autex Research Journal*, 21(4), 413–427. <https://doi.org/10.2478/aut-2020-0057>
- Ma, M., Kandel, A., & Friedman, M. (2000). A new Approach for Defuzzification. *Fuzzy Sets and Systems*, 111, 351–356.

- Murugan, S. S., Ponraja, S., Varma, D. S., & Raj, M. J. I. (2023). Human Factor Analysis of Textile Industry Workers Using Various Ergonomic Assessment Tools. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series E*, 104, 109–117. <https://doi.org/10.1007/s40034-022-00255-3>
- Önder, G., & Önder, E. (2018). Analitik Hiyerarşi Süreci. İçinde B. F. Yıldırım & E. Önder (Ed.), *Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* (3. baskı, ss. 21–74). Dora Basım-Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
- Özbek, A. (2021). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü* (3. baskı). Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş.
- Paksoy, T., Yapıcı Pehlivan, N., & Özceylan, E. (2013). *Bulanık Küme Teorisi* (1. baskı). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Pamucar, D., & Ecer, F. (2020). Prioritizing The Weights of the Evaluation Criteria Under Fuzziness: The Fuzzy Full Consistency Method – FUCOM-F. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 18(3), 419–437. <https://doi.org/10.22190/FUME200602034P>
- Pamučar, D., Stević, Ž., & Sremac, S. (2018). A New Model for Determining Weight Coefficients of Criteria in MCDM Models: Full Consistency Method (FUCOM). *Symmetry*, 10(9), 1–22. <https://doi.org/10.3390/sym10090393>
- Park, J., Kim, Y., & Han, B. (2017). Work Sectors with High Risk for Work-Related Musculoskeletal Disorders in Korean Men and Women. *Safety and Health at Work*. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2017.06.005>
- Ramadhani, M., & Handayati, Y. (2020). Application of Subcontractor Selection Using Analytical Hierarchy Process Method in Ritz Garment. *International Conference on Economics, Business and Economic Education 2019, KnE Social Sciences*, 423–445. <https://doi.org/10.18502/kss.v4i6.6617>
- Rezaei, J. (2015). Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method. *Omega*, 53, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>
- Rezaei, J. (2016). Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method: Some Properties and a Linear Model. *Omega*, 64, 126–130. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.001>

- Roszkowska, E. (2013). Rank Ordering Criteria Weighting Methods – A Comparative Overview. *Optimum. Studia Ekonomiczne*, 5(65), 14–33.
- Saat, M. (2000). Çok Amaçlı Karar Vermede Bir Yaklaşım: Analitik Hiyerarşi Yöntemi. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(2), 149–162.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (1986). Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 32(7), 841–855.
- Saaty, T. L. (1990). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26.
- Saaty, T. L. (1994). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Interfaces*, 24(6), 19–43.
- Saaty, T. L. (1996). *The Analytic Network Process*. RWS Publications.
- Saaty, T. L. (2008). Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making. Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors. The Analytic Hierarchy/Network Process. *Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat.*, 102(2), 251–318.
- Şahin, M. (2022). *Güncel ve Uygulamalı Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* (1. baskı). Nobel Bilimsel Eserler.
- Sakthi Nagaraj, T., Jeyapaul, R., & Mathiyazhagan, K. (2019). Evaluation of Ergonomic Working Conditions Among Standing Sewing Machine Operators in Sri Lanka. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 70, 70–83. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.01.006>
- Sel, A. (2020). ROC Yöntemi. İçinde H. Bircan (Ed.), *Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri* (1. basım, ss. 173–180). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423.
- Spearman, C. (1904). The Proof and Measurement of Association Between Two Things. *The American Journal of Psychology*, 15(1), 72–101.

- Spearman, C. (1906). 'Footrule' For Measuring Correlation. *British Journal of Psychology*, 2(1), 89–108.
- Stanujkic, D., Karabasevic, D., & Zavadskas, E. K. (2015). A Framework for the Selection of a Packaging Design Based on the SWARA Method. *Engineering Economics*, 26(2), 181–187. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.26.2.8820>
- Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Karabasevic, D., Smarandache, F., & Turskis, Z. (2017). The Use of the Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment Method for Determining the Weights of Criteria. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 20(4), 116–133.
- Tzeng, G. H., Chen, T. Y., & Wang, J. C. (1998). A Weight-assessing Method with Habitual Domains. *European Journal of Operational Research*, 110(2), 342–367. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00246-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00246-4)
- Vandyck, E., & Fianu, D. A. G. (2012). The Work Practices and Ergonomic Problems Experienced by Garment Workers in Ghana. *International Journal of Consumer Studies*, 36, 486–491. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2011.01066.x>
- Wang, Q., & Poh, K. L. (2014). A Survey of Integrated Decision Analysis in Energy and Environmental Modeling. *Energy*, 77, 691–702. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.060>
- Yalçın, N. (2020). Tedarikçi Sürdürülebilirlik Performans Değerlendirmesinde Analitik Ağ Süreci (ANP) Yaklaşımı. İçinde M. Kabak & Y. Çınar (Ed.), *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri: MS Excel ® Çözümlü Uygulamalar* (1. baskı, ss. 43–59). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Yıldırım, B. F. (2018). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerine Giriş. İçinde B. F. Yıldırım & E. Önder (Ed.), *Sağlık Yönetiminde Karar Verme I Çok Kriterli Karar Verme Uygulamaları ile* (1. baskı, ss. 1–9). Dora Basım-Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
- Yıldızbaşı, A., Öztürk, C., Çalık, A., & Eraslan, E. (2020). MACBETH Yöntemi ile Sürdürülebilir Enerji Alternatifi Seçimi. İçinde M. Kabak & Y. Çınar (Ed.), *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri: MS Excel ® Çözümlü Uygulamalar* (1. baskı, ss. 333–349). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Zavadskas, E. K., & Podvezko, V. (2016). Integrated Determination of Objective Criteria Weights in MCDM. *International Journal of Information Technology & Decision*

