

**PROJE YÖNETİMİNDE BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI
İLE PROJE RİSKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**DETERMINATION OF PROJECT RISKS WITH FUZZY
LOGIC APPROACH IN PROJECT MANAGEMENT**

EDA HİLAL AKBULUT

PROF. DR ÖZLEM MÜGE TESTİK

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Eda Hilal AKBULUT'un hazırladığı “Proje Yönetiminde Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Proje Risklerinin Belirlenmesi” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY

Başkan

Prof. Dr. Özlem Müge TESTİK

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Erdi DAŞDEMİR

Üye

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak / /..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Benat KOÇKAR

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Her zaman yanımda olan aileme...

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

15 / 06 / 2026

Eda Hilal AKBULUT

YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir.
- ☐ Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

15 / 06 / 2026

Eda Hilal AKBULUT

ÖZET

PROJE YÖNETİMİNDE BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI İLE PROJE RİSKLERİNİN BELİRLENMESİ

Eda Hilal AKBULUT

Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Özlem Müge TESTİK

Haziran 2026, 66 sayfa

Risk analizi, orta ve büyük ölçekli sektörlerde yürütülen projelerde maliyet, zaman, kalite ve kaynak yönetimi açısından önemli bir rol oynamaktadır. Risklerin erken aşamada belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması, proje başarısını doğrudan etkilemekte ve karar vericilere daha sağlıklı bir planlama süreci sunmaktadır. Risk analizi yöntemleri arasında en yaygın ve etkili yöntemlerden biri riskleri gerçekleşme olasılığı, etki şiddeti ve tespit edilebilirlik kriterlerine göre değerlendirerek önceliklendirmeyi amaçlayan Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA)'dır. HTEA'nın temel amacı, mevcut veya potansiyel riskleri belirlemek ve önleyici aksiyonlarla bu riskleri minimize etmektir. Ancak HTEA'daki belirsizlik, kararsızlık ve tereddüt durumlarının daha gerçekçi biçimde modellenebilmesi amacıyla yeni yaklaşımlar önerilmektedir. Bu çalışmada, risklerin önceliklendirilmesi amacıyla Entropi ve Sezgisel Bulanık Entropi ve Uzlaşma Çözümüne Göre Ölçüm Alternatifleri ve Sıralama (Intuitionistic Fuzzy Measurement Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution – IF-MARCOS) yöntemleri kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hata Türü ve Etki Analizi, Sezgisel Bulanık Kümeler, Küresel Bulanık Kümeler, Çok Kriterli Karar Verme, IF-MARCOS Metodu, Entropi, AHP

ABSTRACT

DETERMINATION OF PROJECT RISKS WITH FUZZY LOGIC APPROACH IN PROJECT MANAGEMENT

Eda Hilal AKBULUT

Master of Science, Department of Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Özlem Müge TESTİK

June 2026, 66 pages

Risk analysis plays a significant role in projects carried out in medium- and large-scale sectors in terms of cost, time, quality, and resource management. The identification of risks at an early stage and the implementation of necessary preventive measures directly influence project success and provide decision-makers with a more reliable planning process. Among risk analysis methods, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) is one of the most widely used and effective approaches, aiming to prioritize risks by evaluating them in terms of occurrence probability, severity of impact, and detectability. The main objective of FMEA is to identify existing or potential risks and to minimize these risks through preventive actions. However, new approaches have been proposed to model the uncertainty, ambiguity, and hesitation encountered in FMEA applications in a more realistic manner. In this study, Entropy, Intuitionistic Fuzzy Entropy, and Intuitionistic Fuzzy Measurement Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution (IF-MARCOS) methods were employed to prioritize risks.

Keywords: Failure Mode And Effect Analysis, Intuitionistic Fuzzy Sets, Spherical Fuzzy Sets, Multi-Criteria Decision Making, IF-MARCOS Method, Entropy, AHP

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanma sürecinde bilgi birikimi, akademik tecrübesi ve değerli yönlendirmeleriyle bana yol gösteren kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Özlem Müge TESTİK’e en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez sürecim boyunca gösterdiği sabır, sağladığı destek ve yapıcı değerlendirmeleri, çalışmamın şekillenmesinde önemli katkılar sağlamıştır.

Lisans ve lisansüstü eğitimim süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, akademik gelişimime katkıda bulunan Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü akademik kadrosuna teşekkür ederim.

Bu yoğun süreçte sevgisi, sabrı ve anlayışıyla her zaman yanımda olan sevgili eşim Orhun AKBULUT’a gönülden teşekkür ederim. Zorlandığım anlarda bana güç verdiği, desteğini ve inancını her zaman hissettirdiği için kendisine minnettarım.

Hayatım boyunca sevgilerini ve emeklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan canım annem Dürdane GÜRLÜK ve babam Rıfat GÜRLÜK’e en derin teşekkürlerimi sunarım. Bana duydukları güven, gösterdikleri fedakârlık ve her koşulda verdikleri destek, yalnızca bu tez sürecinde değil, tüm yaşamımda en büyük dayanaklarımdan biri olmuştur.

Varlıklarıyla hayatıma neşe katan, sevgileriyle bana güç veren sevgili yeğenlerim Ayşe Beren ve Yasin Rıfat’a içtenlikle teşekkür ederim. Ayrıca desteğini her zaman hissettiğim kardeşlerim Esra YURT, Tarık YURT, Emre GÜRLÜK ve Alaa GÜRLÜK’e gönülden teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Risk Yönetiminde ÇKKV ve Bulanık ÇKKV Yöntemleri	3
2.2. Sezgisel Bulanık Mantığın ÇKKV ve Risk Yönetiminde Kullanımı	5
2.3. Küresel Bulanık Mantığın ÇKKV ve Risk Yönetiminde Kullanımı	7
2.4. AHP ve Sezgisel/Küresel Bulanık Yaklaşımların Birlikte Kullanımı	8
2.5. Literatürdeki Boşluk ve Çalışmanın Katkısı	10
3. METODOLOJİ	12
3.1. Araştırma Yaklaşımı ve Genel Süreç	12
3.2. Bulanık Kümeler	12
3.3. Sezgisel Bulanık Kümeler	13
3.4. Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Ortalama (IFWA-Intuitionistic Fuzzy Weighted Averaging) Operatörü	15
3.5. Küresel Bulanık Kümeler	15
3.6. Küresel Bulanık Ağırlıklı Ortalama (SWAM-Spherical Weighted Arithmetic Mean) Operatörü	17

3.7.	Karar Bileşenlerinin Ağırlıklandırılması.....	17
3.7.1.	AHP ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	17
3.7.2.	Uzman Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	20
3.8.	Risk Faktörü (RF) Değerlendirme Süreci	22
3.9.	IF-MARCOS Yöntemi ile Risk Önceliklendirme	22
3.10.	Entropi Tabanlı Yöntem ile Risk Önceliklendirme	25
4.	PROJELERDE RİSK ÖNCELİKLENDİRME MODELİNİN UYGULANMASI.....	28
4.1.	Problem Tanımı ve Risk Faktörlerinin Belirlenmesi	29
4.2.	Uzman Profili ve Değerlendirme Süreci	31
4.3.	IFS & SFS Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması	54
5.	DUYARLILIK ANALİZİ.....	58
6.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	62
7.	KAYNAKLAR.....	64
8.	EKLER.....	68
	EK 1 – Uzman Değerlendirme Formu.....	68
	EK 2 – IFN Uzman Güven Değerlendirmeleri	69
	EK 3 – SFN Uzman Güven Değerlendirmeleri.....	70
	EK 4 - Tez Çalışması Orijinallik Raporu	71
9.	ÖZGEÇMİŞ	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Önerilen Metodolojik Yaklaşımın Aşamaları	29
Şekil 4.2. Uzmanların Hiyerarşik Yapısı.....	33
Şekil 4.3. Yüksek, Orta ve Düşük Risk Gruplarına Göre Yöntemler Arası Dağılım.....	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. IFS ve SFS Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	16
Çizelge 3.2. Saaty 1-9 Ölçeği [33]	18
Çizelge 3.3. Rassallık Göstergeleri (RI) [33]	20
Çizelge 3.4. Entropi, TOPSIS ve IF-MARCOS Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	26
Çizelge 4.1. Risk Alanları ve Belirlenen Risk Tanımları	30
Çizelge 4.2. Dilsel Değerlendirme Ölçeği ve Karşılık Gelen IFN Değerleri	34
Çizelge 4.3. IFN Uzman Güven Değerlendirmeleri (Örnekleme).....	35
Çizelge 4.4. Dilsel Değerlendirme Ölçeği ve Karşılık Gelen SFN Değerleri	36
Çizelge 4.5. SFN Uzman Güven Değerlendirmeleri (Örnekleme).....	36
Çizelge 4.6. IFS Ortamında Hesaplanan Uzman δd Güven Değerleri.....	37
Çizelge 4.7. SFS Ortamında Hesaplanan Uzman ω_{js} Güven Değerleri	38
Çizelge 4.8. Deneyim Düzeyine Göre Belirlenen Uzman Ağırlıkları.....	39
Çizelge 4.9. Normalize Deneyim Düzeyine Göre Belirlenen Uzman Ağırlıkları	39
Çizelge 4.10. Uzmanlara ait S, O ve D Kriterleri için İkili Karşılaştırma Matrisleri	40
Çizelge 4.11. O, S ve D Kriterleri için Grup İkili Karşılaştırma Matrisi	41
Çizelge 4.12. O, S ve D Kriterleri için Nihai Kriter Ağırlıkları	41
Çizelge 4.13. Risk Faktörleri için Uzman IFN Değerlendirme Matrisi	42
Çizelge 4.14. Risk Faktörleri için Uzman SFN Değerlendirme Matrisi	43
Çizelge 4.15. IFWA Sonucu Risk Faktörleri için Nihai IFN Matrisi	44
Çizelge 4.16. SWAM Sonucu Risk Faktörleri için Nihai SFN Matrisi	45
Çizelge 4.17. IFS Ortamında Entropi Yöntemi ile Hesaplanan Skor Değerleri	46
Çizelge 4.18. SFS Ortamında Entropi Yöntemi ile Hesaplanan Skor Değerleri	46
Çizelge 4.19. Entropi Temelli IFS ve SFS Yaklaşımlarına Göre Risk Sıralaması	47
Çizelge 4.20. IFS için Kriterlerin CC Değerleri	48
Çizelge 4.21. SFS için Kriterlerin CC Değerleri	49
Çizelge 4.22. IFS için Kriterlerin Normalize ve Toplam Skor Değerleri	50
Çizelge 4.23. SFS için Kriterlerin Normalize ve Toplam Skor Değerleri.....	51
Çizelge 4.24. IFS için Fayda Fonksiyonu ve Göreli Performans Değerleri	52
Çizelge 4.25. SFS için Fayda Fonksiyonu ve Göreli Performans Değerleri	53
Çizelge 4.26. IF-MARCOS ile IFS ve SFS Yaklaşımlarına Göre Risk Sıralaması.....	54
Çizelge 4.27. IFS ve SFS Yaklaşımlarında Entropi ve IF-MARCOS Yöntemlerine Göre Risk Sıralamalarının Karşılaştırılması.....	55

Çizelge 5.1. Ağırlık Senaryosu Tanım Tablosu.....	58
Çizelge 5.2. Normalize Ağırlık Senaryosu Tanım Tablosu.....	58
Çizelge 5.3. Senaryolara ve Yöntemlere Göre Risk Sıralamaları.....	59
Çizelge 5.4. Korelasyon Katsayısı Değerlerine İlişkin Sınıflandırma [34].....	61
Çizelge 5.5. Yöntemler Arası Spearman Korelasyon Sonuçları.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	Kriterler arası ikili karşılaştırma matrisi
a_{ij}	İkili karşılaştırma matrisinde i. kriterin j. kritere göre göreceli önemi
$\tilde{A}_S$	Küresel bulanık sayı
CC_j	Yakınlık katsayısı
d_i	Her bir risk faktörünün iki farklı sıralamadaki sıra farkı
$E(A)$	Entropi değeri
E_i	Değerlendirme faktörlerinin temel değeri
$f(K_i)$	Alternatifin nihai fayda fonksiyonu
$f(K_i^-)$	Anti-ideal çözümün fayda fonksiyonu
$f(K_i^+)$	İdeal çözümün fayda fonksiyonu
K_i^-	Alternatiflerin anti-ideal çözüme göre göreceli performansı / fayda derecesi
K_i^+	Alternatiflerin ideal çözüme göre göreceli performansı / fayda derecesi
n	Toplam risk sayısı
$\tilde{P}_j$	Alternatiflerin IFWA ile birleştirilmiş sezgisel bulanık karar matrisi elemanı
p	Toplam uzman sayısı
$S(\tilde{\omega}_j^s)$	Küresel bulanık skor indeksi (SI)
S_i	Her bir alternatif için hesaplanan toplam skor
t_{ij}	Normalize edilmiş karşılaştırma matrisinin elemanları
W (veya w_i)	Kriter ağırlıklarını temsil eden öncelik vektörü
$\tilde{\omega}_j^s$	j. uzmanın küresel bulanık ağırlık değerlendirme
$\bar{\omega}_j^s$	j. uzmanın normalize edilmiş nihai küresel bulanık ağırlığı
X (veya U)	Evrensel küme veya boş olmayan küme
x_{ij}	Karar matrisi elemanları
x	Evrensel küme elemanları
α_i	Sezgisel bulanık sayı dizisi
δ_d	Uzmanların nihai sezgisel bulanık ağırlığı

ϑ_{ij}	Ağırlıklı normalize matris elemanı
μ (veya $\mu_A(x)$)	Üyelik derecesi (membership degree)
ν (veya $\nu_A(x)$)	Üye olmama derecesi (non-membership degree)
π (veya $\pi_A(x)$)	Tereddüt veya kararsızlık derecesi (hesitancy degree)
ρ	Spearman sıra korelasyon katsayısı
ς_{ij}	Normalize edilmiş karar matrisi elemanı
ω (veya ω_j)	Karar verme yöntemlerinde kullanılan ağırlık vektörü / kriter ağırlığı
τ^+	Pozitif ideal çözüm noktası
τ^-	Negatif ideal çözüm noktası
φ_j^+	Pozitif ideal çözüm noktalarına olan sezgisel Öklid uzaklıkları
φ_j^-	Negatif ideal çözüm noktalarına olan sezgisel Öklid uzaklıkları
$\lambda_{\max}$	Karşılaştırma matrisine ait en büyük özdeğer
u	En büyük özdeğere karşılık gelen özvektör

Kısaltmalar

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process)
AID	Anti-İdeal Çözüm (Anti-Ideal Solution)
API RP	Amerikan Petrol Enstitüsü Önerilen Uygulaması (American Petroleum Institute Recommended Practice)
CC	Yakınlık Katsayısı (Closeness Coefficient)
CI	Tutarlılık Göstergesi (Consistency Index)
COPRAS	Karmaşık Oransal Değerlendirme Yöntemi (Complex Proportional Assessment)
CR	Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio)
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
D	Tespit Edilebilirlik (Detection)
EMC	Enerji Yönetim Sözleşmeleri (Energy Management Contract)
f-SWARA	Bulanık Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (Fuzzy Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis)
f-TOPSIS	Bulanık İdeal Çözüme Dayalı Sıralama Tekniği (Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
f-VIKOR	Bulanık Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm Yöntemi

	(Fuzzy VišeKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje)
HTEA	Hata Türleri ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effects Analysis)
HIC	Hidrojen Kaynaklı Çatlama (Hydrogen-Induced Cracking)
ID	İdeal Çözüm (Ideal Solution)
IF-AHP	Sezgisel Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process)
IFBS	Sezgisel Bulanık Beyin Fırtınası (Intuitionistic Fuzzy Brainstorming)
IF-COPRAS	Sezgisel Bulanık Karmaşık Oransal Değerlendirme Yöntemi (Intuitionistic Fuzzy Complex Proportional Assessment)
IF-MABAC	Sezgisel Bulanık Çok Nitelikli Sınır Yaklaşım Alanı Karşılaştırması (Intuitionistic Fuzzy Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison)
IF-MARCOS	Sezgisel Bulanık Uzlaşma Çözümüne Göre Ölçüm Alternatifleri ve Sıralama (Intuitionistic Fuzzy Measurement Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution)
IFN	Sezgisel Bulanık Sayı (Intuitionistic Fuzzy Number)
IFS	Sezgisel Bulanık Kümeler (Intuitionistic Fuzzy Sets)
IFS-TOPSIS	Sezgisel Bulanık İdeal Çözüme Dayalı Sıralama Tekniği (Intuitionistic Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
IFWA	Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Ortalama (Intuitionistic Fuzzy Weighted Averaging)
IVIF-AHP	Aralık Değerli Sezgisel Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process)
IVIFS	Aralık Değerli Sezgisel Bulanık Kümeler (Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Sets)
IVIF-TOPSIS	Aralık Değerli Sezgisel Bulanık İdeal Çözüme Dayalı Sıralama Tekniği (Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
MABAC	Çok Nitelikli Sınır Yaklaşım Alanı Karşılaştırması (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison)

MARCOS	Uzlaşma Çözümüne Göre Ölçüm Alternatifleri ve Sıralama (Measurement Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution)
MSB	Milli Savunma Bakanlığı
O	Gerçekleşme Olasılığı (Occurrence)
PM	Proje Mühendisi
PMBOK	Proje Yönetimi Bilgi Birikimi Kılavuzu (Project Management Body of Knowledge)
PY	Proje Yöneticisi
RF	Risk Faktörü (Risk Factor)
RI	Rassallık Göstergesi (Random Index)
RPN	Risk Öncelik Değeri (Risk Priority Number)
S	Etki Şiddeti (Severity)
SF-AHP	Küresel Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (Spherical Fuzzy Analytic Hierarchy Process)
SFFMEA	Küresel Bulanık Hata Türleri ve Etkileri Analizi (Spherical Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis)
SFN	Küresel Bulanık Sayı (Spherical Fuzzy Number)
SFS	Küresel Bulanık Kümeler (Spherical Fuzzy Sets)
SI	Skor İndeksi (Score Index)
SM	Sistem Mühendisi
SWAM	Küresel Bulanık Ağırlıklı Aritmetik Ortalama (Spherical Weighted Arithmetic Mean)
TOPSIS	İdeal Çözüme Dayalı Sıralama Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
VIKOR	Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm Yöntemi (VišeKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje)

1. GİRİŞ

Günümüzde proje yönetimi süreçleri; teknolojik gelişmelerin hızlanması, organizasyon yapılarının karmaşıklaşması ve proje paydaşlarının artmasıyla birlikte daha dinamik ve belirsizlik içeren bir yapıya dönüşmüştür. Özellikle savunma sanayi, inşaat, enerji ve üretim gibi büyük ölçekli sektörlerde yürütülen projelerde zaman, maliyet, kalite ve kaynak yönetiminin etkin biçimde sürdürülebilmesi proje başarısı açısından kritik önem taşımaktadır. Ancak proje süreçlerinde ortaya çıkabilecek teknik, operasyonel, finansal ve yönetsel riskler, projelerin planlanan hedeflerden sapmasına neden olabilmektedir.

Bu nedenle risk yönetimi, proje yönetiminin önemli ve ayrılmaz bir parçası hâline gelmiştir. Risklerin erken aşamada belirlenmesi, analiz edilmesi ve önceliklendirilmesi; olası problemlere karşı önceden önlem alınabilmesini sağlamakta ve karar vericilere daha sağlıklı bir planlama süreci sunmaktadır. Özellikle belirsizliğin yüksek olduğu proje ortamlarında, risklerin sistematik ve güvenilir yöntemlerle değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Risk değerlendirme süreçlerinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri Hata Modu ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemidir. HTEA, riskleri Gerçekleşme Olasılığı (Occurrence - O), Etki Şiddeti (Severity - S) ve Tespit Edilebilirlik (Detection - D) kriterleri üzerinden değerlendirerek risk öncelik sayısını belirlemeyi amaçlayan sistematik bir yaklaşımdır. Bununla birlikte klasik HTEA yönteminin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Özellikle kriterlerin eşit ağırlıklı kabul edilmesi, uzman değerlendirmelerindeki belirsizliklerin doğrudan modele yansıtılamaması ve aynı risk öncelik sayısına sahip farklı risklerin birbirinden yeterince ayrıştırılamaması, yöntemin başlıca sınırlılıkları arasında gösterilmektedir.

Bu eksikliklerin giderilmesi amacıyla son yıllarda bulanık mantık temelli Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanımının arttığı görülmektedir. Özellikle Sezgisel Bulanık Kümeler (Intuitionistic Fuzzy Sets - IFS) ve Küresel Bulanık Kümeler (Spherical Fuzzy Sets - SFS), uzman görüşlerinde bulunan belirsizlik, kararsızlık ve tereddüt durumlarının daha gerçekçi biçimde modellenmesine olanak sağlamaktadır. IFS yaklaşımı üyelik (membership degree – μ), üye olmama (non-membership degree – ν) ve tereddüt (hesitancy degree – π) derecelerini birlikte ele alırken, SFS yaklaşımı bu

yapıyı daha esnek bir hâle getirerek karar vericilerin değerlendirmelerini daha geniş bir tanım alanında ifade edebilmesine imkân tanımaktadır.

Literatürde bulanık mantık temelli ÇKKV yöntemlerinin risk yönetimi problemlerinde yaygın biçimde kullanıldığı görülmekle birlikte, IFS ve SFS yaklaşımlarının aynı risk önceliklendirme problemi üzerinde karşılaştırmalı olarak ele alındığı çalışmaların sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca uzman güven ağırlıklarının değerlendirme sürecine dâhil edildiği Entropi ve Sezgisel Bulanık Uzlaşma Çözümüne Göre Ölçüm Alternatifleri ve Sıralama (Intuitionistic Fuzzy Measurement Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution – IF-MARCOS) yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bütünleşik yapıların da yeterince incelenmediği görülmektedir.

Bu çalışmada, klasik HTEA yönteminin söz konusu eksikliklerini azaltmak amacıyla IFS ve SFS tabanlı bütünleşik bir risk önceliklendirme modeli önerilmiştir. Çalışma kapsamında uzman değerlendirmeleri Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Ortalama (Intuitionistic Fuzzy Weighted Averaging - IFWA) ve Küresel Bulanık Ağırlıklı Ortalama (Spherical Weighted Averaging Mean - SWAM) operatörleri ile birleştirilmiş, kriter ağırlıkları Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytical Hierarchy Process – AHP) yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve risklerin önceliklendirilmesinde Entropi ile IF-MARCOS yöntemlerinden yararlanılmıştır. Önerilen yaklaşım, Ankara’da faaliyet gösteren bir savunma sanayi şirketinin proje yönetim süreçlerinde karşılaşılan riskler üzerinde uygulanmış ve farklı bulanık yapıların risk sıralamaları üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde özellikle son 20 yıllık çalışmalar incelendiğinde, proje yönetimi ve risk analizi süreçlerinde ÇKKV yöntemlerinin önem kazandığı görülmektedir. Özellikle karar verme sürecinde belirsizliklerin ön planda olduğu durumlarda, bulanık mantık, sezgisel bulanık mantık ve küresel bulanık mantık tabanlı yaklaşımların tercih edildiği dikkat çekmektedir.

