

**İBN HALDUN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
İŞLETME ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PİSAGOR BULANIK AHP VE PİSAGOR BULANIK  
WASPAS YÖNTEMLERİ İLE BAKIM STRATEJİSİ  
SEÇİMİ: GAZETE MATBAASI ÖRNEĞİ**

**SEMİH SANCAR**

**TEZ DANIŞMANI  
DOÇ. DR. ALİ OSMAN KUŞAKCI**

**İSTANBUL, 2022**

**İBN HALDUN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
İŞLETME ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PİSAGOR BULANIK AHP VE PİSAGOR BULANIK  
WASPAS YÖNTEMLERİ İLE BAKIM STRATEJİSİ  
SEÇİMİ: GAZETE MATBAASI ÖRNEĞİ**

**SEMİH SANCAR**

**TEZ DANIŞMANI  
DOÇ. DR. ALİ OSMAN KUŞAKCI**

**İSTANBUL, 2022**

## TEZ ONAY SAYFASI

Bu tez tarafımızca okunmuş olup kapsam ve nitelik açısından, İşletme alanında Yüksek Lisans Derecesini alabilmek için yeterli olduğuna karar verilmiştir.

### Tez Jürisi Üyeleri

Unvan – Ad Soyad	Kanaati	İmza
<u>Doç. Dr. Ali Osman KUŞAKCI</u>	_____	_____
<u>Prof. Dr. Ümit HACIOĞLU</u>	_____	_____
<u>Doç. Dr. Berk AYVAZ</u>	_____	_____

Bu tezin İbn Haldun Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tarafından konulan tüm standartlara uygun şekilde yazıldığı teyit edilmiştir.

Teslim Tarihi

Mühür/İmza

## AKADEMİK DÜRÜSTLÜK BEYANI

Bu çalışmada yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak toplanıp sunulduğunu, söz konusu kurallar ve ilkelerin zorunlu kıldığı çerçevede, çalışmada özgün olmayan tüm bilgi ve belgelere, alıntılama standartlarına uygun olarak referans verilmiş olduğunu beyan ederim.

Adı Soyadı: Semih Sancar

İmza:

ÖZ

PİSAGOR BULANIK AHP VE PİSAGOR BULANIK WASPAS YÖNTEMLERİ  
İLE BAKIM STRATEJİSİ SEÇİMİ: GAZETE MATBAASI ÖRNEĞİ

Sancar, Semih

İşletme Yüksek Lisans Programı

Öğrenci Numarası: 204036019

Open Researcher and Contributor ID (ORC-ID): 0000-0001-9235-1091

Ulusal Tez Merkezi Referans Numarası: 10460685

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ali Osman Kuşakcı

Haziran 2022, 81 sayfa

İşletmeler rekabet avantajı elde edebilmek için üretim faaliyetlerini optimize ederek, ürün maliyetlerini düşürmeyi hedefler. Yapılan araştırmalar bakım operasyonlarına ayrılan kaynağın üretim maliyetleri içerisinde önemli bir payının olduğunu, alınan yanlış kararlar ve yanlış uygulamalar nedeniyle de ayrılan kaynağın üçte birinin boşa harcandığını ortaya koymaktadır. Sürecin ekonomik boyutunun yanı sıra teknolojide yaşanan gelişmeler, işçi sağlığı ve iş güvenliği konularında artan duyarlılık, ürün kalitesi ve yüksek kapasite gibi beklentiler göz önüne alındığında; işletmeler için uygun bakım stratejisi seçimi kritik bir karar problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada bir gazete matbaası için en uygun bakım planlama stratejisinin seçilmesi amaçlanmıştır. Bakım stratejisi seçiminin birçok kriterden oluşan ve kesin yargılar içermeyen bulanık bir süreç olduğu göz önüne alınarak; kriter ağırlıklarının hesaplanmasında Pisagor Bulanık AHP, alternatiflerin kriterler açısından değerlendirilmesinde Pisagor Bulanık WASPAS yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma için emniyet, maliyet, uygulanabilirlik ve fayda ana kriterleri altında on dört alt kriter ile reaktif bakım, periyodik bakım, durum bazlı bakım, kestirimci bakım ve güvenilirlik merkezli bakım olmak üzere beş potansiyel bakım stratejisi alternatifi belirlenmiştir. Değerlendirme için kriter yapısı dikkate alınarak içerisinde bakım, işletme, muhasebe ve kalite departmanlarından yönetici ve uzmanların aldığı karar verici gruplar oluşturulmuştur. Araştırma sonucunda bir gazete matbaası için en uygun bakım stratejisi periyodik bakım olarak bulunmuştur. Kestirimci bakım çok az farkla

ikinci sırada yer alırken, durum bazlı bakım üçüncü, güvenilirlik merkezli bakım dördüncü, reaktif bakım ise son sırada yer almıştır. Araştırma sonuçların geçerliliğini test etmek için çok parametrelili bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir, test edilen senaryolar neticesinde elde edilen sonuçların geçerlilik düzeyinin yüksek olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Bakım Strateji Seçimi, Çok Kriterli Karar Verme, Gazete Matbaası, Pisagor Bulanık AHP, Pisagor Bulanık WASPAS



## ABSTRACT

### MAINTENANCE STRATEGY SELECTION WITH PYTHAGOREAN FUZZY AHP AND PYTHAGOREAN FUZZY WASPAS METHODS: A CASE STUDY IN A NEWSPAPER PRINTING PLANT

Sancar, Semih

MA in Management

Student ID: 204036019

Open Researcher and Contributor ID (ORC-ID): 0000-0001-9235-1091

National Thesis Center Reference Number: 10460685

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Ali Osman Kuşakcı

June 2022, 81 Pages

Businesses seek to gain a competitive advantage by lowering their production costs through optimizing their production operations. Studies show that the resources allocated to maintenance operations make up a large portion of production costs and that a third of the allocated resources is wasted as a result of improper decision-making and practices. When the advancements in technology, the increasing awareness regarding occupational health and safety and expectations such as quality products being produced at a high volume are considered, a proper maintenance strategy presents itself as a critical decision-making issue. The goal of this study is to choose the best maintenance strategy for a newspaper printing plant. Maintenance strategy selection is a fuzzy process that does not allow absolute judgments and one that consists of multi-criteria. Because of this, the study utilizes Pythagorean Fuzzy AHP to calculate the weight of the criteria and Pythagorean Fuzzy WASPAS to evaluate alternatives based on the criteria. For this study, the established criteria are safety, cost, feasibility and added-value as the main criteria with fourteen sub-criteria along with five potential alternatives for a maintenance strategy which are reactive maintenance, periodic maintenance, condition-based maintenance, predictive maintenance and reliability-centered maintenance. For evaluation, based on the structure of the criteria, decision-making groups were established that consist of maintenance, production, accounting and quality assurance departments. Based on the results of this study, it

was determined that the best maintenance strategy for a newspaper printing plant is periodic maintenance. From the alternatives, predictive maintenance came at a close second while condition-based, reliability-centered and reactive approaches were third, fourth and fifth respectively. A sensitivity analysis with multiple parameters was conducted in order to test the validity of the study results and it was observed that, based on the results from the scenarios tested, that the level of validity is high.

**Keywords:** Maintenance Strategy Selection, Multi-Criteria Decision Making, Newspaper Printing Plant, Pythagorean Fuzzy AHP, Pythagorean Fuzzy WASPAS



## TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni ynlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrbesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Ali Osman Kuşakcı'ya teőekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın yürütülmesinde beni destekleyen Turkuvaz Medya'nın değerli yöneticilerine, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen Turkuvaz Akademi ailesine, araştırmaya katılarak bilgi ve tecrübelerini aktaran Turkuvaz Matbaa çalışanlarına teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan eşim Esmasancar ile kızlarım Zehra ve Zeynep'e sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Semih Sancar

İSTANBUL, 2022

## İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiv
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	xv
<b>BÖLÜM I GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Problem Tanımı.....	1
1.2. Araştırma Soruları .....	2
1.3. Mevcut Yazına Katkılar .....	4
<b>BÖLÜM II BAKIM PLANLAMA STRATEJİLERİ VE BAKIM TÜRLERİ ..</b>	<b>5</b>
2.1. Bakım Türleri .....	6
2.1.1. Arıza Sonrası Bakım / Reaktif Bakım / Düzeltici Bakım (Corrective Maintenance - CM) .....	8
2.1.2. Arıza Öncesi Bakım / Önleyici Bakım (Preventive Maintenance – PM).....	9
2.1.2.1. Periyodik Bakım (Periodic / Time-Based Maintenance - TBM) .....	10
2.1.2.2. Durum Bazlı Bakım (Condition-Based Maintenance - CBM).....	11
2.1.2.3. Kestirimci Bakım (Predictive Maintenance - PdM).....	12
2.1.2.4. Kuralcı Bakım (Prescriptive Maintenance - RxM) .....	13
2.1.3. Fırsatçı Bakım (Opportunistic Maintenance - OM) .....	14
2.1.4. Tamamlayıcı Bakım Yaklaşımları .....	14
2.1.4.1. Güvenilirlik Merkezli Bakım (Reliability Centered Maintenance- RCM) 14	
2.1.4.2. Toplam Üretken Bakım (Total Productive Maintenance - TPM) .....	16
2.2. Bakım Stratejileri Şema Düzenlemesi.....	16
<b>BÖLÜM III BAKIM PLANLAMA STRATEJİSİ SEÇİMİ İÇİN BİR LİTERATÜR TARAMASI.....</b>	<b>18</b>

<b>BÖLÜM IV METODOLOJİ.....</b>	<b>25</b>
4.1. Karar Verme .....	25
4.2. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV).....	26
4.2.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP).....	26
4.2.2. WASPAS Yöntemi.....	29
4.3. Bulanık Mantık ve Bulanık Kümeler .....	31
4.3.1. Pisagor Bulanık Kümeler .....	33
4.3.2. Durulaştırma.....	35
4.4. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme.....	36
4.4.1. Aralık Değerli Pisagor Bulanık AHP (IVPF-AHP) Yöntemi.....	36
4.4.1.1. AHP Tutarlılık.....	38
4.4.2. Aralık Değerli Pisagor Bulanık WASPAS (IVPF-WASPAS) Yöntemi.....	39
<b>BÖLÜM V VAKA ANALİZİ: TURKUVAZ MATBAA'DA BAKIM STRATEJİSİ SEÇİMİ.....</b>	<b>42</b>
5.1. Turkuvaz Matbaa Hakkında .....	42
5.2. Problemin Tanımlanması .....	43
5.3. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması.....	43
5.3.1. Kriterler .....	44
5.3.1.1. Emniyet (E) .....	44
5.3.1.1.1. Personel Emniyeti (E1).....	45
5.3.1.1.2. Tesis Emniyeti (E2) .....	45
5.3.1.1.3. Çevre Emniyeti (E3) .....	45
5.3.1.2. Maliyet (M) .....	45
5.3.1.2.1. Uygulama Maliyeti (M1).....	46
5.3.1.2.2. Bakım Maliyeti (M2).....	46
5.3.1.2.3. Stok Maliyeti (M3) .....	46
5.3.1.3. Uygulanabilirlik (U).....	46

5.3.1.3.1. Onaylanma (U1) .....	46
5.3.1.3.2. Teknik Güvenilirlik (U2).....	46
5.3.1.3.3. Uygulama Kolaylığı (U3) .....	47
5.3.1.3.4. Sistemin Önemi (U4).....	47
5.3.1.4. Fayda (F) .....	47
5.3.1.4.1. Fire Oranı (F1).....	47
5.3.1.4.2. Ürün Kalitesi (F2).....	48
5.3.1.4.3. Zamanında Üretim (F3) .....	48
5.3.1.4.4. Ekipman Ömrü (F4).....	48
5.4. Karar Vericilerin Belirlenmesi .....	48
5.5. IVPF-AHP Yönteminin Uygulanması .....	49
5.6. IVPF-WASPAS Yönteminin Uygulanması .....	58
5.7. Duyarlılık Analizi.....	64
<b>BÖLÜM VI SONUÇ .....</b>	<b>67</b>
<b>REFERANSLAR.....</b>	<b>71</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>81</b>

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Bakım Stratejisi Seçiminde Kullanılmış ÇKKV Yöntemleri .....	20
Tablo 4.1. Bulanık Küme Uzantıları .....	33
Tablo 4.2. IVPF-AHP İçin Kriter Karşılaştırma Ölçeği .....	37
Tablo 4.3. IVPF-WASPAS İçin Alternatif Değerlendirme Ölçeği.....	40
Tablo 5.1. KV1 İçin AHP Kriter Karşılaştırma Matrisleri.....	49
Tablo 5.2. KV1 İçin Emniyet Alt Kriterine Ait IVPF Değerler.....	50
Tablo 5.3. Ana Kriterler İçin Birleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi - R.....	51
Tablo 5.4. Emniyet Alt Kriteri İçin Birleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi - R.....	51
Tablo 5.5. Maliyet Alt Kriteri İçin Birleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi - R.....	51
Tablo 5.6. Uygulanabilirlik Alt Kriteri İçin Birleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi - R..	51
Tablo 5.7. Fayda Alt Kriteri İçin Birleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi - R.....	52
Tablo 5.8. Ana Kriterler İçin Fark Matrisi - D.....	52
Tablo 5.9. Emniyet Alt Kriteri İçin Fark Matrisi - D.....	52
Tablo 5.10. Maliyet Alt Kriteri İçin Fark Matrisi - D.....	52
Tablo 5.11. Uygulanabilirlik Alt Kriteri İçin Fark Matrisi - D.....	53
Tablo 5.12. Fayda Alt Kriteri İçin Fark Matrisi - D.....	53
Tablo 5.13. Ana Kriterler İçin Aralıklı Çarpım Matrisi - S .....	53
Tablo 5.14. Emniyet Alt Kriteri İçin Aralıklı Çarpım Matrisi - S .....	53
Tablo 5.15. Maliyet Alt Kriteri İçin Aralıklı Çarpım Matrisi – S.....	54
Tablo 5.16. Uygulanabilirlik Alt Kriteri İçin Aralıklı Çarpım Matrisi – S.....	54
Tablo 5.17. Fayda Alt Kriteri İçin Aralıklı Çarpım Matrisi – S .....	54
Tablo 5.18. Ana Kriterler İçin Belirsizlik Değerleri Matrisi – H.....	54
Tablo 5.19. Emniyet Alt Kriterleri İçin Belirsizlik Değerleri Matrisi – H .....	55
Tablo 5.20. Maliyet Alt Kriteri İçin Belirsizlik Değerleri Matrisi – H.....	55
Tablo 5.21. Uygulanabilirlik Alt Kriteri İçin Belirsizlik Değerleri Matrisi – H.....	55
Tablo 5.22. Fayda Alt Kriteri İçin Belirsizlik Değerleri Matrisi – H .....	55
Tablo 5.23. Ana Kriterler İçin Normalleştirilmemiş Ağırlık Matrisi – T .....	56
Tablo 5.24. Emniyet Alt Kriteri İçin Normalleştirilmemiş Ağırlık Matrisi – T .....	56
Tablo 5.25. Maliyet Alt Kriteri İçin Normalleştirilmemiş Ağırlık Matrisi – T .....	56
Tablo 5.26. Uygulanabilirlik Alt Kriteri İçin Normalleştirilmemiş Ağırlık Matrisi –T.	56
Tablo 5.27. Fayda Alt Kriteri İçin Normalleştirilmemiş Ağırlık Matrisi – T .....	57
Tablo 5.28. Normalize Kriter Ağırlıkları - w .....	57

Tablo 5.29. KV1 İçin Alternatiflerin Kriterler Açısından Değerlendirilmesi.....	59
Tablo 5.30. WASPAS Karar Matrisi.....	59
Tablo 5.31. Durulaştırılmış WASPAS Karar Matrisi .....	60
Tablo 5.32. WASPAS Normalize Edilmiş Karar Matrisi .....	61
Tablo 5.33. Ağırlıklı Toplam Matrisi.....	62
Tablo 5.34. Ağırlıklı Çarpım Matrisi .....	62
Tablo 5.35. Sonuç Matrisi.....	63
Tablo 5.36. Durulaştırılmış Sonuç Matrisi.....	63



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Avrupa Standartlarına Göre Bakım Türleri .....	6
Şekil 2.2. ABD Enerji Departmanı'na Göre Bakım Türleri.....	7
Şekil 2.3. Bakım Felsefelerinin Sınıflandırılması .....	7
Şekil 2.4. Elektrik Güç Endüstrisi İçin Bakım Türleri.....	8
Şekil 2.5. Bakım Stratejilerinin Gelişimi .....	8
Şekil 2.6. Ekipman Hata Davranış Eğrisi (P-F Eğrisi).....	11
Şekil 2.7. Düzenlenmiş Bakım Stratejileri Şeması .....	17
Şekil 4.1. Üç Seviyeli Hiyerarşi Yapısı .....	27
Şekil 4.2. Klasik Küme Gösterimi - Siyah Renkli Hücreler Kümesi.....	32
Şekil 4.3. Bulanık Küme Gösterimi - Siyah Renkli Hücreler Kümesi .....	32
Şekil 5.1. Uygulama Adımları .....	43
Şekil 5.2. Hiyerarşik Yapı.....	44
Şekil 5.3. Kriter Ağırlıkları Grafiği.....	58
Şekil 5.4. Farklı $\lambda$ Değerleri İçin Alternatiflerin Sıralanması.....	64
Şekil 5.5. Duyarlılık Analizi: Senaryo - 1 .....	65
Şekil 5.6. Duyarlılık Analizi: Senaryo - 2.....	65
Şekil 5.7. Duyarlılık Analizi: Senaryo - 3.....	66
Şekil 5.8. Duyarlılık Analizi: Senaryo - 4.....	66

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	Analitik Network Prosesi
ARAS	Additive Ratio Assessment
BWM	Best Worst Method
COPRAS	Complex Proportional Assessment
CR	Consistency Ratio
ÇÇKV	Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
DRSA	Dominance-based rough Set Approach
EATWIOS	Efficiency Analysis Technique with Input Output Satisficing
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant la Realité
FAHP	Fuzzy Analytical Hierarchy Process
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FMECA	Failure Mode, Effects and Criticality Analysis
GMB	Güvenilirlik Merkezli Bakım
GRA	Grey Relational Analysis
IVPF	Interval Valued Pythagorean Fuzzy
IVPFS	Interval Valued Pythagorean Fuzzy Set
IVPFWA	Interval-Valued Pythagorean Weighted Average
IVPFWG	Interval-Valued Pythagorean Weighted Geometric
LAM	Linear Assignment Method
MAUT	Multi Attribute Utility Theory
MACBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MOORA	Multi-Objective Optimization on The Basis of Ratio Analysis
OCRA	Operational Competitiveness Rating
PAPRIKA	Potentially All Pairwise Rankings of All Possible Alternatives
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
SAW	Simple Additive Weighting
STEM	Step Method
SWARA	Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis

TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution
UTA	Utilites Additives
VIKOR	Vise Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje
WASPAS	Weighted Aggregated Sum Product Assessment
WSM	Weighted Sum Model
WSA	Weighted Sum Approach
WP	Weighted Product
WPM	Weighted Product ModelA Simge veya Kısaltma açıklaması



# BÖLÜM I

## GİRİŞ

### 1.1. Problem Tanımı

Rekabet edebilirlik işletmelerin devamlılıklarını sürdürebilmeleri bakımından kilit faktörlerden biri olmuştur. Ekonomik gelişmeler, çevre güvenliği konusunda artan endişeler ve kısıtlamalar da işletmeleri operasyonlarında güncellemeler yapmaya zorlayan başlıca faktörlerdendir (Moreira et al., 2018).

Gelişen teknoloji, artan rekabet, çevre ve iş sağlığı politikaları, karlılık ve kaliteye yönelik beklentiler organizasyonların işletme ve bakım faaliyetlerini optimize etmelerini gerekli kılmaktadır. Bakım faaliyetlerinin ürün kalitesi, üretim miktarı ve maliyet üzerindeki etkisi üretim süreçlerinde otomasyon ve mekanizasyonun artması ile beraber çok daha önemli hale gelmiştir (Velmurugan & Dhingra, 2015).

Bakım maliyeti toplam işletme maliyetinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Sektöre bağlı olarak üretiminin %15 ile %60 arasında bakım maliyetleri ortaya çıkmaktadır. Anketlere göre bakım bütçelerinin %33'ü gereksiz ve yanlış bakım uygulamaları nedeniyle boşa harcanmaktadır. Buna karşın, az ve etkisiz bakım nedeniyle üretimde oluşabilecek zaman, kalite ve maliyet kayıpları da çok önemlidir (Moble, 2002).

Birçok işletme bakımı sadece acil durumda problemi düzeltmeye yönelik gerçekleştiren bir faaliyet ve mecburi bir maliyet kaynağı olarak görmektedir. Günümüzde ise ürün kalitesi, tesis güvenliği gibi kritik unsurlar nedeniyle bu görüş geçerliğini yitirmiştir (Bevilacqua & Braglia, 2000). Uygun bakım stratejisi sadece sistemin arıza olasılığını azaltmaz. Aynı zamanda varlıkların çalışma koşullarını iyileştirerek bakım maliyetlerinin düşmesini ve ürün kalitesinin artmasını da sağlar. Yanlış seçilecek bir bakım stratejisi ise bakım maliyetlerini arttıracak gibi verimlilik

ve karlılık üzerinde de olumsuz etki oluşturacaktır (Shafiee, 2015). Bu yüzden bakım yöneticilerin yönettikleri işletme için en iyi ve en uygun bakım stratejisine karar vermeleri gerekir.

Bakım yöneticilerinin uygun bakım stratejisi seçerken yatırım maliyeti, işgücü maliyeti, personel emniyeti, tesis güvenliği, çevreye olan etki, güvenilirlik gibi pek çok kriteri dikkate alması gerekir. Bu kriterlerin bazılarını sayısal olarak ifade etmek çok zor olduğu için bakım stratejisi seçimi çok kriterli bir karar verme problemi olarak görülmektedir (Shafiee, 2015).

Gazete baskı faaliyetlerini diğer sektörlerden ayıran en büyük fark üretilen ürünü stoklama imkanının ve raf ömrünün olmamasıdır. Sabah erken saatlerde piyasaya çıkması gereken ürünlerin içeriği ancak o gece yarısı hazırlanmakta ve çok kısıtlı bir süre içerisinde gazetelerin basılıp, son bayiye kadar ulaştırılması gerekmektedir. Stok yapılmadığı gibi piyasaya birkaç saat bile geç çıkmış bir ürün artık değer ifade etmemektedir.

Bu kısıtlı üretim süresi boyunca baskı makinelerinin sorunsuz çalışması üretimin aksamaması adına kritik önem taşımamaktadır. Diğer taraftan üretimin gece olması itibariyle; olası bir arıza veya problem durumunda dışarıdan servis çağırabilme, yedek parçaya erişim, destek alabilme gibi olanaklar oldukça kısıtlıdır. Üretimde yaşanacak bir problemin olası riskleri göz önüne alındığında, gazete matbaa tesisleri için en uygun bakım planlama stratejisinin seçilmesi klasik üretim tesislerine göre çok daha fazla önem arz etmektedir.

## **1.2. Araştırma Soruları**

Bu çalışmada gazete baskı matbaaları için en uygun bakım planlama stratejisine karar verilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda Avrupa'nın en büyük baskı tesislerinden biri olan Turkuvaz Matbaacılık örneklem olarak seçilmiş ve Turkuvaz Matbaacılık için en uygun bakım stratejisinin ne olduğu sorusuna cevap aranmıştır.

Bakım planlama stratejisi seçimi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product

Assessment - Bütünleşik Ağırlıklı Toplam ve Çarpım Yöntemi) yöntemlerine pisagor bulanık kümelerin uyarlanması ile geliştirilmiş Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık WASPAS yöntemleri kullanılmıştır.

Bakım stratejisi seçimi karar vericilerin sözel değerlendirmelerine dayalı bir problem olup, sözel ifadelerin içerdiği belirsizlik görecelik ve kesin olmayan ifadelerden dolayı matematiksel açıdan tam olarak modellenemeyecek bulanık bir süreçtir. Bu yüzden çalışmada deterministik yöntemler yerine belirsizliği modellemede klasik ve sezgisel bulanık kümelere göre daha güçlü olan ve daha iyi sonuçlar veren, yeni tip bulanık küme uzantılarından pisagor bulanık kümeler kullanılmıştır.

AHP yöntemi çok sayıda kriter içeren problemlerde ikili karşılaştırmalar yaparak, kriterlerin göreceli önem ağırlıklarını belirlemeyi kolaylaştırdığı için; WASPAS yöntemi ise iki farklı yaklaşımı birlikte kullanılması nedeniyle diğer yöntemlere göre daha doğru sonuçlar verdiği için tercih edilmiştir.

Araştırmayı gerçekleştirmek için Turkuvaz Matbaacılık çalışanları ve yöneticileri arasından konuyla ilgili karar vericilerin seçimi yapılmıştır. Karar vericiler belirlendikten sonra hem yapılan literatür taraması, hem de karar vericilerin görüşleri doğrultusunda olası bakım stratejisi alternatifleri ve alternatifleri değerlendirmede kullanılacak kriterler belirlenmiştir.

Emniyet ana kriteri altında personel emniyeti, tesis emniyeti ve çevre emniyeti; maliyet ana kriteri altında uygulama maliyeti, bakım maliyeti ve stok maliyeti; uygulanabilirlik ana kriteri altında onaylanma, teknik güvenilirlik, uygulama kolaylığı ve sistemin önemi, fayda ana kriteri altında fire oranı, ürün kalitesi, zamanında üretim ve ekipman ömrü olmak üzere dört ana kriter ve on dört alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerin önem ağırlıkları Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Reaktif bakım, periyodik bakım, durum bazlı bakım, kestirimci bakım ve güvenilirlik merkezli bakım olmak üzere beş adet alternatif belirlenmiş olup, alternatiflerin ilgili kriterler açısından uygunluğu Pisagor Bulanık WASPAS yöntemi kullanılarak araştırılmıştır.

