

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE SAVUNMA
SANAYİİ SEKTÖRÜNDE YEŞİL TEDARİKÇİ SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mübeccel ELER ÖZTÜRK

NİSAN 2025

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE SAVUNMA
SANAYİİ SEKTÖRÜNDE YEŞİL TEDARİKÇİ SEÇİMİ**

Mübeccel ELER ÖZTÜRK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"ENDÜSTRİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13.03.2025

Tezin Savunma Tarihi : 14.04.2025

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN

Trabzon 2025

ÖNSÖZ

“Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Savunma Sanayii Sektöründe Yeşil Tedarikçi Seçimi” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı kapsamında hazırlanmıştır.

Bu süreçte bilgi ve tecrübeleriyle yoluma ışık tutan, rehberliği ve desteğiyle çalışmamı şekillendiren değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN’e gönülden teşekkür ederim. Aynı zamanda, eğitim-öğretim hayatım boyunca üzerimde emeği bulunan kıymetli hocalarıma ve başta canım arkadaşım Zehra UYANIK olmak üzere bu tez çalışmasında katkısı bulunan bütün arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Her zaman olduğu gibi tez çalışması sürecinde de her türlü desteğiyle yanımda hissettiğim kıymetli aileme ve özellikle sevgili eşim Halil İbrahim ÖZTÜRK’e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın, sürdürülebilir ve yeşil tedarik uygulamalarının gelişimine katkı sağlamasını temenni ederim.

Mübeccel ELER ÖZTÜRK

Trabzon 2025

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Savunma Sanayii Sektöründe Yeşil Tedarikçi Seçimi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Şükrü Özşahin’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14.04.2025

Mübeccel ELER ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Savunma Sanayii Sektörü.....	2
1.3. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi (YTZY).....	3
1.3.1. YTZY Kavramı	3
1.3.2. YTZY'nin Gelişimi.....	4
1.3.3. YTZY Faaliyetleri.....	6
1.3.4. Yeşil Tedarik Zinciri (YTZ) ile İlgili Temel Standartlar	8
1.4. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemleri	9
1.4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	10
1.4.2. İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği (TOPSIS).....	15
1.4.3. Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Uzantıları	17
1.4.4. Pisagor Bulanık Kümeler (PBK).....	18
1.4.5. Aralık Değerli PBK.....	19
1.4.6. Aralık Değerli Pisagor Bulanık AHP (PB-AHP).....	21
1.4.7. Aralık Değerli Pisagor Bulanık TOPSIS (PB-TOPSIS)	22
1.5. Literatür Araştırması	24
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	37
2.1. Kriterlerin Belirlenmesi.....	38
2.2. Anket Uygulaması.....	41
2.2.1. Kriterlerin Ağırlıklandırılmasına İlişkin Anket Uygulaması	42
2.2.2. Alternatiflerin Karşılaştırılmasına İlişkin Anket Uygulaması	43

2.3.	Aralık Değerli PB-AHP Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	45
2.3.1.	AHP Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi ve Tutarlılık Analizi	45
2.3.2.	Anket Sonuçlarının Birleştirilmesi.....	48
2.3.3.	Aralık Değerli PB-AHP Yöntemi İşlem Adımları	52
2.4.	Aralık Değerli PB-TOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması	55
2.4.1.	Anket Sonuçlarının Birleştirilmesi.....	55
2.4.2.	Aralık Değerli PB-TOPSIS Yöntemi İşlem Adımları.....	58
2.5.	Duyarlılık Analizi.....	66
2.5.1.	Karar Verici Ağırlıklarının Değiştirilmesi	66
2.5.2.	Kriter Ağırlıklarının Değiştirilmesi	68
2.6.	Karşılaştırmalı Analiz.....	71
2.6.1.	Aralık Değerli PB-WASPAS	71
2.6.2.	Karşılaştırmalı Analiz Uygulama Adımları	72
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	75
4.	SONUÇLAR.....	84
5.	ÖNERİLER	86
6.	KAYNAKLAR.....	88
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE SAVUNMA SANAYİİ SEKTÖRÜNDE YEŞİL TEDARİKÇİ SEÇİMİ

Mübeccel ELER ÖZTÜRK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN
2025, 94 Sayfa

Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi (YTZY)'ye yönelik farkındalık son yıllarda hızla artmış ve bu alandaki çalışmalar da yoğunlaşmıştır. İhracat oranlarının her yıl yükseldiği savunma sanayiinde çevre odaklı yaklaşımların benimsenmesinin, özellikle ihracatı kolaylaştırma potansiyeline sahip olduğu değerlendirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, bir insansız hava aracı (İHA) karıştırıcı sistemine ilişkin yeşil tedarikçi seçimi üzerine bir uygulama yapılarak, yeşil tedarik uygulamalarının önemini vurgulamak ve sektördeki farkındalığın artmasına katkı sağlamaktır. Öncelikle literatür taraması ve uzman görüşleri yardımıyla beş ana kriter ve yirmi alt kriter belirlenmiş, ardından dört tedarikçi arasından en uygun tedarikçinin seçilmesi hedeflenmiştir. İkinci aşamada aralık değerli Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (PB-AHP) ile kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış, üçüncü aşamada tedarikçiler değerlendirilmiş ve aralık değerli Pisagor Bulanık İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği (PB-TOPSIS) yöntemiyle adaylar sıralanmıştır.

Son olarak, duyarlılık analizi ve karşılaştırmalı analiz yardımıyla önerilen karar verme yaklaşımının sağlamlığı doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok Kriterli Karar Verme, Yeşil Tedarikçi Seçimi, Savunma Sanayii, Aralık Değerli PB-AHP, Aralık Değerli PB-TOPSIS,

Master's Thesis

SUMMARY

GREEN SUPPLIER SELECTION IN DEFENSE INDUSTRY SECTOR WITH MULTI- CRITERIA DECISION-MAKING METHODS

Mübeccel ELER ÖZTÜRK

Karadeniz Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN
2025, 94 Pages

Awareness towards green supply chain management has increased rapidly in recent years and studies in this field have also intensified. It has been evaluated that the adoption of environmentally focused approaches in the defense industry, where export rates increase every year, has the potential to facilitate exports.

The purpose of the study is to emphasize the importance of green procurement practices and contribute to increasing awareness in the sector by conducting an application on green supplier selection for an unmanned aerial vehicle jammer system. Firstly, with the help of literature review and expert opinions 5 main criteria and 20 sub-criteria have been determined and then it has been aimed to select the most suitable supplier among the four candidates. In the second stage, the weights of criteria have been calculated with interval-valued Pythagorean fuzzy analytical hierarchy process (IVPF-AHP). Eventually, the suppliers have been evaluated and candidates have been ranked with interval-valued technique for order preference by similarity to ideal solution (IVPF-TOPSIS).

Finally, via the sensitivity analysis and comparative analysis the robustness of the proposed decision making approach was verified.

Key Words: Multicriteria Decision-Making, Green Supplier Selection, Defense Industry, IVPF-AHP, IVPF-TOPSIS,

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Yıllar bazında Y TZ ile ilgili yapılan akademik çalışmalar	4
Şekil 2. Ülkeler bazında Y TZ ile ilgili yapılan akademik çalışmalar.....	5
Şekil 3. Y TZY bileşenleri.....	6
Şekil 4. ISO 14000 kapsamı	9
Şekil 5. ÇKKV süreci	9
Şekil 6. AHP yöntemi işlem adımları	11
Şekil 7. AHP hiyerarşi yapısı.....	12
Şekil 8. PBK ve SBK'nın geometrik gösterimi	18
Şekil 9. Örnek ikili karşılaştırma matrisi	43
Şekil 10. Alternatif karşılaştırma örneği.....	44
Şekil 11. Ana kriterlerin ağırlıkları.....	75
Şekil 12. Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik alt kriter ağırlıkları.....	76
Şekil 13. Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon alt kriter ağırlıkları	76
Şekil 14. Finansal ve Ticari Şartlar alt kriter ağırlıkları	77
Şekil 15. Operasyonel Performans ve İş İlişkileri alt kriter ağırlıkları	78
Şekil 16. Teknik Özellikler alt kriter ağırlıkları	78
Şekil 17. Tüm kriterler için global ağırlık sıralaması	79
Şekil 18. Alternatiflerin sıralanması	79
Şekil 19. Karar verici ağırlıklarının değişimine göre kriter ağırlıkları	80
Şekil 20. Karar verici ağırlıklarının değişimine göre alternatif sıralamaları	81
Şekil 21. Duyarlılık analizi sonuçları	82
Şekil 22. Yöntemlere göre alternatiflerin karşılaştırmalı analiz sonuçları	83

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. ÇKKV yöntemlerinin sınıflandırılması	10
Tablo 2. İkili karşılaştırmalarda kullanılan ölçek	13
Tablo 3. Rassal indeksler	14
Tablo 4. Bulanık küme uzantıları.....	17
Tablo 5. Aralık değerli PB-AHP dilsel skalası	21
Tablo 6. Yeşil tedarikçi seçimine ilişkin yapılan çalışmalar	32
Tablo 7. Yeşil tedarikçi seçimi kriterleri	38
Tablo 8. Karar vericilere ilişkin bilgiler	42
Tablo 9. TOPSIS dilsel skalası	44
Tablo 10. Dilsel ifadelerin AHP skalası karşılıkları	45
Tablo 11. Finansal ve Ticari Şartlar kriterlerinin AHP skalası sayısal karşılıkları.....	46
Tablo 12. Finansal ve Ticari Şartlar kriterlerinin normalizasyon matrisi	46
Tablo 13. Finansal ve Ticari Şartlar alt kriter ağırlıkları	47
Tablo 14. Tutarlılık hesabı-1.....	47
Tablo 15. Tutarlılık hesabı-2.....	47
Tablo 16. Ana kriterlerin tutarlılık değerleri.....	48
Tablo 17. Ana kriterlerin birleştirilmiş karşılaştırma matrisi	49
Tablo 18. Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik alt kriterlerinin birleştirilmiş karşılaştırma matrisi.....	49
Tablo 19. Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon alt kriterlerinin birleştirilmiş karşılaştırma matrisi.....	50
Tablo 20. Finansal ve Ticari Şartlar alt kriterlerinin birleştirilmiş karşılaştırma matrisi	50
Tablo 21. Operasyonel Performans İş İlişkileri alt kriterlerinin birleştirilmiş karşılaştırma matrisi.....	51
Tablo 22. Teknik Özellikler alt kriterlerinin birleştirilmiş karşılaştırma matrisi.....	51
Tablo 23. Ana kriterlerin fark matrisi	52
Tablo 24. Ana kriterlerin aralık çarpım matrisi	52
Tablo 25. Ana kriterlerin belirsizlik değerleri	53
Tablo 26. Ana kriterlerin normalizasyon öncesi ağırlık matrisi	53
Tablo 27. Ana kriterlerin kriter ağırlıkları	53
Tablo 28. Kriterlerin global önem ve sıra tablosu	54

Tablo 29. Birleştirilmiş alternatifler değerlendirme tablosu	56
Tablo 30. A1 ve A2 alternatif firmaları için (π) , $S(a)$ ve $S^*(a)$ hesaplaması.....	59
Tablo 31. A3 ve A4 alternatif firmaları için (π) , $S(a)$ ve $S^*(a)$ hesaplaması.....	60
Tablo 32. Pozitif ve negatif ideal çözüm hesabı	62
Tablo 33. Pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklık hesabı.....	64
Tablo 34. Ağırlıklı uzaklıklar hesap tablosu	65
Tablo 35. Yakınlık katsayıları hesabı ve alternatiflerin sıralanması.....	66
Tablo 36. Karar verici ağırlıkları	66
Tablo 37. $Sn0$ ile $Sn1$ sonuçlarının karşılaştırılması	67
Tablo 38. Aralık değerli PB-TOPSIS sonuçları.....	68
Tablo 39. Senaryolar bazında alternatiflerin C_i değerleri.....	70
Tablo 40. Ağırlıklı toplam matrisi	73
Tablo 41. Ağırlıklı çarpım matrisi	73
Tablo 42. Sonuç matrisi	74
Tablo 43. Durulaştırılmış sonuç matrisi.....	74

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A^+	: Pozitif İdeal Çözüm
A^-	: Negatif İdeal Çözüm
CI^*	: Pozitif İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık
CI	: Tutarlılık İndeksi
CR	: Tutarlılık Oranı
$\mathcal{C}$	: Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik
$\mathcal{C}1$	: Çevresel Sertifikalar ve Standartlar
$\mathcal{C}2$	: Çevresel Hedef ve Taahhütler
$\mathcal{C}3$	: Karbon Ayak İzi
$\mathcal{C}4$	: Yeniden Kullanılabilirlik ve Dönüştürülebilirlik
F	: Finansal ve Ticari Şartlar
$F1$	: Ürün Fiyatı
$F2$	: Esnek Ödeme Şartları
$F3$	: Teslim Süresi
$F4$	: Kalite Sertifikaları
J	: Maksimizasyon Yönlü Kriter Grupları
J'	: Minimizasyon Yönlü Kriter Grupları
L	: Alt Üyelik Derecesi
O	: Operasyonel Performans ve İş İlişkileri
$O1$	: Geçmiş Başarılar ve Referans Projeler
$O2$	: Operasyonel Esneklik ve Uyum Kabiliyeti
$O3$	: Tedarikçi Profili
$O4$	: Satış Sonrası Destek ve Müşteri Memnuniyeti
R	: Standart Karar Matrisi
RI	: Rassal Tutarlılık İndeksi
S	: Skor Fonksiyonu
S^*	: Normalize Skor Fonksiyonu
$Sn0$	: Karar Vericilere Eşit Ağırlık Verilen Senaryo
$Sn1$	: Karar Vericilere Tecrübeleri ile Orantılı Ağırlık Verilmesi Senaryosu
T	: Teknik Özellikler

T1	: Etkinlik Menzili
T2	: Sistem Ağırlığı
T3	: Anten Sayısı
T4	: Çıkış Gücü
U	: Üst Üyelik Derecesi
V	: Ağırlıklandırılmış Standart Karar Matrisi
Y	: Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon
Y1	: Yeşil Tasarım
Y2	: Yeşil Üretim
Y3	: Toplumsal Katkı ve Çevresel Farkındalık Projeleri
Y4	: Yeşil İnovasyon Faaliyetleri
w_i	: Öncelik Vektörü
μ	: Üye Olma Derecesi
ν	: Üye Olmama Derecesi
π	: Belirsizlik Derecesi
AAS	: Analitik Ağ Süreci
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	: Analitik Ağ Prosesi
ARAS	: Toplanan Oran Değerlendirmesi
CoCoSo	: Birleşik Uzlaşma Çözümü
CODAS	: Birleştirilebilir Uzaklık Tabanlı Değerlendirme
COPRAS	: Karmaşık Nispi Değerlendirme
CRITIC	: Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önem Tespiti
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DDT	: Diklorodifeniltriikloroetan
DEMATEL	: Karar Verme Denemesi ve Değerlendirme Laboratuvarı
EDAS	: Ortalama Çözüm Uzaklığına Dayalı Değerlendirme
FMEA	: Hata Türleri ve Etkileri Analizi
GRA	: Gri İlişkisel Analiz
IOT	: Nesnelerin İnterneti
İHA	: İnsansız Hava Aracı
MOORA	: Oran Analizi Temelinde Çok Nesneli Optimizasyon
PBAG	: Pisagor Bulanık Ağırlıklı Geometrik

PBAO	: Pisagor Bulanık Aritmetik Ortalama
PBK	: Pisagor Bulanık Kümeler
PBS	: Pisagor Bulanık Sayılar
PB-AHP	: Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
PB-TOPSIS	: Pisagor Bulanık İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği
PB-WASPAS	: Pisagor Bulanık Ağırlıklı Birleşik Toplam Çarpım Değerlendirmesi
PFS	: Resim Bulanık Kümeler
RoHS	: Belirli Zararlı Maddelerin Kullanımını Kısıtlama
SBK	: Sezgisel Bulanık Kümeler
SBS	: Sezgisel Bulanık Sayılar
SSB	: Savunma Sanayii Başkanlığı
SWARA	: Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oranı Analizi
TODIM	: Etkileşimli ve Çok Kriterli Karar Verme
TOPSIS	: İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği
VIKOR	: Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm
VZA	: Veri Zarflama Analizi
WASPAS	: Ağırlıklı Birleşik Toplam Çarpım Değerlendirmesi
WPM	: Ağırlıklı Çarpım Modeli
WSM	: Ağırlıklı Toplam Modeli
YTZ	: Yeşil Tedarik Zinciri
YTZY	: Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

“Yeşil” kavramı, üretim ve tedarik süreçlerinde çevresel etkilerin azaltılmasını hedefleyen sürdürülebilir yaklaşımları ifade etmektedir. Enerji verimliliği, atık yönetimi ve karbon ayak izinin azaltılması gibi unsurlar, bu anlayışın temelini oluşturmaktadır. Günümüzde yeşil uygulamaların iş süreçlerine entegrasyonu hem çevresel sorumluluğun gereği hem de stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir.

Savunma sanayii sektörü ise teknolojik gelişmeler ve güvenlik ihtiyaçları doğrultusunda hızla evrimleşen stratejik bir sektör olarak dikkat çekmektedir. Bu sektörde faaliyet gösteren firmaların tedarik zinciri yönetimi uygulamalarına yeşil ve sürdürülebilir yöntemlerin entegrasyonu, hem çevresel etkileri azaltma hedefleriyle uyumlu olma hem de rekabet avantajı sağlama adına kritik önem arz etmektedir.

Savunma sanayii sektörünün hızla değişen dinamiklerine paralel olarak, çevresel sürdürülebilirlik ve YTZY konularına olan ihtiyaç da giderek artmaktadır. Bu tezin temel amacı, savunma sanayii sektörünün elektronik harp başlığı altında yer alan bir İHA karıştırma sisteminin tedarik sürecinde en uygun çözüm seçilirken yeşil tedarik kavramının da dikkate alınmasını sağlamaktır.

Çalışmada, ÇKKV yöntemleri üzerine odaklanılmıştır. Savunma sanayi sektörünün yapısı ve YTZY ile ilgili temel kavramlar ele alınmış, ilerleyen bölümlerde ise yeşil tedarikçi seçiminde kullanılacak ÇKKV yöntemleri detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca, bir uygulama örneği üzerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek çalışmanın bulguları ortaya konmuştur.

Savunma sanayii sektöründeki YTZY, sadece çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda rekabet avantajı elde etme ve yeni yasal gerekliliklere hazırlık açısından da stratejik bir öneme sahiptir. Bu doğrultuda, çalışma sektördeki firmaların YTZY konusundaki farkındalık seviyelerinin artırılmasına ve bu alandaki akademik literatüre katkı sunulmasına da olanak sağlayacaktır.

1.2. Savunma Sanayii Sektörü

Türkiye'nin savunma sanayii sektörü ile ilgili ilk adımları, 1974 Kıbrıs Barış Harekâtı sırasında atılmıştır. Bu harekâtın ardından ülkemize uygulanan ambargolar, yerli sanayinin savunma sanayii gibi kritik bir alanda da gelişimini zorunlu hale getirmiştir. Bu zorunluluğun yansıması olarak, Türk Silahlı Kuvvetlerini Güçlendirme Vakfı aracılığıyla ASELSAN (1975), İŞBİR (1979), ASPİLSAN(1981) ve HAVELSAN (1982) gibi ulusal savunma sanayii firmaları kurulmuştur. Türk Silahlı Kuvvetleri'nin giderek büyüyen ihtiyaçlarını karşılamak için, 1985 yılında Savunma Sanayii Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (SAGEB) kurulmuştur. Daha sonrasında başkanlık 1989 yılında Savunma Sanayii Müsteşarlığı'na (şimdiki adıyla Savunma Sanayii Başkanlığı) dönüştürülmüştür (Ateş, 2023).

Bu süreçte yerli ürün ve bileşenlere olan ihtiyaç giderek artmış; 1990'lı yıllarda başta ortak üretim olmak üzere çeşitli proje modelleri ile milli kabiliyetlerimizin geliştiği gözlemlenmiştir.

2000'li yıllarda Türk savunma sanayiinde milli projelere ağırlık verilmiştir. Savunma sistemleri tedarikinin mali yükünü azaltmak ve ülke sanayini geliştirmek amacıyla son yıllarda savunma sanayinin millileştirilmesi yönünde büyük adımlar atılmıştır (Çelik, 2023). Bu çerçevede Altay Tankı, Atak Helikopteri ve Anka İnsansız Hava Aracı gibi stratejik öneme sahip milli savunma projeleri başlatılmış ve geliştirilmiştir. Ülkemizin uzun yıllardır üstünde çalışarak elde ettiği ve her geçen gün üstüne teknolojik yenilik eklediği (silahlı İHA'lar, AKINCI yeni nesil İHA'lar, İnsansız Savaş Jeti Projesi) bu sistemler ile pazardan alacağımız pay her geçen gün artarak devam edecektir (Bakır, 2019).

Türk savunma sanayiinde, yerli üretilen ve geliştirilen sistemlerle birlikte savunma sanayii ihracatında da ciddi bir artış kaydedilmiştir. Savunma sanayii ürünlerinin katma değerinin yüksek olmasından dolayı ihracatının yapılması oldukça önemlidir (Manisa, 2023). Orta Doğu, Afrika ve Asya'daki birçok ülkeye savunma sistemleri ihraç edilmiştir. Ayrıca, farklı ülkelerle stratejik ittifaklar ve ortak savunma projeleri başlatılmıştır. Uçak gemisi, askeri savaş uçağı, denizaltı gibi çok karmaşık ve ileri teknoloji içeren platformlar için de bu ittifaklardan yararlanılmaktadır.

Türkiye dünya ülkeleri arasında rekabetçi bir konum elde edebilmek amacıyla savunma sanayiine özellikle 25 yıldır büyük yatırımlar yapmaktadır (Öztürk, 2022). Sektördeki firmalar, yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması konusunda aktif rol

üstlenmektedir. Yapay zekâ, artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, kuantum teknolojiler, otonom akıllı sistemler, sürü teknolojileri ve doğal dil işleme gibi birçok alanda yenilikçi yaklaşımlar ortaya konmuştur.

1.3. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi (YTZY)

Bu bölümde, YTZY kavramı kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. YTZY'nin tanımı, tarihsel gelişimi, uygulama alanları, önemi ve bu alanda yapılmış akademik çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca, YTZY'nin temel bileşenleri açıklanmış ve bu alandaki temel standartlar ve sertifikalar üzerinde durulmuştur. Bölüm, YTZY'nin kavramsal çerçevesini daha iyi anlamaya katkıda bulunmayı ve bu yönetim yaklaşımının stratejik önemini açıklamayı amaçlamaktadır.

1.3.1. YTZY Kavramı

YTZY kavramına ilişkin farklı tanımlar söz konusudur. Bu tanımlardan bazıları aşağıda yer almaktadır.

Zsidisin ve Siferd'e (2001) göre, YTZY, bir firmanın doğal çevreyi dikkate alarak ürün ve hizmetlerinin tasarımı, tedariki, üretimi, dağıtımı, kullanımı, yeniden kullanımı ve imha etmesi konularıyla ilişkili kaygılarına cevaben uyguladığı politikalar ve oluşturduğu ilişkilerin bütünüdür.

YTZY, ürün tasarımı, malzeme tedariki ve malzeme seçimi, üretim süreçleri, nihai ürünün müşteriye ulaştırılması ve ürünün faydalı kullanımının ardından ömür devri yönetimini de içerecek şekilde çevresel düşüncüyü bütünlemektedir (Srivastava, 2007).

Dube ve Gawande (2011) tarafından yapılan tanıma göre, YTZY, çevre dostu girdilerin kullanılması ve bu girdilerin yaşam döngülerinin sonunda yeniden talep edilebilecek ve yeniden kullanılabilir olacak çıktılarına dönüştürülmesi sürecidir.

Ghosh'a (2017) göre ise, YTZY, endüstrilerde çevre dostu tedarik zinciri yönetimi anlamına gelir.

YTZY'ye ilişkin önceki tanımları birleştirerek daha net ve anlaşılır bir tanım yapmak gerekirse: YTZY, sürdürülebilirlik ve çevresel sorumluluk ilkelerini tedarik zinciri yönetiminin tüm aşamalarına entegre ederek hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlamayı hedefleyen önemli bir kavramı temsil eder.

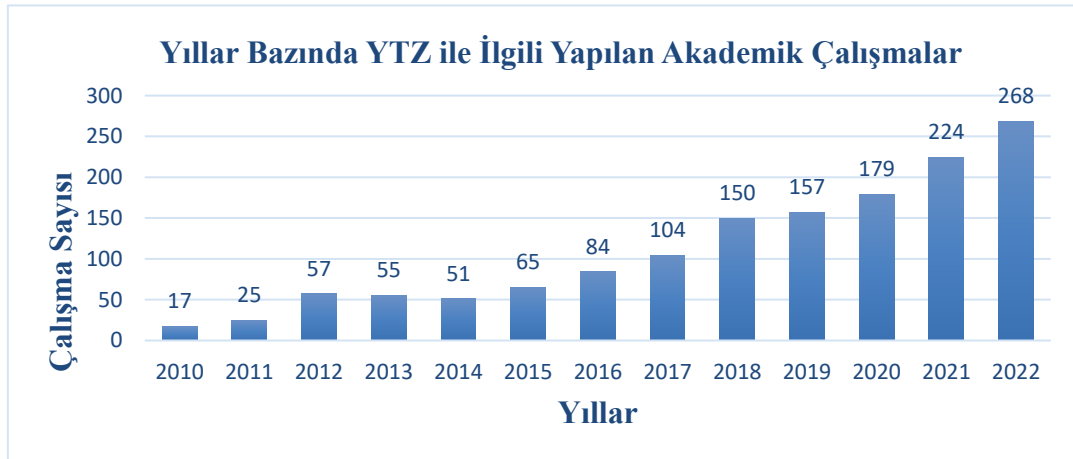
1.3.2. YTZY'nin Gelişimi

Çevresel sorunların önemi, Rachel Carson'ın Sessiz Bahar kitabıyla kamuoyunun dikkatine sunulmuştur. Kimyasal diklorodifeniltrikloroetan (DDT)'yi ve DDT'nin kuşlar ile insanlar üzerindeki etkisini eleştiren Carson'ın kitabı, 1960'lar ve 1970'lerde ABD'deki çevre hareketini hızlandırmakla tanınır. Bu kitaba verilen tepkiler arasında çevreyle ilgili ek düzenlemeler ve ABD Çevre Koruma Ajansı'nın kurulması da yer almıştır.

Fahimnia vd. (2015), tedarik zinciri yönetimi ve çevresel yönetim kavramlarının, özellikle 1980'lerin sonları ve 1990'ların başlarında, rekabet avantajı sağlamak amacıyla stratejik organizasyonel uygulamalar olarak artan bir ilgi gördüğünü belirtmiştir. Ancak, Sarkis vd.'ne (2011) göre; tedarik zincirlerini yönetmek 20. yüzyılın başlarında yönetim ve mühendislik literatüründe kanıtlandığı gibi uygulamada da yaygınlık kazandı. Bu erken dönemlerde endüstriyel kirlilik yönetimi ve ekonomi alanlarındaki bilim insanları için önemli bir araştırma konusu değildi.

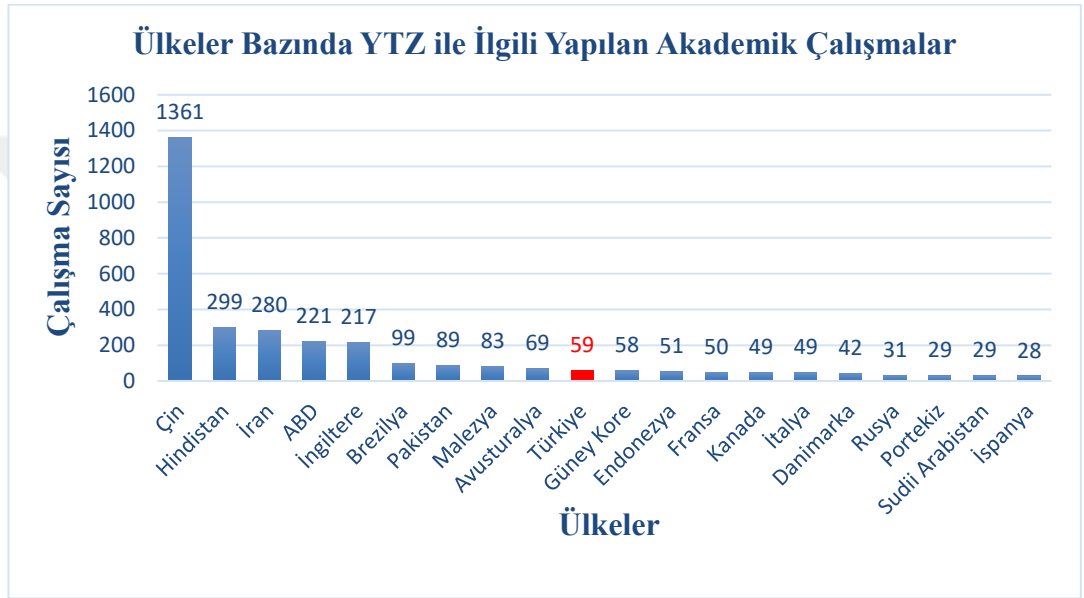
Günümüzde tedarik zincirinin "yeşillendirilmesi" kavramına bağlanabilecek en erken çalışmalardan bazıları, ABD Çevre Koruma Ajansı'nın kurulmasından önce, 1969 yılına kadar uzanmaktadır. Bu konuda Seuring ve Müller (2008), YTZY kavramının 1990'ların ortalarından sonra yeni bir disiplin olarak şekillendiğini belirtmiştir. Fahimnia vd. (2015), o tarihten itibaren, literatürde bu alandaki akademik yayınlarda hızlı ve geometrik bir artış (yukarı yönlü, doğrusal olmayan büyüme) gözlemlendiğini ifade etmiştir.

Deste vd. (2024), 2010-2022 yılları arasında YTZY ile ilgili yapılan akademik çalışmalara ait yıllara göre grafiği Şekil 1'deki gibi göstermiştir.



Şekil 1. Yıllar bazında YTZ ile ilgili yapılan akademik çalışmalar

Araştırma kapsamında belirtilen zaman diliminde en fazla çalışma sayısına sahip yirmi ülke karşılaştırılmaktadır. Her çalışmada birden fazla yazarın yer aldığı göz önüne alındığında, sıralamada Çin Halk Cumhuriyeti 1361 yazarla ilk sırada yer alırken, Hindistan 299 yazarla ikinci sırada, İran ise 280 yazarla üçüncü sırada bulunmaktadır. Deste vd. (2024), çalışma sayılarının ülkelere göre dağılımını Şekil 2’de gösterilen biçimde sunmuştur. Buna göre, Y TZ alanında yapılan akademik çalışmalar dikkate alındığında Türkiye 10. sırada yer almaktadır.