*Making*, 15(2), 267–283. <https://doi.org/10.1142/S0219622016500036>

Žižovic, M., & Pamučar, D. (2019). New Model for Determining Criteria Weights: Level Based Weight Assessment (LBWA) model. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(2), 126–137. <https://doi.org/10.31181/dmame1902102z>

## **EKLER**

## Ek-1: Tek karar verici için ICWM çözücü

ICWM çözücü açıldığında, uygulayıcıları tabloları içeren sayfalar karşılamaktadır. 9 kritere kadar, tek karar verici ve çoklu karar vericiler için tablolar hazırlanmıştır. Aşağıda, 9 kriterli bir problem için bir karar vericinin kullanabileceği tablo görseli bulunmaktadır.

Table 1		Table 2				Table 3		
Criteria	What are the names of criteria?	Criteria	Pairwise comparisons. Which is more important? (Select from the dropdown lists)	(a) What is the importance level of the more important criterion? (Must be greater than or equal to 1)	(b) The importance degree of each j. criterion according to the (j+1). criterion	LP model	Criteria	Normalized weights (w)
Criterion 1		Criterion 1					Criterion 1	0,000
Criterion 2		Criterion 2					Criterion 2	0,000
Criterion 3		Criterion 3					Criterion 3	0,000
Criterion 4		Criterion 4					Criterion 4	0,000
Criterion 5		Criterion 5					Criterion 5	0,000
Criterion 6		Criterion 6					Criterion 6	0,000
Criterion 7		Criterion 7					Criterion 7	0,000
Criterion 8		Criterion 8					Criterion 8	0,000
Criterion 9		Criterion 9				DFC(Z)	Criterion 9	0,000
						0,000	Σ	0,000

Aşağıdaki görselde ise, Veri sekmesinden Çözücü'ye girip, doğrusal modele ait parametrelerin girildiği bir ekran verilmiştir. 9 kritere kadar tekli ve çoklu karar vericiler için bu parametreler ayrı ayrı hazırlanmıştır. Kullanıcılar, bu parametrelerde herhangi bir değişiklik yapmazlar. Bunlar çözücüde hazır halde bulunmaktadır. Bu parametreler, herhangi probleme ait verilerin ilgili sayfadaki tabloya girilmesi halinde, kullanıcıyı çözüme ulaştırmada yeterlidir. Aşağıdaki görselde, 9 kriter tek karar verici için hazırlanan sayfadaki tablonun parametreleri görülmektedir.

**Çözücü Parametreleri**

Hedef Ayarla:  ↑

Hedef:  En Büyük  En Küçük  Değeri:

Değişken Hücreleri Değiştirerek:  ↑

Kısıtlamalara Bağlıdır:

\$M\$10 >= 0  
 \$M\$23 = 1  
 \$M\$20 >= 0  
 \$M\$22 >= 0  
 \$M\$8 >= 0  
 \$M\$12 >= 0  
 \$M\$14 >= 0  
 \$M\$16 >= 0  
 \$M\$18 >= 0  
 \$K\$6:\$K\$21 <= \$K\$23  
 \$M\$6 >= 0

Kısıtlanmamış Değişkenleri Pozitif Yap

Çözme Yöntemi:  Seçenekler

Çözüm Yöntemi  
 Düzgün doğrusal olmayan Çözücü Problemleri için GRG Doğrusal Olmayan altyapısını seçin. Doğrusal Çözücü Problemleri için Basit LP altyapısını seçin ve düzgün olmayan Çözücü problemleri için Açılım altyapısını seçin.

