

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FERMATEAN BULANIK PIPRECIA VE FERMATEAN BULANIK  
SWARA TABANLI FMEA VE COCOFISO YÖNTEMLERİYLE  
BAKIM SÜREÇLERİNDE RİSK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Refiye İrem GÜNDÜZ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı**

**HAZİRAN 2025**



**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FERMATEAN BULANIK PİPRECIA VE FERMATEAN BULANIK  
SWARA TABANLI FMEA VE COCOFISO YÖNTEMLERİYLE  
BAKIM SÜREÇLERİNDE RİSK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Refiye İrem GÜNDÜZ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tülay KORKUSUZ POLAT**

**HAZİRAN 2025**



Refiye İrem GÜNDÜZ tarafından hazırlanan “Fermatean Bulanık PIPRECIA ve Fermatean Bulanık SWARA Tabanlı FMEA ve COCOFISO Yöntemleriyle Bakım Süreçlerinde Risk Analizi” adlı tez çalışması 25.06.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### Tez Jürisi

|                       |                                                 |
|-----------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Jüri Başkanı :</b> | <b>Doç. Dr. Tülay K. POLAT (Danışman)</b> ..... |
|                       | Sakarya Üniversitesi                            |
| <b>Jüri Üyesi :</b>   | <b>Doç. Dr. Seher POLAT</b> .....               |
|                       | Sakarya Üniversitesi                            |
| <b>Jüri Üyesi :</b>   | <b>Doç. Dr. Tijen Ö. ÖZÇELİK</b> .....          |
|                       | Düzce Üniversitesi                              |



## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Fermatean Bulanık PIPRECIA ve Fermatean Bulanık SWARA Tabanlı FMEA ve COCOFISO Yöntemleriyle Bakım Süreçlerinde Risk Analizi” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(25/06/2025).

(imza)

Refiye İrem GÜNDÜZ





*Aileme*



## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yardımlarını eksik etmeyen ve beni fikirleriyle yönlendiren danışmanım Sayın Doç. Dr. Tülay KORKUSUZ POLAT'a teşekkür ederim.

Tezimin uygulama aşamasında Sayın Ömer Engin POLAT ve Sayın Ahmet YAMAN'a verdikleri desteklerden dolayı teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen anneanneme, anneme ve babama teşekkür ederim.

Refiye İrem GÜNDÜZ



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                             |       |
|-------------------------------------------------------------|-------|
| ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ .....           | v     |
| TEŞEKKÜR .....                                              | ix    |
| İÇİNDEKİLER .....                                           | xi    |
| KISALTMALAR .....                                           | xiii  |
| SİMGELER .....                                              | xv    |
| TABLO LİSTESİ .....                                         | xvii  |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                         | xix   |
| ÖZET .....                                                  | xxi   |
| SUMMARY .....                                               | xxiii |
| 1. GİRİŞ.....                                               | 1     |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....                              | 5     |
| 2.1. Risk Değerlendirme İle İlgili Çalışmalar .....         | 5     |
| 2.2. FMEA Yöntemi İle İlgili Çalışmalar .....               | 8     |
| 2.3. Bakım İle İlgili Çalışmalar .....                      | 11    |
| 2.4. PIPRECIA Yöntemi İle İlgili Çalışmalar .....           | 14    |
| 2.5. SWARA Yöntemi İle İlgili Çalışmalar .....              | 18    |
| 2.6. COCOSO ve COCOFISO Yöntemi İle İlgili Çalışmalar ..... | 21    |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM .....                                 | 25    |
| 3.1. FMEA Yöntemi .....                                     | 25    |
| 3.2. Çok Kriterli Karar Verme .....                         | 26    |
| 3.3. Bulanık Küme Teorisi .....                             | 27    |
| 3.4. Fermatean Bulanık Kümeler .....                        | 27    |
| 3.5. Fermatean Bulanık PIPRECIA Yöntemi .....               | 29    |
| 3.6. Fermatean Bulanık SWARA Yöntemi .....                  | 31    |
| 3.7. COCOFISO Yöntemi .....                                 | 34    |
| 4. UYGULAMA .....                                           | 35    |
| 4.1. Fermatean Bulanık PIPRECIA Yöntemi Çözümü .....        | 40    |
| 4.2. Fermatean Bulanık SWARA Yöntemi Çözümü .....           | 43    |
| 4.3. FMEA Yöntemi Çözümü .....                              | 45    |
| 4.4. COCOFISO Yöntemi Çözümü .....                          | 49    |
| 4.5. Duyarlılık Analizi .....                               | 58    |
| 4.6. Karşılaştırma Analizi .....                            | 64    |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                  | 69    |
| KAYNAKLAR .....                                             | 71    |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                              | 81    |



## KISALTMALAR

|                     |                                                                                               |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ABAC</b>         | : Alternative by Alternative Comparison                                                       |
| <b>AHP</b>          | : Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytic Hierarchy Process)                                     |
| <b>ANP</b>          | : Analytic Network Process                                                                    |
| <b>ARAS</b>         | : Additive Ratio Assesment                                                                    |
| <b>BWM</b>          | : Best-Worst Method                                                                           |
| <b>COCOFISO</b>     | : İdeal Çözüm İçin Birleşik Uzlaşma                                                           |
| <b>COCOSO</b>       | : Combined Compromise Solution                                                                |
| <b>CODAS</b>        | : Combinative Distance-based Assessment                                                       |
| <b>COPRAS</b>       | : Complex Proportional Assessment                                                             |
| <b>ÇKKV</b>         | : Çok Kriterli Karar Verme                                                                    |
| <b>DEA</b>          | : Data Envelopment Analysis                                                                   |
| <b>DEMATEL</b>      | : The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory                                         |
| <b>DMRA</b>         | : Karar Matrisi Risk Analizi Yöntemi                                                          |
| <b>EDAS</b>         | : Evaluation based on Distance from Average Solution                                          |
| <b>EFMULTIMOORA</b> | : Extended Fuzzy Multi-Objective Optimization By Ratio Analysis Plus Full Multiplicative Form |
| <b>ETA</b>          | : Olay Ağacı Analizi                                                                          |
| <b>FMEA</b>         | : Hata Türü ve Etkileri Analizi                                                               |
| <b>FTA</b>          | : Hata Ağacı Analizi                                                                          |
| <b>GRA</b>          | : Gri İlişkisel Analiz                                                                        |
| <b>HAZOP</b>        | : Tehlike ve İşletim Analizi                                                                  |
| <b>LBWA</b>         | : Level Based Weight Assessment                                                               |
| <b>MABAC</b>        | : Multi-Attributive Border Approximation area Comparison                                      |
| <b>MARCOS</b>       | : Measurement Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution                   |
| <b>M-CRITIC</b>     | : Modified Criteria Ranking Importance with Intra-Criteria Correlation                        |
| <b>MEREC</b>        | : Method Based on the Removal Effects of Criteria                                             |
| <b>MOORA</b>        | : Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis                                 |

|                   |                                                                                                        |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>MULTIMOORA</b> | : Multiple Objective Optimization Based on the Ratio Analysis Plus Full Multiplicative Form            |
| <b>OCRA</b>       | : Operational Competitiveness Rating Analysis                                                          |
| <b>PIPRECIA</b>   | : Pivot İkili Göreceli Kriter Önem Değerlendirmesi                                                     |
| <b>PROMETHEE</b>  | : Preference Ranking Organization Method for Enrichment                                                |
| <b>PSI</b>        | : Preference Selection Index                                                                           |
| <b>PULTSS</b>     | : Uzunluk Terimi Setleri                                                                               |
| <b>RAFSI</b>      | : Ranking of Alternatives Through Functional Mapping of Criterion Sub-Intervals into a Single Interval |
| <b>ROC</b>        | : Rank Order Centroid                                                                                  |
| <b>RÖS</b>        | : Risk Öncelik Sayısı                                                                                  |
| <b>RT</b>         | : Regret Teorisi                                                                                       |
| <b>SAW</b>        | : Simple Additive Weighting                                                                            |
| <b>SWARA</b>      | : Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi                                                         |
| <b>TOPSIS</b>     | : Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution                                       |
| <b>VIKOR</b>      | : Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje                                                |
| <b>WASPAS</b>     | : Weighted Aggregated Sum Product Assessment                                                           |
| <b>WISP</b>       | : Weighted Sum-Product                                                                                 |

## SİMGELER

|           |                                   |
|-----------|-----------------------------------|
| $\mu$     | : Üye olma derecesi               |
| $\nu$     | : Üye olmama derecesi             |
| $\pi$     | : Belirsizlik (tereddüt) derecesi |
| $\lambda$ | : Skaler değer                    |





## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 2.1.</b> Risk değerlendirme ile ilgili çalışmalar. ....                                                             | 7  |
| <b>Tablo 2.2.</b> FMEA yöntemi ile ilgili çalışmalar.....                                                                    | 11 |
| <b>Tablo 2.3.</b> Bakım ile ilgili çalışmalar.....                                                                           | 13 |
| <b>Tablo 2.4.</b> PIPRECIA yöntemi ile ilgili çalışmalar.....                                                                | 17 |
| <b>Tablo 2.5.</b> SWARA yöntemi ile ilgili çalışmalar.....                                                                   | 20 |
| <b>Tablo 2.6.</b> COCOSO ve COCOFISO yöntemi ile ilgili çalışmalar.....                                                      | 24 |
| <b>Tablo 3.1.</b> Fermatean bulanık PIPRECIA yönteminde karar vericilerin değerlendirmesinde kullanılan dilsel terimler..... | 29 |
| <b>Tablo 3.2.</b> Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle kriterlerin önem değerlendirmeleri.....                              | 30 |
| <b>Tablo 3.3.</b> Fermatean bulanık SWARA yönteminde karar vericilerin değerlendirmesinde kullanılan dilsel terimler.....    | 32 |
| <b>Tablo 3.4.</b> Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle kriterlerin önem değerlendirmeleri.....                                 | 32 |
| <b>Tablo 4.1.</b> Olasılık değerlendirme ölçeği.....                                                                         | 35 |
| <b>Tablo 4.2.</b> Tespit edilebilirlik değerlendirme ölçeği.....                                                             | 36 |
| <b>Tablo 4.3.</b> Önlenebilirlik değerlendirme ölçeği.....                                                                   | 36 |
| <b>Tablo 4.4.</b> Tamir süresi değerlendirme ölçeği.....                                                                     | 37 |
| <b>Tablo 4.5.</b> Tamir maliyeti değerlendirme ölçeği.....                                                                   | 38 |
| <b>Tablo 4.6.</b> Tamir zorluğu değerlendirme ölçeği.....                                                                    | 38 |
| <b>Tablo 4.7.</b> Bakım süreçlerinde riskler.....                                                                            | 39 |
| <b>Tablo 4.8.</b> Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemi karar verici ağırlıkları.....                                           | 40 |
| <b>Tablo 4.9.</b> Bulanık PIPRECIA yöntemi karar verici değerlendirmeleri.....                                               | 40 |
| <b>Tablo 4.10.</b> Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemi katsayı değerleri.....                                                 | 41 |
| <b>Tablo 4.11.</b> Fermatean ters bulanık PIPRECIA yöntemi karar verici değerlendirmeleri.....                               | 41 |
| <b>Tablo 4.12.</b> Fermatean ters bulanık PIPRECIA yöntemi katsayı değerleri.....                                            | 42 |
| <b>Tablo 4.13.</b> Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemi kriter ağırlıkları.....                                                | 42 |
| <b>Tablo 4.14.</b> Fermatean bulanık SWARA yöntemi karar verici ağırlıkları.....                                             | 43 |
| <b>Tablo 4.15.</b> Fermatean bulanık SWARA yöntemi karar verici değerlendirmeleri....                                        | 43 |
| <b>Tablo 4.16.</b> Fermatean bulanık SWARA yöntemi katsayı değerleri.....                                                    | 44 |
| <b>Tablo 4.17.</b> Fermatean bulanık SWARA yöntemi kriter ağırlıkları.....                                                   | 44 |
| <b>Tablo 4.18.</b> FMEA yöntemiyle risklerin değerlendirmesi.....                                                            | 45 |
| <b>Tablo 4.19.</b> Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle ağırlıklara göre FMEA yöntemi sonuçları.....                        | 46 |
| <b>Tablo 4.20.</b> Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle ağırlıklara göre FMEA yöntemi sonuçları.....                           | 47 |
| <b>Tablo 4.21.</b> COCOFISO yöntemiyle risklerin değerlendirmesi.....                                                        | 49 |

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 4.22.</b> Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi normalizasyon işlemi. .... | 50 |
| <b>Tablo 4.23.</b> Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi katsayı değerleri. ....    | 51 |
| <b>Tablo 4.24.</b> Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi sonuçları. ....            | 53 |
| <b>Tablo 4.25.</b> Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi normalizasyon işlemi. ....    | 54 |
| <b>Tablo 4.26.</b> Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi katsayı değerleri. ....       | 55 |
| <b>Tablo 4.27.</b> Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi sonuçları. ....               | 57 |
| <b>Tablo 4.28.</b> Fermatean bulanık PIPRECIA duyarlılık analizi kriter ağırlıkları.....                              | 58 |
| <b>Tablo 4.29.</b> Fermatean bulanık SWARA duyarlılık analizi kriter ağırlıkları. ....                                | 58 |
| <b>Tablo 4.30.</b> Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle FMEA yöntemi duyarlılık analizi. ....                        | 59 |
| <b>Tablo 4.31.</b> Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle FMEA yöntemi duyarlılık analizi. ....                           | 60 |
| <b>Tablo 4.32.</b> Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle COCOFISO yöntemi duyarlılık analizi.....                     | 62 |
| <b>Tablo 4.33.</b> Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle COCOFISO yöntemi duyarlılık analizi. ....                       | 63 |
| <b>Tablo 4.34.</b> Karşılaştırma analizi.....                                                                         | 65 |
| <b>Tablo 4.35.</b> Karşılaştırma analizi Spearman korelasyon katsayıları. ....                                        | 67 |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Bakım yönetim süreçleri.....        | 1  |
| Şekil 3.1. FMEA yöntemi adımları.....          | 25 |
| Şekil 3.2. ÇKKV temel adımları.....            | 26 |
| Şekil 4.1. Karşılaştırma analizi grafiği. .... | 66 |





## **FERMATEAN BULANIK PIPRECIA VE FERMATEAN BULANIK SWARA TABANLI FMEA VE COCOFISO YÖNTEMLERİYLE BAKIM SÜREÇLERİNDE RİSK ANALİZİ**

### **ÖZET**

Artan rekabet koşulları ve teknolojik açıdan yaşanan gelişmeler işletmelerin üretim süreçlerini daha verimli hale getirmelerini zorunlu kılmıştır. İşletme süreçlerinde verimliliği azaltan en önemli etkenlerden biri arızaların yaşanmasıdır. İşletmelerin önceden oluşabilecek arızaları tespit edip önlem alarak engellemesi gerekmektedir. Önlem alınmaması durumunda arızalarda artış olmasından dolayı üretimin aksamaması, maliyetlerin artması gibi durumlara neden olmaktadır. Bu sebeple işletmeler açısından bakım faaliyetleri önemli hale gelmiştir.

Tez kapsamında otomotiv sektöründe üretim yapan bir işletmede bakım süreçlerindeki risklerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda değerlendirme yapılması için işletme müdürü, bakım mühendisi ve işletme danışmanı olmak üzere üç karar verici belirlenmiştir. İşletmedeki bakım süreci detaylı bir şekilde analiz edilerek süreçte oluşabilecek 25 adet risk belirlenmiştir. Risklerin değerlendirilmesi için Klasik FMEA yöntemi yeni kriter eklenip etki kriteri üç bölüme ayrılarak geliştirilmiştir. Kriterler olasılık, tespit edilebilirlik, önlenebilirlik, tamir süresi, tamir maliyeti ve tamir zorluğu olarak belirlenmiştir.

Kriterlerin ağırlıklandırılması için Fermatean bulanık PIPRECIA ve Fermatean bulanık SWARA yöntemleri kullanılmıştır. Fermatean bulanık PIPRECIA yönteminde en önemli kriter önlenebilirlik olarak elde edilmiştir. Fermatean bulanık SWARA yönteminde ise en önemli kriter tespit edilebilirlik olarak elde edilmiştir. Fermatean bulanık kümeler kullanılarak karar vericilerin değerlendirmedeki belirsizlikler en aza indirilmiştir. Risklerin değerlendirilmesinde kriterler için 1-10 skalasında değerlendirme ölçeği oluşturulmuştur. Risklerin değerlendirilmesinde FMEA ve COCOFISO yöntemleri kullanılmıştır.

Çalışma sonucunda yöntemlerin güvenilirliğini ve tutarlılığını ortaya koymak için duyarlılık ve karşılaştırma analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizinde Fermatean bulanık PIPRECIA ve Fermatean bulanık SWARA yöntemlerindeki en önemli kriterler 4 farklı senaryoda %10, %15, %20 ve %25 oranında arttırılmıştır. Değerlendirme sonucunda risklerin sıralamalarında değişim olmamıştır. Bu sebeple yöntemler yapılan senaryolara yüksek bir dayanıklılık ve kararlılık göstermiştir. Sonuç olarak, yöntemlerin parametre değişikliklerine karşı hassas olmadığını ve elde edilen sıralamanın güvenilirliğinin yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Karşılaştırma analizinde tüm yöntemlerde en önemli birinci risk bakım onarım işlemine müdahale eden personelin motivasyon/konsantrasyon eksikliği olması ikinci risk ise üretim kapasitesinin yoğunluğundan dolayı planlanan "planlı bakıma" zaman kalmaması olarak elde edilmiştir. Diğer sıralamalarda yöntemlerde farklı uygulama adımlarının olması bazı küçük sapmaların oluşmasına sebep olmuştur. Spearman korelasyon

katsayısı ile değerlendirme yapılarak yöntemler arasında güçlü bir ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir. Çalışma kapsamında önerilen yöntemlerin tutarlı ve güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır.



# **RISK ANALYSIS IN MAINTENANCE PROCESSES WITH FERMATEAN FUZZY PIPRECIA AND FERMATEAN FUZZY SWARA BASED FMEA AND COCOFISO METHODS**

## **SUMMARY**

Increasing competition conditions and technological developments have made it necessary for businesses to evaluate their production processes. Businesses need to make their processes efficient due to the changes they experience. Managers should focus on creating a performance level that will ensure high efficiency from processes, machines and equipment.

Businesses need to increase efficiency in their processes with low costs. There are important factors that prevent the process from being optimized. One of these factors is the occurrence of malfunctions that may occur in the processes.

Businesses should detect possible malfunctions in processes in advance. After detection, they need to take precautions and prevent malfunctions. Failure of businesses to take precautions against malfunctions causes negative situations in processes.

Malfunctions that may occur in the processes of businesses may cause negative situations such as decrease in profit, missed opportunities that may arise in the future, delay in delivery dates, disruption of production processes and increase in costs. For this reason, maintenance activities have become important for businesses.

Efficient management of maintenance processes ensures that time losses that may occur in production processes are reduced, production targets are achieved, delivery dates are met on time and quality in production is increased.

Within the scope of the thesis, a study was conducted in a company that produces in the automotive sector. The maintenance processes carried out in the company were analyzed. The aim was to evaluate the risks that may occur in the processes. In this direction, 3 decision makers were determined to carry out the evaluation. The decision makers consist of the business manager, the maintenance engineer and the business consultant.

Evaluations were made with regular meetings with decision makers. The maintenance process in the business was analyzed in detail with decision makers. As a result of the analysis, 25 risks that may occur in the maintenance processes in the business were determined.

The risks determined together with the decision makers were evaluated. For this purpose, the criteria were determined with the decision makers. A new criterion was added to the probability, impact and detectability criteria in the classical FMEA method. In addition, the impact criterion in the classical FMEA method was developed

by dividing it into 3 criteria. A total of six criteria were created within the scope of the study.

Apart from the criteria of probability and detectability in the classical FMEA method, a new criterion, preventability, has been added. The impact criterion in the classical FMEA method has been divided into 3 criteria: repair time, repair cost and repair difficulty.

The weighting process of the criteria determined by the decision makers was carried out. For this, Fermatean fuzzy PIPRECIA and Fermatean fuzzy SWARA methods were used. Within the scope of the study, criteria weighting process was carried out with 2 different methods.