Şekil 2. Ülkeler bazında Y TZ ile ilgili yapılan akademik çalışmalar

YTZY’nin gelişiminde çeşitli faktörler etkili olmuştur. Bunlar arasında hükümetlerin çevreye yönelik getirdiği yasal düzenlemeler, tüketicilerin çevre dostu ürün ve hizmetlere olan artan talebi ve şirketlerin kurumsal sosyal sorumluluk bilincinin gelişmesi sayılabilir. Ayrıca, teknolojik ilerlemeler ve yenilikçi çözümler, Y TZ uygulamalarının etkinliğini ve verimliliğini artırmıştır. Bu faktörler, şirketleri tedarik zincirlerini daha yeşil ve sürdürülebilir hale getirmeye teşvik etmiş ve bu alandaki araştırma ve uygulamaların hız kazanmasına yol açmıştır.

Gelecekte, YTZY’nin daha da önem kazanması beklenmektedir. İklim değişikliği ve çevresel sürdürülebilirlik konularının giderek daha fazla ön plana çıkmasıyla birlikte şirketlerin olumsuz çevresel etkilerini azaltma çabaları da artacaktır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, atık yönetimi, geri dönüşüm uygulamaları, yeşil lojistik çözümleri ve sürdürülebilir malzeme kullanımı gibi alanlarda yenilikçi yaklaşımlar

geliştirilecektir. Ayrıca, tedarik zinciri boyunca şeffaflığın ve izlenebilirliğin artırılması, YTZY'nin etkinliğini iyileştirecek ve şirketlerin çevresel performanslarını artırmalarına yardımcı olacaktır. Bu gelişmeler, YTZY'nin iş dünyasında sürdürülebilirlik ve çevresel sorumluluk alanında önemli bir rol oynamaya devam edeceğini göstermektedir.

1.3.3. YTZY Faaliyetleri

Büyüközkan ve Vardaloğlu'na (2008) göre, YTZ yeşil satın alma, yeşil üretim, yeşil dağıtım, yeşil ambalajlama ve tersine lojistik faaliyetlerini kapsamaktadır. YTZY'ye ilişkin faaliyetler Şekil 3'te görselleştirilmiştir.



Şekil 3. YTZY bileşenleri

Güner'e (2010) göre, yeşil satın alma, hammadde seçiminde çevresel etkilerin dikkate alınmasını içerir. Bu süreçte, geri dönüştürülmüş, çevre dostu, kullanım ömrü sona erdiğinde doğada kolayca parçalanabilen veya yeniden işlenebilen malzemeler tercih edilir. Böylece, çevresel faktörler tedarikçi seçimi ve satın alma kararlarını doğrudan etkiler.

Min ve Galle'ye (1997) göre yeşil satın almanın temel amacı, belirlenen çevresel kriterlere uygun olarak daha çevre dostu hammadde, malzeme ve bileşenlerin tercih edilmesidir. Bu sayede, toksik maddeler içeren hammaddelerin ürün yaşam döngüsünden çıkarılması sağlanarak çevresel zarar en aza indirilir ve ürünün çevresel performansı iyileştirilir.

Mahruthi ve Rashmi'ye (2015) göre yeşil üretim, işletmelerin üretim ve tasarım süreçlerinde kaynaklarını verimli kullanarak atık ve kirliliği en aza indirmesini ve böylece rekabet gücünü artırmasını sağlamaktadır (Güngör, 2023).

Peker'e (2010) göre yeşil dağıtım, dağıtım süreçlerinin çevresel etkilerini en aza indirmek amacıyla bu etkileri ölçme ve azaltma çabalarını kapsar. Örneğin, fosil yakıt tüketimini azaltan nakliye yöntemlerinin tercih edilmesi ve güzergâh optimizasyonu gibi stratejiler bu kapsamda değerlendirilebilir.

Yeşil paketleme; ürünlerin aktarılması sırasında kullanılan ambalajların ürünleri dış etkilere, darbelere karşı korumasının yanında çevreye zarar vermemesini hedefler. Kullanıcılar ürünleri aldıktan sonra ambalajları genellikle göz ardı edebilirler. Ambalaj atıklarının çevreye verdiği zarar ise tartışılmayacak kadar büyüktür. Y TZ'nin amaçlarından biri de ürünlerin paketlerinin geri dönüştürülebilir ve çevreye zararı az olan ürünlerden yapılmasıdır (Aslan, 2023).

Türkay'a (2015) göre, tersine lojistik, tüketim noktasından üretim noktasına doğru hammadde, yarı mamul, bitmiş ürün ve bu ürünlerle ilgili bilgilerin geri kazanılmasını veya uygun şekilde imha edilmesini sağlamak amacıyla etkin bir şekilde planlanması, uygulanması ve izlenmesi sürecidir

Ak ve Genç (2018), geri dönüşümü, değerlendirilebilir atıkların farklı fiziksel ve/veya kimyasal yöntemlerle ikincil hammaddeye dönüştürülüp yeniden üretim sürecine dahil edilmesi olarak tanımlamaktadır.

Aksoy'a (2007) göre, yeniden üretim, kullanılmış ve yıpranmış ürünlerin endüstriyel işlemlerle "yeni ürün" haline getirilmesidir. Bu süreç sayesinde, yeniden üretim, kullanılmış parçalarla yeni ürünlerin kalite standartları ve güvenilirliği sağlanır. Yeniden üretim, atık miktarını azaltmak için etkili ve karlı bir yöntem olmanın yanı sıra, doğal kaynakların tüketimini de azaltır.

Yeniden kullanım, malzemelerin, ürünlerin ve bileşenlerin üretim alanından toplanarak ikinci kez kullanılması amacıyla dağıtılması ve satılması sürecidir. Bu süreçte, ürünün orijinal değerinde bir azalma olsa da, herhangi bir ek işleme yapılmasına gerek yoktur (Büyüközkan & Vardaloğlu, 2008).

Bertaraf etme, geri dönüştürülemeyen materyallerin yok edilerek çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılması sürecidir. Üretim süreçlerinde, geri dönüştürülemeyen atıklar, hurdalar veya kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin çevreye zarar vermesinin önlenmesi amacıyla imha edilmesidir (Yaprak & Doğan, 2019).

1.3.4. Yeşil Tedarik Zinciri (YTZ) ile İlgili Temel Standartlar

Bu bölümde, YTZ ile ilgili önemli bazı standartlara ilişkin bilgiler sunulacaktır. Ele alınacak bu standartlar, YTZ süreçlerinin etkin bir şekilde uygulanmasına ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına rehberlik etmektedir.

ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi:

Uluslararası düzeyde en yaygın kabul gören yönetim sistemi ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Standardı'dır. Bu standart, 2011 yılında uygulanmaya başlanmış ve 2018 yılında güncellenerek, özellikle Çevre, İş Güvenliği ve Kalite Yönetim Sistemleri ile entegrasyonu sağlanmış; bu sayede verimlilik artışı kolaylaştırılmıştır. Tüm bu yönetim sistemlerinin temel amacı, üretim süreçlerinde kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Bu hedefe ulaşmak için ise stratejiler, veri setleri, teknolojiler ve süreçler yönetim sistemleri tarafından belirlenmektedir (Nalbur & Yavaş, 2023).

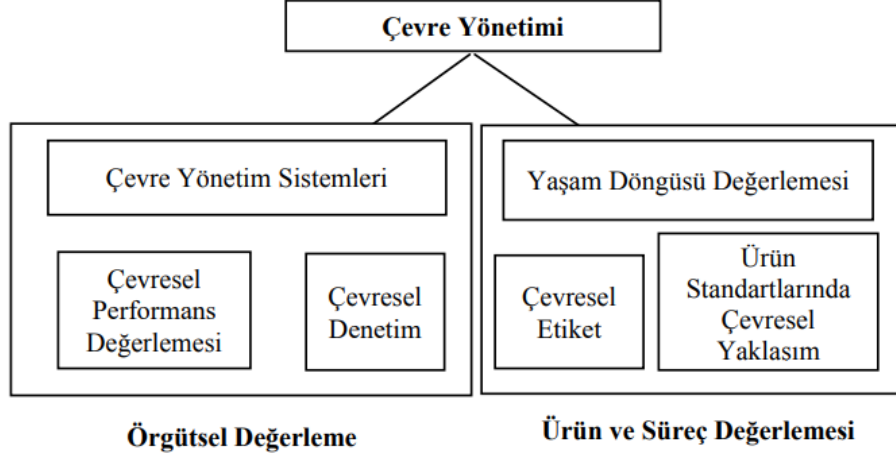
Nalbur ve Yavaş'a (2023) göre, ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi, endüstriyel kuruluşlara en önemli katkıları şu şekilde sunmaktadır:

- Üst yönetimin politika ve taahhüdünün sağlanması,
- Tüm liderlerin sürece aktif katılımı,
- Enerji riskleri ve fırsatlarının sürekli olarak belirlenip minimize edilmesi,
- İstatistiksel yöntemlerle enerji öngörülerini yapılması ve bu öngörülerdeki sapmalar ile verimsizliklerin tespiti,
- Ürün tasarımı ve satın alma aşamalarındaki enerji faaliyetlerinin değerlendirilmesi,
- Farkındalık artırıcı faaliyetler ve sürekli iyileştirme çalışmaları kapsamında enerji kayıplarına odaklanarak temiz üretim yaklaşımının benimsenmesi.

ISO 14000 Çevre Yönetim Standartları:

Montabon vd. (2006), 1992 yılında İngiltere tarafından geliştirilen BS 7750'nin, çevre yönetim sistemine yönelik ilk standart olduğunu ve bu standardın ardından 1996 yılında ISO 14000 Çevre Yönetim Standartları'nın yayımlandığını belirtmiştir. ISO 14000'in yürürlüğe girmesiyle BS 7750 kaldırılmış ve yerini, daha kapsamlı çevre yönetim sistemlerine dair standartlar sunan ISO 14000 almıştır (Öçlü, 2015).

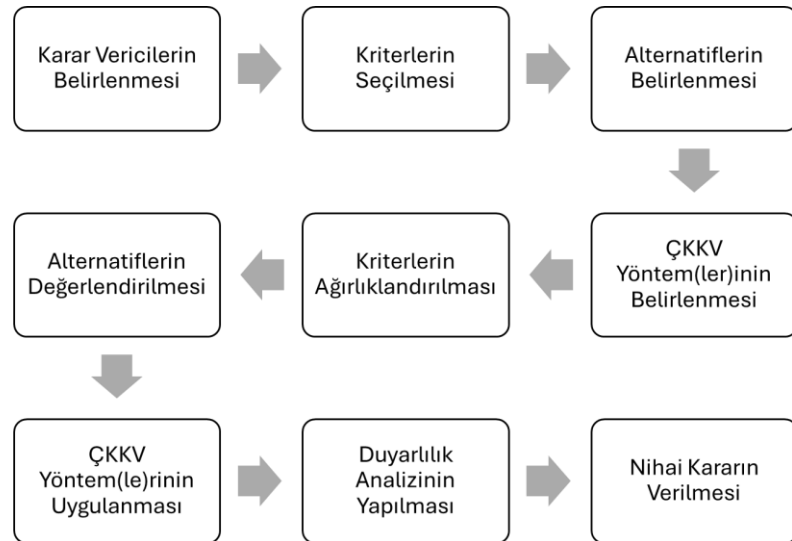
Montabon vd. (2006), ISO 14000 kapsamını, örgütsel değerlendirme ve ürün ve süreç değerlendirme olarak ikiye ayırmıştır. Bu kapsama göre içerik başlıkları Şekil 4'te yer almaktadır.



Şekil 4. ISO 14000 kapsamı

1.4. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemleri

ÇKKV yöntemi, oluşturulacak kriter seti ile bir çözüm için mevcut alternatifler arasından en uygun olanın seçimini ve diğer seçeneklerin sıralamasını sistematik bir biçimde sağlar (Karagöz, 2022). Bu yöntem, belirli bir süreç çerçevesinde yürütülür ve bu sürecin aşamaları genel olarak Şekil 5'te detaylı bir şekilde sunulmuştur.



Şekil 5. ÇKKV süreci

Paksoy (2017) ÇKKV yöntemlerinin seçenek ve kriter sayısının fazla olduğu durumlarda, optimum çözümü elde etmek için kriterlerin çelişkilerini dengeleyerek alternatiflerin sıralanmasını sağlayan yöntemler olduğunu ifade etmiştir.

ÇKKV yöntemleri, endüstri mühendisliği, çevre yönetimi, sağlık hizmetleri, şehir ve bölge planlaması, finans ve yatırım analizi, tedarik zinciri ve lojistik yönetimi gibi pek çok alanda geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Bu yöntemlerin uygulanması, karar verme süreçlerinde şeffaflık ve nesnelliği artırarak, kararların ardındaki mantığın daha açık bir şekilde ortaya konmasını sağlar. Böylece, daha bilinçli ve kabul edilebilir kararların alınmasına olanak tanır.

ÇKKV problemleri seçim, tasnif ve sıralama olmak üzere üç gruba ayrılır. Seçim problemleri, alternatiflerin arasından en uygun olanı tespit etmek hedeflenirken; tasnif problemlerinde çözümler belli gruplara ayrılır, sıralamada problemlerinde ise çözümlerin bir sıralaması uygulayıcıya sunulur (Dalbudak & Rençber, 2022). ÇKKV yöntemlerinin sınıflandırılması Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1. ÇKKV yöntemlerinin sınıflandırılması

Seçim Problemleri	Sınıflandırma Problemleri	Sıralama Problemleri
AHP	AHPSORT	MAUT/UTA
ANP	FLWSORT	MACBETH
MAUT/UTA	UTADIS	ELECTRE III
MACBETH	ELECTRE-Tri	
PROMETHEE		
ELEKTRE I		
TOPSIS		
Hedef Programlama		

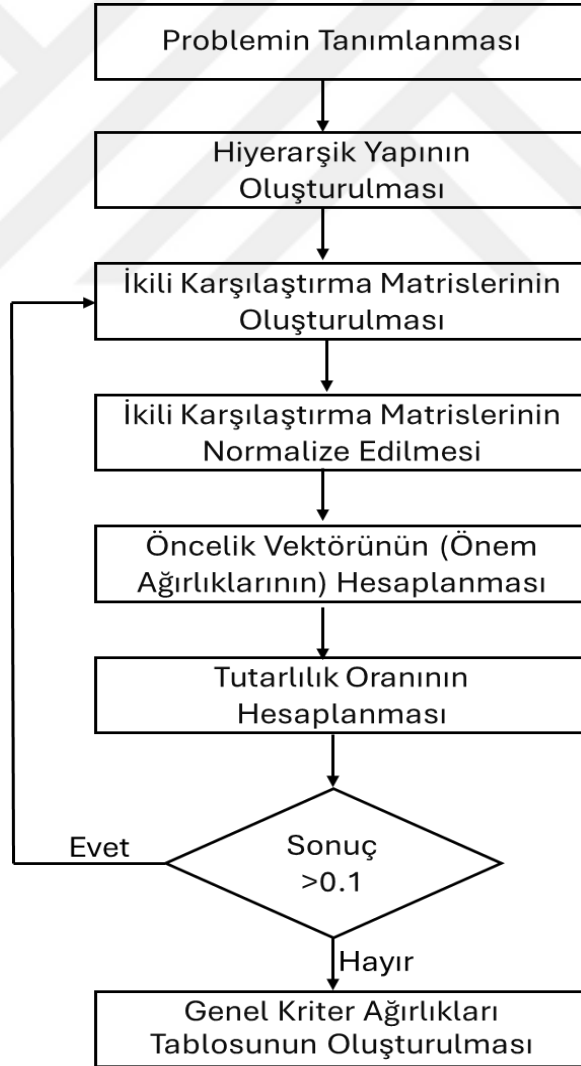
1.4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

İlk kez 1970’li yıllarda kullanılan AHP, 1980 yılında (Saaty, 1980) ‘nin ilk kitabı ile literatüre kazandırılmış ve güçlü, kullanışlı özellikleri ile günümüzde hâlâ araştırmacıların ilgi odağı olmaya devam etmektedir (Paksoy, 2017).

Erol (2018), AHP'nin birçok alternatif arasından seçim yapmayı sağlayan, çoklu karar verici katılımına olanak tanıyan ve karar vericilerin tercihlerini dikkate alarak nicel ve nitel değişkenleri kullanabilen bir ÇKKV yöntemi olduğunu ifade etmiştir.

AHP yönteminde, karar verebilmek için ikili karşılaştırmalar yapılarak sonuç elde edilir. Bu süreçte karmaşık sistemin hiyerarşik yapıyla sadeleştirilmesi sağlanır. Bu esnada öznel girdilerin de süzgeçten geçirilerek tutarsız yanıtlar elenir. Böylece güvenilir ve kaliteli sonuçlar elde edilmiş olur (Singer & Özşahin, 2023).

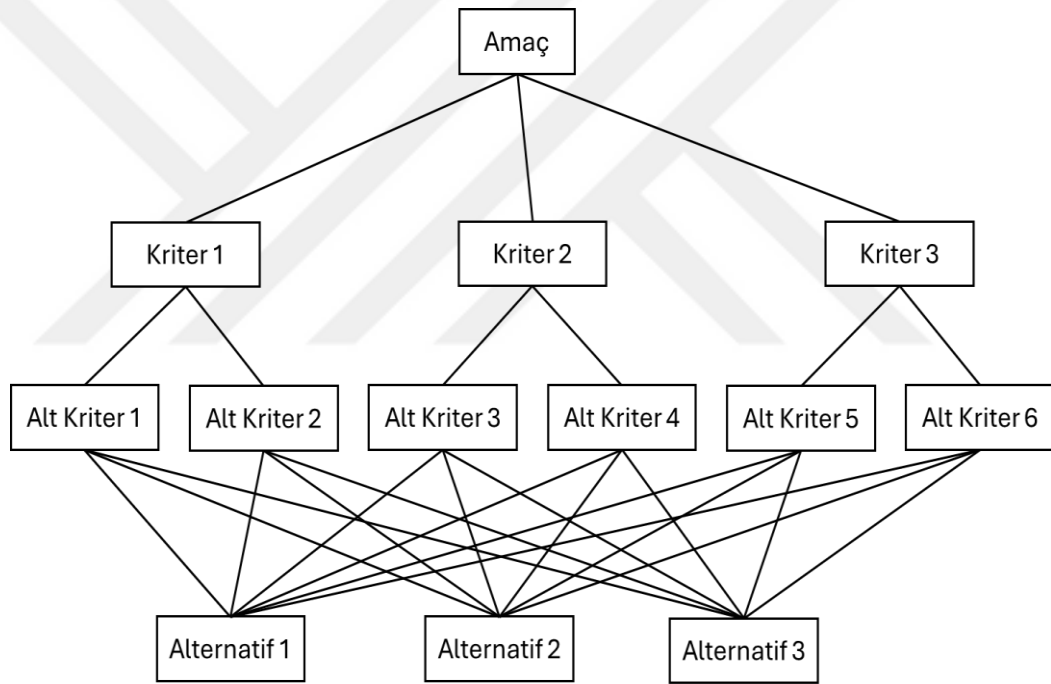
Şekil 5'te genel ÇKKV yöntemlerinin akış diyagramı verilmiş olup, AHP yöntemine özgü olarak revize edilen akış diyagramı ise Şekil 6'da gösterilmektedir. Söz konusu diyagramda yer alan adımların açıklamaları aşağıda detaylı şekilde sunulmuştur (Özbek, 2017; Yıldırım & Önder, 2021; Özder, Bedir, & Eren, 2019)



Şekil 6. AHP yöntemi işlem adımları

Adım 1: Problemin Tanımlanması: İlk olarak, karar verme sürecinde kullanılacak kriterler ve alternatifler belirlenir. Bu adım, problemin net bir şekilde tanımlanmasını ve karar sürecine ilişkin kapsamın doğru bir şekilde oluşturulmasını sağlar.

Adım 2: Hiyerarşik Yapının Oluşturulması: AHP yönteminde hiyerarşik yapının en üst basamağında temel amaç yer alır. Bu amacın bir alt seviyesinde, karar vericinin hedeflerine uygun olarak belirlenen kriterler ve varsa alt kriterler bulunur. En alt seviyede ise değerlendirme yapılacak alternatifler yer alır. Bu hiyerarşik yapı, karar probleminin daha anlaşılır ve sistematik bir şekilde analiz edilmesini sağlar. Şekil 7’de, bu yapıya ilişkin bir örnek sunulmuştur.



Şekil 7. AHP hiyerarşi yapısı

Adım 3: İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması:

Kriterler, AHP yönteminin temelinde yer alan ikili karşılaştırmalar yoluyla değerlendirilir. Bu karşılaştırmalar, karar vericilerin tercihlerini sistematik bir şekilde ifade etmelerine olanak tanır. Kriterlerin kendi aralarında karşılaştırılmasında kullanılan ölçek, Tablo 2’de sunulmuştur. Bu ölçek, kriterler arasındaki göreceli önceliklerin belirlenmesine yardımcı olur.

Tablo 2. İkili karşılaştırmalarda kullanılan ölçek

Değer	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önem	İki faktör aynı öneme sahip
3	Orta derecede önem	Tecrübe ve yargılara göre bir faktör yerine göre biraz daha önemli
5	Kuvvetli derecede önem	Bir faktör diğerine göre kuvvetli daha önemli
7	Çok kuvvetli derecede önem	Bir faktör diğerine göre yüksek derecede kuvvetle daha önemli
9	Mutlak derecede önem	Bir faktör diğerine göre tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok yüksek derecede önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler	İki faktör arasındaki tercihte yukarıdaki açıklamalardaki derecelerin arasına düşen değer

Yukarıdaki ölçekte yer alan ifadeler doğrultusunda ikili karşılaştırma işlemini gerçekleştirmek için, Eşitlik (1)'de verilen matris kullanılmaktadır. Bu matrisin elemanlarından a_{ij} , i ve j kriterlerinin göreceli önemini ifade etmektedir. Diğer bir deyişle, a_{ij} , “Kriter i , Kriter j 'ye göre ne ölçüde tercih edilmeli?” sorusunun cevabını temsil eder.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 4: İkili Karşılaştırma Matrislerinin Normalize Edilmesi: İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra her bir eleman Eşitlik (2) kullanılarak normalize edilir. Bu işlem, matristeki her bir elemanın kendi sütun toplamına bölünmesiyle gerçekleştirilir. Normalize edilen matris, kriterler arasındaki göreceli önceliklerin daha net bir şekilde değerlendirilmesini sağlar.

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

Adım 5: Öncelik Vektörünün (Önem Ağırlıklarının) Hesaplanması: Normalize edilmiş matrisin her bir sütununun toplamı 1 olmalıdır. Bu matrisin her bir satırının toplamı, matrisin boyutuna bölünerek ortalaması alınır. (3) numaralı eşitliğe göre yapılan bu hesaplama sonucunda elde edilen değerler, her bir kriterin önem ağırlıklarını temsil eder. Bu ağırlıklar, öncelik vektörü (w_i) olarak adlandırılır ve karar verme sürecinde kriterlerin göreceli önemini ifade eder.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n a'_{ij} \quad i,j=1,2,\dots,n \quad (3)$$

Adım 6: Tutarlılık Oranının (CR) Hesaplanması: Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi A 'nın tutarlılığını değerlendirebilmek için tutarlılık indeksi (CI) hesaplanır. Bunun için öncelikle karşılaştırma matrisinin ne kadar tutarlı olduğunun anlaşılmasına yardımcı olan bir özdeğer olan λ_{max} Eşitlik (4) yardımıyla hesaplanır. Eğer λ_{max} , matrisin boyutuna çok yakınsa (n 'ye eşit veya çok yakınsa), yapılan karşılaştırmaların tutarlılığı yüksek demektir. λ_{max} hesaplandıktan sonra bu değer kullanılarak Eşitlik (5) ile CI değeri hesaplanır. CR , karar vericinin ikili karşılaştırmalarında ne derece tutarlı olduğunu kontrol etmeye olanak tanır ve yöntemin güvenilirliğini artırır.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right] \quad (4)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

Tablo 3'te verilen değerler kullanılarak rassal tutarlılık indeksi (RI) değeri belirlenir. Burada n , kriter sayısını ifade etmektedir.

Tablo 3. Rassal indeksler

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,89	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Eşitlik (6) kullanılarak CR hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

CR değeri 0.1'den küçük olduğu takdirde, karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu kabul edilir.

1.4.2. İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği (TOPSIS)

TOPSIS yönteminin 1981 yılında (Hwang & Yoon, 1981) tarafından geliştirilmiştir. Yazar vd.'ne (2023) göre, bu yöntemde ilgili alternatifin pozitif en iyi çözüme en yakın ve aynı zamanda negatif en kötü çözümden en uzak olması hedeflenerek bir sıralama yapılır. Bu sıralamaya göre en iyi alternatif bulunur.

Yöntemin uygulama adımları aşağıda yer almaktadır (Ayçin, 2023):

Adım 1: Karar matrisi Eşitlik (7)'de gösterildiği şekilde oluşturulur. Verilen A_{ij} matrisinde; m karar alternatif sayısını, n değerlendirme kriteri sayısını ifade etmektedir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Adım 2: Eşitlik (7)'de gösterilen A matrisinin normalize edilmesi ile standart karar matrisi (R) oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (i=1,2,\dots,m \text{ ve } j=1,2,\dots,n) \quad (8)$$

r_{ij} değerlerinin hesaplanması sonrasında oluşturulan R 'nin genel gösterimi Eşitlik (9)'da yer almaktadır.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Adım 3: R 'nin tüm elemanının, ilgili kriter ağırlıkları ile çarpılmasıyla ağırlıklandırılmış standart karar matrisi (V) Eşitlik (10)'da gösterildiği gibi oluşturulur.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Adım 4: Maksimizasyon yönlü bir amaç söz konusu ise; V matrisindeki ağırlıklandırılmış kriter değerlerinden her sütundaki en büyük değer (minimizasyon yönlü kriterlerde en küçük değer) pozitif ideal (A^+) çözüm olarak belirlenir. Benzer şekilde, her sütundaki en küçük değer (minimizasyon yönlü kriterlerde en büyük değer) negatif ideal (A^-) çözüm olarak seçilir. Eşitlik (11) ve Eşitlik (12)'de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$A^+ = \left\{ (\max_i v_{ij} \mid j \in J), (\min_i v_{ij} \mid j \in J') \right\} \quad (11)$$

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\}$$

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} \mid j \in J), (\max_i v_{ij} \mid j \in J') \right\} \quad (12)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

Her iki formülde de J' minimizasyon yönlü kriter gruplarını, J ise maksimizasyon yönlü kriter gruplarını göstermektedir.

Adım 5: Öklid uzaklık yaklaşımından faydalananarak her bir karar alternatifi için pozitif ve negatif ideal noktalara olan uzaklığın hesaplanması Eşitlik (13) ve Eşitlik (14) yardımı ile yapılır.

Pozitif ideal uzaklık:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (13)$$

Negatif ideal uzaklık:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (14)$$

Adım 6: Her bir karar noktasının pozitif ideal çözüme göreceli yakınlığın (C_i^*) hesaplanması Eşitlik (15) yardımıyla yapılır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (15)$$

C_i^* değerinin yorumu:

C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer alacaktır.

$C_i^* = 1$ değeri ile ilgili karar alternatiflerinin pozitif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

$C_i^* = 0$ ise ilgili karar alternatifinin negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

1.4.3. Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Uzantıları

Hayatımız boyunca, “Bir gün 24 saattir.” “Soluduğumuz havanın %21’i oksijendir.” gibi birçok ifadeyle karşılaşmış ya da bunları paylaşmışızdır. Karamaşa vd. (2022), bu tür ifadelerin, kesin bilgi içerdiği için kolayca başkalarına aktarılabilir ve matematiksel olarak ifade edilebilir olduğunu ancak, günlük yaşamda, kesinlik içermeyen birçok yargı ve değerlendirmenin de bulunduğunu ifade etmiştir.

Bulanık mantık, bu tür belirsiz ve kesin olmayan tanımlarla düşüncelerin ifade edilmesine olanak tanıyan bir kavramdır.

Bulanık mantık, ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesi’nden (Zadeh, 1965)’in yayınladığı makalelerle tanıtılmıştır. O zamandan beri önemi artarak günümüze kadar ulaşan bulanık mantık, belirsizlikleri ifade etmek ve belirsizliklerle çalışmak için geliştirilmiş katı bir matematiksel sistem olarak tanımlanabilir (Ertuğrul, 2006).

Literatürde önerilen bulanık küme uzantıları, Tablo 4’te kronolojik sırayla verilmiştir (Kabak & Erdebili, 2021).

Tablo 4. Bulanık küme uzantıları

Öneren Araştırmacı	Bulanık Küme Uzantısı
(Zadeh, 1965)	Klasik Bulanık Kümeler
(Zadeh, 1975)	Tip-2 Bulanık Kümeler
(Sambuc, 1975)	Aralık Değerli Bulanık Kümeler
(Atanassov, 1986)	Sezgisel Bulanık Kümeler
(Yager, 1986)	Bulanık Çoklu Kümeler

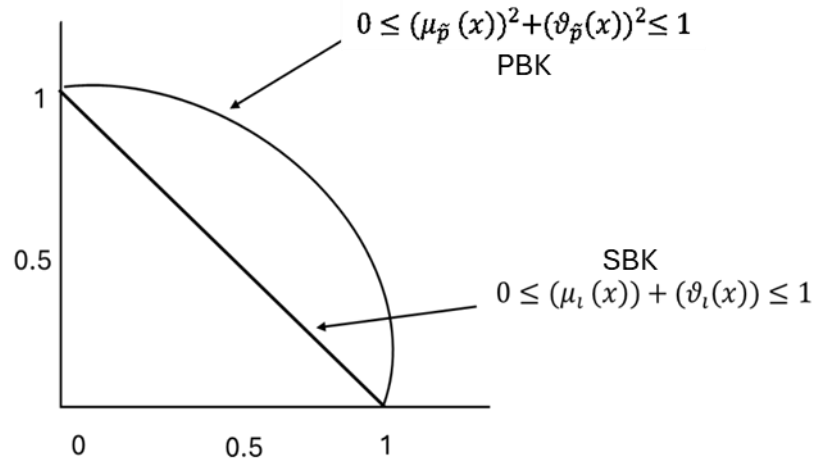
Tablo 4'ün devamı

Öneren Araştırmacı	Bulanık Küme Uzantısı
(Smarandache, 1999)	Nötrosofik Bulanık Kümeler
(Garibaldi & Ozen, 2007)	Durağan Olmayan Bulanık Kümeler
(Torra, 2010)	Tereddütlü Bulanık Kümeler
(Yager R. R., 2014)	Pisagor Bulanık Kümeler
(Coung & Kreinovich, 2013)	Resimli Bulanık Kümeler
(Yager R. R., 2017)	Q Seviyeli. Orthapair Bulanık Kümeler
(Kutlu Gündoğdu & Kahraman, 2019)	Küresel Bulanık Kümeler
(Senapati & Yager, 2020)	Fermatean Bulanık Kümeler

1.4.4. Pisagor Bulanık Kümeler (PBK)

PBK, Yager (2014) tarafından sezgisel bulanık kümelerin (SBK) bir uzantısı olarak ortaya atılmıştır.

Karamaşa vd.'ne (2022) göre, PBK, klasik ve SBK'nın bir uzantısı olarak, gerçek dünya problemlerindeki belirsizlikleri daha iyi ifade etmeyi amaçlar. SBK'nın yetersiz kaldığı durumlarda kullanılabilir. Pisagor bulanık sayılar (PBS) ve sezgisel bulanık sayılar (SBS) arasındaki temel fark, Şekil 8'de gösterilmiştir. Her SBS aynı zamanda bir PBS olmasına karşın, her PBS her zaman SBS değildir.