2.1. Risk Yönetiminde ÇKKV ve Bulanık ÇKKV Yöntemleri

Karar verme süreçlerinde, risk faktörlerinin sayıca fazla ve birbiriyle etkileşimli olması, süreçlerin bir veya birkaç aşamasında belirsizlik içermesi nedeniyle son yıllarda risk yönetiminde uygulanan ÇKKV yöntemlerine bulanık yaklaşımın tercih edilmesine neden olmuştur. Nitekim Sahoo ve Goswami (2023) tarafından gerçekleştirilen kapsamlı literatür taramasında, son yirmi yıl içerisinde ÇKKV yöntemlerinin özellikle belirsizlik içeren karar problemlerine uyarlanarak gelişim gösterdiği; bu bağlamda bulanık mantık temelli modellerin yaygınlaştığı belirtilmiştir. Çalışmada, geleneksel yöntemlerin kesin değerlere dayalı yapısının, karar verici görüşlerinin belirsiz, dilsel veya subjektif olduğu durumlarda yetersiz kaldığı; bu nedenle fuzzy AHP, fuzzy TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), fuzzy VIKOR (VišeKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) gibi uzantıların risk analizlerinde tercih edildiği ifade edilmiştir. Bu yaklaşımlar, karar vericilerin bulanık kriterler ve dilsel değerlendirmeler içeren karar problemleriyle başa çıkmalarını sağlamakta; böylece modeller yalnızca çok sayıda kriteri dikkate alan mekanizmalar olmaktan çıkarak, aynı zamanda belirsizliği modelleyebilen esnek yapılar hâline gelmektedir [1].

Bulanık ÇKKV yaklaşımlarının dikkate değer bir uygulama alanı da tedarikçi seçimidir; burada karar vericiler, potansiyel tedarikçileri birden fazla kritere göre değerlendirmek ve sıralamak zorundadır. Örneğin, Tan ve arkadaşları (2021) bir yarı iletken üretim şirketinde tedarikçi seçimi amacıyla bulanık TOPSIS yöntemi kullanmıştır. Değerlendirme kriterleriyle ilişkili belirsiz ve kesin olmayan bilgileri ele almak için uygulanan bu yöntem sayesinde, karar vericilerin öznel yargıları dilsel terimler

aracılığıyla ifade edilmiş; böylece tedarikçi değerlendirmesine özgü belirsizlik etkili bir şekilde yönetilmiştir. Çalışma, bulanık TOPSIS yönteminin tedarikçi seçimi için kapsamlı ve sağlam bir değerlendirme çerçevesi sunduğunu ve karmaşık ve belirsiz bir iş ortamında karar verme sürecini güçlendirdiğini ortaya koymuştur [2].

Benzer şekilde, bulanık ÇKKV yaklaşımları, mühendislik uygulamalarında da belirsizlik içeren risk yönetimi süreçlerine destek sağlamak amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, Spanidis ve arkadaşları (2021), açık ocak madenciliği projelerinde karşılaşılan doğal tehlikelerin (örneğin deprem, sel, heyelan) risk düzeylerini değerlendirmiş; uzman görüşlerine dayalı belirsizlik durumlarını fuzzy AHP yöntemi ile modelleyerek, farklı tehlikeleri önceliklendirmiştir. Bu yaklaşım, doğal afet risklerinin çok boyutlu yapısını dikkate alarak, belirsizliğe rağmen daha doğru ve uygulanabilir bir planlama süreci yürütülmesini mümkün kılmıştır [3].

Zid ve Soomro (2016) ise, inşaat sektörüne özgü yüksek belirsizlik ve karmaşıklık düzeyine sahip risklerin analizine yönelik olarak bulanık mantık temelli bir değerlendirme modeli önermiştir. Çalışmada, proje başarısının sağlanabilmesi için risklerin erken aşamada sistematik şekilde analiz edilmesinin önemi vurgulanmış; bu doğrultuda maliyet, zaman ve kalite olmak üzere üç temel kriter altında, olasılık ve etki düzeyleri uzman görüşlerine dayalı olarak yamuk (trapezoidal) bulanık sayılarla modellenmiştir. Çalışma sonucunda tüm risk faktörlerinin önem dereceleri nicel olarak hesaplanmış ve önceliklendirilmiştir. Bu yaklaşım, geleneksel risk analiz yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda daha güvenilir ve esnek bir değerlendirme ortamı sunarak, inşaat projelerinde risk yönetiminin sistematik biçimde uygulanmasına katkı sağlamaktadır [4].

Stankovic ve arkadaşları (2020), trafik güvenliği kapsamında karayolu kesimlerinin risk analizi için bulanık MARCOS yöntemini uygulamış; üçgen (triangular) bulanık sayılarla desteklenen model, dilsel terimlerle ifade edilen belirsizliklerin sistematik biçimde analiz edilmesine olanak tanımıştır. Uygulamada 7,4 km uzunluğundaki birinci sınıf karayolu 38 adet 200 metrelik kesite ayrılarak risk analizine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, 4,2–4,4 km arasındaki yol kesiminin en yüksek risk değerine sahip olduğu tespit edilmiş ve bu durumun birçok olumsuz faktörün aynı kesitte yoğunlaşmasından kaynaklandığı

belirtilmiştir. Elde edilen bulguların karar vericilere planlama, tasarım ve düzenleme süreçlerinde yön gösterici olduğu vurgulanmıştır [5].

Benzer bir uygulama, Hacıbektaşoğlu ve arkadaşları (2022) tarafından kimya sektöründe gerçekleştirilmiştir. Burada geleneksel Fine-Kinney yöntemi yerine, f-SWARA (Fuzzy Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis) ve f-VIKOR temelli bir yapı kullanılmış; bu hibrit yapı ile iş güvenliği kapsamındaki riskler daha hassas ve güvenilir şekilde önceliklendirilmiştir [6].

2.2. Sezgisel Bulanık Mantığın ÇKKV ve Risk Yönetiminde Kullanımı

Klasik bulanık mantık tabanlı modeller, karar verici belirsizliklerini modellemede önemli katkılar sunsa da yalnızca üyelik derecelerine odaklandıkları için bazı durumlarda yetersiz kalabilmektedir. Bu noktada, karar vericilerin hem üyelik hem de üye olmama derecelerini aynı anda ifade edebilmesine ve bu iki değer arasındaki kararsızlığı modele entegre edebilmesine olanak tanıyan IFS, daha esnek ve gerçekçi analizlere imkân tanımaktadır.

Bu doğrultuda geliştirilen modellerin ÇKKV ve risk yönetimi alanında nasıl uygulandığını gösteren birçok örnek literatürde yer almaktadır. Zaralı (2021), makine imalat sektöründe yeşil tedarikçi seçimi problemi için sezgisel bulanık TOPSIS (IF-TOPSIS) temelli bir karar modeli önermiştir. Çalışmada, ÇKKV yapısı altında ekonomik ve çevresel kriterler birlikte ele alınmış; karar vericilerin değerlendirmeleri sezgisel bulanık sayı (IFN) ile ifade edilmiştir. Uzman görüşleri IFWA operatörü ile birleştirilmiş, ardından sezgisel bulanık pozitif ve negatif ideal çözümler belirlenerek alternatiflerin yakınlık katsayıları hesaplanmıştır. Uygulama sonucunda dört tedarikçi alternatifi sıralanmış ve en uygun yeşil tedarikçi belirlenmiştir [7].

Madenöğlu (2022), ÇKKV problemlerinde IF-TOPSIS yaklaşımını kullanarak özellikle COVID-19 sonrası dönemde sürdürülebilirlik ve risk faktörlerini (tedarik sürekliliği, finansal dayanıklılık, esneklik vb.) birlikte ele alan bir tedarikçi seçimi modeli geliştirmiştir. Uygulama sonucunda en uygun tedarikçi belirlenmiş ve yöntemin belirsizlik içeren değerlendirmeleri modellemede etkin olduğu ortaya konulmuştur [8].

Kahraman ve arkadaşları (2020), dış kaynak üretici (outsourcing manufacturer) seçimi kapsamında Aralık Değerli Sezgisel Bulanık Kümeler (Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Sets - IVIFS) temelinde bütünleşik bir AHP-TOPSIS yaklaşımı önermiştir. Çalışmada, üretim maliyeti, kalite, teslimat performansı ve esneklik gibi çok boyutlu kriterler altında alternatif firmalar değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıkları IVIF-AHP ile belirlenmiş, alternatiflerin sıralanması ise IVIF-TOPSIS yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonucunda alternatif üreticiler sıralanmış ve en uygun dış kaynak üretici belirlenmiştir [9].

Ecer ve Pamucar (2021), COVID-19 sürecinde Türkiye’de faaliyet gösteren sağlık sigortası şirketlerini IF-MARCOS yöntemiyle değerlendirerek, ödeme süresi, prim fiyatı ve hizmet ağı gibi kriterlerin kritik rol oynadığını göstermiştir. Ayrıca yapılan duyarlılık analizleri, yöntemin IF-COPRAS (Intuitionistic Fuzzy Complex Proportional Assessment), IF-MABAC (Intuitionistic Fuzzy Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) ve IF-TOPSIS gibi diğer yöntemlerle tutarlı sonuçlar ürettiğini ortaya koymuştur [10].

Sadeghi ve arkadaşları (2025), İran’daki yıpranmış kentsel dokularda karşılaşılan 11 farklı deprem riskini sezgisel bulanık beyin fırtınası (Intuitionistic Fuzzy Brainstorming - IFBS) yöntemi ile modellemiş ve 5’li Likert ölçeği kullanarak analiz etmiştir. IFBS yöntemi, klasik PMBOK (Project Management Body of Knowledge) temelli nitel değerlendirmelere kıyasla belirsizlikleri daha hassas ve ayrıntılı biçimde modelleyebilmiştir. Çalışmanın sonuçları, önerilen yaklaşımın özellikle doğal afet riski taşıyan karmaşık kentsel çevrelerde risklerin önceliklendirilmesine yönelik sistematik ve güçlü bir karar destek mekanizması sunduğunu ortaya koymuştur [11].

Sadeghi ve arkadaşları (2024), API RP (American Petroleum Institute Recommended Practice) 580 ve 581 standartlarına göre, çelik tanklarda oluşabilecek HIC (Hydrogen induced cracking) riskini IFS ile analiz etmiş; en yüksek zaman ve çevresel riske sahip T2320 tankını en kritik ekipman olarak belirlemiştir [12].

2.3. Küresel Bulanık Mantığın ÇKKV ve Risk Yönetiminde Kullanımı

Küresel bulanık kümeler (SFS), diğer bulanık küme türlerine kıyasla daha gelişmiş bir bulanık yapı sunmakta ve karar vericilerin tereddüt, belirsizlik ve tarafsızlık düzeylerini birbirinden bağımsız biçimde ifade edebilmesine olanak tanımaktadır. Bu özellik, özellikle karmaşık ve belirsizlik düzeyi yüksek karar problemlerinde daha gerçekçi ve esnek modellemelerin yapılmasına imkân sağlamaktadır. Literatürde küresel bulanık mantığın ÇKKV problemleri, tedarikçi seçimi, performans değerlendirme ve çeşitli mühendislik uygulamaları gibi alanlarda kullanımı giderek artmakla birlikte, risk yönetimi ve HTEA tabanlı risk önceliklendirme çalışmalarındaki uygulamalarının sınırlı olduğu görülmektedir.

Alzahrani ve arkadaşları (2025), SFS çerçevesinde yeni bir küresel bulanık entropi ölçüsü önermiş ve bu ölçüyü ÇKKV problemlerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanmıştır. Çalışmada, geliştirilen entropi ölçüsü COPRAS yöntemi ile ele alınarak pazar segmenti seçimi problemi incelenmiştir. Alternatifler küresel bulanık sayılarla (SFN) değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar farklı küresel bulanık karar verme yöntemleriyle karşılaştırılmıştır [13].

Barukab ve arkadaşları (2019), SFS altında çok kriterli grup karar verme problemlerini ele almış ve entropi tabanlı bir ağırlıklandırma yaklaşımı ile TOPSIS tabanlı bir karar verme yöntemi önermiştir. Önerilen yaklaşımda hem karar vericilerin hem de kriterlerin ağırlıklarının önceden bilinmediği varsayılmıştır. Küresel bulanık entropi ölçüsü kullanılarak kriterlerin bilgi içerikleri değerlendirilmiş ve bu doğrultuda objektif kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Çalışmada, robot seçimi problemi üzerinden açıklayıcı bir uygulama gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak analiz edilerek yöntemin uygulanabilir ve güvenilir olduğu gösterilmiştir [14].

Kara ve Yalçın (2022), küresel bulanık sayılara dayalı ÇKKV yaklaşımlarını yeşil tedarikçi seçimi problemi kapsamında ele almıştır. Otel işletmesi örneği üzerinden gerçekleştirilen uygulamada SFS kullanılarak TOPSIS uygulanmış ve çalışma sonucunda, kalite kriterinin en yüksek ağırlığa sahip kriter olduğu, sosyal kriterin ise en düşük öneme sahip olduğu belirlenmiştir [15].

Khan ve arkadaşları (2020), SFS için yeni benzerlik ve uzaklık ölçüleri önermiştir. Çalışmada, önerilen ölçülerin SFS'lerin matematiksel yapısıyla uyumlu olduğu gösterilmiş ve bu ölçülerin mevcut benzerlik yaklaşımlarına kıyasla daha ayırt edici sonuçlar ürettiği ortaya konmuştur. Geliştirilen yöntemler, örüntü tanıma ve mega proje seçimi gibi ÇKKV problemlerine uygulanarak test edilmiştir [16].

Yaşlı ve arkadaşları (2022), teknoloji girişimlerinin başarısızlık risklerini analiz ederek etkili yönetsel stratejiler geliştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamıştır. Çalışmada risk faktörleri, teknolojiyi yoğun biçimde kullanan girişimlerin başarısında belirleyici rol oynayan iş modeli çerçevesinde tanımlanmıştır. Belirlenen faktörler üzerinde kapsamlı bir risk analizi gerçekleştirilmiş ve değerlendirme sürecinde Küresel Bulanık FMEA- (Spherical Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis - SFFMEA) yaklaşımı kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, teknoloji girişimlerinin başarısızlığında en kritik nedenlerin “mevcut düzenlemelere uyumsuzluk”, “uygunsuz girişim sermayesi stratejisi” ve “kümeleşme desteğinin yetersizliği” olduğunu ortaya koymuştur [17].

2.4. AHP ve Sezgisel/Küresel Bulanık Yaklaşımların Birlikte Kullanımı

Literatürde, AHP yönteminin IFS ve SFS ile entegre edilerek geliştirildiği hibrit modeller dikkat çekmektedir. Bu bütünleşik yaklaşımlar sayesinde hem kriter ağırlıkları hem de alternatiflerin öncelik sıralamaları, karar vericilerin belirsizlik düzeylerini daha gerçekçi biçimde yansıtan bulanık sayılar üzerinden elde edilmektedir. Özellikle risk değerlendirme ve önceliklendirme problemlerinde, AHP'nin bulanık yapılarla birlikte kullanımı daha esnek ve güvenilir sonuçlar sunmaktadır.

Akkuş ve Testik (2024) tarafından HTEA yönteminde karar verici ağırlıklarının daha güvenilir şekilde belirlenebilmesi amacıyla sezgisel bulanık AHP (IF-AHP) temelli yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Ortaya çıkma, şiddet ve tespit edilebilirlik kriterlerine ilişkin uzman yargıları, üyelik, üye olmama ve kararsızlık derecelerini içerecek şekilde modellenmiş ve grup kararlarındaki belirsizlikler sezgisel bulanık mantıkla yönetilmiştir. Çalışma, klasik HTEA yöntemine esneklik ve doğruluk kazandırarak IFS tabanlı uygulamalar için literatüre katkı sunmaktadır [18].

Wang ve Sun (2012) ise Çin'deki enerji yönetim sözleşmeleri (Energy Management Contract - EMC) kapsamında yürütülen projelerde karşılaşılan risklerin değerlendirilmesi amacıyla IFS temelli bir model geliştirmiştir. Politika, finans, operasyonel süreçler, verimlilik ve piyasa koşulları gibi beş ana başlık altında toplanan risk faktörleri, AHP ile ağırlıklandırılmış; ardından IFS teorisi kullanılarak her projenin risk düzeyi nicel olarak analiz edilmiştir. Sezgisel bulanık karar matrisi, üç farklı EMC projesi üzerinde uygulanmış ve projelerin risk sıralamaları belirlenmiştir [19].

Chung ve arkadaşları (2024), geleneksel HTEA yöntemine AHP ve IFS teorisini entegre ederek, kimya laboratuvarlarında deney kaynaklı risklerin daha gerçekçi biçimde değerlendirilmesini sağlamıştır. “Hidrojel hazırlanması” deneyinde uygulanan yöntem, belirsizlikleri dikkate alarak risk önceliklendirmesini daha doğru şekilde yapabilmiş, klasik yöntemlerden daha başarılı sonuçlar vermiştir [20].

Kutlu Gündoğdu ve Kahraman (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, SFS çerçevesinde geliştirilen küresel AHP (SF-AHP) yöntemi kullanılarak yenilenebilir enerji kaynakları için en uygun lokasyon seçimi problemi ele alınmıştır. Uygulama sonuçlarına göre, SF-AHP yöntemi ile yapılan değerlendirmede birinci alternatif en uygun yenilenebilir enerji lokasyonu olarak belirlenmiştir [21].

Kutlu Gündoğdu ve Seyfi-Shishavan (2021), SFS kullanılarak gerçekleştirilen bütünsel bir risk değerlendirme yaklaşımı önermiştir. Çalışmada, tersane sektöründe iş sağlığı ve güvenliği kapsamında ortaya çıkan tehlikeler, küresel bulanık AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve küresel bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak risklerin öncelik sıralaması elde edilmiştir. Önerilen yaklaşımın, belirsizliğin yüksek olduğu risk değerlendirme problemlerinde, klasik yöntemlere kıyasla daha esnek ve gerçekçi sonuçlar sunduğunu gösterilmiştir [22].

Mahmoud ve Abdelhafeez (2023), doğal afetlerin tetiklediği endüstriyel kazalar için bütünsel bir risk değerlendirme modeli önermiştir. Çalışmada, doğal afetler ile endüstriyel tesisler arasındaki etkileşimden kaynaklanan çok boyutlu ve belirsizlik içeren risk yapısı ele alınmıştır. Önerilen modelde, risk faktörleri ve alt kriterler küresel bulanık sayılarla ifade edilmiş, ikili karşılaştırmalar SF-AHP çerçevesinde gerçekleştirilerek

kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Uygulama bölümünde belirlenen kriterler altında alternatif senaryolar sıralanmış ve tutarlı sonuçlar verdiği gösterilmiştir [23] .

2.5. Literatürdeki Boşluk ve Çalışmanın Katkısı

Risk yönetimi üzerine yapılan araştırmalar incelendiğinde, geleneksel ÇKKV yöntemlerinin literatürde oldukça baskın olduğu görülür. Ancak bu klasik yaklaşımlar, karar vericilerin öznel yargılarını ve risk faktörlerindeki belirsizlikleri tam anlamıyla sayısal veriye dönüştürmekte çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Bu açığı kapatmak adına literatürde, özellikle HTEA gibi yöntemlerin IFS ile desteklendiği hibrit modellere sıklıkla rastlanmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi, IFS tabanlı çalışmalar, üyelik ve üye olmama derecelerini dikkate alarak belirsizliği modellemede önemli bir ilerleme sağlamış olsa da karar vericilerin "kararsızlık" veya "tarafsızlık" durumlarını bağımsız bir parametre olarak ele almada sınırlı kalmaktadır.

Bu noktada SFS, karar vericilere üyelik, üye olmama ve tereddüt derecelerini küresel bir uzayda bağımsız olarak tanımlama imkânı sunarak, belirsizliğin daha hassas modellenmesine olanak tanımaktadır. Ancak literatür taramasında, SFS tabanlı yaklaşımların büyük ölçüde tedarikçi seçimi, yer seçimi veya performans değerlendirme gibi seçim odaklı problemlerde yoğunlaştığı; risk yönetimi ve risk önceliklendirme alanındaki uygulamalarının sınırlı sayıda olduğu tespit edilmiştir. Mevcut çalışmaların önemli bir kısmında IFS ve SFS yaklaşımlarının genellikle ayrı ayrı ele alındığı görülmektedir. Bu bağlamda, her iki yapının aynı risk önceliklendirme problemi üzerinde karşılaştırmalı biçimde uygulandığı çalışmalara rastlamak güçtür.

Ayrıca literatürde uzman görüşlerinin bütünleştirilmesi, kriter ağırlıklarının objektif yöntemlerle belirlenmesi ve nihai risk sıralamasının çok aşamalı bir yapı içerisinde değerlendirilmesini birlikte ele alan bütünleşik modellerin sayısının da sınırlı olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle entropi temelli objektif ağırlıklandırma ile bulanık karar ortamlarının birlikte kullanıldığı ve sonuçların farklı bulanık yapı türleri açısından karşılaştırıldığı çalışmaların yeterli düzeyde olmadığı dikkat çekmektedir.

Bu çalışma, literatürde tanımlanan boşlukları gidermeye yönelik bütünleşik bir model önerisi sunmaktadır. Risk yönetimi literatüründe, farklı bulanık yapıların aynı problem

zerinde sistematik ve karşılaştırmalı biçimde ele alınmasına yönelik çalışmaların sınırlı olması, bu alanda daha kapsamlı ve analitik karşılaştırmaların gerekliliğini göstermektedir. Özellikle uzman yargılarının birleştirilmesi ve kriter ağırlıklarının objektif değerlendirme yaklaşımlarıyla desteklenmesi, risk nceliklendirme sonuçlarının tutarlılığı ve güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, farklı bulanık modelleme yaklaşımlarının aynı karar ortamında değerlendirilmesi literatüre önemli bir metodolojik katkı sunma potansiyeli taşımaktadır.