In the Fermatean fuzzy PIPRECIA method, the most important criterion was obtained as preventability. In the Fermatean fuzzy SWARA method, the most important criterion was obtained as detectability. By using Fermatean fuzzy sets, the uncertainties in the evaluation of decision makers were minimized.

In the assessment of risks, an assessment scale was created for the criteria of probability, detectability, preventability, repair time, repair cost and repair difficulty. The assessment scale was prepared separately on a scale of 1-10. In the assessment of risks, the risks were evaluated using the COCOFISO method together with the FMEA method. Within the scope of the study, risks were evaluated with 2 different methods.

The evaluation was carried out by 3 decision makers using a 1-10 evaluation scale for the criteria of probability, detectability, preventability, repair time, repair cost and repair difficulty. The decision makers made their evaluations jointly.

As a result of the study, in the first step, sensitivity analysis was performed to reveal the reliability and consistency of the methods used. Then, in the second step, a comparison analysis was performed for the 4 different risk assessment results obtained in the application.

In the sensitivity analysis, the most important criterion in the Fermatean fuzzy PIPRECIA method, preventability, and the most important criterion in the Fermatean fuzzy SWARA method, detectability, were examined. The most important criteria were evaluated in 4 different scenarios.

The weight of the most important criterion was increased by 10% in scenario 1, 15% in scenario 2, 20% in scenario 3 and 25% in scenario 4. The sum of the criterion weights should be 1. All criteria except the most important criterion were reduced in proportion to their weights so that the sum of the criterion weights would be 1.

Four different analyses based on scenarios were performed and evaluated. As a result of the evaluations, no change occurred in the rankings of the risks. For this reason, it was concluded that the methods used within the scope of the study showed high durability and stability to the different scenarios implemented.

As a result, it was concluded that the methods used were not sensitive to parameter changes and the reliability of the obtained ranking was high.

In the comparative analysis, the most important first risk in all results of the methods used within the scope of the study was found to be the lack of motivation/concentration of the personnel intervening in the maintenance and repair process.

The second most important risk in all the results used within the scope of the study was the lack of time for "planned maintenance" due to the intensity of production capacity.

There were minor deviations in 4 different assessments in the risk rankings other than the first and second most important risks. Some minor deviations occurred due to the different application steps of the methods used.

Evaluation was made with Spearman correlation coefficient to show the relationship between the methods. According to the evaluation results, Spearman correlation coefficient was obtained close to 1 and it was concluded that there was a strong relationship between the methods used.

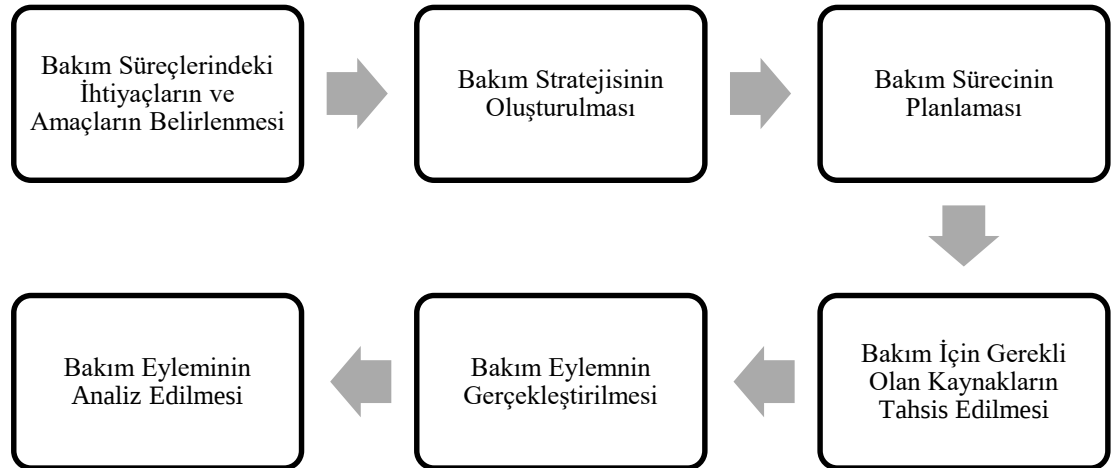
Within the scope of the study, 4 different methods were used, namely Fermatean fuzzy PIPRECIA, Fermatean fuzzy SWARA, FMEA and COCOFISO. It was concluded that the methods used were consistent and reliable.





## 1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerle birlikte üretim süreçlerinde yaşanan değişimler yöneticilerin süreç, makine ve ekipmanları yüksek verim alacak performans düzeyinde çalıştırmasını zorunlu kılmıştır. İşletmelerde en düşük maliyet ile makine-ekipman kullanım ömründe artış ve üretim sürecinin optimum hale getirilmesi için oluşabilecek arızaların en aza indirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır (Avakh Darestani ve diğerleri, 2022). Üretim süreçlerinde oluşabilecek arızalar teslim tarihlerinde gecikme yaşanması, kar miktarında düşüş olması, fazladan maliyet ve oluşabilecek fırsatların kaçırılması gibi durumlara yol açmaktadır. Bu nedenle işletmelerde bakım faaliyetleri, rekabetçi iş çevrelerinde ayakta kalabilmek için kilit noktalardan biri haline gelmektedir. Bakım yönetim süreçlerinin etkili ve verimli yürütülmesi, üretimde oluşabilecek zaman kayıplarında azalma, kalitede artma, üretim hedeflerine daha kolay ulaşma, zamanında teslim etme gibi olumlu sonuçlar elde edilmesine önemli oranda katkı sağlamaktadır (Behnia ve diğerleri, 2023). Bakım yönetim süreçleri Şekil 1.1’de gösterildiği gibi altı adımdan oluşmaktadır (Manenzhe ve diğerleri, 2023).



Şekil 1.1. Bakım yönetim süreçleri.

1. Bakım Süreçlerindeki İhtiyaçların ve Amaçların Belirlenmesi: Bakım süreçlerinin en uygun şekilde gerçekleştirilmesi için ihtiyaç ve amaç belirlenmektedir. Üretim süreçlerinde yaşanabilecek arıza veya performansta oluşan düşüş bakım ihtiyacı olduğunun göstergeleridir. Arıza sürelerini en aza indirmek, bakıma ait maliyetleri azaltmak şeklinde hedefler tanımlanabilir.
2. Bakım Stratejisinin Oluşturulması: Bakım süreçlerinin işleyişinin nasıl yapılacağını anlatmaktadır. Bakım süreçlerinde kullanılacak malzeme, donanım ve yazılım bu süreçte kararlaştırılmaktadır.
3. Bakım Sürecinin Planlaması: Bakım süreçlerinin daha detaylı olarak belirlenmesidir. Bakım işlemlerinin ne zaman, hangi süreçte ve nasıl yapılacağıyla beraber kullanılacak ekipman, çalışacak işçi sayısı tanımlanmaktadır. Bu süreçte üretimi aksatmayacak şekilde zaman belirlenmektedir.
4. Bakım İçin Gerekli Olan Kaynakların Tedarik Edilmesi: Bakım süreçlerinde gerekli olan kaynakların belirlenmesidir. Zamanında ve doğru şekilde tedarik edilmesidir.
5. Bakım Eyleminin Gerçekleştirilmesi: Belirlenen plan dahilinde bakım eylemlerinin uygulanmasıdır. Süreçte yaşanabilecek aksaklıklar sonucunda sürecin tekrar hızlıca planlanması gerekmektedir.
6. Bakım Eyleminin Analiz Edilmesi: Bakım süreçlerinde yapılan eylemler incelenir ve başarı durumu analiz edilir. Bakım sonucunda elde edilen veriler kaydedilerek ileride daha etkin planlama yapılmasını desteklemektedir.

Tüm süreçlerde etkinliği arttırmak için faaliyetlerin gerçekleşmesini engelleyecek risklerin değerlendirilerek ortadan kaldırılması gerekmektedir (Korkusuz Polat & Pamuk Candan, 2024). Bu durum, özellikle bakım süreçlerinde daha önem kazanmaktadır. Çünkü bakım çalışmaları sırasında karşılaşılabilecek riskler, yalnızca ilgili ekipmanı değil, tüm süreci etkileyebilecek sonuçlar oluşabilmektedir. Bakım faaliyetlerinde risklerin analiz edilmesi ve uygun tedbirlerin alınması önemlidir. Bu sebeple bakım faaliyetlerinde risk değerlendirme yöntemlerinden yararlanılmaktadır.

Literatürde ve pratik uygulamalarda yapılacak faaliyetlerde istenmeyen olumsuz sonuçları ortadan kaldırmak için risklerin değerlendirmesinde kullanılan Olay Ağacı Analizi (ETA), Karar Matrisi Risk Analizi Yöntemi (DMRA), Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA), Tehlike ve İşletim Analizi (HAZOP), Hata Ağacı Analizi (FTA),

gibi farklı yöntemler bulunmaktadır (Ab Rahim ve diğerleri, 2024); (Tomak & Korkusuz Polat, 2022).

Klasik FMEA risk değerlendirme için sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir. Yöntem, riskleri değerlendirirken olasılık, etki ve tespit edilebilirlik olmak üzere üç farklı risk bileşenini kullanmaktadır. Sıklıkla kullanılmasına rağmen Klasik FMEA yönteminin eksik kalan ve eleştirilen bazı yönleri bulunmaktadır.

Birinci eksiklik olarak riski değerlendirirken olasılık, etki ve tespit edilebilirlik bileşenlerinin yetersiz kalabileceği, farklı bileşenlerin de hesaba katılabileceği düşüncesidir. İkinci eksiklik olasılık, etki ve tespit edilebilirlik bileşenlerinin alt kriterler bazında değerlendirilmemesidir. Üçüncü eksiklik olarak ise riski değerlendirirken kullanılan risk bileşenlerinin ağırlıklarının aynı olmaması gerektiğidir. Bu eksikliğin giderilmesi için risk bileşenlerini ağırlıklandırmada Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca FMEA yönteminde risk bileşenlerinin aldıkları puanlar ilgili uzmanların görüşlerine dayanılarak belirlendiği için uzmanların deneyim ve sezgilerini de değerlendirmeye dahil edebilecek bulanık ÇKKV yöntemlerine entegre edildiği modeller çalışılmıştır (Ervural & Ayaz, 2023).