Şekil 8. PBK ve SBK'nın geometrik gösterimi

1.4.5. Aralık Değerli PBK

Yu vd.'ne (2019) göre, aralık değerli PBK'ler, üye olma ve üye olmama değerlerini 0 ile 1 arasında herhangi bir değer olarak ele alabilir. Oysa, bundan önce ortaya atılan Klasik Küme Teorisi'nde yalnızca 1 ve 0 dikkate alınmaktadır. Bu sebeple, güçlü bulanıklıklar, belirsizlikler ve kesin olmama durumlarının değerlendirilebilmesi için geniş bir uygulama potansiyeline sahiptir.

Aralık değerli PBK'lere ilişkin tanımlamalar ve matematiksel işlemler aşağıda sunulmuştur (İlbahar, Çebi, & Kahraman, 2020; Peng & Yang, 2016; Tezcan, 2024).

Tanım 1: $\tilde{p}$, X evreninde bulunan aralık değerli bir PBK ve $x \in X$ olsun. X elemanının üye olma derecesi μ ve üye olmama derecesi ν , L ve U ise bu derecelerin alt ve üst sınırlarını ifade ediyorsa, $\tilde{p}$ kümesi Eşitlik (16)-(18)'de belirtilen şekilde tanımlanır.

$$\tilde{p} = \{ \langle x, [\mu_{\tilde{p}}^L(x), \mu_{\tilde{p}}^U(x)], [\vartheta_{\tilde{p}}^L(x), \vartheta_{\tilde{p}}^U(x)] \rangle; x \in X \} \quad (16)$$

$$0 \leq \mu_{\tilde{p}}^L(x), \mu_{\tilde{p}}^U(x), \vartheta_{\tilde{p}}^L(x), \vartheta_{\tilde{p}}^U(x) \leq 1 \quad (17)$$

$$0 \leq (\mu_{\tilde{p}}^L(x))^2 + (\vartheta_{\tilde{p}}^L(x))^2 \leq 1 \quad (18)$$

Tanım 2: $\tilde{p} = [\mu^L, \mu^U], [\vartheta^L, \vartheta^U]$, $\tilde{p}_1 = [\mu_1^L, \mu_1^U], [\vartheta_1^L, \vartheta_1^U]$ ve $\tilde{p}_2 = [\mu_2^L, \mu_2^U], [\vartheta_2^L, \vartheta_2^U]$ Şeklinde 3 adet aralık değerli PBS olsun. $\lambda \geq 0$ olmak üzere PBS'ler ile yapılacak matematiksel işlemler Eşitlik (19) - (24)'te belirtilen formüller ile tanımlıdır.

$$\tilde{p}_1 \oplus \tilde{p}_2 = \left(\left[\sqrt{(\mu_1^L)^2 + (\mu_2^L)^2 - (\mu_1^L)^2 (\mu_2^L)^2}, \left[\sqrt{(\mu_1^U)^2 + (\mu_2^U)^2 - (\mu_1^U)^2 (\mu_2^U)^2} \right] \right], [\vartheta_1^L \vartheta_2^L, \vartheta_1^U \vartheta_2^U] \right) \quad (19)$$

$$\tilde{p}_1 \otimes \tilde{p}_2 = \left([(\mu_1^L \mu_2^L, \mu_1^U \mu_2^U), \sqrt{(\vartheta_1^L)^2 + (\vartheta_2^L)^2 - (\vartheta_1^L)^2 (\vartheta_2^L)^2}], \sqrt{(\vartheta_1^U)^2 + (\vartheta_2^U)^2 - (\vartheta_1^U)^2 (\vartheta_2^U)^2} \right) \quad (20)$$

$$\lambda \tilde{p} = \left(\left[\sqrt{1 - (1 - (\mu^L)^2)^\lambda}, \sqrt{1 - (1 - (\mu^U)^2)^\lambda} \right], [(\vartheta^L)^\lambda, (\vartheta^U)^\lambda] \right) \quad (21)$$

$$\tilde{p}^\lambda = \left([(\mu^L)^\lambda, (\mu^U)^\lambda], [\sqrt{1 - (1 - (\vartheta^L)^2)^\lambda}, \sqrt{1 - (1 - (\vartheta^U)^2)^\lambda}] \right) \quad (22)$$

$$\tilde{p}_1 \oplus \tilde{p}_2 \oplus \tilde{p}_3 = \tilde{p}_1 \oplus \tilde{p}_3 \oplus \tilde{p}_2 \quad (23)$$

$$\tilde{p}_1 \otimes \tilde{p}_2 \otimes \tilde{p}_3 = \tilde{p}_1 \otimes \tilde{p}_3 \otimes \tilde{p}_2 \quad (24)$$

Tanım 3: Belirsizlik derecesi (π) Eşitlik (25) yardımıyla hesaplanır.

$$\pi_A(x) = [\pi_{A_L}(x), \pi_{A_U}(x)] = [\sqrt{1 - (\mu_{A_U}(x))^2 - (\vartheta_{A_U}(x))^2}, \sqrt{1 - (\mu_{A_L}(x))^2 - (\vartheta_{A_L}(x))^2}] \quad (25)$$

Tanım 4: Skor fonksiyonu (S) ve normalize skor fonksiyonu (S^*) Eşitlik (26) ve (27) yardımıyla hesaplanır.

$$S(\alpha) = \frac{(\mu_{A_L})^2 + (\mu_{A_U})^2 - (\vartheta_{A_L})^2 - (\vartheta_{A_U})^2}{2} \quad (26)$$

$$S^*(\alpha) = \frac{1}{2}(S(\alpha) + 1) \quad (27)$$

Tanım 5: İki aralık değerli PBS arasındaki mesafe (d) Eşitlik (28) yardımıyla hesaplanır.

$$d(a, b) = \frac{1}{4} (|\mu_{A_L}^2 - \mu_{B_L}^2| + |\mu_{A_U}^2 - \mu_{B_U}^2| + |\vartheta_{A_L}^2 - \vartheta_{B_L}^2| + |\vartheta_{A_U}^2 - \vartheta_{B_U}^2| + |\pi_{A_L}^2 - \pi_{B_L}^2| + |\pi_{A_U}^2 - \pi_{B_U}^2|) \quad (28)$$

Tanım 6: $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ ağırlık vektörü ve $w_i \in [0,1]$; $w_i=1$ olmak üzere aralık değerli Pisagor bulanık aritmetik ortalama (PBAO) operatörü Eşitlik (29)'da, aralık değerli Pisagor bulanık ağırlıklı geometrik (PBAG) operatörü ise Eşitlik (30)'da yer alan formüller yardımı ile hesaplanır.

$$PBAO(\tilde{p}_1, \tilde{p}_2, \dots, \tilde{p}_n) = \left(\left[\sum_{i=1}^n w_i \mu_i^L, \sum_{i=1}^n w_i \mu_i^U \right], \left[\sum_{i=1}^n w_i \vartheta_i^L, \sum_{i=1}^n w_i \vartheta_i^U \right] \right) \quad (29)$$

$$PBAG(\tilde{p}_1, \tilde{p}_2, \dots, \tilde{p}_n) = \left(\left[\prod_{i=1}^n (\mu_i^L)^{w_i}, \prod_{i=1}^n (\mu_i^U)^{w_i} \right], \left[\prod_{i=1}^n (\vartheta_i^L)^{w_i}, \prod_{i=1}^n (\vartheta_i^U)^{w_i} \right] \right) \quad (30)$$

1.4.6. Aralık Değerli Pisagor Bulanık AHP (PB-AHP)

Aralık değerli PB-AHP yöntemi, PB-AHP yönteminde aralık değerli PBS 'lar kullanılarak ilk defa (İlbahar, Karaşan, Çebi, & Kahraman, 2018) tarafından önerilen AHP yaklaşımıdır.

Karamaşa vd. (2022) aralık değerli PB-AHP yönteminin uygulama adımlarını aşağıda yer alan şekilde sıralamıştır.

Adım 1: İkili karşılaştırma matrisi, $A=(a_{ik})_{m \times n}$, (Seker & Aydın, 2020) tarafından kullanılan ve Tablo 5'te verilen dilsel skalayı kullanan karar vericilerin değerlendirmelerine dayanarak oluşturulur.

Tablo 5. Aralık değerli PB-AHP dilsel skalası

	Açıklama	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U
KDÖ	Kesinlikle Düşük Önem	0,03	0,16	0,74	0,87
ÇDÖ	Çok Düşük Önem	0,12	0,25	0,65	0,78
DÖ	Düşük Önem	0,21	0,34	0,56	0,69
OÖA	Ortalama Önemin Altı	0,3	0,43	0,47	0,6
OÖ	Ortalama Önem	0,38	0,51	0,38	0,51
OÖÜ	Ortalama Önemin Üstü	0,47	0,6	0,3	0,43
YÖ	Yüksek Önem	0,56	0,69	0,21	0,34
ÇYÖ	Çok Yüksek Önem	0,65	0,78	0,12	0,25
KYÖ	Kesinlikle Yüksek Önem	0,74	0,87	0,03	0,16

Adım 2: Üyelik ve üye olmama fonksiyonlarının alt ve üst değerleri arasındaki fark matrisleri olan $D = (d_{ik})_{m \times n}$, Eşitlik (31) ve Eşitlik (32) yardımıyla hesaplanır.

$$d_{ik_L} = \mu_{ik_L}^2 - \vartheta_{ik_U}^2 \quad (31)$$

$$d_{ik_U} = \mu_{ik_U}^2 - \vartheta_{ik_L}^2 \quad (32)$$

Adım 3: Aralık çarpım matrisi, Eşitlik (33) ve Eşitlik (34) yardımı ile hesaplanır.

$$S_{ik_L} = \sqrt{1000^{d_{ik_L}}} \quad (33)$$

$$S_{ik_U} = \sqrt{1000^{d_{ik_U}}} \quad (34)$$

Adım 4: Belirsizlik değerleri Eşitlik (35) yardımı ile hesaplanır.

$$\tau_{ik} = 1 - (\mu_{ik_U}^2 - \mu_{ik_L}^2) - (\vartheta_{ik_U}^2 - \vartheta_{ik_L}^2) \quad (35)$$

Adım 5: Normalizasyon öncesi ağırlık matrisini gösteren $T=(t_{ik})_{m \times n}$ matrisini elde etmek için belirsizlik değerleri ile $S=(s_{ik})_{m \times n}$ matrisi çarpılır (Eşitlik (36)).

$$t_{ik} = \frac{S_{ik_L} + S_{ik_U}}{2} * \tau_{ik} \quad (36)$$

Adım 6: Her bir normalize edilmiş ağırlık değerleri w_i , Eşitlik (37) yardımı ile hesaplanır.

$$w_i = \frac{\sum_{k=1}^m t_{ik}}{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m t_{ik}} \quad (37)$$

1.4.7. Aralık Değerli Pisagor Bulanık TOPSIS (PB-TOPSIS)

PB-TOPSIS yöntemi (Zhang & Xu, 2014) tarafından önerilen TOPSIS yaklaşımıdır. PB-TOPSIS yönteminde aralık değerli PBS 'ler kullanılmasıyla aralık değerli PB-TOPSIS yöntemi ortaya çıkmıştır.

Aralık değerli PB-TOPSIS yönteminin işlem adımları aşağıda yer almaktadır (Tezcan, 2024; Kose, Civan, Ayyildiz, & Cevikcan, 2022).

Adım 1: Karar vericilerin Tablo 5'teki dilsel skala yardımıyla her bir alternatifi değerlendirmesi istenir. Ardından değerlendirmeler karşılık gelen aralık değerli PBS'lere dönüştürülerek Pisagor karar matrisi $\tilde{D}=C_j(X_i)_{m \times n}$ oluşturulur. Burada $C_j(j=1,2,...,n)$ ve X_i

($i=1,2,\dots,m$) sırasıyla kriterleri ve alternatifleri göstermekte olup karar matrisi $\tilde{D}$ Eşitlik (38)'de yer almaktadır.

$$\tilde{D} = C_j(X_i)_{m \times n} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \tilde{a}_{m1} & \tilde{a}_{m2} & \cdots & \tilde{a}_{mn} \end{bmatrix} \quad (38)$$

Adım 2: S ve S^* Eşitlik (26) ve (27) yardımıyla hesaplanır.

Adım 3: Adım 2'de ulaşılan skor değerleriyle aralık değerli Pisagor pozitif ideal çözüm (A^+) ve aralık değerli Pisagor negatif ideal çözüm (A^-), Eşitlik (39) ve (40) yardımıyla hesaplanır.

$$A^+ = \left(\left[\left\{ \max_i(\mu_{ijL}(\tilde{S}^*)), \max_i \mu_{ijU}(\tilde{S}^*) \right\} \right], \left[\left\{ \min_i \vartheta_{ijL}(\tilde{S}^*), \min_i \vartheta_{ijU}(\tilde{S}^*) \right\} \right] \right) \quad (39)$$

$$A^- = \left(\left[\left\{ \min_i(\mu_{ijL}(\tilde{S}^*)), \min_i \mu_{ijU}(\tilde{S}^*) \right\} \right], \left[\left\{ \max_i \vartheta_{ijL}(\tilde{S}^*), \max_i \vartheta_{ijU}(\tilde{S}^*) \right\} \right] \right) \quad (40)$$

Adım 4: Her bir alternatifin pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklığı, Eşitlik (28) kullanılarak hesaplanır.

Adım 5: Hesaplanan A^+ ve A^- değerlerinin kriter ağırlıkları (w_j) ile çarpılıp toplanmasıyla elde edilen ağırlıklı uzaklıklar Eşitlik (41) ve (42) yardımıyla bulunur.

$$D(A_i, A^+) = \sum_{j=1}^n w_j [d(A_i, A^+)] \quad (41)$$

$$D(A_i, A^-) = \sum_{j=1}^n w_j [d(A_i, A^-)] \quad (42)$$

Adım 6: Her bir alternatif için yakınlık katsayısı, Eşitlik (43) ile hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{D(A_i, A^-)}{D(A_i, A^-) + D(A_i, A^+)} \quad (43)$$

Adım 7: Yakınlık katsayıları büyükten küçüğe doğru sıralanır. En yüksek yakınlık katsayısı olan alternatif, öncelikli çözüm olarak belirlenir.

1.5. Literatür Araştırması

Yeşil tedarikçi seçimi ile ilgili birçok farklı sektörde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda sıralanmıştır:

Türkay (2015) çalışmasında, bir beyaz eşya üreticisi için yeşil tedarikçi seçimi uygulaması yapmıştır. Uygulamayı “Super Decisions” yazılımı yardımıyla gerçekleştirmiştir. Modelde beş ana kriter ve yirmi üç alt kriter kullanılmıştır. Bu kriterler şunlardır: Yeşil Yetkinlikler (Yeşil Teknolojiler, Kullanımı Kısıtlı Malzemeler, Tersine Lojistik, Çevreye Dost Ambalaj), Çevresel Etkinlik (Gaz Emisyonu, Katı Atık, Atık Su, Enerji Tüketimi, Geri Dönüştürülebilir İçerik), Organizasyonel Faktörler (Üst Yönetim Desteği, Çevre Yönetim Sistemleri, Sosyal Sorumluluk, Yasalara Uyum, Risk Değerlendirmesi/Yönetimi), Maliyetler (Malzeme Maliyeti, Bertaraf Maliyeti, Bakım Maliyeti, Ürün Yaşam Döngüsü Maliyetleri), Yeşil İmaj (Paydaşlarla İlişkiler, Sertifikalar, Çevre Düzenlemelerine Gönüllü Uyum, Müşteri Bağımlılığı). Çalışmada Analitik Ağ Süreci (AAS) yöntemi kullanılmıştır.

Freeman & Chen (2015), çalışmalarında Çin merkezli bir elektronik makine üretici firmasında yeşil tedarikçi seçimi yapmışlardır. Çalışmada, beş ana kriter ve on altı alt kriter kullanılmıştır. Bu kriterler şunlardır: Maliyet (Emtiaların Ortalama Piyasa Fiyatı Oranı, Emtiaların En Düşük Piyasa Fiyatı Oranı), Yeşil Yeterlilik (Yeşil Malzeme Seçimi, Yeşil İmaj, Daha Temiz Üretim Teknolojileri, Azaltılmış Yeşil Ambalaj), Kalite (Reddedilen ve İade Edilen Malzeme Oranı, Kalite Yönetim Kapasitesi, Ürün Geçiş Yüzdesi), Teslimat Programı (Hizmet Performansı, Zamanında Teslimat Oranı, Zamanında Teslimat Miktarı Oranı), Çevresel Yönetim Performansı (Toksik/Kısıtlı Maddelerin Kullanımı, Atık Yönetimi, Yeniden Üretim/Yeniden Kullanım Etkinliği, ISO-14001 Sertifikası). Çalışmada, AHP ve Entropi yöntemleri kullanılarak kriter ağırlıkları belirlenmiş ve TOPSIS yöntemi yardımıyla tedarikçilerin sıralaması yapılmıştır.

Mousakhani vd. (2017), çalışmalarını İran’da bulunan ve otomotiv batarya üretimi yapan bir şirkette yeşil tedarikçi seçimi üzerine gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, Fiyat, Kalite, Teslimat, Teknoloji, Çevre Yeterliliği, Organizasyon ve Yeşil İmaj olmak üzere toplam yedi kriter kullanılmıştır. Kriter ağırlıkları, aralıklı Tip-2 bulanık TOPSIS yöntemine dayalı olarak hesaplanmış ve ayrıca aralıklı Tip-2 bulanık Hamming yöntemiyle yeni bir sıralama indeksi sunulmuştur. Önerilen modelin geçerliliğini göstermek amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır.

Qin vd. (2017), otomotiv sektöründe yeşil tedarikçi seçimi üzerine yaptıkları çalışmalarında on kriter kullanmışlardır. Bu kriterler şunlardır: Yeşil Ürün Yenilikçiliği, Yeşil İmaj, Çevreyle Dost Teknoloji Kullanımı, Kaynak Tüketimi, Yeşil Yeterlilik, Çevre Yönetimi, Kalite Yönetimi, Toplam Ürün Yaşam Döngüsü Maliyeti, Kirlilik Üretimi ve Çalışan Çevre Eğitimi. Çalışmada, aralık Tip-2 bulanık kümeler ve etkileşimli ve çok kriterli karar verme (TODIM) yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca, duyarlılık analizi yapılmış ve TOPSIS tekniği ile karşılaştırmalı analiz gerçekleştirilmiştir.

Hamdan ve Cheaitou (2017), çalışmalarında tedarikçilerin değerlendirilmesi için iki ana kriter seti kullanmışlardır: Geleneksel kriterler ve yeşil kriterler. Geleneksel kriterler seti, Maliyet, Esneklik, Teslimat Süresi, Ürün Kalitesi ve Ödeme Şekli olmak üzere beş kriterden oluşurken, yeşil kriterler seti, Çevresel Etiketleme, Yeşil Pazar Payı, Yeşil Teknoloji Kullanımı ve Çevre Yönetim Sistemi Sertifikası olmak üzere dört kriterden oluşmaktadır. Çalışmada, bulanık TOPSIS, AHP ve iki amaçlı tam sayılı programlama modelleri kullanılmıştır.

Denizhan vd. (2017), çalışmalarında makina imalatı sektöründe yer alan firmalara yönelik tedarikçi seçimi ve yeşil tedarikçi seçimi uygulamalarını ayrı ayrı yapıp sonuçları karşılaştırmışlardır. Yeşil tedarikçi seçimi için altı ana kriter ve on dokuz alt kriter belirlemiştir. Bu kriterler; Maliyet (Ürünün Fiyatı, Satın Almada Fiyat İndirimleri), Kalite (Standartlara Uygunluk, Ürün Ambalaj Kalitesi, Hatalı Ürün Gönderme Oranı), Teslimat (Zamanında ve Doğru Teslimat, Doğru Ürünün Teslimi, Kaliteli Teslimat), Hizmet (Servis Kalitesi, Ulaşılabilirlik), Teknik (Finansal Gücü ve İstikrarı, Teknik Kapasite, Değişimlere Cevap Verebilme, Tedarikçinin Güvenilirliği, Sektör Deneyimi), Yeşil Kriter (Ürünün Çevreye ve İnsan Sağlığına Etkileri, Üretimi Esnasında Çevreye ve İnsan Sağlığına Etkileri, Atık Yönetimi Sisteminin Durumu, Ürün Geri Dönüşüm Oranı) olarak sıralanmıştır. Çalışmada AHP ve bulanık AHP (üçgensel bulanık sayılar ile) yöntemleri her iki senaryo için de kullanılmıştır.

Günay (2017) tarafından yapılan çalışmada, paratoner ve topraklama malzemeleri üreten bir işletme için yeşil tedarikçi seçiminde göz önünde bulundurulması gereken beş ana kriter ve on yedi alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterler; Yeşil Tasarım (Geri Dönüşümlü Ürün, Zararlı Malzeme Kullanımı Azaltılmış Ürün, Eko Dizayn İçin Müşteri ile İşbirliği), Yeşil Üretim (Üretimde Çevre Dostu Malzeme Kullanımı, Yeşil Üretim Prosesi, Üretimde Enerji Tasarrufu), Yeşil İmaj (Çevresel Sorumluluk, Çevresel Konularda Şirket Hakkında Toplumun Fikri, Mevcut Müşteriyi Koruma, Pazar Payı), Yeşil Depolama (Çevre Dostu

Paketleme, Stok Seviyesini Azaltmak, Hurda Malzeme Satışı), Çevre Yönetim Sistemi (Çevre Politikasına Sahip Olma, ISO 14001 Çevre Sertifikası, Sürekli İzleme-Düzenlemelere Uyum, Yeşil Süreç Planı) olarak sınıflandırılmıştır. Bu kriterler AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve elde edilen sonuçlar Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm (VIKOR) yöntemi ile birleştirilerek, şirket için en uygun yeşil tedarikçiler belirlenmiştir.

Yazdani (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, bir gıda firmasında yeşil tedarikçi seçimi yapılmıştır. Bu çalışmada dikkate alınan kriterler şunlardır: Finansal İstikrar, Çevre Yönetim Sistemleri, Yönetim Taahhüdü, Atık Bertaraf Programı, İmalat, Kalite Kontrol Sistemleri, Tesis, Tersine Lojistik. Kriterlerin ağırlıklandırılması için Karar Verme Denemesi ve Değerlendirme Laboratuvarı (DEMATEL) yöntemi kullanılmış ve tedarikçi seçimi aşamasında ise Karmaşık Nispi Değerlendirme (COPRAS) ve Oran Analizi Temelinde Çok Nesneli Optimizasyon (MOORA) yöntemleri uygulanmıştır.

Erol (2018) çalışmasında, Türkiye’de rüzgâr türbini kuleleri üreten bir işletmenin, üretimde kullanılan metal levha yüzeylerinin temizliği için gerekli olan yağ çözücünün tedarikine yönelik yeşil tedarikçi seçimi gerçekleştirmiştir. Bu uygulamada, iki ana kriter ve sekiz alt kriter belirlenmiştir. Ana kriterler; İşletme Faktörleri (Maliyet, Kalite ve Servis) ve Çevresel Faktörler (Çevresel Yönetim Sistemi, Tehlikeli Madde Yönetimi, Atık Yönetimi, Kaynak Tüketimi ve Yeşil İmaj) olarak tanımlanmıştır. Çalışmada AHP ve TOPSIS yöntemleri bütünlük kullanılarak dört alternatif firmanın sıralaması yapılmıştır.

Kılınç (2018), otomotiv ana sanayisinde yeşil tedarikçi seçimi için bir uygulama yapmıştır. Çalışmada, iki ana kriter ve on altı kriter belirlenmiştir. Bunlar; Sübjektif Kriterler (Rekabetçilik, Geçmiş Deneyim, Teknik Esneklik, Yeşil Proses Yönetimi, Atık Yönetimi, Kaynak Kullanımı, Sürdürülebilirlik), Objektif Kriterler (Finansal Durum, ISO14001 Belgesine Sahip Olma, Kalite Performansı) olarak ayrılmıştır. Yeşil tedarikçi seçiminde AHP ve Gri İlişkisel Analiz (GRA) yöntemleri kullanılmış ve farklı senaryolar oluşturularak duyarlılık analizi yapılmıştır.

Güneş (2019) tarafından otomotiv sektöründe yapılan yeşil tedarikçi seçimi uygulamasında, altı ana kriter ve yirmi altı alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterler şunlardır: Esneklik (Acil Gereksinimlerin Yerine Getirilmesi, Değişikliklere Cevap Verebilme, Satış Sonrası Destek), Kalite (Ret Oranı, Ürün Kalitesi, Kalite Problemleri İçin Çözüm Bulma, Gizliliğe Uyma, Kalite İyileştirme Taahhüdü, Teknik Yeterlilik, Kalite Kontrol, Yönetim Yaklaşımı, Kusurlu Ürün Oranı), Maliyet ve Fiyat (Pazar Fiyatına Uygunluk, Sözleşme

Koşullarına Uyuma, Satın Alma Fiyatı, İndirim Taahhüdü), Tedarikçi İlişkileri (İletişim Kolaylığı, İletişimde Açıklık, İşbirliği Potansiyeli), Tedarikçi Profili (Sürdürülebilir Performans, Üretim Tesisi ve Kapasitesi, Performans Geçmişi), Teslimat (Doğru Ürün Teslimatı, Zamanında Teslimat, Teslimat Miktarının Uygunluğu, Teslim Süresi). Bulanık AHP ile kriter ağırlıkları hesaplanmış ve sonrasında bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak alternatif tedarikçi firmalar sıralanmış ve en uygun tedarikçi seçilmiştir.

Madenoglu (2019), çalışmasını mobilya sektöründe yeşil tedarikçi seçimi üzerine yapmıştır. Çalışmada beş ana kriter belirlenmiştir: Maliyet, Kalite, Teslimat, Teknik, Yeşil Kriter. Kriter ağırlıkları Bulanık Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oranı Analizi (SWARA) yöntemiyle belirlenmiştir. Yeşil tedarikçi sıralaması için ise bulanık VIKOR, Bulanık GRA, Bulanık TOPSIS, Bulanık Toplanan Oran Değerlendirmesi (ARAS) yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, dört farklı yöntem ile aynı tedarikçi sıralaması elde edilmiştir.

Yu vd. (2019) çalışmalarında yeşil tedarikçi seçimi için bir model önermiş ve önerdiği model üzerinde bir uygulama gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada üç ana kriter ve on iki alt kriter kullanılmıştır. Bu kriterler şu şekildedir: Ekonomik (Maliyet, Kalite, Teslimat, Hizmet, Esneklik, Teknoloji Yeteneği), Çevresel (Çevre Yönetim Sistemleri, Kaynak Tüketimi, Eko-Tasarım), Sosyal (Mesleki Sağlık ve Güvenlik, Çalışan Hakları ve Refahı, Bilgi Açıklaması). Modelde aralık değerli Pisagor bulanık TOPSIS ve GRA yöntemleri kullanılmıştır. Sonrasında modelin sağlamlığını test etmek amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır.

Cao (2020), bir şirketin Marmara ve Orta Anadolu Bölgesinde yer alan tedarikçileri arasından yeşil tedarikçi seçimi çalışmasını yapmıştır. Çalışmada; Kalite, Maliyet, Servis ve Teslimat, Sürdürülebilirlik, Çevresel Yönetim ve Kontrol olmak üzere beş kriter belirlenmiştir. Yeşil tedarikçi seçimi çalışmasında, resim bulanık kümeler (PFS), Kesirli Programlama ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır.

Zulqarnain vd. (2021) çalışmalarında yeşil tedarikçi seçimi uygulaması yapmışlardır. Çalışmada beş ana kriter ve on beş alt kriter belirlenmiştir. Kullanılan kriterler şunlardır: Kalite (Reddetme Oranı, Yükseltme Prosedürü, Garanti Kapsamı ve Hakları ve Üstünlük Güvencesi), Dağıtım (Siparişe Ulaşma Yüzdesi, Ana Dönem ve Sipariş Düzenliliği), Hizmetler (Hesap Verebilirlik, Organizasyon Kaydı ve Hazır Olma), Atmosfer (Eko-Tasarım Hükümleri, Ozon Tabakasını İncelten Kimyasallar İçeren Bileşikler), Kurumsal Toplumsal Kaygı (Çalışan Özgürlüğü ve Anayasal Haklar, Yatırımcı Anayasal Hakları,

Bilgi Düzenlemeleri ve Üstlere Saygı). Çalışma, Pisagor bulanık esnek kümeler tabanlı TOPSIS tekniğini kullanarak yeşil tedarikçi seçiminde bir uygulama sunmuştur. Önerilen yaklaşımın pratikliğini, etkinliğini ve esnekliğini, mevcut çalışmalara dayanarak yapılan karşılaştırmalı analizlerle kanıtlamıştır.

Çalık (2021) çalışmasında, bir tarım alet ve makineleri firmasında yeşil tedarikçi seçimi yapmıştır. Çalışmada beş ana kriter ve on bir alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterler şunlardır: Teslimat (Robotik, Otomatik Güdümlü Araçlar, Servis Seviyesi), Kirlilik Kontrolü (Süreç Güvenliği ve Çevresel Kontrol, Yalın Otomasyon), Üretim (IOT ve Siber-Fiziksel Sistemler, Büyük Veri Analitiği, Bulut Bilişim), Kalite (3Boyutlu Baskı ve Artırılmış Gerçeklik, Kalite 4.0), Çevresel Temsil (Yeşil İmaj, Yeşil Tasarım)'dır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde aralık değerli PB-AHP kullanılmış, tedarikçilerin sıralanması ve en uygun tedarikçinin belirlenmesi için ise Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Çalışmanın sonunda, duyarlılık analizi yapılarak modelin sağlamlığı test edilmiştir.

Tronnebati vd. (2022), çalışmalarında yeşil tedarikçi değerlendirme ve seçimi sorununu çözmek için, hangi yaklaşımın en yaygın şekilde kullanıldığını ve hangisinin daha verimli olduğunu belirlemek için 1990 ile 2020 yılları arasındaki literatürü incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda yeşil tedarikçi değerlendirilmesi ve seçimine yönelik en yaygın kullanılan karar verme modellerinin AHP, Veri Zarflama Analizi (VZA) ve TOPSIS olduğu tespit edilmiştir.

Barough (2022) çalışmasında, otomobil imalat endüstrisinde yeşil tedarikçi seçimi için sekiz kriter belirlemiş ve bu kriterlere dayalı entegre bir tedarikçi seçimi yaklaşımı kullanmıştır. Çalışmada belirlenen kriterler şunlardır: Maliyet, Kalite, Teknoloji, Kirlilik Kontrolü, Yeşil İmaj, Yeşil İnovasyon, Yeşil Uygulama, Çevre Yönetimi ve Kontrolü. Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak tedarikçilerin sıralaması yapılmış ve bu yöntemle en uygun yeşil tedarikçi belirlenmiştir.

Güngör (2023) çalışmasında lojistik sektöründe yer alan bir firma için yeşil tedarikçi seçimi yapmıştır. Bu çalışma için sekiz kriter belirlenmiştir. Belirlenen kriterler şunlardır: Maliyet, Kabul-Red Oranı, Mesafe, Tedarik Süresi, Sosyal Sorumluluk, Yeşil Paketleme, Yeşil Üretim, Yeşil Satın Alma. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önem Tespiti (CRITIC) yöntemi ve alternatif firma seçimi için Birleşik Uzlaşma Çözümü (CoCoSo) yöntemi kullanılmıştır.