3. METODOLOJİ

3.1. Araştırma Yaklaşımı ve Genel Süreç

Bu çalışmada, klasik HTEA yönteminin karar verici bağımlılığı, kriterlerin eşit ağırlıklı kabul edilmesi ve belirsizliği yeterince temsil edememesi gibi eksikliklerini gidermek amacıyla IFS ve SFS temelli bütünleşik bir karar verme yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu kapsamda, uzman değerlendirmelerinde kullanılan dilsel ifadeler, tereddütler ve belirsizlikler matematiksel olarak modellenerek karar sürecine dâhil edilmiştir.

Çalışmada, uzman görüşleri öncelikle IFN ve SFN'e dönüştürülmüş; bu bulanık değerlendirmelerin analiz edilebilir ve karşılaştırılabilir hale gelmesinde skor fonksiyonu temel yaklaşım olarak kullanılmıştır. Belirsizlik düzeyinin karar sonuçlarına etkisini daha iyi temsil edebilmek amacıyla entropi tabanlı yöntem analize dâhil edilmiş; ayrıca risklerin göreceli önceliklerini ideal ve anti-ideal çözümlerle karşılaştırmalı biçimde ortaya koymak üzere MARCOS yöntemi uygulanmıştır.

Bununla birlikte, uzmanlar arası güven ilişkileri dikkate alınarak her uzmana farklı düzeyde ağırlık verilmiş ve karar süreci daha dengeli bir yapıya kavuşturulmuştur. Çalışma, risklerin tanımlanmasından başlayarak, uzmanlardan alınan değerlendirmelerin IFN ve SFN'e dönüştürülmesi, IFWA, SWAM operatörüyle birleştirilmesi ve entropi, MARCOS vs. yöntemleri ile nihai sıralamaların gerçekleştirilmesine kadar olan süreci kapsamaktadır.

3.2. Bulanık Kümeler

Gerçek hayat problemlerinde karşılaşılan sorunların hepsinin somut ya da sayısal bir cevabı bulunmamaktadır. Günlük hayatta kesin (ya hep ya hiç) olarak tanımlayamadığımız insan görüşlerine dayalı cevaplar için dilsel, değerlere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu değerleri tanımlamak için bulanık mantık özellikle belirsiz, yoruma açık ya da sınırları net olmayan kavramları ifade etmede kullanılır. Bulanık küme teorisi ilk kez 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır [24].

Günlük yaşamda sıkça karşılaşılan "biraz", "çok", "yüksek", "düşük" gibi kesin sınırları olmayan kavramların matematiksel olarak değerlendirilmesinde bulanık mantıktan sıkça faydalanılmaktadır. Başta mühendislik, yapay zekâ, tıp, tarım, ekonomi ve sosyal bilimlerdeki belirsizliklerin modellenmesinde özellikle uzman görüşlerine dayalı karar verme süreçlerinde bulanık mantık ideal bir araç haline gelmiştir [25, 26].

Klasik mantık yaklaşımında bir varlık bir kümenin “elemanı (1)” ya da “elemanı değil (0)” olarak ifade edilmektedir. Bulanık kümelerde ise bir varlığın kümeye aitliği üyelik derecesi ile belirlenir ve bu değer $[0,1]$ arasındadır.

X boş olmayan bir küme olsun. X 'deki bir bulanık A kümesi için;

$$\forall x \in X \text{ için } \mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

burada $\mu_A(x)$, üyelik fonksiyonudur ve x elemanının A kümesine ait olma derecesini göstermektedir.

3.3. Sezgisel Bulanık Kümeler

Bulanık küme teorisi, belirsizliklerin modellenmesinde önemli bir araç olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak bu teori, yalnızca bir elemanın bir kümeye üyelik derecesini (μ) dikkate almakta; üye olmama (ν) ya da kararsızlık (π) gibi daha karmaşık bilişsel süreçleri modelleyememektedir. Oysa gerçek yaşamda karar vericiler yalnızca “ait” ya da “ait değil” yargısında bulunmaz; çoğu zaman kararsızlık ve tereddüt de yaşarlar. Bu bağlamda klasik bulanık kümeler, insan yargısını tam olarak yansıtmakta yetersiz kalabilmektedir. Bu eksikliği gidermek amacıyla, Atanassov (1986) tarafından IFS kavramı geliştirilmiştir [27].

IFS, klasik bulanık kümelere göre daha zengin bir yapıya sahiptir ve her bir öge için üç temel dereceyi tanımlar:

- **Üyelik derecesi ($\mu_A(x)$):** Öğenin kümeye aitlik derecesi (0 ile 1 arasında).
- **Üyelik olmama derecesi ($\nu_A(x)$):** Öğenin kümeye ait olmama derecesi (0 ile 1 arasında).

- **Tereddüt derecesi ($\pi_A(x)$):** Karar vericinin bu iki durum arasında kararsız kalma derecesi

Bu üçlü yapı şu matematiksel ilişki ile tanımlanır:

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) \quad (2)$$

Burada x herhangi bir evrensel küme elemanıdır ve şu koşul sağlanmalıdır:

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (3)$$

Tereddüt derecesi, üyelik ve üye olmama değerlerin birbirini tamamlayamadığı durumlarda ortaya çıkar. Yani karar verici bir öğenin bir kümeye ne kadar ait olup olmadığını net olarak belirleyemediğinde, bu belirsizlik açıkça tanımlanabilir hâle gelir. Bu özellik, geleneksel bulanık kümelerle göre daha fazla bilgi sunar. Bu tereddüt derecesi, x elemanı hakkında yapılan yorumların çeşitlenmesine olanak sağlar. Bu değer düşükse, x ile ilgili bilginin belirsizlik düzeyinin görece düşük olduğu; yüksekse, belirsizlik düzeyinin nispeten daha fazla olduğu söylenebilir. Böylece IFS, karar vericinin yargılarındaki kararsızlık ve çelişkiyi açıkça ifade edebilmesine olanak tanır. Örneğin bir uzman, bir riskin “yüksek” olma ihtimalini %60 olarak belirtirken, aynı riskin “yüksek olmama” durumunu %30 olarak verebilir; kalan %10’luk kısım ise uzman görüşündeki tereddütü temsil eder.

IFS, ÇKKV yöntemleri ile entegrasyonu belirsiz durum ve yargılarda daha net karar vermeye olanak sağladığı için sıklıkla kullanılmaktadır [28].

IFS, özellikle ÇKKV problemlerinde, tedarikçi seçimi, proje değerlendirme, kalite yönetimi ve finansal belirsizliklerin modellenmesi gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [29-31]. Bu yöntem, uzman görüşlerine dayanan sistemlerde farklı karar vericilerin belirsizlik düzeylerinin de hesaba katılmasını sağlar. Böylece daha insan merkezli, gerçekçi ve esnek karar modelleri geliştirilmiş olur.

3.4. Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Ortalama (IFWA-Intuitionistic Fuzzy Weighted Averaging) Operatörü

Karar verme süreçlerinde karşılaşılan belirsizliklerin ve karar verici tereddütlerinin modellenmesi amacıyla Atanassov'un IFS teorisi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, klasik bulanık küme yapısından farklı olarak, her bir öğeye hem üyelik (μ) hem de üye olmama (ν) derecesi atar ve bu sayede belirsizlik durumu ($\pi = 1 - \mu - \nu$) da açıkça tanımlanabilir. Bu tür yapılarda, karar matrisinin ve kriter ağırlıklarının IFN ile ifade edildiği ÇKKV problemlerinin çözümünde, IFWA yöntemi etkili bir toplama operatörüdür [32]. IFWA operatörü, bireylerin görüşlerini bütünleştirerek fikir birliği sağlamak amacıyla kullanılır.

$\alpha_i = (\mu_{\alpha_i}, \nu_{\alpha_i}, \pi_{\alpha_i})$, $i = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere bir dizi IFN tanımlansın ve IFWA : $S^n \rightarrow S$ olsun. O halde:

$$\begin{aligned} \text{IFWA}_{(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)} &= \omega_1 \alpha_1 + \omega_2 \alpha_2 + \dots + \omega_n \alpha_n \\ &= \left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\alpha_i})^{\omega_i}, \prod_{i=1}^n (\nu_{\alpha_i})^{\omega_i}, \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\alpha_i})^{\omega_i} - \prod_{i=1}^n (\nu_{\alpha_i})^{\omega_i} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

Yukarıdaki ifade, boyutu n olan bir IFWA operatörü olarak adlandırılır. Burada $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$, her bir α_i için ağırlık vektörünü ifade eder ve $\omega_i \in [0, 1]$, $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$ koşullarını sağlar.

3.5. Küresel Bulanık Kümeler

Klasik bulanık kümeler ve IFS, karar vericilerin üyelik, üye olmama ve kararsızlık derecelerini bağımsız ve esnek bir biçimde tanımlamasına her zaman olanak tanımaz. Bu sınırlılığı aşmak amacıyla Kutlu Gündoğdu ve Kahraman (2020) tarafından SFS kavramı geliştirilmiştir [21].

SFS'de IFS'den farklı olarak üçlü yapı $(\mu_A(x), \nu_A(x), \pi_A(x))$ şu matematiksel ilişki ile tanımlanır:

$$0 \leq \mu_A^2(x) + \nu_A^2(x) + \pi_A^2(x) \leq 1, \quad \forall x \in U \quad (5)$$

Burada x herhangi bir evrensel küme elemanıdır ve şu koşul sağlanmalıdır:

$$\mu_A(x) \in [0, 1], \quad v_A(x) \in [0, 1], \quad \pi_A(x) \in [0, 1] \quad (6)$$

IFS’de bir riskin üyelik ve üye olmama dereceleri belirlendiğinde kararsızlık derecesi zorunlu olarak bu iki değerin tamamlayıcısı olarak tanımlanır. SFS’de ise üyelik, üye olmama ve kararsızlık dereceleri birbirinden bağımsız olarak tanımlanabilmektedir. Örneğin bir uzman, bir riskin “yüksek” olma derecesini %60, “yüksek olmama” derecesini %30 ve bu değerlendirmeye ilişkin kararsızlık düzeyini %40 olarak belirtebilir. SFS gerçek hayat problemlerinde karar vericilerin yaşadığı belirsizlik, tereddüt ve tarafsızlık durumlarını üç boyutlu bir uzayda, daha geniş bir tanım kümesiyle ifade etmeye olanak sağlar. IFS ve SFS yöntemlerine yönelik karşılaştırma Çizelge 3.1’de yer almaktadır.

Çizelge 3.1. IFS ve SFS Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Özellik	IFS	SFS
Bileşenler	μ, v, π	μ, v, π
Kısıt	$\pi = 1 - \mu - v -$ $0 \leq \mu + v \leq 1$	$\mu^2 + v^2 + \pi^2 \leq 1$
Kararsızlık Yapısı	Türetilmiş (bağımlı)	Bağımsız (doğrudan atanabilir)
Tanım Alanı	Sınırlı doğrusal uzay	Geniş üç boyutlu küresel uzay
Esneklik	Düşük	Yüksek
Belirsizlik Temsili	Orta düzey	Daha yüksek düzey
Karar Verme Odaklılık	Görece daha basit ve düşük belirsizlik içeren problemler	Karmaşık, çok kriterli ve öznel veriler
Uzman Görüşü Uyumu	Sınırlı (kararsızlık bağımlı olduğundan)	Daha gerçekçi ve güçlü
Ayrım Gücü	Orta	Daha yüksek

3.6. Küresel Bulanık Ağırlıklı Ortalama (SWAM-Spherical Weighted Arithmetic Mean) Operatörü

SFS kullanılarak elde edilen uzman değerlendirmelerinin tek bir SFN'e indirgenebilmesi amacıyla, SWAM operatörü tanımlanmıştır. SWAM operatörü, $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$; $\omega_i \in [0,1]$; $\sum_{i=1}^n \omega_i$ koşulunu sağlayan ağırlık vektörü altında $\tilde{A}_S = (\mu_{\tilde{A}_S}, v_{\tilde{A}_S}, \pi_{\tilde{A}_S})$ olmak üzere tanımlanmaktadır.

$$\begin{aligned} \text{SWAM}_{\omega}(\tilde{A}_{S1}, \dots, \tilde{A}_{Sn}) &= \omega_1 \tilde{A}_{S1} + \omega_2 \tilde{A}_{S2} + \dots + \omega_n \tilde{A}_{Sn} \\ &= \left\{ \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{Si}}^2)^{\omega_i} \right]^{\frac{1}{2}}, \prod_{i=1}^n v_{\tilde{A}_{Si}}^{\omega_i}, \left[\prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{Si}}^2)^{\omega_i} - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{Si}}^2 - \pi_{\tilde{A}_{Si}}^2)^{\omega_i} \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (7) \end{aligned}$$

3.7. Karar Bileşenlerinin Ağırlıklandırılması

Risk önceliklendirme problemlerinde, hem değerlendirme kriterlerinin hem de karar vericilerin katkı düzeylerinin eşit olmadığı kabul edilmektedir. Bu nedenle, daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar elde edebilmek için karar bileşenlerinin ağırlıklandırılması gerekmektedir.

3.7.1. AHP ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Karar verme süreçlerinde bireyler, sahip oldukları farklı bakış açıları ve değerlendirme ölçütleri nedeniyle aynı problem karşısında farklı yargılara ulaşabilmektedir. Bu yargılar, karar sürecinin etkinliğini ve verimliliğini doğrudan etkileyen önemli unsurlardır. Özellikle bir karar probleminde birden fazla kriterin ve alternatifin bulunması durumunda, kişilerin öncelikleri birbirinden ayrışabilmektedir. Bu tür karmaşık karar problemlerinin sistematik ve tutarlı bir şekilde ele alınabilmesi için AHP sıklıkla kullanılır. AHP, ilk olarak Saaty (2012) tarafından geliştirilmiş olup, karmaşık karar problemlerini hiyerarşik bir yapı içerisinde ele alarak kriterler arasındaki göreceli önem ilişkilerinin ikili karşılaştırmalar yoluyla değerlendirilmesine olanak tanımaktadır [33]. Yöntemin temel avantajı, karar vericilerin sezgisel yargılarını sayısal değerlere dönüştürerek karar sürecine dâhil edebilmesidir.

AHP genel olarak aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

Adım 1 - Karar Probleminin Tanımlanması ve Hiyerarşinin Kurulması: AHP’de birinci aşama olarak karar probleminin amacı belirlenir. Ardından amacı etkileyen faktörler belirlenir [34].

Adım 2 - Faktörler Arası Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması: AHP’nin ikinci aşamasında, karar probleminde yer alan kriterlerin birbirlerine göre göreceli önem düzeyleri, ikili karşılaştırmalar yoluyla belirlenmektedir. AHP yönteminde, kriterler arasındaki karşılaştırmalar Çizelge 3.2’de verilen ve Saaty (2012) tarafından önerilen 1–9 ölçeği kullanılarak yapılmaktadır. Bu ölçek, bir kriterin diğerine göre eşit, daha az, daha fazla veya aşırı derecede önemli olma durumlarını nicel olarak ifade etmeye olanak tanımaktadır [33].

Çizelge 3.2. Saaty 1-9 Ölçeği [33]

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit önemli
3	Birinin diğerine göre çok az önemli olması
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Aşırı derecede önemli
2,4,6,8	Ara değerler

Kriterler arasındaki ikili karşılaştırmalar sonucunda, $n \times n$ boyutunda bir karşılaştırma matrisi $A = [a_{ij}]$ oluşturulmaktadır.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

A matrisinde, a_{ij} elemanı, i. kriterin, j. kritere göre göreceli önemini göstermektedir. Bir kriterin kendisiyle karşılaştırılması durumunda matrisin köşegen elemanları 1 değerini almakta olup, karşılıklılık özelliği gereği aşağıdaki ilişki sağlanmaktadır:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (9)$$

Bu yapı sayesinde, kriterler arasındaki göreceli önem ilişkileri tutarlı ve sistematik bir biçimde modele dâhil edilmektedir.

Adım 3 - Öncelik (Ağırlık) Vektörünün Hesaplanması: İkili karşılaştırma matrisi kullanılarak kriterlerin göreceli önem düzeylerini belirlemek amacıyla öncelik vektörü elde edilir. Bu amaçla, öncelikle karşılaştırma matrisinin her bir sütunu kendi sütun toplamına bölünerek normalize edilir. Elde edilen normalize matrisin satır ortalamaları alınarak kriter ağırlıklarını temsil eden öncelik vektörü $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ hesaplanır. Bu vektör, her bir kriterin karar problemindeki göreceli önemini göstermektedir.

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (10)$$

Burada, t_{ij} normalize edilmiş karşılaştırma matrisinin elemanlarını göstermektedir.

Adım 4 - Tutarlılık Analizinin Yapılması: Karar vericilerin ikili karşılaştırmaların tutarlılığının kontrol edilmesi gerekmektedir. Saaty'ye (2012) göre; AHP'de kriterlerin öncelik sıraları, karşılaştırma matrisinin en büyük özdeğerine ($\lambda_{\max}$) karşılık gelen özvektör (v) kullanılarak belirlenmektedir. Bu nedenle, elde edilen öncelik vektörünün geçerliliği, tutarlılık analizi ile incelenmektedir [33].

AHP'de tutarlılığın ölçülmesinde tutarlılık oranı (Consistency Ratio - CR) hesaplanır. CR hesaplamasının temelinde faktör sayısı ve temel değer (λ) bulunmaktadır. λ hesaplanırken A ve W matrisleri çarpılarak D sütun vektörü elde edilir.

Değerlendirme faktörlerinin temel değeri (E), D ve W sütun vektörlerinin bölümünden elde edilmektedir. Bu değerlerin aritmetik ortalaması ise karşılaştırmaya ilişkin temel değeri ($\lambda_{\max}$) verir.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (11)$$

Elde edilen E_i değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak karşılaştırma matrisine ait maksimum özdeğer $\lambda_{\max}$ hesaplanır.

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad (12)$$

Maksimum özdeğer kullanılarak Tutarlılık Göstergesi (CI - Consistency Index) aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - 1}{n - 1} \quad (13)$$

Daha sonra ise, CI Göstergesi Çizelge 3.3'e yer alan Rassallık Göstergesine (RI - Random Consistency Index) oranlanarak CR hesaplanır. CR değeri 0.10'dan küçük ise karşılaştırmalar tutarlı iken, 0.10'dan büyük ise kararların yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini gösterir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (14)$$

Çizelge 3.3. Rassallık Göstergeleri (RI) [33]

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,45	1,56	1,57	1,59

AHP yönteminde ikili karşılaştırmaların tutarlılığının değerlendirilmesinde kullanılan RI değerleri, Saaty (2012) tarafından önerilen standart değerler esas alınarak tanımlanmaktadır [33].

3.7.2. Uzman Ağırlıklarının Belirlenmesi

Risk değerlendirme sürecinde karar vericilerin bilgi düzeyleri, deneyimleri ve sistemsellik bakış açıları birbirinden farklıdır. Bu nedenle, tüm uzmanların eşit ağırlığa sahip olduğu varsayımı gerçekçi sonuçlar vermeyebilir. Daha güvenilir ve tutarlı bir karar verme süreci için, uzmanların katkı düzeylerini yansıtan ağırlıkların belirlenmesi gereklidir.

Bu amaçla literatürde, uzmanların birbirlerine yönelik güven düzeylerini dikkate alan sezgisel bulanık mantık tabanlı yaklaşımlar önerilmektedir. Uzmanlar yalnızca kendi seviyeleriyle aynı veya alt seviyedeki uzmanları değerlendirir ve bu değerlendirmeler dilsel terimlerle (örneğin, “çok yüksek güven”, “orta güven”) yapılır. İlgili dilsel ifadeler IFN’e dönüştürülerek temsil edilir.

Her bir uzmanın aldığı değerlendirmeler IFWA operatörü ile birleştirilir ve bu birleşim sonucunda her uzman için tekil bir IFN elde edilir. Uzmanların nihai IFN değerleri sayısallaştırılarak (crisp) nihai ağırlık değerleri (δ) hesaplanır [18].

$$\delta_d = \frac{\mu_d + \pi_d \left(\frac{\mu_d}{\mu_d + v_d} \right)}{\sum_{k=1}^p \left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + v_k} \right) \right)} \quad (15)$$

Burada:

- μ_d : d’inci uzmanın üyelik (güven) derecesi,
- v_d : üye olmama derecesi (güvenmeme),
- π_k : kararsızlık (tereddüt) derecesi,
- p : toplam uzman sayısını göstermektedir.

SFS yaklaşımında ise kararsızlık derecesi üyelik ve üye olmama derecelerinden bağımsız olarak tanımlanabildiğinden, uzman yargıları daha esnek ve gerçekçi bir biçimde temsil edilebilmektedir. Bu kapsamda, her bir uzmanın aldığı değerlendirmeler SWAM operatörü ile birleştirilerek tekil bir SFN elde edilmektedir. Elde edilen küresel bulanık uzman değerlendirmeleri, küresel bulanık skor indeksi (SI) kullanılarak durulaştırılmakta ve normalize edilerek nihai uzman ağırlıkları hesaplanmaktadır [21].

$$S(\tilde{\omega}_j^s) = \sqrt{100 * \left[\left(3\mu_{\tilde{A}_s} - \frac{\pi_{\tilde{A}_s}}{2} \right)^2 - \left(\frac{v_{\tilde{A}_s}}{2} - \pi_{\tilde{A}_s} \right)^2 \right]} \quad (16)$$

$$\bar{\omega}_j^s = \frac{S(\tilde{\omega}_j^s)}{\sum_{j=1}^n S(\tilde{\omega}_j^s)} \quad (17)$$

Bu yöntemler ile, uzmanların deneyim, bilgi birikimi ve karşılıklı güven ilişkilerinden kaynaklanan farkları dikkate alınarak; karar verme süreci daha bütüncül, gerçekçi ve insan-merkezli bir yapıya kavuşturulur. Elde edilen uzman ağırlıkları, risk faktörlerinin O, S ve D gibi kriterler altında verilen sezgisel ve küresel bulanık değerlendirmelerin birleştirilmesinde kullanılmaktadır.

3.8. Risk Faktörü (RF) Değerlendirme Süreci

Risk analiz süreçlerinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olan HTEA, risklerin nicel olarak değerlendirilmesini sağlayan sistematik bir tekniktir. Bu yöntemde risk öncelik değeri (Risk Priority Number - RPN), üç ana bileşenin çarpımı ile hesaplanır:

$$RPN = O \times S \times D \quad (18)$$

Burada O (Occurrence), belirli bir hatanın veya riskin gerçekleşme olasılığını; S (Severity), bu hatanın veya riskin meydana gelmesi durumunda yaratacağı etki şiddetini; D (Detection) ise bu riskin tespit edilme olasılığını ifade etmektedir. Yani, riskin oluşma ihtimali yüksek, etkisi ciddi ve tespit edilmesi zorsa, RPN değeri yüksek olur ve bu riskin öncelikli olarak ele alınması gerekir [35].