### 1.3. Mevcut Yazına Katkılar

Literatür incelendiğinde farklı işletme türleri için bakım planlama stratejisi seçimi ile ilgili çalışmalar bulunmakla beraber, gazete matbaacılığı özelinde yeterli araştırma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın gazete baskı işletmeleri için hayati önem taşıyan bakım planlaması stratejisi seçimi konusundaki mevcut eksikliği giderme konusunda literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Ayrıca literatürde bakım planlama strateji türlerini ve sınıflandırılmasını içeren güncel ve kapsayıcı bir çalışmanın eksikliği de görülmektedir. Yapılan literatür taraması sonrasında, bakım stratejileri arasındaki ilişkiler yeniden düzenlenerek mevcut yazına katkı sağlanmak hedeflenmiştir.

Aynı zamanda literatürde bakım planlama stratejisi seçiminde Bulanık Pisagor AHP ve Bulanık Pisagor WASPAS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir çalışmaya rastlanılmamış olup, yapılan çalışmanın bu bağlamda da literatüre katkısı olacaktır.

## BÖLÜM II

### BAKIM PLANLAMA STRATEJİLERİ VE BAKIM TÜRLERİ

Bakım kavramı, herhangi bir ögenin yaşam döngüsü boyunca gerekli işlevini yapmaya devam etmesini sağlamak veya tekrar işlevini yapabilir duruma getirmek için yapılan gözlem, analiz ve denetim dahil, tüm idari, teknik ve yönetsel eylemlerin birleşimi olarak tanımlanmaktadır (BSI, 1993; CEN, 2017). Üretim sistemlerinde bakım, tüm sistemi ya da sistemde yer alan donanımlardan bir kısmını, onlardan beklenen fonksiyonları yerine getirebilecekleri düzeyde faal tutabilmek veya tekrar faal duruma getirmek için yapılan kontrol ve yürütme faaliyetleridir. Bakım faaliyetleri hem reaktif, hem de proaktif görevler içerir (Köksal, 2020).

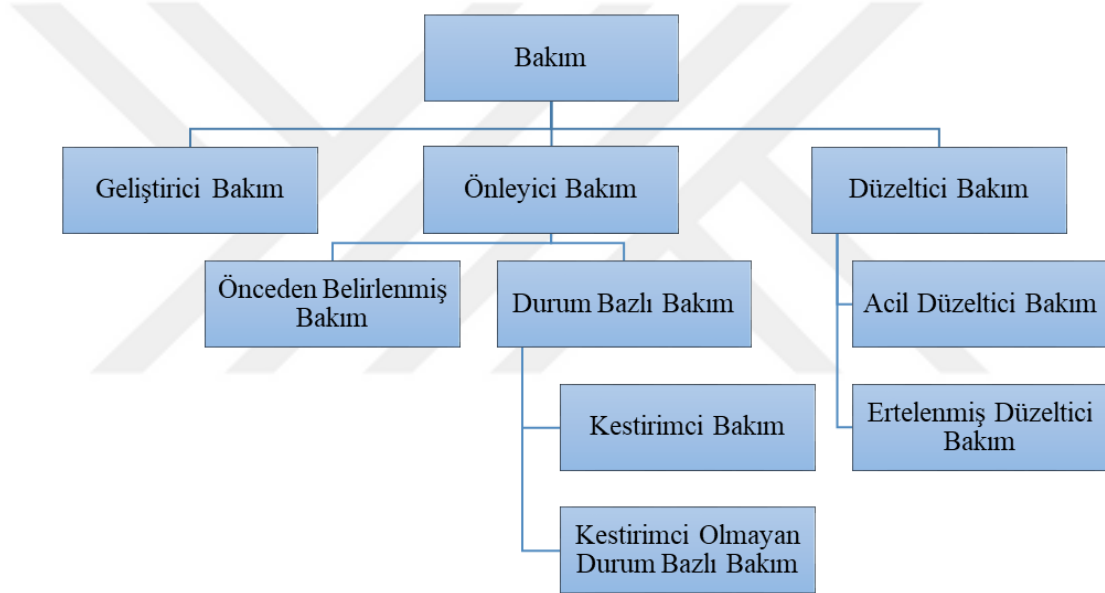
Literatürdeki çoğu yazar bakım kavramının tanımı ile ilgili olarak ‘fiziksel varlıkları istenilen çalışma koşullarda tutabilmek veya bu koşullara geri getirmek için yapılan faaliyetlerin tümü’ ifadesi üzerinde uzlaşmaktadır. Bu tanım üzerinden bakılarak bakım faaliyetleri basit bir fonksiyon olarak görülmemelidir. Bakım yönetimi karmaşık ve dinamik bir yapıdır. Bakım yönetiminin temel amacı “toplam varlık yaşam döngüsünün optimizasyonu” olarak, yani “varlıkların istenilen miktardaki ürünü, istenilen kalitede ve zamanda üretebilecekleri şekilde güvenilirliklerini ve kullanılabilirliklerini maksimum seviye çıkarmak için çevre ve güvenlik kurallarına da uygun olacak şekilde en uygun maliyetli yolu bulmak” olarak ifade edilebilir (Pintelon & Parodi-Herz, 2008).

Bakım bölümünün amacı tesisin güvenli şekilde çalışmasını sağlamak ve bunu kontrol etmektir. Bu amacı yerine getirirken üretimin gereksinimlerini de karşılaması gerekmektedir. Nihai amaç; tesisin kabul edilen durum ve güvenlik standartları çerçevesinde, minimum kaynakla, hedeflenen işletme modeline ve ürün kalitesine ulaşılmasını ve bunun sürdürülmesini sağlamaktır (Kelly, 1997). Seçilecek bakım politikasının sağlayacağı fayda ile bu bakım politikasının uygulanması için

katlanılacak maliyetin optimum düzeyde tutulması bakım planlamasının en önemli konusudur (Köksal, 2020).

## 2.1. Bakım Türleri

Bakım fonksiyonları ile ilgili literatürde farklı tanımlamalar ve sınıflandırmalar bulunmakta olup, nihai referans olarak kullanılacak somut bir model bulunmamaktadır (Khazraei & Deuse, 2011). Avrupa Standartlar Komitesi 2017 yılında yayımlanmış olduğu bakım stratejileri standartlarında bakım türlerini Şekil 2.1.'de gösterilen biçimde sınıflandırmıştır.

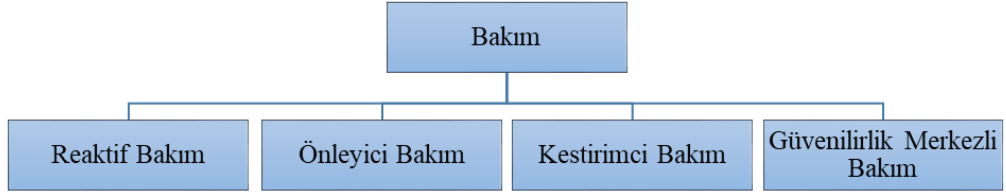


**Şekil 2.1. Avrupa Standartlarına Göre Bakım Türleri**

Kaynak: CEN, 2017

Düzeltilici bakım arıza öncesi yapılan bakım, önleyici bakım ise arıza sonrası yapılan bakım faaliyetlerdir. Geliştirici bakım ise makinenin orijinal fonksiyonlarını değiştirmeden güvenlik ve güvenilirlik ile ilgili yapılan iyileştirme çalışmalarıdır (CEN, 2017).

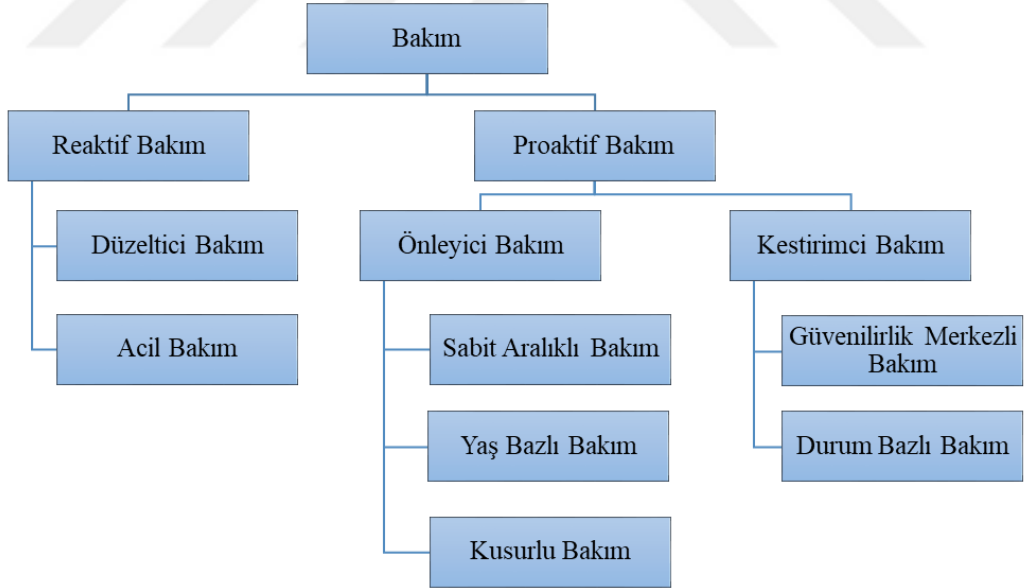
ABD Enerji Departmanı için Sullivan v.d. (2010) tarafından hazırlanan bakım kılavuzunda bakım programları Şekil 2.2.'de görüldüğü üzere dört başlık altında incelenmiştir.



**Şekil 2.2. ABD Enerji Departmanı'na Göre Bakım Türleri**

Kaynak: Sullivan, Pugh, Melendez, & Hunt, 2010

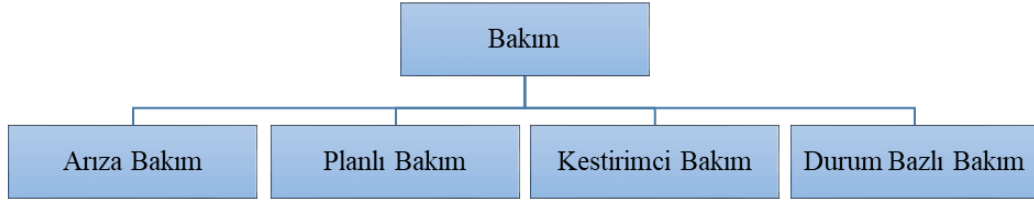
Şekil 2.3.'de gösterilen sınıflandırmada bakım faaliyetleri genel olarak reaktif ve proaktif olmak üzere iki ayrı kategoriye ayrılmaktadır. Reaktif bakım planlı olmayan bakım, proaktif bakım planlı bakım olarak da tanımlanabilir (Kothamasu, Huang, & VerDuin, 2006).



**Şekil 2.3. Bakım Felsefelerinin Sınıflandırılması**

Kaynak: Kothamasu et al., 2006

Mottershead v.d. (2011) ise Şekil 2.4.'de görüldüğü üzere dört bakım türünden bahsetmiştir. Bakımın “arıza öncesi” ve “arıza sonrası” olarak ikiye ayrılması literatürde daha çok kabul gören felsefe olarak öne çıkmaktadır.



**Şekil 2.4. Elektrik Güç Endüstrisi İçin Bakım Türleri**

Kaynak: Mottershead, Bomben, Kerszenbaum, & Klempner, 2021

Bakım stratejilerin gelişimi Şekil 2.5.'de özet olarak gösterilmiştir.



**Şekil 2.5. Bakım Stratejilerinin Gelişimi**

Kaynak: Limble CMMS, 2021

### **2.1.1. Arıza Sonrası Bakım / Reaktif Bakım / Düzeltici Bakım (Corrective Maintenance - CM)**

En kısa ifadeyle arıza sonrası yapılan bakım faaliyetleri olarak tanımlanabilir. En eski ve en basit bakım stratejisidir. Bu strateji reaktif (tepkisel) bir yaklaşıma sahiptir. Herhangi bir takvime veya planlamaya bağlı olmayan, olaya dayalı çalışmalardır. Sistem veya donanım arızalanana kadar çalıştırılır, arızalandığında tekrar çalışır duruma getirmek için bakım/tamir yapılır. Bu yüzden “acil bakım”, “tamir bakım”, “arızı bakım” olarak da adlandırılır (Blanchard, Verma, & Peterson, 1995; Köksal, 2020; Pintelon & Parodi-Herz, 2008).

Kothamasu vd. (2006)'ne göre reaktif bakım, düzeltici bakım (arızı bakım) ve acil bakım olarak ikiye ayrılır. Acil bakım, ciddi sonuçlardan kaçınmak için hemen

yapılması gereken bakım faaliyetleridir. Düzeltici bakım ise, sistemde bir arıza olduktan sonra sistemi tekrar eski çalışır haline getirmek için yapılan bakım faaliyetleridir.

Bu stratejide sistemin durana kadar çalıştırılması hedeflendiğinden, arıza olmadığı sürece bakım için herhangi bir işleme veya çabaya ihtiyaç yoktur. Bu yüzden reaktif bakımın en önemli avantajı daha az personel ve daha az maliyetle gerçekleştirilebilmesidir. Buna karşın dezavantajları; plansız makine duruşlarını nedeniyle üretimde yaşanabilecek gecikmeler, bu gecikmelerin neden olacağı maliyetler, oluşacak arızanın sebep verebileceği ikincil ekipman arızaları olarak sıralanabilir. Bu strateji özellikle basit sistemler ve tamiri kolay ekipmanlar için daha ekonomik görünmektedir. Buna karşın daha karmaşık ve büyük sistemlerde doğuracağı üretim kayıpları, tahmin edilenden daha yüksek çıkabilecek onarım masrafları, artan güvenlik riskleri gibi parametreler katlanılması gereken toplam maliyeti arttıracaktır (Biçen, 2019; Sullivan et al., 2010).

### **2.1.2. Arıza Öncesi Bakım / Önleyici Bakım (Preventive Maintenance – PM)**

Önleyici bakım reaktif bakımın aksine, arıza öncesi koruma amaçlı yapılan ve beklenmedik arıza çıkması olasılığını engellemeyi hedefleyen tedbirsel (proaktif) bakım faaliyetleridir. İşletmeler için kalite, zaman ve maliyet olmak üzere üç önemli kriter vardır. Üretim sistemlerinde oluşacak arızalar bu üç kriteri olumsuz yönde etkilemektedir. Bu kriterleri uygun düzeyde tutabilmek için sıfır arıza hedefine doğru ilerlemek gerekir (Köksal, 2020; Swanson, 2001).

Önleyici bakım stratejilerinin başlıca avantajları; bakım planlaması yapabilme imkanı sağlanması, ekipmanların faydalı yaşam sürelerini uzatması, arıza çıkma ihtimalini azaltması olarak sıralanabilir. Buna karşın daha fazla işgücü ve yedek parça maliyeti gerektirir. Ayrıca çalışan sisteme yapılan her müdahale beraberinde sisteme zarar verme ihtimali de içerir. Gereksiz bakım müdahaleleri bu riski arttırmış olur (Sullivan et al., 2010).

Literatürde geçen başlıca önleyici bakım stratejileri aşağıda verilmiştir.

### 2.1.2.1. Periyodik Bakım (Periodic / Time-Based Maintenance - TBM)

Periyodik bakım, literatürde aynı zamanda “düzenli bakım”, “zaman bazlı bakım”, “önleyici bakım” olarak da geçmektedir. Sistemdeki yıpranmayı kabul edilebilir bir seviyede tutarak sistemin faydalı ömrünü uzatmak için yapılan bu düzenli faaliyetlerin periyotları zaman bazlı veya kullanım bazlı olarak planlanabilir (Sullivan et al., 2010). Zaman bazlı bakım tanımında geçen “zaman” ifadesi hem günlük, haftalık, aylık gibi takvimsel periyotları, hem de sistem çalışma saati gibi kullanım bazlı periyotları belirtmektedir (Bashiri, Badri, & Hejazi, 2011).

Bu bakım stratejisi sistem henüz çalışır durumdayken, arıza ihtimallerini azaltmak için periyodik olarak yapılan denetleme ve bakım faaliyetlerini içermektedir. Bakım faaliyetleri önceden belirlenmiş bir periyoda göre planlanır ve uygulanır. Her ekipmanın ve parçanın bir çalışma ömrü vardır. Öngörülen bu ömür henüz dolmadan ve sistemin arıza yapması beklenmeden, önceden belirlenmiş bir dönem sonunda, ilgili parçalar hala çalışır durumda olmasına rağmen önlem amaçlı değiştirilir (Kirubakaran & Ilankumaran, 2016; Köksal, 2020).

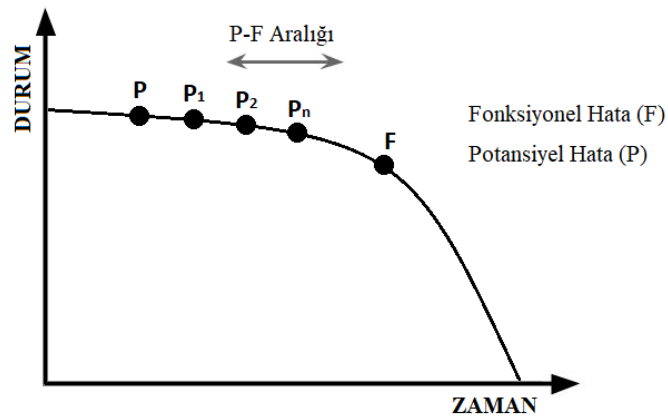
Periyodik bakım ile sistem güvenilirliği arasında neden-sonuç ilişkisi olduğu varsayılır. Çalışan parçalar zamanla aşınır ve bu durum sistem güvenilirliğini riske sokar. Sistemdeki ekipmanlara ne kadar sık bakım yapılırsa, sistemin arıza yapma ihtimali de o derece azalır (NASA, 2008).

Bu bakımın başlıca avantajları; bakım planlaması yapma konusunda esneklik sağlaması, sistemlerin arıza yapma riskini azaltması, sistemlerin faydalı ömürlerini uzatması, enerjinin ve kaynaklarının verimli kullanımı olarak sayılabilir. Buna karşın; fazla bakım yapılmasından kaynaklı oluşacak yedek parça ve iş gücü maliyetleri, çalışan sisteme yapılan fazla müdahale sonucu oluşabilecek arızalar, üretimin bakım faaliyetleri için gereğinden fazla durdurulması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Sullivan et al., 2010).

### 2.1.2.2. Durum Bazlı Bakım (Condition-Based Maintenance - CBM)

Durum bazlı bakım, bakım planlaması yapmak için sistemin veya ekipmanların fiziksel durumlarını inceleyen bir önleyici bakım türüdür. Bu inceleme gözlem, test veya sistem parametrelerinin izlenmesi olabilir (CEN, 2017). Sistemin herhangi bir zamandaki mevcut durumu kontrol edilir. Eğer analiz edilen ekipmanın bozulma oranları kritik seviyeye ulaşmışsa bakıma alınmasına karar verilir. Bu stratejide bakım, ekipmanın güncel duruma bakılarak ve sadece gerektiği zaman yapılır (Williams, Davies, & Drake, 1994).

Durum bazlı bakımda, durum izlemesi yoluyla elde edilen bilgilere göre bakım kararı alınır. Bu süreç “veri toplama”, “veri işleme” ve “karar verme” olmak üzere üç temel aşamadan oluşur (Noman et al., 2020).



**Şekil 2.6. Ekipman Hata Davranış Eğrisi (P-F Eğrisi)**

Kaynak: Prajapati, Bechtel, & Ganesan, 2012

Şekil 2.6.’da gösterilen eğri, ekipman hata davranışını göstermektedir. Buradaki varsayım durumu parametresinin değeri ne kadar yüksekse, ekipmanın durumu da o kadar iyidir. Burada P noktası ekipmanda bozulmanın başladığı fakat arızanın henüz tespit edilebilir olmadığı zamanı göstermektedir. P<sub>1</sub> noktası arızanın ilk tespit edilebilir olduğu zaman olup, “Potansiyel Hata” olarak; F noktası ise arızadan dolayı sistemin hata verdiği an olup, “Fonksiyonel Hata” olarak tanımlanır. Bozulmanın tespit edilebilir olması ile sistemde fonksiyonel hata oluşması arasındaki geçen süre arasındaki P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, ....., P<sub>n</sub> kontrol zamanlarında, belirlenen kritik eşik noktasına

ulaşılırsa bakım planlaması yapılır. Sistem kendinden beklenen performansı gösterdiği sürece kullanılmaya devam edilir. Sistem performansı belirlenen kriterinin altına düştüğünde bakımı yapılır. Burada anahtar kelime durumun bazlı bakımın parametrenin “o andaki” değerine bakarak bakım planlaması yapmasıdır (Prajapati et al., 2012).

Bu strateji uzun vadede bakım maliyetleri düşürür ve ciddi arıza oluşumunu azaltır. Böylece maddi kaynak yönetimini de optimize etmeyi sağlar (ABB, 2017). Sistemlerinin durum takiplerini yapabilmek için periyodik denetimler, testler, veri toplamak için gerekli sensörler ve ekipmanlar gibi bir dizi yatırıma ihtiyaç duyulur. Ayrıca bakım personellerinin de bu süreçleri yönetebilecek yeterlilikte olması gerekir. Yatırım maliyeti, periyodik bakım ve düzeltici bakıma göre yüksektir fakat uzun dönemde sağlayacağı güvenilirlik ve sonrasında bakım maliyetlerinde yaşanacak düşüş dikkate alındığında toplam işletme maliyeti açısından avantaj sağlayacaktır (Mottershead et al., 2021).

### **2.1.2.3. Kestirimci Bakım (Predictive Maintenance - PdM)**

Kestirimci bakım aynı zamanda “uyarıcı bakım” olarak da geçmektedir. Makinenin durumunu ölçüm ve kontroller ile izleyip, topladığı verileri istatistik yöntemleriyle değerlendirip, arıza olasılığı varsa ise bunu engellemek için gerekli bakım planlamasının yapılmasını kapsar (Köksal, 2020).

Kestirimci bakım; makine aksamının mekanik durumu, verimliliği ve çalışma koşullarına ait diğer göstergeleri düzenli olarak izleyerek, sistem verilerini toplar. Topladığı bu verilerle iki bakım arasında olabilecek maksimum süreyi bulabilmeyi ve böylece arızadan kaynaklı sistem duruş sayısını ve maliyet oranlarını düşürmeyi hedefler. Bunun da ötesinde ürünün ve tesisinin verimliliğini, kalitesini ve genel etkinliğini geliştirmeyi amaçlar (Moblely, 2002).

Kestirimci bakım gelecekteki ekipman arızasını tahmin etmeye dayalı bir bakım fonksiyondur. Bazı arızalar yeni teknolojiler sayesinde eski yöntemlere nazaran çok daha erken tespit edilebilir. Arızanın erken tespit edilmesi bakım faaliyetlerinin daha verimli ve planlı uygulanabilmesi için gerekli süreyi sağlamış olur (Palmer, 2005).

Durum bazlı bakımda izlenen parametre belirlenen eşik değerine ulaştığında bakım planlaması yapılırken, kestirimci bakımda bu parametrenin eğilim trendi algoritmalar ile analiz edilerek sistemin hataya geçeceği zaman kestirilmeye çalışılır. Böylece sistem arızaya geçmeden önce ne kadar süre daha kullanılabilceği ve ne zaman bakıma alınması gerekeceği tahmin edilir. Bu strateji bakımın sadece gerektiğinde yapılmasına ve uygun şekilde planlanmasına olanak sağlar. Gerekli gözlem ve analizleri yapabilmek için gerekli yazılım, donanım, eğitim gibi maliyetler ise en önemli dezavantajdır (Hanly, n.d.).

Kestirimci bakımın avantajları oldukça fazladır. İyi planlandığı takdirde sonucu felaket sayılabilecek arızalar büyük oranda ortadan kalkacaktır. Bakım faaliyetleri planlanabilir ve öngörülebilir olduğundan, bakım için gereken işçilik ve yedek parça maliyetleri minimize edilecektir. Enerji tasarrufu sağlanacak, tesis güvenilirliği artacaktır. Buna karşın kestirimci bakım dünyasına giriş yapmak yatırım gerektiren masraflı bir iştir ve bu yatırımın sağlayacağı tasarrufun yönetim tarafından görülmesi vakit alacaktır (Sullivan et al., 2010).

#### **2.1.2.4. Kuralcı Bakım (Prescriptive Maintenance - RxM)**

Endüstrinin dijitalleşmesi ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler ile beraber bakım alanında da kuralcı bakım olarak tanımlanan yeni bir dönem başlamaktadır. Kuralcı bakım, kestirimci bakımın sunduğu arıza tahmini yaklaşımın ötesinde geçerek, geçmiş ve güncel verilere dayalı bir eylem planı da ortaya koyar. Bu verilerin toplanması ve yönetilmesi bu bakımın en zor taraflarından biridir (Matyas, Nemeth, Kovacs, & Glawar, 2017).

Kestirimci bakım ekipmanın ne zaman arızalanacağını söylerken, kuralcı bakım çok daha fazla veri kullanarak hangi parçanın arızalanacağını ve arızanın nasıl çözüleceğini de açıklar. Bakım personelinin yerinde tespit ve değerlendirme yapmasına gerek kalmadan, tam olarak neyi onaracaklarını ve yanlarında hangi parçaları götürmeleri gerektiğini söyler (Hanly, n.d.).

Makine öğrenmesi ve yapay zeka sistemleri izleme ve basit öneriler sunmaktan çok daha fazlasını yapabilir. Kuralcı bakım makine öğrenmesi ve yapay zekayı kullanarak

gelişmiş önerilerde bulunur. Veri analizi kuralcı bakımın sunacağı önerilerin belirlenmesindeki en önemli başlıktır. Makinelere takılı akıllı sensörler aracılığıyla sürekli toplanan veriler yazılımlar ile analiz edilir ve geçmiş veriler ile karşılaştırılarak tavsiyeler üretilir (Andrade, n.d.).

### **2.1.3. Fırsatçı Bakım (Opportunistic Maintenance - OM)**

Sistem bakım, arıza veya herhangi bir nedenle durduğunda, gelecekte yapılması planlanan diğer önleyici bakım faaliyetlerinin de bu duruşun yarattığı fırsattan yararlanarak uygulanmasıdır. Böylece sistemin bakım için gerekecek duruş adedi ve süresi toplamda azaltılmış olur (Biçen, 2019).