Ünver (2023), tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir perakende firmasında yeşil tedarikçi seçimi uygulaması yapmıştır. Yeşil tedarikçi seçimi modelinde yedi adet ana kriter ve otuz dört adet alt kriter belirlenmiştir. Belirlenen kriterler şunlardır: Maliyet (Fiyat Avantajı, Taşıma Lojistik Maliyeti, Toplu Sipariş İçin İndirim, Satış Sonrası Hizmet), Kalite (Kalite Kontrol Geçme Oranı, Ortalama Kalite Kontrolünden Geçme Sayısı, Müşteri İade Oranı, Geçmiş Dönem Performansı, Fit Performansı, PPS Performansı, Ürün Kalitesi), Teslimat (Verilen Termine Uyma Oranı, Teslim Süresi - Üretim Süresi, Tepki Süresi, Malın Sevkiyat Şekli, Teknik Kapasite), Esneklik (Koleksiyon Hazırlama Kapasite, Talep Değişimine Uyum, Envanter Kullanabilirliği, Kişiselleştirme, Bilgi Paylaşımı), Çevre Yönetimi (Kimyasal Madde Yönetimi, Atık Yönetimi-Kirlilik Kontrolü, Tersine Lojistik Uygulama Durumu, Geri Dönüşüm Malzeme Kullanım Durumu), Teknoloji (Teknolojik Uyumluluk, Mevcut Üretim Tesisleri Yetenekleri, İnovasyon Kapasitesi, Ar-Ge Çalışmalarına Verilen Önem), Sosyal (Sosyal Uygunluk Puanı, Kurumsal Sosyal Sorumluluk, Göçmen Çalışan Durumu, Toplumsal Cinsiyet Eşitliği, Kurumda Gönüllülük Çalışmaları). Kriterlerin ağırlıklandırılmasında En İyi En Kötü (BWM) yöntemini kullanılmıştır. İkinci aşamada, alternatif tedarikçilerin sıralanmasında Bütünleşik Ağırlıklı Toplam ve Çarpım Yöntemi (WASPAS) yöntemi tercih edilmiştir. Önerilen modelin geçerliliğini test etmek için duyarlık analizi yapılmıştır. Ayrıca, modelin sonuçları Ortalama Çözüm Uzaklığına Dayalı Değerlendirme (EDAS), ARAS, Birleştirilebilir Uzaklık Tabanlı Değerlendirme (CODAS) yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

Karataş (2023), elektrik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede üretilen otomatik sigortalarda kullanılan cıvatalar için yeşil tedarikçi seçimi çalışması yapmıştır. Ayrıca, işletmenin hâlihazırda kullanmakta olduğu Belirli Zararlı Maddelerin Kullanımını Kısıtlama (RoHS) analizi ile çalışmanın tutarlılığı incelenmiştir. Çalışmada dört ana kriter ve altı alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterler şunlardır: Uygunluk Kalitesi (Numunenin Standart Ölçüleri Sağlaması), Yeşil Ürün Tasarımı (Çevre Dostu Ambalaj Uygunluğu), Yeşil Satın Alma (Fiyat, Kalite, Termin Süresi), Yeşil Üretim (RoHS Analizi Değerlerine Uygunluk). Bu kapsamda VIKOR ve EDAS yöntemleri ayrı ayrı uygulanarak en uygun yeşil tedarikçi seçimi yapılmıştır.

Aslan (2023), paslanmaz çelik sektöründe faaliyet gösteren bir kuruluş için en uygun ekonomizer üreten yeşil tedarikçi seçimi çalışması yapmıştır. Çalışmada dört ana kriter ve on bir adet alt kriter belirlenmiştir. Bunlar; Maliyet (Ürüne Ait Maliyet, Pazarlık Payı, Taşıma Maliyeti), Kalite (Şirket Prosedürlerine Uygunluk, Hatalı Ürün Gönderme Oranı),

Teslimat (Talep Edilen Zamanda Teslimat, Kaliteli Teslimat), Yeşil Yetkinlikler (Enerji Verimlilik Oranı, Sertifikalar, Üst Yönetim Desteği, Sosyal Sorumluluk) olarak sıralanmıştır. Bu kriterler kullanılarak, bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemleri yardımıyla yeşil tedarikçi seçimi gerçekleştirilmiştir.

Güntemur (2023), ev aletleri üreten bir firma için yeşil tedarikçi seçimi uygulaması yapmıştır. Çalışmada altı ana kriter ve yirmi beş alt kriter belirlenmiştir. Bunlar; Kalite (Kalite Sistemi, Kalite Kontrol, Kalite 4.0), Finansal Yönler (Ürün Fiyatı, Maliyet Azaltma, Lojistik Maliyeti, Fiyat Performans Değeri), Teknoloji (Teknik Seviye, Kirlilik Önleme Yeteneği, Teknolojik Uyum, Ar-Ge Yeteneği, RFID, Çevresel Nesnelerin İnterneti Gibi Veri Toplama ve Yönetim Araçları ile Tekniklerinin Varlığı ve Yeterliliği), Servis Performansı (İletişim Sistemi, Servis Seviyesi, Duyarlılık, Teslimat Süresi), Çevresel Performans (Çevresel Yönetim Sistemi, Personel Çevre Eğitimi, Çevre Dostu Malzeme Kullanımı, Kirlilik Üretimi), Yeşil Ürünler (Geri Dönüşüm, Yeşil Paketleme, Yeşil Lojistik, Eko-Tasarım, Yeşil Üretim) olarak sıralanmıştır. Bu kriterlerin ağırlıkları bulanık AHP yöntemiyle belirlenmiş, sonrasında bulanık TOPSIS yöntemi ile tedarikçi firmalar değerlendirilmiş ve sıralama yapılmıştır.

Hajiaghaei-Keshteli vd. (2023) çalışmalarında, bir gıda işletmesinin paketleme operasyonları için yeşil tedarikçi seçimi yapmışlardır. Çalışmada beş alternatif arasından seçim yapmış ve yirmi altı kriter kullanmıştır. Kullanılan kriterler şunlardır: Servis, Fiyat/Maliyet, Kalite, Yasal Çevresel Gereklikler, Üretim, Atmosfer/Eko Tasarım; Teslimat, Yeşil İmaj, Kirlilik ve Atık Oluşumu, Çevre Yönetim Sistemi, Kurumsal Toplumsal Kaygı, Kirlilik Kontrolü, Yeşil Tasarım, Çevre Dostu Teknoloji Kullanımı, Çevre Dostu Materyal Kullanımı, Azaltılmış Yeşil Ambalaj, Atık Yönetimi, Yeniden Üretim/Yeniden Kullanım Etkinliği, Kaynak Kullanımı, Yöneticilerden YTZY'ye Bağlılık, Personel Çevre Eğitimi, Lojistik, Pazarlama, Hız, Esneklik Sözleşmesel Paydaşların Etkisi, Yerel Toplulukların Etkisi. PB-TOPSIS yöntemi kullanılarak tedarikçi firmalar sıralanmıştır. Sonrasında duyarlılık analizi yapılmış ve sonuçlar, klasik TOPSIS yöntemiyle karşılaştırılmıştır.

Tsai vd. (2023) çalışmalarında, Vietnam'da elektronik sektöründe yeşil tedarikçi seçimi uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Seçim kriterlerinin belirlenmesi ve önemlerinin ölçülmesi için modifiye Delphi ve AHP yöntemleri kullanılmıştır. Modifiye Delphi yöntemi ile karar vericilerle yapılan anket sonucunda belirlenen beş ana kriter ve yirmi bir alt kriter şu şekildedir: Ürün Kalitesi (Kalite ile İlgili Sertifika, Kalite Güvencesi, Anormal Kalite

İşleme Kapasitesi, Ret Oranı), Maliyet ve Hizmet Performansı (Ürün Fiyatı, Teslim Süresi, Sipariş Karşılama Oranı, Duyarlılık), Teknoloji Kabiliyeti (Teknoloji Seviyesi, Ar-Ge Yeteneği, Tasarım Yeteneği, Yeniden Üretim Yeteneği), Çevresel Yönetim (Çevreyle İlgili Sertifikalar, Tehlikeli Madde Yönetimi, Enerji Tüketimi Kontrolü, Geri Dönüşüm, Yeşil Ambalaj), Tedarikçi Riskleri (Finansal İstikrar, Sosyal Sorumluluk, Kurallara ve Yönetmeliklere Uygunluk, Risk Değerlendirme ve Risk Yönetimi Yeteneği). AHP yöntemi ile bu kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış ve Vietnam'daki elektronik şirketleri için kriterlerin önem sıralaması yapılmıştır.

Bas (2024), otomotiv sektöründe yaptığı çalışmasında üç ana kriter altında dokuz alt kriter ve bunların altında yirmi bir alt kriter belirlemiştir. Bu kriterler şunlardır: Satın Alma [Ürün (Maliyet, Kalite, Garanti), Geleneksel (Kapasite, Teslimat, Coğrafi Konum, Enerji Tüketimi)], İş Birliği ve Geliştirme (Geliştirme ve Yenilik, Teknik Yetenek, Hizmet Seviyesi), Yeşil Performans [Yeşil Tasarım (Yönetmelikler, Çevresel Performans, Ekonomik Performans), Yeşil Üretim (Yeşil Üretim, Yeşil Ambalaj), Yeşil Lojistik (Lojistik Ağı Organizasyonu, Hizmet Kalitesi, Teknoloji Kalitesi), Yeşil Geri Dönüşüm (Yeniden Üretim, Yeniden Kullanma, Bertaraf)]'dır. Çalışmada aralık Tip-2 bulanık AHP ve TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Sonrasında duyarlılık analizi yapılmıştır.

He ve Chen (2024), çalışmalarında Çinli elektrikli araç aküsü üreticileri için yeşil tedarikçi seçimi yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında dört ana kriter ve on iki alt kriter kullanılmıştır. Bu kriterler şunlardır: Alıcı İhtiyaçlarını Karşılama Yeteneği (Kalite Taahhütleri, Üretim ve Süreçlerde Devamlı Gelişim Taahhüdü), Üreticiler ve Tedarikçiler Arasındaki İlişki (Güvenilirlik, Uzun Süreli İlişki, Karşılıklı Anlaşmalar, Karşılıklı Saygı ve Hoşgörü), Sorumluluk ve Taahhüt (Tutum, Alıcıya Bağlılık, Sürdürülebilirliğe Bağlılık), Çevre Yönetiminin Uygulanması (Fiyat, Finansal Baskı, Çevresel Düzenlemeler). Çalışmada DEMATEL, Analitik Ağ Prosesi (ANP) ve BWM tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Uygulamanın ardından duyarlılık analizi yapılarak modelin duyarlılığı test edilmiştir.

(Chen & Wang, 2025), çalışmalarında yeşil tedarikçi seçimi uygulaması için 3 ana kriter ve altında yer alan 11 alt kriter kullanmıştır. Bunlar; Yeşil Tedarikçi Kalitesi (Çevresel Etki) [Çevre Dostu Sertifikalar, Ürün Malzemelerinde Sürdürülebilirlik, Yeşil Uygulamalara Müşteri Memnuniyeti, Özel Sürdürülebilirlik Projeleri Tamamlanma Oranı], Yeşil Tedarikçi Verimliliği (Maliyet ve Kaynak Tüketimi) [Yeşil Uygulamalar İçin Operasyonel Maliyet, Çevre Dostu Malzemelerin Maliyeti, Operasyonlarda Enerji Verimliliği], Yeşil Tedarikçi

Yeteneği (Altyapı ve Teknoloji) [Yeşil Teknoloji Entegrasyonu, Sürdürülebilirlik Konusunda İş Gücü Bilgisi, Tedarikçinin Çevresel Yönetim Sistemi, Yenilenebilir Enerji Kullanımı]. Çalışmada, yeşil tedarikçi seçiminde sürdürülebilirlik ve risk faktörlerini bir arada değerlendirmek için AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci), entropi ağırlık yöntemi ve FMEA (Hata Türleri ve Etkileri Analizi) yöntemlerinin birleştirilmesiyle geliştirilmiş bir çerçeve sunulmaktadır. Öznel kriterler için AHP yöntemi kullanılarak, uzman görüşlerine dayanarak kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Nesnel kriterler için ise entropi ağırlık yöntemi kullanılarak, veri varyasyonları baz alınarak ağırlıklar objektif bir şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca, FMEA yöntemi, tedarikçi risklerini nicel olarak değerlendirerek sürece entegre edilmiştir.

Yukarıda yer alan literatür çalışmasının bir özeti Tablo 6’da yer almaktadır.

Tablo 6. Yeşil tedarikçi seçimine ilişkin yapılan çalışmalar

Sıra	Yazar	Alan	Kriterler	Yöntem
1	(Türkay, 2015)	Beyaz Eşya	Yeşil Yetkinlikler, Organizasyonel Faktörler, Çevresel Etkinlik, Maliyetler, Yeşil İmaj	AAS
2	(Freeman & Chen, 2015)	Elektronik, Makine	Maliyet, Yeşil Yeterlilik, Kalite, Teslimat Programı, Çevresel Yönetim Performansı	AHP, Entropi, TOPSIS
3	(Mousakhani vd., 2017)	Pil Üreticisi	Fiyat, Kalite, Teslimat, Teknoloji, Çevre Yeterlilik, Organizasyon, Yeşil İmaj	Aralık Tip 2 Bulanık TOPSIS
4	(Qin vd., 2017)	Otomotiv	Yeşil Ürün Yenilikçiliği, Yeşil İmaj, Çevreyle Arkadaş, Teknoloji Kullanımı, Kaynak Tüketimi, Yeşil Yeterlilik, Çevre Yönetimi, Kalite Yönetimi, Toplam Ürün Yaşam Döngüsü Maliyeti, Kirlilik Üretimi, Çalışan Çevre Eğitimi	Aralık Tip 2 Bulanık Kümesi, TODIM, TOPSIS

Tablo 6'nın devamı

Sıra	Yazar	Alan	Kriterler	Yöntem
5	(Hamdan & Cheaitou, 2017)	Jenerik	Maliyet, Esneklik, Teslimat Süresi, Ürün Kalitesi, Ödeme Şekli, Çevresel Etiketleme, Yeşil Pazar Payı, Yeşil Teknoloji Kullanımı, Çevre Yönetim Sistemi Sertifikası	Bulanık TOPSIS, AHP, İki Amaçlı Tam Sayılı Programlama Modeli
6	(Denizhan vd., 2017)	Mobilya	Maliyet, Kalite, Teslimat, Teknik, Yeşil Kriter	Bulanık VIKOR, Bulanık TOPSIS, Bulanık GRA, Bulanık ARAS, SWARA
7	(Günay, 2017)	Paratoner ve Topraklama Malzemeleri Üretimi	Yeşil Üretim, Yeşil Tasarım, Yeşil İmaj, Çevre Yönetim Sistemi, Yeşil Depolama	AHP, VIKOR
8	(Yazdani vd., 2017)	Gıda	Finansal İstikrar, Atık Bertaraf Programı, Yönetim Taahhüdü, Çevre Yönetim Sistemleri, Kalite Kontrol Sistemleri, İmalat, Tesis, Tersine Lojistik	DEMATEL, COPRAS, MOORA
9	(Erol, 2018)	Rüzgâr Türbini Kule İmalatı	İşletme Faktörleri, Çevresel Faktörler	AHP, TOPSIS
10	(Kılınç, 2018)	Otomotiv	Sübjektif Kriterler, Objektif Kriterler	AHP, GRA
11	(Güneş, 2019)	Otomotiv	Esneklik, Kalite, Maliyet ve Fiyat, Tedarikçi İlişkileri, Tedarikçi Profili, Teslimat	Bulanık AHS, Bulanık TOPSIS
12	(Madenoglu, 2019)	Mobilya	Maliyet, Kalite, Teslimat, Teknik, Yeşil Kriter	Bulanık VIKOR, Bulanık TOPSIS, Bulanık GRA, Bulanık ARAS, SWARA
13	(Yu vd., 2019)	Ev Aletleri	Ekonomik, Çevresel, Sosyal	Aralık Değerli PB-TOPSIS, GRA

Tablo 6'nın devamı

Sıra	Yazar	Alan	Kriterler	Yöntem
14	(Cao, 2020)	Lojistik	Kalite, Maliyet, Hizmet ve Teslimat, Sürdürülebilirlik, Çevre Yönetimi ve Kontrol	PFS, Kesirli Programlama, TOPSIS
15	(Zulqarnain vd., 2021)	Jenerik	Kalite, Dağıtım, Hizmetler, Atmosfer, Kurumsal Toplumsal Kaygı	Pisagor Bulanık Esnek Kümeler Tabanlı TOPSIS
16	(Çalık, 2021)	Tarım Alet ve Makineleri	Teslimat, Kirlilik Kontrolü, Üretim, Kalite, Çevresel Temsil	Aralık Değerli PB- AHP, PB-TOPSIS
17	(Barough, 2022)	Otomotiv	Maliyet, Kalite, Teknoloji, Kirlilik Kontrolü, Yeşil İmaj, Yeşil İnovasyon, Yeşil Uygulama, Çevre Yönetimi ve Kontrolü	Bulanık TOPSIS
18	(Güngör, 2023)	Lojistik	Maliyet, Tedarik Süresi, Mesafe, Kabul-Red Oranı, Sosyal Sorumluluk, Yeşil Üretim, Yeşil Paketleme, Yeşil Satın Alma	CRITIC, CoCoSo
19	(Ünver, 2023)	Tekstil	Maliyet, Kalite, Teslimat, Esneklik, Çevre Yönetimi, Teknoloji, Sosyal	BWM, WASPAS , ARAS, CODAS, EDAS
20	(Karataş, 2023)	Elektrik	Yeşil Ürün Tasarımı, Yeşil Satın Alma, Yeşil Üretim, Uygunluk Kalitesi	EDAS, VIKOR
21	(Aslan, 2023)	Paslanmaz Çelik	Maliyet, Kalite, Teslimat, Yeşil Yetkinlikler	Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS

Tablo 6'nın devamı

Sıra	Yazar	Alan	Kriterler	Yöntem
22	(Güntemur, 2023)	Ev Aletleri	Kalite, Finansal Yönler, Teknoloji, Servis Performansı, Çevresel Performans, Yeşil Ürünler	Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS
23	(Hajiaghaei-Keshteli vd., 2023)	Gıda	Servis, Yasal Çevresel Gereklikler, Fiyat/Maliyet, Kalite, Üretim, Atmosfer/Eko Tasarım, Teslimat, Yeşil İmaj, Kirlilik ve Atık Oluşumu, Çevre Yönetim Sistemi, Kurumsal Toplumsal Kaygı, Kirlilik Kontrolü, Yeşil Tasarım, Çevre Dostu Teknoloji Kullanımı, Çevre Dostu Materyal Kullanımı, Azaltılmış Yeşil Ambalaj, Atık Yönetimi, Yeniden Üretim/Yeniden Kullanım Etkinliği, Kaynak Kullanımı, Yöneticilerden YTZY'ye Bağlılık, Personel Çevre Eğitimi, Lojistik, Pazarlama, Hız, Esneklik, Sözleşmesel Paydaşların Etkisi, Yerel Toplulukların Etkisi	PB-TOPSIS, TOPSIS
24	(Tsai vd., 2023)	Elektronik	Ürün Kalitesi, Maliyet ve Hizmet Performansı, Teknoloji Kabiliyeti, Çevresel Yönetim, Tedarikçi Riskleri	AHP, Modifiye Delphi
25	(Bas, 2024)	Otomotiv	Satın Alma, İş Birliği ve Geliştirme, Yeşil Performans	Aralık Tıp-2 Bulanık AHP, TOPSIS
26	(He & Chen, 2024)	Elektrikli Araç Aküsü	Alıcı İhtiyaçlarını Karşılama Yeteneği, Üreticiler ve Tedarikçiler Arasındaki İlişki, Sorumluluk ve Taahhüt, Çevre Yönetiminin Uygulanması	DEMATEL, ANP, BWM
27	(Chen & Wang, 2025)	-	Yeşil Tedarikçi Kalitesi (Çevresel Etki), Yeşil Tedarikçi Verimliliği (Maliyet ve Kaynak Tüketimi), Yeşil Tedarikçi Yeteneği (Altyapı ve Teknoloji)	AHP, Entropi, FMEA

Tablo 6 kapsamındaki çalışmalar incelendiğinde, yeşil tedarikçi seçimine yönelik literatürde kullanılan değerlendirme kriterlerinin hem çeşitli hem de sektöre özgü bir yapıda olduğu görülmektedir. En yaygın biçimde ele alınan kriterler arasında maliyet, kalite, teslimat, çevre yönetim sistemi, yeşil üretim ve yeşil imaj yer almakta; buna ek olarak son yıllarda sosyal sorumluluk, çevresel inovasyon, çevre dostu teknoloji ve materyal kullanımı gibi sürdürülebilirlik odaklı kriterlerin öneminin arttığı gözlemlenmektedir. Otomotiv, gıda, mobilya, elektronik ve lojistik gibi sektörlerde kriter seçimlerinin sektörel dinamikler doğrultusunda farklılaştığı dikkat çekmektedir.

Yöntemsel açıdan değerlendirildiğinde ise, çok kriterli karar verme problemlerinde AHP, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin özellikle bulanık mantık temelli versiyonlarıyla yoğun şekilde kullanıldığı; ayrıca DEMATEL, SWARA, BWM, ANP ve MOORA gibi yöntemlerin de ağırlıklandırma ve alternatif değerlendirme süreçlerine katkı sağladığı anlaşılmaktadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde yapılan çalışmanın adımları ayrıntılı şekilde anlatılmıştır. T.C. Cumhurbaşkanlığı SSB bünyesinde tedariki yürütülen elektronik harp ürünlerinden biri olan İHA karıştırma sisteminin alımına yönelik yeşil tedarikçi seçimi yapılmıştır. Gizlilik nedeniyle sistemin adı ve alternatif firmaların isimleri paylaşılmamıştır. Alternatif firmalar ise A1, A2, A3, A4 şeklinde kodlanmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde kriter ağırlıklarının belirlenmesinde AHP yöntemi, alternatiflerin sıralanmasında ise TOPSIS yönteminin sıklıkla kullanıldığı tespit edilmiştir. Uygulamada katılımcı sayısının fazla olması nedeniyle AHP yöntemiyle alternatif seçimine yönelik çok sayıda karşılaştırma matrisi oluşturulması gerekliliği, yöntemin uygulanabilirliğini zorlaştırmıştır; bu nedenle, daha sade ve pratik bir yaklaşım sunan TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir.

Tedarikçi seçiminde bulanık küme kullanımı, belirsizlik ve özneliği daha iyi yönetmek için tercih edilir. Gerçek dünyada kriterler genellikle kesin olmamakta, belirsizlik içermekte ya da karar vericinin görüşüne dayanmaktadır. Bulanık kümeler, bu tür belirsizlikleri matematiksel olarak modelleyerek daha esnek ve gerçekçi bir değerlendirme imkânı sunar.

PBK, tedarikçi seçiminde belirsizliği daha ayrıntılı ve hassas bir şekilde modellemek için kullanılır. Geleneksel bulanık kümeler yalnızca üyelik derecelerine dayanırken, PBK; üyelik, üyelik dışılık ve belirsizlik derecelerini aynı anda ele alır. Bu yaklaşım, karar vericilerin; belirsiz bilgilerle daha iyi başa çıkmasını ve görüşlerini daha doğru bir şekilde ifade etmesini sağlar. (İlbahar, Karaşan, Çebi, & Kahraman, 2018)

Aralık değerli PBK’da, her bir üyelik ve üyelik dışı değerinin alt ve üst sınırlarının dikkate alınması, görüşlerin daha hassas ve doğru bir şekilde modellenmesini sağlar. Bu sebeple uygulamada aralık değerli PBK kullanılmıştır.

Uygulamanın ilk aşamasında, yapılan anket sonuçlarıyla elde edilen veriler kullanılarak aralık değerli PB-AHP yöntemiyle kriterler ağırlıklandırılmıştır. İkinci aşamada, alternatiflerin sıralanması için aralık değerli PB-TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Üçüncü aşamada, model sonuçlarının çıktılarını desteklemek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Son aşamada ise aralık değerli PB-WASPAS yöntemiyle karşılaştırmalı analiz

yapılmış ve uygulanan yöntemin sağlamlığı test edilmiştir. İşlem adımlarının ayrıntılı açıklamaları başlıklar halinde aşağıda yer almaktadır.

2.1. Kriterlerin Belirlenmesi

Literatürde yapılan çalışmalar ve uzman görüşleri dikkate alınarak beş ana kriter ve her ana kriterin altında dört alt kriter olmak üzere toplam yirmi alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerin isimleri Tablo 7’de sunulmaktadır.

Tablo 7. Yeşil tedarikçi seçimi kriterleri

Amaç	Ana Kriterler	Alt Kriterler
Yeşil Tedarikçi Seçimi	Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik	Çevresel Sertifikalar ve Standartlar
		Çevresel Hedef ve Taahhütler
		Karbon Ayak İzi
		Yeniden Kullanılabilirlik ve Dönüştürülebilirlik
	Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon	Yeşil Tasarım
		Yeşil Üretim
		Toplumsal Katkı ve Çevresel Farkındalık Projeleri
		Yeşil İnovasyon Faaliyetleri
	Finansal ve Ticari Şartlar	Ürün Fiyatı
		Esnek Ödeme Şartları
		Teslim Süresi
		Kalite Sertifikaları
	Operasyonel Performans ve İş İlişkileri	Geçmiş Başarılar ve Referans Projeler
		Operasyonel Esneklik ve Uyum Kabiliyeti
		Tedarikçi Profili
		Satış Sonrası Destek ve Müşteri Memnuniyeti
	Teknik Özellikler	Etkinlik Menzili
		Sistem Ağırlığı
		Anten Sayısı
		Çıkış Gücü

Ana kriterler ve açıklamaları aşağıda yer almaktadır:

- Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik (Ç): Tedarikçinin çevre konusunda yönetim açısından durumunu ifade eder (Tsai, Wu, Pham, & Lin, 2023).
- Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon (Y): Tedarikçinin üretim süreçlerinde ve projelerinde ortaya koyduğu çevresel farkındalık ve yenilikçi yaklaşımlarını ifade eder (Barough, 2022).
- Finansal ve Ticari Şartlar (F): Ürün için sunulan ödeme ve teslimat koşulları ile teslimata ilişkin şartları ve kaliteye ilişkin düzenlemeleri ifade eder (Tsai, Wu, Pham, & Lin, 2023).
- Operasyonel Performans ve İş İlişkileri (O): Tedarikçinin önceki projelerdeki tutumu, sektördeki yeri ve müşteri gözünde oluşturduğu profili ifade eder (Güntemur, 2023).
- Teknik Özellikler (T): Tedarik edilecek sistemin teknik özelliklerini ifade eder (Denizhan, Yılmaz Yalçınar, & Berber, 2017).

Alt kriterler ve açıklamaları aşağıda yer almaktadır.

Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik (Ç):

- Çevresel Sertifikalar ve Standartlar (Ç1): Tedarikçinin sahip olduğu çevre dostu sertifikalar ve uyduğu çevresel standartları ifade eder (Günay, 2017).
- Çevresel Hedef ve Taahhütler (Ç2): Tedarikçinin çevreye yönelik belirlediği hedefler ve bu hedeflere ulaşma yönündeki taahhütlerini ifade eder (He & Chen, 2024).
- Karbon Ayak İzi (Ç3): Tedarikçinin ürünlerinin kullanım ömrü sonrasında çevreye verdiği karbon salınımı ve atıklarının imhasına dair politikalarını ifade eder (Hajiaghaei-Keshteli, Cenk, Erdebilli, & Özdemir, 2023).
- Yeniden Kullanılabilirlik ve Dönüştürülebilirlik (Ç4): Tedarikçinin ürünlerinin kullanım ömrü sonunda geri dönüşüm ve yeniden kullanım süreçlerine uygunluk düzeyini ifade eder (Freeman & Chen, 2015).

Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon (Y):

- Yeşil Tasarım (Y1): Tedarikçinin ürünlerinin çevresel etkilerini en aza indirmek için tasarım sürecinde kullanılan yeşil yaklaşımları ifade eder (Hajiaghaei-Keshteli, Cenk, Erdebilli, & Özdemir, 2023).

- Yeşil Üretim (Y2): Tedarikçinin üretim süreçlerinde çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için enerji verimliliği gibi kullandığı yöntemler ve uygulamaları ifade eder (Karataş, 2023).
- Toplumsal Katkı ve Çevresel Farkındalık Projeleri (Y3): Tedarikçinin çevre konusunda sosyal sorumluluk projelerine yönelik girişimlerini ifade eder (Zulqarnain, Xin, Siddique, Khan, & Yousif, 2021).
- Yeşil İnovasyon Faaliyetleri (Y4): Tedarikçinin çevreye yönelik yenilikçi ürün ve teknolojilerin geliştirilmesi amacıyla yürüttüğü Ar-Ge ve inovasyon faaliyetlerini ifade eder (Qin, Liu, & Pedrycz, 2017).

Finansal ve Ticari Şartlar (F):

- Ürün Fiyatı (F1): Tedarikçinin ürün için belirlediği birim fiyattır (Tsai, Wu, Pham, & Lin, 2023).
- Esnek Ödeme Şartları (F2): Tedarikçinin sunduğu ödeme şartlarının esnekliğini ve detaylarını ifade eder (Hamdan & Cheaitou, 2017).
- Teslim Süresi (F3): Tedarikçinin ürünü üretip müşteriye ulaştırana kadar geçen zamanı ifade eder (Ünver, 2023).
- Kalite Sertifikaları (F4): Tedarik edilecek ürünün firmanın belirlediği kalite standartlara uygunluğunu gösteren sertifikaların niteliğini ifade eder (Tsai, Wu, Pham, & Lin, 2023).

Operasyonel Performans ve İş İlişkileri (O):

- Geçmiş Başarılar ve Referans Projeler (O1): Tedarikçi ile yapılan önceki çalışmaların ve projelerin geçmiş deneyimlerini, tedarikçinin daha önce sağladığı ürün ve hizmetlerin beklentileri karşılama düzeyini ifade eder (Güneş, 2019).
- Operasyonel Esneklik ve Uyum Kabiliyeti (O2): Tedarikçinin, ürüne ilişkin talep edebilecek değişikliklere cevap verebilme seviyesidir (Hamdan & Cheaitou, 2017).
- Tedarikçi Profili (O3): Tedarikçinin, sektördeki diğer firmalarla olan ilişkilerindeki imajını, bilinirliğini ve tanınırlığını ifade eder (Güneş, 2019).

- Satış Sonrası Destek ve Müşteri Memnuniyeti (O4): Tedarikçinin satın alım sonrası oluşan ihtiyaç ve sorunları giderme ve çözme kabiliyetini ifade eder (Güneş, 2019).