3.9. IF-MARCOS Yöntemi ile Risk Önceliklendirme

Risklerin önceliklendirilmesi amacıyla ÇKKV yöntemlerinden biri olan MARCOS yöntemi, IFS ve SFS tabanlı değerlendirme çerçevesinde uygulanmıştır. MARCOS yöntemi, alternatiflerin ideal ve anti-ideal çözümlerle olan göreceli konumlarını esas alarak karar verme sürecinde daha bütüncül ve güvenilir sıralamalar yapılmasına olanak tanır.

Süreç genel olarak şu adımlardan oluşmaktadır:

Adım 1 - Alternatiflerin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi: Risk unsurları, belirlenen kriterler (O, S ve D) üzerinden uzmanlar tarafından dilsel ifadeler kullanılarak değerlendirilir. Bu dilsel ifadeler IFN ve SFN'e dönüştürülür.

Adım 2 - IFWA ve SWAM ile Uzman Görüşlerinin Bütünleştirilmesi: Birden fazla uzman tarafından yapılan değerlendirmeler, IFWA operatörü yardımıyla birleştirilerek tekil IFN'e dönüştürülür.

$$\tilde{P}_j = \left(1 - \prod_{d=1}^p (1 - \mu_{P_{jd}})^{\delta_d}, \prod_{d=1}^p (v_{P_{jd}})^{\delta_d}, (1 - \prod_{d=1}^p (1 - \mu_{P_{jd}})^{\delta_d} - \prod_{d=1}^p (v_{P_{jd}})^{\delta_d}) \right) \quad (19)$$

Aynı şekilde SFS yaklaşımında ise uzman tarafından yapılan değerlendirmeler, SWAM operatörü ile birleştirilerek tekil SFN'e dönüştürülür.

$$\begin{aligned} & \text{SWAM}_{\omega}(\tilde{A}_{S1}, \dots, \tilde{A}_{Sn}) \\ &= \left\{ \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{Si}}^2)^{\omega_i} \right]^{\frac{1}{2}}, \prod_{i=1}^n v_{\tilde{A}_{Si}}^{\omega_i}, \left[\prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{Si}}^2)^{\omega_i} - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{Si}}^2 - \pi_{\tilde{A}_{Si}}^2)^{\omega_i} \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (20) \end{aligned}$$

Burada, μ : bağlılık derecesi, v : karşıtlık derecesi, π : tereddüt derecesidir. IFN'de δ ve SFN'de ise ω uzmana ait güven ağırlığıdır.

Adım 3 - Yakınlık Katsayısının (CC) Hesaplanması: Elde edilen her IFN ve SFN, pozitif ($\tau^+ = (1,0,0)$) ve negatif ($\tau^- = (0,1,0)$) ideal çözüm noktalarına olan sezgisel Öklid uzaklıkları ile değerlendirilir.

$$\varphi_j^+ = \sqrt{(\mu_{P_j} - 1)^2 + (v_{P_j} - 0)^2 + (\pi_{P_j} - 0)^2} \quad (21)$$

$$\varphi_j^- = \sqrt{(\mu_{P_j} - 0)^2 + (v_{P_j} - 1)^2 + (\pi_{P_j} - 0)^2} \quad (22)$$

Ardından her alternatif için yakınlık katsayısı hesaplanır:

$$CC_j = \frac{\varphi_j^-}{(\varphi_j^- + \varphi_j^+)} \quad (23)$$

Adım 4 - İdeal ve Anti-İdeal Çözümlerin Belirlenmesi: Elde edilen CC karar matrisi üzerinden her kriter için ideal (ID) ve anti-ideal (AID) değerler belirlenir.

Fayda (benefit) kriterleri için:

- $ID = \max X_{ij}$
- $AID = \min X_{ij}$

Maliyet (cost) kriterleri için:

- $ID = \min X_{ij}$
- $AID = \max X_{ij}$

Adım 5 - Normalizasyon İşlemi: Karar matrisi aşağıdaki şekilde normalize edilir.

Fayda kriteri için:

$$\varsigma_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{ID}} \quad (24)$$

Maliyet kriteri için:

$$\varsigma_{ij} = \frac{x_{ID}}{x_{ij}} \quad (25)$$

Adım 6 - Ağırlıklı Normalize Matrisin Hesaplanması: Normalize edilen değerler, kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı normalize matris elde edilir.

$$\vartheta_{ij} = \varsigma_{ij} \cdot \omega_j \quad (26)$$

Burada ω_j , AHP ile elde edilen kriter ağırlıklarıdır.

Adım 7 - Toplam Skorların Hesaplanması: Her alternatif için toplam skor aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$S_i = \sum \vartheta_{ij} \quad (27)$$

Adım 8 - Fayda Derecelerinin Hesaplanması: Alternatiflerin ideal ve anti-ideal çözümlere göre göreceli performansları aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{AID}} \quad (28)$$

$$K_i^+ = \frac{S_i}{S_{AD}} \quad (29)$$

Adım 9 - Nihai Fayda Fonksiyonunun Hesaplanması: İdeal çözümün ($f(K_i^+)$) ve anti-ideal çözümün ($f(K_i^-)$) fayda fonksiyonları ile alternatiflerin fayda fonksiyonu ($f(K_i)$) hesaplanır. Alternatifler, fayda fonksiyonu değerlerine göre sıralanır.

$$f(K_i^+) = \frac{K_i^-}{K_i^- + K_i^+} \quad (30)$$

$$f(K_i^-) = \frac{K_i^+}{K_i^- + K_i^+} \quad (31)$$

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{1 - f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{1 - f(K_i^-)}{f(K_i^-)}} \quad (32)$$

Fayda fonksiyonu 1'e yaklaştıkça alternatifin ideal çözüme daha yakın olduğu, yani daha öncelikli olduğu kabul edilir. Ancak HTEA gibi risk önceliklendirme çalışmalarında genellikle en düşük fayda fonksiyonu değerine sahip olan risk unsuru daha kritik olarak kabul edilir.

Sonuç olarak, IF-MARCOS yöntemi karar verici ağırlıklarını ve belirsizlikleri dikkate alarak, risklerin çok kriterli ve bulanık ortamlarda daha tutarlı ve güvenilir biçimde önceliklendirilmesini mümkün kılmaktadır.

3.10. Entropi Tabanlı Yöntem ile Risk Önceliklendirme

ÇKKV süreçlerinde entropi yöntemi, her bir risk unsuruna ilişkin üyelik, üye olmama ve tereddüt derecelerinin dağılımını dikkate alarak değerlendirmelerin içerdiği belirsizlik düzeyini nicel olarak ölçmektedir.

Bu kapsamda, IFWA operatörleri kullanılarak elde edilen tekil IFN değerleri için entropi değerleri hesaplanarak alternatiflere ait durulaştırılmış skorlar elde edilmektedir.

$$E(A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\min(\mu_A(x_i), v_A(x_i)) + \pi_A(x_i)}{\max(\mu_A(x_i), v_A(x_i)) + \pi_A(x_i)} \quad (33)$$

$A \in \text{IFS}(X)$

SWAM operatörü kullanılarak elde edilen tekil SFN değerleri için ise, küresel bulanık kümelerde belirsizliği ölçmeye yönelik olarak Aydoğdu (2022) tarafından önerilen ve benzerlik ölçüsüne dayalı küresel bulanık entropi fonksiyonu kullanılmıştır [36].

$$E(A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{2 \min(\mu_A^2(x_i), v_A^2(x_i)) + \pi_A^2(x_i)}{2 \max(\mu_A^2(x_i), v_A^2(x_i)) + \pi_A^2(x_i)} \quad (34)$$

$A \in \text{SFS}(X)$

Literatürde yaygın olarak kullanılan Entropi, TOPSIS ve IF-MARCOS yöntemlerinin temel amaçları, veri işleme yaklaşımları ve karar verme mekanizmaları arasındaki farklılıklar Çizelge 3.4'te özetlenmiştir.

Çizelge 3.4. Entropi, TOPSIS ve IF-MARCOS Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Özellik	Entropi	TOPSIS	IF-MARCOS
Temel Amacı	Ağırlıklandırma: Her bir kriterin önem derecesini belirler.	Sıralama: En iyi alternatifi ideal çözüme yakınlığa göre belirler.	Sıralama: Alternatifleri fayda fonksiyonuna göre sıralar.
Veri Yaklaşımı	Veri içerisindeki değişkenliği analiz ederek farklılığı yüksek kriterlere daha fazla ağırlık verir.	İdeal ve negatif-ideal çözümlere olan geometrik uzaklıkları temel alır.	İdeal ve anti-ideal çözümlere göre alternatiflerin fayda derecelerini hesaplar.
Öznellik Durumu	Objektif: Matematiksel veri dağılımına dayanır, uzman etkisini azaltır.	Yarı-objektif: Normalize edilmiş verilere ve ağırlıklara bağlıdır.	Uzlaşmacı: Çelişen kriterler arasında denge kurar.

Çizelge 3.4. Entropi, TOPSIS ve IF-MARCOS Yöntemlerinin Karşılaştırılması
(Devamı)

Özellik	Entropi	TOPSIS	IF-MARCOS
Temel Kavram	Bilgi entropisi (belirsizlik ölçümü)	İdeal çözüme yakınlık prensibi.	Fayda fonksiyonu
Sıra Kayması (Rank Reversal) Direnci	Sıralama yapmadığı için doğrudan ilgili değildir.	Düşük: Sisteme yeni bir alternatif eklendiğinde veya çıkarıldığında mevcut sıralama kolayca bozulabilir.	Yüksek: Fayda fonksiyonları kullanıldığı için sıralama kararlılığı çok daha güçlüdür.

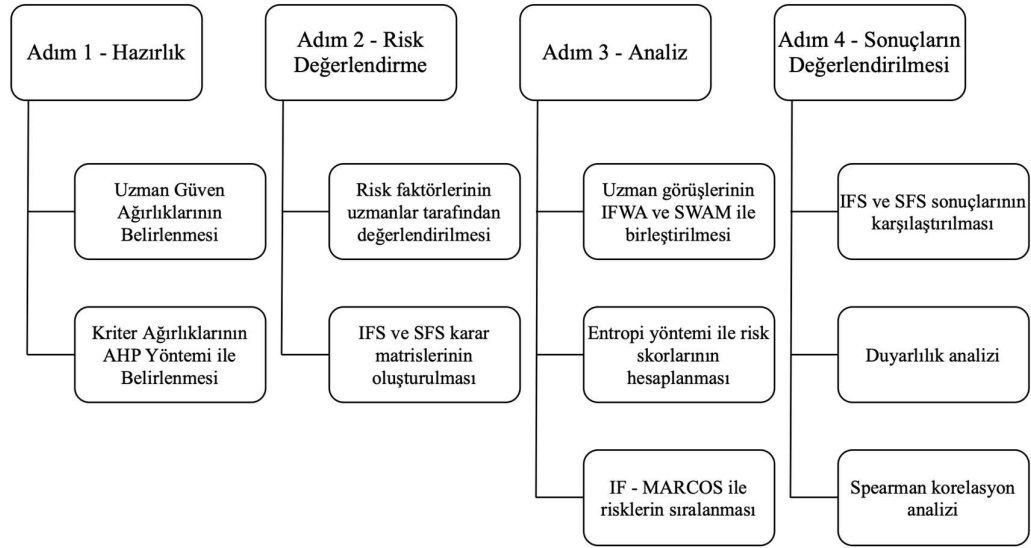
Çizelge 3.4'te belirtildiği üzere, IF-MARCOS yönteminin en önemli metodolojik avantajlarından biri 'sıra kayması' (rank reversal) problemine karşı gösterdiği yüksek dirençtir. TOPSIS gibi yöntemlerde ideal çözümlere olan uzaklıklar veri setindeki anlık maksimum ve minimum değerler üzerinden hesaplandığı için, alternatif kümesine yeni bir elemanın eklenmesi veya çıkarılması mevcut sıralamayı kolayca bozabilmektedir. Buna karşın IF-MARCOS, alternatiflerin performanslarını ideal ve anti-ideal çözümlere oranlayarak yapısal bir fayda fonksiyonu (utility function) oluşturur. Bu oransal yaklaşım, veri setinde değişiklik olsa dahi mevcut riskler arasındaki fayda dengesinin korunmasını sağlar.

4. PROJELERDE RİSK ÖNCELİKLENDİRME MODELİNİN UYGULANMASI

Büyük ölçekli firmalarda projelerin takvim, maliyet ve iş gücü planına sadık kalınarak yürütülmesi, kurumsal performansın sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle karmaşık ve çok paydaşlı projelerde ortaya çıkabilecek belirsizlikler, gecikmeler ve kaynak sapmaları, organizasyonel hedeflerin gerçekleşmesini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle risk yönetimi uygulamaları, yalnızca olası tehditlerin belirlenmesi değil, aynı zamanda bu tehditlerin sistematik biçimde analiz edilmesi ve uygun kontrol stratejilerinin geliştirilmesi açısından vazgeçilmez bir yönetim aracı haline gelmiştir.

Başarılı bir risk yönetimi programı, kuruluşun karşı karşıya olduğu potansiyel riskleri bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmesine olanak tanır. Risklerin erken aşamada analiz edilmesi, karar vericilerin önleyici tedbirler almasını kolaylaştırarak beklenmedik zararları en aza indirir. Bu sayede, işletmeler sürdürülebilirliğini, dayanıklılığını ve çevikliğini desteklemiş olur.

Özellikle belirsizliğin yüksek olduğu proje ortamlarında, risklerin doğru önceliklendirilmesi karar vericiler açısından stratejik bir önem taşımaktadır. Bu bağlamda, risk değerlendirme sürecinin sistematik, analitik ve belirsizliği dikkate alan yöntemlerle desteklenmesi gerekmektedir. Problem belirlenip risk faktörleri üzerinde anlaşıldıktan sonra uygulama adımları Şekil 4.1’de sunulmaktadır.



Şekil 4.1. Önerilen Metodolojik Yaklaşımın Aşamaları

4.1. Problem Tanımı ve Risk Faktörlerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada önerilen IFS ve SFS tabanlı HTEA yaklaşımı, Ankara’da faaliyet gösteren bir savunma sanayi şirketinin Program Yönetimi Departmanında uygulanmıştır. İncelenen kurum, orta ve büyük ölçekli projeler yürütmekte olup projelerin takvim, maliyet ve performans hedeflerine uygun biçimde ilerlemesini sağlamak amacıyla kurumsal bir risk yönetim sistemi kullanmaktadır.

Ancak mevcut risk analiz yapısının, riskleri izleme ve raporlama odaklı bir araç olarak kullanıldığı; risklerin göreceli önem düzeylerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi noktasında karar destek kapasitesinin sınırlı kaldığı gözlemlenmiştir. Bu kapsamda çalışma, mevcut risk analiz sisteminin iyileştirilmesini ve daha hassas, karşılaştırılabilir ve karar odaklı bir risk önceliklendirme yapısının oluşturulmasını amaçlamaktadır.

Önerilen yaklaşım ile risklerin daha sistematik ve belirsizliği dikkate alan bir çerçevede değerlendirilmesi hedeflenmiş; böylece risk analiz sürecinin yalnızca bir izleme mekanizması olmaktan çıkarılarak stratejik karar alma süreçlerine katkı sağlayan bütünlük bir karar destek yapısına dönüştürülmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında, projelerde aktif görev alan uzmanlar ile görüşmeler gerçekleştirilmiş ve firmanın mevcut risk izleme sisteminde yer alan risk faktörleri ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Bunun yanı sıra, uzmanların deneyim ve saha gözlemlerine dayalı olarak mevcut risk havuzuna yeni risk unsurları eklenmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda toplam 20 adet risk faktörü tanımlanmıştır.

Belirlenen riskler; takvim, maliyet, kaynak, tedarik, idari, tasarım, üretim ve teknik risk kategorileri altında sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma, risklerin proje yaşam döngüsündeki etkilerinin sistematik biçimde analiz edilebilmesini amaçlamakta ve risklerin proje süreçleri üzerindeki etkilerinin bütüncül ve karşılaştırılabilir biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Firma bünyesinde kullanılan mevcut risk değerlendirme sistemi, riskleri O, S ve D kriterleri çerçevesinde değerlendirmektedir. Ancak bu yaklaşım, uzman yargılarındaki belirsizlik, kararsızlık ve tereddüt durumlarını doğrudan modele yansıtamamaktadır. Özellikle nitel değerlendirmelerin sayısallaştırılması sürecinde oluşan bilgi kaybı, risk önceliklendirme sonuçlarının hassasiyetini azaltabilmektedir.

Çizelge 4.1’de yer alan risk faktörleri, uzman değerlendirmeleri doğrultusunda O, S ve D değerlendirmeleri kapsamında analiz edilmiştir. Her bir risk faktörü, proje performansı üzerindeki potansiyel etkisi dikkate alınarak uzmanlar tarafından ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.1. Risk Alanları ve Belirlenen Risk Tanımları

Risk No	Risk Tanımı	Risk Alanı
Risk - 1	Proje içerisinde sözleşmede yer almayan ilave müşteri taleplerinin proje takvimine yansıtılmaması	TAKVİM
Risk - 2	Proje ana aşamalarının gecikmesi veya erken tamamlanması	TAKVİM
Risk - 3	Bütçe aşımı, beklenmedik maliyet artışları	MALİ
Risk - 4	İhtiyaç duyulan insan gücü ve kaynaklarının iyi planlanamaması ve planlandığı şekilde tahsis edilememesi	KAYNAK
Risk - 5	Tasarım ve üretim alt yüklenicilerinin teknik personel / üretim altyapısı yetersizlikleri	KAYNAK
Risk - 6	Deneyimli personellerin iş değişikliği	KAYNAK

Çizelge 4.1. Risk Alanları ve Belirlenen Risk Tanımları (Devamı)

Risk No	Risk Tanımı	Risk Alanı
Risk - 7	Tedarikçiden malzemenin zamanında ve tanımlı kalite standartlarına uygun şekilde temin edilememesi	TEDARİK
Risk - 8	Elektronik ekipman, çip, komponentlerin vs. “artık mevcut olmaması”	TEDARİK
Risk - 9	İzne tabi malzemelerde izinlerin gecikmesi (İhracat izni, MSB izni vs.)	İDARİ
Risk - 10	Sözleşme kapsamının daralması veya değişmesi	İDARİ
Risk - 11	Tasarım çalışmalarında gecikme yaşanması	TASARIM
Risk - 12	Tasarım sürecinde üretilebilirliğin gözetilmemesi	TASARIM
Risk - 13	Tasarım fazında gereksinimlerin yanlış tanımlanması	TASARIM
Risk - 14	Hatalı üretim	ÜRETİM
Risk - 15	Üretim hattı yoğunluğu nedeniyle üretim takvimine uyulamaması	ÜRETİM
Risk - 16	Tasarım / üretim dokümantasyon eksikliği nedeniyle üretim aksamaması	ÜRETİM
Risk - 17	Zorlayıcı Sertifikasyon/Standart Beklentileri (Uyumsuzluk, Eksiklik vb.)	TEKNİK
Risk - 18	Yeni tasarım/üretim araçlarının kullanılması ihtiyacı	TEKNİK
Risk - 19	Ekipman / cihaz arızaları	TEKNİK
Risk - 20	Test Altyapısının/Ekipmanlarının yetersiz veya eksik olması	TEKNİK

4.2. Uzman Profili ve Değerlendirme Süreci

Uygulama kapsamında risk değerlendirme sürecinin daha kapsamlı ve çok boyutlu yürütülebilmesi amacıyla farklı deneyim düzeylerine ve pozisyonlara sahip uzmanlar ile çalışılmıştır. Uzman profili üç ana deneyim grubundan oluşmaktadır: 0-5 yıl arası deneyime sahip personel, 5-15 yıl arası deneyime sahip personel ve 15 yıl üzeri deneyime sahip personel. Bu sınıflandırma, uzmanların sektörel bilgi birikimi ve proje deneyimlerinin modele yansıtılabilmesi amacıyla yapılmıştır.

Bununla birlikte uzmanlar; direktör, müdür, proje yöneticisi, proje mühendisi ve sistem mühendisi pozisyonlarından seçilmiştir. Bu pozisyonların tercih edilmesinin temel nedeni, söz konusu personelin proje yürütme süreçlerinde aktif rol alması ve risk yönetim sistemini doğrudan kullanarak risk tanımlama ve izleme faaliyetlerinde sorumluluk

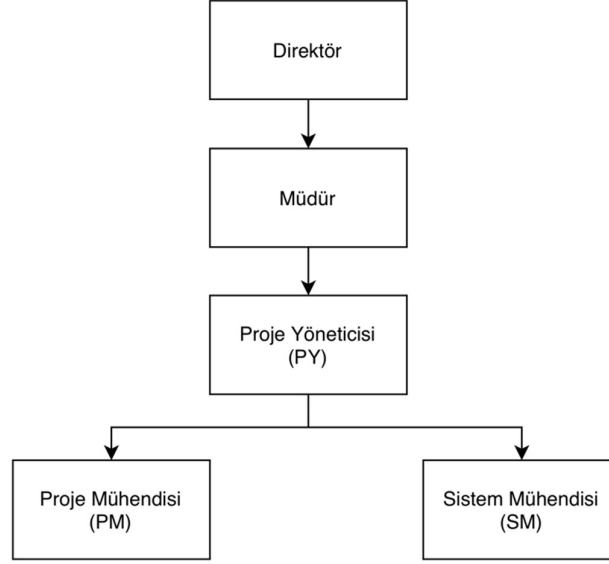
üstlenmesidir. Böylece risk değerlendirme sürecinde farklı hiyerarşik seviyelerin bakış açılarının modele dahil edilmesi sağlanmıştır.

Risk değerlendirme süreci, birden fazla karar vericinin görüşlerine dayalı olarak yürütülmüştür. Uzmanlardan risk faktörlerini O, S ve D kriterleri açısından değerlendirmeleri istenmiştir. Değerlendirme sürecinde sayısal puanlama yerine beş seviyeli dilsel ifadeler (çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek) kullanılmıştır. Bu yaklaşım, uzman yargılarındaki belirsizlik ve tereddüt durumlarının daha gerçekçi biçimde modele yansıtılmasını amaçlamaktadır.