Bu çalışmada FMEA yönteminin literatürde belirtilen eksikliklerini gidermek için yeni bir model önerisi sunulmaktadır. Geliştirilen yeni modelin literatüre katkıları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Klasik FMEA yönteminde risk değerlendirmede kullanılan etki bileşeni tüm farklı etkileri tek bir bileşende ölçerken, geliştirilen yeni model ile etki bileşeni üç alt bileşene (tamir süresine etki, tamir maliyetine etki, tamir zorluğuna etki şeklinde) ayrılmıştır.
- Klasik FMEA yönteminde risk değerlendirme için üç bileşen kullanılırken, geliştirilen yeni model ile risk değerlendirme için dört ana bileşen (olasılık, etki, tespit edilebilirlik ve önlenebilirlik) kullanılması önerilmiştir.
- Değerlendirmeye alınan kriterler Fermatean bulanık kümeleri kullanarak Pivot İkili Göreceli Kriter Önem Değerlendirmesi (PIPRECIA) ve Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (SWARA) yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır. Geliştirilen yeni model üzerinden FMEA ve İdeal çözüm için birleşik uzlaşma (COCOFISO) yöntemleri kullanılarak riskler

sıralanmıştır. Çalışmada kullanılan Fermatean bulanık kümenin ve yöntemlerin literatürde oldukça yeni olmasından dolayı, literatüre önemli bir katkı sağlayacaktır.



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışmasında bakım süreçleri açısından risk değerlendirme çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında yeni bir yaklaşım olan Fermatean bulanık kümeler kullanılarak PIPRECIA ve SWARA yöntemlerine bağlı FMEA ve COCOFISO yöntemleriyle risk değerlendirme çalışması yapılmıştır. Literatür özetinde risk değerlendirme, FMEA, bakım, PIPRECIA, SWARA ve COCOFISO ile ilgili çalışmalar yer almaktadır.

### 2.1. Risk Değerlendirme İle İlgili Çalışmalar

Literatürde risk değerlendirme ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Risk değerlendirme açısından kullanılan farklı yöntemler üzerinde durulmuş ve incelenme yapılmıştır. İncelenen çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Ali ve ark. (2025) ülke genelinde yer alan petrole ait boru hatları için FMEA yöntemiyle Coğrafi Bilgi sistemini beraber kullanarak risk değerlendirmesi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sekiz adet risk üzerinden olasılık etki ve tespit edilebilirlik kriterlerine göre risk öncelik sayısını hesaplayıp riskli olan bölgeleri görselleştirmişlerdir. Çalışmada düzenli bakım ve kontrolün önemli olduğunu belirtmişlerdir (Ali ve diğerleri, 2025).

Över Özçelik ve ark. (2025) çalışmalarında metal endüstrisinde iş sağlığı ve güvenliği üzerinden bulanık FINE-KINNEY yöntemini kullanarak iş sağlığı ve güvenliği risklerinin analizini yapmışlardır. 252 duruma göre gerçekleştirilen değerlendirme sonucunda bulanık FINE-KINNEY yöntemi klasik FINE-KINNEY yöntemine göre daha doğru sonuçlar vermiştir (Över Özçelik ve diğerleri, 2025).

Korkusuz Polat ve Saltan Yaşlı (2024) enerji depolama yapıları üretimi yapan firmada yeni proje bazında üretim aşamalarında oluşan değişikliklerdeki riskler üzerine çalışma yapmışlardır. Klasik karar matrisi ile risk değerlendirme yönteminde etki kriterini üç alt kritere ayırarak bulanık SWARA ile ağırlıklandırıp bulanık MOORA yöntemiyle riskler sıralanmıştır. Çalışma sonucunda hatalı kalitede QR koduyla ürün

teslimi en önemli risk olup riski azaltmak için öneride bulunmuşlardır (Korkusuz Polat & Saltan Yaşlı, 2024).

Tomak ve Korkusuz Polat (2022) klasik risk değerlendirme metotlarının bazı durumlarda eksik olması sebebiyle ürün geliştirme aşamalarında olasılık ve etki kriterine ek olarak başarı kriterlerinin de entegre etmişlerdir. Çalışmada Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemiyle kriter ağırlıklarının belirlendiği model geliştirmişlerdir. Oluşturulan modeli klasik karar matrisi ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda önerilen modelde daha doğru ve etkin sonuçlar elde etmişlerdir (Tomak & Korkusuz Polat, 2022).

Xie ve ark. (2021) petrol deposunda yangın ve patlama yaşanması durumları için risk değerlendirmesi üzerine çalışma yapmışlardır. BOW-TİE ile model hazırlanıp risk matrisi ile analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında karar vericilerin fikirlerinde belirsizlik olabilmesi sebebiyle bulanık Cloud üyelik fonksiyonu tabanlı Cloud-AHP ile grup Cloud karar verme algoritması önerisinde bulunmuşlardır (Xie ve diğerleri, 2021).

Tao ve ark. (2025) çalışmalarında açık deniz rüzgar türbinlerinin bakım sürecindeki eksiklikleri gidermek için FMEA yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Bakım sürecindeki riskleri sayısal hale getirmek için üç seviden oluşan maliyet öncelik numarası modeli oluşturmuşlardır. Böylece bakım sürecindeki belirsizler ve eksik veriler dikkate alınarak maliyetle alakalı risklerin analiz edilmesiyle birleştirilmiştir (Tao ve diğerleri, 2025).

Deswandri ve ark. (2024) Endenozya'da kurulacak olan entegre basınçlı su reaktörünün risk analizi çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada HAZOP, FTA ve FMEA yöntemleriyle değerlendirme yapılmıştır. HAZOP yöntemiyle süreç parametrelerinde sapmalardaki tehlikeleri tespit etmişlerdir. FTA yöntemiyle kök nedenler tanımlanmıştır. FMEA yöntemiyle riskler önceliklendirilip önlemler belirlenmiştir (Deswandri ve diğerleri, 2024).

Singh ve ark. (2022) çalışmalarında basınçlı hava, sıvı, konsantre güneş enerjisi, lityum iyon pil ve volan enerji depolama sistemlerinin risk değerlendirilmesini ETA yöntemiyle yapmışlardır. Sistemlerde patlama, yangın gibi tehlikeler olabileceğini belirtmişlerdir. En güvenilir sistem fkywhel sistemler olarak elde etmişlerdir (Singh ve diğerleri, 2022).

Kang ve ark. (2025) deniz katı oksit yakıt hücrelerinin güvenlik risklerini HAZOP yöntemiyle değerlendirmişlerdir. AHP ve ENTROPI yöntemleriyle ağırlıklandırma yapmışlardır. Deniz katı oksit yakıt hücreleri sisteminin güvenlik riskinin değerlendirmesinin iyi olduğu sonucuna varmışlardır (Kang ve diğerleri, 2025).

Kusumasari ve ark. (2022) Endonezya’da Google Maps uygulamasının güvenlik risklerini FMEA yöntemiyle değerlendirmişlerdir. 1000’den fazla kişiye yapılan anket sonuçlarına göre analiz gerçekleştirilmiştir. En önemli risk hız aşımı için uyarı olmamasıdır ve sesli bildirim ile uyarı yapılması önerisinde bulunmuşlardır (Kusumasari ve diğerleri, 2022).

Hosseini ve ark. (2020) doğal gaz üretim işletmelerinde yangın risklerini bulanık mantık modeliyle ETA ve FTA yöntemleriyle analiz etmişlerdir. Olayların süreçteki etkilerini PHAST yazılımı ile simüle yapmışlardır (Hosseini ve diğerleri, 2020).

Ceylan (2025) gemi otamosyon sistemlerinde risk analizini bulanık FINE-KINNEY yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında insanların en az müdahale ettiği noktaları değerlendirmişlerdir. En önemli risk ateşleme brülörü elektrot arızası olmuştur (Ceylan, 2025).

Penelas ve Pires (2021) ham petrol üretim tesislerinde süreç ve güvenlik faaliyetleri üzerine risk değerlendirmesini HAZOP yöntemiyle yapmışlardır. Yaptıkları uygulamada faaliyetleri bölümlere ayırarak 71 adet risk ve 47 tavsiye geliştirmişlerdir (Penelas & Pires, 2021).

Tablo 2.1’de risk değerlendirme kapsamında incelenen çalışmalar yer almaktadır.

**Tablo 2.1.** Risk değerlendirme ile ilgili çalışmalar.

| Yazar ve Yıl                          | Uygulama Alanı                                | Yöntem                                      |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Ali ve ark. (2025)                    | Petrol boru hattı risk analizi                | FMEA                                        |
| Över Özçelik ve ark. (2025)           | İş sağlığı ve güvenliği risk analizi          | Klasik-Bulanık FINE-KINNEY                  |
| Korkusuz Polat ve Saltan Yaşlı (2024) | Yeni proje bazında üretim süreci risk analizi | Karar Matrisi, Bulanık SWARA, Bulanık MOORA |
| Tomak ve Korkusuz Polat (2022)        | Ürün geliştirme risk analizi                  | Karar matrisi, AHP                          |
| Xie ve ark. (2021)                    | Petrol depoları risk analizi                  | Bow-Tie Model, Cloud-AHP                    |

**Tablo 2.1. (Devamı) Risk değerlendirme ile ilgili çalışmaları.**

| Yazar ve Yıl              | Uygulama Alanı                                | Yöntem                   |
|---------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|
| Tao ve ark. (2025)        | Rüzgar türbinleri bakımı risk analizi         | FMEA                     |
| Deswandri ve ark. (2024)  | Basınçlı su reaktörü risk analizi             | HAZOP, FTA, FMEA         |
| Singh ve ark. (2022)      | Farklı enerji depo sisteminde risk analizi    | ETA                      |
| Kang ve ark. (2025)       | Yakıt hücresi güvenliği risk analizi          | HAZOP, AHP, ENTROPI      |
| Kusumasari ve ark. (2022) | Google Maps uygulaması güvenliği risk analizi | FMEA                     |
| Hosseini ve ark. (2020)   | Doğal gaz üretiminde yangın risk analizi      | Bulanık FTA, Bulanık ETA |
| Ceylan (2025)             | Gemi otamasyon sistemlerinde risk analizi     | Bulanık FINE-KINNEY      |
| Penalas ve Pires (2021)   | Ham petrol üretimi risk analizi               | HAZOP                    |

## 2.2. FMEA Yöntemi İle İlgili Çalışmalar

Literatürde FMEA yöntemiyle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. FMEA yönteminin kullanıldığı çalışmalar üzerinde durulmuş ve incelenen çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Shafiee ve Animah (2022) çalışmalarında yüksek basınç ve sıcaklık ortamında denizaltı petrol ve gaz tesislerinde risk değerlendirmesi yapmışlardır. FMEA yöntemiyle beraber AHP ve PROMETHEE yöntemlerini kullanmışlardır. FMEA yöntemiyle riskler sınıflandırılıp AHP ve PROMETHEE yöntemleriyle risk stratejisi seçimi yapılmıştır (Shafiee & Animah, 2022).