Teknik Özellikler (T):

- Etkinlik Menzili (T1): Sistemin karıştırma yapabildiği maksimum mesafeyi metre cinsinden ifade eder.
- Sistem Ağırlığı (T2): Sistemin ağırlığını gram cinsinden ifade eder.
- Anten Sayısı (T3): Sistem üzerinde bulunan toplam anten sayısını belirtir. Anten sayısı, sistemin yönlendirme kabiliyeti üzerinde doğrudan etkilidir.
- Çıkış Gücü (T4): Sistemin ilettiği elektromanyetik enerjinin seviyesini ifade eder.

Fiyatın döviz kurlarındaki değişimlerden etkilenmesi nedeniyle, belirsizlik ve dalgalanmalara karşı daha hassas bir değerlendirme yapılabilmesi için fiyatın bulanık olarak ele alınması uygun görülmüştür. Teknik kriterler, teorik olarak net değerler sunsa da, bu kriterlerin pratikte her tedarikçi için aynı doğrulukta değerlendirilmesi zordur ve karar vericinin subjektif görüşlerini veya küçük farklılıkları dikkate almayı gerektirir. Bu nedenle, teknik kriterlerin de bulanık olarak değerlendirilmesi, daha esnek ve gerçekçi bir karar süreci sağlamak amacıyla tercih edilmiştir.

Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik, Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon, Finansal ve Ticari Şartlar, Operasyonel Performans ve İş İlişkileri olmak üzere belirlenen ana kriterler ve bu kriterlere ait alt kriterler, literatürde yer alan çalışmalardan yararlanılarak oluşturulmuştur. Ancak, Teknik Özellikler ana kriteri başlığı altında yer alan alt kriterler, alımı planlanan İHA Karıştırma Sistemi ürününe özgü olarak tanımlanmış olup, literatürde benzer nitelikte bir ürünün tedarikine ilişkin kriterlere rastlanmadığından, bu kriterler uzman görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir.

2.2. Anket Uygulaması

Anketin hedef kitlesi, T.C. Cumhurbaşkanlığı SSB bünyesinde görev yapan ve savunma sanayii kapsamındaki sistem/ürün alımlarında karar alma süreçlerine dahil olan proje müdürü, mühendis, sözleşmeli uzman, savunma sanayii uzmanı, savunma sanayii uzman yardımcısı ve askeri deneyime sahip danışman pozisyonundaki personelden

oluşmaktadır. Bu sayede farklı bakış açılarının kapsamlı ve doğru bir şekilde yansıtılması hedeflenmiştir.

Anket çalışması, 1 proje müdürü, 2 mühendis, 1 savunma sanayii uzmanı, 1 sözleşmeli uzman, 1 savunma sanayii uzman yardımcısı ve 4 danışman pozisyonundaki karar vericilerle gerçekleştirilmiştir. Karar vericilere ilişkin bilgiler Tablo 8’de yer almaktadır.

Tablo 8. Karar vericilere ilişkin bilgiler

No	Unvan	Branş	Mesleki Tecrübe
1	Proje Müdürü	Endüstri Mühendisliği	12 yıl
2	Savunma Sanayii Uzmanı	Makine Mühendisliği	17 yıl
3	Sözleşmeli Uzman	Havacılık Mühendisliği	16 yıl
4	Mühendis	Bilgisayar Mühendisliği	7 yıl
5	Mühendis	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2 yıl
6	Savunma Sanayii Uzman Yardımcısı	Mekatronik Mühendisliği	4 yıl
7	Danışman	Endüstri Mühendisliği	16 yıl
8	Danışman	Sistem Mühendisliği	4 yıl
9	Danışman	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	4 yıl
10	Danışman	Sistem Mühendisliği	4 yıl

2.2.1. Kriterlerin Ağırlıklandırılmasına İlişkin Anket Uygulaması

Uygulama, MS Excel programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ankette, karar vericilerden Tablo 5’te yer alan dilsel ifadeler kullanılarak öncelikle kriterlerin ağırlıklandırılması talep edilmiştir. Tüm kriterler birbirleriyle ikili olarak, değerlendirme ölçeği yardımıyla karşılaştırılmıştır. Bu ölçek, kriterlerin eşit derecede önemli olup olmadığından birinin diğerine tamamen üstün olduğuna kadar bir öncelik derecesi atamayı sağlar. Karşılaştırmalar sonucunda bir ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Bu matrisin her bir ögesi i ’inci kriterin j ’inci kritere göre öncelik oranını ifade eder.

Kriter ağırlıklarının hesaplanması için oluşturulan matrislerden birine ait kullanıcı arayüzü örneği, Şekil 9’da verilmiştir. Bu formatta tüm ana ve alt kriterler için ikili karşılaştırmalar yapılmıştır.

Anket formatı, her hücrede açılan listeden Tablo 5’te yer alan dilsel ifadelerden seçim yapılacak şekilde tasarlanmıştır. Karar vericilerden matrisin sadece beyaz olan hücrelerinin doldurulması istenmiştir.

Gri hücreler karar vericilerin beyaz hücelere girdikleri değerlere bağlı olarak otomatik doldurulacak şekilde tasarlanmıştır.

Her kriterin kendisi ile karşılaştırıldığı hücreler ortalama önem derecesine sahip olacağı için bu hücreler de turuncu renkle gösterilerek sabitlenmiştir.

Ana Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi					
	Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik	Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon	Finansal ve Ticari Şartlar	Operasyonel Performans ve İş İlişkileri	Teknik Özellikler
Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik	Ortalama Önem	Ortalama Önem	Ortalama Önem	Ortalama Önem	Ortalama Önem
Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon	Ortalama Önem	Ortalama Önem	Kesinlikle Düşük Önem Çok Düşük Önem	Ortalama Önem	Ortalama Önem
Finansal ve Ticari Şartlar	Ortalama Önem	Ortalama Önem	Düşük Önem Ortalama Önem Altı	Ortalama Önem	Ortalama Önem
Operasyonel Performans ve İş İlişkileri	Ortalama Önem	Ortalama Önem	Ortalama Önem Ortalama Önem Üstü	Ortalama Önem	Ortalama Önem
Teknik Özellikler	Ortalama Önem	Ortalama Önem	Yüksek Önem Çok Yüksek Önem Kesinlikle Yüksek Önem	Ortalama Önem	Ortalama Önem

Şekil 9. Örnek ikili karşılaştırma matrisi

İkili karşılaştırma matrislerine girilen değerlerin tutarlılık oranları otomatik olarak kontrol edilecek şekilde programlanmıştır. *CI* 0.1’in üstünde çıkan matrisler için, karar vericilerin anketin ilgili kısmının tekrar doldurulması gerektiğine dair kırmızı renkte bir uyarı görüntülenmektedir. Tüm kriterler için *CI* 0.1’den küçük olduğu durumda ise anketin ikinci aşamasına (alternatiflerin karşılaştırılması) geçilmektedir.

2.2.2. Alternatiflerin Karşılaştırılmasına İlişkin Anket Uygulaması

Bu aşamada karar vericilerden alternatifleri değerlendirmeleri istenmiştir. Karşılaştırma tablosu doldurulurken Tablo 9’da yer alan dilsel ifadeler kullanılmıştır.

Tablo 9. TOPSIS dilsel skalası

Kısaltma	Açıklama
SDK	Son Derece Kötü
ÇK	Çok Kötü
K	Kötü
OA	Ortalamanın Altı
O	Ortalama
OÜ	Ortalamanın Üstü
İ	İyi
Çİ	Çok İyi
M	Mükemmel

Değerlendirmeyi kolaylaştırmak için alternatif firmaların kriterler bazında gerçekleştirdiği faaliyetler ve bilgilerin yer aldığı bir tablo anketle birlikte karar vericilerle bilgi notu şeklinde paylaşılmıştır. Karar vericiler, bu bilgi notu ve kendi tecrübeleri doğrultusunda alternatif firmaları kriterler özelinde değerlendirilmiştir.

Anket formatı, Şekil 10'da görüleceği gibi, her hücrede tıklanınca açılan ve Tablo 9'da yer alan dilsel ifadeleri içeren listeden uygun ifadenin seçilmesiyle alternatif firmaların kriterler özelinde karşılaştırılması yapılacak şekilde tasarlanmıştır.

	A1	A2	A3	A4
Çevresel Sertifikalar ve Standartlar	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
Çevresel Hedef ve Taahhütler	Ortalama	Son Derece Kötü Çok Kötü Kötü Ortalamanın Altı Ortalama Ortalamanın Üstü İyi Çok İyi Mükemmel	Ortalama	Ortalama
Karbon Ayak İzi	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
Yeniden Kullanılabilirlik ve Dönüştürülebilirlik	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
Yeşil Tasarım	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
Yeşil Üretim	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
Toplumsal Katkı ve Çevresel Farkındalık Projeleri	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama

Şekil 10. Alternatif karşılaştırma örneği

2.3. Aralık Değerli PB-AHP Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Aralık değerli PB-AHP yöntemi tutarlılık analizi gerektirmektedir. Bu nedenle, karar vericilerin değerlendirmeleri sonucu oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlı olup olmadığı tutarlılık analizi yardımıyla test edilmiştir. Tutarlılığın sağlandığı teyit edildikten sonra karar vericilerin değerlendirmeleri PBAO operatörü ile birleştirilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak aralık değerli PB-AHP yönteminin işlem adımları uygulanmış ve kriter ağırlıkları belirlenmiştir.

2.3.1. AHP Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi ve Tutarlılık Analizi

Bu aşamada karar vericilerin kriterlerin ağırlıklandırılması konusundaki değerlendirmeleri sonucunda ortaya çıkan tabloların tutarlı olup olmadığını test etmek için tutarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda öncelikle kriterlerin klasik AHP yöntemi kullanılarak ağırlıkları hesaplanmıştır. Daha sonra tutarlılık analiziyle tabloların tutarlı olup olmadığı test edilmiştir. Bu süreçte aşağıdaki işlem adımları uygulanmıştır.

Adım 1: Tablo 10 yardımıyla, ankette yer alan dilsel ifadelerin AHP skalasındaki karşılıkları belirlenmiştir.

Tablo 10. Dilsel ifadelerin AHP skalası karşılıkları

Dilsel İfade	Sayısal Karşılık
Kesinlikle Düşük Önem	1/9
Çok Düşük Önem	1/7
Düşük Önem	1/5
Ortalama Önemin Altı	1/3
Ortalama Önem	1
Ortalama Önemin Üstü	3
Yüksek Önem	5
Çok Yüksek Önem	7
Kesinlikle Yüksek Önem	9

Ağırlıklandırma işlem adımlarının daha anlaşılır olarak gösterebilmesi amacıyla, örnek olarak seçilen Finansal ve Ticari Şartlar Kriteri'ne ilişkin bir karar vericinin

değerlendirmelerine ait hesaplamalar aşağıda yer almaktadır. Dilsel ifadelerin sayısal değer karşılıkları Tablo 11’de sunulmaktadır.

Tablo 11. Finansal ve Ticari Şartlar kriterlerinin AHP skolası sayısal karşılıkları

	F1	F2	F3	F4
F1	1	7	3	9
F2	1/7	1	1/5	3
F3	1/3	5	1	7
F4	1/9	1/3	1/7	1
Toplam	1,5873	13,3333	4,3429	20,0000

Adım 2: İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra, matristeki her eleman kendi sütun toplamına bölünerek normalize edilmiştir. Örnek matris Tablo 12’de yer almaktadır.

Tablo 12. Finansal ve Ticari Şartlar kriterlerinin normalizasyon matrisi

	F1	F2	F3	F4
F1	0,6300	0,5250	0,6908	0,4500
F2	0,0900	0,0750	0,0461	0,1500
F3	0,2100	0,3750	0,2303	0,3500
F4	0,0700	0,0250	0,0329	0,0500

Adım 3: Normalize edilmiş matrisin her bir satırındaki elemanlar toplandıktan sonra, matrisin boyutuna bölünerek ortalama değer elde edilmiştir. Bu değerler, her bir kriterin hesaplanan önem ağırlıklarını temsil etmektedir.

Finansal ve Ticari Şartlar alt kriterleri için hesaplanan kriter ağırlıkları Tablo 13’te yer almaktadır.

Tablo 13. Finansal ve Ticari Şartlar alt kriter ağırlıkları

Kriter	Kriter Ağırlıkları
F1	0,5739
F2	0,0903
F3	0,2913
F4	0,0445

Adım 4: İkili karşılaştırma sonucunda oluşan matrisin tutarlı olup olmadığını belirleyebilmek için tutarlılık indeksi (*CI*), rastgele indeks (*RI*) ve tutarlılık oranı (*CI/RI*) değerleri hesaplanmıştır. İşlemlerin gerçekleştirildiği örnek matrisler Tablo 14 ve Tablo 15'te yer almaktadır.

Tablo 14. Tutarlılık hesabı-1

Finansal ve Ticari Şartlar Kriterlerinin Ağırlıkları*Karşılaştırma Değerleri					Toplam	t/c
	F1	F2	F3	F4		
F1	0,5739	0,6318	0,8739	0,4003	2,4800	4,3210
F2	0,0820	0,0903	0,0583	0,1334	0,3639	4,0320
F3	0,1913	0,4513	0,2913	0,3113	1,2453	4,2746
F4	0,0638	0,0301	0,0416	0,0445	0,1799	4,0462

Tablo 15. Tutarlılık hesabı-2

λ_{max}	<i>CI</i>	<i>RI</i>	<i>CI/CR</i>
4,1684	0,0561	0,8900	0,0631

Yukarıda yer alan işlemler doğrultusunda tüm karar vericilerin doldurdukları anketler dikkate alındığında ana kriter matrislerinin tutarlılık değerleri Tablo 16'da yer almaktadır. Tabloda yer alan KV1-10 ifadeleri on karar vericiyi temsil etmektedir.

Tablo 16. Ana kriterlerin tutarlılık değerleri

	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	KV6	KV7	KV8	KV9	KV10
Ana Kriterler	0,0247	0,0924	0,0778	0,0915	0,0942	0,0700	0,0410	0,0754	0,0697	0,0409
Ç	0,0754	0,0534	0,0578	0,0993	0,0766	0,0444	0,0580	0,0582	0,0578	0,0592
Y	0,0000	0,0579	0,0578	0,0436	0,0289	0,0631	0,0436	0,0592	0,0587	0,0592
F	0,0631	0,0578	0,0982	0,0444	0,0704	0,0932	0,0123	0,0994	0,0000	0,0745
O	0,0754	0,0123	0,0723	0,0592	0,0704	0,0311	0,0580	0,0578	0,0000	0,0575
T	0,0578	0,0517	0,0704	0,0754	0,0704	0,0735	0,0706	0,0587	0,0592	0,0438

2.3.2. Anket Sonuçlarının Birleştirilmesi

Ankete katılan on karar vericinin girdileri doğrultusunda tamamlanan anket çalışmasındaki verileri birleştirmek için PBAO birleştirme operatörü kullanılmıştır.

Öncelikle, tüm karar vericilerin kriterlerin ikili karşılaştırılması aşamasındaki değerlendirmelerine ilişkin dilsel ifadelerin bulanık sayısal karşılıkları oluşturulmuştur. Tüm karar vericilerin ağırlıkları birbirine eşit olduğu için, toplam ağırlık 1 olacak şekilde her bir karar vericinin ağırlığı $w_i = 1/10$ olarak belirlenmiştir. Birleştirme işlemi sonrası oluşturulan kriterlerin karşılaştırma matrisleri Tablo 17'den Tablo 22'ye kadar yer almaktadır.

Tablo 17. Ana kriterlerin birleştirilmiş karşılaştırma matrisi

	Ç				Y				F				O				T			
	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U
Ç	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,3920	0,5220	0,3740	0,5040	0,2530	0,3830	0,5160	0,6460	0,3140	0,4440	0,4530	0,5830	0,2680	0,3980	0,4970	0,6270
Y	0,3740	0,5120	0,3920	0,5130	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,2620	0,3920	0,5060	0,6360	0,2800	0,4100	0,4880	0,6180	0,2610	0,3910	0,5060	0,6360
F	0,5160	0,6550	0,2530	0,3740	0,5060	0,6360	0,2620	0,3920	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,4430	0,5730	0,3230	0,4530	0,4160	0,5460	0,3480	0,4780
O	0,4530	0,5830	0,3140	0,4440	0,4880	0,6180	0,2800	0,4100	0,3230	0,4530	0,4430	0,5730	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,4020	0,5320	0,3660	0,4960
T	0,4970	0,6450	0,2680	0,3810	0,5060	0,6360	0,2610	0,3910	0,3480	0,4780	0,4160	0,5460	0,3660	0,4960	0,4020	0,5320	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100

Tablo 18. Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik alt kriterlerinin birleştirilmiş karşılaştırma matrisi

	Ç1				Ç2				Ç3				Ç4			
	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U
Ç1	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,4190	0,5490	0,3500	0,4800	0,4100	0,5400	0,3580	0,4880	0,4540	0,5840	0,3160	0,4460
Ç2	0,3500	0,4800	0,4190	0,5490	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,3920	0,5220	0,3750	0,5050	0,4100	0,5400	0,3580	0,4880
Ç3	0,3580	0,4880	0,4100	0,5400	0,3750	0,5050	0,3920	0,5220	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,4260	0,5560	0,3400	0,4700
Ç4	0,3160	0,4110	0,4540	0,6190	0,3580	0,4880	0,4100	0,5400	0,3400	0,4700	0,4260	0,5560	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100

Tablo 19. Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon alt kriterlerinin birleştirilmiş karşılaştırma matrisi

	Y1				Y2				Y3				Y4			
	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U
Y1	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,4000	0,5300	0,3660	0,4960	0,4980	0,6280	0,2720	0,4020	0,5150	0,6450	0,2550	0,3850
Y2	0,3660	0,4870	0,4000	0,5380	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,4890	0,6190	0,2810	0,4110	0,4790	0,6090	0,2880	0,4180
Y3	0,2720	0,4110	0,4980	0,6190	0,2810	0,4110	0,4890	0,6190	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,4170	0,5470	0,3480	0,4780
Y4	0,2550	0,3940	0,5150	0,6360	0,2880	0,4180	0,4790	0,6090	0,3480	0,4780	0,4170	0,5470	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100

Tablo 20. Finansal ve Ticari Şartlar alt kriterlerinin birleştirilmiş karşılaştırma matrisi

	F1				F2				F3				F4			
	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U
F1	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,4980	0,6280	0,2720	0,4020	0,4710	0,6010	0,2970	0,4270	0,5420	0,6720	0,2260	0,3560
F2	0,2720	0,3670	0,4980	0,6630	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,3220	0,4520	0,4450	0,5750	0,4350	0,5650	0,3320	0,4620
F3	0,2970	0,4100	0,4710	0,6180	0,4450	0,5750	0,3220	0,4520	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,5060	0,6360	0,2620	0,3920
F4	0,2260	0,3210	0,5420	0,7080	0,3320	0,4620	0,4350	0,5650	0,2620	0,3920	0,5060	0,6360	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100

Tablo 21. Operasyonel Performans İş İlişkileri alt kriterlerinin birleştirilmiş karşılaştırma matrisi

	O1				O2				O3				O4			
	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U
O1	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,4180	0,5480	0,3510	0,4810	0,4170	0,5470	0,3480	0,4780	0,4270	0,5570	0,3410	0,4710
O2	0,3510	0,4460	0,4180	0,5830	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,4100	0,5400	0,3570	0,4870	0,4180	0,5480	0,3470	0,4770
O3	0,3480	0,4700	0,4170	0,5560	0,3570	0,4870	0,4100	0,5400	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,4270	0,5570	0,3410	0,4710
O4	0,3410	0,4450	0,4270	0,5830	0,3470	0,4770	0,4180	0,5480	0,3410	0,4710	0,4270	0,5570	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100

Tablo 22. Teknik Özellikler alt kriterlerinin birleştirilmiş karşılaştırma matrisi

	T1				T2				T3				T4			
	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U
T1	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,5420	0,6720	0,2280	0,3580	0,5600	0,6900	0,2090	0,3390	0,4970	0,6270	0,2700	0,4000
T2	0,2280	0,3850	0,5420	0,6450	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,4190	0,5490	0,3490	0,4790	0,3570	0,4870	0,4090	0,5390
T3	0,2090	0,3480	0,5600	0,6810	0,3490	0,4790	0,4190	0,5490	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100	0,3500	0,4800	0,4190	0,5490
T4	0,2700	0,4170	0,4970	0,6090	0,4090	0,5390	0,3570	0,4870	0,4190	0,5490	0,3500	0,4800	0,3800	0,5100	0,3800	0,5100

2.3.3. Aralık Değerli PB-AHP Yöntemi İşlem Adımları

Aralık değerli PB-AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplanırken aşağıdaki işlem adımları uygulanmıştır. Bu işlem adımları için örnek tablolar sadece ana kriterler için eklenmiştir. Diğer kriterler için de aynı yöntemle hesaplamalar yapılmıştır.

Adım 1: PBAO operatörü yardımıyla birleştirilen aralık değerli Pisagor bulanık değerleri belirlenmiştir. Birleştirme sonrası bulunan değerler Tablo 17’de yer almaktadır.

Adım 2: Üyelik ve üye olmama fonksiyonlarının alt ve üst değerleri arasındaki fark matrisleri olan $D = (d_{ik})_{m \times n}$, Eşitlik (31) ve Eşitlik (32) yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 23’te yer almaktadır.

Tablo 23. Ana kriterlerin fark matrisi

	Ç		Y		F		O		T	
	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U
Ç	-0,1157	0,1157	-0,1004	0,1326	-0,3533	-0,1196	-0,2413	-0,0081	-0,3213	-0,0886
Y	-0,1233	0,1085	-0,1157	0,1157	-0,3359	-0,1024	-0,3035	-0,0700	-0,3364	-0,1032
F	0,1264	0,3650	0,1024	0,3359	-0,1157	0,1157	-0,0090	0,2240	-0,0554	0,1770
O	0,0081	0,2413	0,0700	0,3035	-0,2240	0,0090	-0,1157	0,1157	-0,0844	0,1491
T	0,1018	0,3442	0,1032	0,3364	-0,1770	0,0554	-0,1491	0,0844	-0,1157	0,1157

Adım 3: Aralık çarpım matrisi, Eşitlik (33) ve Eşitlik (34) yardımı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 24’te yer almaktadır.

Tablo 24. Ana kriterlerin aralık çarpım matrisi

	Ç		Y		F		O		T	
	S_L	S_U	S_L	S_U	S_L	S_U	S_L	S_U	S_L	S_U
Ç	0,6706	1,4912	0,7071	1,5809	0,2951	0,6617	0,4346	0,9725	0,3296	0,7364
Y	0,6532	1,4545	0,6706	1,4912	0,3135	0,7022	0,3505	0,7851	0,3129	0,7003
F	1,5473	3,5280	1,4242	3,1899	0,6706	1,4912	0,9695	2,1677	0,8258	1,8430
O	1,0283	2,3011	1,2737	2,8529	0,4613	1,0314	0,6706	1,4912	0,7471	1,6734
T	1,4216	3,2832	1,4280	3,1957	0,5426	1,2110	0,5976	1,3385	0,6706	1,4912

Adım 4: Eşitlik (35) yardımı ile hesaplanan belirsizlik değerleri Tablo 25'te yer almaktadır.

Tablo 25. Ana kriterlerin belirsizlik değerleri

t	Ç	Y	F	O	T
Ç	0,7686	0,7670	0,7663	0,7668	0,7673
Y	0,7682	0,7686	0,7665	0,7665	0,7668
F	0,7614	0,7665	0,7686	0,7670	0,7676
O	0,7668	0,7665	0,7670	0,7686	0,7665
T	0,7576	0,7668	0,7676	0,7665	0,7686

Adım 5: Eşitlik (36) yardımıyla ana kriterlerin normalizasyon öncesi ağırlık matrisi oluşturulmuştur. Hesaplanan değerler Tablo 26'da yer almaktadır.

Tablo 26. Ana kriterlerin normalizasyon öncesi ağırlık matrisi

t	Ç	Y	F	O	T
Ç	0,8308	0,8775	0,3666	0,5395	0,4090
Y	0,8096	0,8308	0,3893	0,4352	0,3884
F	1,9321	1,7684	0,8308	1,2032	1,0242
O	1,2765	1,5816	0,5725	0,8308	0,9277
T	1,7823	1,7727	0,6730	0,7420	0,8308

Adım 6: Her bir normalize edilmiş kriter ağırlık değerleri w_i Eşitlik (37) yardımı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 27'de yer almaktadır.

Tablo 27. Ana kriterlerin kriter ağırlıkları

Kriter	w_i
Ç	0,1280
Y	0,1208
F	0,2861
O	0,2196
T	0,2455

Yukarıda belirtilen işlem adımları, alt kriterler için de uygulanmıştır. Bu kapsamda, ana kriterler kendi içinde ve her ana kriter altında yer alan dört alt kriter de kendi içinde ağırlıklandırılarak yerel önem (ağırlık) ve yerel sıraları belirlenmiştir. Ayrıca, tüm ana kriterlerin ağırlıkları her bir ana kriterin altında yer alan alt kriter ağırlıklarıyla çarpılarak global ağırlıklar elde edilmiştir. Kriterlerin global ağırlıkları dikkate alınarak hesaplanan global sıralara ilişkin veriler Tablo 28’de sunulmuştur.

Tablo 28. Kriterlerin global önem ve sıra tablosu

Ana Kriter	Yerel Önem	Alt Kriter	Yerel Önem	Yerel Sıra	Global Önem	Global Sıra
Ç	0,1280	Ç1	0,3040	1	0,0389	10
		Ç2	0,2480	3	0,0317	17
		Ç3	0,2522	2	0,0323	16
		Ç4	0,1959	4	0,0251	18
Y	0,1208	Y1	0,3528	1	0,0426	9
		Y2	0,3095	2	0,0374	14
		Y3	0,1813	3	0,0219	19
		Y4	0,1563	4	0,0189	20
F	0,2861	F1	0,3987	1	0,1141	1
		F2	0,1882	3	0,0538	6
		F3	0,2771	2	0,0793	4
		F4	0,1359	4	0,0389	11
O	0,2196	O1	0,1735	3	0,0381	13
		O2	0,1630	4	0,0358	15
		O3	0,3812	1	0,0837	3
		O4	0,2823	2	0,0620	5
T	0,2455	T1	0,4535	1	0,1114	2
		T2	0,1843	3	0,0452	8
		T3	0,1553	4	0,0381	12
		T4	0,2069	2	0,0508	7

2.4. Aralık Değerli PB-TOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması

Aralık değerli PB-TOPSIS yönteminin uygulanabilmesi için karar vericilerin değerlendirmeleri sonucunda oluşturulan alternatiflerin değerlendirme tablolarının PBAO yöntemi ile birleştirilmiştir. Daha sonra birleştirilmiş değerler kullanılarak aralık değerli PB-TOPSIS yönteminin işlem adımları takip edilmiş ve alternatifler sıralanmıştır.

2.4.1. Anket Sonuçlarının Birleştirilmesi

Aralık değerli PB-TOPSIS yönteminin birleştirme işlemi sonrası oluşturulan Tablo 29 aşağıda yer almaktadır.

Tablo 29. Birleştirilmiş alternatifler değerlendirme tablosu

Kriterler	A1				A2				A3				A4			
	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U
Ç1	0,6140	0,7440	0,1560	0,2860	0,4460	0,5760	0,3220	0,4520	0,2600	0,3900	0,5070	0,6370	0,4190	0,5490	0,3480	0,4780
Ç2	0,5780	0,7080	0,1900	0,3200	0,5780	0,7080	0,1910	0,3210	0,2350	0,3650	0,5340	0,6640	0,2350	0,3650	0,5340	0,6640
Ç3	0,5870	0,7170	0,1820	0,3120	0,3050	0,4350	0,4640	0,5940	0,2260	0,3560	0,5430	0,6730	0,2260	0,3560	0,5430	0,6730
Ç4	0,5250	0,6550	0,2450	0,3750	0,2430	0,3730	0,5250	0,6550	0,2000	0,3300	0,5690	0,6990	0,2000	0,3300	0,5690	0,6990
Y1	0,4890	0,6190	0,2780	0,4080	0,4800	0,6100	0,2870	0,4170	0,2170	0,3470	0,5520	0,6820	0,1910	0,3210	0,5780	0,7080
Y2	0,5160	0,6460	0,2530	0,3830	0,5060	0,6360	0,2610	0,3910	0,2000	0,3300	0,5690	0,6990	0,2000	0,3300	0,5690	0,6990
Y3	0,5960	0,7260	0,1740	0,3040	0,5420	0,6720	0,2270	0,3570	0,2260	0,3560	0,5430	0,6730	0,2530	0,3830	0,5170	0,6470
Y4	0,5780	0,7080	0,1920	0,3220	0,3050	0,4350	0,4640	0,5940	0,2080	0,3380	0,5600	0,6900	0,2080	0,3380	0,5600	0,6900
F1	0,5250	0,6550	0,2440	0,3740	0,4450	0,5750	0,3230	0,4530	0,4010	0,5310	0,3660	0,4960	0,3230	0,4530	0,4460	0,5760
F2	0,5340	0,6640	0,2350	0,3650	0,3490	0,4790	0,4170	0,5470	0,4810	0,6110	0,2890	0,4190	0,3160	0,4460	0,4540	0,5840
F3	0,4530	0,5830	0,3140	0,4440	0,2710	0,4010	0,4970	0,6270	0,2360	0,3660	0,5340	0,6640	0,5690	0,6990	0,2010	0,3310
F4	0,6410	0,7710	0,1290	0,2590	0,4260	0,5560	0,3380	0,4680	0,3910	0,5210	0,3730	0,5030	0,4080	0,5380	0,3560	0,4860
O1	0,5240	0,6540	0,2430	0,3730	0,4520	0,5820	0,3120	0,4420	0,3920	0,5220	0,3740	0,5040	0,4260	0,5560	0,3390	0,4690
O2	0,5150	0,6450	0,2520	0,3820	0,4450	0,5750	0,3220	0,4520	0,3990	0,5290	0,3640	0,4940	0,4800	0,6100	0,2870	0,4170
O3	0,6050	0,7350	0,1630	0,2930	0,4880	0,6180	0,2780	0,4080	0,4340	0,5640	0,3300	0,4600	0,4710	0,6010	0,2950	0,4250
O4	0,5420	0,6720	0,2260	0,3560	0,4970	0,6270	0,2700	0,4000	0,4070	0,5370	0,3560	0,4860	0,4700	0,6000	0,2950	0,4250

Tablo 29'un devamı

Kriterler	A1				A2				A3				A4			
	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U
T1	0,5780	0,7080	0,1920	0,3220	0,3920	0,5220	0,3740	0,5040	0,4710	0,6010	0,2970	0,4270	0,4350	0,5650	0,3310	0,4610
T2	0,4890	0,6190	0,2800	0,4100	0,3830	0,5130	0,3830	0,5130	0,5420	0,6720	0,2260	0,3560	0,3230	0,4530	0,4440	0,5740
T3	0,4700	0,6000	0,2970	0,4270	0,4880	0,6180	0,2790	0,4090	0,4090	0,5390	0,3560	0,4860	0,4090	0,5390	0,3560	0,4860
T4	0,4190	0,5490	0,3490	0,4790	0,4710	0,6010	0,2960	0,4260	0,5350	0,6650	0,2350	0,3650	0,4530	0,5830	0,3140	0,4440

2.4.2. Aralık Değerli PB-TOPSIS Yöntemi İşlem Adımları

Aralık değerli PB-TOPSIS yöntemi ile alternatif firmaların sıralanması için aşağıdaki işlem adımları takip edilmiştir.