Uzmanların hem güven düzeylerine ilişkin değerlendirmeleri hem de risk faktörlerine yönelik O, S ve D kriterlerindeki değerlendirmeleri, Boran ve arkadaşları (2009) tarafından önerilen ve literatürde yaygın olarak kullanılan beş seviyeli sezgisel bulanık ölçek temel alınarak IFN'e dönüştürülmüştür [37]. Aynı ölçek, çalışmada tutarlılığın sağlanması amacıyla SFN için de uyarlanmıştır. Böylece hem IFS hem de SFS ortamında karşılaştırılabilir bir değerlendirme yapısı oluşturulmuştur.

Elde edilen dilsel değerlendirmeler, IFS ve SFS çerçevesinde matematiksel sayı karşılıklarına dönüştürülerek analitik sürece dahil edilmiştir. Bu dönüşüm sayesinde risk değerlendirme süreci, klasik sayısal puanlama yaklaşımının ötesine taşınmış; uzman görüşlerindeki belirsizlik, tereddüt ve öznel farklılıkların matematiksel olarak modellenmesine olanak sağlanmıştır.

Şekil 4.2'de çalışmaya katılan uzmanların organizasyonel hiyerarşik yapısı sunulmaktadır. Bu yapı, risk değerlendirme sürecinde farklı yönetim seviyelerinin bakış açılarını temsil etmekte ve çok katmanlı karar ortamının modellenmesine katkı sağlamaktadır.



Şekil 4.2. Uzmanların Hiyerarşik Yapısı

Adım 1 - Uzman Güven Ağırlıklarının Belirlenmesi

Risk değerlendirme süreçlerinde tüm uzman görüşlerinin eşit ağırlıkta kabul edilmesi, organizasyonel hiyerarşi ve deneyim farklılıkları göz önüne alındığında analizin tutarlılığını zayıflatabilmektedir. Bu nedenle çalışmada, her bir uzmanın değerlendirme sürecindeki etki düzeyini doğru modelleyebilmek adına, uzmanlara özgü ağırlıklar belirlenmiştir.

Bu kapsamda, her karar vericiden organizasyonel hiyerarşi dikkate alınarak diğer uzmanlara yönelik bir güven değeri tanımlaması istenmiştir. Uzmanlar yalnızca kendileriyle aynı seviyede veya bir alt hiyerarşik seviyede bulunan uzmanları değerlendirmişlerdir. Örneğin müdür pozisyonundaki karar vericiler, diğer müdürler ile proje yöneticilerine ilişkin güven değeri atamış; proje yöneticileri ise kendi seviyelerindeki ve bir alt seviyedeki karar vericiyi değerlendirmiştir. Tüm değerlendirmeler anonim olarak toplanmış ve bireysel etkilerin minimize edilmesi hedeflenmiştir.

Güven değerlendirmeleri beş seviyeli dilsel ölçek kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bu ifadeler IFN'e dönüştürülmüştür. Hiyerarşik yapının en üstünde yer alan direktör pozisyonu için güven değeri, en yüksek dilsel ifade karşılığı olan ÇY (0.90, 0.05, 0.05)

şeklinde tanımlanmıştır. Çizelge 4.2’de, uzman değerlendirmelerinde kullanılan dilsel ifadeler ve bu ifadelere karşılık gelen IFN değerleri sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Dilsel Değerlendirme Ölçeği ve Karşılık Gelen IFN Değerleri

Dilsel İfade	Kısaltma	IFN
Çok Düşük	ÇD	(0.10, 0.85, 0.05)
Düşük	D	(0.25, 0.70, 0.05)
Orta	O	(0.50, 0.50, 0.00)
Yüksek	Y	(0.75, 0.20, 0.05)
Çok Yüksek	ÇY	(0.90, 0.05, 0.05)

Her bir uzmana ait çoklu IFN biçimindeki güven değerlendirmeleri, Denklem (4)’te tanımlanan IFWA operatörü kullanılarak birleştirilmiş ve her uzman için tekil bir IFN güven değeri elde edilmiştir.

Organizasyonel hiyerarşinin karar mekanizmasına etkisini modelleyebilmek adına, IFWA operatöründe kullanılan üstel katsayı (η), uzmanların hiyerarşideki konumları dikkate alınarak varsayımsal olarak belirlenmiştir. Bu sayede, üst yönetim kademesindeki uzmanların değerlendirmelerine daha yüksek bir ağırlık verilerek görüşlerin modele katkısının artırılması hedeflenmiştir. Belirlenen η katsayıları ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3’te sunulmuştur.

Süreç sonunda elde edilen IFN, standardizasyon sağlamak adına normalize edilerek Denklem (15)’te tanımlanan güven skoruna (δ_d) dönüştürülmüştür. Uzmanların göreceli önemini ifade eden bu net değerler, değerlendirmelerin ağırlıklandırılması aşamasında girdi olarak kullanılmıştır.

Bu kapsamda oluşturulan güven değerlendirme matrisi, uzmanların birbirlerine atadıkları dilsel güven ifadelerinin IFN biçimindeki karşılıklarını göstermektedir. Matriste her satır ilgili uzmanı, sütunlar ise değerlendirilen uzmanları temsil etmektedir. Hücrelerde yer alan değerler, ilgili uzmanın diğer uzmanlara yönelik güven düzeyini ifade eden IFN’den oluşmaktadır. Organizasyonel hiyerarşi kısıtı nedeniyle bazı hücreler boş bırakılmış olup bu durum, ilgili uzmanların yalnızca kendi seviyeleri veya bir alt seviyedeki uzmanları

değerlendirmesinden kaynaklanmaktadır. Elde edilen bu güven değerlendirme matrisi, IFWA operatörü aracılığıyla birleştirilerek her bir uzman için tekil IFN değeri elde edilmesinde kullanılmıştır. Söz konusu güven değerlendirme matrisinin örnek bir bölümü Çizelge 4.3'te ve tamamı Ek-2'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.3. IFN Uzman Güven Değerlendirmeleri (Örneklem)

Uzman	IFN Güven Değerleri						η
Direktör	-	-	-	.....	-	-	0.40
Müdür-1	(0.90, 0.05, 0.05)	(0.90, 0.05, 0.05)	(0.90, 0.05, 0.05)	.....	-	-	0.30
Müdür-2	(0.90, 0.05, 0.05)	(0.75,0.20,0.05)	(0.90, 0.05, 0.05)	.....	-	-	0.30
PY-1	-	(0.90, 0.05, 0.05)	(0.75,0.20,0.05)	.....	-	-	0.20
PY-2	-	(0.50,0.50,0.00)	(0.50,0.50,0.00)	.....	-	-	0.20
PY-3	-	(0.50,0.50,0.00)	(0.50,0.50,0.00)	.....	-	-	0.20
PY-4	-	(0.75,0.20,0.05)	(0.50,0.50,0.00)	.....	-	-	0.20
.....							
PM-6	-	-	-	.....	(0.50,0.50,0.00)	(0.50,0.50,0.00)	0.10
PM-7	-	-	-	.....	(0.50,0.50,0.00)	(0.50,0.50,0.00)	0.10
PM-8	-	-	-	.....	(0.75,0.20,0.05)	(0.75,0.20,0.05)	0.10
PM-9	-	-	-	.....	(0.50,0.50,0.00)	(0.50,0.50,0.00)	0.10
PM-10	-	-	-	.....	(0.50,0.50,0.00)	(0.50,0.50,0.00)	0.10
SM-1	-	-	-	.....	(0.75,0.20,0.05)	(0.50,0.50,0.00)	0.10
SM-2	-	-	-	.....	(0.50,0.50,0.00)	(0.50,0.50,0.00)	0.10

SFS yaklaşımı temel alınarak yürütülen değerlendirme sürecinde, Kutlu Gündoğdu ve Kahraman (2020) tarafından önerilen küresel bulanık ölçek esas alınarak dilsel ifadeler SFN'e dönüştürülmüştür [21]. Direktör pozisyonu için güven düzeyi, yine en yüksek dilsel ifade olan ÇY (0.80, 0.20, 0.10) ile ifade edilmiştir.

Her bir uzmanın diğer uzmanlardan aldığı çoklu küresel bulanık güven değerlendirmeleri, Denklem (7)'de SWAM operatörü kullanılarak birleştirilmiş ve her uzman için tekil bir SFN elde edilmiştir. Elde edilen SFN değerleri Denklem (17)'de verilen durulaştırma fonksiyonu aracılığıyla klasik (bulanık olmayan) sayısal forma dönüştürülmüş, ardından normalize edilerek her bir karar verici için nihai küresel bulanık uzman ağırlıkları $\bar{\omega}_j^s$ hesaplanmıştır.

Uzman değerlendirmelerinde kullanılan dilsel ifadeler ve bunlara karşılık gelen SFN değerleri Çizelge 4.4'te; elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te ve tamamı Ek-3'te sunulmuştur

Çizelge 4.4. Dilsel Değerlendirme Ölçeği ve Karşılık Gelen SFN Değerleri

Dilsel İfade	Kısaltma	SFN
Çok Düşük	ÇD	(0.20, 0.80, 0.10)
Düşük	D	(0.30, 0.70, 0.20)
Orta	O	(0.50, 0.40, 0.40)
Yüksek	Y	(0.70, 0.30, 0.20)
Çok Yüksek	ÇY	(0.80, 0.20, 0.10)

Çizelge 4.5. SFN Uzman Güven Değerlendirmeleri (Örneklem)

Uzman	SFN Güven Değerleri						η
Direktör	-	-	-	.....	-	-	0.40
Müdür-1	(0.80, 0.20, 0.10)	(0.80, 0.20, 0.10)	(0.80, 0.20, 0.10)	.....	-	-	0.30
Müdür-2	(0.80, 0.20, 0.1)	(0.70, 0.30, 0.20)	(0.80, 0.20, 0.10)	.....	-	-	0.30
PY-1	-	(0.80, 0.20, 0.10)	(0.70, 0.30, 0.20)	.....	-	-	0.20
PY-2	-	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.50, 0.40, 0.40)	.....	-	-	0.20
PY-3	-	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.50, 0.40, 0.40)	.....	-	-	0.20
PY-4	-	(0.70, 0.30, 0.20)	(0.50, 0.40, 0.40)	.....	-	-	0.20
.....							
PM-6	-	-	-	.....	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.50, 0.40, 0.40)	0.10
PM-7	-	-	-	.....	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.50, 0.40, 0.40)	0.10
PM-8	-	-	-	.....	(0.70, 0.30, 0.20)	(0.70, 0.30, 0.20)	0.10
PM-9	-	-	-	.....	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.50, 0.40, 0.40)	0.10
PM-10	-	-	-	.....	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.50, 0.40, 0.40)	0.10
SM-1	-	-	-	.....	(0.70, 0.30, 0.20)	(0.50, 0.40, 0.40)	0.10
SM-2	-	-	-	.....	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.50, 0.40, 0.40)	0.10

Her bir uzmana ait tekil IFN ve SFN değerleri ile bu değerlere dayanarak Denklem (15) ve Denklem (16)'da tanımlanan δ_d ve $\bar{\omega}_j^s$ değerleri sırasıyla Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.6. IFS Ortamında Hesaplanan Uzman δ_d Güven Değerleri

Uzman	μ	ν	π	δ_d
Direktör	0,9000	0,0500	0,0500	0,0922
Müdür-1	0,8005	0,1228	0,0767	0,0844
Müdür-2	0,7711	0,1512	0,0777	0,0814
PY-1	0,5977	0,3198	0,0826	0,0634
PY-2	0,3372	0,6430	0,0197	0,0335
PY-3	0,3605	0,6100	0,0295	0,0362
PY-4	0,4463	0,5019	0,0517	0,0458
PY-5	0,4913	0,4576	0,0512	0,0504
PY-6	0,4907	0,4464	0,0629	0,0510
PY-7	0,5566	0,3717	0,0717	0,0584
PY-8	0,5389	0,3878	0,0733	0,0566
PM-1	0,2586	0,7144	0,0270	0,0259
PM-2	0,3462	0,5924	0,0614	0,0359
PM-3	0,3701	0,5676	0,0623	0,0384
PM-4	0,3874	0,5473	0,0653	0,0403
PM-5	0,3476	0,6027	0,0497	0,0356
PM-6	0,2361	0,7303	0,0336	0,0238
PM-7	0,2350	0,7353	0,0297	0,0236
PM-8	0,3049	0,6582	0,0369	0,0308
PM-9	0,2077	0,7785	0,0138	0,0205
PM-10	0,2096	0,7700	0,0204	0,0208
SM-1	0,2352	0,7489	0,0159	0,0233
SM-2	0,2761	0,6915	0,0324	0,0278

Çizelge 4.7. SFS Ortamında Hesaplanan Uzman $\bar{\omega}_j^s$ Güven Değerleri

Uzman	μ	ν	π	$\bar{\omega}_j^s$
Direktör	0,8000	0,2000	0,1000	0,07895
Müdür-1	0,7148	0,3241	0,0977	0,07037
Müdür-2	0,6962	0,3445	0,1188	0,06815
PY-1	0,5818	0,4970	0,1488	0,05604
PY-2	0,4024	0,6213	0,2849	0,03576
PY-3	0,4196	0,6127	0,2743	0,03767
PY-4	0,4863	0,5768	0,2220	0,04523
PY-5	0,5281	0,5517	0,1777	0,05013
PY-6	0,5107	0,5499	0,2211	0,04772
PY-7	0,5618	0,5191	0,1572	0,05387
PY-8	0,5462	0,5325	0,1707	0,05208
PM-1	0,3536	0,7358	0,2071	0,03170
PM-2	0,4156	0,7036	0,1527	0,03875
PM-3	0,4360	0,6862	0,1442	0,04098
PM-4	0,4471	0,6736	0,1461	0,04212
PM-5	0,4259	0,6928	0,1549	0,03981
PM-6	0,3314	0,7631	0,1906	0,02951
PM-7	0,3293	0,7562	0,2068	0,02915
PM-8	0,3942	0,7117	0,1827	0,03620
PM-9	0,3063	0,7614	0,2284	0,02655
PM-10	0,3075	0,7668	0,2182	0,02676
SM-1	0,3363	0,7433	0,2195	0,02977
SM-2	0,3642	0,7233	0,2125	0,03276

Yapılan çalışmada IFWA ve SWAM operatörleri kullanılarak hesaplanan uzman ağırlıklarının, karar vericilerin değerlendirmelerindeki belirsizlikleri ve güven düzeylerini modele başarılı bir şekilde yansıttığı görülmüştür. Bununla birlikte, risk değerlendirme sürecinde yalnızca bu matematiksel güven parametrelerinin değil, uzmanların sektörel saha tecrübelerinin de bağımsız ve nesnel bir faktör olarak modele

entegre edilmesi çalışmanın kapsamı açısından önemli görülmüştür. Bu doğrultuda, karar vericilerin sektörel deneyimlerinin nihai sonuçlara etkisini inceleyebilmek amacıyla alternatif bir ağırlıklandırma yaklaşımı uygulanmıştır. Bu kapsamda her bir karar vericinin sektördeki toplam deneyim yılı dikkate alınmış ve karar vericiler deneyim düzeylerine göre üç gruba ayrılmıştır: 0–5 yıl, 5–15 yıl ile 15 yıl ve üzeri. Deneyime dayalı olarak belirlenen bu alternatif uzman ağırlıkları Çizelge 4.8’de sunulmuştur. Ayrıca, geliştirilen bu farklı ağırlık senaryolarının risk sıralamaları üzerindeki etkisini kıyaslamak amacıyla kapsamlı bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.8. Deneyim Düzeyine Göre Belirlenen Uzman Ağırlıkları

Grup	Deneyim	Ağırlık
Grup 1	0-5 yıl	0,167
Grup 2	5-15 yıl	0,333
Grup 3	+15 yıl (15 dahil)	0,500

Her bir karar vericinin modele bireysel etkisini yansıtmak amacıyla, Çizelge 4.8'deki grup ağırlıkları ilgili gruptaki uzman sayısına (sırasıyla 10, 5 ve 8) bölünerek normalize edilmiş ve elde edilen değerler Çizelge 4.9'da sunulmuştur.

Çizelge 4.9. Normalize Deneyim Düzeyine Göre Belirlenen Uzman Ağırlıkları

Grup	Deneyim	Ağırlık
Grup 1	0-5 yıl	0,0167
Grup 2	5-15 yıl	0,0666
Grup 3	+15 yıl (15 dahil)	0,0625

Adım 2 - Kriter Ağırlıklarının AHP Yöntemi ile Belirlenmesi

Bu çalışmada, risk değerlendirme sürecinde kullanılan O, S ve D kriterlerinin göreceli önem düzeyleri AHP ile belirlenmiştir. Bu kapsamda organizasyonel yapıyı temsil edebilecek şekilde farklı hiyerarşik seviyelerde görev yapan karar vericiler arasından bir uzman grubu seçilmiştir. Uzmanların belirlenmesinde, proje yönetimi süreçlerinde aktif rol alan ve risk yönetim uygulamalarını doğrudan kullanan kişiler tercih edilmiştir. Bu doğrultuda direktör, müdür ve proje yöneticisi seviyelerinde görev yapan uzmanlar değerlendirme sürecine dâhil edilmiştir. Böylece organizasyon içerisindeki stratejik, taktik ve

operasyonel düzeylerdeki risk algılarının kriter ağırlıklarına yansıtılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda üç farklı hiyerarşik seviyeyi temsil eden toplam altı uzman değerlendirme sürecine dâhil edilmiştir.

AHP kapsamında elde edilen karşılaştırma matrisi Çizelge 4.10'da yer almaktadır.

Çizelge 4.10. Uzmanlara ait S, O ve D Kriterleri için İkili Karşılaştırma Matrisleri

Direktör	O	S	D
O	1	1/3	3
S	3	1	5
D	1/3	1/5	1
Müdür-1	O	S	D
O	1	3	5
S	1/3	1	4
D	1/5	1/4	1
Müdür-2	O	S	D
O	1	1/7	1/3
S	7	1	5
D	3	1/5	1
PY-1	O	S	D
O	1	1/2	3
S	2	1	5
D	1/3	1/5	1
PY-4	O	S	D
O	1	1/3	4
S	3	1	6
D	1/4	1/6	1
PY-8	O	S	D
O	1	2	6
S	1/2	1	4
D	1/6	1/4	1

Elde edilen ikili karşılaştırma matrisi üzerinden kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra değerlendirmelerin tutarlılığı kontrol edilmiştir. Bu kapsamda Denklem (14)'te verilen CR hesaplanmış ve elde edilen değerin 0,10'dan küçük olması nedeniyle karşılaştırmaların kabul edilebilir tutarlılık düzeyinde olduğu belirlenmiştir.

Her bir karar vericiden elde edilen ikili karşılaştırma matrisleri daha sonra grup karar verme yaklaşımı çerçevesinde birleştirilmiştir. Literatürde bireysel yargıların birleştirilmesinde farklı istatistiksel yaklaşımlar kullanılabilmektedir [38]. Bu çalışmada, uzman değerlendirmeleri arasındaki olası uç değerlerin (outliers) analiz sonuçları üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla her bir ikili karşılaştırma için uzman görüşlerinin medyan değeri alınarak tek bir grup karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Çizelge 4.11'de verilen matris üzerinden kriterlerin göreceli önem ağırlıkları hesaplanmış ve analiz sürecinde kullanılmak üzere Çizelge 4.12'de yer alan nihai kriter ağırlıkları belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. O, S ve D Kriterleri için Grup İkili Karşılaştırma Matrisi

	O	S	D
O	1	1/3	4
S	3	1	5
D	1/4	1/5	1

Çizelge 4.12. O, S ve D Kriterleri için Nihai Kriter Ağırlıkları

Kriter	Kriter Ağırlığı (δ_d)
O	0,284
S	0,619
D	0,096

Adım 3 - Risk Faktörlerinin Uzmanlar Tarafından Değerlendirilmesi

Bu aşamada, uzmanlardan belirlenen her bir risk faktörünü O, S ve D kriterleri açısından değerlendirmeleri istenmiştir. Elde edilen değerlendirmeler, IFS ve SFS yaklaşımları kapsamında Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.4'te verilen ölçekler doğrultusunda sayısal karşılıklarına dönüştürülerek dilsel ifadeler IFN ve SFN karşılıkları kullanılarak risk faktörlerine ilişkin değerlendirmeler bulanık ortamda temsil edilmiştir. Çizelge 4.13 ve

Çizelge 4.14’de bir uzmana ait risk değerlendirmelerine ilişkin IFN ve SFN tabloları örnek olarak sunulmaktadır.