Yardım Çöz Kapat

Aşağıdaki görselde, kullanıcıların örnek olarak bu tabloları nasıl kullanacağını göstermek amaçlanmıştır. Tek karar vericinin olduğu ve 9 kriterin bulunduğu bir problemin nasıl çözüldüğü anlatılmaktadır. Kullanıcıların diğer hücrelerde değişiklik yapmadan yalnızca yeşil hücreleri doldurmaları ve ardından Veri sekmesinden Çözücü'ye girip Çöz'e tıklamaları yeterlidir. Diğer hücreler otomatik olarak dolmuş olacak ve çözüm bulunacaktır.

Table 1		Table 2				Table 3		
Criteria	What is the names of criteria?	Criteria	Pairwise comparisons. Which is more important? (Select from the dropdown lists)	(a) What is the importance level of the more important criterion? (Must be greater than or equal to 1)	(b) The importance degree of each j. criterion according to the (j+1). criterion	LP model	Criteria	Normalized weights (w)
Criterion 1	Maliyet	Maliyet	Maliyet	2,500	2,500		Maliyet	0,283
Criterion 2	Kalite	Kalite	Uzaklık	1,500	0,667		Kalite	0,113
Criterion 3	Uzaklık	Uzaklık	Tecrübe	1,100	0,909		Uzaklık	0,170
Criterion 4	Tecrübe	Tecrübe	Tecrübe	2,400	2,400		Tecrübe	0,187
Criterion 5	Finansal güç	Finansal güç	Finansal güç	3,000	3,000		Finansal güç	0,078
Criterion 6	Esneklik	Esneklik	Zamanlama	1,500	0,667		Esneklik	0,026
Criterion 7	Zamanlama	Zamanlama	Performans	2,000	0,500		Zamanlama	0,039
Criterion 8	Performans	Performans	Performans	3,000	3,000		Performans	0,078
Criterion 9	İletişim	İletişim					İletişim	0,026
						DFC(Z)		
						0,000	Σ	1,000



## Ek-2: Birden fazla karar verici için ICWM çözücüsü

ICWM çözücüsü, çok karar vericisi olan problemlerin çözümlerinde de kullanılabilir. Aşağıda, 4 kriterli bir problem için 4 karar vericili bir karar süreci için hazırlanan tablo görseli bulunmaktadır.

It is optional to fill in the criteria names cells on Table 1.

Fill in the green cells to calculate the b values for each decision maker. You can increase the DM tables by copying them downwards. If decision makers have different weights, fill in the q values. Use the geometric mean or weighted geometric mean of the decision makers' b values as the B value [You can change the formulas written for B values according to the number of decision makers and their weights]. Then, go to Data>Solver>Solve. So that the criteria weights are found on Table 3.

Table 1		Table 2				Table 3	
Criteria	What are the names of criteria?	Criteria	Pairwise comparisons. Which is more important? (Select from the dropdown lists)	(a) What is the importance level of the more important criterion? (Must be greater than or equal to 1)	(b) The importance degree of each j. criterion according to the (j+1). criterion	(B) The importance degree of each j. criterion according to the (j+1). Criterion (Geometric Mean)	LP model
Criterion 1		DM1		q=		DMs	
Criterion 2		Criterion 1				#SAY!!	Criterion 1
Criterion 3		Criterion 2				#SAY!!	Criterion 2
Criterion 4		Criterion 3				#SAY!!	Criterion 3
		Criterion 4					DFC(Z)
							Σ
							0,000
		DM2		q=			
		Criterion 1					
		Criterion 2					
		Criterion 3					
		Criterion 4					
		DM3		q=			
		Criterion 1					
		Criterion 2					
		Criterion 3					
		Criterion 4					
		DM4		q=			
		Criterion 1					
		Criterion 2					
		Criterion 3					
		Criterion 4					

> 3Criteria(1DM) 3Criteria(DMs) 4Criteria(1DM) **4Criteria(DMs)** 5Criteria(1DM) 5Criteria(DMs) 6Criteria(1DM)

Aşağıdaki görselde ise, bu tablonun parametreleri görülmektedir. Kullanıcılar, bu parametrelerde herhangi bir değişiklik yapmazlar. Bunlar çözücüde hazır halde bulunmaktadır.

Çözümü Parametreleri

Hedef Ayarla:

Hedef:  En Büyük  En Küçük  Değeri:

Değişken Hücreleri Değiştirerek:

Kısıtlamalara Bağlıdır:

\$O\$8 >= 0  
 \$O\$6 >= 0  
 \$O\$13 = 1  
 \$M\$6:\$M\$11 <= \$M\$13  
 \$O\$12 >= 0  
 \$O\$10 >= 0

Kısıtlanmamış Değişkenleri Pozitif Yap

Çözme Yöntemi: Basit LP

Çözüm Yöntemi  
 Düzgün doğrusal olmayan Çözümü Problemleri için GRG Doğrusal Olmayan altyapısını seçin. Doğrusal Çözümü Problemleri için Basit LP altyapısını seçin ve düzgün olmayan Çözümü problemleri için Açılım altyapısını seçin.