Adım 1: Karar vericilerin değerlendirmelerinin PBAO yöntemi ile birleştirilmesi neticesinde oluşturulan Tablo 29’da yer alan değerler kullanılarak π Eşitlik (25) yardımıyla hesaplanmıştır.

Adım 2: $S(a)$ ve $S^*(a)$ Eşitlik (26) ve (27) yardımıyla hesaplanır. Kullanılan kriterlerin hepsi fayda yönlü olduğundan $S^*(a)$ için hesaplanan değerlerin büyük olanları ideale yakın, küçük olanları ise idealden uzak olduğunu göstermektedir.

Adım 1 ve Adım 2’de gerçekleştirilen işlemlere ilişkin değerler Tablo 30 ve Tablo 31’de yer almaktadır.

Adım 3: Bir önceki adımda elde edilen skor değerleriyle aralık değerli Pisagor bulanık A^+ ve A^- Eşitlik (39) ve (40) yardımıyla hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen işlemlere ilişkin değerler Tablo 32’de yer almaktadır.

Tablo 30. A1 ve A2 alternatif firmaları için (π) , $S(a)$ ve $S^*(a)$ hesaplaması

	A1								A2							
Kriterler	μ_L	μ_U	v_L	v_U	π_L	π_U	S	S^*	μ_L	μ_U	v_L	v_U	π_L	π_U	S	S^*
Ç1	0,6140	0,7440	0,1560	0,2860	0,6039	0,7737	0,4122	0,7061	0,4460	0,5760	0,3220	0,4520	0,6811	0,8351	0,1114	0,5557
Ç2	0,5780	0,7080	0,1900	0,3200	0,6296	0,7936	0,3484	0,6742	0,5780	0,7080	0,1910	0,3210	0,6290	0,7934	0,3479	0,6740
Ç3	0,5870	0,7170	0,1820	0,3120	0,6234	0,7889	0,3641	0,6820	0,3050	0,4350	0,4640	0,5940	0,6767	0,8317	-0,1429	0,4285
Ç4	0,5250	0,6550	0,2450	0,3750	0,6560	0,8151	0,2520	0,6260	0,2430	0,3730	0,5250	0,6550	0,6571	0,8157	-0,2532	0,3734
Y1	0,4890	0,6190	0,2780	0,4080	0,6711	0,8268	0,1893	0,5946	0,4800	0,6100	0,2870	0,4170	0,6738	0,8290	0,1731	0,5866
Y2	0,5160	0,6460	0,2530	0,3830	0,6603	0,8184	0,2364	0,6182	0,5060	0,6360	0,2610	0,3910	0,6653	0,8221	0,2198	0,6099
Y3	0,5960	0,7260	0,1740	0,3040	0,6169	0,7839	0,3798	0,6899	0,5420	0,6720	0,2270	0,3570	0,6488	0,8091	0,2832	0,6416
Y4	0,5780	0,7080	0,1920	0,3220	0,6285	0,7931	0,3474	0,6737	0,3050	0,4350	0,4640	0,5940	0,6767	0,8317	-0,1429	0,4285
F1	0,5250	0,6550	0,2440	0,3740	0,6566	0,8154	0,2526	0,6263	0,4450	0,5750	0,3230	0,4530	0,6813	0,8353	0,1096	0,5548
F2	0,5340	0,6640	0,2350	0,3650	0,6526	0,8122	0,2688	0,6344	0,3490	0,4790	0,4170	0,5470	0,6865	0,8392	-0,0609	0,4695
F3	0,4530	0,5830	0,3140	0,4440	0,6804	0,8344	0,1247	0,5623	0,2710	0,4010	0,4970	0,6270	0,6679	0,8243	-0,2029	0,3985
F4	0,6410	0,7710	0,1290	0,2590	0,5818	0,7566	0,4608	0,7304	0,4260	0,5560	0,3380	0,4680	0,6869	0,8392	0,0787	0,5393
O1	0,5240	0,6540	0,2430	0,3730	0,6581	0,8163	0,2521	0,6260	0,4520	0,5820	0,3120	0,4420	0,6826	0,8357	0,1252	0,5626
O2	0,5150	0,6450	0,2520	0,3820	0,6619	0,8193	0,2359	0,6180	0,4450	0,5750	0,3220	0,4520	0,6820	0,8356	0,1103	0,5552
O3	0,6050	0,7350	0,1630	0,2930	0,6115	0,7794	0,3969	0,6985	0,4880	0,6180	0,2780	0,4080	0,6720	0,8274	0,1882	0,5941
O4	0,5420	0,6720	0,2260	0,3560	0,6494	0,8094	0,2838	0,6419	0,4970	0,6270	0,2700	0,4000	0,6685	0,8247	0,2036	0,6018

Tablo 30'un devamı

	A1								A2							
Kriterler	μ_L	μ_U	v_L	v_U	π_L	π_U	S	S^*	μ_L	μ_U	v_L	v_U	π_L	π_U	S	S^*
T1	0,5780	0,7080	0,1920	0,3220	0,6285	0,7931	0,3474	0,6737	0,3920	0,5220	0,3740	0,5040	0,6881	0,8405	0,0161	0,5081
T2	0,4890	0,6190	0,2800	0,4100	0,6699	0,8261	0,1879	0,5939	0,3830	0,5130	0,3830	0,5130	0,6882	0,8406	0,0000	0,5000
T3	0,4700	0,6000	0,2970	0,4270	0,6765	0,8312	0,1552	0,5776	0,4880	0,6180	0,2790	0,4090	0,6714	0,8271	0,1875	0,5937
T4	0,4190	0,5490	0,3490	0,4790	0,6850	0,8382	0,0629	0,5314	0,4710	0,6010	0,2960	0,4260	0,6763	0,8310	0,1570	0,5785

Tablo 31. A3 ve A4 alternatif firmaları için (π) , $S(a)$ ve $S^*(a)$ hesaplaması

	A3								A4							
Kriterler	μ_L	μ_U	v_L	v_U	π_L	π_U	S	S^*	μ_L	μ_U	v_L	v_U	π_L	π_U	S	S^*
Ç1	0,2600	0,3900	0,5070	0,6370	0,6649	0,8218	-0,2216	0,3892	0,4190	0,5490	0,3480	0,4780	0,6856	0,8387	0,0637	0,5318
Ç2	0,2350	0,3650	0,5340	0,6640	0,6526	0,8122	-0,2688	0,3656	0,2350	0,3650	0,5340	0,6640	0,6526	0,8122	-0,2688	0,3656
Ç3	0,2260	0,3560	0,5430	0,6730	0,6483	0,8087	-0,2850	0,3575	0,2260	0,3560	0,5430	0,6730	0,6483	0,8087	-0,2850	0,3575
Ç4	0,2000	0,3300	0,5690	0,6990	0,6344	0,7976	-0,3317	0,3341	0,2000	0,3300	0,5690	0,6990	0,6344	0,7976	-0,3317	0,3341
Y1	0,2170	0,3470	0,5520	0,6820	0,6438	0,8051	-0,3012	0,3494	0,1910	0,3210	0,5780	0,7080	0,6290	0,7934	-0,3479	0,3260
Y2	0,2000	0,3300	0,5690	0,6990	0,6344	0,7976	-0,3317	0,3341	0,2000	0,3300	0,5690	0,6990	0,6344	0,7976	-0,3317	0,3341
Y3	0,2260	0,3560	0,5430	0,6730	0,6483	0,8087	-0,2850	0,3575	0,2530	0,3830	0,5170	0,6470	0,6593	0,8177	-0,2376	0,3812
Y4	0,2080	0,3380	0,5600	0,6900	0,6400	0,8020	-0,3161	0,3420	0,2080	0,3380	0,5600	0,6900	0,6400	0,8020	-0,3161	0,3420

Tablo 31'in devamı

	A3								A4							
Kriterler	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	π_L	π_U	S	S^*	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	π_L	π_U	S	S^*
F1	0,4010	0,5310	0,3660	0,4960	0,6870	0,8398	0,0314	0,5157	0,3230	0,4530	0,4460	0,5760	0,6805	0,8347	-0,1106	0,4447
F2	0,4810	0,6110	0,2890	0,4190	0,6717	0,8277	0,1728	0,5864	0,3160	0,4460	0,4540	0,5840	0,6783	0,8331	-0,1242	0,4379
F3	0,2360	0,3660	0,5340	0,6640	0,6520	0,8119	-0,2682	0,3659	0,5690	0,6990	0,2010	0,3310	0,6339	0,7974	0,3312	0,6656
F4	0,3910	0,5210	0,3730	0,5030	0,6896	0,8414	0,0161	0,5080	0,4080	0,5380	0,3560	0,4860	0,6887	0,8407	0,0465	0,5232
O1	0,3920	0,5220	0,3740	0,5040	0,6881	0,8405	0,0161	0,5081	0,4260	0,5560	0,3390	0,4690	0,6862	0,8388	0,0779	0,5389
O2	0,3990	0,5290	0,3640	0,4940	0,6900	0,8416	0,0313	0,5156	0,4800	0,6100	0,2870	0,4170	0,6738	0,8290	0,1731	0,5866
O3	0,4340	0,5640	0,3300	0,4600	0,6858	0,8383	0,0930	0,5465	0,4710	0,6010	0,2950	0,4250	0,6769	0,8313	0,1577	0,5788
O4	0,4070	0,5370	0,3560	0,4860	0,6895	0,8412	0,0455	0,5228	0,4700	0,6000	0,2950	0,4250	0,6778	0,8319	0,1566	0,5783
T1	0,4710	0,6010	0,2970	0,4270	0,6756	0,8306	0,1563	0,5781	0,4350	0,5650	0,3310	0,4610	0,6843	0,8374	0,0932	0,5466
T2	0,5420	0,6720	0,2260	0,3560	0,6494	0,8094	0,2838	0,6419	0,3230	0,4530	0,4440	0,5740	0,6821	0,8358	-0,1085	0,4457
T3	0,4090	0,5390	0,3560	0,4860	0,6880	0,8402	0,0474	0,5237	0,4090	0,5390	0,3560	0,4860	0,6880	0,8402	0,0474	0,5237
T4	0,5350	0,6650	0,2350	0,3650	0,6516	0,8115	0,2700	0,6350	0,4530	0,5830	0,3140	0,4440	0,6804	0,8344	0,1247	0,5623

Tablo 32. Pozitif ve negatif ideal çözüm hesabı

	A^+							A^-						
Kriterler	S^+	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	π_L	π_U	S^-	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	π_L	π_U
Ç1	0,7061	0,614	0,744	0,156	0,286	0,6039	0,7737	0,3892	0,26	0,39	0,507	0,637	0,6649	0,8218
Ç2	0,6742	0,578	0,708	0,19	0,32	0,6296	0,7936	0,3656	0,235	0,365	0,534	0,664	0,6526	0,8122
Ç3	0,682	0,587	0,717	0,182	0,312	0,6234	0,7889	0,3575	0,226	0,356	0,543	0,673	0,6483	0,8087
Ç4	0,626	0,525	0,655	0,245	0,375	0,656	0,8151	0,3341	0,2	0,33	0,569	0,699	0,6344	0,7976
Y1	0,5946	0,489	0,619	0,278	0,408	0,6711	0,8268	0,326	0,191	0,321	0,578	0,708	0,629	0,7934
Y2	0,6182	0,516	0,646	0,253	0,383	0,6603	0,8184	0,3341	0,2	0,33	0,569	0,699	0,6344	0,7976
Y3	0,6899	0,596	0,726	0,174	0,304	0,6169	0,7839	0,3575	0,226	0,356	0,543	0,673	0,6483	0,8087
Y4	0,6737	0,578	0,708	0,192	0,322	0,6285	0,7931	0,342	0,208	0,338	0,56	0,69	0,64	0,802
F1	0,6263	0,525	0,655	0,244	0,374	0,6566	0,8154	0,4447	0,323	0,453	0,446	0,576	0,6805	0,8347
F2	0,6344	0,534	0,664	0,235	0,365	0,6526	0,8122	0,4379	0,316	0,446	0,454	0,584	0,6783	0,8331
F3	0,6656	0,569	0,699	0,201	0,331	0,6339	0,7974	0,3659	0,236	0,366	0,534	0,664	0,652	0,8119
F4	0,7304	0,641	0,771	0,129	0,259	0,5818	0,7566	0,508	0,391	0,521	0,373	0,503	0,6896	0,8414
O1	0,626	0,524	0,654	0,243	0,373	0,6581	0,8163	0,5081	0,392	0,522	0,374	0,504	0,6881	0,8405
O2	0,618	0,515	0,645	0,252	0,382	0,6619	0,8193	0,5156	0,399	0,529	0,364	0,494	0,69	0,8416
O3	0,6985	0,605	0,735	0,163	0,293	0,6115	0,7794	0,5465	0,434	0,564	0,33	0,46	0,6858	0,8383
O4	0,6419	0,542	0,672	0,226	0,356	0,6494	0,8094	0,5228	0,407	0,537	0,356	0,486	0,6895	0,8412

Tablo 32'nin devamı

	A^+							A^-						
Kriterler	S^+	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	π_L	π_U	S^-	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U	π_L	π_U
T1	0,6737	0,578	0,708	0,192	0,322	0,6285	0,7931	0,5081	0,392	0,522	0,374	0,504	0,6881	0,8405
T2	0,6419	0,542	0,672	0,226	0,356	0,6494	0,8094	0,4457	0,323	0,453	0,444	0,574	0,6821	0,8358
T3	0,5937	0,488	0,618	0,279	0,409	0,6714	0,8271	0,5237	0,409	0,539	0,356	0,486	0,688	0,8402
T4	0,635	0,535	0,665	0,235	0,365	0,6516	0,8115	0,5314	0,419	0,549	0,349	0,479	0,685	0,8382

Adım 4: Her bir alternatifin pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklığı Eşitlik (28) yardımıyla hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen işlemlere ilişkin değerler Tablo 33'te yer almaktadır.

Tablo 33. Pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklık hesabı

Kriterler	$d(A1,A^+)$	$d(A2,A^+)$	$d(A3,A^+)$	$d(A4,A^+)$	$d(A1,A^-)$	$d(A2,A^-)$	$d(A3,A^-)$	$d(A4,A^-)$
Ç1	0,0000	0,1999	0,3554	0,2268	0,3554	0,1774	0,0000	0,1566
Ç2	0,0000	0,0005	0,3234	0,3234	0,3234	0,3234	0,0000	0,0000
Ç3	0,0000	0,2882	0,3404	0,3404	0,3404	0,0898	0,0000	0,0000
Ç4	0,0000	0,2532	0,3059	0,3059	0,3059	0,0539	0,0000	0,0000
Y1	0,0000	0,0099	0,2630	0,2958	0,2958	0,2895	0,0328	0,0000
Y2	0,0000	0,0115	0,3008	0,3008	0,3008	0,2957	0,0000	0,0000
Y3	0,0000	0,0685	0,3522	0,3358	0,3522	0,2844	0,0000	0,0309
Y4	0,0000	0,2765	0,3389	0,3389	0,3389	0,1108	0,0000	0,0000
F1	0,0000	0,0880	0,1309	0,1976	0,1976	0,1106	0,0754	0,0000
F2	0,0000	0,1874	0,0607	0,2136	0,2136	0,0370	0,1530	0,0000
F3	0,1336	0,2891	0,3114	0,0000	0,2152	0,0430	0,0000	0,3114
F4	0,0000	0,2574	0,2905	0,2747	0,2905	0,0331	0,0000	0,0158
O1	0,0000	0,0796	0,1381	0,1058	0,1381	0,0584	0,0000	0,0322
O2	0,0000	0,0763	0,1211	0,0394	0,1211	0,0448	0,0000	0,0817
O3	0,0000	0,1431	0,1999	0,1616	0,1999	0,0568	0,0000	0,0383
O4	0,0000	0,0526	0,1457	0,0822	0,1457	0,0931	0,0000	0,0634
T1	0,0000	0,2046	0,1262	0,1634	0,2046	0,0000	0,0784	0,0412
T2	0,0615	0,1677	0,0000	0,2179	0,1564	0,0584	0,2179	0,0000
T3	0,0196	0,0000	0,0811	0,0811	0,0615	0,0811	0,0000	0,0000
T4	0,1257	0,0727	0,0000	0,0917	0,0000	0,0530	0,1257	0,0341

Adım 5: Hesaplanan A^+ ve A^- değerlerinin kriter ağırlıkları (w_j) ile çarpımlarının toplanması sonucu ağırlıklı uzaklıklar Eşitlik (41) ve (42) yardımıyla bulunmuştur. Gerçekleştirilen işlemlere ilişkin değerler Tablo 34'te yer almaktadır.

Tablo 34. Ağırlıklı uzaklıklar hesap tablosu

Kriterler	w	$w_j^*A_i^+$				$w_j^*A_i^-$			
		w^* $d(A1,A^+)$	w^* $d(A2,A^+)$	w^* $d(A3,A^+)$	w^* $d(A4,A^+)$	w^* $d(A1,A^-)$	w^* $d(A2,A^-)$	w^* $d(A3,A^-)$	w^* $d(A4,A^-)$
Ç1	0,0389	0,0000	0,0078	0,0138	0,0088	0,0138	0,0069	0,0000	0,0061
Ç2	0,0317	0,0000	0,0000	0,0103	0,0103	0,0103	0,0103	0,0000	0,0000
Ç3	0,0323	0,0000	0,0093	0,0110	0,0110	0,0110	0,0029	0,0000	0,0000
Ç4	0,0251	0,0000	0,0063	0,0077	0,0077	0,0077	0,0013	0,0000	0,0000
Y1	0,0426	0,0000	0,0004	0,0112	0,0126	0,0126	0,0123	0,0014	0,0000
Y2	0,0374	0,0000	0,0004	0,0112	0,0112	0,0112	0,0111	0,0000	0,0000
Y3	0,0219	0,0000	0,0015	0,0077	0,0074	0,0077	0,0062	0,0000	0,0007
Y4	0,0189	0,0000	0,0052	0,0064	0,0064	0,0064	0,0021	0,0000	0,0000
F1	0,1141	0,0000	0,0100	0,0149	0,0225	0,0225	0,0126	0,0086	0,0000
F2	0,0538	0,0000	0,0101	0,0033	0,0115	0,0115	0,0020	0,0082	0,0000
F3	0,0793	0,0106	0,0229	0,0247	0,0000	0,0171	0,0034	0,0000	0,0247
F4	0,0389	0,0000	0,0100	0,0113	0,0107	0,0113	0,0013	0,0000	0,0006
O1	0,0381	0,0000	0,0030	0,0053	0,0040	0,0053	0,0022	0,0000	0,0012
O2	0,0358	0,0000	0,0027	0,0043	0,0014	0,0043	0,0016	0,0000	0,0029
O3	0,0837	0,0000	0,0120	0,0167	0,0135	0,0167	0,0048	0,0000	0,0032
O4	0,0620	0,0000	0,0033	0,0090	0,0051	0,0090	0,0058	0,0000	0,0039
T1	0,1114	0,0000	0,0228	0,0140	0,0182	0,0228	0,0000	0,0087	0,0046
T2	0,0452	0,0028	0,0076	0,0000	0,0099	0,0071	0,0026	0,0099	0,0000
T3	0,0381	0,0007	0,0000	0,0031	0,0031	0,0023	0,0031	0,0000	0,0000
T4	0,0508	0,0064	0,0037	0,0000	0,0047	0,0000	0,0027	0,0064	0,0017

Adım 6: Her bir alternatif için yakınlık katsayısı (C_i) Eşitlik (43) yardımı ile hesaplanmıştır.

Adım 7: Yakınlık katsayıları büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. En yüksek yakınlık katsayısı olan alternatif firma (A1), öncelikli çözüm olarak belirlenmiştir. Alternatif firmalara ait öncelik sıralaması $A1 > A2 > A4 > A3$ şeklindedir. Gerçekleştirilen işlemlere ilişkin değerler Tablo 35’te yer almaktadır.

Tablo 35. Yakınlık katsayıları hesabı ve alternatiflerin sıralanması

	$D(A_i, A^+)$		$D(A_i, A^-)$		C_i	Sıra
A1	$D(A1, A^+)$	0,0205	$D(A1, A^-)$	0,2107	0,9113	1
A2	$D(A2, A^+)$	0,1391	$D(A2, A^-)$	0,0952	0,4063	2
A3	$D(A3, A^+)$	0,1860	$D(A3, A^-)$	0,0432	0,1885	4
A4	$D(A4, A^+)$	0,1799	$D(A4, A^-)$	0,0497	0,2163	3

2.5. Duyarlılık Analizi

Uygulama kapsamında iki farklı duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir: İlkinde, karar vericilere atanan ağırlıklar değiştirilmiş($Sn0$); ikincisinde ise kriter ağırlıkları üzerinde değişiklikler yapılmıştır($Sn1$). Her iki analiz türüne ilişkin ayrıntılı açıklamalara ilgili başlıklar altında yer verilmiştir.

2.5.1. Karar Verici Ağırlıklarının Değiştirilmesi

Uygulamada başlangıçta tüm karar vericilere eşit önem ağırlığı atanmıştır. Ancak duyarlılık analizinde, karar vericilerin mesleki tecrübeleri dikkate alınarak çalıştıkları yıl oranında belirlenen ağırlıklarla yapılan değerlendirmelerin sonuçlara etkisi incelenmiştir. Söz konusu yıllara göre belirlenen önem ağırlıkları Tablo 36’da sunulmuştur.

Tablo 36. Karar verici ağırlıkları

No	Unvan	Mesleki Tecrübe	$Sn1$ Ağırlıkları
1	Proje Müdürü	12 yıl	0,1395
2	Savunma Sanayii Uzmanı	17 yıl	0,1977
3	Sözleşmeli Uzman	16 yıl	0,1860
4	Mühendis	7 yıl	0,0814
5	Mühendis	2 yıl	0,0233
6	Savunma Sanayii Uzman Yardımcısı	4 yıl	0,0465
7	Danışman	16 yıl	0,1860
8	Danışman	4 yıl	0,0465
9	Danışman	4 yıl	0,0465
10	Danışman	4 yıl	0,0465

Anket sonuçları PBAO ile birleştirilirken Tablo 36’da yer alan karar verici ağırlıkları kullanılmıştır. Birleştirme işlemi sonrası aralık değerli PB-AHP yöntemi ile oluşturulan güncel ağırlıklar hesaplanmıştır. Kriterlere ilişkin yerel ve global sıralarda değişiklikler görülmüştür. $Sn0$ ve $Sn1$ ’e ilişkin sonuçlar Tablo 37’de yer almaktadır.

Tablo 37. $Sn0$ ile $Sn1$ sonuçlarının karşılaştırılması

Alt Kriter	$Sn0$ Kriter Ağırlıkları	$Sn0$ Sıra	$Sn1$ Kriter Ağırlıkları	$Sn1$ Sıra
Çevresel Sertifikalar ve Standartlar	0,0389	10	0,0292	16
Çevresel Hedef ve Taahhütler	0,0317	17	0,0296	15
Karbon Ayak İzi	0,0323	16	0,0279	17
Yeniden Kullanılabilirlik ve Dönüştürülebilirlik	0,0251	18	0,0224	18
Yeşil Tasarım	0,0426	9	0,0383	11
Yeşil Üretim	0,0374	14	0,0398	9
Toplumsal Katkı ve Çevresel Farkındalık Projeleri	0,0219	19	0,0175	19
Yeşil İnovasyon Faaliyetleri	0,0189	20	0,0169	20
Ürün Fiyatı	0,1141	1	0,1165	2
Esnek Ödeme Şartları	0,0538	6	0,0477	7
Teslim Süresi	0,0793	4	0,1043	3
Kalite Sertifikaları	0,0389	11	0,0397	10
Geçmiş Başarılar ve Referans Projeler	0,0381	13	0,0312	14
Operasyonel Esneklik ve Uyum Kabiliyeti	0,0358	15	0,0320	13
Tedarikçi Profili	0,0837	3	0,0884	4
Satış Sonrası Destek ve Müşteri Memnuniyeti	0,0620	5	0,0573	6
Etkinlik Menzili	0,1114	2	0,1255	1
Sistem Ağırlığı	0,0452	8	0,0443	8
Anten Sayısı	0,0381	12	0,0334	12
Çıkış Gücü	0,0508	7	0,0583	5

Aralık değerli PB-TOPSIS yöntemi sonucunda ortaya çıkan $Sn0$ ve $Sn1$ değerleri Tablo 38’de yer almaktadır.

Tablo 38. Aralık değerli PB-TOPSIS sonuçları

	<i>Sn0 Ci</i>	<i>Sn1 Ci</i>	Sıra
A1	0,9113	0,8878	1
A2	0,4063	0,3912	2
A3	0,1885	0,1605	4
A4	0,2163	0,2899	3

Alternatiflerin yakınlık katsayısı değerlerinde farklılık görülse de sıralamalarında bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

2.5.2. Kriter Ağırlıklarının Değiştirilmesi

İlk çözüm elde edildikten sonra, her bir kriterin önem derecesindeki değişikliklerin alternatiflerin genel önceliğine etkisini değerlendirmek amacıyla duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık analizi kapsamında, her bir ana kriterin ağırlığına %10, %20 eklenerek ve çıkartılarak toplam yirmi senaryo oluşturulmuştur. Hesaplamalar yapılırken, kriterlerin yeni ağırlıkları (w_j) türetilen (w_i)'ye ve ayrıca başlangıç ağırlık değerlerine (w_{i0}), (w_{j0}) dayalı olarak hesaplanır. Bu ağırlık hesaplama süreci aşağıdaki eşitliğe göre gerçekleştirilir (Selçuk, 2013).

$$w_j = (1 - w_i) \frac{w_{j0}}{(1 - w_{i0})} \quad (44)$$

Örneğin, Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik ana kriterinin ağırlığının %20 artırılması ile gerçekleştirilen Senaryo 1'de yer alan Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon ana kriterinin yeni ağırlığına ilişkin hesaplamalar şu şekilde yapılmıştır:

$$w_{i0} = 0,1280$$

$$w_{j0} = 0,1208$$

$$w_i = 0,1536$$

$$w_j = 0,1172$$

$$0,1172 = (1 - 0,1536) \frac{0,1208}{(1 - 0,1280)}$$

Ana kriterler için oluşturulan farklı senaryolarda bu yöntem ile yeni kriter ağırlıkları hesaplanmış ve sonuçlar aralık değerli PB-TOPSIS yöntemine yeniden girdi olarak aktarılmıştır. Uygulanan senaryolar ve sonuçları aşağıda sunulmaktadır.

Senaryo 0 (S0): Aralık değerli PB-AHP yöntemiyle elde edilen gerçek kriter ağırlıklarıdır.

Senaryo 1 (S1): Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik ana kriterinin ağırlığı %20 oranında artırılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları azaltılır.

Senaryo 2 (S2): Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon ana kriterinin ağırlığı %20 oranında artırılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları azaltılır.

Senaryo 3 (S3): Finansal ve Ticari Şartlar ana kriterinin ağırlığı %20 oranında artırılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları azaltılır.

Senaryo 4 (S4): Operasyonel Performans ve İş İlişkileri ana kriterinin ağırlığı %20 oranında artırılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları azaltılır.

Senaryo 5 (S5): Teknik Özellikler ana kriterinin ağırlığı %20 oranında artırılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları azaltılır.

Senaryo 6 (S6): Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik ana kriterinin ağırlığı %20 oranında azaltılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları artırılır.

Senaryo 7 (S7): Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon ana kriterinin ağırlığı %20 oranında azaltılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları artırılır.

Senaryo 8 (S8): Finansal ve Ticari Şartlar ana kriterinin ağırlığı %20 oranında azaltılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları artırılır.

Senaryo 9 (S9): Operasyonel Performans ve İş İlişkileri ana kriterinin ağırlığı %20 oranında azaltılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları artırılır.

Senaryo 10 (S10): Teknik Özellikler ana kriterinin ağırlığı %20 oranında azaltılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları artırılır.

Senaryo 11 (S11): Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik ana kriterinin ağırlığı %10 oranında artırılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları azaltılır.

Senaryo 12 (S12): Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon ana kriterinin ağırlığı %10 oranında artırılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları azaltılır.

Senaryo 13 (S13): Finansal ve Ticari Şartlar ana kriterinin ağırlığı %10 oranında artırılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları azaltılır.

Senaryo 14 (S14): Operasyonel Performans ve İş İlişkileri ana kriterinin ağırlığı %10 oranında artırılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları azaltılır.

Senaryo 15 (S15): Teknik Özellikler ana kriterinin ağırlığı %10 oranında artırılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları azaltılır.

Senaryo 16 (S16): Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik ana kriterinin ağırlığı %10 oranında azaltılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları artırılır.

Senaryo 17 (S17): Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon ana kriterinin ağırlığı %10 oranında azaltılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları artırılır.

Senaryo 18 (S18): Finansal ve Ticari Şartlar ana kriterinin ağırlığı %10 oranında azaltılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları artırılır.

Senaryo 19 (S19): Operasyonel Performans ve İş İlişkileri ana kriterinin ağırlığı %10 oranında azaltılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları artırılır.

Senaryo 20 (S20): Teknik Özellikler ana kriterinin ağırlığı %10 oranında azaltılır ve diğer ana kriterlerin ağırlıkları artırılır.

Senaryoların gerçekleştirilmesi sonrasında ortaya çıkan C_i değerleri Tablo 39'da yer almaktadır. Senaryolar kapsamında, alternatif sıralamalar incelendiğinde $A1 > A2 > A4 > A3$ sıralaması elde edilmiş ve senaryolar kapsamında sıralamada bir değişiklik görülmemiştir.

Tablo 39. Senaryolar bazında alternatiflerin C_i değerleri

	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
A1	0,9113	0,9150	0,9146	0,9063	0,9148	0,9041	0,9075	0,9079	0,9163	0,9078	0,9182
A2	0,4063	0,4094	0,4214	0,3943	0,4063	0,3961	0,4031	0,3908	0,4184	0,4063	0,4161
A3	0,1885	0,1806	0,1829	0,1927	0,1809	0,2086	0,1967	0,1943	0,1843	0,1958	0,1691
A4	0,2163	0,2130	0,2089	0,2287	0,2205	0,2131	0,2198	0,2240	0,2039	0,2123	0,2195
	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	
A1	0,9131	0,9129	0,9088	0,9130	0,9077	0,9094	0,9096	0,9138	0,9095	0,9148	
A2	0,4078	0,4139	0,4003	0,4063	0,4012	0,4047	0,3986	0,4123	0,4063	0,4112	
A3	0,1845	0,1857	0,1906	0,1848	0,1984	0,1926	0,1914	0,1864	0,1922	0,1787	
A4	0,2147	0,2126	0,2225	0,2184	0,2147	0,2180	0,2201	0,2101	0,2143	0,2179	

2.6. Karşılaştırmalı Analiz

Bu bölümde, önerilen karar verme yaklaşımının sağlamlığını test etmek amacıyla karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Öncelikle, aralık değerli PB-WASPAS yöntemi açıklanmıştır. Ardından karar vericilerin değerlendirmeleri kullanılarak aralık değerli PB-WASPAS yöntemiyle alternatiflerin karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. .