Çizelge 4.13. Risk Faktörleri için Uzman IFN Değerlendirme Matrisi

Değerlendiren	Risk No	δ_d	O			S			D		
			μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
Direktör	Risk - 1	0,0625	0,70	0,29	0,21	0,69	0,30	0,23	0,48	0,50	0,28
Direktör	Risk - 2	0,0625	0,71	0,28	0,20	0,71	0,29	0,19	0,64	0,36	0,24
Direktör	Risk - 3	0,0625	0,61	0,37	0,28	0,58	0,42	0,23	0,55	0,43	0,28
Direktör	Risk - 4	0,0625	0,67	0,30	0,26	0,72	0,28	0,21	0,68	0,30	0,24
Direktör	Risk - 5	0,0625	0,67	0,31	0,26	0,71	0,28	0,23	0,62	0,36	0,29
Direktör	Risk - 6	0,0625	0,61	0,37	0,29	0,73	0,26	0,19	0,54	0,50	0,19
Direktör	Risk - 7	0,0625	0,71	0,30	0,17	0,74	0,27	0,15	0,61	0,36	0,30
Direktör	Risk - 8	0,0625	0,61	0,36	0,29	0,69	0,31	0,22	0,62	0,36	0,28
Direktör	Risk - 9	0,0625	0,61	0,38	0,25	0,67	0,33	0,21	0,58	0,40	0,28
Direktör	Risk - 10	0,0625	0,58	0,37	0,34	0,64	0,35	0,26	0,57	0,40	0,29
Direktör	Risk - 11	0,0625	0,69	0,30	0,23	0,74	0,25	0,19	0,64	0,34	0,25
Direktör	Risk - 12	0,0625	0,54	0,43	0,29	0,70	0,31	0,16	0,57	0,40	0,30
Direktör	Risk - 13	0,0625	0,59	0,38	0,30	0,69	0,31	0,21	0,52	0,45	0,30
Direktör	Risk - 14	0,0625	0,56	0,39	0,32	0,61	0,40	0,21	0,50	0,45	0,34
Direktör	Risk - 15	0,0625	0,71	0,29	0,19	0,72	0,28	0,18	0,67	0,32	0,24
Direktör	Risk - 16	0,0625	0,52	0,45	0,29	0,61	0,38	0,26	0,62	0,35	0,30
Direktör	Risk - 17	0,0625	0,49	0,49	0,29	0,71	0,29	0,19	0,66	0,32	0,25
Direktör	Risk - 18	0,0625	0,44	0,55	0,26	0,54	0,46	0,26	0,62	0,38	0,24
Direktör	Risk - 19	0,0625	0,62	0,36	0,28	0,66	0,34	0,24	0,54	0,43	0,31
Direktör	Risk - 20	0,0625	0,62	0,35	0,30	0,74	0,26	0,18	0,69	0,30	0,23

Çizelge 4.14. Risk Faktörleri için Uzman SFN Değerlendirme Matrisi

Değerlendiren	Risk No	δ_d	O			S			D		
			μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
Direktör	Risk - 1	0,0625	0,71	0,29	0,20	0,71	0,28	0,21	0,55	0,44	0,28
Direktör	Risk - 2	0,0625	0,71	0,28	0,20	0,70	0,30	0,19	0,67	0,33	0,23
Direktör	Risk - 3	0,0625	0,62	0,36	0,27	0,59	0,42	0,23	0,55	0,43	0,29
Direktör	Risk - 4	0,0625	0,69	0,30	0,23	0,72	0,27	0,20	0,68	0,31	0,23
Direktör	Risk - 5	0,0625	0,68	0,30	0,25	0,72	0,27	0,20	0,63	0,34	0,27
Direktör	Risk - 6	0,0625	0,62	0,37	0,27	0,74	0,26	0,18	0,53	0,49	0,22
Direktör	Risk - 7	0,0625	0,73	0,28	0,17	0,75	0,26	0,15	0,62	0,35	0,30
Direktör	Risk - 8	0,0625	0,60	0,37	0,30	0,69	0,30	0,22	0,62	0,35	0,29
Direktör	Risk - 9	0,0625	0,62	0,38	0,25	0,69	0,31	0,21	0,60	0,39	0,26
Direktör	Risk - 10	0,0625	0,59	0,37	0,32	0,67	0,32	0,23	0,62	0,36	0,26
Direktör	Risk - 11	0,0625	0,70	0,29	0,22	0,75	0,25	0,17	0,63	0,35	0,27
Direktör	Risk - 12	0,0625	0,57	0,40	0,29	0,72	0,29	0,17	0,57	0,42	0,28
Direktör	Risk - 13	0,0625	0,56	0,40	0,32	0,69	0,30	0,22	0,54	0,44	0,30
Direktör	Risk - 14	0,0625	0,59	0,39	0,29	0,64	0,37	0,20	0,50	0,45	0,33
Direktör	Risk - 15	0,0625	0,71	0,28	0,20	0,74	0,26	0,17	0,70	0,29	0,21
Direktör	Risk - 16	0,0625	0,53	0,45	0,29	0,70	0,30	0,20	0,50	0,40	0,40
Direktör	Risk - 17	0,0625	0,48	0,49	0,31	0,50	0,40	0,40	0,50	0,40	0,40
Direktör	Risk - 18	0,0625	0,46	0,55	0,25	0,50	0,40	0,40	0,50	0,40	0,40
Direktör	Risk - 19	0,0625	0,64	0,35	0,26	0,50	0,40	0,40	0,50	0,40	0,40
Direktör	Risk - 20	0,0625	0,61	0,35	0,30	0,70	0,30	0,20	0,70	0,30	0,20

Adım 4 - Uzman Görüşlerinin IFWA ve SWAM Operatörleri ile Birleştirilmesi

Bu aşamada Adım 3'te elde edilen risk değerlendirme matrisi, birden fazla karar vericinin değerlendirmelerini bütünleştirebilmek amacıyla, IFS ortamında Denklem (4)'te yer alan IFWA operatörü kullanılarak birleştirilmiştir. Bu işlem sırasında her bir uzmana ait güven ağırlıkları değerlendirme sürecine dâhil edilmiştir. Her bir risk için oluşturulan nihai IFS matrisi Çizelge 4.15'te sunulmuştur.

Çizelge 4.15. IFWA Sonucu Risk Faktörleri için Nihai IFN Matrisi

Risk No	O			S			D		
	μ^*	ν^*	π^*	μ^*	ν^*	π^*	μ^*	ν^*	π^*
Risk - 1	0,77104	0,17091	0,05805	0,78477	0,15580	0,05943	0,55574	0,39222	0,05204
Risk - 2	0,77924	0,16360	0,05716	0,76281	0,17895	0,05825	0,72510	0,21247	0,06243
Risk - 3	0,64552	0,31003	0,04445	0,60456	0,33953	0,05591	0,57447	0,36789	0,05764
Risk - 4	0,75911	0,18088	0,06002	0,79522	0,14481	0,05996	0,74291	0,19797	0,05912
Risk - 5	0,74391	0,19835	0,05774	0,80412	0,13459	0,06130	0,67831	0,26672	0,05498
Risk - 6	0,65112	0,29579	0,05309	0,82041	0,11999	0,05960	0,52944	0,39753	0,07302
Risk - 7	0,81144	0,12266	0,06590	0,83126	0,10731	0,06142	0,65863	0,28968	0,05169
Risk - 8	0,63669	0,31257	0,05075	0,75788	0,17944	0,06268	0,65828	0,28804	0,05368
Risk - 9	0,65621	0,28142	0,06237	0,75352	0,18079	0,06569	0,63623	0,30331	0,06046
Risk - 10	0,61443	0,34459	0,04098	0,73042	0,20932	0,06025	0,66590	0,27511	0,05899
Risk - 11	0,76408	0,17901	0,05691	0,84080	0,09917	0,06004	0,66657	0,28377	0,04967
Risk - 12	0,58470	0,37326	0,04205	0,79344	0,14205	0,06451	0,57588	0,38081	0,04331
Risk - 13	0,57407	0,39291	0,03302	0,75705	0,18232	0,06064	0,54203	0,41138	0,04660
Risk - 14	0,60222	0,35776	0,04002	0,69698	0,22997	0,07305	0,49143	0,48105	0,02752
Risk - 15	0,79380	0,14225	0,06395	0,82511	0,11211	0,06278	0,77798	0,15713	0,06489
Risk - 16	0,52145	0,43930	0,03925	0,66542	0,28050	0,05408	0,69220	0,25841	0,04938
Risk - 17	0,46594	0,50033	0,03373	0,80335	0,13355	0,06310	0,71055	0,23607	0,05338
Risk - 18	0,43112	0,51808	0,05080	0,56715	0,37392	0,05892	0,65045	0,29882	0,05073
Risk - 19	0,68603	0,25678	0,05719	0,72302	0,21308	0,06390	0,53711	0,42460	0,03829
Risk - 20	0,64431	0,31479	0,04090	0,82779	0,11285	0,05936	0,74675	0,19765	0,05560

Benzer şekilde SFS yaklaşımında ise uzmanlardan elde edilen küresel bulanık değerlendirmeler, Denklem (7)'de verilen SWAM operatörü kullanılarak birleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda her bir risk için tekil SFN elde edilmiş ve oluşturulan nihai SFS matrisi Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. SWAM Sonucu Risk Faktörleri için Nihai SFN Matrisi

Risk No	O			S			D		
	μ^*	ν^*	π^*	μ^*	ν^*	π^*	μ^*	ν^*	π^*
Risk - 1	0,70659	0,29162	0,19913	0,71260	0,27983	0,20967	0,54610	0,43672	0,28357
Risk - 2	0,71262	0,28342	0,20107	0,70187	0,30005	0,19248	0,66657	0,32582	0,23330
Risk - 3	0,61917	0,36276	0,27194	0,58978	0,41938	0,22705	0,55334	0,42575	0,28822
Risk - 4	0,69139	0,29530	0,23439	0,71973	0,27382	0,20225	0,68176	0,30786	0,23276
Risk - 5	0,68091	0,30127	0,24901	0,72348	0,26826	0,20412	0,63367	0,34490	0,27310
Risk - 6	0,61626	0,36623	0,27095	0,73884	0,25876	0,17725	0,52855	0,49115	0,21859
Risk - 7	0,72645	0,27659	0,16904	0,74527	0,25777	0,15340	0,61694	0,35086	0,29619
Risk - 8	0,60162	0,36734	0,29754	0,69032	0,30315	0,21928	0,61882	0,35494	0,28594
Risk - 9	0,61774	0,37620	0,24879	0,68600	0,31281	0,20851	0,60218	0,38712	0,26184
Risk - 10	0,58662	0,36819	0,32287	0,67261	0,31976	0,23089	0,62435	0,36015	0,26499
Risk - 11	0,70023	0,29143	0,21910	0,75026	0,24503	0,17428	0,63059	0,35080	0,26933
Risk - 12	0,57146	0,40361	0,29328	0,71766	0,28834	0,16790	0,56836	0,41521	0,27998
Risk - 13	0,56323	0,39622	0,31902	0,69218	0,30196	0,21707	0,53561	0,43986	0,29626
Risk - 14	0,58572	0,38766	0,29393	0,64263	0,36764	0,20268	0,50220	0,45316	0,32789
Risk - 15	0,71456	0,28082	0,19996	0,73821	0,26150	0,17024	0,70194	0,29168	0,21201
Risk - 16	0,52627	0,45164	0,29341	0,62903	0,35982	0,25556	0,64843	0,32882	0,27153
Risk - 17	0,48247	0,48706	0,30625	0,72448	0,27727	0,17552	0,66122	0,32237	0,25466
Risk - 18	0,45722	0,54666	0,24885	0,55354	0,44240	0,25952	0,62136	0,36928	0,25482
Risk - 19	0,64011	0,34557	0,25762	0,66396	0,32937	0,23223	0,53722	0,43708	0,29836
Risk - 20	0,61382	0,35155	0,30161	0,74430	0,25408	0,17035	0,68930	0,30280	0,22415

Sonuç olarak her bir risk faktörü ve kriter için uzman görüşlerini temsil eden tekil IFN ve SFN değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu bütünleşik değerler, sonraki aşamada karar matrisinin oluşturulması ve risklerin önceliklendirilmesi sürecinde kullanılmıştır.

Adım 5 - Entropi Yöntemi ile Risklerin Önceliklendirilmesi

Risk değerlendirme sürecinde risk faktörlerinin göreceli önem düzeylerinin IFS ve SFS ortamında belirlenmesi amacıyla Denklem (33) ve Denklem (34)'de verilen entropi eşitlikleri uygulanmıştır. Bu kapsamda Adım 4'te IFWA ve SWAM operatörleri ile elde edilen bütünleşik değerlendirme matrisleri kullanılarak entropi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan entropi değerleri ve O, S, D kriter ağırlıkları kullanılarak her bir risk için nihai skor değerleri elde edilmiş, IFS yaklaşımına ait sonuçlar Çizelge 4.17'de ve SFS yaklaşımına ait sonuçlar ise Çizelge 4.18'de sunulmuştur.

Çizelge 4.17. IFS Ortamında Entropi Yöntemi ile Hesaplanan Skor Değerleri

Risk No	O	S	D	Skor
Risk - 1	0,27616	0,25495	0,73095	0,30687
Risk - 2	0,26394	0,28889	0,34906	0,28760
Risk - 3	0,51375	0,59872	0,67319	0,58175
Risk - 4	0,29409	0,23945	0,32054	0,26280
Risk - 5	0,31946	0,22635	0,43870	0,27329
Risk - 6	0,49541	0,20408	0,78105	0,34252
Risk - 7	0,21492	0,18902	0,48058	0,22450
Risk - 8	0,52850	0,29506	0,47997	0,37924
Risk - 9	0,47844	0,30087	0,52213	0,37268
Risk - 10	0,58828	0,34095	0,46090	0,42281
Risk - 11	0,28737	0,17673	0,46554	0,23602
Risk - 12	0,66264	0,24076	0,68495	0,40350
Risk - 13	0,70159	0,29712	0,77804	0,45845
Risk - 14	0,61937	0,39351	0,97999	0,51425
Risk - 15	0,24040	0,19698	0,26341	0,21572
Risk - 16	0,85348	0,46502	0,41505	0,57062
Risk - 17	0,93562	0,22696	0,37889	0,44303
Risk - 18	0,84713	0,69136	0,49852	0,71704
Risk - 19	0,42244	0,35198	0,80447	0,41564
Risk - 20	0,51910	0,19411	0,31564	0,29820

Çizelge 4.18. SFS Ortamında Entropi Yöntemi ile Hesaplanan Skor Değerleri

Risk No	O	S	D	Skor
Risk - 1	0,20202	0,18929	0,68235	0,24045
Risk - 2	0,19040	0,21237	0,28285	0,21292
Risk - 3	0,40102	0,53973	0,64076	0,51005
Risk - 4	0,22685	0,17722	0,24776	0,19813
Risk - 5	0,24618	0,17050	0,35605	0,20990
Risk - 6	0,41018	0,14720	0,87425	0,29205
Risk - 7	0,16750	0,13789	0,39334	0,17094
Risk - 8	0,44116	0,23162	0,39370	0,30681

Çizelge 4.18. SFS Ortamında Entropi Yöntemi ile Hesaplanan Skor Değerleri (Devamı)

Risk No	O	S	D	Skor
Risk - 9	0,41806	0,24290	0,46394	0,31400
Risk - 10	0,47367	0,26908	0,38787	0,33868
Risk - 11	0,21180	0,13013	0,36720	0,17620
Risk - 12	0,55716	0,18377	0,58414	0,32850
Risk - 13	0,56472	0,22825	0,71760	0,37107
Risk - 14	0,50091	0,35917	0,84688	0,44648
Risk - 15	0,18631	0,14813	0,20876	0,16483
Risk - 16	0,77193	0,37849	0,31703	0,48439
Risk - 17	0,98437	0,17080	0,29032	0,41356
Risk - 18	0,72775	0,67453	0,40337	0,66351
Risk - 19	0,34453	0,28955	0,70710	0,34543
Risk - 20	0,40040	0,13908	0,23350	0,22246

Elde edilen skor değerleri küçükten büyüğe sıralanmış olup IFS ve SFS yaklaşımına ait sonuçlar ise Çizelge 4.19’da verilmiştir. Entropi değerinin düşük olması, ilgili risk faktörüne ilişkin değerlendirmelerin daha belirgin ve karar vericiler arasında daha tutarlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle entropi temelli skor değeri düşük olan riskler daha kritik olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.19. Entropi Temelli IFS ve SFS Yaklaşımlarına Göre Risk Sıralaması

IFS		SFS	
Risk No	Skor	Risk No	Skor
Risk - 15	0,21572	Risk - 15	0,164829
Risk - 7	0,22450	Risk - 7	0,170939
Risk - 11	0,23602	Risk - 11	0,176203
Risk - 4	0,26280	Risk - 4	0,198130
Risk - 5	0,27329	Risk - 5	0,209899
Risk - 2	0,28760	Risk - 2	0,212920
Risk - 20	0,29820	Risk - 20	0,222457
Risk - 1	0,30687	Risk - 1	0,240449
Risk - 6	0,34252	Risk - 6	0,292048

Çizelge 4.19. Entropi Temelli IFS ve SFS Yaklaşımlarına Göre Risk Sıralaması

(Devamı)

IFS		SFS	
Risk No	Skor	Risk No	Skor
Risk - 9	0,37268	Risk - 8	0,306806
Risk - 8	0,37924	Risk - 9	0,313997
Risk - 12	0,40350	Risk - 12	0,328500
Risk - 19	0,41564	Risk - 10	0,338681
Risk - 10	0,42281	Risk - 19	0,345435
Risk - 17	0,44303	Risk - 13	0,371069
Risk - 13	0,45845	Risk - 17	0,413564
Risk - 14	0,51425	Risk - 14	0,446480
Risk - 16	0,57062	Risk - 16	0,484392
Risk - 3	0,58175	Risk - 3	0,510049
Risk - 18	0,71704	Risk - 18	0,663512

Adım 6 - IF-MARCOS Yöntemi ile Risklerin Önceliklendirilmesi

Elde edilen sonuçların alternatif bir yaklaşım ile değerlendirilmesi amacıyla IF-MARCOS yöntemi kullanılarak risk faktörlerinin önceliklendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, elde edilen ağırlıklandırılmış karar matrisi üzerinden alternatif için Denklem (21) ve Denklem (22) ile ideal ve anti-ideal çözümlere göre uzaklıklar hesaplanmış ve Denklem (23) ile CC değerleri elde edilmiştir. IFS ve SFS için hesaplanan CC değerleri Çizelge 4.20 ve Çizelge 4.21’de yer almaktadır.

Çizelge 4.20. IFS için Kriterlerin CC Değerleri

Risk No	CC ₀	CC _S	CC _D
Risk - 1	0,795436	0,809127	0,581086
Risk - 2	0,803081	0,787524	0,752338
Risk - 3	0,666637	0,631193	0,602227
Risk - 4	0,784532	0,819314	0,768493
Risk - 5	0,768968	0,828166	0,703578
Risk - 6	0,675967	0,843166	0,564899

Çizelge 4.20. IFS için Kriterlerin CC Değerleri (Devamı)

Risk No	CC₀	CC_S	CC_D
Risk - 7	0,836231	0,853766	0,682784
Risk - 8	0,660676	0,784231	0,683285
Risk - 9	0,684887	0,781001	0,664438
Risk - 10	0,634193	0,756731	0,693020
Risk - 11	0,788303	0,862345	0,689757
Risk - 12	0,605136	0,818883	0,596971
Risk - 13	0,590277	0,782745	0,564895
Risk - 14	0,621607	0,728848	0,505181
Risk - 15	0,819073	0,848314	0,804248
Risk - 16	0,540886	0,690498	0,714963
Risk - 17	0,482867	0,827915	0,734664
Risk - 18	0,456853	0,595584	0,674282
Risk - 19	0,712084	0,750839	0,556004
Risk - 20	0,663838	0,850063	0,770972
X _{ID}	0,456853	0,595584	0,804248
X _{AID}	0,836231	0,862345	0,505181

Çizelge 4.21. SFS için Kriterlerin CC Değerleri

Risk No	CC₀	CC_S	CC_D
Risk - 1	0,689639	0,695664	0,547035
Risk - 2	0,695591	0,684828	0,651918
Risk - 3	0,610794	0,577038	0,554572
Risk - 4	0,675597	0,702705	0,666343
Risk - 5	0,666174	0,706412	0,624343
Risk - 6	0,608185	0,722281	0,517060
Risk - 7	0,710121	0,729808	0,612018
Risk - 8	0,598714	0,674207	0,612335
Risk - 9	0,606825	0,669700	0,594076
Risk - 10	0,589585	0,657518	0,614895

Çizelge 4.21. SFS için Kriterlerin CC Değerleri (Devamı)

Risk No	CC _O	CC _S	CC _D
Risk - 11	0,683639	0,733993	0,621017
Risk - 12	0,571310	0,700956	0,565997
Risk - 13	0,569008	0,675893	0,540660
Risk - 14	0,583958	0,626323	0,520139
Risk - 15	0,697775	0,722029	0,685457
Risk - 16	0,531800	0,618116	0,637498
Risk - 17	0,498073	0,707873	0,648042
Risk - 18	0,460239	0,548907	0,610792
Risk - 19	0,628751	0,649383	0,542425
Risk - 20	0,609797	0,728064	0,673148
X _{ID}	0,460239	0,548907	0,685457
X _{AID}	0,710121	0,733993	0,517060

Devamında, fayda ve maliyet kriterleri için ID ve AID değerleri belirlenmiş ve karar matrisi O, S ve D kriterleri dikkate alınarak Denklem (24) ve Denklem (25) doğrultusunda normalize edilmiştir. Bu aşamada O ve S kriterleri maliyet tipi, D kriteri ise fayda tipi olarak değerlendirilmiştir. Normalize edilen değerler, AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak Denklem (27) yardımıyla ağırlıklandırılmış ve her bir alternatif için toplam skorlar hesaplanmıştır. IFS ve SFS için skorlar Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.22. IFS için Kriterlerin Normalize ve Toplam Skor Değerleri

Risk No	$\vartheta_{O_{ij}}$	$\vartheta_{S_{ij}}$	$\vartheta_{D_{ij}}$	S _i
Risk - 1	0,163245	0,455894	0,069665	0,688803
Risk - 2	0,161691	0,468400	0,090196	0,720286
Risk - 3	0,194785	0,584411	0,072200	0,851395
Risk - 4	0,165514	0,450225	0,092133	0,707872
Risk - 5	0,168864	0,445413	0,084350	0,698627
Risk - 6	0,192096	0,437489	0,067724	0,697310
Risk - 7	0,155281	0,432058	0,081857	0,669196
Risk - 8	0,196542	0,470366	0,081918	0,748826

Çizelge 4.22. IFS için Kriterlerin Normalize ve Toplam Skor Değerleri (Devamı)

Risk No	$\vartheta_{O_{ij}}$	$\vartheta_{S_{ij}}$	$\vartheta_{D_{ij}}$	S_i
Risk - 9	0,189594	0,472312	0,079658	0,741564
Risk - 10	0,204750	0,487460	0,083085	0,775294
Risk - 11	0,164722	0,427759	0,082693	0,675174
Risk - 12	0,214581	0,450462	0,071569	0,736613
Risk - 13	0,219983	0,471260	0,067724	0,758966
Risk - 14	0,208895	0,506108	0,060565	0,775569
Risk - 15	0,158534	0,434834	0,096419	0,689788
Risk - 16	0,240070	0,534217	0,085715	0,860003
Risk - 17	0,268916	0,445548	0,088077	0,802541
Risk - 18	0,284228	0,619352	0,080838	0,984419
Risk - 19	0,182353	0,491285	0,066658	0,740296
Risk - 20	0,195606	0,433939	0,092430	0,721975
X_{ID}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
X_{AID}	0,546325	0,690656	0,628141	0,643605

Çizelge 4.23. SFS için Kriterlerin Normalize ve Toplam Skor Değerleri

Risk No	$\vartheta_{O_{ij}}$	$\vartheta_{S_{ij}}$	$\vartheta_{D_{ij}}$	S_i
Risk - 1	0,189684	0,488694	0,076948	0,755326
Risk - 2	0,188060	0,496427	0,091702	0,776189
Risk - 3	0,214169	0,589159	0,078009	0,881336
Risk - 4	0,193626	0,483797	0,093731	0,771154
Risk - 5	0,196365	0,481258	0,087823	0,765446
Risk - 6	0,215088	0,470685	0,072732	0,758505
Risk - 7	0,184212	0,465830	0,086089	0,736132
Risk - 8	0,218490	0,504247	0,086134	0,808871
Risk - 9	0,215570	0,507640	0,083565	0,806776
Risk - 10	0,221873	0,517046	0,086494	0,825413
Risk - 11	0,191348	0,463175	0,087355	0,741878
Risk - 12	0,228970	0,485005	0,079616	0,793591
Risk - 13	0,229897	0,502989	0,076052	0,808938

Çizelge 4.23. SFS için Kriterlerin Normalize ve Toplam Skor Değerleri (Devamı)

Risk No	$\theta_{o_{ij}}$	$\theta_{s_{ij}}$	$\theta_{d_{ij}}$	S_i
Risk - 14	0,224011	0,542798	0,073165	0,839974
Risk - 15	0,187472	0,470849	0,096419	0,754740
Risk - 16	0,245982	0,550005	0,089673	0,885660
Risk - 17	0,262639	0,480265	0,091157	0,834060
Risk - 18	0,284228	0,619352	0,085917	0,989497
Risk - 19	0,208052	0,523523	0,076300	0,807875
Risk - 20	0,214519	0,466946	0,094688	0,776153
X_{ID}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
X_{AID}	0,648114	0,747837	0,754330	0,720119

Elde edilen skorlar üzerinden alternatiflerin ideal ve anti-ideal çözümlere göre göreceli performansları Denklem (28) ve Denklem (29) ile belirlenmiş, nihai fayda fonksiyonları ise Denklem (30)–Denklem (32) kullanılarak hesaplanmıştır. IFS ve SFS yaklaşımları için elde edilen fayda fonksiyonu değerleri Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25’te sunulmuştur.