Fırsatçı bakım tek bir ekipmana değil, üretim hattındaki tüm ekipmanların toplamına uygulanabilecek bir bakım politikasıdır. Amaç farklı bakım faaliyetlerini birleştirerek hem bakım, hem de üretim faaliyetlerinin verimliliğini arttırmaktır. Böylece bir taraftan bakım maliyetleri azaltılırken, diğer yandan bakım için gerekli toplam duruş süresinin azalması sonucu sistemin kullanılabilirlik süresini artacaktır (Koochaki, Bokhorst, Wortmann, & Klingenberg, 2012).

### **2.1.4. Tamamlayıcı Bakım Yaklaşımları**

Fiziksel varlıkların güvenilirliklerini sürekli iyileştirme çabasıyla farklı noktalara odaklanmış aşağıda belirtilen iki farklı yaklaşım ortaya çıkmıştır.

- Toplam Üretken Bakım (İnsan Odaklı Yaklaşım)
- Güvenilirlik Merkezli Bakım (Varlık Odaklı Yaklaşım) (Jardine & Tsang, 2013)

#### **2.1.4.1. Güvenilirlik Merkezli Bakım (Reliability Centered Maintenance- RCM)**

Güvenilirlik merkezli bakım (GMB) geleneksel bakım stratejilerinin avantajlarını içerecek şekilde geliştirilen bir bakım stratejisidir. Tesisteki ekipmanların önem derecesine ve güvenilirlik parametrelerine göre ekipman özelinde en uygun bakım stratejini seçer. Bu uygulama geçmiş hata ve bakım kayıtlarının toplanmasını ve analiz

edilmesini gerektirir. GMB reaktif bakımın, periyodik bakımın, durum bazlı bakımın ve proaktif bakımın en ideal şekilde birleşimidir. Diğer bir tanımla karmaşık sistemlerin önleyici bakım gereksinimlerini belirleme yöntemidir. Ekipman ve tesislerin güvenilirliklerini arttırırken, yaşam döngüsü maliyetlerini de azaltmak için farklı bakım stratejilerinin en güçlü yönlerini harmanlama prensibine dayanır (Vishnu & Regikumar, 2016).

GMB bir varlığın çalışır durumda kalabilmesi için uygulanması gereken bakım ihtiyaçlarını belirlemeye yarayan bir süreçtir. GMB'nin sorduğu yedi tane soru vardır.

- Varlığın normal çalışma koşullarındaki fonksiyonları ve beklenen performans standartları nelerdir?
  - Hangi durumlarda varlık fonksiyonları gerçekleştirilemez?
  - Her fonksiyonel hata için sebepler nelerdir?
  - Her hata için sonuçlar nelerdir?
  - Her hatanın önem derecesi nedir?
  - Her hatayı önceden tahmin etmek veya engellemek için neler yapılmalıdır?
  - Eğer hatayı önlemek için uygun bir yol bulunamazsa ne yapmak gerekir?
- (Moubray, 1997)

Bir tesisteki tüm ekipmanların önem dereceleri farklıdır. Ayrıca ekipmanların tasarım ve çalışma farklılıklarından dolayı bozulma dereceleri ve arıza yapma ihtimalleri de birbirinden farklıdır. Bununla beraber bir tesisin mali ve personel kaynakları da sınırsız değildir. GMB, tesis güvenilirliğini ve maliyet etkinliğini arttırmak için sınırlı kaynakları optimum seviyede kullanmayı amaçlayan sistematik bir yaklaşımdır. GMB bir taraftan kestirimci bakımın avantajlarını etkin şekilde kullanırken, diğer taraftan tesis güvenilirliğini etkilemeyen ve önem derecesi yüksek olmayan ekipman bakımlarını da reaktif bakıma bırakır. Kestirimci bakıma yüksek oranda bağlı bir yaklaşım olduğundan avantaj ve dezavantajları da kestirimci bakım ile benzerlikler göstermektedir (Sullivan et al., 2010).

#### **2.1.4.2. Toplam Üretken Bakım (Total Productive Maintenance - TPM)**

Agresif bakım kavramı, arıza önleme amaçlı yapılan bakım faaliyetlerin ötesine geçen ve sistem tasarımlarını değiştirerek/yenileyerek potansiyel riskleri ortadan kaldırıp, üretim süreçlerini iyileştirmeyi hedefleyen bir yaklaşıma sahiptir (Biçen, 2019; Swanson, 2001). Toplam üretken bakım, ekipman arızalarını önlemeye çalışırken aynı zamanda ekipman performansı da geliştirmeye odaklanan agresif bir bakım stratejisidir (Swanson, 2001).

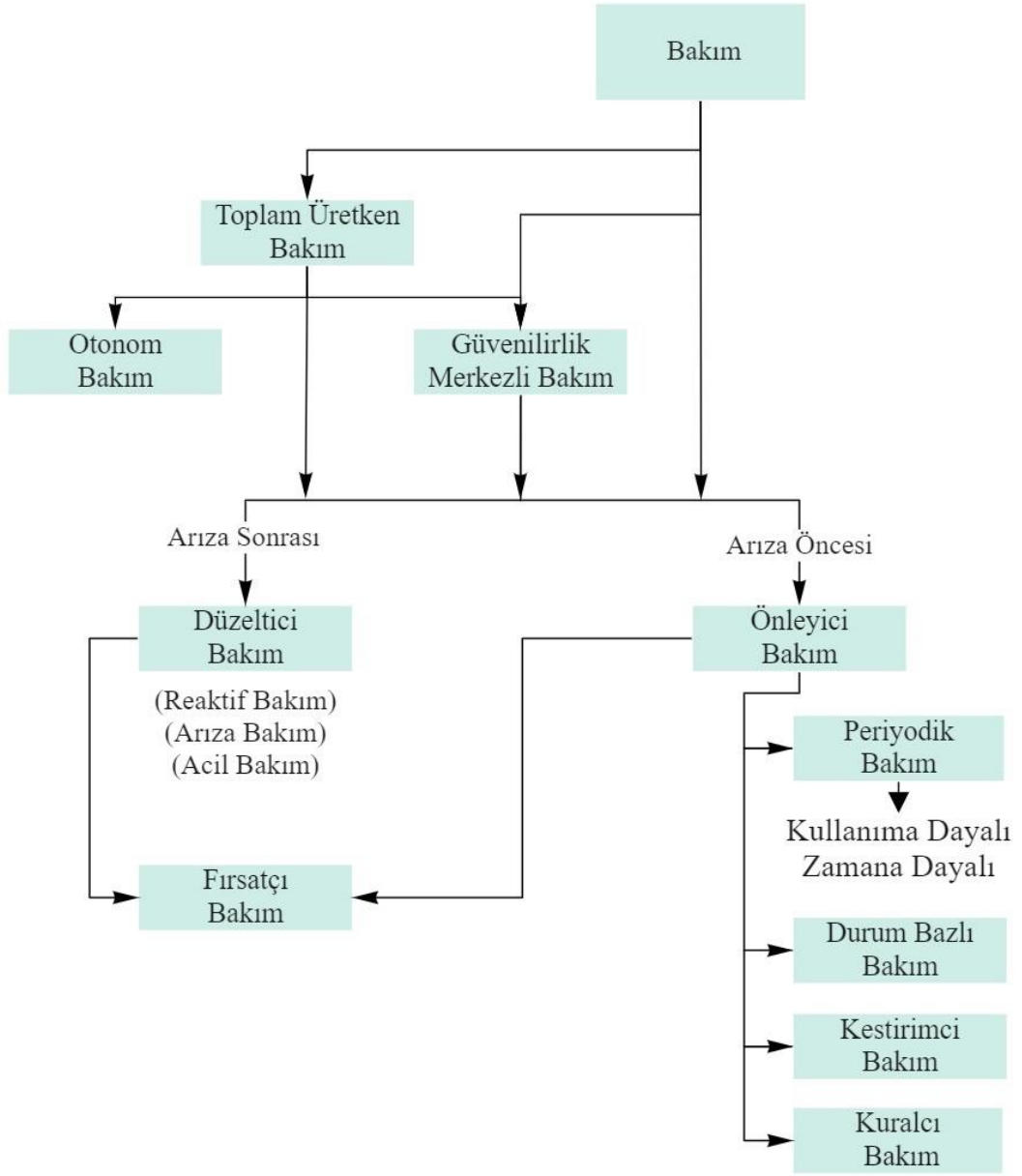
Klasik organizasyonlarda operatörler imalat ile ilgilenirken, bakım faaliyetleri bakım ekibi tarafından yürütülmektedir. Her türlü bakım faaliyeti bakım ekibi tarafından yapılmaya çalışıldığında, gerekli bakım personeli sayısı artmakta, bu da işgücü maliyetlerini yükseltmektedir. Toplam üretken bakım operatörlerin çalıştıkları makinelerin belirli bir seviyeye kadar olan bakımlarını üstlenmeleri anlayışını getirir (Köksal, 2020).

Toplam üreten bakım tamamen yeni bir görüş olmaktan öte, mevcut üretim ve bakım faaliyetlerini daha ileri düzeye taşıma anlayışdır. Bu anlayış en basit haliyle otonom bakım, planlı bakım ve indirgenmiş bakım olmak üzere üç bölümde gruplanabilir.

Otonom bakım; günlük makine temizliği, kontrol, yağlama gibi basit ve rutin bakım işlerinin makine operatörleri tarafından yapılması anlamına gelmektedir. Planlı bakım; periyodik olarak yapılan önleyici bakım faaliyetlerini içerir. İndirgenmiş bakım ise ekipman tasarımı ve kestirimci bakım uygulamaları ile gerekli bakım sayısını azaltmak hedefini ifade etmektedir (Higgins, Mobley, & Wikoff, 2008).

#### **2.2. Bakım Stratejileri Şema Düzenlemesi**

Literatürde bakım stratejileri arasındaki ilişkiyi gösteren farklı şemalar yer almakta olup, güncel ve birleştirilmiş bir taslağın eksikliği görülmektedir. Bu amaçla Jasiulewicz-Kaczmarek (2014), Montero Jimenez, Schwartz, Vingerhoeds, Grabot, & Salaün (2020) ve Biçen (2019)'nin bakım stratejileri için çizdikleri genel taslaklar, literatürdeki diğer çalışmalar ile de birleştirilerek bakım stratejileri arasındaki ilişki Şekil 2.7.'de gösterildiği şekilde yeniden düzenlenmiştir.



**Şekil 2.7. Düzenlenmiş Bakım Stratejileri Şeması**

## BÖLÜM III

### BAKIM PLANLAMA STRATEJİSİ SEÇİMİ İÇİN BİR LİTERATÜR TARAMASI

Bakım Planlama Stratejisinin seçimi makine parkı yatırımı yüksek olan firmalar için önemli bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemidir. Bu bölümde konuya ilişkin yazın incelenmiş ve kullanılan yöntemlerin avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur.

Shafiee (2015) bakım stratejisi seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılması ise ilgili bir literatür taraması yapmıştır. Bu araştırmada 82 adet çalışma incelenmiş ve bu çalışmalarda kullanılan yöntemleri, kriterleri ve alternatifleri özetlenmiştir. Bu çalışmada AHP'nin hem araştırmacılar, hem de uygulayıcılar tarafından en çok kullanılan yöntem olduğu görülmüştür. Kullanılan diğer başlıca metotlar SAW, ANP, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE olarak çıkmıştır. Bu çalışmalarda en fazla geçen bakım alternatifleri; düzeltici bakım, zaman bazlı önleyici bakım, durum bazlı bakım ve kestirimci bakım olmakla beraber, toplamda 13 farklı bakım alternatifinden bahsedilmektedir. Başlıca kriterler ise; nicel ve nitel kriter başlıkları altında ekonomik, teknik, sosyal ve çevresel kriterler olarak gruplandırılmıştır (Shafiee, 2015).

Syan & Ramsoobag (2019) de benzer şekilde bakım stratejisi seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı 150 adet araştırmayı incelemiş ve son yıllarda bu konuda yapılan araştırma sayısının giderek arttığını ortaya koymuştur. Bu çalışmalarda 100'den fazla kriterden bahsedilmekle beraber en çok kullanılan kriterler; maliyet, geçerlilik, güvenilirlik, emniyet, katma değer, risk, yedek parça, fayda, çevresel etkiler ve fizibilite olarak sıralanmıştır. Öne çıkan bakım stratejileri; önleyici bakım, düzeltici bakım, durum bazlı bakım, kestirimci bakım, fırsatçı bakım, güvenilirlik merkezli bakım ve toplam üretken bakım olarak bulunmuştur. Kullanılan

yöntemler ise sırasıyla; AHP, TOPSIS, MAUT, MACBETH, ANP, COPRAS ve VIKOR olarak listelenebilir (Syau & Ramsoobag, 2019).

Shafiee, Labib, Maiti, & Starr (2019) çok bileşenli sistemler için bakım stratejisi seçimini ANP ve AHP yöntemlerini kullanarak ele almışlardır. Denizel yenilenebilir enerji sistemlerinde kullanılan ekipmanlar için ayrı ayrı yapılan araştırmada risk ve maliyet kriterleri açısından en uygun bakım planlama stratejileri risk bazlı bakım ve durum bazlı bakım stratejileri olarak bulunmuştur (Shafiee et al., 2019).

Mathew, Chakraborty, & Ryan (2020) belirsiz koşullar altında en uygun bakım planlama stratejisi seçimine Aralık Tip-2 Bulanık AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak çözüm aramışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda endüstriyel varlıklar için en uygun bakım planlama stratejisi zaman bazlı önleyici bakım olarak seçilmiştir (Mathew et al., 2020).

Avakh Darestani, Palizban, & Imannezhad (2020) kağıt endüstrisi için bakım planlaması stratejisi seçimi problemini TOPSIS yöntemini kullanarak çözmüştür. Fizibilite, maliyet, emniyet ve fayda boyutları altında 14 kriter farklı incelenmiş, en yüksek kriterler ağırlıkları sırasıyla ekipman amortismanı, ekipman-personel performansı, ekipman kurulum süresi ve teknik fizibilite olarak bulunmuştur. Kağıt endüstri için en uygun bakım planlaması stratejisinin ise önleyici bakım ve kestirimci bakım olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Avakh Darestani et al., 2020).

Gedikli, Çayır Ervural, & Şen (2021) bir gıda işletmesi için en uygun bakım planlaması stratejisi seçiminde Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. En yüksek kriter ağırlıklarının personel emniyeti, arıza sıklığı ve ortalama tamir süresi olarak çıktığı çalışmada her iki yöntem sonucunda da kestirimci bakım en uygun bakım strateji olarak çıkmıştır (Gedikli et al., 2021).

Carpitella et al., (2021) deniz tuzu imalatı yapan bir firmada için en iyi bakım stratejisini seçmek amacıyla yaptıkları çalışmada ANP ve ELECTRE III yöntemlerini kullanmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda maliyet ve güvenilirlik en yüksek ağırlığa sahip kriterler olarak tespit edilmiş olup, önleyici bakım en ideal bakım stratejisi olarak seçilmiştir (Carpitella et al., 2021).

Akgönül, Özcan, & Eren (2021) bakım stratejisi seçiminde Bulanık ANP, TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerini kullanmıştır. Bir medikal işletmesi için yapılan çalışmada üç yöntemin sonucunda da en iyi bakım planlama stratejisini revizyon bakım olarak belirlenmiştir (Akgönül et al., 2021).

Yazıcı, Özcan, Alakaş, & Eren (2021) bakım planlaması stratejisi seçimini Pisagor Bulanık AHP ve TOPSIS metotları ile çözmüştür. Hidroelektrik santralleri için yapılan çalışmada katma değer kriteri bakım planlama stratejisini etkileyen en önemli kriter olarak tespit edilmiş olup, alternatifler arasından revizyon bakım en uygun strateji olarak seçilmiştir (Yazıcı et al., 2021).

Bakım stratejisi seçiminde ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar ile ilgili bir literatür taraması yapılmış ve bu çalışmaya ait özet bilgi Tablo 3.1.'de paylaşılmıştır.

**Tablo 3.1. Bakım Stratejisi Seçiminde Kullanılmış ÇKKV Yöntemleri**

YÖNTEM	KRİTERLER	ALTERNATİFLER	YAZAR
Pisagor Bulanık AHP, TOPSIS	Risk, Maliyet, Katma Değer, Süre	Arızı, Revizyon, Kestirimci, Periyodik	Yazıcı, Özcan, Alakaş, & Eren (2021)
Bulanık TOPSIS, Bulanık AHP	Emniyet, Maliyet, Güvenilirlik, Katma Değer	Düzeltilici, Periyodik, Fırsatçı, Duruma Dayalı, Kestirimci	Gedikli, Çayır Ervural, & Şen (2021)
AHP, ANP, TOPSIS	Süre, Uzmanlık Gereksinimi, Santrale Olan Etkisi	Periyodik, Kestirimci, Revizyon, Arızı	Ünlüsoy (2020)
TOPSIS, BWM	Fizibilite, Maliyet, Emniyet, Fayda	Önleyici, Kestirimci, Düzeltilici, Durum Bazlı, Yinelenen	Avakh Darestani, Palizban, & Imannezhad (2020)
AHP, TOPSIS, Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS	Maliyet, Emniyet, Uygulanabilirlik, Rekabet Avantajı, Çalışma Morali	Düzeltilici, Periyodik, Duruma Dayalı, Kestirimci, Güvenilirlik Merkezli, Toplam Verimli	Mete (2007)

**Tablo 3.1. (devamı)**

AHP	Hasar, Uygulanabilirlik, Fayda, Maliyet	Düzeltilici, Önleyici, Fırsatçı, Durum Bazlı, Kestirimci	Bevilacqua & Braglia (2000)
AHP, FMECA	Olma Durumu, Şiddeti, Tespit Edilebilirliği	Düzeltilici, Önleyici, Kestirimci	Bertolini & Bevilacqua (2006)
Bulanık ANP, Bulanık Veri Zarflama	Fayda, Maliyet, Risk	Kestirimci, Durum Bazlı, Zaman Bazlı, Düzeltilici	Tajadod, Ghasemi, & Bazargan (2011)
FMEA	Emniyet ve Çevre, Güvenilirlik, Ekonomi, Bakım Kolaylığı	Düzeltilici, Zaman Bazlı Önleyici, Durum Bazlı	Dong, Gu, & Dong (2008)
FAHP, GRA– TOPSIS	Emniyet, Maliyet, Fayda, Fizibilite	Düzeltilici, Zaman Bazlı Önleyici, Durum Bazlı, Kestirimci	Kirubakaran & Ilangkumaran (2016)
Bulanık AHP, TOPSIS	Çevresel Şartlar, Ekipman Arızası, Eğitim Gereksinimi, Esneklik	Kestirimci, Durum Bazlı, Önleyici, Güvenilirlik Merkezli	Ilangkumaran & Kumanan (2009)
AHP, TOPSIS, VIKOR	Fayda, Toplam Maliyet	Bozulana Kadar Çalıştır, Fonksiyonel Kontrol, İyileştirme, Hurdaya Ayrırma, Prognostik (Öngörüsül) Sağlık Yönetim Sistemine Geçiş	Ahmadi, Gupta, Karim, & Kumar (2010)
AHP, TOPSIS, SAW, WP	Emniyet, Maliyet, Güvenilirlik, Fayda	Düzeltilici, Zaman Bazlı Önleyici, Fırsatçı, Durum Bazlı, Kestirimci	Gedikli & Cayir Ervural (2020)
ANP, AHP	Maliyet, Kritiklik	Arızı Bakım, Zaman Bazlı Bakım, Risk Bazlı Bakım, Durum Bazlı Bakım	Shafiee, Labib, Maiti, & Starr (2019)

**Tablo 3.1. (devamı)**

ANP	Güvenilirlik, Uygulanabilirlik, Bakım Kolaylığı, Maliyet	Zaman Bazlı, Durum Bazlı, Acil, Toplam Üretken	Shahin, Shirouyehzad, & Pourjavad (2012)
ELECTRE.III	Emniyet, Maliyet, Uygulanabilme Kolaylığı, Fayda, Bilgi	Arıza Bazlı, Yaş Bazlı, Durum Bazlı, Kestirimci	Li, Xu, & Guo (2007)
ANP, DEMATEL	Güvenlik, Maliyet, Stratejik Gereksinimler, Teknik Gereksinimler	Düzeltilici, Önleyici, Toplam Üretken, Güvenilirlik Merkezli, Durum Bazlı, Kestirimci	Aghae & Fazli (2012)
AHP	Arıza Sıklığı, Duruş Süresi, Yedek Parça Maliyeti, Engeller	Güvenilirlik Merkezli, Önleyici, Düzeltilici, Toplam Üretken	Labib, O'Connor, & Williams (1998)
Bulanık TOPSIS	Emniyet, Maliyet, Güvenilirlik, Fizibilite	Düzeltilici, Otonom, Önleyici, Kestirimci	Ding & Kamaruddin (2012)
Bulanık Sayılar, Bulanık Basit Ortalama	Maliyet, Güvenilirlik, Operasyonel Esneklik, Performans, Emniyet, Çevre Duyarlılığı	Kestirimci, Arızı, Rutin, Önleyici, Düzeltilici	Nagar (2012)
LAM, Bulanık LAM	Nitel (Emniyet, Esneklik, Kabul Görme), Nicel (Maliyet, Güvenilirlik)	Düzeltilici, Önleyici, Zaman Bazlı, Durum Bazlı, Kestirimci	Bashiri et al. (2011)
Bulanık AHP	Ürün Kalitesi, Güvenilirlik, Maliyet, Emniyet	Düzeltilici, Önleyici, Kestirimci	Azizi & Fathi (2014)

**Tablo 3.1. (devamı)**

Bulanık Delphi	Emniyet, Maliyet, Fayda, Fizibilite	Önleyici, Durum Bazlı, Arıza Bazlı	Jafari, Jafarian, Zareei, & Zaerpour (2008)
AHP	Varlık Yönetimi, Performans, Maliyet, Risk	Reaktif, Proaktif, Agresif	Gassner (2010)
Bulanık AHP	Emniyet, Bakım Yatırımı, Üretim Kaybı, Fizibilite	Düzeltilici, Zaman Bazlı Önleyici, Durum Bazlı Kestirimci	Ghosh & Roy (2010)
Bulanık VIKOR	İş Mükemmelliği / Ekonomik Faktörler, Sosyal/İnsani Faktörler, Çevresel Faktörler	Önleyici, Arıza Bazlı, Güvenilirlik Merkezli, Durum Bazlı, Toplam Üretken	Nezami & Yildirim (2013)
Bulanık WSA, TOPSIS	Güvenlik, Katma Değer, Maliyet, Uygulanabilirlik, Diğer (Süre ve Deneyim)	Önleyici, Düzeltilici, Durum Tabanlı, Kestirimci	Görener (2013)
Bulanık ANP, TOPSIS, ELECTRE	Güvenlik, Katma Değer, Maliyet, Uygunluk, Teknik	Düzeltilici, Periyodik, Duruma Dayalı, Revizyon	Akgönül, Özcan, & Eren (2021)
ANP, ELECTRE.III	Emniyet, Maliyet, Güvenilirlik, Uygulanabilirlik, Fizibilite, Fayda	Reaktif, Önleyici, Durum Bazlı, Fırsatçı	Carpitella et al. (2021)
Tip-2 Bulanık AHP, TOPSIS	Maliyet, Emniyet, Fayda, Fizibilite	Düzeltilici, Zaman Bazlı Önleyici, Durum Bazlı Önleyici, Kestirimci	Mathew, Chakraborty, & Ryan (2020)
Bulanık AHP, Bulanık WASPAS	Maliyet, Ulaşılabilirlik, Risk, Fayda	Düzeltilici, Kestirimci, Durum Bazlı, Güvenilirlik Merkezli, Önleyici	Bakhat & Rajaa (2020)

**Tablo 3.1. (devamı)**

AHP	Emniyet, Maliyet, Fayda, Fizibilite	Düzeltilici, Zaman Bazlı Önleyici, Durum Bazlı, Kestirimci	Fazlollahtabar & Yousefpoor (2008)
AHP, COPRAS, Bulanık Kümeler	Maliyet, Ulaşılabilirlik, Risk, Fayda	Fırsatçı, Durum Bazlı, Arıza Bazlı, Önleyici, Planlı	Fouladgar, Yazdani- Chamzini, Lashgari, Zavadskas, & Turskis (2012)

Bu araştırma sonucu özetlenecek olursa;

- En çok kullanılan yöntemler; AHP ve TOPSIS
- En çok kullanılan kriterler; maliyet, emniyet, fayda ve uygulanabilirlik
- En çok kullanılan alternatifler; düzeltici bakım, önleyici bakım, durum bazlı bakım ve kestirimci bakım olarak öne çıkmaktadır.

Bu araştırma kapsamında yapılan literatür taramasında, Syan & Ramsoobag (2019) ve Shafiee (2015)'nin kendi araştırmalarında bulduğu sonuçlarla benzer sonuçlar elde edilmiştir.

## BÖLÜM IV

### METODOLOJİ

Bu çalışmada bakım planlama stratejisi seçiminde kriter ağırlıklarının hesaplanması için Aralık Değerli Pisagor Bulanık AHP (IVPF-AHP), alternatiflerin kriterler açısından değerlendirmede Aralık Değerli Pisagor Bulanık WASPAS (IVPF-WASPAS) yöntemleri kullanılacaktır. Bu bölümde öncelikle karar verme, çok kriterli karar verme, bulanık mantık, pisagor bulanık kümeler, bulanık çok kriterli karar verme kavramları ile klasik AHP ve klasik WASPAS yöntemleri genel hatlarıyla izah edildikten sonra klasik AHP ve WASPAS yöntemlerine bulanık pisagor sayılar uyarlanarak geliştirilen ve bu çalışmanın metodolojisi oluşturan IVPF-AHP ve IVPF-WASPAS yöntemleri açıklanacaktır.

#### 4.1. Karar Verme

Türk Dil Kurumu “karar” kavramını, herhangi bir iş, sorun veya durum hakkında düşünülerek, tartışılarak verilen kesin yargı olarak tanımlamaktadır (Türk Dil Kurumu, 2021). Gerek özel hayatta, gerekse iş hayatında her zaman karar vermemiz gereken durumlar ile karşı karşıya kalırız. İşletme yöneticileri de işletmenin faaliyetlerini sürdürebilmesi için, işletmenin hedefleri doğrultusunda sürekli kararlar almak durumunda kalırlar. (Can, 2021). Bir karar verilirken farklı sayılarda karar vericiler, amaçlar ve kriter olabilir. Buradan hareketle karar verme kavramı şu şekilde tanımlanabilir:

- Karar verme; bir veya birden fazla kişinin, bir ya da birden fazla amacı gerçekleştirmek için iki veya daha fazla alternatif arasından seçim, sıralama veya sınıflandırma yapma sürecidir (Atan & Şenol, 2020).