Korkusuz Polat ve Pamuk Candan (2024) çalışmalarında yazılım test aşamalarında oluşabilecek riskleri FMEA ve bulanık SWARA yöntemiyle değerlendirmişlerdir. FMEA yöntemini geliştirmek için etki alt kriterlere ayrılmıştır. Çalışma sonucunda SQL ile veri kontrolü yapılması, yazılımdaki tasarımın değerlendirilmesi gibi önerilerde bulunmuşlardır (Korkusuz Polat & Pamuk Candan, 2024).

Ervural ve Ayaz (2023) gıda üretiminde gerçekleştirilen uygulamayla klasik FMEA yönteminin geliştirerek risk değerlendirme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Kriter

ağırlıklandırılmasını M-CRITIC, risk sıralamasını ise ABAC yöntemiyle değerlendirmişlerdir (Ervural & Ayaz, 2023).

İlbahar ve ark. (2022) yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlarda oluşan risklerin değerlendirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında beklenti teorisiyle beraber Aralık Değerli Sezgisel bulanık AHP yöntemi entegre edilmiş FMEA modeli geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, fiyat politikasındaki değişimler ve vergiler, düzenlemedeki değişimler ve döviz kurunda değişimleri en önemli risk olarak elde etmişlerdir (İlbahar ve diğerleri, 2022).

Jafarzadeh Ghouschi ve ark. (2025) yirmi beş yaş altında genç sürücülerin deneyim ve yaş gibi etkiler nedeniyle sürüş sırasındaki riskleri incelemişlerdir. Telefonla ilgilenme, dikkat dağılması, kurallara uymama şeklinde üç grupta riskleri incelemişlerdir. Klasik FMEA yöntemiyle Sezgisel bulanık MARCOS yöntemi kullanılarak değerlendirmişlerdir (Jafarzadeh Ghouschi ve diğerleri, 2025).

Tang ve ark. (2025) lityum iyon pillerin üretiminde karşılaşılan risklerin değerlendirilmesi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. FMEA yöntemini Uzunluk Terimi Setleri (PULTSS), Regret Teorisi (RT), M-CRITIC ve WASPAS yöntemleriyle geliştirmişlerdir. Yapılan duyarlılık ve karşılaştırma analizi ile modelin güvenilirliği ortaya konulmuştur (Tang ve diğerleri, 2025).

Yazdani ve ark. (2021) Dış kaynak kullanımının işletmeler için süreç etkinliğini arttırmak ve rekabette üstünlük sağlamak için önemli strateji haline geldiğinin altını çizmişlerdir. Çalışmalarında dış kaynak sağlayıcılarının risklerinin analiz edilmesini sağlamışlardır. Üçlü bulanık tereddütlü kümeler, FMEA ve COCOSO yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmada duyarlılık analizi yapılarak modelin güvenilirliği gösterilmiştir (Yazdani ve diğerleri, 2021).

Jafarzadeh Ghouschi ve ark. (2023) temiz enerji gelişiminde oluşabilecek riskleri FMEA yöntemini geliştirerek değerlendirmişlerdir. Çalışmada teknik, idari, politik, sosyal-kültürel ve ekonomik şekilde 5 grupta riskler incelenmiştir. Küresel bulanık SWARA ve Küresel bulanık CODAS yöntemlerini kullanarak hesaplamalar yapılmıştır. En önemli risk eksik pazarların ve yönetim sürecindeki değişimler olduğunu elde etmişlerdir. Farklı yöntemlerle duyarlılık analizi yapılarak CODAS yönteminin diğer yöntemlerden daha iyi sonuç verdiği sonucuna ulaşmışlardır (Jafarzadeh Ghouschi ve diğerleri, 2023).

Li ve ark. (2025) inşaat endüstrisinde dijital dönüşüm risklerini FMEA yöntemiyle MABAC ve Gri İlişkisel Analiz (GRA) yöntemlerinin beraber analiz edildiği bir çalışma yapmışlardır. Karar vericilerin görüşlerindeki belirsizliği önlemek için aralık değerli sezgisel bulanık sayılar kullanmışlardır (Li ve diğerleri, 2025).

Demirel ve ark. (2025) Yalova'da risk değerlendirilmesi yapılması için Coğrafi Bilgi Sistemine bağlı Heyelan Duyarlılık haritası oluşturmayı hedeflemişlerdir. FMEA, AHP ve Pareto analizi yöntemleri kullanılarak fay hattına mesafe, arazi kullanımı, eğitim ve litoloji gibi kriterleri değerlendirmişlerdir. En önemli kriter litoloji olarak elde edilmiştir. Heyelanların yaklaşık %95'i riskli bölgede olduğuna varılmıştır (Demirel ve diğerleri, 2025).

Maghami ve ark. (2024) akıllı şebekelerle güneş enerjisinin birleştirilmesindeki başarısızlıklarda enerji açısından güvenilirlik ve çevresel sürdürülebilirlikteki riskleri değerlendirmişlerdir. FMEA yöntemine zaman ve maliyet gibi kriterleri dahil ederek küresel bulanık kümeleri kullanmışlardır. SWARA yöntemi ile ağırlıklandırma yapıp küresel bulanık WASPAS yöntemiyle de riskleri sıralamışlardır (Maghami ve diğerleri, 2024).

Chen ve ark. (2025) Fermatean bulanık sayıları ve Z-sayı teorisini beraber kullanarak Muirhead ortalamasını dahil ederek farklı bakış açısı oluşturmuşlardır. Uygulamada FMEA yöntemine onarılabilirlik gibi farklı risk kriterleri eklemişlerdir. Klasik FMEA'ya göre daha doğru ve tutarlı sonuçlar elde etmişlerdir (Chen ve diğerleri, 2025).

İlbahar ve ark. (2018) inşaat alanında yapılan kazı işlemlerindeki riskleri incelemişlerdir. Çalışmada FINE-KINNEY, Pisagor bulanık AHP ve bulanık çıkarım sistemlerinin entegre edilmesiyle model oluşturmuşlardır. Pisagor bulanık FMEA yöntemiyle karşılaştırıp önerilen modelde daha tutarlı sonuçlar elde edilmiştir (İlbahar ve diğerleri, 2018).

Rahnamay Bonab ve Osgooei (2022) İran'da atık su arıtma işletmesinde çevresel etkilerin önlenmesi hedefiyle FMEA yöntemini kullanarak değerlendirme yapmışlardır. Pisagor bulanık SWARA yöntemiyle kriterler ağırlıklandırıp Pisagor bulanık COPRAS yöntemiyle riskler sıralanmıştır. Klasik FMEA yöntemine kirlilik seviyesi ve maliyeti ek kriterler olarak eklemişlerdir. Çalışmalarında farklı

yöntemlerle karşılaştırma yaparak modelin güvenilirliğini göstermişlerdir (Rahnamay Bonab & Osgooei, 2022).

Tablo 2.2’de FMEA yöntemi kapsamında incelenen çalışmalar yer almaktadır.

**Tablo 2.2.** FMEA yöntemi ile ilgili çalışmalar.

| Yazar ve Yıl                          | Uygulama Alanı                                                                           | Yöntem                                                 |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Shafiee ve Animah (2022)              | Denizaltı petrol ve gaz tesisi risk analizi                                              | FMEA, AHP, PROMETHEE                                   |
| Korkusuz Polat ve Pamuk Candan (2024) | Yazılım test süreci risk analizi                                                         | FMEA, Bulanık SWARA                                    |
| Ervural ve Ayaz (2023)                | Gıda üretim süreçleri risk analizi                                                       | FMEA, M-CRITIC, ABAC                                   |
| İlbahar ve ark. (2022)                | Yenilenebilir enerji yatırımları risk analizi                                            | FMEA, Aralık Değerli Sezgisel bulanık AHP              |
| Jafarzadeh Ghouschi ve ark. (2025)    | Genç sürücülerin araba sürüşlerindeki risk analizi                                       | FMEA, Sezgisel bulanık MARCOS                          |
| Tang ve ark. (2025)                   | Lityum iyon pillerin üretimi risk analizi                                                | FMEA, PULTSS, RT, M-CRITIC, WASPAS                     |
| Yazdani ve ark. (2021)                | Dış kaynak sağlayıcılarının risklerinin analizi                                          | Üçlü bulanık tereddütlü kümeler, FMEA, COCOSO          |
| Jafarzadeh Ghouschi ve ark. (2023)    | Temiz enerji gelişimi risk analizi                                                       | FMEA, Küresel bulanık SWARA, Küresel bulanık CODAS     |
| Li ve ark. (2025)                     | İnşaat endüstrisinde dijital dönüşüm risk analizi                                        | FMEA, MABAC, GRA                                       |
| Demirel ve ark. (2025)                | Heyelan risk analizi                                                                     | FMEA, AHP, Pareto Analizi                              |
| Maghami ve ark. (2024)                | Akıllı şebekelerle güneş enerjisinin birleştirilmesindeki başarısızlıklarda risk analizi | FMEA, Küresel bulanık SWARA- Küresel bulanık WASPAS    |
| Chen ve ark. (2025)                   | FMEA yöntemindeki eksiklerin giderilmesi                                                 | FMEA, Fermatean bulanık sayılar, Z-sayı teorisi        |
| İlbahar ve ark. (2018)                | İnşaat alanında yapılan kazı işlemlerindeki risk analizi                                 | FINE-KINNEY, Pisagor bulanık AHP, Pisagor bulanık FMEA |
| Rahnamay Bonab ve Osgooei (2022)      | Atık su arıtma işletmesinde çevresel etkilerin risk analizi                              | FMEA, Pisagor bulanık SWARA- Pisagor bulanık COPRAS    |

### 2.3. Bakım İle İlgili Çalışmalar

Literatürde bakım ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bakımı konu alan çalışmalar üzerinde durulmuş ve incelenme yapılmıştır. İncelenen çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Zhou ve ark. (2021) çalışmalarında bulanık AHP yöntemiyle maliyet tabanlı FMEA ve EFMULTIMOORA yöntemlerini birleştirmişlerdir. Çalışmalarında bakım açısından fayda, zaman ve maliyet ölçütlerini bulanık AHP ile ağırlıklandırıp EFMULTIMOORA ile arızaları sıralamışlardır. Önerilen model VIKOR yöntemiyle karşılaştırıldığında benzer sonuçlar verdiğine ulaşmışlardır. Bu durumda önerilen modelin değerlendirmede etkili olduğunun altını çizmişlerdir (Zhou ve diğerleri, 2021).