Çizelge 4.24. IFS için Fayda Fonksiyonu ve Göreceli Performans Değerleri

Risk No	K_i^+	K_i^-	$f(K_i^+)$	$f(K_i^-)$	$f(K_i)$
Risk - 1	0,688803	1,070226	0,608419	0,391581	0,550152
Risk - 2	0,720286	1,119143	0,608419	0,391581	0,575298
Risk - 3	0,851395	1,322853	0,608419	0,391581	0,680015
Risk - 4	0,707872	1,099854	0,608419	0,391581	0,565382
Risk - 5	0,698627	1,085490	0,608419	0,391581	0,557998
Risk - 6	0,697310	1,083443	0,608419	0,391581	0,556946
Risk - 7	0,669196	1,039762	0,608419	0,391581	0,534491
Risk - 8	0,748826	1,163487	0,608419	0,391581	0,598093
Risk - 9	0,741564	1,152203	0,608419	0,391581	0,592292
Risk - 10	0,775294	1,204611	0,608419	0,391581	0,619233
Risk - 11	0,675174	1,049050	0,608419	0,391581	0,539266
Risk - 12	0,736613	1,144510	0,608419	0,391581	0,588338
Risk - 13	0,758966	1,179242	0,608419	0,391581	0,606191
Risk - 14	0,775569	1,205038	0,608419	0,391581	0,619452

Çizelge 4.24. IFS için Fayda Fonksiyonu ve Göreli Performans Değerleri (Devamı)

Risk No	K_i^+	K_i^-	$f(K_i^+)$	$f(K_i^-)$	$f(K_i)$
Risk - 15	0,689788	1,071756	0,608419	0,391581	0,550938
Risk - 16	0,860003	1,336228	0,608419	0,391581	0,686890
Risk - 17	0,802541	1,246947	0,608419	0,391581	0,640995
Risk - 18	0,984419	1,529538	0,608419	0,391581	0,786262
Risk - 19	0,740296	1,150233	0,608419	0,391581	0,591280
Risk - 20	0,721975	1,121767	0,608419	0,391581	0,576647

Çizelge 4.25. SFS için Fayda Fonksiyonu ve Göreli Performans Değerleri

Risk No	K_i^+	K_i^-	$f(K_i^+)$	$f(K_i^-)$	$f(K_i)$
Risk - 1	0,755326	1,048891	0,581355	0,418645	0,580362
Risk - 2	0,776189	1,077862	0,581355	0,418645	0,596392
Risk - 3	0,881336	1,223875	0,581355	0,418645	0,677183
Risk - 4	0,771154	1,070870	0,581355	0,418645	0,592524
Risk - 5	0,765446	1,062943	0,581355	0,418645	0,588137
Risk - 6	0,758505	1,053305	0,581355	0,418645	0,582804
Risk - 7	0,736132	1,022236	0,581355	0,418645	0,565614
Risk - 8	0,808871	1,123245	0,581355	0,418645	0,621503
Risk - 9	0,806776	1,120336	0,581355	0,418645	0,619894
Risk - 10	0,825413	1,146217	0,581355	0,418645	0,634214
Risk - 11	0,741878	1,030215	0,581355	0,418645	0,570029
Risk - 12	0,793591	1,102027	0,581355	0,418645	0,609763
Risk - 13	0,808938	1,123339	0,581355	0,418645	0,621555
Risk - 14	0,839974	1,166438	0,581355	0,418645	0,645402
Risk - 15	0,754740	1,048077	0,581355	0,418645	0,579912
Risk - 16	0,885660	1,229880	0,581355	0,418645	0,680505
Risk - 17	0,834060	1,158225	0,581355	0,418645	0,640858
Risk - 18	0,989497	1,374074	0,581355	0,418645	0,760290
Risk - 19	0,807875	1,121863	0,581355	0,418645	0,620738
Risk - 20	0,776153	1,077812	0,581355	0,418645	0,596365

Risk önceliklendirme problemi kapsamında, fayda fonksiyonu değerleri küçükten büyüğe sıralanmış ve daha düşük değere sahip alternatifler daha kritik risk olarak değerlendirilmiştir. Nihai risk sıralamaları IFS ve SFS yaklaşımları Çizelge 4.26’da sunulmaktadır.

Çizelge 4.26. IF-MARCOS ile IFS ve SFS Yaklaşımlarına Göre Risk Sıralaması

IFS		SFS	
Risk No	Skor	Risk No	Skor
Risk - 7	0,534491	Risk - 7	0,565614
Risk - 11	0,539266	Risk - 11	0,570029
Risk - 1	0,550152	Risk - 15	0,579912
Risk - 15	0,550938	Risk - 1	0,580362
Risk - 6	0,556946	Risk - 6	0,582804
Risk - 5	0,557998	Risk - 5	0,588137
Risk - 4	0,565382	Risk - 4	0,592524
Risk - 2	0,575298	Risk - 20	0,596365
Risk - 20	0,576647	Risk - 2	0,596392
Risk - 12	0,588338	Risk - 12	0,609763
Risk - 19	0,591280	Risk - 9	0,619894
Risk - 9	0,592292	Risk - 19	0,620738
Risk - 8	0,598093	Risk - 8	0,621503
Risk - 13	0,606191	Risk - 13	0,621555
Risk - 10	0,619233	Risk - 10	0,634214
Risk - 14	0,619452	Risk - 17	0,640858
Risk - 17	0,640995	Risk - 14	0,645402
Risk - 3	0,680015	Risk - 3	0,677183
Risk - 16	0,686890	Risk - 16	0,680505
Risk - 18	0,786262	Risk - 18	0,760290

4.3. IFS & SFS Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması

IFS ve SFS yaklaşımları kullanılarak elde edilen risk sıralamaları karşılaştırıldığında, yöntemler arasında belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, riskler

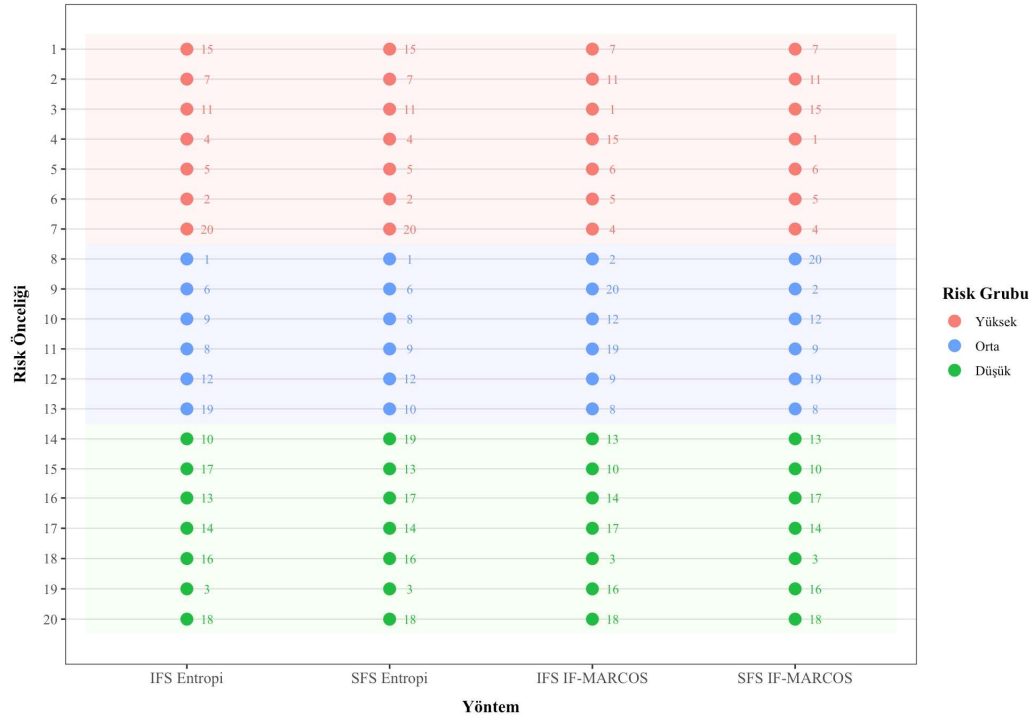
yüksek, orta ve düşük risk grupları şeklinde sınıflandırıldığında, her iki yaklaşımın büyük ölçüde benzer risk faktörlerini aynı gruplarda topladığı dikkat çekmektedir. Ancak bazı risk faktörlerinin iki yaklaşım altında farklı sıralama konumlarında yer aldığı da gözlemlenmektedir.

IFS ve SFS yaklaşımları ile Entropi ve IF-MARCOS yöntemleri kullanılarak elde edilen risk sıralamaları Çizelge 4.27’de sunulmuştur.

Çizelge 4.27. IFS ve SFS Yaklaşımlarında Entropi ve IF-MARCOS Yöntemlerine Göre Risk Sıralamalarının Karşılaştırılması

Risk Önceliği	IFS Entropi	SFS Entropi	IFS IF-MARCOS	SFS IF-MARCOS	Risk Grubu
1	Risk - 15	Risk - 15	Risk - 7	Risk - 7	Yüksek
2	Risk - 7	Risk - 7	Risk - 11	Risk - 11	Yüksek
3	Risk - 11	Risk - 11	Risk - 1	Risk - 15	Yüksek
4	Risk - 4	Risk - 4	Risk - 15	Risk - 1	Yüksek
5	Risk - 5	Risk - 5	Risk - 6	Risk - 6	Yüksek
6	Risk - 2	Risk - 2	Risk - 5	Risk - 5	Yüksek
7	Risk - 20	Risk - 20	Risk - 4	Risk - 4	Yüksek
8	Risk - 1	Risk - 1	Risk - 2	Risk - 20	Orta
9	Risk - 6	Risk - 6	Risk - 20	Risk - 2	Orta
10	Risk - 9	Risk - 8	Risk - 12	Risk - 12	Orta
11	Risk - 8	Risk - 9	Risk - 19	Risk - 9	Orta
12	Risk - 12	Risk - 12	Risk - 9	Risk - 19	Orta
13	Risk - 19	Risk - 10	Risk - 8	Risk - 8	Orta
14	Risk - 10	Risk - 19	Risk - 13	Risk - 13	Düşük
15	Risk - 17	Risk - 13	Risk - 10	Risk - 10	Düşük
16	Risk - 13	Risk - 17	Risk - 14	Risk - 17	Düşük
17	Risk - 14	Risk - 14	Risk - 17	Risk - 14	Düşük
18	Risk - 16	Risk - 16	Risk - 3	Risk - 3	Düşük
19	Risk - 3	Risk - 3	Risk - 16	Risk - 16	Düşük
20	Risk - 18	Risk - 18	Risk - 18	Risk - 18	Düşük

Risk faktörlerinin farklı yöntemler (Entropi, IF-MARCOS) ve bulanık küme (IFS, SFS) altındaki sıralama davranışlarını ve duyarlılıklarını daha net karşılaştırabilmek amacıyla, toplam 20 risk faktörü göreceli yüzdelik dilimlere (yaklaşık üçte birlik gruplara) ayrılarak sınıflandırılmıştır. Bu doğrultuda, veri setinin üst %35'lik kısmını oluşturan ilk 7 risk acil eylem gerektiren 'yüksek risk' grubu, alt %35'lik kısmını oluşturan son 7 risk 'düşük risk' grubu ve arada kalan %30'luk dilim (6 risk) ise 'orta risk' grubu olarak tanımlanmıştır. Bu farklılıkları daha açık bir şekilde ortaya koyabilmek amacıyla risk sıralamaları Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Yüksek, Orta ve Düşük Risk Gruplarına Göre Yöntemler Arası Dağılım

Elde edilen sıralamalar incelendiğinde, bazı risk faktörlerinin bir yöntemde yüksek öncelikli grupta yer alırken diğer yöntemde orta veya düşük öncelikli gruba kaydığı görülmektedir. Bu durum, IFS ve SFS yaklaşımlarının belirsizliği temsil etme biçimlerindeki farklılıklardan kaynaklanmakta olup, yöntemlerin risk değerlendirmesine farklı hassasiyetlerle yaklaştığını da göstermektedir. Bununla birlikte, bazı risk faktörlerinin (örneğin Risk-3, Risk-16, Risk-17 ve Risk-18) her iki yaklaşımda da benzer önem düzeylerinde yer aldığı görülmekte, bu durum ise bu risklerin yöntemden bağımsız olarak benzer değerlendirmelere sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.1 incelendiğinde, sezgisel bulanık kümelerde kararsızlık derecesinin üyelik ve üye olmama değerlerine bağlı olarak türetildiği, buna karşın küresel bulanık kümelerde kararsızlığın bağımsız bir parametre olarak tanımlanabildiği görülmektedir. Bu durum, SFS yaklaşımının özellikle yüksek belirsizlik içeren ve uzman görüşlerine dayalı karar problemlerinde daha esnek bir modelleme imkânı sunduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada risklerin sıralanması ve önceliklendirilmesi amaçlandığından, alternatiflerin ideal ve anti-ideal çözümlerle olan göreceli performanslarını dikkate alan ve fayda fonksiyonu temelli bir sıralama sunan IF-MARCOS yöntemi tercih edilmiştir. IF-MARCOS yöntemi, çelişen kriterler arasında denge kurabilmesi ve farklı bulanık yaklaşımlar altında karşılaştırmalı analiz imkânı sağlaması nedeniyle risk değerlendirme problemleri için uygun bir yöntem olarak değerlendirilmiştir.

5. DUYARLILIK ANALİZİ

Bu çalışmada, deneyim düzeylerine göre belirlenen uzman ağırlıklarının sonuçlar üzerindeki etkisini incelemek amacıyla duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, temel senaryoya ek olarak farklı ağırlık dağılımları tanımlanmış ve her bir senaryo için analizler yeniden yürütülmüştür. Özellikle, deneyimli karar vericilerin etkisinin artırıldığı bir uç senaryo oluşturularak, uzman ağırlıklarının sonuçlar üzerindeki etkisi daha belirgin şekilde incelenmiştir. Bu tür durumlarda, belirli bir uzman grubunun baskın olduğu koşullarda risk sıralamalarında değişim meydana gelebileceği öngörülmektedir. Bu nedenle uzman ağırlıklarının dağılımı, sonuçlar üzerinde etkili olabilecek önemli bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Kullanılan ağırlık senaryoları Çizelge 5.1’de ve normalize ağırlık senaryoları Çizelge 5.2’de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Ağırlık Senaryosu Tanım Tablosu

Uzman Grubu	Deneyim	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Grup 1	0-5 yıl	0,167	0,050	0,333
Grup 2	5-15 yıl	0,333	0,150	0,333
Grup 3	+15 yıl (15 dahil)	0,500	0,800	0,333

Çizelge 5.2. Normalize Ağırlık Senaryosu Tanım Tablosu

Uzman Grubu	Deneyim	Normalize Senaryo 1	Normalize Senaryo 2	Normalize Senaryo 3
Grup 1	0-5 yıl	0,0167	0,0050	0,0333
Grup 2	5-15 yıl	0,0666	0,0300	0,0666
Grup 3	+15 yıl (15 dahil)	0,0625	0,1000	0,0416

Tanımlanan her bir ağırlık senaryosu için IFWA ve SWAM operatörleri ile uzman görüşleri yeniden birleştirilmiş, ardından Entropi ve IF-MARCOS kullanılarak risk sıralamaları yeniden elde edilmiştir. Her bir senaryoya ait sonuçlar Çizelge 5.3’te sunulmaktadır.

Çizelge 5.3. Senaryolara ve Yöntemlere Göre Risk Sıralamaları

Risk Önceliği*	Senaryo 1				Senaryo 2				Senaryo 3			
	IFS Entropi	SFS Entropi	IFS IF-MARCOS	SFS IF-MARCOS	IFS Entropi	SFS Entropi	IFS IF-MARCOS	SFS IF-MARCOS	IFS Entropi	SFS Entropi	IFS IF-MARCOS	SFS IF-MARCOS
1	Risk - 15	Risk - 15	Risk - 7	Risk - 7	Risk - 7	Risk - 7	Risk - 7	Risk - 7	Risk - 15	Risk - 15	Risk - 7	Risk - 7
2	Risk - 7	Risk - 7	Risk - 11	Risk - 11	Risk - 15	Risk - 11	Risk - 11	Risk - 11	Risk - 7	Risk - 7	Risk - 11	Risk - 11
3	Risk - 11	Risk - 11	Risk - 1	Risk - 15	Risk - 11	Risk - 15	Risk - 1	Risk - 1	Risk - 11	Risk - 11	Risk - 1	Risk - 6
4	Risk - 4	Risk - 4	Risk - 15	Risk - 1	Risk - 4	Risk - 2	Risk - 15	Risk - 6	Risk - 4	Risk - 4	Risk - 15	Risk - 15
5	Risk - 5	Risk - 5	Risk - 6	Risk - 6	Risk - 2	Risk - 4	Risk - 6	Risk - 15	Risk - 5	Risk - 5	Risk - 6	Risk - 1
6	Risk - 2	Risk - 2	Risk - 5	Risk - 5	Risk - 5	Risk - 20	Risk - 5	Risk - 2	Risk - 1	Risk - 2	Risk - 5	Risk - 5
7	Risk - 20	Risk - 20	Risk - 4	Risk - 4	Risk - 20	Risk - 5	Risk - 2	Risk - 5	Risk - 2	Risk - 1	Risk - 4	Risk - 4
8	Risk - 1	Risk - 1	Risk - 2	Risk - 20	Risk - 6	Risk - 1	Risk - 4	Risk - 4	Risk - 20	Risk - 20	Risk - 20	Risk - 20
9	Risk - 6	Risk - 6	Risk - 20	Risk - 2	Risk - 1	Risk - 8	Risk - 20	Risk - 20	Risk - 6	Risk - 6	Risk - 2	Risk - 2
10	Risk - 9	Risk - 8	Risk - 12	Risk - 12	Risk - 8	Risk - 6	Risk - 8	Risk - 13	Risk - 9	Risk - 8	Risk - 12	Risk - 12
11	Risk - 8	Risk - 9	Risk - 19	Risk - 9	Risk - 9	Risk - 9	Risk - 13	Risk - 8	Risk - 8	Risk - 9	Risk - 19	Risk - 9
12	Risk - 12	Risk - 12	Risk - 9	Risk - 19	Risk - 13	Risk - 13	Risk - 9	Risk - 12	Risk - 12	Risk - 12	Risk - 9	Risk - 19
13	Risk - 19	Risk - 10	Risk - 8	Risk - 8	Risk - 12	Risk - 19	Risk - 19	Risk - 9	Risk - 19	Risk - 19	Risk - 8	Risk - 8
14	Risk - 10	Risk - 19	Risk - 13	Risk - 13	Risk - 19	Risk - 12	Risk - 12	Risk - 19	Risk - 10	Risk - 10	Risk - 14	Risk - 13
15	Risk - 17	Risk - 13	Risk - 10	Risk - 10	Risk - 17	Risk - 10	Risk - 17	Risk - 17	Risk - 17	Risk - 13	Risk - 13	Risk - 17
16	Risk - 13	Risk - 17	Risk - 14	Risk - 17	Risk - 10	Risk - 17	Risk - 14	Risk - 10	Risk - 13	Risk - 17	Risk - 10	Risk - 10
17	Risk - 14	Risk - 14	Risk - 17	Risk - 14	Risk - 14	Risk - 14	Risk - 10	Risk - 14	Risk - 14	Risk - 14	Risk - 17	Risk - 14
18	Risk - 16	Risk - 16	Risk - 3	Risk - 3	Risk - 3	Risk - 3	Risk - 3	Risk - 3	Risk - 3	Risk - 3	Risk - 3	Risk - 3
19	Risk - 3	Risk - 3	Risk - 16	Risk - 16	Risk - 16	Risk - 16	Risk - 16	Risk - 16	Risk - 16	Risk - 16	Risk - 16	Risk - 16
20	Risk - 18	Risk - 18	Risk - 18	Risk - 18	Risk - 18	Risk - 18	Risk - 18	Risk - 18	Risk - 18	Risk - 18	Risk - 18	Risk - 18

* İlk 7 risk yüksek risk grubu, son 7 risk düşük risk grubu ve arada kalan riskler orta risk grubunu göstermektedir.

Duyarlılık analizi sonuçları incelendiğinde, genel olarak risk sıralamalarının büyük ölçüde korunduğu görülmüştür. Bununla birlikte bazı risk faktörlerinin (örneğin Risk-13 ve Risk-20) farklı ağırlık senaryoları altında sıralamalarında değişim meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum, söz konusu risklerin uzman değerlendirmelerine ve özellikle deneyim düzeyine daha duyarlı olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, diğer risk faktörlerinin sıralamalarının çok kaymaması, modelin genel olarak ağırlık değişimlerine karşı dayanıklı olduğunu ortaya koymaktadır.

Ağırlık değişimlerinin sınırlı etki göstermesi, uzmanların deneyim düzeylerinden bağımsız olarak benzer değerlendirmeler yapmasından kaynaklanmaktadır. Risk-13 ve Risk-20 özelinde ise, uzman görüşleri arasında belirli farklılıklar bulunmakla birlikte, kullanılan derecelendirme ölçeğinin sınırlı çözünürlüğü nedeniyle bu farklılıkların model sonuçlarına sınırlı düzeyde yansıdığı değerlendirilmektedir.

Elde edilen sıralamaların birbirleriyle olan uyumunu sayısal olarak değerlendirmek amacıyla Spearman sıra korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Spearman korelasyon katsayısı, iki sıralama arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü ölçmekte olup aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (28)$$

burada d_i , her bir risk faktörünün iki farklı sıralamadaki sıra farkını, n ise toplam risk sayısını ifade etmektedir.