## **4.2. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV)**

İşletmeler karar alırken en az maliyetli ve en çok fayda sağlayacak çözümleri bulmayı amaçlar. Bu amaca ulaşmak için hedefler ve kriterler ortaya konulur. Kriter sayısı arttıkça karar almak da zorlaşır. Kriterler arasından hangilerinin diğerlerine göre daha önemli veya önemsiz olduğunu belirlemek karar alırken karşımıza çıkan en büyük zorluklardandır. Çok kriterin olduğu bu gibi durumlarda en doğru kararı verebilmek için çeşitli karar verme teknikleri geliştirilmiştir (Lezki, 2019).

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) metotları tercih edilen alternatifi belirlemek, alternatifleri sınıflandırmak ve/veya alternatifleri öznel bir tercihe göre sıralamak için tasarlanmıştır. ÇÇKV birden fazla çelişkili kriterin olduğu durumlarda insanların tercihlerine göre karar vermelerine yardımcı olan yöntemler için kullanılan bir ifadedir (Mardani, Jusoh, MD Nor, et al., 2015).

ÇKKV az veriye dayalı basit yaklaşımlardan, kriterler ve karar verici tercihleri hakkında detaylı bilgiler de içeren matematiksel simülasyonlara ve programlama tekniklerine dayalı yöntemlere kadar birçok değişik metot içerebilir. Literatürde bu konuda birçok metot bulunmasına rağmen hala belirli durumlarda uygun yöntem seçme ile ilgili sorunlar ortaya çıkmaktadır (Edmundas Kazimieras Zavadskas, Zakarevicius, & Antucheviciene, 2006).

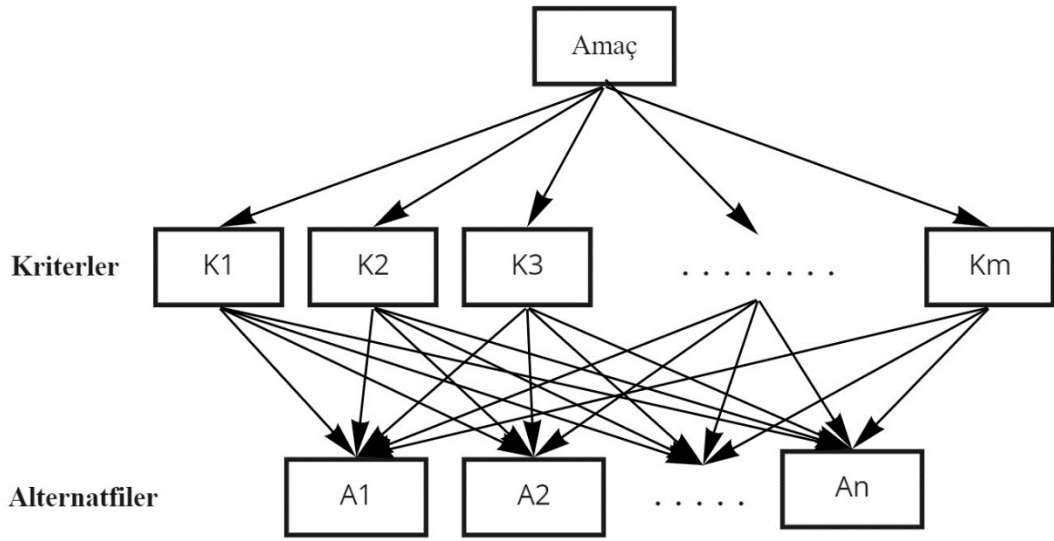
Çok kriterli karar vermede kullanılan çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları; AHP, ANP, TOPSIS, DEMATEL, ELECTRE, VIKOR, PROMETHEE, COPRAS, SWARA, WASPAS, MOORA, MACBETH, ARAS, MAUT, OCRA, Veri Zarflama Analizi, Gri İlişkisel Analiz, UTA, PAPRIKA, EATWIOS, Oyun Teorisi, Hedef Programlama, DRSA olarak sıralanabilir (M. B. Yıldırım & Önder, 2021).

### **4.2.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)**

Çok kriterli karar verme problemlerinde sıkça kullanılan bu yöntem 1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), karar vericilerin değerlendirmelerini toplamak için seçeneklerin ikili kıyaslanması

yöntemini kullanır. Özellikle karmaşık karar verme problemlerinde değerlendirmeyi kolaylaştırabilmek için önce ana kriterler belirlenir, sonrasında her ana kriter kendi içinde alt kriterlerden oluşan küçük yapılara ayrılır. Bu küçük yapılar kendi içinde değerlendirildikten sonra elde edilen veriler birleştirilerek sonuca ulaşılmaya çalışılır (Çebi & İlbahar, 2021).

AHP modeli genel olarak çok seviyeli bir hiyerarşik yapıda eşleştirilmiş karşılaştırmalar yaparak oransal ölçekler üreten bir ölçüm yöntemidir. Bu yöntemi uygulamak için öncelikle probleme ait hiyerarşik yapının oluşturulması gerekir. Hiyerarşik yapı genel hatlarıyla Şekil 4.1'de gösterildiği üzere; ulaşmak istenilen amaç, çözüm için potansiyel alternatifler ve bu alternatiflerin arasından seçim yapmak için kullanılacak kriterler olmak üzere üç seviyeden oluşur (Atan & Şenol, 2020; Saaty & Vargas, 2001).



**Şekil 4.1. Üç Seviyeli Hiyerarşi Yapısı**

Kaynak: Saaty & Vargas, 2001

Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapılır. Karar vericilerin bu karşılaştırmaları yapması için 1 ile 9 arasındaki tek rakamlardan oluşan önem ölçeğinden yararlanılır. Bu ölçeğin dilsel ifadelerdeki karşılığı Saaty & Vargas, (2001) tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir.

- 1- Karşılaştırılan iki kriter eşit önemde
  - 3- Karşılaştırılan kriterlerden biri diğerine göre az derecede daha önemli
  - 5- Karşılaştırılan kriterlerden biri diğerine göre kuvvetli derecede daha önemli
  - 7- Karşılaştırılan kriterlerden biri diğerine göre çok kuvvetli derecede daha önemli
  - 9- Karşılaştırılan kriterlerden biri diğerine göre aşırı derecede daha önemli
- 2, 4, 6, 8 ara değerler olup, gerektiğinden yukarıdaki tek sayılı değerlendirmelerin ara değerlendirmeleri olarak kullanılabilir.

AHP yönteminde önem ölçęęi aracılığıyla elde edilen veriler kullanılarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Eğer  $i$ . kriterin,  $j$ . kritere göre önemi karar vericiler tarafından  $x$  olarak tanımlanmışsa, karşılaştırma matrisi oluştururken  $j$ . kriterin,  $i$ . kritere göre önemi de  $1/x$  olarak alınmaktadır (Paksoy, Yapıcı Pehlivan, & Özceylan, 2013). Eşitlik 1’de  $n$  adet kriterin ( $k$ ) olduğu karşılaştırma matris yapısı “ $K$ ” matrisi ile gösterilmiştir.

$$K = \begin{bmatrix} k_{11} = 1 & k_{12} & \cdot & \cdot & k_{1n} \\ k_{21} = \frac{1}{k_{12}} & k_{22} = 1 & \cdot & \cdot & k_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ k_{n1} = \frac{1}{k_{1n}} & k_{n2} = \frac{1}{k_{2n}} & \cdot & \cdot & k_{nn} = 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra kriterlerin göreceli öncelik ağırlıkları hesaplanarak, normalize edilmiş karar matrisi oluşturulur. Bunun için matrisin her elemanı yer aldığı sütunun toplamına bölünür. Eşitlik 2’de normalize edilmiş karar matris yapısı “ $C$ ” matrisi ile gösterilmiştir. Bir sonraki adımda; Eşitlik 3’de gösterildiği üzere, elde edilen normalize karar matrisi  $C$ ’nin satır ortalamaları alınarak kriterlerin öncelik ağırlık vektörü “ $W$ ” elde edilir. Böylece her kriterin önem ağırlığı bulunmuş olur (Atan & Şenol, 2020).

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} = \frac{k_{11}}{\sum_{i=1}^n k_{i1}} & c_{12} = \frac{k_{12}}{\sum_{i=1}^n k_{i2}} & \cdot & \cdot & c_{1n} = \frac{k_{1n}}{\sum_{i=1}^n k_{in}} \\ c_{21} = \frac{k_{21}}{\sum_{i=1}^n k_{i1}} & c_{22} = \frac{k_{22}}{\sum_{i=1}^n k_{i2}} & \cdot & \cdot & c_{2n} = \frac{k_{2n}}{\sum_{i=1}^n k_{in}} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ c_{n1} = \frac{k_{n1}}{\sum_{i=1}^n k_{i1}} & c_{n2} = \frac{k_{n2}}{\sum_{i=1}^n k_{i2}} & \cdot & \cdot & c_{nn} = \frac{k_{nn}}{\sum_{i=1}^n k_{in}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$W = \begin{pmatrix} w_1 = \frac{\sum_{j=1}^n c_{1j}}{n} \\ w_2 = \frac{\sum_{j=1}^n c_{2j}}{n} \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n = \frac{\sum_{j=1}^n c_{nj}}{n} \end{pmatrix} \quad (3)$$

#### 4.2.2. WASPAS Yöntemi

WASPAS Yöntemi (Weighted Aggregated Sum Product Assessment - Bütünleşik Ağırlıklı Toplam ve Çarpım Yöntemi) 2012 yılında Zavadskas, Turskis ve Antucheviciene tarafından geliştirilen ve alternatiflerin sıralanmasında kullanılan bir yöntemidir. WSM (Weighted Sum Model - Ağırlıklı Toplam Modeli) ve WPM (Weighted Product Model – Ağırlıklı Çarpım Modeli)'nin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur (Atan & Şenol, 2020). İki farklı modeli entegre eden bu yöntem daha doğru sonuçlar elde etmeyi hedeflemektedir (Baki, 2021).

WSM alternatifleri kriterler açısından değerlendirmede sıkça kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olup, Eşitlik 4'de belirtilen ağırlıklı toplam formülü ile hesaplanmaktadır (E. K. Zavadskas, Turskis, & Antucheviciene, 2012).

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j \quad (4)$$

$Q_i^{(1)}$  =WSM'ye göre alternatif  $i$ 'nin toplam göreceli önemi

$n$  =karar kriteri

$x_{ij}$  =alternatifin ilgili kritere göre performans değeri

$w_j$  =kriterin ağırlığı

Kriterler problemin yapısına bağlı olarak fayda veya maliyet tabanlı olabilir. Eğer kriter fayda tabanlı ise kriterin maksimize edilmesi, maliyet tabanlı ise minimize edilmesi gerekir (Atan & Şenol, 2020). Bunun için Eşitlik 5 ve 6 kullanılır. Bu çalışmada kriterler karar vericileri tarafından fayda temelli olarak değerlendirilmekte olup, maksimize edilmesi gerekecektir.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (5)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (6)$$

WPM'de benzer şekilde alternatifleri kriterler açısından değerlendiren bir yöntem olup, alternatiflerin göreceli önemini belirlemede ağırlıklı çarpımı esas alan Eşit 7'yi kullanmaktadır (E. K. Zavadskas et al., 2012).

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (7)$$

$Q_i^{(2)}$  =WPM'ye göre alternatif  $i$ 'nin toplam göreceli önemi

$n$  =karar kriteri

$x_{ij}$  =alternatifin ilgili kritere göre performans değeri

$w_j$  =kriterin ağırlığı

WASPAS ise WSM ve WPM yöntemlerinin birleşimi olup, Eşitlik 8’de belirtilen formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} \quad (8)$$

$(0 < \lambda < 1)$

Bu eşitlikteki  $\lambda$  katsayısı 0 ve 1 arasında değer alabilmektedir.  $\lambda=0$  olduğunda WASPAS yöntemi WPM yöntemine,  $\lambda=1$  olduğunda WSM yöntemine dönüşmüş olur (E. K. Zavadskas et al., 2012).

### 4.3. Bulanık Mantık ve Bulanık Kümeler

Mantık kavramı ilk olarak Aristo tarafından ortaya atılmıştır. Aristo’ya göre olaylar iki değerlidir. Bir önerme ya doğrudur, ya da yanlıştır. Matematiksel olarak modellemeler 1 ve 0 üzerine kurulur. Ancak gerçek hayattaki problemler bu kadar net ve kesin ifade edilemez. Günlük dilde kullanılan “kısmen doğru”, “hemen hemen doğru” gibi ifadelerin iki değerli mantıkta karşılığı bulunmamaktadır (Kabak & Erdebilli, 2021).

Karmaşık sistemlerde bilgiler ve olaylar her zaman kesin ve net olmayabilir. Kesin matematik ve olasılık kuramı, belirsizliğin olduğu ve kesin sınırların olmadığı problemleri modellemede yeterli olmamaktadır. Bulanık küme kuramı, gerçek hayattaki belirsizliklerinin matematiksel olarak modellenmesini sağlayan ve bir kümeye kısmi üyelik kavramı üzerine kurulu olan bir yöntemdir (Paksoy et al., 2013). Günlük hayattaki belirsizlik içeren bu dilsel ifadeler bulanık sayılara dönüştürülür ve matematiksel hesaplamalar bu bulanık sayılar üzerinden gerçekleştirilir.

Bulanık küme teorisi 1965 yılında Lotfi Aliasker Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Bu teoriye göre küme elemanları, kümeye ait olma dereceleri ile ifade edilmektedir. Bu üye olma derecesi üyelik fonksiyonu ile tanımlanmakta ve her elemanın üyelik derecesi 0 ile 1 arasında değer alabilmektedir (Peng & Selvachandran, 2019). Klasik küme teorisinde bir eleman ya kümenin elemanıdır, ya da değildir. Bulanık küme teorisinde ise küme elemanlarının üyelik derecesi vardır. Küme elemanı kümeye tam

üye ise 1, hiç üye değilse 0 değerini alır. Ancak üyelik durumu hakkında kesin bir yargı yok ve belirsizlik varsa, 0 ile 1 arasında değişen bir üyelik derecesi ile tanımlanır (Altaş, 1999).

Şekil 4.2.'de “Siyah Renkli Hücreler” kümesi için klasik küme gösterimi bulunmaktadır. Küme elemanlarının siyah renkli olup olmadıkları net şekilde belli olup, siyah renkli hücreler ( $x_1, x_3, x_4, x_6, x_9, x_{10}, x_{11}$ ) kümeye tam dahil anlamında 1 değerini, beyaz renkli hücreler ( $x_2, x_5, x_7, x_8$ ) kümeye dahil değil anlamında 0 değerini almıştır.

Üyelik Derecesi	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1
Küme Elemanları	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11

**Şekil 4.2. Klasik Küme Gösterimi - Siyah Renkli Hücreler Kümesi**

Şekil 4.3'de ise hücreler net şekilde siyah veya beyaz olarak tanımlanamamakta ve belirsizlikler bulunmaktadır. Bu durumda kısmi üyelik kavramı devreye girmektedir. Küme elemanlarının “Siyah Renkli Hücreler” kümesine üyelikleri 0 ile 1 arasında değişen derecelendirmeler ile tanımlanmaktadır.  $y_2, y_3, y_4$  elemanları siyah renge daha yakın olduklarından 0.9, 0.8, 0.7 gibi daha yüksek üyelik dereceleri ile tanımlanırken;  $y_8, y_9, y_{10}$  elemanları beyaz renge yakın olduklarından 0.3, 0.2, 0.1 gibi daha düşük üyelik dereceleri ile tanımlanmıştır.

Üyelik Derecesi	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
Küme Elemanları	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11

**Şekil 4.3. Bulanık Küme Gösterimi - Siyah Renkli Hücreler Kümesi**

Zadeh'in önerdiği klasik bulanık küme teorisi zamanla geliştirilerek, yıllar içinde farklı araştırmacılar tarafından farklı bulanık küme uzantıları önerilmiştir. Başlıca bulanık küme uzantıları Tablo 4.1'de gösterilen şekilde özetlenebilir (Kabak & Erdebili, 2021; Kahraman, Öztaysi, & Onar, 2016).

**Tablo 4.1. Bulanık Küme Uzantıları**

Tarih	Araştırmacı	Bulanık Küme Tipi
1965	Zadeh, L.A.	Klasik Bulanık Kümeler (Ordinary Fuzzy Sets)
1975	Zadeh, L.A.	Tip-2 Bulanık Kümeler (Type-2 Fuzzy Sets)
1975	Zadeh, L.A.; Sambuc, R.; Jahn, K.U.	Aralık Değerli Bulanık Kümeler (Interval- Valued Fuzzy Sets)
1986	Atanassov, K.T.	Sezgisel Bulanık Kümeler (Intuitionistic Fuzzy Sets)
1986	Yager, R.R.	Bulanık Çoklu Kümeler (Fuzzy Multisets)
1998	Smarandache, F.A.	Nötrosofik Kümeler (Neutrosophic Sets)
2007	Garibaldi, J.M., Ozen,T.	Durağan Olmayan Bulanık Kümeler (Nonstationary Fuzzy Sets)
2010	Torra, V.	Tereddütlü Bulanık Kümeler (Hesitant Fuzzy Sets)
2013	Yager, R.R.	Pisagor Bulanık Kümeler (Pythagorean Fuzzy Sets)
2014	Cuong, B.C.	Resimli Bulanık Kümeler (Picture Fuzzy Sets)
2017	Yager, R.R.	Q Seviyeli Ortoper Bulanık Kümeler (Q-Rung Orthopair Fuzzy Sets)
2019	Kutlu Gündoğdu, F., Kahraman, C.	Küresel Bulanık Kümeler (Spherical Fuzzy Sets)
2020	Senapati, T., Yager, R.R.	Fermatean Bulanık Kümeler (Fermatean Fuzzy Sets)

Kaynak: Kabak & Erdebilli, 2021; Kahraman et al., 2016

#### 4.3.1. Pisagor Bulanık Kümeler

Atanassov, bulanık küme teorisini genişleterek Sezgisel Bulanık Küme teorisini geliştirmiştir. Sezgisel bulanık küme teorisinde üye olma derecesi yanında, üye

olmama derecesini de verilmektedir. Böylece verilerin bulanık değerleri daha kapsamlı şekilde tanımlanmaktadır. Bu teoriye göre  $\mu$  bir elementin üye olma derecesi,  $\nu$  ise üye olmama derecesi olmak üzere;  $0 \leq \mu + \nu \leq 1$  eşitliğinin sağlanması gerekir. Yager, sezgisel bulanık küme teorisinin uzantısı olarak Pisagor Bulanık Küme teorisini önermiştir. Bu teoriye göre ise;  $0 \leq \mu^2 + \nu^2 \leq 1$  eşitliğinin sağlanma şartı aranmaktadır (Peng & Yang, 2016).

Peng & Yang (2016), bulanık kümeleri aralık değerli olarak ifade etmiştir. Buna göre üye olma ve üye olmama dereceleri üst ve alt sınır aralıklarında tanımlanmaktadır. Aralık değerli pisagor bulanık kümeler (IVPFS – Interval Valued Pythagorean Fuzzy Set) olarak isimlendirilen bu kümelere ait başlıca tanımlamalar ve eşitlikler aşağıda verilmiştir (Ilbahar, Cebi, & Kahraman, 2020; Peng & Yang, 2016).

**Tanım 1 :**  $\tilde{p}$ ,  $X$  evreninde bulunan aralık değerli bir pisagor bulanık küme (IVPFS) ve  $x \in X$  olsun.  $x$  elementinin üye olma derecesi  $\mu$  ve üye olmama derecesi  $\nu$ ,  $L$  ve  $U$  ise bu derecelerin alt ve üst sınırlarını ifade ediyorsa,  $\tilde{p}$  kümesi Eşitlik 9’da belirtilen şekilde tanımlanır.

$$\tilde{p} = \{ \langle x, [\mu_{\tilde{p}}^L(x), \mu_{\tilde{p}}^U(x)], [\nu_{\tilde{p}}^L(x), \nu_{\tilde{p}}^U(x)] \rangle; x \in X \} \quad (9)$$

**Tanım 2 :**  $\tilde{p} = ([\mu^L, \mu^U], [\nu^L, \nu^U])$ ,  $\tilde{p}_1 = ([\mu_1^L, \mu_1^U], [\nu_1^L, \nu_1^U])$  ve  $\tilde{p}_2 = ([\mu_2^L, \mu_2^U], [\nu_2^L, \nu_2^U])$  şeklinde üç adet IVPFS olsun.  $\lambda > 0$  olmak üzere pisagor bulanık sayılar ile yapılacak matematiksel işlemler Eşitlik 10, 11, 12, 13, 14, 15’te belirtilen formüller ile tanımlanır.

$$\tilde{p}_1 \oplus \tilde{p}_2 = \left( \left[ \sqrt{(\mu_1^L)^2 + (\mu_2^L)^2 - (\mu_1^L)^2 (\mu_2^L)^2}, \sqrt{(\mu_1^U)^2 + (\mu_2^U)^2 - (\mu_1^U)^2 (\mu_2^U)^2} \right], [\nu_1^L \nu_2^L, \nu_1^U \nu_2^U] \right) \quad (10)$$

$$\tilde{p}_1 \otimes \tilde{p}_2 = \left( [\mu_1^L \mu_2^L, \mu_1^U \mu_2^U], \left[ \sqrt{(\nu_1^L)^2 + (\nu_2^L)^2 - (\nu_1^L)^2 (\nu_2^L)^2}, \sqrt{(\nu_1^U)^2 + (\nu_2^U)^2 - (\nu_1^U)^2 (\nu_2^U)^2} \right] \right) \quad (11)$$

$$\lambda \tilde{p} = \left( \left[ \sqrt{1 - (1 - (\mu^L)^\lambda)^\lambda}, \sqrt{1 - (1 - (\mu^U)^\lambda)^\lambda} \right], [(\nu^L)^\lambda, (\nu^U)^\lambda] \right) \quad (12)$$

$$\tilde{p}^\lambda = \left( [(\mu^L)^\lambda, (\mu^U)^\lambda], \left[ \sqrt{1 - (1 - (\nu^L)^\lambda)^\lambda}, \sqrt{1 - (1 - (\nu^U)^\lambda)^\lambda} \right] \right) \quad (13)$$

$$\tilde{p}_1 \oplus \tilde{p}_2 \oplus \tilde{p}_3 = \tilde{p}_1 \oplus \tilde{p}_3 \oplus \tilde{p}_2 \quad (14)$$

$$\tilde{p}_1 \otimes \tilde{p}_2 \otimes \tilde{p}_3 = \tilde{p}_1 \otimes \tilde{p}_3 \otimes \tilde{p}_2 \quad (15)$$

**Tanım 3 :**  $\tilde{p}_i = ([\mu_i^L, \mu_i^U], [\nu_i^L, \nu_i^U]) (i = 1, 2, \dots, n)$  şeklinde  $n$  adet IVPFS olsun.  $w_i$  her kümenin vektör ağırlığı ve  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$  olmak üzere, aralık değerli pisagor bulanık kümelerin aritmetik ortalaması olan IVPFWA (Interval-Valued Pythagorean Weighted Average) ve geometrik ortalaması olan IVPFWG (Interval-Valued Pythagorean Weighted Geometric) kümeleri Eşitlik 16 ve 17 yardımı ile elde edilir.

$$\begin{aligned} & IVPFWA(\tilde{p}_1, \tilde{p}_2, \dots, \tilde{p}_n) \\ &= \left( \left[ \sum_{i=1}^n w_i \mu_i^L, \sum_{i=1}^n w_i \mu_i^U \right], \left[ \sum_{i=1}^n w_i \nu_i^L, \sum_{i=1}^n w_i \nu_i^U \right] \right) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} & IVPFWG(\tilde{p}_1, \tilde{p}_2, \dots, \tilde{p}_n) \\ &= \left( \left[ \prod_{i=1}^n (\mu_i^L)^{w_i}, \prod_{i=1}^n (\mu_i^U)^{w_i} \right], \left[ \prod_{i=1}^n (\nu_i^L)^{w_i}, \prod_{i=1}^n (\nu_i^U)^{w_i} \right] \right) \end{aligned} \quad (17)$$

### 4.3.2. Durulaştırma

Bulanık kümeler ve bulanık sayılar ile yapılan matematiksel işlemlerden yine bulanık küme ve bulanık sayılardan oluşan bir sonuç elde edilmiş olur. Karar vericilerin net sonuçlar üzerinden karar vermesi beklendiği için elde edilen bu bulanık sonuçlardan kesin bir değer elde edilmesi gerekir. Bulanık sayıların tekrar kesin değerlere dönüştürülme işlemine durulaştırma denir (Paksoy et al., 2013).

#### **4.4. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme**

ÇKKV alternatifler arasından en uygun seçeneği bulma sürecidir. Karar vericiler bu alternatiflerden birini seçerken birden çok kriteri göz önünde bulundururlar. ÇKKV sürecinde karar vericilerinden alternatifleri kriterlere göre, kriterleri de birbirlerine göre değerlendirmeleri ve derecelendirmeleri istenir. Günlük hayatta kararlar genellikle kesin olmayan bilgilerin ve belirsizliklerin olduğu, karar vericilerin kafa karışlığı yaşayabileceği ortamlarda verilmekte olup, kriter derecelerini belirtirken kesin yargılar yerine “önemli”, “önemsiz”, “daha önemli” gibi bulanık ifadeler kullanılmaktadır (Dalalah, Hayajneh, & Batieha, 2011).

Günlük hayatta kararlar verilirken genellikle doğal dil kullanılır. Doğal dilde kullanılan kelimelerin anlamları her zaman net ve kesin olmayabilir. Karar vericiler farklı kişilik yapıları ve öznel algılarından kaynaklı olarak bazen aynı kelimeleri kullanarak bile farklı değerlendirmelerde bulunuyor olabilirler. Bu dilsel değişkenliklerden kaynaklanan bulanıklığı giderebilmek için bulanık sayılardan faydalanılır (Mardani, Jusoh, & Zavadskas, 2015).