Soltanali ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada otomotiv sektöründeki üretim aşamalarında bakıma dair alınan kararları doğrulamak için bulanık FMEA yöntemi kullanmışlardır. Sıvı doldurma sisteminde arızalarında uygulama yapmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda bakım açısından karar alınmasında risk analizi eksikliğinde iyileştirme önermişlerdir (Soltanali ve diğerleri, 2020).

Farwaha ve ark. (2025) çalışmalarında inşaat endüstrisindeki bom yerleştirici gibi makinelerin en uygun bakım stratejisinin çok kriterli karar verme yöntemleri ile belirlemişlerdir. Çalışmada maliyet, uygulama kolaylığı gibi kriterler belirlenerek Shannon ENTROPI ile ağırlıklandırılıp SAW, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile arızalar sıralanmıştır. Amaçları bekleme zamanlarını düşürmek, bakım maliyetlerini azaltmak ve makine emniyetini arttırmaktır (Farwaha ve diğerleri, 2025).

Choi ve ark. (2023) çalışmalarında kentsel demiryollarında yer alan traversli yüzey rayların ahşap traversli makas sistemlerindeki 10 yıllık bakım planı analiz etmişlerdir. FMEA ve AHP yöntemlerini beraber incelemişlerdir. AHP yöntemiyle kriterler ağırlıklandırılıp sonucunda FMEA yöntemine dayanılarak bakım planı etkin hale getirebileceğini belirtmişlerdir (Choi ve diğerleri, 2023).

Behnia ve ark. (2023) kağıt sanayisindeki bir üretim işletmesindeki kritik pompaların bakımı için FMEA yöntemi, hedef programlama, DEMATEL ve ANP yöntemleri ile çözüm geliştirmişler ve uygulama yapmışlardır. Çalışma sonucunda arızaların azaltılması açısından önleyici ve öngörücü bakım stratejilerinin düzeltici bakım stratejilerinden daha verimli olduğunu tespit etmişlerdir (Behnia ve diğerleri, 2023).

Karanovic ve ark. (2024) denizcilik alanında gemiler için kullanılan dört pistonlu hidrolik dümen düzeninin bulanık FMEA yöntemiyle riskleri belirleyip analiz etmişlerdir. Elde edilen değerlendirmeler ışığında arızalı konektör, boru ve hortum

sebebiyle ortaya çıkan yetersiz sistem basıncı en önemli arıza olmuştur (Karanovic ve diğerleri, 2024).

Siahaan ve ark. (2024) soğutma sürecinden elde edilen performansı analiz ederek kritik riskleri FMEA yöntemi ile inceleyip bakım açısından önceliklerini belirlemişlerdir. Performansı COP ölçütü ile değerlendirmişlerdir. Geleneksel ve bulanık FMEA yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Yapılan analiz sonucunda işlem süresinde artış olduğu sürece performansın azaldığını elde etmişlerdir (Siahaan ve diğerleri, 2024).

Ramere ve Laseinde (2021) çalışmalarında otomotiv sanayisinde ani beklemelerin eskiyen ekipmanlarla ilgili olduğuna dikkat çekerek üretim sürecindeki arızaların belirlenmesi, tamir ve parça değişim aşamalarında vakit aldığını verimliliği etkilediğini vurgulamıştır. FMEA yöntemini kullanarak koşul bazlı bakımı ele almışlardır. Çalışmalarında performans düzeyinin tahmin edilmesini ve bekleme sürelerinin azaltılmasını amaçlamışlardır (Ramere & Laseinde, 2021).

Giordano ve Fantoni (2025) çalışmalarında bakıma ait iş emirlerinde bulunan arızalarda yazılan açıklamaları ve düzeltme aşamalarını analiz etmek için Doğal Dil İşleme kullanmışlardır. Çalışma kapsamında otomotiv firmasında uygulama gerçekleştirilmişlerdir (Giordano & Fantoni, 2025).

Karimi ve ark. (2020) çok kriterli karar verme konularındaki problemlerinin sonuca ulaştırılmasında bulanık BWM metodunu kullanmışlardır. Bu yöntem geleneksel metotlardan farklı olarak referansların kıyaslanmasını, en iyi ölçütler ve en kötü ölçütlerin göre bulanık açıdan incelenir. Çalışmada bir hastanede bakım açısından analiz uygulaması yapılarak verimlilik ve performans artırılmıştır. Bulanık AHP yöntemiyle kıyaslanınca çalışmadaki metotla güvenli sonuçlar elde edilebilir ve başka çok kriterli karar verme yöntemleri ile beraber incelenebilir (Karimi ve diğerleri, 2020).

Tablo 2.3'te bakım kapsamında incelenen çalışmalar yer almaktadır.

**Tablo 2.3.** Bakım ile ilgili çalışmalar.

| Yazar ve Yıl             | Uygulama Alanı                                       | Yöntem                                 |
|--------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Zhou ve ark. (2021)      | Bakım risk analizi                                   | FMEA, EFMULTIMOORA, Bulanık AHP, VIKOR |
| Soltanali ve ark. (2020) | Otomotiv sektöründe üretim süreci bakım risk analizi | Bulanık FMEA                           |

**Tablo 2.3. (Devamı) Bakım ile ilgili çalışmalar.**

| Yazar ve Yıl               | Uygulama Alanı                                                                  | Yöntem                              |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Farwaha ve ark. (2025)     | İnşaat sektörü makine bakım analizi                                             | Shannon ENTROPI, SAW, TOPSIS, VIKOR |
| Choi ve ark. (2023)        | Traversli yüzey rayların ahşap traversli makas sistemleri bakım analizi         | FMEA, AHP                           |
| Behnia ve ark. (2023)      | Kağıt üretiminde kritik pompaların bakımı için risk analizi                     | FMEA, DEMATEL, ANP                  |
| Karanovic ve ark. (2024)   | Hidrolik dümen düzeninin risk analizi                                           | Bulanık FMEA                        |
| Siahaan ve ark. (2024)     | Soğutma süreci performansı risk analizi                                         | FMEA ve Bulanık FMEA                |
| Ramere ve Laseinde (2021)  | Otomotiv sektöründe ekipman bakımı risk analizi                                 | FMEA                                |
| Giordano ve Fantoni (2025) | Bakıma ait iş emirlerindeki arızalarda açıklamaları ve düzeltme aşaması analizi | Doğal Dil İşleme                    |
| Karimi ve ark. (2020)      | Hastanede bakım analizi                                                         | Bulanık BWM, Bulanık AHP            |

#### 2.4. PIPRECIA Yöntemi İle İlgili Çalışmalar

Literatürde PIPRECIA yöntemiyle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. PIPRECIA yönteminin kullanıldığı çalışmalar üzerinde durulmuş ve incelenme yapılmıştır. İncelenen çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Puska ve ark. (2022) yeşil tedarikçi seçimi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bulanık PIPRECIA yöntemiyle kriterler ağırlıklandırılıp tedarikçilerin sıralamasını bulanık ARAS yöntemiyle yapmışlardır. En önemli alt kriterin yeşil ürün ve kalitesi olduğunu belirlemişlerdir. Duyarlılık analizi yaparak modelin güvenilirliğini ortaya koymuşlardır (Puška ve diğerleri, 2022).

Görçün ve ark. (2024) teleskopik forklift seçiminde aralık değerli Fermatean bulanık kümeleri kullanarak tekstil sektöründeki bir işletmede çalışma gerçekleştirmişlerdir. Aralık değerli Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemini kullanarak kriter ağırlıklandırıp aralık değerli Fermatean bulanık WISP yöntemiyle alternatifleri analiz etmişlerdir. Değerlendirme sonucunda en önemli olan kriterlerden birincisi satın alma fiyatı, ikincisi taşıma kapasitesidir. Karşılaştırma ve duyarlılık analizi ile oluşturulan modelin doğrulunu göstermişlerdir (Görçün ve diğerleri, 2024).

Blagojevic ve ark. (2020) çalışmalarında Bosna-Hersek'te yer alan 9 adet demiryolu hattı açısından trafik güvenliğini analiz etmişlerdir. ENTROPI yöntemini kullanarak

giriş kriterlerini, Bulanık PIPRECIA yöntemini kullanarak ise çıkış kriterlerini ağırlıklandırmışlardır. DEA modeliyle hatlar için güvenlik açısından performans analizi yapmışlardır. Çalışma sonucunda kriter ağırlıklarında değişimler yapılarak duyarlılık analizinde modelin güvenilir olduğunu belirtmişlerdir (Blagojevic ve diğerleri, 2020).

Yücenur ve Maden (2025) fotovoltaik tarımın Türkiye’de gerçekleştirilebilmesi için en uygun şehirlerin tespit edilmesi üzerine 6 adet ana kriter ile 26 adet alt kriterle göre ÇKKV yöntemleriyle çalışma yapmışlardır. Bulanık PIPRECIA yöntemiyle kriterler ağırlıklandırılmıştır, WASPAS yöntemiyle alternatifler sıralanmıştır (Yücenur & Maden, 2025).