2.6.1. Aralık Değerli PB-WASPAS

Aralık değerli PB-WASPAS yöntemi, aralık değerli PBS'lerin klasik WASPAS yöntemine uyarlanmasıyla oluşturulmuştur. Yöntemin uygulama aşamalarında kullanılan değişkenler aşağıda yer almaktadır:

- m : Karar alternatif sayısı ($i=1,2,...,m$)
- n : Değerlendirme kriter sayısı ($j=1,2,..., n$)
- x_{ij} : j . değerlendirme kriterine göre i . alternatifin aldığı değer ($j=1,2, ..., n$)
- x_{ij}^* : j . değerlendirme kriterlerine göre i . alternatifin aldığı normalize edilmiş değer ($j=1,2, ..., n$)
- w_j : j . değerlendirme kriterinin ağırlığı ($j=2, ..., n$)

Aralık değerli PB-WASPAS işlem adımları aşağıda yer almaktadır (İlbahar & Kahraman, 2018; Sancar, 2022).

Adım 1: Karar vericilerin dilsel ifadeler şeklindeki değerlendirmeleri Tablo 5 kullanılarak PBS'lere dönüştürülür.

Adım 2: Her karar vericiye ait PBS'lerden oluşan matrislerin aralık değerli PBAO operatörü ile Eşitlik (29) kullanılarak birleştirilir ve $\tilde{x}_{ij}$ karar matrisi oluşturulur.

Adım 3: WASPAS denklemlerinden fayda yönlü kriterler (maksimize edilmesi istenen kriterler) için, Eşitlik (45) kullanılarak $\tilde{x}_{ij}$ karar matrisinin normalize edilmesi gerekir. Bu eşitlikteki $\max_i(x_{ij})$ değerini bulabilmek için $\tilde{x}_{ij}$ karar matrisinin durulaştırılması gerekir. Durulaştırma için Eşitlik (46) kullanılır.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\max_i(x_{ij})} \quad (i=1,2,...m \text{ ve } j=1,2,...n) \quad (45)$$

$$p = \frac{\mu_L + \mu_U + \sqrt{1 - \vartheta_L^2} + \sqrt{1 - \vartheta_U^2} + \mu_L \mu_U - \sqrt{\sqrt{1 - \vartheta_L^2} \sqrt{1 - \vartheta_U^2}}}{4} \quad (46)$$

Durulaştırma sonrasında, $\frac{1}{\max_i \tilde{x}_{ij}}$ değeri Eşitlik (21) kullanılarak $\tilde{x}_{ij}$ matrisi ile çarpılır.

Böylece $\tilde{\tilde{x}}_{ij}$ normalize karar matrisi oluşturulmuş olur.

Adım 4: Ağırlık Toplam Matrisi, Eşitlik (47) ile oluşturulur. Buradaki matematiksel işlemler Eşitlik (19), (21), (23) kullanılarak yapılır ($w_j = \text{PB-AHP'den elde edilen kriter ağırlıkları}$).

$$\tilde{Q}_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \tilde{\tilde{x}}_{ij} w_j \quad (47)$$

Adım 5: Ağırlık Çarpım Matrisi, Eşitlik (48) kullanılarak oluşturulur. Buradaki matematiksel işlemler Eşitlik (20), (22) ve (24) kullanılarak yapılır.

$$\tilde{Q}_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\tilde{\tilde{x}}_{ij})^{w_j} \quad (48)$$

Adım 6: Sonuç Matrisi, Eşitlik (49) kullanılarak oluşturulur. Buradaki işlemler Eşitlik (19) ve (21) yardımıyla yapılır ($\lambda = 0.5$ alınır).

$$Q_i = \lambda \cdot Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} = \lambda \sum_{j=1}^n x_{ij}^* w_j + (1 - \lambda) \prod_{j=1}^n x_{ij}^{* w_j} \quad (49)$$

Adım 7: PBS'lerden oluşan $\tilde{Q}_i$ matrisi, Eşitlik (46) kullanılarak durulaştırılır ve en yüksek değere sahip olan alternatif, en uygun alternatif olarak belirlenir.

2.6.2. Karşılaştırmalı Analiz Uygulama Adımları

Aralık değerli PB-WASPAS yönteminin uygulanmasına ilişkin gerçekleştirilen işlem adımları ve hesaplamalar aşağıda yer almaktadır:

Adım 1: Karar vericilerin görüşleri dilsel ifadelerle toplanmış ve değerlendirme sonuçları, Tablo 5 kullanılarak PBS'lere dönüştürülmüştür.

Adım 2: Her karar vericiye ait PBS'lerden oluşan matrisler, PBAO operatörü ile Eşitlik (29) kullanılarak alınmış ve $\tilde{x}_{ij}$ karar matrisi oluşturulmuştur. Bu işlem aralık değerli PB-TOPSIS yönteminde de gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan karar matrisi Tablo 29'da yer almaktadır.

Adım 3: Çalışmada kullanılan tüm kriterler fayda yönlü olduğu için durulaştırma ve normalizasyon işlemi yapılmamıştır. Bir sonraki adıma geçilmiştir.

Adım 4: Ağırlık Toplam Matrisi, Eşitlik (47) yardımı ile oluşturulmuştur. Matematiksel işlemlerde Eşitlik (19), (21) ve (23) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 40'ta verilmiştir.

Tablo 40. Ağırlıklı toplam matrisi

Alternatif Firma	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U
A1	0,5416	0,6724	0,2255	0,3580
A2	0,4350	0,5650	0,3334	0,4659
A3	0,3922	0,5211	0,3804	0,5143
A4	0,3999	0,5291	0,3721	0,5063

Adım 5: Ağırlık Çarpım Matrisi, Eşitlik (48) kullanılarak oluşturulmuş ve matematiksel işlemler Eşitlik (20), (22) ve (24) kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Tablo 41'de yer almaktadır.

Tablo 41. Ağırlıklı çarpım matrisi

Alternatif Firma	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U
A1	0,5332	0,6638	0,2397	0,3679
A2	0,4161	0,5483	0,3546	0,4838
A3	0,3533	0,4886	0,4173	0,5473
A4	0,3621	0,4972	0,4091	0,5390

Adım 6: Sonuç matrisi, Eşitlik (49) kullanılarak oluşturulmuş ve buradaki işlemler Eşitlik (19) ve (21) kullanılarak yapılmıştır ($\lambda = 0.5$ alındı). Yapılan işlemler sonucunda elde edilen veriler, Tablo 42'de yer almaktadır.

Tablo 42. Sonuç matrisi

Alternatif Firma	μ_L	μ_U	v_L	v_U
A1	0,5374	0,6682	0,2325	0,3629
A2	0,4257	0,5567	0,3439	0,4748
A3	0,3734	0,5053	0,3984	0,5305
A4	0,3816	0,5135	0,3902	0,5224

Adım 7: PBS'lerden oluşan $\tilde{Q}_i$ matrisi Eşitlik (46) yardımıyla durulaştırılmıştır ve alternatiflerin sıralaması $A1 > A2 > A4 > A3$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda, en yüksek değere sahip olan alternatif firma (A1), en uygun alternatif olarak belirlenmiştir. Durulaştırma sonrası alternatiflere ilişkin değerler, Tablo 43'te yer almaktadır.

Tablo 43. Durulaştırılmış sonuç matrisi

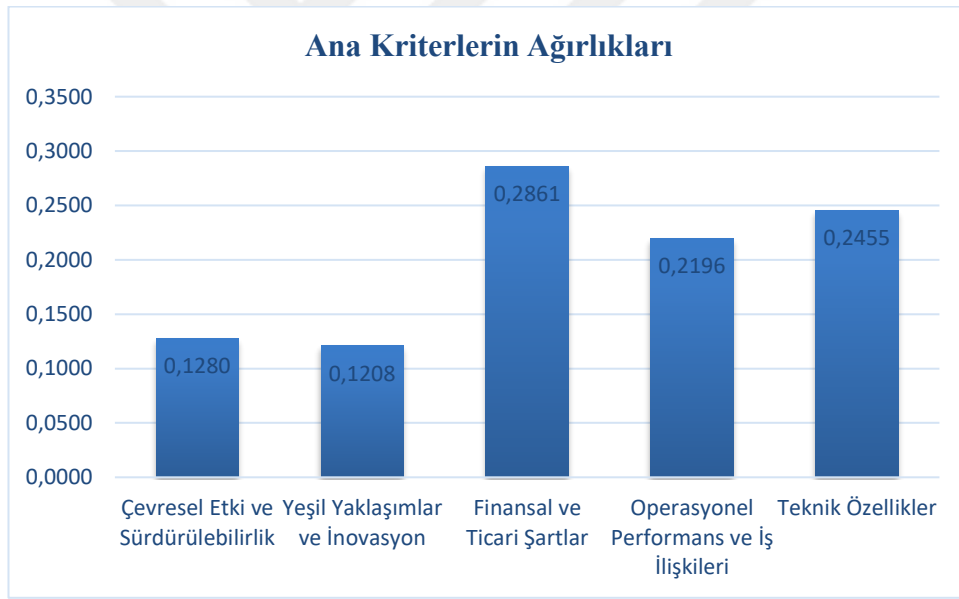
Alternatif Firma	p
A1	0,6293
A2	0,5324
A3	0,4876
A4	0,4946

Önerilen karar verme yaklaşımının sağlamlığını test etmek amacıyla uygulanan karşılaştırmalı analiz sonuçları karşılaştırıldığında, önerilen yaklaşım ile WASPAS yönteminde aynı alternatif firma sıralamasına ulaşıldığı görülmüştür.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

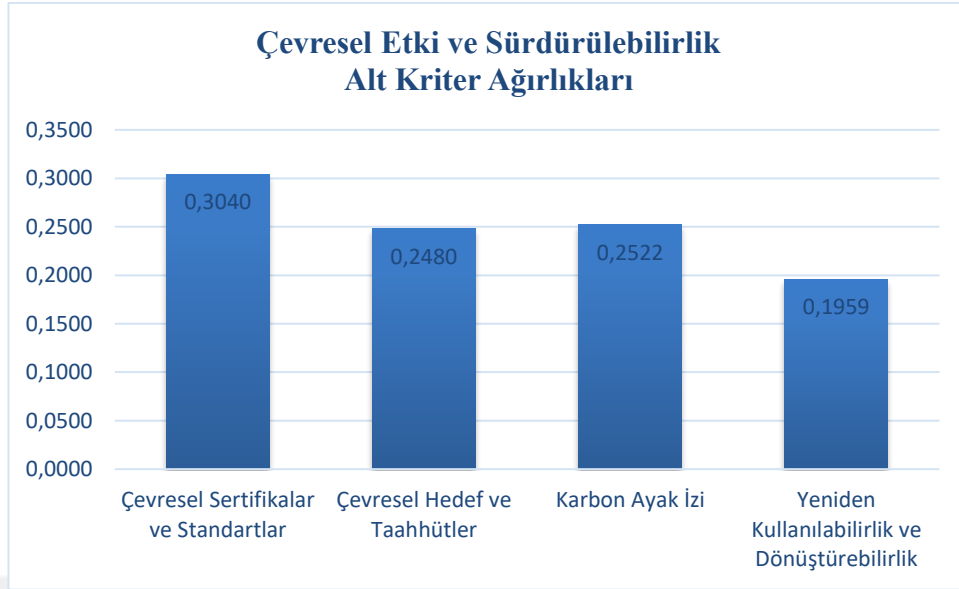
Kriter ağırlıklarının belirlenmesi sonucu elde edilen değerler incelendiğinde, karar vericiler için en önemli ana kriter, 0,2861 ağırlık değeriyle Finansal ve Ticari Şartlar olmuştur. Bu kriteri 0,2455 ağırlık değeriyle Teknik Özellikler kriteri takip etmiştir. Operasyonel Performans ve İş İlişkileri kriterinin karar vericiler açısından önemi ise 0,2196 olarak hesaplanmıştır. Yeşil kriterlerin yer aldığı iki ana kriter olan Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik ile Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon ana kriteri diğer kriterlere göre gözle görülür derecede düşük önemde değerlendirilmiştir.

Yukarıda ifade edilen bilgilere ilişkin değerler, Şekil 11’de grafiksel olarak yer almaktadır.



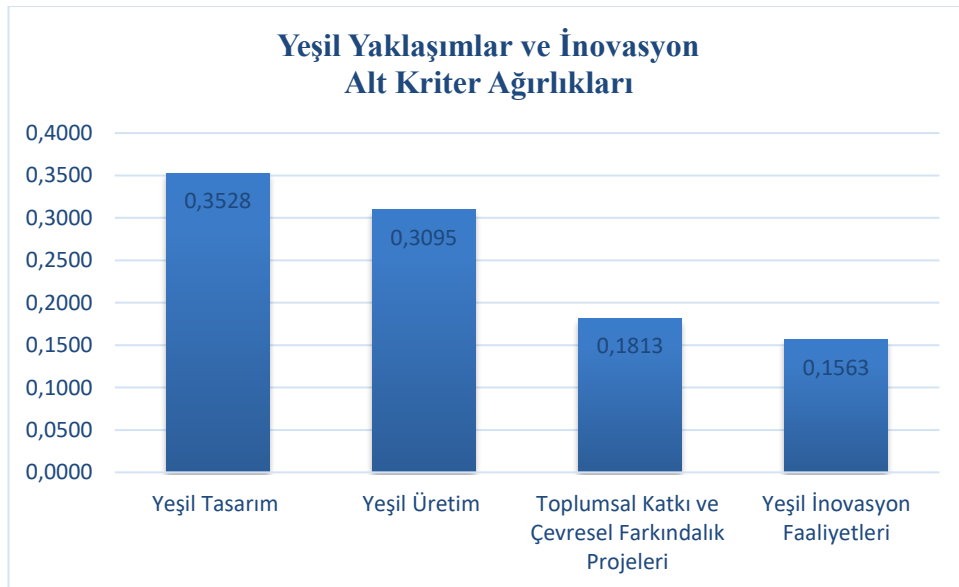
Şekil 11. Ana kriterlerin ağırlıkları

Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik ana kriteri altında yer alan dört alt kriter incelendiğinde kriter ağırlıkları arasında ciddi bir sapma gözlenmemiştir. Tüm alt kriter ağırlıklarının birbirine yakın değerler olduğu, Şekil 12’de görülmektedir.



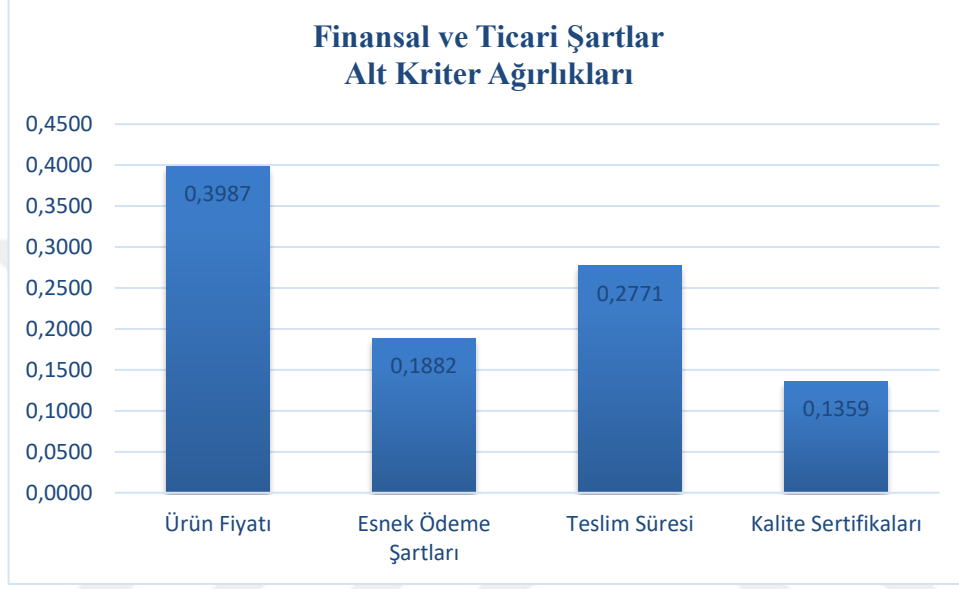
Şekil 12. Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik alt kriter ağırlıkları

Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon ana kriteri altında bulunan alt kriter ağırlıkları, Şekil 13'te yer almaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, Yeşil Tasarım alt kriteri 0,3528 ve Yeşil Üretim alt kriteri 0,3095 ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. Bu iki alt kriterin ağırlıkları diğer iki alt kriterin ağırlıklarına göre daha yüksek çıkmıştır. Bu da karar vericiler tarafından Toplumsal Katkı ve Farkındalık Projeleri alt kriteri ile Yeşil İnovasyon Faaliyetleri alt kriterinin düşük önemde değerlendirildiğini göstermektedir.



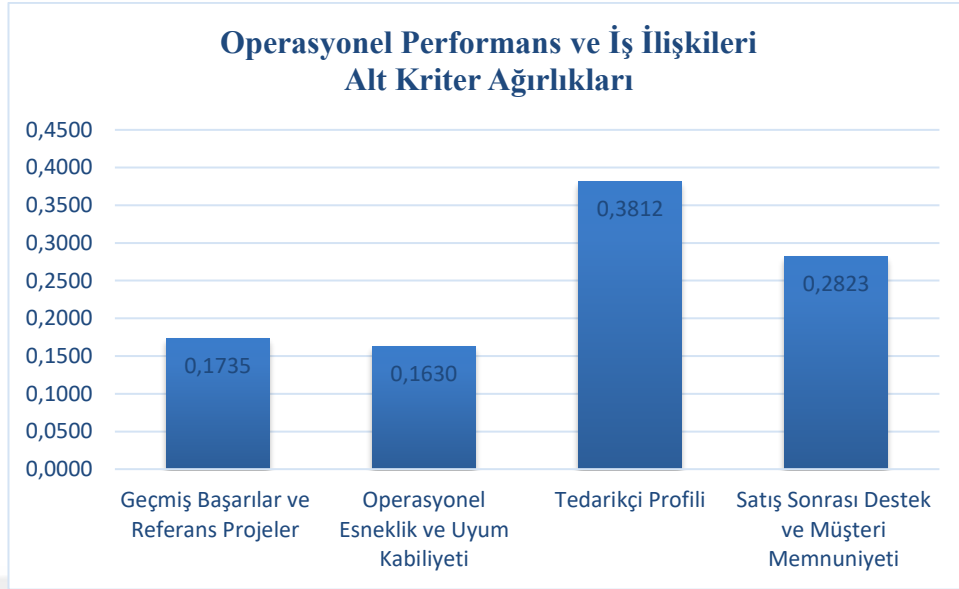
Şekil 13. Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon alt kriter ağırlıkları

Finansal ve Ticari Şartlar ana kriteri altında yer alan alt kriterlerin ağırlıkları incelendiğinde, Ürün Fiyatı kriteri 0,3987 değeriyle açık ara önde olduğu görülmektedir. Bunun yanında, teslim süresinin de 0,2771 ağırlık ile karar vericiler için öncelikli kriterler arasında olduğu anlaşılmaktadır. Bahsi geçen alt kriter ağırlıklarına ilişkin değerler, Şekil 14'te yer almaktadır.



Şekil 14. Finansal ve Ticari Şartlar alt kriter ağırlıkları

Operasyonel Performans ve İş İlişkileri ana kriteri altında yer alan kriterler incelendiğinde, Tedarikçi Profili 0,3812 ağırlığa sahip iken, Satış Sonrası Destek ve Müşteri Memnuniyeti'nin 0,2823, Geçmiş Başarılar ve Referans Projeler'in 0,1735, Operasyonel Esneklik ve Uyum Kabiliyeti'nin 0,1630 ağırlığa sahip olduğu Şekil 15'te görülmektedir. Buradan yola çıkarak, karar vericiler için en önemli kriterin Tedarikçi Profili olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 15. Operasyonel Performans ve İş İlişkileri alt kriter ağırlıkları

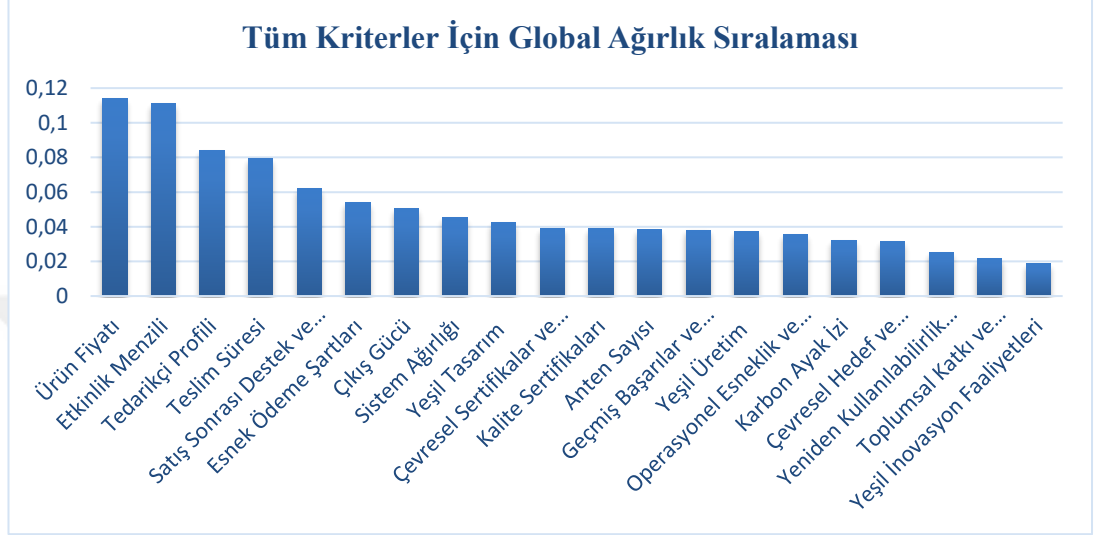
Teknik Özellikler ana kriteri altında yer alan alt kriterler incelendiğinde, Etkinlik menzili 0,4535 ağırlıkla diğer kriterlere göre daha önemli çıkmıştır. Diğer üç alt kriterin ise birbirlerine yakın ağırlıklara sahip olduğu görülmektedir. Değerlere ilişkin grafik Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 16. Teknik Özellikler alt kriter ağırlıkları

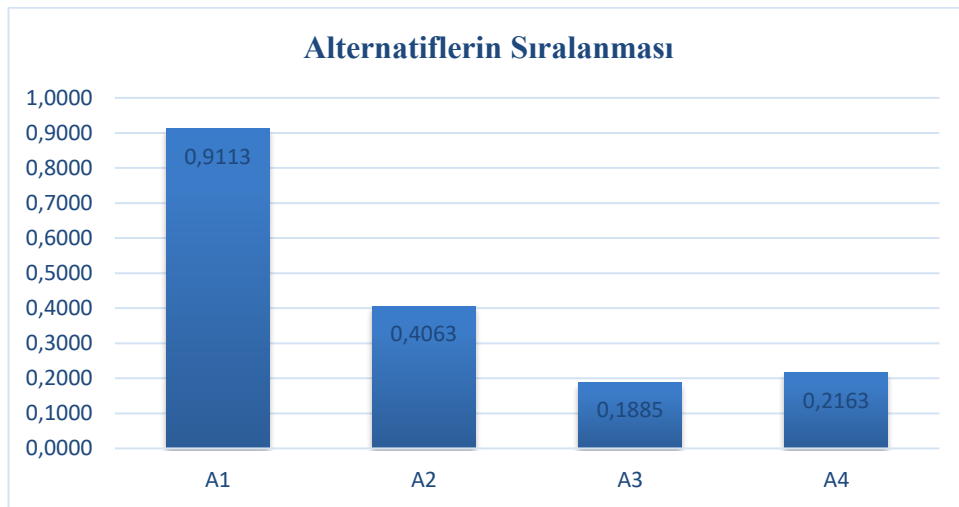
Kriterler, global ağırlıkları bazında incelendiğinde, Şekil 17'de yer alan grafikteki gibi bir sıralama ortaya çıkmaktadır. Global kriter ağırlıkları içerisinde en yüksek ağırlığa sahip

kriterler şunlardır: Ürün Fiyatı (0,1140), Etkinlik Menzili (0,1113), Tedarikçi Profili (0,0837), Teslim Süresi (0,0792), Satış Sonrası Destek ve Müşteri Memnuniyeti (0,0619). Burada dikkat çeken hususlardan biri de yeşil kriterlerin önem ağırlıklarının genel olarak düşük olduğudur.



Şekil 17. Tüm kriterler için global ağırlık sıralaması

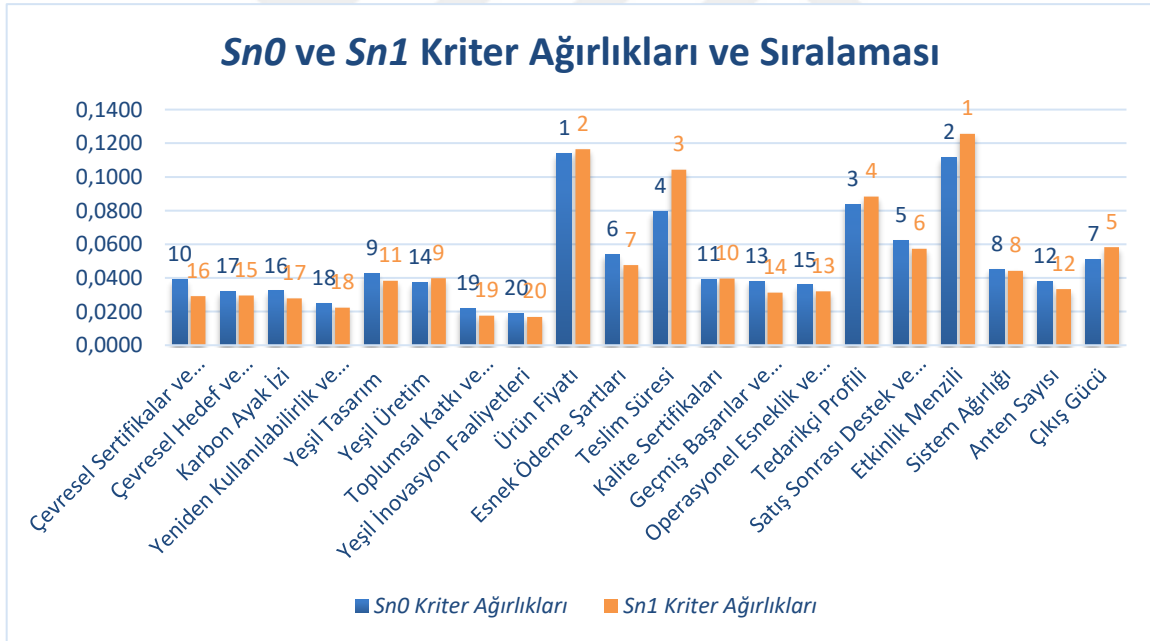
Alternatiflerin sıralanması için kullanılan aralık değerli PB-TOPSIS yöntemi sonucunda alternatif firmalar, $A1(0,9113) > A2(0,4063) > A4(0,2163) > A3(0,1885)$ şeklinde sıralanmıştır. Alternatif firmalara ilişkin C_i değerleri Şekil 18’de yer almaktadır. A1 alternatifinin büyük bir fark ile birinci alternatif olarak tercih edildiği görülmektedir.



Şekil 18. Alternatiflerin sıralanması

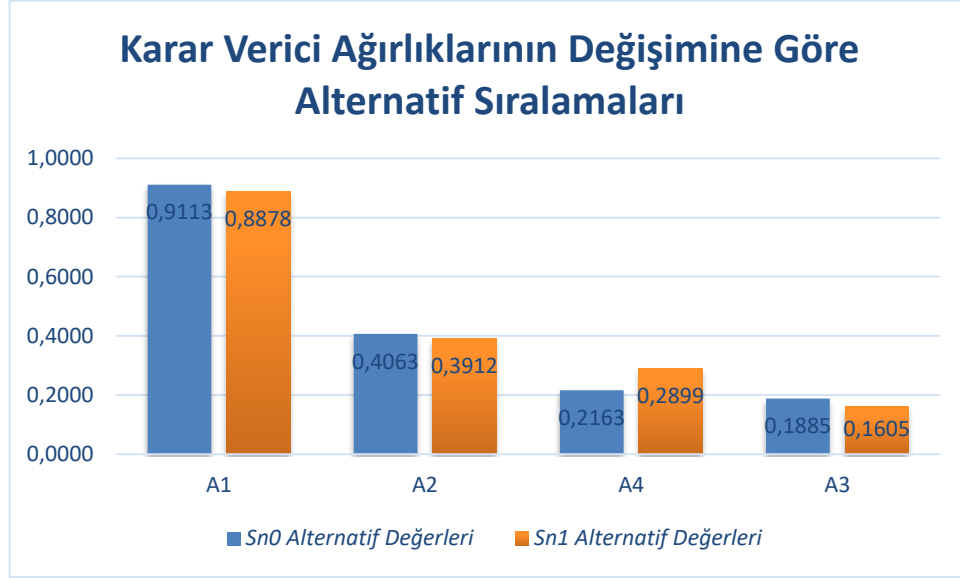
Alternatiflerin sıralanmasının ardından, modelin sağlamlığını test etmek için duyarlılık analizleri yapılmıştır.

İlk olarak, karar verici ağırlıklarının değiştirilmesiyle bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, karar vericilere çalışma yıllarına göre ağırlıklar atanarak elde edilen sonuçlar, karar vericilere eşit ağırlık verilen temel senaryo ile karşılaştırılmıştır. Eşit ağırlık atanan senaryo *Sn0*, çalışma süresine dayalı ağırlıklarla oluşturulan senaryo ise *Sn1* olarak tanımlanmıştır. Her iki senaryoya ilişkin kriter ağırlıkları ve kriterlerin global sıralarına ilişkin bulgular Şekil 19’da yer almaktadır. Grafikte sütunlar kriter ağırlıklarını temsil etmektedir. Sütunların üstlerinde yer alan sayılar da kriterlerin global sıralarını temsil etmektedir. Global sıralar incelendiğinde bazı değişikliklerin olduğu görülmektedir. Örneğin *Sn0*’da Ürün Fiyatı alt kriteri en önemli alt kriter olarak belirlenmişken *Sn1*’de Etkinlik Menzili alt kriteri en önemli kriter olarak seçilmiştir.



Şekil 19. Karar verici ağırlıklarının değişimine göre kriter ağırlıkları

Sn0 ve *Sn1* senaryolarının alternatiflerin sıralamalarına etkisini analiz etmek için gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonucunda Şekil 20’ de yer alan bulgular elde edilmiştir.