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin bulanık sayılar ve bulanık küme teorisi kullanılarak modellenmesiyle bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada bu yöntemlerden Aralık Değerli Pisagor Bulanık AHP ve Aralık Değerli Pisagor Bulanık WASPAS yöntemleri kullanılmış olup, yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

##### **4.4.1. Aralık Değerli Pisagor Bulanık AHP (IVPF-AHP) Yöntemi**

IVPF-AHP yöntemi, aralık değerli pisagor bulanık sayıların klasik AHP yöntemine uyarlanması ile geliştirilmiştir. Çok kriterli karar verme problemlerinde matematiksel işlemlere başlamadan önce genellikle birden fazla karar vericinin yaptıkları değerlendirmeler tek bir matris haline getirilir (İlbarhar & Kahraman, 2018a). Uygulama adımları aşağıda verilmiştir (İlbarhar, Karaslan, Cebi, & Kahraman, 2018; Karaslan, İlbarhar, & Kahraman, 2019).

**Adım 1:** Uzman görüşleri dilsel ifadeler ile alınıp, değerlendirme sonuçları Tablo 4.2.'ye göre pisagor bulanık sayılara dönüştürülür.

**Tablo 4.2. IVPF-AHP İçin Kriter Karşılaştırma Ölçeği**

Dilsel İfadeler		IVPF Sayılar			
		$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^U$
CCZ	Çok çok önemsiz	0	0	0.9	1
CZ	Çok önemsiz	0.1	0.2	0.8	0.9
NZ	Nispeten önemsiz	0.2	0.35	0.65	0.8
BZ	Biraz önemsiz	0.35	0.45	0.55	0.65
E	Eşit önemde	0.45	0.55	0.45	0.55
B	Biraz önemli	0.55	0.65	0.35	0.45
O	Oldukça önemli	0.65	0.8	0.2	0.35
C	Çok önemli	0.8	0.9	0.1	0.2
CC	Çok çok önemli	0.9	1	0	0
EE	Kesinlikle eşit	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965

Kaynak: İlbahar et al., 2018

**Adım 2:** Her uzmana ait pisagor bulanık sayılardan oluşan matrislerin geometrik ortalamaları (PFWPG) alınarak  $R = (r_{jt})_{m \times n}$  birleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

**Adım 3:** Üye olma ve üye olmama fonksiyonlarının alt ve üst sınırları arasındaki fark matrisi  $D = (d_{ij})_{m \times m}$  Eşitlik 18 ve 19 aracılığıyla bulunur.

$$d_{ij}^L = (\mu_{ij}^L)^2 - (v_{ij}^U)^2 \quad (18)$$

$$d_{ij}^U = (\mu_{ij}^U)^2 - (v_{ij}^L)^2 \quad (19)$$

**Adım 4:** Aralıklı çarpım matrisi  $S = (s_{ij})_{m \times m}$  Eşitlik 20 ve 21 aracılığıyla bulunur.

$$s_{ij}^L = \sqrt{1000^{d_{ij}^L}} \quad (20)$$

$$s_{ij}^U = \sqrt{1000^{d_{ij}^U}} \quad (21)$$

**Adım 5:** Eşitlik 22 kullanılarak  $r_{jt}$  'nin belirsizlik değeri  $H = (h_{ij})_{m \times m}$  bulunur.

$$h_{ij} = 1 - ((\mu_{ij}^U)^2 - (\mu_{ij}^L)^2) - ((v_{ij}^U)^2 - (v_{ij}^L)^2) \quad (22)$$

**Adım 6:** Normalleştirilmemiş ağırlık matrisi  $T = (\tau_{ij})_{m \times m}$  yi bulmak için belirsizlik değerleri ile  $S = (s_{ij})_{m \times m}$  matrisi çarpılır. Bunun için Eşitlik 23 kullanılır.

$$\tau_{ij} = \left( \frac{s_{ij}^L + s_{ij}^U}{2} \right) h_{ij} \quad (23)$$

**Adım 7:** Kriterlerin normalize edilmiş ağırlıkları olan  $w_i$  değerlerini bulmak için Eşitlik 24 kullanılır.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m w_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij}} \quad (24)$$

#### 4.4.1.1. AHP Tutarlılık

Kriterlerin ikili karşılaştırılması öznel bir süreç olduğundan karar vericiler karşılaştırma yaparken abartılı, birbirleriyle çelişen ve tutarsız değerlendirmeler yapmış olabilir. Klasik AHP yönteminde yapılan karşılaştırmaların tutarlı olup olmadıklarını test etmek için Tutarlılık Oranı –CR hesaplanır, bulunan değer 0.1'den küçükse karşılaştırma matrisi tutarlı olarak değerlendirilir (Önder & Önder, 2021).

Aralık değerli bulanık AHP yöntemleri için literatürde kabul görmüş bir tutarlılık hesaplama yöntemine rastlanılmamıştır. Karasan et al. (2019) yaptıkları çalışmada bulanık AHP’de kullandıkları ölçeği, Saaty’nin klasik AHP ölçeği ile eşleştirmiş ve sonrasında klasik AHP tutarlılık oranı hesaplama yöntemini uygulamışlardır. Klasik AHP’de kullanılan ölçekte kesin ve nokta değerlendirmeler yapılırken, bulanık AHP’de kullanılan ölçek değerlendirmeleri aralık değerli olarak yapılmaktadır. Bu durum iki ölçeğin eşleştirilmesini zorlaştırmaktadır. Leung & Cao (2000), bulanık AHP’deki değerlendirmelerin aralık değerli olarak yapılmasından dolayı tutarsızlık değerinin klasik AHP’ye göre daha yüksek olacağını ve karar vericilerden klasik tutarlılık oranını sağlayacak değerlendirmeler yapmalarını beklemenin gerçekçi olmadığını belirtmektedir.

Kwong & Bai (2003) ise bulanık sayılar kullanılarak oluşturulan karşılaştırma matrislerinin önce durulaştırılarak kesin sayılara dönüştürülmesini, sonrasında ise klasik AHP yönteminin uygulanmasını önermiştir. Fakat klasik AHP yönteminde karşılaştırma matrisinin  $i, j = 1, 2, \dots, n$  olmak üzere;  $i = j$  iken  $a_{ij} = 1$  şartını ve  $i \neq j$  iken  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  şartını sağlaması gerekir. IVPF-AHP yönteminin kullandığı ikili karşılaştırma matrisi bu şartı sağlamamaktadır.

Literatürdeki bulanık AHP’de tutarlılık oranı hesaplanması ile ilgili çok farklı yaklaşımlar olmasına karşın, genel kabul görmüş bir yöntem bulunmamasından dolayı IVPS-AHP yöntemi için tutarlılık testi yapılmamıştır.

#### **4.4.2. Aralık Değerli Pisagor Bulanık WASPAS (IVPF-WASPAS) Yöntemi**

IVPF-WASPAS yöntemi, aralık değerli pisagor bulanık sayılarının klasik WASPAS yöntemine uyarlanması sonucu oluşturulmuş olup, uygulama adımları aşağıda verilmiştir (İlbarhar & Kahraman, 2018a).

**Adım 1:** Uzman görüşleri dilsel ifadeler ile alınıp, değerlendirme sonuçları Tablo 4.2.’ye göre pisagor bulanık sayılara dönüştürülür.

**Tablo 4.3. IVPF-WASPAS İçin Alternatif Değerlendirme Ölçeği**

Dilsel İfadeler		IVPF Sayılar			
		$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^U$
CCI	Çok çok iyi	0.8	0.9	0.1	0.2
CI	Çok iyi	0.7	0.8	0.2	0.3
I	İyi	0.6	0.7	0.3	0.4
O	Orta	0.5	0.6	0.3	0.5
K	Kötü	0.3	0.4	0.6	0.7
CK	Çok kötü	0.2	0.3	0.7	0.8
CCK	Çok çok kötü	0.1	0.2	0.8	0.9

Kaynak: Peng & Yang, 2016

**Adım 2:** Her uzmana ait pisagor bulanık sayılardan oluşan matrislerin aritmetik ortalamaları (IVPFWA) Eşitlik 16 kullanılarak alınır ve  $\tilde{x}_{ij}$  karar matrisi oluşturulur.

**Adım 3:** Öncelikle WASPAS denklemlerinden Eşitlik 5 kullanılarak  $\tilde{x}_{ij}$  karar matrisinin normalize edilmesi gerekir. Bu denklemdeki  $\max_i \tilde{x}_{ij}$  değerini bulabilmek için  $\tilde{x}_{ij}$  karar matrisinin durulaştırılması gerekir. Durulaştırma için Eşitlik 25 kullanılır.

$$p = \frac{\mu^L + \mu^U + \sqrt{1 - (v^L)^2} + \sqrt{1 - (v^U)^2} + \mu^L \mu^U - \sqrt{\sqrt{1 - (v^L)^2} \sqrt{1 - (v^U)^2}}}{4} \quad (25)$$

Durulaştırma işlemi sonrası  $\frac{1}{\max_i \tilde{x}_{ij}}$  değeri bulunur ve Eşitlik 12 kullanılarak  $\tilde{x}_{ij}$  matrisi ile çarpılır. Böylece  $\bar{\tilde{x}}_{ij}$  normalize karar matrisi elde edilmiş olur.

**Adım 4:** WASPAS yönteminin ilk bölümü olan Ağırlık Toplam Matrisi  $\tilde{Q}_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{\tilde{x}}_{ij} w_j$  denklemi ile oluşturulur. Buradaki matematiksel işlemler Eşitlik 10, 12 ve 14 kullanılarak yapılır. ( $w_j$  = Pisagor Bulanık AHP'den elde edilen kriter ağırlıkları)

**Adım 5:** WASPAS yönteminin ikinci bölümü olan Ağırlık Çarpım Matrisi  $\tilde{Q}_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\tilde{x}_{ij})^{w_j}$  denklemi kullanılarak oluşturulur. Buradaki matematiksel işlemler Eşitlik 11, 13 ve 15 kullanılarak yapılır.

**Adım 6:** WASPAS yönteminin üçüncü bölümü olan Sonuç Matrisi Eşitlik 8 kullanılarak oluşturulur. Buradaki matematiksel işlemler Eşitlik 10 ve 12 kullanılarak yapılır. ( $\lambda=0.5$  alınır)

**Adım 7:** Pisagor bulanık sayılardan oluşan  $\tilde{Q}_i$  matrisi Eşitlik 25 yardımıyla durulaştırılır ve en yüksek değere sahip olan alternatif, en uygun alternatif olarak belirlenmiş olur.



## BÖLÜM V

### VAKA ANALİZİ: TURKUVAZ MATBAA'DA BAKIM STRATEJİSİ SEÇİMİ

#### 5.1. Turkuvaz Matbaa Hakkında

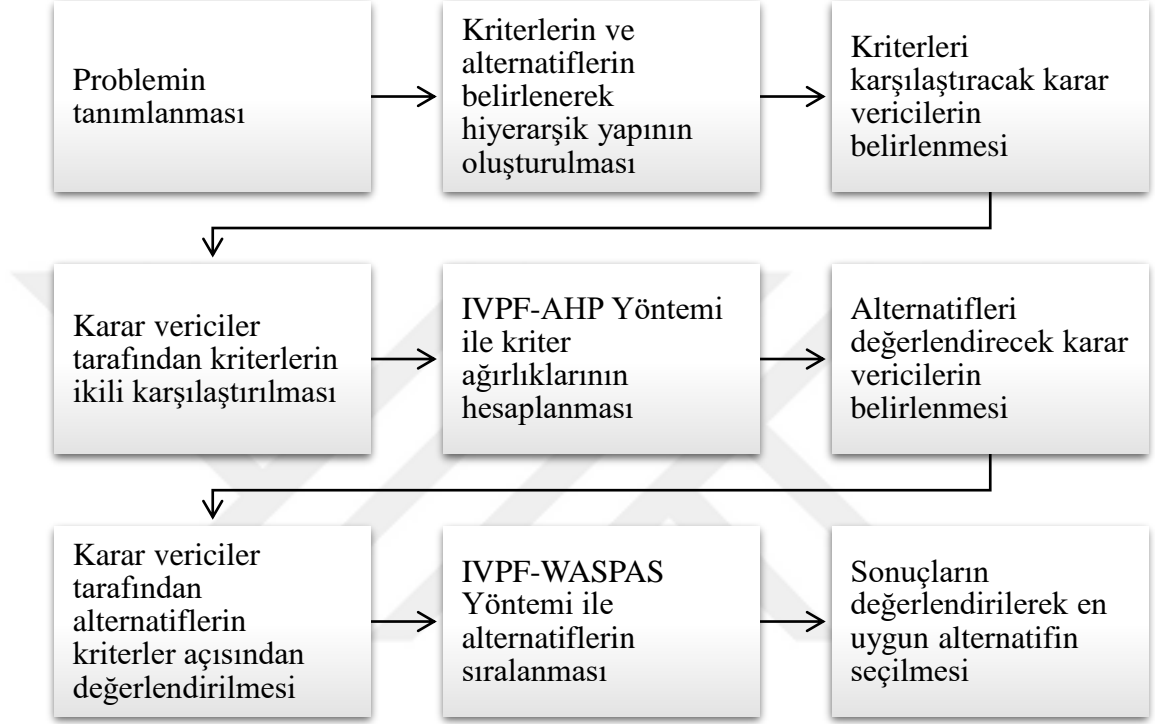
Turkuvaz Medya Grubu; görsel medya, işitsel medya, yazılı medya, dijital medya, kitap yayıncılığı ve perakende sektöründe faaliyet gösteren bir medya grubudur. Turkuvaz Matbaa ise Turkuvaz Medya Grubu şirketlerinden olup, Avrupa'daki en büyük baskı tesislerine sahip kuruluşlardan biridir. 1985 yılından beri gazete, dergi, kitap, insert, broşür gibi ürünlerin basımına yönelik faaliyet göstermektedir. Dergi, kitap ve insert baskıları İstanbul tesislerinde; gazete baskıları İstanbul, Ankara, Adana ve Trabzon'da bulunan tesislerde yapılmaktadır. Bu tesislerde Sabah, Takvim, Fotomaç, Yeni Asır, Daily Sabah gibi gazetelerin yanı sıra; Sofra, Para, Şamdan, Muhit, Otohaber, Minika gibi birçok dergi ve kitabın da baskıları yapılmaktadır.

İstanbul tesisleri 2020 yılında yeni matbaa binasına taşınmış ve bu taşınma ile beraber gazete matbaa makine parkı da yeni nesil baskı makineleri ile yenilenmiştir. Yaklaşık 35.000 m<sup>2</sup> kapalı alana sahip olan İstanbul baskı tesislerinde 8 adet 2500 kVA'lık trafo gücü bulunmakta olup, 5 adet jeneratör ile de enerji hattı yedeklenmiştir. Tesis aynı anda 6 farklı gazete baskısı yapabilecek alt yapıya sahiptir. Gazete baskı makineleri Almanya, Fransa ve İngiltere üretimi olup, tesis kapasitesi saate 300.000 gazeteye kadar çıkarılabilmektedir.

Turkuvaz Matbaa Tesislerinde basılan Sabah Gazetesi, Dünya Gazeteler Birliği WAN-IFRA (World Association of Newspapers and News Publishers) tarafından yapılan renk ve baskı kalitesi yarışmasında 4 kez üst üste Renk Kalite Kulübü – ICQC'ye (International Color Quality Club) girme başarı göstermiştir. Bu ödül ile Turkuvaz Matbaa dünyanın en iyi gazete matbaaları arasındaki yerini almıştır (Matbaa & Teknik, n.d.; WAN-IFRA, n.d.).

## 5.2. Problemin Tanımlanması

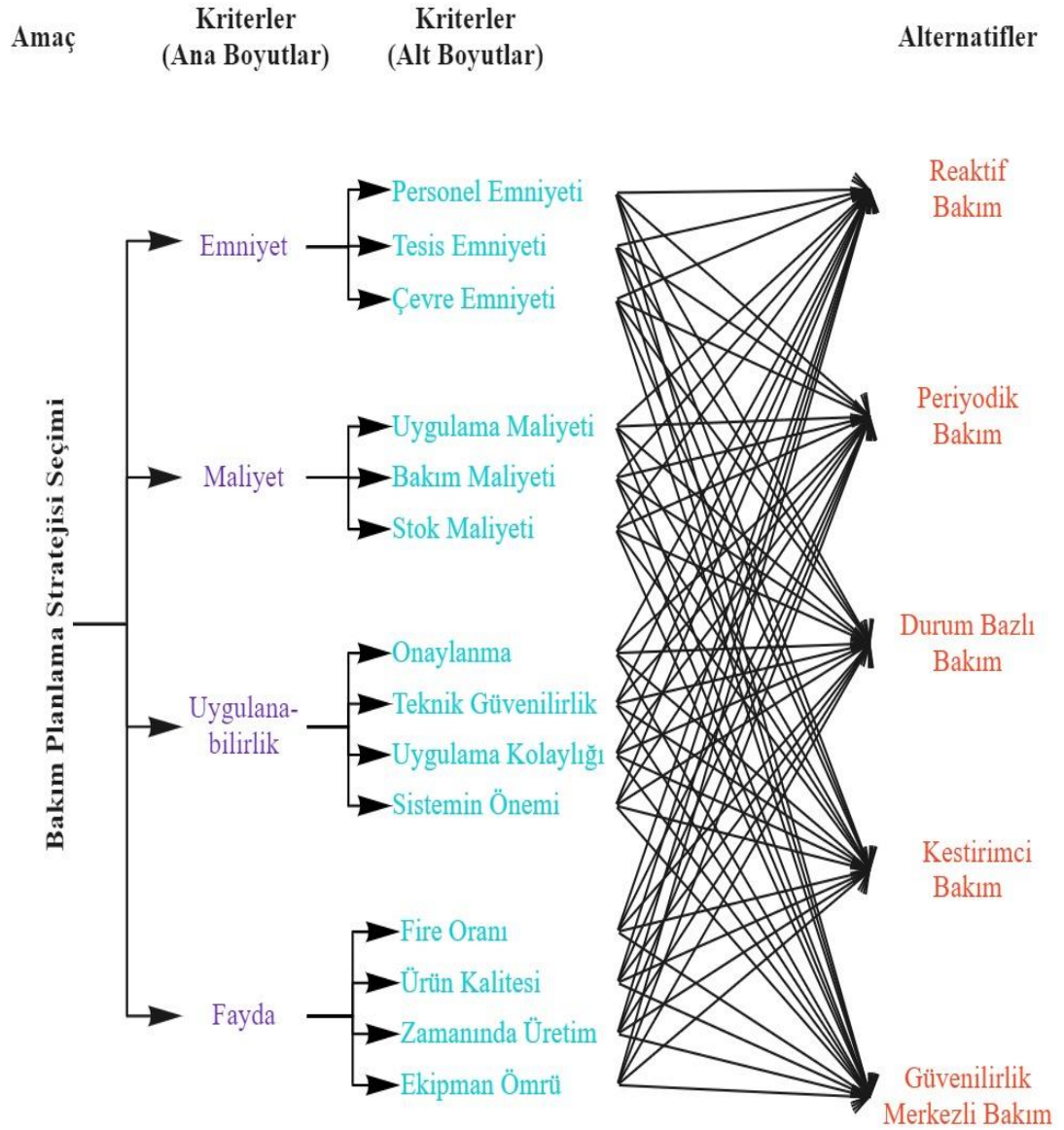
Bu çalışma Türkiye'nin ve Avrupa'nın en büyük baskı tesislerinden biri olan Turkuvaz Matbaa'nın gazete baskı süreçlerine en uygun bakım planlama stratejisini seçmek amacıyla yapılmıştır. Uygulama adımları Şekil 5.1.'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Uygulama Adımları

## 5.3. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Literatür araştırması ve uzman görüşleri sonrası 4 ana boyut altında toplam 14 adet kriter ve 5 adet alternatif belirlenmiş, oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Hiyerarşik Yapı

### 5.3.1. Kriterler

Kriterler ile ilgili detaylar aşağıda açıklanmıştır.

#### 5.3.1.1. Emniyet (E)

Birçok sektör için emniyet en üst düzeyde önem taşımakta olup, oluşabilecek arıza, hata gibi istenmeyen durumlar personele, tesise ve çevreye zarar verebilir (Gedikli & Cayir Ervural, 2020; Kirubakaran & Ilankumaran, 2016). İş sağlığı ve güvenliği ile

evre güvenliğinin sağlanması konusundaki yasal mevzuatlar gereği de işletmelerin uygulaması gerekli zorunlulukları ve sorumlulukları bulunmaktadır. Bakımın zamanında yapılmaması, eksik veya yanlış bakım uygulanması, ilgili mevzuatlara uyulmama gibi durumlar güvenlik riskleri oluşturduğundan, emniyet kriteri bakım stratejisi seçiminin en önemli boyutlarından biridir.

#### **5.3.1.1.1. Personel Emniyeti (E1)**

Oluşabilecek herhangi bir arıza veya kaza personelin yaralanmasına, sakat kalmasına ve hatta ölmesine sebep olabilir. Seçilecek bakım stratejisine göre oluşacak risk değişecektir.

#### **5.3.1.1.2. Tesis Emniyeti (E2)**

Arıza sonucu işletmedeki herhangi bir ekipman, makine veya tesis ciddi zarar görebilir. Arıza veya hata kaynaklı su basması, yangın çıkması gibi durumlar örnek olarak verilebilir.

#### **5.3.1.1.3. evre Emniyeti (E3)**

Üretim prosesleri sonucu ortaya çıkabilecek tehlikeli atıklar veya sistemdeki herhangi bir arıza veya hata sonucu meydana gelebilecek gaz sızıntısı, kimyasal sızıntısı gibi riskler çevreye ve doğaya zarar verebilir.

#### **5.3.1.2. Maliyet (M)**

İşletmeler rekabet avantajı elde edebilmek için ürün maliyetlerini düşürmek ister. Bakım maliyetleri de ürün maliyetine etki eden unsurlardan biridir. Farklı bakım stratejileri farklı bakım maliyetleri doğuracaktır. Seçilecek bakım stratejinden doğacak bakım maliyeti doğrudan ürün maliyetini etkileyecektir (Kirubakaran & Ilankumaran, 2016; teyaka, teyaka, & Köse, 2018). Bu yüzden bakım stratejisi seçiminde maliyet kriteri oldukça önemli bir boyuttur.

#### **5.3.1.2.1. Uygulama Maliyeti (M1)**

Seçilecek bakım stratejisini uygulayabilmek için yazılım, donanım, eğitim gibi bazı hazırlıkların ve yatırımların yapılması gerekir. Bakımı uygulamayabilmek için gerekli bu altyapı maliyetlerinin bakım stratejisi seçiminde dikkate alınması gerekir.

#### **5.3.1.2.2. Bakım Maliyeti (M2)**

İlgili bakımın yapılırken gerekli olacak insan gücü, servis ihtiyacı, parça ihtiyacı gibi bakımın gerçekleştirilmesi sırasında doğacak maliyetlerdir.

#### **5.3.1.2.3. Stok Maliyeti (M3)**

Bakım gerçekleştirebilmek için gerekli parça ve ekipmanların bakım sırasında üretimi aksatmayacak bir süre içerisinde temin edilmesi gerekir. Bu süre zarfında tedariki mümkün olamayacak parçaların depoda stok olarak bulundurulması gerekir. Fazla veya gereksiz yedek parça depolanması maliyetleri olumsuz yönde etkileyeceği gibi, gerekli parçanın zamanında temin edilememesi üretimin aksamasına da neden olabilir.

#### **5.3.1.3. Uygulanabilirlik (U)**

Her bakım stratejisi her işletme için aynı seviyede uygun ve uygulanabilir olmayabilir. İşletmenin bulunduğu sektör, işletmenin yapısı, yönetim anlayışı, kaynaklar, ihtiyaçlar gibi kriterler göz önünde bulundurularak karar verilmesi gerekir (Ghosh & Roy, 2010).

##### **5.3.1.3.1. Onaylanma (U1)**

Uygulanacak bakım stratejisinin uygulayıcılar (çalışanlar) ve karar vericiler (yöneticiler) tarafından kabul görmesi ve benimsenmesi gerekir.

##### **5.3.1.3.2. Teknik Güvenilirlik (U2)**

Uygulanacak bakım stratejisinin ilgili ekipmanın sorunsuz çalışabilmesi bakımından teknik anlamada ne kadar güvenilir olduğu önemlidir. Teknik ve teknolojik olarak

gerekli altyapısı olmayan, halen gelişme sürecinde olan bakım stratejileri hem uygulamada zorluklar, hem de ekipmanın güvenilirliği açısından sorunlar oluşturabilir (Gedikli et al., 2021; Görener, 2013).

#### **5.3.1.3.3. Uygulama Kolaylığı (U3)**

Planlanan bakım stratejisini uygulayabilmek her zaman çok kolay yada mümkün olmayabilir. Bakım için gerekecek süre, ekipmana erişim kolaylığı, personelin bakımı uygulayabilme konusundaki yeterliliği gibi kriterler bazı bakım stratejilerinin uygulanmasında zorluklar yaşatabilir.

#### **5.3.1.3.4. Sistemin Önemi (U4)**

Bir işletmedeki tüm sistemler eşit önemde değildir. Ekipmanların prosesteki önemi, ekipmanın değeri, oluşturabileceği emniyet riski gibi faktörler uygulanacak bakım stratejisi seçimini de etkileyecektir.

#### **5.3.1.4. Fayda (F)**

Bakım faaliyetlerinin başarısı bakım maliyetlerinin yanında işletmeye sağladığı fayda ile de değerlendirilmelidir. Bazı stratejiler, yüksek bakım maliyeti gerektirmelerine rağmen sağlayacağı endirekt katma değer ile toplam işletme maliyeti açısından çok daha avantajlı olabilir.