Xu ve ark. (2023) trafikte hafif ticari araçların verileriyle en uygun yol kesimini oluşturmak için 14 yol kesimi ve 7 kriter kullanarak belirlemişlerdir. Trapezoidal aralık tip-2 bulanık PIPRECIA yöntemiyle kriterleri ağırlıklandırıp Trapezoidal aralık tip-2 bulanık MARCOS yöntemiyle alternatifleri önceliklendirmişlerdir. Kriter ağırlıklarının değişimiyle yapılan duyarlılık analizinde modelin değişimlere karşı kararlı olduğuna ulaşmışlardır (Xu ve diğerleri, 2023).

Jaukovic Jocic ve ark. (2020) e-öğrenme kursları açısından analiz ederek en uygun ders seçimi üzerine çalışma yapmışlardır. Değerlendirilmedeki kriterler eğitim süreci ve kalitesine göre belirlemiş ve PIPRECIA yöntemiyle ağırlıklandırılıp sıralaması ise Aralık Değerli Üçgen bulanık ARAS yöntemiyle bir örnek üzerinde uygulanmıştır (Jaukovic Jocic ve diğerleri, 2020).

Özdağoglu ve ark. (2022) çalışmalarında şehirlerarası yapılan yolcu taşımacılığında otobüs seçimi için Türkiye’de seçilen 3 farklı otobüs markasının sahiplerinin ve şoförlerinin kararlarına göre 10 kriter üzerinden analiz edilmiştir. Hizmet, maliyet ve teknik gibi kriterlerin ağırlıkları PIPRECIA yöntemiyle, alternatiflerin sıralaması ise COPRAS-G yöntemiyle yapılmıştır. Otobüs sahipleri açısından maksimum tork, şoförler açısından ise yaygın yedek parça en önemli kriter olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Özdağoglu ve diğerleri, 2022).

Stevic ve ark. (2022) çalışmalarında yol yapım projelerinde oluşan gecikmelerin sebeplerinin analiz edilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Projelerin incelenmesi sonucunda 20 gecikme etkileri belirlenip 3 adet uzman tarafından değerlendirilmiştir. Bulanık PIPRECIA yöntemi kullanarak kriterler ağırlıklandırılıp Spearman ve Pearson

korelasyon katsayıları metoduyla tutarlılık analizi yapılmıştır. Çalışmada en önemli gecikme etkisi proje finansmanı olmuşken genel olarak en önemli gecikme etkilerinin finansal gecikmeler olduğu belirlenmiştir (Stevic ve diğerleri, 2022).

Tomasevic ve ark. (2020) çalışmalarında yüksek performansa sahip bilgi işlem sistemlerinin kullanılabilirliğini araştırmak için bazı ülkeler üzerinde değerlendirmişlerdir. Kriterler bulanık PIPRECIA yöntemiyle analiz edilmiştir. En önemli kriter bilimsel kuruluşlar ile kamu otoritelerinin yüksek performanslı bilgisayar kullanımı açısından iş birliği seviyesi iken en az önemli kriter ise yüksek performanslı bilgisayarla alakalı arge işlemlerine özel finansman varlığıdır (Tomašević ve diğerleri, 2020).

Ulutaş ve ark. (2020) süreçlerde gerekli olan personel seçiminin gerçekleştirilmesinde kriterlerin önem ağırlıklarının belirlemek için PIPRECIA-G ve sırlanmasında ise OCRA-G yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında tekstil işletmesinde uygulama yapılarak modelin uygulanabilirliği ortaya koyulmuştur (Ulutaş ve diğerleri, 2020).

Pathak ve ark. (2025) IV-q-ROF-SD-PIPRECIA-WASPAS yöntemlerini kullanarak blockchain teknolojisinin kullanılmış olduğu hastanelerin değerlendirilmesi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. IVq-ROF etkileşim toplama operatörleri, standart sapma subjektif ve objektif ağırlıklandırma için PIPRECIA yöntemine entegre edilmiştir. WASPAS yöntemiyle hastaneler sıralanmıştır. Hindistan’da yapılan sayısal bir çalışmayla modelin uygulanabilirliği ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamında en önemli kriter esneklik olduğu sonucuna varılmıştır (Pathak ve diğerleri, 2025).

Akhtar (2025) çalışmasında üretim endüstrisinde lojistik açıdan hizmet verici seçiminde aralık değerli Fermatean bulanık PIPRECIA ve aralık değerli Fermatean bulanık WASPAS yöntemlerini kullanmışlardır. Oluşturulan modelde dayanıklı, ekonomik, çevresel, operasyonel, çevik ve sosyal sürdürülebilirlik 18 kriterler ışığında bir üretim işletmesinde uygulama gerçekleştirilmiştir (Akhtar, 2025).

Mishra ve ark. (2025) elektrikli scooterların değerlendirilmesi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Nesnel kriter ağırlıklandırma q-ROF-SPC ile öznel ağırlıklandırma q-ROF-PIPRECIA yöntemleriyle alternatiflerin sıralaması ise q-ROF WASPAS kullanarak elde edilmiştir. Karşılaştırma ve duyarlılık analizleri ile modelin güvenilirliğini ortaya koymuşlardır (Mishra ve diğerleri, 2025).

Yıldırım ve ark. (2024) elektrikli araçlar için en uygun istasyon konumlarının kararlaştırılması üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle kriterler ağırlıklandırılıp Fermatean bulanık VIKOR yöntemiyle alternatifler analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında uygulama gerçekleştirilerek en önemli kriter ekonomik, en az önemli kriter sosyal olarak elde edilmiştir (Yıldırım ve diğerleri, 2024).

Alnoor ve ark. (2025) hayvancılık endüstrisinde karar destek araçlarını değerlendirmek için Z-cloud kaba sayıları kullanarak kriter ağırlıkları PIPRECIA yöntemiyle ağırlıklandırılıp COCOSO yöntemiyle karar analiz sistemlerini sınıflandırmışlardır. Çalışmada görselleştirme ve sürü niteliklerinin en önemli kriter olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Alnoor ve diğerleri, 2025).

Tablo 2.4'te PIPRECIA yöntemi kapsamında incelenen çalışmalar yer almaktadır.

**Tablo 2.4.** PIPRECIA yöntemi ile ilgili çalışmalar.

| Yazar ve Yıl                  | Uygulama Alanı                                          | Yöntem                                            |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Puska ve ark (2022)           | Yeşil tedarikçi seçimi                                  | Bulanık PIPRECIA, Bulanık ARAS                    |
| Görçün ve ark. (2024)         | Teleskopik forklift seçimi                              | Aralık değerli Fermatean bulanık PIPRECIA-WISP    |
| Blagojevic ve ark. (2020)     | Demiryolu hattı trafik güvenliği                        | ENTROPI, Bulanık PIPRECIA, DEA                    |
| Yücenur ve Maden (2025)       | Fotovoltaik tarım yer seçimi                            | Bulanık PIPRECIA, WASPAS                          |
| Xu ve ark. (2023)             | Trafikte hafif ticari araçlar için yol kesimi belirleme | Trapezoidal aralık tip-2 bulanık PIPRECIA- MARCOS |
| Jaukovic Jocic ve ark. (2020) | e-öğrenme ders seçimi                                   | PIPRECIA, Aralık Değerli Üçgen Bulanık ARAS       |
| Özdağoğlu ve ark. (2022)      | Otobüs seçimi                                           | PIPRECIA, COPRAS-G                                |
| Stevic ve ark. (2022)         | Yol yapım projelerinde gecikme analizi                  | Bulanık PIPRECIA                                  |
| Tomasevic ve ark. (2020)      | Bilgi işlem sistemlerinin kullanılabilirlik analizi     | Bulanık PIPRECIA                                  |
| Ulutaş ve ark. (2020)         | Personel seçimi                                         | PIPRECIA-G, OCRA-G                                |
| Pathak ve ark. (2025)         | Blockchain teknolojisi                                  | IV-q-ROF-SD-PIPRECIA-WASPAS                       |

**Tablo 2.4. (Devamı) PIPRECIA yöntemi ile ilgili çalışmalar.**

| Yazar ve Yıl            | Uygulama Alanı                                                       | Yöntem                                           |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Akhtar (2025)           | Lojistik hizmet sağlayıcı seçimi                                     | Aralık değerli Fermatean bulanık PIPRECIA-WASPAS |
| Mishra ve ark. (2025)   | Elektrikli scooter değerlendirilmesi                                 | q-ROF-PIPRECIA, q-ROF-WASPAS                     |
| Yıldırım ve ark. (2024) | Elektrikli araçlar için istasyon konumu seçimi                       | Fermatean bulanık PIPRECIA-VIKOR                 |
| Alnoor ve ark. (2025)   | Hayvancılık endüstrisinde karar destek araçlarının değerlendirilmesi | Z-cloud kaba sayılar, PIPRECIA, COCOSO           |

## 2.5. SWARA Yöntemi İle İlgili Çalışmalar

Literatürde SWARA yöntemiyle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. SWARA yönteminin kullanıldığı çalışmalar üzerinde durulmuştur. İncelenen çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Görçün ve ark. (2023) sağlık alanında tıbbi atıkların ortadan kaldırılması için lojistik hizmet verecek şirket seçimi gerçekleştirmişlerdir. Aralık değerli Fermatean bulanık kümeler SWARA ve aralık değerli Fermatean bulanık kümeler COPRAS yöntemlerini kullanarak Türkiye’de uluslararası hastane zincirinde uygulama yapmışlardır (Görçün ve diğerleri, 2023).

Görçün ve ark. (2024) üretim faaliyetlerinde kullanılabilecek 3 boyutlu yazıcı seçimi üzerine çalışma yapmışlardır. Fermatean bulanık SWARA ve Fermatean bulanık RAFSI yöntemlerini beraber inceleyerek otomotiv endüstrisinde gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda en önemli kriterler doğruluk ve kalite olurken duyarlılık analiz yaparak modelin güvenilirliğini göstermişlerdir (Görçün ve diğerleri, 2024).

Tuş ve Aytaç Adalı (2022) yeşil tedarikçi seçiminde bulanık SWARA yöntemiyle kriterler ağırlıklandırılmış, bulanık MARCOS yöntemiyle ise alternatifler değerlendirilmiştir. Tekstil işletmesinde uygulama gerçekleştirilmiştir. Kriter ağırlıklarında duyarlılık analizi ile bulanık CODAS, bulanık TOPSIS ve bulanık EDAS yöntemleriyle karşılaştırma analizi yapılarak modelin tutarlılığını belirtilmişlerdir (Tuş & Aytaç Adalı, 2022).