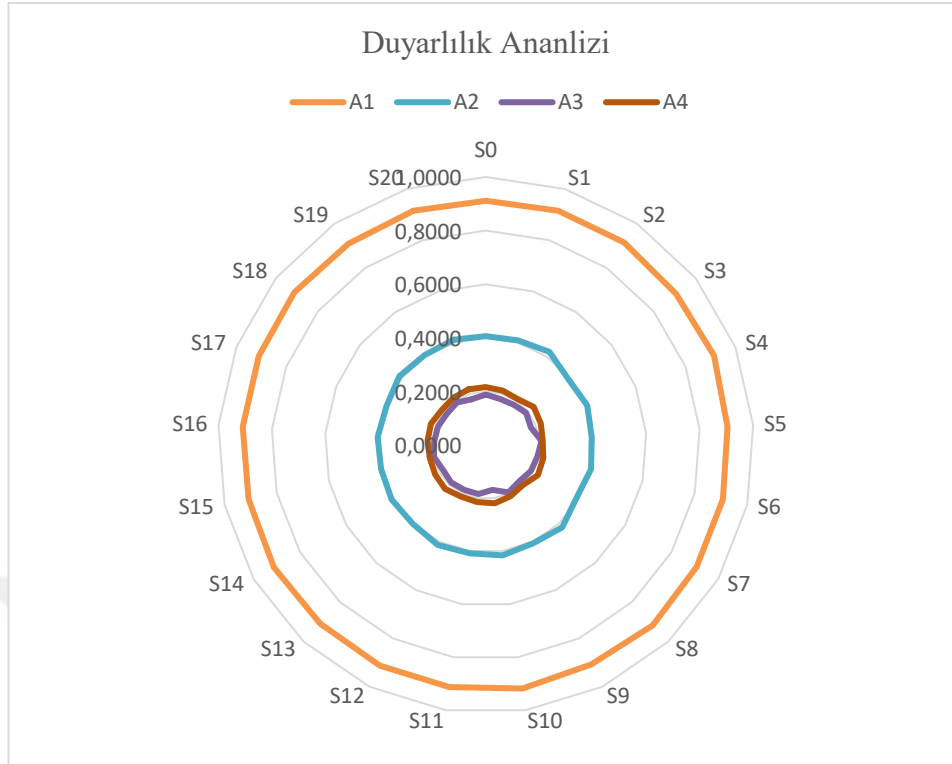


Şekil 20. Karar verici ağırlıklarının değişimine göre alternatif sıralamaları

Karar verici ağırlıklarındaki değişim, kriter ağırlıklarını etkilemiş olsa da alternatiflerin tercih sıralamasında herhangi bir farklılık gözlemlenmemiştir. Her iki senaryoda da alternatiflerin sıralaması $A1 > A2 > A4 > A3$ şeklinde korunmuştur.

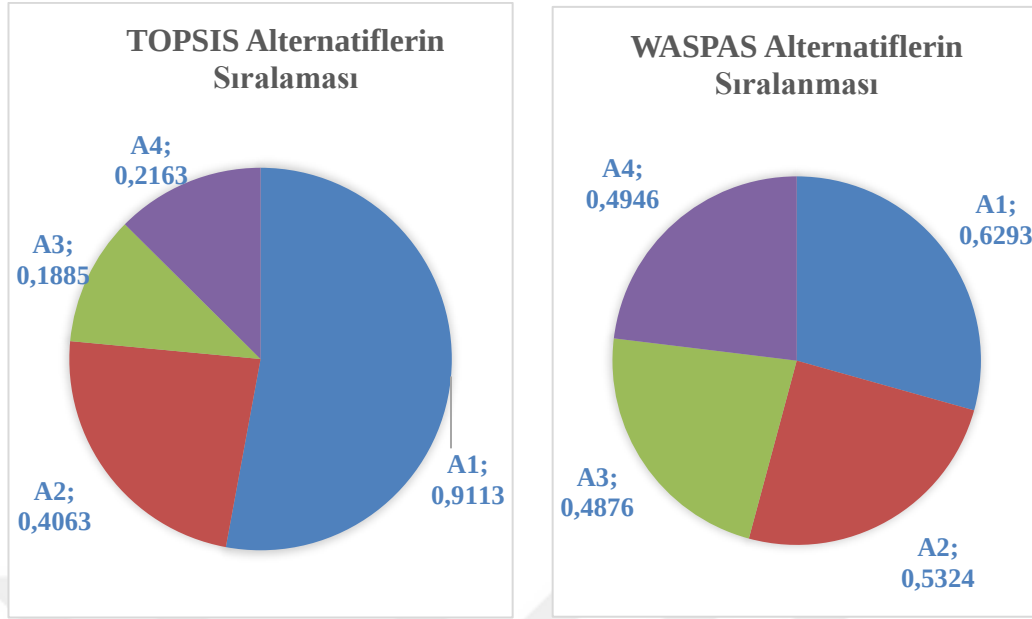
Anket yoluyla veri toplanan çalışmalarda, karar vericilerin tecrübe eksikliği veri kalitesine ilişkin bazı şüpheler doğurabilmektedir. Bu çalışmada da yıl bazında tecrübe eksikliği bulunan karar vericiler olmasına rağmen, elde edilen sonuçların anlamlı bir farklılık göstermediği gözlemlenmiştir. Bunun temel nedeni olarak, İHA karıştırma alanının bilgi yoğun bir saha olması ve karar vericilerin tecrübeye ek olarak bu alanda gerekli eğitim ve donanımına sahip olmaları gösterilebilir. Bu durum, modelin karar verici ağırlıklarındaki değişimlere karşı yüksek derecede duyarlı olmadığını ve istikrarlı sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Duyarlılık analizi kapsamında gerçekleştirilen ikinci analiz ile kriter ağırlıklarındaki değişikliklerin sonuçlara etkisini test etmek için uygulanan yirmi senaryo sonucunda, alternatif firma sıralamasının değişmediği gözlemlenmiştir. Sonuçlara ilişkin grafik, Şekil 21’de yer almaktadır. Tüm senaryolarda, alternatiflerin sıralaması $A1 > A2 > A4 > A3$ şeklinde olmuştur. Buna dayanarak, modelin sağlam olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 21. Duyarlılık analizi sonuçları

Aralık değerli PB-TOPSIS yönteminin güvenilirliğini test etmek amacıyla, karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Bu analizde, aralık değerli PB-WASPAS yöntemi kullanılmıştır. Aralık değerli PB-WASPAS yönteminde sıralama değerleri birbirine biraz daha yaklaşmış olsa da her iki yöntemde de aynı sıralama sonuçlarına ulaşıldığı görülmüştür. Her iki yöntemde de $A1 > A2 > A4 > A3$ sıralaması elde edilmiştir. Sonuçlara ilişkin veriler, Şekil 22’de yer almaktadır.



Şekil 22. Yöntemlere göre alternatiflerin karşılaştırmalı analiz sonuçları

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, bir İHA karıştırıcı sistemleri için yeşil tedarikçi seçimi üzerine bir uygulama yapılmış ve yeşil tedarik uygulamalarının önemi vurgulanarak sektördeki farkındalığın artmasına katkı sağlanması hedeflenmiştir. Sektörün hızla büyüyen ihracat potansiyeli ve çevre dostu yaklaşımların uluslararası rekabet gücünü artırmadaki kritik rolü göz önünde bulundurularak hazırlanan bu tezin uygulama kısmında, bir İHA karıştırıcı sistemi özelinde yeşil tedarikçi seçimi yapılmıştır. Seçim sürecinde, ilk adımda elde edilen anket sonuçları PBAO yöntemiyle birleştirilmiş, ikinci adımda ise aralık değerli PB-AHP ve aralık değerli PB-TOPSIS yöntemleri kullanılarak kriter ağırlıkları ve tedarikçi sıralamaları belirlenmiştir. Ardından yöntemlerin sağlamlığını ve güvenilirliğini test etmek amacıyla aralık değerli PB-WASPAS yöntemiyle karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Son olarak, yirmi farklı senaryo oluşturularak duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerin sonuçları incelendiğinde, kullanılan yöntemlerin güvenilir ve sağlam olduğu görülmüştür. Elde edilen başlıca sonuçlar ise şu şekildedir:

YTZY'nin Önemi: YTZY, savunma sanayii sektöründe çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve uluslararası pazarlarda rekabet avantajı elde edilmesi açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bu yaklaşım, sektörde çevresel sorumlulukların yerine getirilebilmesini sağlarken, aynı zamanda ticari kazançların artırmaya da olanak tanımaktadır.

Kriter Değerlendirme ve Yöntem Seçimi: Aralık değerli PB-AHP ve aralık değerli PB-TOPSIS yöntemlerinin bir arada kullanılması, karar verme süreçlerinde etkin bir yapı oluşturularak en uygun tedarikçinin belirlenmesini sağlamıştır. Çalışmada kullanılan yöntemlerin, kesin kriterlerden ziyade yoruma dayalı kriterlerin değerlendirilmesinde daha başarılı olması; bu seçilen kriterlerin yaklaşık %60'ının yoruma dayalı ve kişisel tercihlere göre değişebilen nitelikte olmasıyla doğrudan ilişkilidir ve bu durum avantaj sağlamıştır.

Kriter Ağırlıkları: Çalışmada belirlenen kriter ağırlıkları incelendiğinde, karar vericiler için en önemli kriterin %28,61 oranla Finansal ve Ticari Şartlar olduğu belirlenmiştir. Bu kriteri %24,55 ile Teknik Özellikler, %21,96 ile Operasyonel Performans ve İş İlişkileri kriterleri takip etmiştir. Ancak Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik ile Yeşil Yaklaşımlar ve İnovasyon kriterlerinin, diğer kriterlere kıyasla daha düşük öneme sahip olduğu görülmüştür. Bu durum, sektörün çevresel faktörlere yönelik farkındalığının ve önceliklendirmesinin artırılması gerektiğine işaret etmektedir.

Karar Verici Davranışları: Çalışmada dikkat çeken bir diğer husus, yoruma açık olmayan sayısal ifadelerin yer aldığı ve bu kriterlerin, yoruma dayalı kriterlere göre daha yüksek ağırlığa sahip olduğudur. Elde edilen sonuçlar, karar vericilerin genellikle sayısal olarak ölçülebilir kriterlere daha fazla önem verdiklerini göstermektedir. Firmaların geçmiş performanslarının daha az dikkate alınması ve yazılı taahhütlerin daha önemli görülmesi, karar vericilerin şeffaflık ve hesap verilebilirlik açısından kendilerini daha güvence altına almak istemeleriyle ilişkilendirilmektedir. Bu durum, şeffaflık ve hesap verebilirlik açısından olumlu olsa da geçmiş tecrübelerin göz ardı edilmesine neden olabilir. Bu nedenle, yazılı taahhütlerin yerine getirilmediği durumlarda caydırıcı ve düzeltici yaptırımların uygulanması önemlidir.

Yöntemlerin Güvenilirliği: Duyarlılık analizinde karar verici ağırlıkları ve kriter ağırlıkları değiştirilerek farklı senaryolarla yöntemin güvenilirliği test edilmiştir ve alternatif firma sıralamasında herhangi bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Ayrıca, aralık değerli PB-WASPAS yöntemiyle de karşılaştırmalı analiz yapılmış ve alternatiflerin sıralamasında herhangi bir değişiklik görülmemiştir. Bu sonuçlar, kullanılan yöntemin sağlam ve güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Literatüre Katkı ve Özgünlük: Bu tez çalışması, literatürde ilk kez aralık değerli PB-AHP ve aralık değerli PB-TOPSIS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı, savunma sanayii özelinde bir yeşil tedarikçi seçimi uygulaması sunarak alana özgün bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca aralık değerli PB-WASPAS yöntemiyle yapılan karşılaştırmalı analiz ve kapsamlı duyarlılık çalışması, mevcut yöntemlerin karar verme süreçlerinde tutarlılık ve sağlamlık açısından güvenilirliğini test eden örneklerden biridir. Bu yönüyle tez, hem yöntemsel bütünlük hem de uygulama alanının özgünlüğü bakımından literatürdeki boşlukları doldurmakta ve gelecek çalışmalara referans olabilecek nitelikte bir model sunmaktadır.

Çalışma Motivasyonu: Bu çalışmanın temel motivasyonu, çevresel sürdürülebilirliğin savunma sanayii gibi geleneksel olarak çevre odaklı olmayan sektörlerde dahi giderek artan önemine dikkat çekmek ve bu doğrultuda karar vericilerin çevresel faktörleri dikkate alarak stratejik tercihler yapmalarını teşvik etmektir. Ayrıca, tedarikçi seçim sürecinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin belirsizlik ve öznel yargıların yoğun olduğu durumlarda daha etkin sonuçlar üretme potansiyeli, çalışmanın yöntemsel yaklaşımını şekillendiren temel motivasyon unsurlarından biri olmuştur.

5. ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında elde edilen bulgulara dayanarak geliştirmesi gereken noktalar ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara ilişkin öneriler şu şekilde sıralanabilir:

YTZ Stratejilerinin Yaygınlaştırılması: Savunma sanayii sektöründe faaliyet gösteren tüm firmaların, YTZY'yi stratejik planlarının ayrılmaz bir parçası haline getirmeleri önemlidir. Bu strateji, çevresel faydaların yanı sıra ihracat süreçlerinde rekabet avantajı sağlayacaktır.

Çevresel Farkındalığın Artırılması: Çalışma, çevresel ve sürdürülebilirlik kriterlerinin karar vericiler tarafından daha düşük önemde değerlendirildiğini ortaya koymuştur. Bu farkındalığın artırılması amacıyla sektörde eğitim programları, seminerler ve bilinçlendirme kampanyaları düzenlenmesi önerilmektedir. Ayrıca, bu farkındalığı teşvik etmek için başarı hikayeleri ve örnek uygulamalar paylaşılması faydalı olacaktır.

Yöntemlerin Farklı Alanlarda Uygulanması: Savunma sanayii ürün tedarik süreçlerinde ÇKKV yöntemlerinin yaygınlaştırılması sağlanmalıdır. Bu tez çalışmasında güvenilirliği ortaya konmuş aralık değerli PB-AHP ve aralık değerli PB-TOPSIS yöntemlerinin genel geçer bir metodoloji olarak benimsenmesi önerilmektedir.

Politika ve Teşvik Mekanizmaları: Kamu kurumları ve düzenleyici otoriteler, YTZ uygulamalarını teşvik edecek politikalar ve destek mekanizmaları geliştirmelidir.

Bu kapsamda savunma sanayiinde bir prosedür oluşturulması ve bir kılavuz aracılığıyla çalışanlara gerekli bilgilendirme ve eğitim verilmesinin faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca bir pilot Daire Başkanlığı veya Grup Müdürlükleri belirlenerek yöntemin olası zorlukları ve gelişim alanlarının tespiti sağlanabilir. Ardından tüm kurum genelinde uygulamanın genişletilmesi uygun olacaktır. Bir sonraki aşamada ise sektördeki şirketlerin, kendi satın alma ve proje yönetimi süreçlerinde bu metodun uygulanması önerilebilir.

Kriterlerin (nitel ve nicel olarak) Ayrı Yöntemlerle Değerlendirilmesi: Gelecekteki çalışmalarda, kriterler "yoruma açık" ve "kesin" şeklinde iki gruba ayrılarak ağırlıklandırma yapılabilir. Bu şekilde, kriterlerin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi ve sonuçların birleştirilmesi sağlanabilir.

YTZY, yalnızca çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için değil, aynı zamanda küresel pazarlarda rekabet gücü elde etmek için de vazgeçilmez bir unsur haline

gelmiştir. Bu çalışmanın, savunma sanayii sektöründe Y TZ uygulamalarının yaygınlaşmasına katkı sağlaması ve gelecekte yapılacak araştırmalara rehberlik etmesi beklenmektedir.



6.KAYNAKLAR

- Ak, Ö., & Genç, A. (2018). Üniversite Öğrencilerinin Geri Dönüşüm Bilinci Üzerine Bir Araştırma: Sakarya Üniversitesi Örneği. *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 4(2), s. 19-39.
- Aksoy, H. K. (2007). Yeniden Üretim Sistemlerinde En İyi Geri Dönüşüm ve Atık Politikalarının Belirlenmesi. *Eskisehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(2), s. 121-134.
- Aslan, R. V. (2023). *Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile Bir Paslanmaz Çelik Firmasında Yeşil Tedarikçi Seçimi*. Kocaeli Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Kocaeli.
- Atanassov, K. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), s. 87-96.
- Ateş, E. (2023). Türk Savunma Sanayinin İhracat Rekabet Gücünün Belirlenmesi. *SAVSAD Savunma ve Savaş Araştırmaları Dergisi*, 33(2), s. 433-460.
- Ayçin, E. (2023). *Çok Kriterli Karar Verme: Bilgisayar Uygulamalı Çözümler*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Bakır, G. (2019). İnsansız Hava Araçlarının Savunma Sanayii Harcamasında Yeri ve Önemi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi (ASEAD)*, 6(2), s. 127-134.
- Barough, S. A. (2022). *Creating A Green Supplier Selection Model By Using Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Method In Automobil Manufacturing Industry*. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Ankara.
- Bas, S. A. (2024). A Hybrid Approach Based on Consensus Decision Making for Green Supplier Selection in Automotive Industry. *Sustainability*, 16(3096), s. 1-29.
- Büyüközkan, G., & Vardaloğlu, Z. (2008). Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi. *Lojistik Dergisi*(8), s. 66-73.
- Cao, G. (2020). A multi-criteria picture fuzzy decision-making model for green supplier selection based on fractional programming. *International Journal of Computers, Communications and Control*, 15(1), s. 1-14.
- Chen, H., & Wang, H. (2025). Research on Green Supplier Selection Method Based on Improved AHP-FMEA. *Sustainability*, 17(7), s. 3018.
- Coung, B., & Kreinovich, V. (2013). Picture Fuzzy Sets- A new concept for computational intelligence problems. *3rd World Congress on Information and Communication Technologies (WICT)*, (s. 1-6).
- Çalık, A. (2021). A Novel Pythagorean Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methodology for Green Supplier Selection in The Industry 4.0 Era. *Soft Computing*, 25, s. 2253-2265.

- Çelik, A. (2023). *Savunma Sanayi Geliştirme Projelerinin Çevikleştirilmesi için Pmı (Project Management Institute) Standartlarıyla Uyumlu Proje Yönetim Süreç Önerisi*. Hacettepe Üniversitesi, İşletme Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Dalbudak, E., & Rençber, Ö. F. (2022, Mayıs). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Üzerine Literatür İncelemesi. *GAUNIIBFD*, 4(1), s. 1-16.
- Denizhan, B., Yılmaz Yalçiner, A., & Berber, Ş. (2017). Analitik Hiyerarşi Proses ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemleri Kullanılarak Yeşil Tedarikçi Seçimi Uygulaması. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), s. 63-78.
- Deste, M., Yıldırım, T., & Yurttaş, A. (2024). Analysis of the Studies Made in the Field of Green Supply Chain Management by Bibliometric Method. *Green Technologies and Sustainability*, 2(1), s. 100062.
- Dube, A. S., & Gawande, R. R. (2011). Green Supply Chain Management – A Literature Review. *International Journal of Computer Applications*.
- Erol, Ö. (2018). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemine Dayalı Yeşil Tedarikçi Seçimi: Rüzgar Türbin Kulesi Üreten Bir İşletmede Uygulama*. Selçuk Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Konya.
- Ertuğrul, İ. (2006, Nisan). Akademik Performans Değerlendirmede Bulanık Mantık Yaklaşımı. *İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 20(1).
- Fahimnia, B., Sarkis, J., & Davarzani, H. (2015). Green Supply Chain Management: A Review and Bibliometric Analysis. *Int. J. Production Economics*(162), s. 101-114.
- Freeman, J., & Chen, T. (2015). Green Supplier Selection Using an AHP-Entropy TOPSIS Framework. *Supply Chain Management: An International Journal*, 20(3), s. 327–340.
- Garibaldi, J., & Ozen, T. (2007). Unertain fuzzy reasoning: A case study in modelling expert desicion making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(1), s. 16-30.
- Ghosh, D. S. (2017). Impact of Implementation of Green Supply Chain Management Practice in Production Industry: A Review. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 5(8), 1622-1629.
- Günay, S. N. (2017). *AHP ve VIKOR Yöntemlerine Dayalı Yeşil Tedarikçi Seçimi ve Bir Uygulama*. Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Ankara.
- Güner, S. (2010). *KOBİ'lerde Yeşil Tedarik Zinciri Algılaması: Sakarya Bölgesi Uygulaması*. Sakarya Üniversitesi, İşletme, Sakarya.
- Güneş, H. (2019). *Otomotiv Sektöründe Yeşil Tedarikçi Seçimi için Yeni Bir Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı*. Atatürk Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Erzurum.
- Güngör, Z. (2023). *Yeşil Tedarikçi Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*. Toros Üniversitesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik.

- Güntemur, Z. (2023). *Green Supplier Evaluation And Selection: An Industrial Application in Home Appliances Sector*. Marmara Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, İstanbul.
- Hajiaghaei-Keshteli, M., Cenk, Z., Erdebilli, B., & Özdemir, Y. S. (2023). Pythagorean Fuzzy TOPSIS Method for Green Supplier Selection in The Food Industry. *Expert Systems With Applications*, 224(120036), s. 1-9.
- Hamdan, S., & Cheaitou, A. (2017). Dynamic green supplier selection and order allocation with quantity discounts and varying supplier availability. *Computers & Industrial Engineering*, 110, s. 573–589.
- He, Q.-R., & Chen, P.-K. (2024). Developing a Green Supplier Evaluation System for the Chinese Electric Vehicle Battery Manufacturing Industry Based on Supplier Willingness to Participate in Green Collaboration. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, s. 3098-3116.
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. S.-V. B. Heidelberg içinde, *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* (s. 58-191).
- İlbahar, E., & Kahraman, C. (2018). Retail Store Performance Measurement Using a Novel Interval-Valued Pythagorean Fuzzy WASPAS Method. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 35(3), s. 3835-3846.
- İlbahar, E., Çebi, S., & Kahraman, C. (2020). Assessment of Renewable Energy Alternatives with Pythagorean Fuzzy WASPAS Method: A Case Study of Turkey. *In Advances in Intelligent System and Computing*, s. 888-895.
- İlbahar, E., Karaşan, A., Çebi, S., & Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. *Safety Science*(103), s. 124-136.
- Kabak, M., & Erdebilli, B. (2021). *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri MS Excel ve Software Çözümlü Uygulamalar*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Karagöz, E. T. (2022). *Çok Kriterli Karar Verme ve Veri Madenciliği Yöntemleri ile Tedarikçi Seçimi ve Seviyelendirmesi*. Bursa Uludağ Üniversitesi , Endüstri Mühendisliği, Bursa.
- Karamaşa, Ç., Ecer, F., & Aytekin, A. (2022). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Bulanık Küme Uzantıları ve Uygulamaları*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Karataş, Ö. (2023). *Elektrik Sektöründe EDAS ve VIKOR Yöntemi ile Yeşil Tedarikçi Seçimi*. Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Sakarya.
- Kılınç, S. (2018). *Yeşil Tedarikçi Seçimi İçin Gri İlişkisel Analizine Dayalı Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanımı ve Sonuçların İstatistiksel Karşılaştırması*. Uludağ Üniversitesi , Endüstri Mühendisliği, Bursa.

- Kose, Y., Civan, H. N., Ayyildiz, E., & Cevikcan, E. (2022, October 25). An Interval Valued Pythagorean Fuzzy AHP–TOPSIS Integrated Model for Ergonomic Assessment of Setup Process under SMED. *Sustainability*, 14(21), s. 13804.
- Kutlu Gündoğdu, F., & Kahraman, C. (2019). Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 36(1), s. 337-352.
- Madenoglu, F. S. (2019). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Ortamında Yeşil Tedarikçi Seçimi. *BMIJ*, 7(4), s. 1850-1869.
- Manisa, R. (2023). *Türkiye Savunma Sanayii İhracatı: Orta Doğu – Kuzey Afrika Ülkeleri Üzerine Bir Araştırma*. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Gümrük İşletme Anabilim Dalı, Burdur.
- Min, H., & Galle, W. P. (1997). Green Purchasing Strategies: Trends and Implications. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 33(2), s. 10-17.
- Montabon, F., Melnyk, S. A., Sroufe, R., & Calantone, R. (2006, April). ISO 14000: Assessing Its Perceived Impact on Corporate Performance. *Journal of Supply Chain Management*, 36(2), s. 4-16.
- Mousakhani, S., Nazari-Shirkouhi, S., & Bozorgi-Amiri, A. (2017). A novel interval type-2 fuzzy evaluation model based group decision analysis for green supplier selection problems: A case study of battery industry. *Journal of Cleaner Production*, 168, s. 205-218.
- Nalbur, B. E., & Yavaş, Ö. (2023). Otomotiv Endüstrilerinde ISO 50001 Enerji Yönetim Sisteminin Enerji Performansına Etkisi. *International Journal of Management and Administration*, 7(13), s. 21-35.
- Öçlü, B. (2015). *Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi ve İşletme Performansı Arasındaki İlişki*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Tedarik Zinciri Yönetimi Bilim Dalı, İstanbul.
- Özbek, A. (2017). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü : Kavram - Teori- Uygulama*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Özder, E. H., Bedir, N., & Eren, T. (2019). Yükseköğretimde Araştırmacı Seçiminde Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemlerinin Kullanılması: Bir İnceleme. *Alanya Akademik Bakış*, 3(1), s. 19-33.
- Öztürk, H. T. (2022). Türk Savunma Sanayisinde Ar-Ge ve Yenilik Sistemleri. *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi USTEK'2022 Özel Sayısı*, 20(01), s. 129-137.
- Paksoy, S. (2017). *Çok Kriterli Karar Vermede Güncel Yaklaşımlar*. Adana: Karahan Kitabevi.
- Peker, D. (2010). *Çevresel Performansların İyileştirilmesinde Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi*. Uludağ Üniversitesi, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.

- Peng, X., & Yang, Y. (2016). Fundamental Properties of Interval-Valued Pythagorean Fuzzy Aggregation Operators. *International Journal of Intelligent Systems*(31), s. 444–487.
- Qin, J., Liu, X., & Pedrycz, W. (2017). An extended TODIM multi-criteria group decision making method for green supplier selection in interval type-2 fuzzy environment. *European Journal of Operational Research*, 258, s. 626–638.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill.
- Sambuc, R. (1975). *Fonctions ϕ - floues: Application al'aide au diagnostic en pathologie thyroïdienne*. Ph.D. Thesis, University of Marseille, France.
- Sancar, S. (2022). *Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık WASPAS Yöntemleri ile Bakım Stratejisi Seçimi: Gazete Matbaası Örneği*. İbn Haldun Üniversitesi, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Sarkis, J., Zhu, Q., & Lai, K.-h. (2011). An Organizational Theoretic Review of Green Supply Chain Management Literature. *Int. J. Production Economics*(130), s. 1-15.
- Seker, S., & Aydin, N. (2020, June 11). Hydrogen Production Facility Location Selection For Black Sea Using Entropy Based TOPSIS Under IVPF Environment. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(32), s. 15855-15868.
- Selçuk, L. (2013). An Avalanche Hazard Model for Bitlis Province, Turkey, Using GIS Based Multicriteria Decision Analysis. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22(4), s. 523-535.
- Senapati, T., & Yager, R. R. (2020). Fermatean fuzzy sets. *Journal of Ambient Inteliigence*, 11(2), s. 663-674.
- Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a Literature Review to a Conceptual Framework for Sustainable Supply Chain Management. *Journal of Cleaner Production*(16), s. 1699–1710.
- Singer, H., & Özşahin, Ş. (2023, 18). Applying an Interval-Valued Pythagorean Fuzzy Analytic Hierarchy Process to Rank Factors İnfluencing Wooden Outdoor Furniture Selection . *Wood Material Science & Engineering*, s. 322-333.
- Smarandache, F. (1999). *A Unifying Field in Logics: Neutrosophic Logic, Neutrosophy, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability*. Rehoboth: American Research Press.
- Srivastava, S. K. (2007). Green Supply-Chain Management: A State-of-the-Art Literature Review. *International Journal of Management Reviews*,9 (1), s. 53-80.
- Tezcan, M. C. (2024, Şubat). Pisagor Bulanık Kümelere Entegre AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Uçak Tipi Seçiminin Optimizasyonu: Havayolu İşlemeleri İçin Model Önerisi. *Journal of Aviation Research*, 6(1), s. 1-24.
- Torra, V. (2010). Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(6), s. 529-539.

- Tronnebati, I., Yadari, M., & Jawab, F. (2022). A Review of Green Supplier Evaluation and Selection Issues Using MCDM, MP and AI Models. *Sustainability*, 14(16714), s. 1-22.
- Tsai, J.-F., Wu, S.-C., Pham, T., & Lin, M.-H. (2023). Analysis of Key Factors for Green Supplier Selection: A Case Study of the Electronics Industry in Vietnam. *Sustainability*, 15(7885).
- Türkay, A. B. (2015). *Yeşil satınalma ve yeşil tedarikçi seçimi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, İstanbul.
- Ünver, Z. (2023). *Yeşil Yaklaşım ile Tedarikçi Seçim Probleminde Yeni Bir Model: Perakende Sektöründe Bir Uygulama*. İstanbul Ticaret Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, İstanbul.
- Yager, R. (1986). On the theory of bags. *International Journal of General System*, 13(1), s. 23-37.
- Yager, R. R. (2014). Pythagorean membership grades in multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22(4), s. 958-965.
- Yager, R. R. (2017). Generalized Orthopair Fuzzy Sets. *IEEE Transaction on Fuzzy Systems*, 25(5), s. 1222-1230.
- Yaprak, İ., & Doğan, N. (2019). Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi: İlgili Literatüre Dayalı Bir Mevcut Durum Analizi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 15(4), s. 1143 - 1165.
- Yazar, Y., Bayram, B., Coşkun, Ş. G., & Eren, T. (2023). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Kullanılarak Karar Destek Sistemiyle Çalışan Ergonomik Kiosk Cihazı Tasarımı ve Yer Seçimi. *Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri ve Bilgisayar Bilimleri Dergisi*, 7(1), s. 68-84.
- Yazdani, M., Chatterjee, P., Zavadskas, E. K., & Zolfani, S. H. (2017). Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection. *Journal of Cleaner Production*, 142, s. 3728-3740.
- Yıldırım, B. F., & Önder, E. (2021). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri : Operasyonel, Yönetimsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde*. Bursa: Dora Basım-Yayın.
- Yu, C., Shao, Y., Wang, K., & Zhang, L. (2019). A group decision making sustainable supplier selection approach using extended TOPSIS under interval-valued Pythagorean fuzzy environment. *Expert Systems With Applications*(121), s. 1-17.
- Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), s. 338-353.
- Zadeh, L. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. *Information Science*, 8(3), s. 199-249.

- Zhang, X., & Xu, Z. (2014). Extension of TOPSIS to Multiple Criteria Decision Making with Pythagorean Fuzzy Sets. *International Journal of Intelligence Systems*, 29(12), s. 1061-1078.
- Zsidisin, G. A., & Siferd, S. P. (2001). Environmental Purchasing: A Framework For Theory Development. *European Journal of Purchasing & Supply Management* 7, s. 61-73.
- Zulqarnain, R., Xin, X., Siddique, I., Khan, W., & Yousif, M. (2021). TOPSIS Method Based on Correlation Coefficient under Pythagorean Fuzzy Soft Environment and its Application towards Green Supply Chain Management. *Sustainability*, 13(1642), s. 1-25.



ÖZGEÇMİŞ

Mübeccel Eler Öztürk, Ortaöğrenimini Rize Fen Lisesi'nde tamamladıktan sonra, lisans eğitimini İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde almış ve 2014 yılında mezun olmuştur.

2019 yılından itibaren T.C. Cumhurbaşkanlığı SSB'de mühendis olarak görev yapmaktadır. Akademik çalışmalarını ise Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrencisi olarak sürdürmektedir.

İngilizce bilmektedir. Evli ve bir çocuk annesidir.