##### **5.3.1.4.1. Fire Oranı (F1)**

Bazı sistemler çalışmaya başladıkları anda direkt satılabilir ürün üretmeye başlayamazlar. Örneğin gazete baskı sürecinde, üretime başlandığında renk ve ayarların oturması için bir süreç gerektirmektedir. Bu süre boyunca makinelerinden çıkan ürünler henüz satılabilir seviyede değildir ve bozuk gazete olarak ayrılır. Makinelerin istenmeyen her duruş sonrası tekrar üretime girmesi tekraren bozuğa gazete ayrılmasına ve üretim maliyetlerinin artmasına neden olur. Doğru seçilmiş bir bakım stratejisi makine plansız duruş sayısını azaltacak ve fire oranlarını düşürecektir.

#### **5.3.1.4.2. Ürün Kalitesi (F2)**

Ekipman performansları yeterli düzeyde olmayan sistemlerde üretilen ürünlerin kalitesi de istenilen düzeyde olamayabilir. Kalite ile rekabet edilebilirlik arasındaki pozitif ilişki göz önüne alındığından bakım stratejisi seçiminde ilgili yöntemin ekipman performansı ve dolayısıyla ürün kalite üzerindeki etkisi de dikkate alınması gereken bir kriterdir.

#### **5.3.1.4.3. Zamanında Üretim (F3)**

İstenmeyen ve plansız duruş sayıları ve sürelerinin artması, üretimde aksamalara ve gecikmelere neden olacaktır. Özellikle gazete baskısı için üretiminin zamanında tamamlanabilmesi sürecin vazgeçilmez bir koşuludur. Bu yüzden mümkünse üretim sürecinde hiç arıza yaşanmaması, arıza olması durumunda ise en kısa sürede sistemin tekrar çalışır duruma getirilmesi hedeflenmektedir.

#### **5.3.1.4.4. Ekipman Ömrü (F4)**

Doğru ve düzgün yapılmış bir bakım, ekipmanların ve sistemlerin faydalı ömür sürelerinin uzatacaktır. Özellikle değiştirme maliyeti yüksek olan ekipmanlarından maksimum sürede faydalanmak isteneceğinden, bakım stratejisi seçiminde ilgili bakım faaliyetlerinin ekipman ömrüne olan etkisi de değerlendirilmelidir.

### **5.4. Karar Vericilerin Belirlenmesi**

Kriterlerin ikili karşılaştırılması için Turkuvaz Matbaa çalışanlarından oluşan bir karar vericiler grubu oluşturulmuştur. Kriter karşılaştırması yapılacak karar vericiler belirlenirken bakım-onarım bölümünün yanı sıra, kriter yapısına uygun olacak şekilde süreçlerin ve karar mekanizmalarının içinde yer alan üretim, kalite ve maliyet gibi ilgili diğer birim yöneticilerinin de karar vericiler arasında yer almasına dikkat edilmiştir. Kriter karşılaştırması yapacak birinci karar vericiler grubu; içlerinde teknik müdür, işletme müdürü, kalite müdürü, maliyet muhasebe müdürü, elektrik ve mekanik bakım mühendislerinin olduğu dokuz üyeden oluşmaktadır. Alternatifleri

değerlendirecek ikinci karar verici grup ise bakım konusunda tecrübesi ve bakım stratejilerini konusunda bilgisi olan beş bakım mühendisinden oluşturulmuştur.

### 5.5. IVPF-AHP Yönteminin Uygulanması

Birinci grup karar vericilerden kriterleri Tablo 4.2.'de belirtilen dilsel ifadeleri kullanarak ikili karşılaştırmaları istenmiştir. Karar vericilerin değerlendirmeleri alınmadan önce konuyu doğru aktarmak adına karar vericiler ile yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiş olup; kriterler, kullanılan skala ve hesaplama yöntemi hakkında bilgilendirmeler yapılmıştır. Örnek olarak karar vericinin birinin (KV1) verdiği yanıtların oluşturdukları karşılaştırma matrisleri Tablo 5.1.'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.1. KV1 İçin AHP Kriter Karşılaştırma Matrisleri**

Ana Kriterler	Emniyet	Maliyet	Uygulanabilirlik	Fayda
Emniyet	EE	B	B	B
Maliyet	BZ	EE	O	CZ
Uygulanabilirlik	BZ	NZ	EE	NZ
Fayda	BZ	C	O	EE

Emniyet Alt Kriterler	Personel Emniyeti	Tesis Emniyeti	Çevre Emniyeti
Personel Emniyeti	EE	B	B
Tesis Emniyeti	BZ	EE	B
Çevre Emniyeti	BZ	BZ	EE

Maliyet Alt Kriterler	Uygulama Maliyeti	Bakım Maliyeti	Stok Maliyeti
Uygulama Maliyeti	EE	B	B
Bakım Maliyeti	BZ	EE	BZ
Stok Maliyeti	BZ	B	EE

Uygulanabilirlik Alt Kriterler	Onaylanma	Teknik Güvenilirlik	Uygulama Kolaylığı	Sistemin Önemi
Onaylanma	EE	E	E	NZ
Teknik Güvenilirlik	E	EE	E	BZ
Uygulama Kolaylığı	E	E	EE	NZ
Sistemin Önemi	O	B	O	EE

**Tablo 5.1. (devamı)**

Fayda Alt Kriterler	Fire Oranı	Ürün Kalitesi	Zamanında Üretim	Ekipman Ömrü
Fire Oranı	EE	E	NZ	B
Ürün Kalitesi	E	EE	BZ	B
Zamanında Üretim	O	B	EE	C
Ekipman Ömrü	BZ	BZ	CZ	EE

Karar vericilerin dilsel ifadeler ile yaptığı değerlendirmeler toplandıktan sonra Bölüm 4.4.1. de açıklanan IVPF-AHP adımları sırasıyla uygulanmıştır.

**Adım 1:** Her karar vericiden dilsel ifadeler şeklinde toplanan veriler Tablo 4.2. yardımıyla IVPF sayılara dönüştürülmüş, örnek olarak KV1'nin "Emniyet" alt kriteri için yaptığı dilsel değerlendirmenin aralık değerli pisagor bulanık sayılara dönüştürülmüş hali Tablo 5.2.'de verilmiştir.

**Tablo 5.2. KV1 İçin Emniyet Alt Kriterine Ait IVPF Değerler**

	E1	E2	E3
E1	[0.1965, 0.1965], [0.1965, 0.1965]	[0.55, 0.65], [0.35, 0.45]	[0.55, 0.65], [0.35, 0.45]
E2	[0.35, 0.45], [0.55, 0.65]	[0.1965, 0.1965], [0.1965, 0.1965]	[0.55, 0.65], [0.35, 0.45]
E3	[0.35, 0.45], [0.55, 0.65]	[0.35, 0.45], [0.55, 0.65]	[0.1965, 0.1965], [0.1965, 0.1965]

**Adım 2:** Tüm karar vericilerin değerlendirmeleri birleştirilerek, ana kriterler ve alt kriterlere ait  $R = (r_{jt})_{m \times n}$  birleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisleri Tablo 5.3., Tablo 5.4., Tablo 5.5., Tablo 5.6. ve Tablo 5.7.'de ayrı ayrı gösterilmiştir.

**Tablo 5.3. Ana Kriterler İçin Birleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi - R**

	E				M				U				F			
	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$
E	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.5 27	0.6 47	0.3 12	0.4 48	0.5 56	0.6 71	0.3 07	0.4 33	0.4 54	0.5 77	0.3 79	0.5 05
M	0.3 12	0.4 48	0.5 27	0.6 47	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.5 41	0.6 56	0.3 14	0.4 41	0.3 06	0.4 32	0.5 26	0.6 38
U	0.3 07	0.4 33	0.5 56	0.6 71	0.3 14	0.4 41	0.5 41	0.6 56	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.2 97	0.4 24	0.4 95	0.6 17
F	0.3 79	0.5 05	0.4 54	0.5 77	0.5 26	0.6 38	0.3 06	0.4 32	0.4 95	0.6 17	0.2 97	0.4 24	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97

**Tablo 5.4. Emniyet Alt Kriteri İçin Birleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi - R**

	E1				E2				E3			
	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$
E1	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.5 38	0.6 38	0.3 60	0.4 60	0.5 36	0.6 41	0.3 48	0.4 58
E2	0.3 60	0.4 60	0.5 38	0.6 38	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.4 74	0.5 80	0.3 95	0.5 08
E3	0.3 48	0.4 58	0.5 36	0.6 41	0.3 95	0.5 08	0.4 74	0.5 80	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97

**Tablo 5.5. Maliyet Alt Kriteri İçin Birleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi - R**

	M1				M2				M3			
	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$
M1	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.4 77	0.5 82	0.3 98	0.5 10	0.4 09	0.5 38	0.4 22	0.5 44
M2	0.3 98	0.5 10	0.4 77	0.5 82	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.3 29	0.4 47	0.5 23	0.6 29
M3	0.4 22	0.5 44	0.4 09	0.5 38	0.5 23	0.6 29	0.3 29	0.4 47	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97

**Tablo 5.6. Uygulanabilirlik Alt Kriteri İçin Birleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi - R**

	U1				U2				U3				U4			
	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$
U1	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.3 08	0.4 45	0.4 56	0.5 86	0.4 07	0.5 36	0.4 20	0.5 42	0.2 70	0.4 00	0.4 88	0.6 16
U2	0.4 56	0.5 86	0.3 08	0.4 45	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.5 75	0.6 93	0.2 44	0.3 76	0.3 68	0.4 94	0.4 64	0.5 88
U3	0.4 20	0.5 42	0.4 07	0.5 36	0.2 44	0.3 76	0.5 75	0.6 93	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.2 15	0.3 40	0.6 19	0.7 31
U4	0.4 88	0.6 16	0.2 70	0.4 00	0.4 64	0.5 88	0.3 68	0.4 94	0.6 19	0.7 31	0.2 15	0.3 40	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97

**Tablo 5.7. Fayda Alt Kriteri İçin Birleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi - R**

	F1				F2				F3				F4			
	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$
F1	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.2 97	0.4 30	0.5 54	0.6 74	0.3 09	0.4 26	0.5 71	0.6 81	0.4 07	0.5 36	0.4 20	0.5 42
F2	0.5 54	0.6 74	0.2 97	0.4 30	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.4 77	0.5 79	0.3 79	0.4 90	0.5 28	0.6 52	0.2 51	0.3 79
F3	0.5 71	0.6 81	0.3 09	0.4 26	0.3 79	0.4 90	0.4 77	0.5 79	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.6 41	0.7 49	0.0 00	0.0 00
F4	0.4 20	0.5 42	0.4 07	0.5 36	0.2 51	0.3 79	0.5 28	0.6 52	0.0 00	0.0 00	0.6 41	0.7 49	0.1 97	0.1 97	0.1 97	0.1 97

**Adım 3:** Ana kriterler ve alt kriterlere ait  $D = (d_{ij})_{m \times m}$  fark matrisleri Tablo 5.8., Tablo 5.9., Tablo 5.10., Tablo 5.11. ve Tablo 5.12.'de gösterilen şekilde ayrı ayrı hesaplanmıştır.

**Tablo 5.8. Ana Kriterler İçin Fark Matrisi - D**

	E		M		U		F	
	$d^L$	$d^U$	$d^L$	$d^U$	$d^L$	$d^U$	$d^L$	$d^U$
E	0.000	0.000	0.077	0.322	0.122	0.356	-0.049	0.190
M	-0.322	-0.077	0.000	0.000	0.098	0.332	-0.314	-0.091
U	-0.356	-0.122	-0.332	-0.098	0.000	0.000	-0.293	-0.065
F	-0.190	0.049	0.091	0.314	0.065	0.293	0.000	0.000

**Tablo 5.9. Emniyet Alt Kriteri İçin Fark Matrisi - D**

	E1		E2		E3	
	$d^L$	$d^U$	$d^L$	$d^U$	$d^L$	$d^U$
E1	0.000	0.000	0.078	0.278	0.078	0.290
E2	-0.278	-0.078	0.000	0.000	-0.033	0.180
E3	-0.290	-0.078	-0.180	0.033	0.000	0.000

**Tablo 5.10. Maliyet Alt Kriteri İçin Fark Matrisi - D**

	M1		M2		M3	
	$d^L$	$d^U$	$d^L$	$d^U$	$d^L$	$d^U$
M1	0.000	0.000	-0.033	0.181	-0.128	0.112
M2	-0.181	0.033	0.000	0.000	-0.287	-0.073
M3	-0.112	0.128	0.073	0.287	0.000	0.000

**Tablo 5.11. Uygulanabilirlik Alt Kriteri İçin Fark Matrisi - D**

	U1		U2		U3		U4	
	$d^L$	$d^U$	$d^L$	$d^U$	$d^L$	$d^U$	$d^L$	$d^U$
U1	0.000	0.000	-0.249	-0.010	-0.128	0.111	-0.307	-0.078
U2	0.010	0.249	0.000	0.000	0.189	0.420	-0.210	0.029
U3	-0.111	0.128	-0.420	-0.189	0.000	0.000	-0.488	-0.267
U4	0.078	0.307	-0.029	0.210	0.267	0.488	0.000	0.000

**Tablo 5.12. Fayda Alt Kriteri İçin Fark Matrisi - D**

	F1		F2		F3		F4	
	$d^L$	$d^U$	$d^L$	$d^U$	$d^L$	$d^U$	$d^L$	$d^U$
F1	0.000	0.000	-0.367	-0.122	-0.368	-0.145	-0.128	0.111
F2	0.122	0.367	0.000	0.000	-0.012	0.192	0.135	0.362
F3	0.145	0.368	-0.192	0.012	0.000	0.000	0.411	0.562
F4	-0.111	0.128	-0.362	-0.135	-0.562	-0.411	0.000	0.000

**Adım 4:** Ana kriterler ve alt kriterlere ait  $S = (s_{ij})_{m \times m}$  aralıklı çarpım matrisleri Tablo 5.13., Tablo 5.14., Tablo 5.15., Tablo 5.16. ve Tablo 5.17.'de gösterilen şekilde ayrı ayrı hesaplanmıştır.

**Tablo 5.13. Ana Kriterler İçin Aralıklı Çarpım Matrisi - S**

	E		M		U		F	
	$s^L$	$s^U$	$s^L$	$s^U$	$s^L$	$s^U$	$s^L$	$s^U$
E	1.000	1.000	1.303	3.036	1.524	3.422	0.843	1.925
M	0.329	0.767	1.000	1.000	1.404	3.150	0.338	0.731
U	0.292	0.656	0.317	0.712	1.000	1.000	0.363	0.799
F	0.520	1.186	1.368	2.959	1.252	2.754	1.000	1.000

**Tablo 5.14. Emniyet Alt Kriteri İçin Aralıklı Çarpım Matrisi - S**

	E1		E2		E3	
	$s^L$	$s^U$	$s^L$	$s^U$	$s^L$	$s^U$
E1	1.000	1.000	1.307	2.608	1.308	2.721
E2	0.383	0.765	1.000	1.000	0.892	1.861
E3	0.367	0.764	0.537	1.121	1.000	1.000

**Tablo 5.15. Maliyet Alt Kriteri İçin Aralıklı Çarpım Matrisi – S**

	M1		M2		M3	
	$s^L$	$s^U$	$s^L$	$s^U$	$s^L$	$s^U$
M1	1.000	1.000	0.894	1.865	0.643	1.470
M2	0.536	1.119	1.000	1.000	0.371	0.777
M3	0.680	1.556	1.287	2.693	1.000	1.000

**Tablo 5.16. Uygulanabilirlik Alt Kriteri İçin Aralıklı Çarpım Matrisi – S**

	U1		U2		U3		U4	
	$s^L$	$s^U$	$s^L$	$s^U$	$s^L$	$s^U$	$s^L$	$s^U$
U1	1.000	1.000	0.424	0.965	0.643	1.469	0.346	0.763
U2	1.036	2.360	1.000	1.000	1.919	4.266	0.484	1.105
U3	0.681	1.554	0.234	0.521	1.000	1.000	0.185	0.397
U4	1.311	2.887	0.905	2.065	2.517	5.397	1.000	1.000

**Tablo 5.17. Fayda Alt Kriteri İçin Aralıklı Çarpım Matrisi – S**

	F1		F2		F3		F4	
	$s^L$	$s^U$	$s^L$	$s^U$	$s^L$	$s^U$	$s^L$	$s^U$
F1	1.000	1.000	0.282	0.657	0.281	0.607	0.643	1.469
F2	1.523	3.546	1.000	1.000	0.959	1.938	1.592	3.496
F3	1.648	3.562	0.516	1.043	1.000	1.000	4.139	6.956
F4	0.681	1.554	0.286	0.628	0.144	0.242	1.000	1.000

**Adım 5:** Ana kriterler ve alt kriterlere ait  $H = (h_{ij})_{m \times m}$  belirsizlik değerleri matrisleri Tablo 5.18., Tablo 5.19., Tablo 5.20., Tablo 5.21. ve Tablo 5.22.'de gösterilen şekilde ayrı ayrı hesaplanmıştır.

**Tablo 5.18. Ana Kriterler İçin Belirsizlik Değerleri Matrisi – H**

	E	M	U	F
	$h$	$h$	$h$	$h$
E	1.000	0.755	0.766	0.761
M	0.755	1.000	0.766	0.777
U	0.766	0.766	1.000	0.772
F	0.761	0.777	0.772	1.000

**Tablo 5.19. Emniyet Alt Kriteri İçin Belirsizlik Değerleri Matrisi – H**

	E1	E2	E3
	<i>h</i>	<i>h</i>	<i>h</i>
E1	1.000	0.800	0.788
E2	0.800	1.000	0.787
E3	0.788	0.787	1.000

**Tablo 5.20. Maliyet Alt Kriteri İçin Belirsizlik Değerleri Matrisi – H**

	M1	M2	M3
	<i>h</i>	<i>h</i>	<i>h</i>
M1	1.000	0.787	0.760
M2	0.787	1.000	0.786
M3	0.760	0.786	1.000

**Tablo 5.21. Uygulanabilirlik Alt Kriteri İçin Belirsizlik Değerleri Matrisi – H**

	U1	U2	U3	U4
	<i>h</i>	<i>h</i>	<i>h</i>	<i>h</i>
U1	1.000	0.762	0.761	0.771
U2	0.762	1.000	0.769	0.761
U3	0.761	0.769	1.000	0.779
U4	0.771	0.761	0.779	1.000

**Tablo 5.22. Fayda Alt Kriteri İçin Belirsizlik Değerleri Matrisi – H**

	F1	F2	F3	F4
	<i>h</i>	<i>h</i>	<i>h</i>	<i>h</i>
F1	1.000	0.755	0.777	0.761
F2	0.755	1.000	0.796	0.772
F3	0.777	0.796	1.000	0.850
F4	0.761	0.772	0.850	1.000

**Adım 6:** Ana kriterler ve alt kriterlere ait  $T = (\tau_{ij})_{m \times m}$  normalleştirilmemiş ağırlık matrisleri Tablo 5.23., Tablo 5.24., Tablo 5.25., Tablo 5.26. ve Tablo 5.27.'de gösterilen şekilde ayrı ayrı hesaplanmıştır

**Tablo 5.23. Ana Kriterler İçin Normalleştirilmemiş Ağırlık Matrisi – T**

	E	M	U	F
	$\tau$	$\tau$	$\tau$	$\tau$
E	1.000	1.639	1.894	1.053
M	0.414	1.000	1.744	0.415
U	0.363	0.394	1.000	0.448
F	0.649	1.681	1.545	1.000

**Tablo 5.24. Emniyet Alt Kriteri İçin Normalleştirilmemiş Ağırlık Matrisi – T**

	E1	E2	E3
	$\tau$	$\tau$	$\tau$
E1	1.000	1.566	1.587
E2	0.459	1.000	1.083
E3	0.446	0.653	1.000

**Tablo 5.25. Maliyet Alt Kriteri İçin Normalleştirilmemiş Ağırlık Matrisi – T**

	M1	M2	M3
	$\tau$	$\tau$	$\tau$
M1	1.000	1.086	0.803
M2	0.651	1.000	0.451
M3	0.850	1.565	1.000

**Tablo 5.26. Uygulanabilirlik Alt Kriteri İçin Normalleştirilmemiş Ağırlık Matrisi – T**

	U1	U2	U3	U4
	$\tau$	$\tau$	$\tau$	$\tau$
U1	1.000	0.529	0.804	0.428
U2	1.293	1.000	2.377	0.605
U3	0.850	0.290	1.000	0.227
U4	1.619	1.130	3.083	1.000

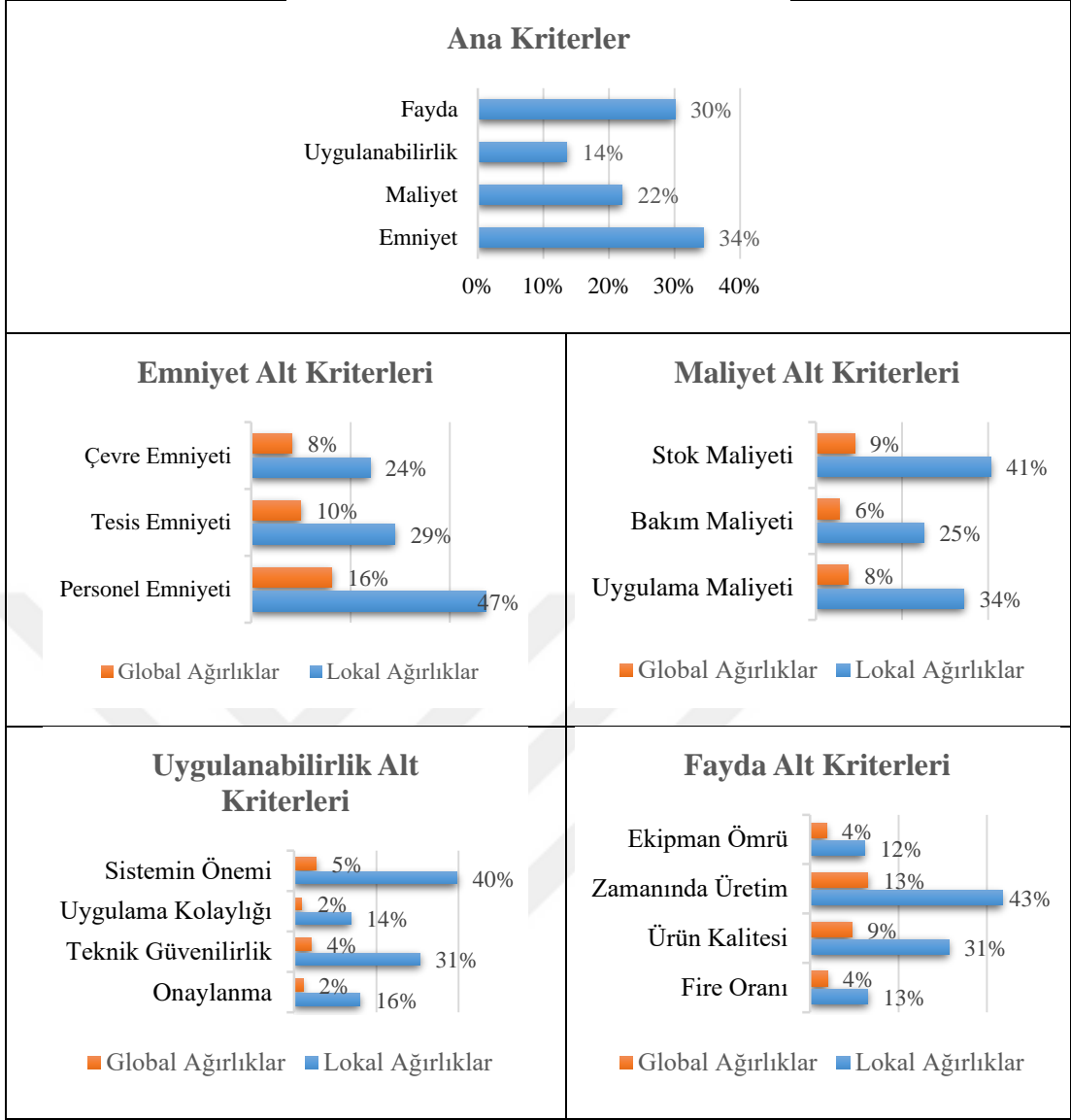
**Tablo 5.27. Fayda Alt Kriteri İçin Normalleştirilmemiş Ağırlık Matrisi – T**

	F1	F2	F3	F4
	$\tau$	$\tau$	$\tau$	$\tau$
F1	1.000	0.354	0.345	0.804
F2	1.915	1.000	1.153	1.965
F3	2.024	0.621	1.000	4.714
F4	0.850	0.353	0.164	1.000

**Adım 7:** Kriterlerin normalize edilmiş ağırlıkları olan  $w_i$  değerleri Tablo 5.28.'de gösterilen şekilde bulunmuş olur. Kriter ağırlıklarına ait grafikler Şekil 5.3.'de gösterilmiştir

**Tablo 5.28. Normalize Kriter Ağırlıkları - w**

		Lokal Ağırlıklar	Genel Ağırlıklar	
Emniyet	0.344	Personel Emniyeti	0.472	0.162
		Tesis Emniyeti	0.289	0.099
		Çevre Emniyeti	0.239	0.082
Maliyet	0.220	Uygulama Maliyeti	0.344	0.076
		Bakım Maliyeti	0.250	0.055
		Stok Maliyeti	0.406	0.089
Uygulanabilirlik	0.136	Onaylanma	0.160	0.022
		Teknik Güvenilirlik	0.306	0.042
		Uygulama Kolaylığı	0.137	0.019
		Sistemin Önemi	0.396	0.054
Fayda	0.300	Fire Oranı	0.130	0.039
		Ürün Kalitesi	0.313	0.094
		Zamanında Üretim	0.434	0.130
		Ekipman Ömrü	0.123	0.037



**Şekil 5.3. Kriter Ağırlıkları Grafiği**

Bu sonuçlara göre personel emniyeti %16'lık önem derecesi ile en önemli kriter olarak bulunurken, ikinci sırada %13'lük önem derecesi ile zamanında üretim kriteri çıkmıştır. Bunları sırasıyla tesis emniyeti, ürün kalitesi, yedek parça stok maliyeti, çevre emniyeti ve uygulama maliyeti kriterleri takip etmektedir.

### 5.6. IVPF-WASPAS Yönteminin Uygulanması

Bakım konusunda uzman olan ikinci grup karar vericilerden Tablo 4.3. de belirtilen dilsel ifadeleri kullanarak alternatifleri kriterler açısından değerlendirmeleri

istenmiştir. Örnek olarak karar vericinin birinin (KV1) yaptığı değerlendirme matrisi Tablo 5.29.'da gösterilmiştir.