Bu kapsamda, Senaryo 1 ile Senaryo 2'ye ait risk sıralamaları arasındaki ilişki hem IFS hem de SFS yaklaşımları için ayrı ayrı incelenmiştir. Korelasyon katsayılarının yorumlanmasında, Çizelge 5.4'te verilen sınıflandırma dikkate alındığında, elde edilen değerlerin çoğunlukla yüksek ve çok yüksek düzeyde olduğu görülmektedir. Bu durum, farklı ağırlık senaryolarına rağmen risk sıralamalarının büyük ölçüde korunduğunu ve kullanılan yöntemlerin tutarlı sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Çizelge 5.4. Korelasyon Katsayısı Değerlerine İlişkin Sınıflandırma [34]

Korelasyon Katsayısı Aralığı	Yorum
0.90 – 1.00 (-0.90 – -1.00)	Çok yüksek pozitif (negatif) korelasyon
0.70 – 0.90 (-0.70 – -0.90)	Yüksek pozitif (negatif) korelasyon
0.50 – 0.70 (-0.50 – -0.70)	Orta düzeyde pozitif (negatif) korelasyon
0.30 – 0.50 (-0.30 – -0.50)	Düşük pozitif (negatif) korelasyon
0.00 – 0.30 (0.00 – -0.30)	Önemsiz (çok zayıf) korelasyon

Spearman korelasyon katsayıları ve bu katsayılara ait istatistiksel anlamlılık (p-değeri) sonuçları Çizelge 5.5’te verilmiştir. Tablodaki veriler incelendiğinde, karşılaştırılan tüm yöntem ve senaryolarda p değerlerinin $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyinin altında kaldığı ($p<0.001$) görülmektedir. İstatistiksel açıdan anlamlı çıkan bu yüksek korelasyonlar, sıralamalar arasındaki benzerliğin şans eseri olmadığını doğrulamaktadır. Elde edilen Spearman korelasyon katsayıları incelendiğinde, tüm karşılaştırmalarda çok yüksek düzeyde pozitif ilişki bulunduğu görülmektedir. Özellikle IFS Entropi–SFS Entropi ve IFS IF-MARCOS–SFS IF-MARCOS karşılaştırmalarında korelasyon katsayılarının 0,99 düzeyinde olması, IFS ve SFS yaklaşımlarının benzer risk önceliklendirme eğilimleri ürettiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, önerilen modelin ağırlık değişimlerine ve yöntem farklılıklarına karşı genel olarak kararlı ve tutarlı sonuçlar sağladığını göstermektedir. Bununla birlikte, sınırlı sayıda risk faktöründe gözlenen küçük sıralama değişimleri, bazı risklerin uzman değerlendirmelerine ve ağırlık dağılımına daha duyarlı olabileceğine işaret etmektedir.

Çizelge 5.5. Yöntemler Arası Spearman Korelasyon Sonuçları

Karşılaştırılan Yöntemler	Senaryo 1	Senaryo 2
IFS Entropi – SFS Entropi	0,99 (p<0,001)	0,99 (p<0,001)
IFS Entropi – IFS IF-MARCOS	0,92 (p<0,001)	0,94 (p<0,001)
IFS Entropi – SFS IF-MARCOS	0,94 (p<0,001)	0,93 (p<0,001)
SFS Entropi – IFS IF-MARCOS	0,92 (p<0,001)	0,93 (p<0,001)
SFS Entropi – SFS IF-MARCOS	0,94 (p<0,001)	0,92 (p<0,001)
IFS IF-MARCOS – SFS IF-MARCOS	0,99 (p<0,001)	0,99 (p<0,001)

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, savunma sanayi şirketinde kullanılan risk değerlendirme uygulamasının IFS ve SFS yaklaşımları ile entegre edilerek, kesin (crisp) yaklaşımlara kıyasla belirsizliği daha etkin temsil eden ve daha gerçekçi sonuçlar üreten bir risk önceliklendirme modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu kapsamda, karar vericiler tarafından tanımlanan risk faktörlerine ilişkin yapılan dilsel değerlendirmeler IFN ve SFN yapılarına dönüştürülmüş, ardından Entropi ve IF-MARCOS yöntemleri kullanılarak risk faktörleri en kritik riskten en düşük öncelikli riske doğru sıralanmıştır.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, SFS yaklaşımının kararsızlık derecesini bağımsız bir parametre olarak ele alabilmesi sayesinde belirsizliği daha kapsamlı şekilde modelleyebildiği görülmüştür. Ayrıca IF-MARCOS yönteminin alternatifleri fayda fonksiyonu temelli değerlendirmesi ve sıralama kararlılığının yüksek olması nedeniyle risk önceliklendirme problemleri için uygun sonuçlar sunduğu değerlendirilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre, projelerde karşılaşılma olasılığı yüksek ve öncelikli olarak ele alınması gereken en kritik iki riskin “Tedarikçiden malzemenin zamanında ve doğru şekilde temin edilememesi” ve “Tasarım çalışmalarında gecikme yaşanması” olduğu belirlenmiştir. Yapılan duyarlılık analizinde, bu iki riskin (Risk-7 ve Risk-11) farklı uzman ağırlık senaryoları altında da üst sıralardaki konumlarını büyük ölçüde koruduğu görülmüş olup, söz konusu risklerin karar verici ağırlıklarından görece bağımsız davrandığı değerlendirilmiştir.

Söz konusu kritik risklerin azaltılması amacıyla, kritik malzemeler için tedarik sürelerinin proje planlama sürecine dâhil edilmesi ve yüksek riskli malzemeler için alternatif tedarik senaryolarının oluşturulması önerilmektedir. Ayrıca, kritik malzemelerin depo giriş süreçlerinde kalite kontrol mekanizmalarının güçlendirilmesi, ara kalite denetimlerinin uygulanması ve güvenlik stoğu yönetiminin etkin şekilde yürütülmesi, tedarik kaynaklı gecikmelerin etkisini azaltabilecek önleyici faaliyetler arasında değerlendirilmektedir.

Bununla birlikte, tasarım çalışmalarında yaşanabilecek gecikmelerin proje takvimi ve kaynak planlaması üzerindeki etkilerinin azaltılabilmesi amacıyla tasarım süreçlerinin daha sistematik şekilde planlanması önerilmektedir. Bu kapsamda, tasarım faaliyetlerine ilişkin zaman planlarının proje başlangıç aşamasında netleştirilmesi, tasarım ekipleri ile proje yönetimi arasında düzenli koordinasyon toplantılarının yapılması ve kritik tasarım çıktılarının belirli kontrol noktaları aracılığıyla izlenmesi riskin azaltılmasına katkı sağlayabilecektir. Ayrıca, tasarım değişikliklerinin proje takvimine ve maliyetlere olası etkilerinin erken aşamada değerlendirilmesi, gecikmelerin önlenmesi açısından önemli görülmektedir.

Duyarlılık analizi sonuçları incelendiğinde, farklı ağırlık senaryolarına rağmen risk sıralamalarının büyük ölçüde korunduğu ve Spearman korelasyon katsayılarının yüksek düzeyde olduğu görülmüştür. Bu durum, önerilen modelin ağırlık değişimlerine karşı genel olarak düşük duyarlılık gösterdiğini ve kararlı sonuçlar üretebildiğini ortaya koymaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı bulanık ÇKKV yöntemleri ile IF-MARCOS yaklaşımının karşılaştırmalı olarak incelenmesi önerilebilir. Ayrıca, önerilen modelin farklı sektörlerdeki proje risk yönetimi problemlerine uygulanması ve gerçek zamanlı proje verileri ile desteklenmesi, yöntemin uygulanabilirliğinin ve karar verme performansının daha kapsamlı şekilde değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte, risk faktörlerinin benzer özelliklerine göre gruplandırılması ve farklı uzman ağırlıklandırma yaklaşımlarının modele entegre edilmesi gelecekte yapılabilecek çalışmalar arasında değerlendirilebilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] S. K. Sahoo ve S. S. Goswami, «A Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods: Advancements, Applications, and Future Directions,» *Decision Making Advances*, cilt 1, no. 1, pp. 25-48, 2023.
- [2] T. Tan, G. Mills, E. Papadonikolaki ve Z. Liu, «Combining multi-criteria decision making (MCDM) methods with building information modelling (BIM): A review,» *Automation in Construction*, cilt 121, p. 103451, 2021.
- [3] P.-M. Spanidis, C. Roumpos ve F. Pavloudakis, «A Fuzzy-AHP Methodology for Planning the Risk Management of Natural Hazards in Surface Mining Projects,» *Sustainability*, cilt 13, p. 2369, 2021.
- [4] C. Zid ve A. R. Soomro, «Risk Analysis Model for Construction Projects Using Fuzzy Logic,» *International Journal of Advanced Research in Engineering Technology & Sciences*, cilt 3, pp. 38-54, 2016.
- [5] M. Stankovic, Ž. Stevic, D. K. Das, M. Subotic ve D. Pamucar, «A New Fuzzy MARCOS Method for Road Traffic Risk Analysis,» *Mathematics*, cilt 8, p. 457, 2020.
- [6] S. E. Hacibektaşoğlu, B. Mertoğlu ve H. Tozan, «Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Bir Risk Analizi Uygulaması,» *International Journal of Advanced Engineering and Pure Sciences*, cilt 34, no. 3, pp. 403-414, 2022.
- [7] F. Zaralı, «Intuitionistic fuzzy green supplier selection and an application in the machine manufacturing sector,» *Journal of Turkish Operations Management*, cilt 5, no. 1, pp. 676-687, 2021.
- [8] F. S. Madenoğlu, «A Group Decision-Making Method for Ranking Problems under Sustainability, Risks, and Intuitionistic Fuzzy Environment,» *Pamukkale University Journal of Social Sciences Institute*, no. 56, pp. 123-137, 2023.
- [9] C. Kahraman, B. Öztayşi ve S. Çevik Onar, «An Integrated Intuitionistic Fuzzy AHP and TOPSIS Approach to Evaluation of Outsource Manufacturers,» *Journal of Intelligent Systems*, cilt 29, no. 1, pp. 283-297, 2020.
- [10] F. Ecer ve D. Pamucar, «MARCOS technique under intuitionistic fuzzy environment for determining the COVID-19 pandemic performance of insurance

- companies in terms of healthcare services,» *Applied Soft Computing*, cilt 104, p. 107199, 2021.
- [11] J. Sadeghi, H. Sarvari, D. W. M. Chan ve D. J. Edwards, «Identification and Analysis of Earthquake Risks in Worn-Out Urban Fabrics Using the Intuitionistic Fuzzy Brainstorming (IFBS) Technique for Group Decision-Making,» *Buildings*, cilt 15, no. 1520, 2025.
- [12] J. Sadeghi, H. Sarvari, Z. Shahab, A. Fatemi ve D. J. Edwards, «An analysis of intuitionistic fuzzy sets in risk-based inspection: A case study of hydrogen crack damage in steel tanks under gas pressure,» *Cleaner Engineering and Technology*, cilt 23, p. 100855, 2024.
- [13] S. Alzahrani, A. H. Ganie, A. M. Seif ve M. M. Khalaf, «A Spherical Fuzzy Entropy Measure with its Application in the Selection of the Best Market Segment,» *Journal of Information Science and Engineering*, cilt 41, pp. 1617-1629, 2025.
- [14] O. Barukab, S. Abdullah, S. Ashraf, M. Arif ve S. A. Khan, «A New Approach to Fuzzy TOPSIS Method Based on Entropy Measure under Spherical Fuzzy Information,» *Entropy*, cilt 21, no. 1231, 2019.
- [15] K. Kara ve G. C. Yalçın, «Küresel Bulanık Sayılara Dayalı Topsis Tekniğiyle Yeşil Tedarikçi Seçimi,» *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*, cilt 14, no. 26, pp. 483-506, 2022.
- [16] M. J. Khan, P. Kumam, W. Deebani, W. Kumam ve Z. Shah, «Distance and Similarity Measures for Spherical Fuzzy Sets and Their Applications in Selecting Mega Projects,» *Mathematics*, cilt 8, p. 519, 2020.
- [17] F. Yaşlı, G. Tekin Temur ve B. Bolat, «FMEA Method Using Spherical Fuzzy Sets for Risk Analysis of the Tech Startup,» *Fuzzy Logic and Modeling in Engineering*, cilt 1, no. 2, pp. 58-66, 2022.
- [18] D. Akkuş ve Ö. M. Testik, «A novel method for weighting decision makers for failure mode and effect analysis under intuitionistic fuzzy environment,» *Quality and Reliability Engineering International*, cilt 40, no. 4, pp. 1566-1592, 2024.
- [19] J. Wang ve Y. Sun, «The Intuitionistic Fuzzy Sets on Evaluation of Risks in Projects of Energy Management Contract,» %1 içinde *The 2nd International Conference on Complexity Science & Information Engineering*, 2012.

- [20] H.-Y. Chung, T.-H. Ting ve K.-H. Chang, «A Novel Intuitionistic Fuzzy Set-Based Risk Priority Number Method for Solving Chemical Experiment Risk Evaluation,» *Systems*, cilt 12, p. 155, 2024.
- [21] F. Kutlu Gündoğdu ve C. Kahraman, «A novel spherical fuzzy analytic hierarchy process and its renewable energy application,» *Soft Computing*, cilt 24, pp. 4607-4621, 2020.
- [22] F. K. Gündoğdu ve S. A. Seyfi-Shishavan, «Occupational Risk Assessment Using Spherical Fuzzy Safety and Critical Effect Analysis for Shipyards,» *Journal of ETA Maritime Science*, cilt 9, no. 2, pp. 110-119, 2021.
- [23] H. Mahmoud ve A. Abdelhafeez, «Spherical Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Approach for Risk Assessment of Natech,» *Neutrosophic and Information Fusion (NIF)*, cilt 2, no. 1, pp. 59-68, 2023.
- [24] L. A. Zadeh, «Fuzzy Sets,» *Information and Control*, cilt 8, pp. 338-353, 1965.
- [25] H. J. Zimmermann, *Fuzzy Set Theory - and Its Applications*, cilt 4, New York: Springer, 2001.
- [26] D. Dubois ve H. Prade, *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*, New York: Academic Press, 1980.
- [27] K. T. Atanassov, «Intuitionistic Fuzzy Sets,» *Fuzzy Sets and Systems*, cilt 20, pp. 87-96, 1986.
- [28] Y. D. Özkan Özen ve A. Koçak, «Bulanık Analitik Hiyerarşi ve Bulanık Dematel Yöntemleri Kullanılarak Kurumsal Kaynak Planlaması Yazılım Seçimi ve Değerlendirilmesi,» *Yönetim ve Ekonomi*, cilt 24, no. 3, pp. 930-957, 2017.
- [29] M. Anjum, N. Kraiem, Y. I. Daradkeh, A. K. Dutta ve S. Shahab, «Integrating intuitionistic fuzzy and MCDM methods for sustainable energy management in smart factories,» *PLoS ONE*, cilt 20, no. 1, p. e0315251, 2025.
- [30] J.-C. Kao, C.-N. Wang, V. T. Nguyen ve S. T. Husain, «A Fuzzy MCDM Model of Supplier Selection in Supply Chain Management,» *Intelligent Automation & Soft Computing*, cilt 31, no. 3, pp. 1451-1466, 2022.
- [31] M. Keshavarz-Ghorabae, M. Amiri, M. Hashemi-Tabatabaei, E. K. Zavadskas ve A. Kaklauskas, «A New Decision-Making Approach Based on Fermatean Fuzzy Sets and WASPAS for Green Construction Supplier Evaluation,» *Mathematics*, cilt 8, p. 2202, 2020.

- [32] Y. Xu ve H. Wang, «IFWA and IFWGM Methods for MADM under Atanassov's Intuitionistic Fuzzy Environment,» *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, cilt 23, no. 2, pp. 263-284, 2015.
- [33] T. L. Saaty ve L. G. Vargas, *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*, cilt 2, New York: Springer, 2012.
- [34] M. Dağdeviren, D. Akay ve M. Kurt, «İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması,» *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, cilt 19, no. 2, pp. 131-138, 2004.
- [35] D. H. Stamatis, *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*, cilt 2, Milwaukee, WI: ASQ Quality Press , 2003.
- [36] A. Aydoğdu, «A Novel Entropy Measure Based on Similarity Measure for Spherical Fuzzy Sets and Its Application on Multicriteria Decision Making Problems,» *Turkish Journal of Mathematics*, cilt 46, no. 3, pp. 975-992, 2022.
- [37] F. E. Boran, S. Genç, M. Kurt ve D. Akay, «A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method,» *Expert Systems with Applications*, cilt 36, no. 8, pp. 11363-11368, 2009.
- [38] E. Forman ve K. Peniwati, «Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process,» *European Journal of Operational Research*, cilt 108, pp. 165-169, 1998.
- [39] M. M. Mukaka, «Statistics Corner: A Guide to Appropriate Use of Correlation Coefficient in Medical Research,» *Malawi Medical Journal* , cilt 24, no. 3, pp. 69-71, 2012.

8. EKLER

EK 1 – Uzman Değerlendirme Formu

Ad Soyad:				
Çok Düşük:1. Düşük: 2. Orta: 3 Yüksek: 4 Çok Yüksek: 5				
Risk Alanı	Risk Tanımı	Gerçekleşme Olasılığı (O)	Etki Şiddeti (S)	Tespit Edilebilirlik (D)
TAKVİM	Proje içerisinde sözleşmede yer almayan ilave müşteri taleplerinin proje takvimine yansıtılmaması			
TAKVİM	Proje ana aşamalarının gecikmesi veya erken tamamlanması			
MALİ	Bütçe aşımı, beklenmedik maliyet artışları			
KAYNAK	İhtiyaç duyulan insan gücü ve kaynaklarının iyi planlanamaması ve planlandığı şekilde tahsis edilememesi			
KAYNAK	Tasarım ve üretim alt yüklenicilerinin teknik personel / üretim altyapısı yetersizlikleri			
KAYNAK	Deneyimli personellerin iş değişikliği			
TEDARİK	Tedarikçiden malzemenin zamanında ve tanımlı kalite standartlarına uygun şekilde temin edilememesi			
TEDARİK	Elektronik ekipman, çip, komponentlerin vs. “artık mevcut olmaması ”			
İDARİ	İzne tabi malzemelerde izinlerin gecikmesi (İhracat izni, MSB izni vs.)			
İDARİ	Sözleşme kapsamının daralması veya değişmesi			
TASARIM	Tasarım çalışmalarında gecikme yaşanması			
TASARIM	Tasarım sürecinde üretilebilirliğin gözetilmemesi			
TASARIM	Tasarım fazında gereksinimlerin yanlış tanımlanması			
ÜRETİM	Hatalı üretim			
ÜRETİM	Üretim hattı yoğunluğu nedeniyle üretim takvimine uyulamaması			
ÜRETİM	Tasarım / üretim dokümantasyon eksikliği nedeniyle üretim aksaması			
TEKNİK	Zorlayıcı Sertifikasyon/Standart Beklentileri (Uyumsuzluk, Eksiklik vb.)			
TEKNİK	Yeni tasarım/üretim araçlarının kullanılması ihtiyacı			
TEKNİK	Ekipman / Cihaz arızaları			
TEKNİK	Test Altyapısının/Ekipmanlarının yetersiz veya eksik olması			

EK 2 – IFN Uzman Güven Değerlendirmeleri

Uzman	Güven Aralığı																							η
Direktör	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
Müdür-1	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3
Müdür-2	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3
PY-1	-	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PY-2	-	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PY-3	-	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,10,0,85 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PY-4	-	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,10,0,85 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PY-5	-	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PY-6	-	(0,50,0,50 _0,00)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PY-7	-	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PY-8	-	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PM-1	-	-	-	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	0,1
PM-2	-	-	-	(0,25,0,70 _0,05)	(0,9,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	0,1
PM-3	-	-	-	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	0,1
PM-4	-	-	-	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	0,1
PM-5	-	-	-	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	0,1
PM-6	-	-	-	(0,10,0,85 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,10,0,85 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	0,1
PM-7	-	-	-	(0,10,0,85 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,10,0,85 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	0,1
PM-8	-	-	-	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	0,1
PM-9	-	-	-	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	0,1
PM-10	-	-	-	(0,10,0,85 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,10,0,85 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	0,1
SM-1	-	-	-	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,25,0,70 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	0,1
SM-2	-	-	-	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,90,0,05 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,75,0,20 _0,05)	(0,50,0,50 _0,00)	(0,50,0,50 _0,00)	0,1

EK 3 – SFN Uzman Güven Değerlendirmeleri

Uzman	Güven Aralığı																							η
Direktör	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
Müdür-1	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3
Müdür-2	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3
PY-1	-	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PY-2	-	(0,50,0,40 _0,40)	(0,30,0,70 _0,40)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PY-3	-	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,20,0,80 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PY-4	-	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,20,0,80 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PY-5	-	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PY-6	-	(0,50,0,40 _0,40)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PY-7	-	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PY-8	-	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
PM-1	-	-	-	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	0,1
PM-2	-	-	-	(0,30,0,70 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	0,1
PM-3	-	-	-	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	0,1
PM-4	-	-	-	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	0,1
PM-5	-	-	-	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	0,1
PM-6	-	-	-	(0,20,0,80 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,20,0,80 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	0,1
PM-7	-	-	-	(0,20,0,80 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,20,0,80 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	0,1
PM-8	-	-	-	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	0,1
PM-9	-	-	-	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	0,1
PM-10	-	-	-	(0,20,0,80 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,20,0,80 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	0,1
SM-1	-	-	-	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,30,0,70 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	0,1
SM-2	-	-	-	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,80,0,20 _0,10)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,70,0,30 _0,20)	(0,50,0,40 _0,40)	(0,50,0,40 _0,40)	0,1

EK 4 - Tez Çalışması Orijinallik Raporu

Şablona uygun olarak hazırlanan “Orijinallik Raporu”nun imzalı hali bu bölümde verilmelidir.

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Eda Hilal AKBULUT
Doğum yeri : Yenimahalle, ANKARA
Doğum tarihi : 14.06.1999
Medeni hali : Evli
Yazışma adresi : edahilalgurluk@gmail.com
Telefon : +90 (537) 262 61 55
Elektronik posta adresi : edagurluk@hacettepe.edu.tr
Yabancı dili : İngilizce

EĞİTİM DURUMU

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği

İş Tecrübesi

2021-Halen ASELSAN A.Ş. Aviyonik ve Güdüm Sistemleri Sektör Başkanlığı – Proje Mühendisi