**Tablo 5.29. KV1 İçin Alternatiflerin Kriterler Açısından Değerlendirilmesi**

	A1	A2	A3	A4	A5
E1	K	CCI	CI	CI	I
E2	K	CCI	CI	CI	I
E3	K	CCI	CI	CI	I
M1	CCI	CI	CK	CCK	O
M2	CCI	CCK	I	CCI	O
M3	CK	K	CI	CCI	O
O1	CI	CI	K	CK	O
O2	CK	CCI	CI	CCI	I
O3	I	I	K	CK	O
O4	CCK	CCI	CI	CCI	CI
F1	CK	CCI	CI	CI	I
F2	CK	CCI	CI	CI	I
F3	CK	CCI	CI	CCI	CI
F4	CK	CCI	I	I	O

Karar vericilerin dilsel ifadeler ile yaptığı değerlendirmeler toplandıktan sonra Bölüm 4.4.2. de açıklanan IVPF-WASPAS adımları sırasıyla uygulanmıştır.

**Adım 1:** Her karar vericiden dilsel ifadeler şeklinde toplanan veriler Tablo 4.3. yardımıyla IVPF sayılara dönüştürülmüştür.

**Adım 2:** : Tüm karar vericilerin değerlendirmeleri birleştirilmesiyle elde edilen  $\tilde{x}_{ij}$  karar matrisi Tablo 5.30'da gösterilmiştir.

**Tablo 5.30. WASPAS Karar Matrisi**

	A1				A2				A3			
	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$
E1	0.28	0.38	0.62	0.72	0.76	0.86	0.14	0.24	0.68	0.78	0.22	0.32
E2	0.26	0.36	0.64	0.74	0.72	0.82	0.18	0.28	0.66	0.76	0.24	0.34
E3	0.34	0.44	0.56	0.66	0.76	0.86	0.14	0.24	0.68	0.78	0.22	0.32
M1	0.80	0.90	0.10	0.20	0.66	0.76	0.24	0.34	0.38	0.48	0.52	0.62
M2	0.70	0.80	0.20	0.30	0.28	0.38	0.62	0.72	0.64	0.74	0.26	0.36
M3	0.38	0.48	0.52	0.62	0.36	0.46	0.54	0.64	0.58	0.68	0.32	0.42

**Tablo 5.30. (devamı)**

O1	0.66	0.76	0.24	0.34	0.60	0.70	0.30	0.40	0.54	0.64	0.36	0.46
O2	0.32	0.42	0.58	0.68	0.74	0.84	0.16	0.26	0.64	0.74	0.26	0.36
O3	0.62	0.72	0.28	0.38	0.50	0.60	0.40	0.50	0.50	0.60	0.40	0.50
O4	0.24	0.34	0.66	0.76	0.78	0.88	0.12	0.22	0.66	0.76	0.24	0.34
F1	0.18	0.28	0.72	0.82	0.72	0.82	0.18	0.28	0.70	0.80	0.20	0.30
F2	0.22	0.32	0.68	0.78	0.78	0.88	0.12	0.22	0.70	0.80	0.20	0.30
F3	0.24	0.34	0.66	0.76	0.78	0.88	0.12	0.22	0.68	0.78	0.22	0.32
F4	0.28	0.38	0.62	0.72	0.76	0.86	0.14	0.24	0.62	0.72	0.28	0.38
	A4				A5							
	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$				
E1	0.74	0.84	0.16	0.26	0.60	0.70	0.30	0.40				
E2	0.70	0.80	0.20	0.30	0.58	0.68	0.32	0.42				
E3	0.68	0.78	0.22	0.32	0.54	0.64	0.36	0.46				
M1	0.22	0.32	0.68	0.78	0.50	0.60	0.40	0.50				
M2	0.66	0.76	0.24	0.34	0.52	0.62	0.38	0.48				
M3	0.76	0.86	0.14	0.24	0.56	0.66	0.34	0.44				
O1	0.40	0.50	0.50	0.60	0.60	0.70	0.30	0.40				
O2	0.70	0.80	0.20	0.30	0.58	0.68	0.32	0.42				
O3	0.32	0.42	0.58	0.68	0.60	0.70	0.30	0.40				
O4	0.74	0.84	0.16	0.26	0.62	0.72	0.28	0.38				
F1	0.74	0.84	0.16	0.26	0.60	0.70	0.30	0.40				
F2	0.74	0.84	0.16	0.26	0.62	0.72	0.28	0.38				
F3	0.76	0.86	0.14	0.24	0.64	0.74	0.26	0.36				
F4	0.70	0.80	0.20	0.30	0.58	0.68	0.32	0.42				

**Adım 3:**  $\tilde{x}_{ij}$  karar matrisini normalize ederken kullanılacak  $\max_i \tilde{x}_{ij}$  değerini hesaplamak için yapılan durulaştırma işlemi ve bulunan  $\max_i \tilde{x}_{ij}$  değerleri Tablo 5.31.'de, normalize edilmiş karar matrisi  $\tilde{\tilde{x}}_{ij}$  ise Tablo 5.32'de gösterilen şekilde hesaplanmıştır.

**Tablo 5.31. Durulaştırılmış WASPAS Karar Matrisi**

	A1	A2	A3	A4	A5	Max
E1	0.377	0.814	0.738	0.795	0.664	0.814
E2	0.359	0.776	0.719	0.757	0.646	0.776
E3	0.430	0.814	0.738	0.738	0.609	0.814
M1	0.852	0.719	0.466	0.323	0.573	0.852
M2	0.757	0.377	0.701	0.719	0.591	0.757
M3	0.466	0.448	0.646	0.814	0.627	0.814
O1	0.719	0.664	0.609	0.483	0.664	0.719
O2	0.412	0.795	0.701	0.757	0.646	0.795

**Tablo 5.31 (devamı)**

O3	0.682	0.573	0.573	0.412	0.664	0.682
O4	0.341	0.833	0.719	0.795	0.682	0.833
F1	0.287	0.776	0.757	0.795	0.664	0.795
F2	0.323	0.833	0.757	0.795	0.682	0.833
F3	0.341	0.833	0.738	0.814	0.701	0.833
F4	0.377	0.814	0.682	0.757	0.646	0.814

**Tablo 5.32. WASPAS Normalize Edilmiş Karar Matrisi**

	A1				A2			
	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$
E1	0.309	0.418	0.556	0.668	0.808	0.899	0.089	0.173
E2	0.294	0.405	0.562	0.678	0.781	0.873	0.110	0.194
E3	0.374	0.482	0.490	0.600	0.808	0.899	0.089	0.173
M1	0.836	0.926	0.067	0.151	0.699	0.798	0.187	0.282
M2	0.768	0.861	0.119	0.204	0.320	0.432	0.532	0.648
M3	0.418	0.525	0.448	0.556	0.396	0.503	0.469	0.578
O1	0.741	0.836	0.138	0.223	0.680	0.780	0.188	0.280
O2	0.357	0.466	0.504	0.615	0.795	0.886	0.100	0.184
O3	0.713	0.811	0.155	0.242	0.587	0.693	0.261	0.362
O4	0.262	0.370	0.607	0.719	0.822	0.913	0.078	0.162
F1	0.202	0.313	0.661	0.779	0.775	0.869	0.116	0.201
F2	0.241	0.349	0.629	0.742	0.822	0.913	0.078	0.162
F3	0.262	0.370	0.607	0.719	0.822	0.913	0.078	0.162
F4	0.309	0.418	0.556	0.668	0.808	0.899	0.089	0.173
	A3				A4			
	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$
E1	0.731	0.827	0.155	0.246	0.789	0.882	0.105	0.191
E2	0.722	0.819	0.159	0.249	0.762	0.856	0.126	0.212
E3	0.731	0.827	0.155	0.246	0.731	0.827	0.155	0.246
M1	0.409	0.514	0.464	0.571	0.238	0.345	0.636	0.747
M2	0.708	0.806	0.169	0.259	0.728	0.825	0.152	0.240
M3	0.629	0.731	0.246	0.344	0.808	0.899	0.089	0.173
O1	0.617	0.721	0.242	0.340	0.464	0.574	0.382	0.492
O2	0.696	0.795	0.184	0.276	0.756	0.851	0.132	0.220
O3	0.587	0.693	0.261	0.362	0.383	0.498	0.450	0.568
O4	0.705	0.803	0.180	0.274	0.784	0.877	0.111	0.198
F1	0.756	0.851	0.132	0.220	0.795	0.886	0.100	0.184
F2	0.745	0.841	0.145	0.236	0.784	0.877	0.111	0.198
F3	0.725	0.822	0.162	0.255	0.803	0.895	0.094	0.180
F4	0.670	0.770	0.209	0.304	0.750	0.846	0.138	0.228

**Tablo 5.32. (devamı)**

	A5			
	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$
E1	0.650	0.750	0.228	0.324
E2	0.641	0.742	0.230	0.327
E3	0.588	0.690	0.285	0.385
M1	0.535	0.639	0.341	0.443
M2	0.584	0.688	0.278	0.379
M3	0.609	0.711	0.266	0.365
O1	0.680	0.780	0.188	0.280
O2	0.635	0.736	0.238	0.336
O3	0.693	0.792	0.171	0.261
O4	0.665	0.764	0.217	0.313
F1	0.656	0.756	0.220	0.316
F2	0.665	0.764	0.217	0.313
F3	0.685	0.784	0.198	0.293
F4	0.629	0.731	0.246	0.344

**Adım 4:** Hesaplanan Ağırlık Toplam Matrisi  $\tilde{Q}_i^{(1)}$  Tablo 5.33.'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.33. Ağırlıklı Toplam Matrisi**

A1				A2			
$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$
0.474	0.590	0.413	0.537	0.764	0.864	0.125	0.221
A3				A4			
$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$
0.698	0.798	0.184	0.279	0.753	0.852	0.136	0.230
A5							
$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$				
0.638	0.739	0.238	0.336				

**Adım 5:** Hesaplanan Ağırlık Çarpım Matrisi  $\tilde{Q}_i^{(2)}$  Tablo 5.34.'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.34. Ağırlıklı Çarpım Matrisi**

A1				A2			
$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$
0.353	0.467	0.525	0.637	0.705	0.806	0.224	0.308

**Tablo 5.34. (devamı)**

A3				A4			
$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$
0.679	0.779	0.216	0.291	0.693	0.796	0.239	0.326
A5							
$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$				
0.633	0.735	0.245	0.341				

**Adım 6:**  $\lambda=0.5$  değeri için bulunan sonuç matrisi Tablo 5.35.'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.35. Sonuç Matrisi**

A1				A2			
$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$
0.420	0.535	0.466	0.585	0.736	0.838	0.167	0.261
A3				A4			
$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$	$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$
0.689	0.789	0.199	0.285	0.725	0.826	0.180	0.274
A5							
$\mu^L$	$\mu^U$	$v^L$	$v^u$				
0.636	0.737	0.241	0.339				

**Adım 7:** Sonuç matrisi durulaştırıldıktan sonra bulunan alternatiflerin WASPAS skorları Tablo 5.36.'da verilmiştir.

**Tablo 5.36. Durulaştırılmış Sonuç Matrisi**

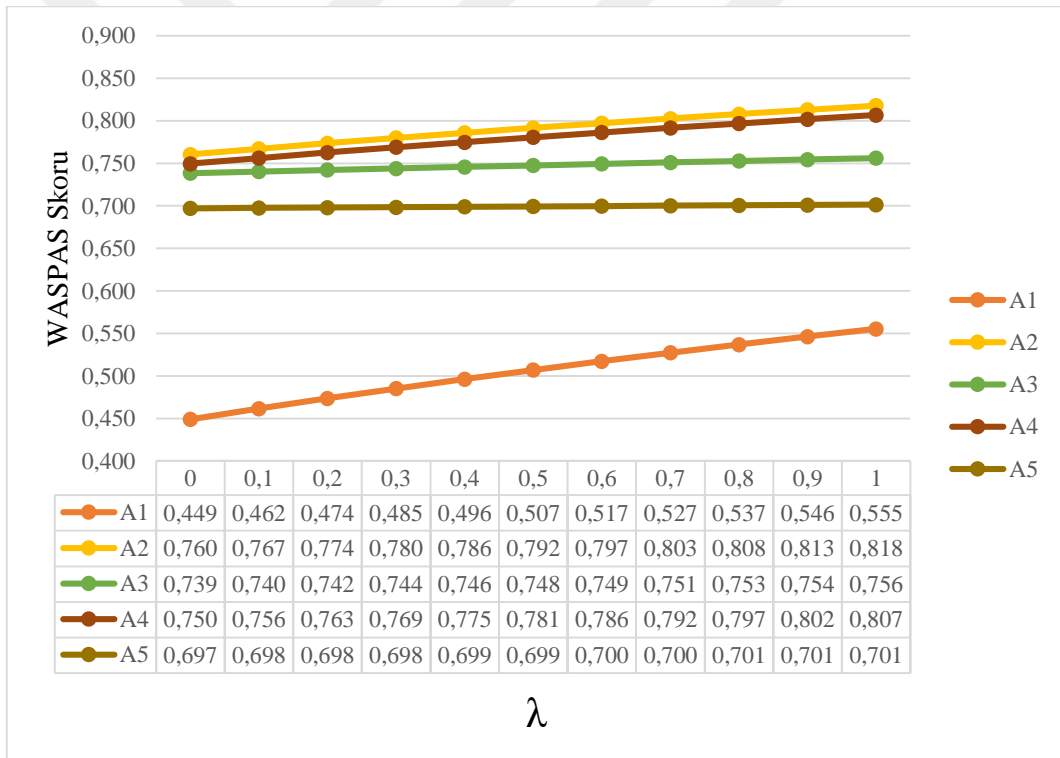
A1- Reaktif Bakım	0.507
A2- Periyodik Bakım	0.792
A3- Durum Bazlı Bakım	0.748
A4- Kestirimci Bakım	0.781
A5- Güvenilirlik Merkezli Bakım	0.699

WASPAS yöntemine göre en yüksek skora sahip alternatif en uygun alternatif olarak seçilmektedir. Bu sonuçlara göre gazete matbaa işletmeleri için en uygun bakım stratejisi periyodik bakım olarak bulunmuştur. Kestirimci bakım az farkla ikinci sırada çıkmış olup, onları durum bazlı bakım ve güvenilirlik merkezli bakım takip etmektedir. Reaktif bakım ise diğer alternatiflerden net şekilde ayrılmış ve son sırada yer almıştır.

## 5.7. Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi girişlerdeki değişikliğe bağlı olarak etkinliğin ölçülmesi işlemidir. Bu çalışmada çok parametrelili bir duyarlılık analizi uygulanmalıdır. Pisagor Bulanık AHP sonuçlarının duyarlılık analizi için ana kriter ağırlıkları tek tek değiştirilip analiz yapılırken, Pisagor Bulanık WASPAS sonuçlarının duyarlılık analizi için de  $\lambda$  katsayısının değişik değerleri açısından bu analizler tekrarlanmaktadır (İlbarhar & Kahraman, 2018b; Karasan et al., 2019).

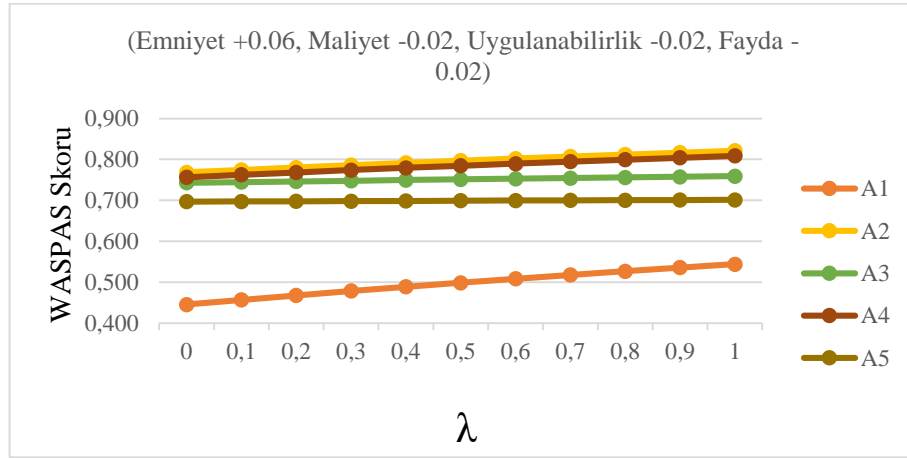
Şekil 5.4.'de kriter ağırlıklarına müdahale edilmeden sadece  $\lambda$  katsayısı değiştirilerek analiz yapılmış olup, alternatiflerin sıralamasının  $\lambda$  katsayısındaki değişikliklerden etkilenmediği ve aynı kaldığı görülmüştür.



Şekil 5.4. Farklı  $\lambda$  Değerleri İçin Alternatiflerin Sıralanması

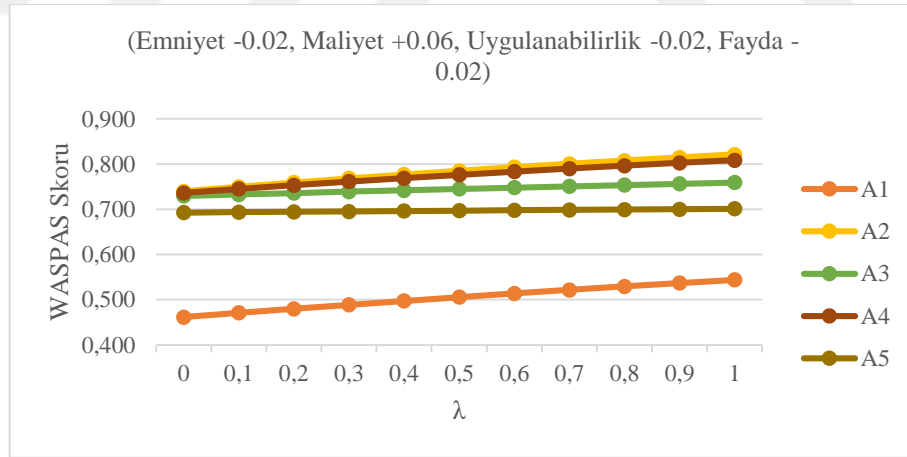
Dilsel ifadelerdeki değişikliklerin sonuca etkisi analiz etmek için dört adet ana kriterler ağırlıklarında tek tek ufak değişiklikler yapılmış ve sonrasında  $\lambda$  katsayısının farklı değerleri için yapılan bu değişikliklerin sonuca olan etkisi analiz edilmiştir.

Şekil 5.5.'de gösterilen Senaryo-1'de Emniyet kriteri %6 puan artırılıp, diğer üç kriter %2 puan azaltılmıştır.



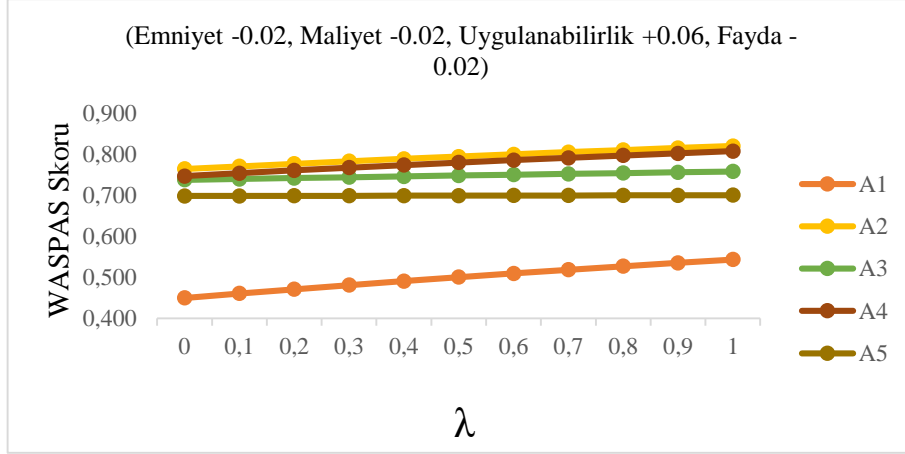
Şekil 5.5. Duyarlılık Analizi: Senaryo - 1

Şekil 5.6.'de gösterilen Senaryo-2'de Maliyet kriteri %6 puan artırılıp, diğer üç kriter %2 puan azaltılmıştır.



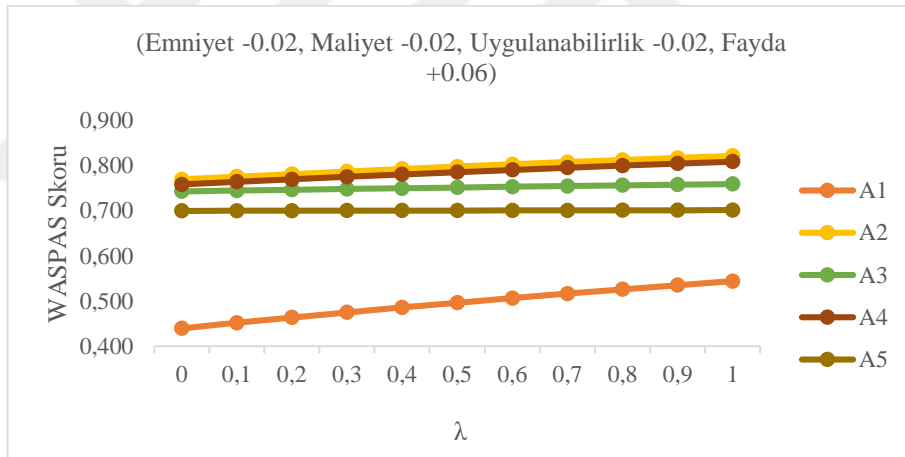
Şekil 5.6. Duyarlılık Analizi: Senaryo - 2

Şekil 5.7.'de gösterilen Senaryo-3'de Uygulanabilirlik kriteri %6 puan artırılıp, diğer üç kriter %2 puan azaltılmıştır.



**Şekil 5.7. Duyarlılık Analizi: Senaryo - 3**

Şekil 5.8.'de gösterilen Senaryo-4'de Fayda kriteri %6 puan artırılıp, diğer üç kriter %2 puan azaltılmıştır



**Şekil 5.8. Duyarlılık Analizi: Senaryo - 4**

Duyarlılık analizli kapsamında test edilen farklı senaryoların sonucunda alternatiflerin WASPAS skorlarından ufak değişiklikler olmasına karşın, sıralamalarda herhangi bir değişim olmadığı görülmüştür. Bu analiz bize çalışmada elde edilen sonuçlarının duyarlılık düzeylerinin iyi olduğunu göstermektedir.

## BÖLÜM VI

### SONUÇ

Bu çalışmada bir işletme için en uygun bakım planlama stratejisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. İşletmeler için yüksek kalitedeki ürünü düşük maliyet ile zamanında üretmek, karlılıklarını sürdürebilmeleri ve rekabet edebilmeleri için bir gerekliliktir. Köksal, (2020)'nin belirttiği üzere işletme yöneticileri makine (machine), insan gücü (manpower), malzeme (material) ve para (money) olmak üzere dört faktörü (4M faktörü) optimum şekilde yönetmek ister. Bakım işlevleri önemli bir maddi kaynak kullanmaktadır. Aynı zamanda, bakım faaliyetlerinin üretim süreçleri ve ürün kalitesi üzerinde direkt etkisi bulunmaktadır. Velmurugan & Dhingra, (2015) bunlara ilave olarak teknolojide yaşanan gelişmeleri, çevre konularında artan duyarlılıkları, iş ve işçi güvenliği ile ilgili politikaları da bakım stratejisi seçiminde dikkate alınması gereken diğer kriterler olarak açıklamaktadır. Bu faktörler işletmeler için uygun bakım planlama stratejisi seçmenin son derece önemli ve kritik bir problem olduğunu ortaya koymaktadır.

Araştırma bir vaka analizi çalışması olup, bir gazete matbaa işletmesi olarak Turkuvaz Matbaa'nın üretim süreçlerine en uygun bakım planlama stratejisini seçmeyi hedeflemektedir. Problemin çözüm yöntemi olarak Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık WASPAS yöntemleri seçilmiştir. İşletmeler için bakım planlama stratejisi seçimi işletmedeki ilgili yönetici ve uzmanların vermesi gereken bir karar olup, net ve kesin matematiksel değerler ile ifade etmenin mümkün olmadığı ve içerisinde birçok kriter barındıran bulanık bir süreçtir. Problemin yapısı göz önüne alındığında, bulanık kümelerin kullanıldığı bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri çözüm için en uygun yollardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Günlük hayattaki ifadeleri modellemede daha güçlü olduğu ve daha doğru sonuçlar verdiği için sezgisel bulanık kümeler mantığına dayalı olan pisagor bulanık kümeler tercih edilmiştir.

Araştırma Turkuvaz Matbaa bünyesindeki matbaa yöneticileri ve mühendislerinden oluşan uzmanlar ile yürütülmüştür. Araştırma kısmına geçmeden önce literatür

araştırması yapılarak ve uzman görüşleri alınarak problem çözümünde dikkate alınması gerekli görülen dört ana kriter altında, on dört adet alt kriter ve beş adet olası alternatif belirlenmiştir.

Araştırmanın ilk aşamasında kriterlerin önem derecelerinin ikili karşılaştırılması için Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre emniyet kriteri %34'lük önem derecesi ile en yüksek öneme sahip ana kriter olarak bulunmuştur. Bünyesinde personel, tesis ve çevre emniyeti alt kriterlerini barındıran emniyet ana kriterinin ilk sırada çıkması, işletme için işçi sağlığı ile çevre ve iş güvenliğinin önemini ortaya koymaktadır. Karacan & Erdoğan, (2011) işçi sağlığı ve iş güvenliği başlığının işletmeler, çalışanlar ve devletler için gittikçe çok daha önemli bir kriter haline geldiği belirtmektedir. Bulunan sonuçlar literatürde belirtilen bu yönelimi desteklemektedir. Yine bu sonuçlara göre fayda başlığı altında yer alan zamanında ve kaliteli üretim yapmak da işletmenin öncelendiği kriterlerin başında gelmektedir. Gazete baskı süreci, çok iyi organize edilmesi gereken, zamana karşı yarışın söz konusu olduğu ve bu yarışın her gece tekrarlandığı kritik bir süreçtir. Ürünün istenilen zamanında pazardaki yerini alamaması; neden olacağı maddi kaybın yanı sıra, marka imajı ve itibarı açısından da diğer sektörlerle oranla çok daha fazla olumsuz sonuçlar doğuracaktır. Fayda kriterine verilen yüksek önem derecesi bu durumu desteklemektedir. Bir gazete matbaası için bakım stratejisi seçiminde uygulanacak stratejisinin güvenlik düzeyinin yüksek olması ve üretim süreçlerine sağlayacağı fayda, matbaa yöneticilerinin en çok önemsendiği kriterler olarak ortaya çıkmıştır. Bir taraftan üretimin kesintisiz devam ettirilmesi gerekirken, diğer taraftan yazılı basın ve matbaacılık sektörünün içinde bulunduğu zorluklar, maddi kaynakların da çok daha dikkatli kullanılmasını gerektirmektedir. Karar vericilerin maliyet kriterlerine verdiği önem bunun göstergesidir.

Araştırmanın ikinci aşamasında alternatiflerin kriterler açısından değerlendirilmesinde Piasagor Bulanık WASPAS yöntemi kullanılmıştır. Araştırma sonuçları gazete matbaa işletmeleri için en uygun bakım stratejisinin periyodik bakım olduğunu ortaya koymaktadır. Kestirimci bakım ise az farkla en uygun ikinci strateji olarak bulunmuştur. Literatürde önleyici bakım ve düzenli bakım olarak da geçmekte olan periyodik bakım sistem güvenilirliği açısından en uygun bakım stratejilerinden biridir. Bu stratejiye göre ekipman halen çalışıyor durumda olsa ve ömrünü henüz

tamamlamamış olsa bile ekipman önceden belirlenen periyodu doldurduğunda bakıma alınır. Periyodik bakım diğer bakım stratejilerine göre kısmen daha fazla bakım maliyeti gerektirir. Buna karşın riski minimize etmesi ve sistem güvenilirliğini artması nedeniyle kritik gazete baskı süreçleri için en uygun strateji olarak ortaya çıkmaktadır. Kestirimci bakım da periyodik bakım gibi riski azaltıp, güvenilirliği arttıran bir stratejidir. Kestirimci bakımın periyodik bakım karşısındaki en büyük avantajı ekipman ömrünü sonuna kadar kullanmaya imkan tanıyarak, gereksiz işgücü ve bakım maliyetlerini önlemesidir. Bu karşın donanım, yazılım, eğitim, teknoloji gibi yüksek uygulama maliyetleri en büyük dezavantajı olarak ortaya çıkmaktadır. Hem periyodik bakım, hem de kestirimci bakım matbaa yöneticilerinin en çok önem atfettiği güvenlik ve fayda kriterleri açısından uygun bakım stratejileridir. Ancak araştırma, matbaa yöneticilerinin periyodik bakımın oluşturduğu bakım maliyetini, kestirimci bakımın gerektirdiği uygulama altyapı maliyetine tercih ettiklerini göstermektedir. Sullivan et al., (2010)'nın da belirttiği gibi kestirimci bakımın gerektirdiği yatırım maliyetinin geri dönüş süresi ancak uzun vadede ve daha çok kar marjı yüksek sektörlerde mümkün olabilmektedir. Sancar, (2021) iletişim teknolojilerinin gelişmesinin tüketici davranışlarını etkilediğini belirtmektedir. Dijitalleşme ile beraber tüketicinin basılı gazeteyle olan ilgisi azalmış, yazılı medya için gerileme süreci başlamıştır. Bu süreç gazete matbaacılığının iç hacmini de önemli oranda azaltmıştır. Yazılı medyanın ürün yaşam döngüsünde düşüş aşamasına geçmesi, matbaa yöneticilerinin neden kestirimci bakım yatırımına çok olumlu yaklaşmadıklarını açıklamaktadır.

Sonuç olarak; periyodik bakım ve kestirimci bakım stratejilerinin gazete matbaa sektörü için en uygun stratejiler olarak çıkması, literatürde farklı sektörlerde yapılan çalışmalarının sonuçları ile paralellik göstermektedir. Buna karşın literatür araştırmalarında reaktif bakım (düzeltici bakım) da en çok tercih edilen stratejiler arasında yer alırken, gazete matbaası için son sıradaki alternatif olarak çıkmıştır. Bu durum gazete matbaa sektöründeki kısıtlı üretim süresinin ve alınacak risklerin olası sonuçlarının işletmeye olacak etkisinin diğer sektörlerle göre daha kritik olmasından kaynaklanmaktadır.

Sektör etkisi dikkate alındığında bulunan sonuçların hem literatür, hem de beklentiler ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca duyarlılık analizleri sonucu sıralamanın da değişmediği dikkate alındığında, çalışmada uygulanan pisagor bulanık kümelere

dayalı AHP ve WASPAS yöntemlerin doğru sonuçlar veren, güvenilir yöntemler olduğu söylenebilir.

Bu çalışma büyük ölçekli ve kurumsal bir işletmede gerçekleştirilmiş olup, orta ve küçük ölçekli işletmelerde maliyet yapısına ve yönetim anlayışına bağlı olarak farklı sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca uygulama gerileme dönemini yaşayan bir sektörde yapılmış olup, karar vericiler değerlendirmelerinde düşüş dönemini yönetmeye yönelik yaklaşımlar ortaya koymuş olabilir. Bu yüzden gelişme veya olgunluk döneminin yaşayan farklı bir işletme için benzer araştırma tekrarlanabilir.



## REFERANSLAR

- ABB. (2017). *4 types of maintenance strategy, which one to chose?* Retrieved from <https://new.abb.com/medium-voltage/service/maintenance/feature-articles/4-types-of-maintenance-strategy-which-one-to-choose>
- Aghaee, M., & Fazli, S. (2012). An improved MCDM method for maintenance approach selection: A case study of auto industry. *Management Science Letters*, 2, 137–146. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2011.09.012>
- Ahmadi, A., Gupta, S., Karim, R., & Kumar, U. (2010). Selection of maintenance strategy for aircraft systems using multi-criteria decision making methodologies. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 17(3), 223–243. <https://doi.org/10.1142/S0218539310003779>
- Akgönül, R., Özcan, E., & Eren, T. (2021). Medikal İşletmesi İçin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Bakım Stratejisi Seçimi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 13(2), 448–461. <https://doi.org/10.29137/umagd.865866>
- Altaş, İ. H. (1999). Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, 62, 80–85.
- Andrade, F. (n.d.). What is prescriptive maintenance (RxM) and how do you prepare for it? Retrieved December 29, 2021, from <https://netilion.endress.com/blog/what-is-prescriptive-maintenance/>
- Atan, M., & Şenol, A. (2020). *Örnek Uygulamalarla Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Avakh Darestani, S., Palizban, T., & Imannezhad, R. (2020). Maintenance strategy selection: a combined goal programming approach and BWM-TOPSIS for paper production industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, ahead-of-p(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/JQME-03-2019-0022>
- Azizi, A., & Fathi, K. (2014). Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. *Management Science Letters*, 4(5), 893–898. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2014.3.028>
- Bakhat, R., & Rajaa, M. (2020). Development of a Fuzzy Hybrid Approach for Solving the Maintenance Strategy Selection Problem in Macro systems. *SMALOGresearch Strategy Management Logistics*, No1 (2020), 1.

- Baki, R. (2021). Pisagor Bulanık WASPAS Yöntemine Dayalı Bir Yaklaşım İle İnsan Kaynakları Personel Seçimi. In M. Kabak & B. Erdebilli (Eds.), *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri: MS Excel ve Software Çözümlü Uygulamaları* (pp. 231–246). Ankara: Nobel Yayın.
- Bashiri, M., Badri, H., & Hejazi, T. H. (2011). Selecting optimum maintenance strategy by fuzzy interactive linear assignment method. *Applied Mathematical Modelling*, 35(1), 152–164. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2010.05.014>
- Bertolini, M., & Bevilacqua, M. (2006). A combined goal programming—AHP approach to maintenance selection problem. *Reliability Engineering & System Safety*, 91(7), 839–848. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2005.08.006>
- Bevilacqua, M., & Braglia, M. (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. *Reliability Engineering & System Safety*, 70(1), 71–83. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(00\)00047-8](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(00)00047-8)
- Bıçen, Y. (2019). Reorganization of the Maintenance Strategies and Predominant Features of Predictive Maintenance Strategy. *3rd International Engineering Research Symposium Iners'19*. Düzce.
- Blanchard, B. S., Verma, D. C., & Peterson, E. L. (1995). *Maintainability: A key to effective serviceability and maintenance management*. New York: Wiley. Retrieved from <https://books.google.com.tr/books?id=7B02w3If-GIC>
- BSI. (1993). *Glossary of Terms Used in Terotechnology BS 3811* (4th ed.). London: British Standards Institution.
- Can, M. (2021). Karar Teorisi. In B. F. Yıldırım & E. Önder (Eds.), *Operasyonel, Yönetim Ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* (4th ed., pp. 1–11). Bursa: Dora.
- Carpitella, S., Mzougui, I., Benítez, J., Carpitella, F., Certa, A., Izquierdo, J., & La Cascia, M. (2021). A risk evaluation framework for the best maintenance strategy: The case of a marine salt manufacture firm. *Reliability Engineering and System Safety*, 205(May 2020), 107265. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107265>
- Çebi, S., & İlbahar, E. (2021). Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi: Buckley AHP ve Proje Risk Yönetimine Uygulanması. In M. Kabak & B. Erdebilli (Eds.), *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri: MS Excel ve Software Çözümlü Uygulamaları* (pp. 27–46). Ankara: Nobel Yayın.
- CEN. (2017). *European Standart Maintenance - Maintenance Terminology EN 13306*. Brussels: European Committee for Standardisation.

- Dalalah, D., Hayajneh, M., & Batiha, F. (2011). A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8384–8391. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.031>
- Ding, S. H., & Kamaruddin, S. (2012). Selection of Optimal Maintenance Policy by Using Fuzzy Multi Criteria Decision Making Method. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 435–443.
- Dong, Y. L., Gu, Y. J., & Dong, X. F. (2008). Selection of optimum maintenance strategy for power plant equipment based on evidential reasoning and FMEA. *2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 862–866. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2008.4737992>
- Fazlollahtabar, H., & Yousefpoor, N. (2008). Selection of Optimum Maintenance Strategies in a Virtual Learning Environment based on Analytic Hierarchy Process. *Proceedings of the 3rd International Conference on Virtual Learning*, 143–152.
- Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., Lashgari, A., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2012). Maintenance Strategy Selection Using AHP and COPRAS under Fuzzy Environment. *International Journal of Strategic Property Management*, 16(1), 85–104. <https://doi.org/10.3846/1648715X.2012.666657>
- Gassner, S. (2010). Deriving maintenance strategies for cooperative alliances – a Value Chain approach. *Managing Operations in Service Economies International Conference Proceeding*, 1–10.
- Gedikli, T., & Cayir Ervural, B. (2020). Selection of Optimum Maintenance Strategy Using Multi-criteria Decision Making Approaches. In F. Calisir & O. Korhan (Eds.), *Global Joint Conference on Industrial Engineering and Its Application Areas: Vol. September* (pp. 156–170). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42416-9\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42416-9_15)
- Gedikli, T., Çayır Ervural, B., & Şen, D. T. (2021). Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHP Yaklaşımlarıyla En Uygun Bakım Stratejisinin Belirlenmesi: Bir Gıda İşletmesinde Uygulama. *European Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.31590/ejosat.838168>
- Ghosh, D., & Roy, S. (2010). A decision-making framework for process plant maintenance. *European J. of Industrial Engineering*, 4(1), 78. <https://doi.org/10.1504/EJIE.2010.029571>
- Görener, A. (2013). Bakım stratejilerinin bulanık karar ortamında seçimi için WSA ve TOPSIS yöntemlerinin uygulanması. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, (216), 159–177.

- Hanly, S. (n.d.). Differences Between Condition-Based, Predictive, and Prescriptive Maintenance. Retrieved December 22, 2021, from <https://blog.endaq.com/differences-between-condition-based-predictive-and-prescriptive-maintenance#conclusion>
- Higgins, L. R., Mobley, R. K., & Wikoff, D. (2008). *Maintenance Engineering Handbook, Seventh Edition* (7th ed.). New York: McGraw-Hill Education. Retrieved from <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071546461>
- Ilangkumaran, M., & Kumanan, S. (2009). Selection of maintenance policy for textile industry using hybrid multi-criteria decision making approach. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(7), 1009–1022. <https://doi.org/10.1108/17410380910984258>
- Ilbahar, E., Cebi, S., & Kahraman, C. (2020). Assessment of Renewable Energy Alternatives with Pythagorean Fuzzy WASPAS Method: A Case Study of Turkey. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 888–895). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23756-1\\_106](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23756-1_106)
- Ilbahar, E., & Kahraman, C. (2018a). Retail store performance measurement using a novel interval-valued Pythagorean fuzzy WASPAS method. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 35(3), 3835–3846. <https://doi.org/10.3233/JIFS-18730>
- Ilbahar, E., & Kahraman, C. (2018b). Retail store performance measurement using a novel interval-valued Pythagorean fuzzy WASPAS method. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 35(3), 3835–3846. <https://doi.org/10.3233/JIFS-18730>
- Ilbahar, E., Karaşan, A., Cebi, 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(October 2017), 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.025>
- Jafari, A., Jafarian, M., Zareei, A., & Zaerpour, F. (2008). Using Fuzzy Delphi Method in Maintenance Strategy Selection Problem. *Journal of Uncertain Systems*, 2(4), 289–298. Retrieved from <http://works.bepress.com/jafarian/2/>
- Jardine, A. K. S., & Tsang, A. H. C. (2013). *Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications*. (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420044614>

- Jasiulewicz-Kaczmarek, M. (2014). Availability modelling and analysis of an offshore wind turbine using Extended Coloured Stochastic Petri Nets. In *Safety and Reliability: Methodology and Applications* (pp. 1193–1202). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17399-165>
- Kabak, M., & Erdebilli, B. (2021). *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri - MS Excel ve Software Çözümlü Uygulamalar*. Ankara: Nobel Yayın.
- Kahraman, C., Öztaysi, B., & Onar, S. C. (2016). A Comprehensive Literature Review of 50 Years of Fuzzy Set Theory. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(Supplement 1), 3. <https://doi.org/10.1080/18756891.2016.1180817>
- Karacan, E., & Erdoğan, Ö. N. (2011). İşçi Sağlığı Ve İş Güvenliğine İnsan Kaynakları Yönetimi Fonksiyonları Açısından Çözümsel Bir Yaklaşım. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21, 102–116.
- Karasan, A., Ilbahar, E., & Kahraman, C. (2019). A novel pythagorean fuzzy AHP and its application to landfill site selection problem. *Soft Computing*, 23(21), 10953–10968. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3649-0>
- Kelly, A. (1997). *Maintenance Strategy*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Khazraei, K., & Deuse, J. (2011). A strategic standpoint on maintenance taxonomy. *Journal of Facilities Management*, 9, 96–113. <https://doi.org/10.1108/14725961111128452>
- Kirubakaran, B., & Ilankumaran, M. (2016). Selection of optimum maintenance strategy based on FAHP integrated with GRA–TOPSIS. *Annals of Operations Research*, 245(1–2), 285–313. <https://doi.org/10.1007/s10479-014-1775-3>
- Köksal, M. (2020). *Bakım Planlaması* (4th ed.). İstanbul: Seçkin Yayıncılık.
- Koochaki, J., Bokhorst, J. A. C., Wortmann, H., & Klingenberg, W. (2012). Condition based maintenance in the context of opportunistic maintenance. *International Journal of Production Research*, 50(23), 6918–6929. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.636924>
- Kothamasu, R., Huang, S. H., & VerDuin, W. H. (2006). System health monitoring and prognostics — a review of current paradigms and practices. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(9), 1012–1024. <https://doi.org/10.1007/s00170-004-2131-6>

- Kwong, C. K., & Bai, H. (2003). Determining the Importance Weights for the Customer Requirements in QFD Using a Fuzzy AHP with an Extent Analysis Approach. *IIE Transactions*, 35(7), 619–626. <https://doi.org/10.1080/07408170304355>
- Labib, A. W., O'Connor, R. F., & Williams, G. B. (1998). An effective maintenance system using the analytic hierarchy process. *Integrated Manufacturing Systems*, 9(2), 87–98. <https://doi.org/10.1108/09576069810202005>
- Leung, L. C., & Cao, D. (2000). On consistency and ranking of alternatives in fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 124(1), 102–113. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00118-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00118-6)
- Lezki, Ş. (2019). Vikor. In H. Durucasu (Ed.), *İşletmelerde Karar Verme Teknikleri* (p. 139). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Li, C., Xu, M., & Guo, S. (2007). ELECTRE III Based on Ranking Fuzzy Numbers for Deterministic and Fuzzy Maintenance Strategy Decision Problems. *2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics*, 309–312. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICAL.2007.4338577>
- Limble CMMS. (2021). The Essential Guide To Maintenance Management. Retrieved December 29, 2021, from <https://limblecmms.com/blog/maintenance-management/>
- Mardani, A., Jusoh, A., MD Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., & Valipour, A. (2015). Multiple criteria decision-making techniques and their applications – a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomika Istraživanja*, 28(1), 516–571. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>
- Mardani, A., Jusoh, A., & Zavadskas, E. K. (2015). Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications – Two decades review from 1994 to 2014. *Expert Systems with Applications*, 42(8), 4126–4148. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.003>
- Matbaa & Teknik. (n.d.). Bilim ve Emek Bir Araya Geline. Retrieved January 27, 2022, from <http://www.matbaateknik.com.tr/news/589/bilim-ve-emek-bir-araya-geline>
- Mathew, M., Chakraborty, R. K., & Ryan, M. J. (2020). Selection of an Optimal Maintenance Strategy Under Uncertain Conditions: An Interval Type-2 Fuzzy AHP-TOPSIS Method. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1–14. <https://doi.org/10.1109/tem.2020.2977141>

- Matyas, K., Nemeth, T., Kovacs, K., & Glawar, R. (2017). A procedural approach for realizing prescriptive maintenance planning in manufacturing industries. *CIRP Annals*, 66(1), 461–464. <https://doi.org/10.1016/J.CIRP.2017.04.007>
- Mete, M. (2007). *Bakım Yönetiminde Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme Modeli*. İstanbul Üniversitesi.
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance*. New York: Elsevier.
- Montero Jimenez, J. J., Schwartz, S., Vingerhoeds, R., Grabot, B., & Salaün, M. (2020). Towards multi-model approaches to predictive maintenance: A systematic literature survey on diagnostics and prognostics. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 539–557. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.07.008>
- Moreira, A., Silva, F. J. G., Correia, A. I., Pereira, T., Ferreira, L. P., & de Almeida, F. (2018). Cost reduction and quality improvements in the printing industry. *Procedia Manufacturing*, 17, 623–630. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.107>
- Mottershead, G., Bomben, S., Kerszenbaum, I., & Klempner, G. (2021). Maintenance Philosophies, Upgrades, and Uprates. In *Handbook of Large Hydro Generators: Operation and Maintenance* (pp. 595–632). IEEE. <https://doi.org/10.1002/9781119524205.ch12>
- Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance*. New York: Industrial Press. Retrieved from <https://books.google.com.tr/books?id=bNCVF0B7vpIC>
- Nagar, A. (2012). Development of Fuzzy Multi Criteria Decision Making Method for Selection of Optimum Maintenance Alternative. *International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering*, 1(3), 206–211. <https://doi.org/10.47893/IJARME.2012.1037>
- NASA. (2008). Reliability-Centered Maintenance Guide For Facilities and Collateral Equipment. *Nasa*, (September). Retrieved from <http://www.crcnetbase.com/doi/10.1201/9781420031843.ch6>
- Nezami, F. G., & Yildirim, M. B. (2013). A sustainability approach for selecting maintenance strategy. *International Journal of Sustainable Engineering*, 6(4), 332–343. <https://doi.org/10.1080/19397038.2013.765928>
- Noman, M., Abouel Nasr, E., Al-Shayea, A., Abdullah, F., Kaid, H., & Alnahari, M. (2020). A systematic literature review on applications of condition-based maintenance strategy. *International Journal of Collaborative Enterprise*, 6, 105. <https://doi.org/10.1504/IJCEN.2020.110209>

- Önder, G., & Önder, E. (2021). Analitik Hiyerarşi Süreci. In B. F. Yıldırım & E. Önder (Eds.), *Operasyonel, Yönetmel Ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemler* (pp. 21–74). Bursa: Dora.
- Öteyaka, H. C., Öteyaka, M. Ö., & Köse, R. (2018). Ürün Maliyetini Azaltmak İçin İdeal Bakım Yönetimi. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 2(2), 56–60.
- Paksoy, T., Yapıcı Pehlivan, N., & Özceylan, E. (2013). *Bulanık Küme Teorisi* (1st ed.). Ankara: Nobel Yayın.
- Palmer, R. (2005). *Maintenance Planning and Scheduling Handbook* (2nd ed.). Texas: McGraw-Hill. <https://doi.org/10.1036/0071457666>
- Peng, X., & Selvachandran, G. (2019). Pythagorean fuzzy set: state of the art and future directions. *Artificial Intelligence Review*, 52(3), 1873–1927. <https://doi.org/10.1007/s10462-017-9596-9>
- Peng, X., & Yang, Y. (2016). Fundamental Properties of Interval-Valued Pythagorean Fuzzy Aggregation Operators. *International Journal of Intelligent Systems*, 31, 444–487. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/int.21790>
- Pintelon, L., & Parodi-Herz, A. (2008). Maintenance: An Evolutionary Perspective. In K. A. H. Kobay & D. N. P. Murthy (Eds.), *Complex System Maintenance Handbook* (pp. 21–48). London: Springer London. [https://doi.org/10.1007/978-1-84800-011-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-84800-011-7_2)
- Prajapati, A., Bechtel, J., & Ganesan, S. (2012). Condition based maintenance: a survey. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18(4), 384–400. <https://doi.org/10.1108/13552511211281552>
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2001). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Kluwer Academic Publishers. Retrieved from <https://books.google.com.tr/books?id=rHHhpdWTAisC>
- Sancar, E. (2021). Dijital Platformlarda Daha Kolay Tüketen Kadın: İstanbul Örneği. In Ş. Çağlar (Ed.), *Sosyal Medya Ekolojisi: Farklı Açılardan Sosyal Medya* (pp. 79–109). Konya: Çizgi Kitapevi.
- Shafiee, M. (2015). Maintenance strategy selection problem: an MCDM overview. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(4), 378–402. <https://doi.org/10.1108/JQME-09-2013-0063>

- Shafiee, M., Labib, A., Maiti, J., & Starr, A. (2019). Maintenance strategy selection for multi-component systems using a combined analytic network process and cost-risk criticality model. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 233(2), 89–104. <https://doi.org/10.1177/1748006X17712071>
- Shahin, A., Shirouyehzad, H., & Pourjavad, E. (2012). Optimum maintenance strategy: a case study in the mining industry. *International Journal of Services and Operations Management*, 12(3), 368. <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2012.047626>
- Sullivan, G. P., Pugh, R., Melendez, A. P., & Hunt, W. D. (2010). *Operations & Maintenance Best Practices-A Guide to Achieving Operational Efficiency*. Washington, DC: U.S. Department of Energy.
- Swanson, L. (2001). Linking maintenance strategies to performance. *International Journal of Production Economics*, 70(3), 237–244. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00067-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00067-0)
- Syan, C. S., & Ramsoobag, G. (2019). Maintenance applications of multi-criteria optimization: A review. *Reliability Engineering & System Safety*, 190, 106520. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106520>
- Tajadod, M., Ghasemi, E., & Bazargan, H. (2011). A combined method based on fuzzy analytical network process and fuzzy data envelopment analysis for maintenance strategy selection. *Proceedings of the International Conference on Advances in Electrical and Electronics Engineering (ICAEE 2011)*, 179–183. Retrieved from <http://psrcentre.org/images/extraimages/42.1011270.pdf>
- Türk Dil Kurumu. (2021). Türk Dil Kurumu Sözlükleri. Retrieved January 16, 2022, from TDK website: <https://sozluk.gov.tr/>
- Ünlüsoy, S. (2020). *Termik Santrallerde Bakım Stratejisi Seçimi: Bir Uygulama*. Kırıkkale Üniversitesi.
- Velmurugan, R. S., & Dhingra, T. (2015). Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function. *International Journal of Operations & Production Management*, 35(12), 1622–1661. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2014-0028>
- Vishnu, C. R., & Regikumar, V. (2016). Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study. *Procedia Technology*, 25, 1080–1087. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.211>

WAN-IFRA. (n.d.). International Color Quality Club - WAN-IFRA. Retrieved January 27, 2022, from <https://wan-ifra.org/icqc/>

Williams, J. H., Davies, A., & Drake, P. R. (1994). *Condition-based Maintenance and Machine Diagnostics*. London: Chapman & Hall.

Yazıcı, E., Özcan, E., Alakaş, H. M., & Eren, T. (2021). Hidroelektrik Santrallarda Bakım Strateji Optimizasyonu için Hiyerarşik Bir Karar Modeli Önerisi. *Journal of Polytechnic*. <https://doi.org/10.2339/politeknik.862024>

Yıldırım, M. B., & Önder, E. (2021). *Operasyonel, Yönetmel Ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* (4th ed.). Bursa: Dora.

Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2012). Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment. *Electronics and Electrical Engineering*, 122(6). <https://doi.org/10.5755/j01.eee.122.6.1810>

Zavadskas, Edmundas Kazimieras, Zakarevicius, A., & Antucheviciene, J. (2006). Evaluation of Ranking Accuracy in Multi-Criteria Decisions. *Informatica*, 17(4), 601–618. <https://doi.org/10.15388/Informatica.2006.158>

## ÖZGEÇMİŞ

Ad ve Soyad:

Semih Sancar

İletişim Bilgileri:

Eğitim:

1998 – 2002 Elektronik Mühendisliği, Lisans, Uludağ Üniversitesi, Türkiye

2021 – 2022 İşletme Yüksek Lisans, İbn Haldun Üniversitesi, Türkiye

İş Deneyimi:

2002 – 2004 Beta Mühendislik – Proje Mühendisi

2004 – Halen Turkuvaz Medya – Matbaa Teknik Müdür