Ansari ve ark. (2020) çalışmalarında sürdürülebilir tekrardan üretim tedarik zinciri açısından risklerin azaltılması için çözümler sunmayı hedeflemişlerdir. Riskler bulanık

SWARA metoduyla ağırlıklandırılıp bulanık COPRAS yöntemiyle de çözüm fikirleri değerlendirilmiştir (Ansari ve diğerleri, 2020).

Rani ve ark. (2020) güneş paneli seçimi üzerine çalışma gerçekleştirerek enerji ihtiyacında yaşanan artan talebe çözüm sunmayı amaçlamışlardır. Pisagor bulanık kümeleri kullanarak SWARA yöntemiyle kriterler ağırlıklandırılıp, VIKOR yöntemiyle de alternatifler değerlendirilmiştir. Çalışmada uygulama gerçekleştirilip duyarlılık ve karşılaştırma analizleri yapmışlardır (Rani ve diğerleri, 2020).

He ve ark. (2021) çalışmalarında Hindistan'da yer alan Himalaya bölgesinde sürdürülebilir topluluk tabanlı turizm süreçlerini analiz ederek farklı bir bakış açısı önermeyi hedeflemişlerdir. Aralık değerli Pisagor bulanık kümeleri kullanarak SWARA ve MULTIMOORA yöntemleriyle analiz yapılmıştır. Çalışma kapsamında en önemli kriter ekonomik fırsatlar olduğunu elde etmişlerdir (He ve diğerleri, 2021).

Soltani ve Mirzaei Aliabadi (2023) yangın söndürmedeki risklerin analiz edilmesi üzerine risk değerlendirme çalışması gerçekleştirmişlerdir. FINE-KINNEY yönteminde yer alan kriterleri bulanık SWARA yöntemiyle ağırlıklandırıp ARAS yöntemiyle sıralamışlardır. Çalışmada en önemli risk zararlı gaz ve duman solunumu iken en önemsiz risk en uygun operasyon endişesi şeklinde elde edilmiştir. Yapılan duyarlılık analizi sonucunda modelin doğruluğu gösterilmiştir (Soltani & Mirzaei Aliabadi, 2023).

Ayyıldız ve Erdoğan (2024) çalışmalarında nüfusta ve kullanılan araç sayısında yaşanan artışlar sonucunda yetersiz kalan otopark problemini otonom araçları trafik sürecine dahil edilmesiyle birlikte incelemişlerdir. SCOR modeli ile hiyerarşi oluşturmuşlardır. Fermatean bulanık kümeleri kullanarak SWARA ve TOPSIS yöntemleriyle alternatifler İstanbul ili üzerinde yapılan uygulamayla değerlendirilmiştir (Ayyıldız & Erdoğan, 2024).

Pandey ve Khurana (2024) çalışmalarında Hint otomotiv fabrikasında endüstri 4.0 ait teknolojilerin kullanımında gerçekleşen risklerin tanımlayarak azaltmayı hedeflemişlerdir. Karar vericilerin fikirleri ve literatür taraması sonucunda 17 adet risk ve 9 adet çözüm tanımlanıp Pisagor bulanık SWARA yöntemiyle ağırlıklandırılıp Pisagor bulanık COPRAS yöntemiyle çözümleri değerlendirmişlerdir (Pandey & Khurana, 2024).

Ayyıldız (2022) Birleşmiş Milletler tarafından sürdürülebilir kalkınma amaçlarına dahil olan erişilebilir temiz enerjiyi sağlamaya istinaden kriterleri Fermatean bulanık SWARA ile ağırlıklandırmışlardır. Türkiye’de yapılan uygulamada en önemli kriterlerin elektriğe ulaşım ile yenilebilir enerji payı olduğu sonucuna varılarak yönetsel ve pratik açıdan çözümler önerilmiştir (Ayyıldız, 2022).

Deveci ve ark. (2023) madencilik endüstrisinde sürdürülebilirliği önleyebilecek olan riskler üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Literatür incelemesiyle uzman görüşlerinin fikirleri ışığında 6 temel kategoride 49 adet risk tanımlanmıştır. Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle önceliklendirme gerçekleştirilerek en yüksek derecede risk kategorisi çevre riski olarak elde etmişlerdir (Deveci ve diğerleri, 2023).

Korucuk ve ark. (2022) çalışmalarında lojistik alanında bilgi ve iletişim açısından çevreye yönelik dijital pazarlama strateji seçimi için kolay ve uygulanabilir çözüm bulmayı amaçlamışlardır. Çalışmalarında Fermatean bulanık SWARA ve Fermatean bulanık COPRAS yöntemleri kullanılarak en önemli kriterin veri yönetimi, stratejinin ise programatik reklamcılık olarak elde etmişlerdir (Korucuk ve diğerleri, 2022).

Liu ve ark. (2024) şirketlerdeki dijital açıdan dönüşüm performanslarını detaylı şekilde analiz edilmesi üzerine Fermatean bulanık sayılarla PSI, SWARA ve EDAS yöntemlerini kullanarak çalışma gerçekleştirmişlerdir. Minimum görelî bilgi ENTROPI ilkesiyle, nesnel olarak PSI yöntemiyle ve öznel olarak ise SWARA yöntemiyle kriter ağırlıklarını birleştirilmişlerdir. Alternatiflerin değerlendirilmesi EDAS yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Uygulama yapılarak modelin uygulanabilirliği gösterilerek karşılaştırma ve duyarlılık analizi yapılarak güvenilirliği sağlanmıştır (Liu ve diğerleri, 2024).

Tablo 2.5’te SWARA yöntemi kapsamında incelenen çalışmalar yer almaktadır.

**Tablo 2.5. SWARA yöntemi ile ilgi çalışmalar.**

| Yazar ve Yıl              | Uygulama Alanı                                                                   | Yöntem                                        |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Görçün ve ark. (2023)     | Sağlık alanında tıbbi atıkların ortadan kaldırılması için lojistik şirket seçimi | Aralık değerli Fermatean bulanık SWARA-COPRAS |
| Görçün ve ark. (2024)     | 3 boyutlu yazıcı seçimi                                                          | Fermatean bulanık SWARA-RAFSI                 |
| Tuş ve Aytaç Adalı (2022) | Yeşil tedarikçi seçimi                                                           | Bulanık SWARA-MARCOS-CODAS-TOPSIS-EDAS        |

**Tablo 2.5. (Devamı) SWARA yöntemi ile ilgi çalışmalar.**

| Yazar ve Yıl                       | Uygulama Alanı                                                                | Yöntem                                          |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Ansari ve ark. (2020)              | Tedarik zinciri risk analizi                                                  | Bulanık SWARA, Bulanık COPRAS                   |
| Rani ve ark. (2020)                | Güneş paneli seçimi                                                           | Pisagor bulanık SWARA-VIKOR                     |
| He ve ark. (2021)                  | Turizm süreçleri analizi                                                      | Aralık değerli Pisagor bulanık SWARA-MULTIMOORA |
| Soltani ve Mirzaei Aliabadi (2023) | Yangın söndürme risk analizi                                                  | FINE-KINNEY, Bulanık SWARA, ARAS                |
| Ayyıldız ve Erdoğan (2024)         | Otopark problemini otonom araçların trafik sürecine dahil edilmesiyle analizi | SCOR modeli, Fermatean bulanık SWARA-TOPSIS     |
| Pandey ve Khurana (2024)           | Endüstri 4.0 kullanımı risk analizi                                           | Pisagor bulanık SWARA-COPRAS                    |
| Ayyıldız (2022)                    | Temiz enerji sağlama                                                          | Fermatean bulanık SWARA                         |
| Deveci ve ark. (2023)              | Madencilik endüstrisinde sürdürülebilirliği önleyebilecek risk analizi        | Fermatean bulanık SWARA                         |
| Korucuk ve ark. (2022)             | Lojistik alanında dijital pazarlama strateji seçim                            | Fermatean bulanık SWARA-COPRAS                  |
| Liu ve ark. (2024)                 | Dijital dönüşüm performans analizi                                            | Fermatean bulanık PSI-SWARA-EDAS                |

## 2.6. COCOSO ve COCOFISO Yöntemi İle İlgili Çalışmalar

Literatürde COCOSO ve COCOFISO yöntemleriyle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. COCOSO ve COCOFISO yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar üzerinde durulmuş ve incelenme yapılmıştır. İncelenen çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Rasoanaivo ve ark. (2024) çalışmalarında COCOSO yönteminin sınırlamalarını uygulama üzerinde analiz etmişlerdir. Oluşan sınırlamaları önlemek için bazı değişiklikler yaparak COCOFISO yöntemi oluşturmuşlardır. Öğrencilerin yurda yerleştirilmesi üzerine uygulama yapılarak farklı yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Spearman ve Kendall korelasyon katsayıları ile sonuçlar doğrulanmıştır (Rasoanaivo ve diğerleri, 2024).

Chang (2025) çalışmasında teknolojik ilerlemeler, sürekli yenilen dijital koruma standartları ile mali sınırlamalar sebebiyle en uygun dijitalleşme stratejisi uygulanmasında resim bulanık COCOFISO kullanarak çözüm elde etmişlerdir.

Teknolojik uygunluk, erişim sağlanabilme, kültürel uygunluk, sürdürülebilirlik ve güvenlik gibi kriterler analiz edilerek farklı yöntemlerden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Chang, 2025).

Adar ve ark. (2022) endüstriyel atıksu yönetimini AHP ve COCOSO yöntemleriyle analiz etmişlerdir. Alternatifler biyolojik, fiziksel, termal ve kimyasal olarak 4 grupta inceleyip 3 ana kriter ve 14 alt kriter bazında değerlendirmişlerdir. En önemli kriter işletme maliyetiyken alternatifler arasında membran biyoreaktörü en üst seviyedeki alternatiftir (Adar ve diğerleri, 2022).

Agrawal ve ark. (2025) Hindistan'da yer alan kauçuk lastik endüstrisinde kullanılan temel malzemelerin tedariğini engelleyen unsurları değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında SWARA ve COCOSO yöntemlerini kullanmışlardır. En önemli zorluk fiyat dalgalanması olmuşken en etkili strateji geri dönüşüm ve yeniden kullanım-üretim olarak belirlenmiştir (Agarwal ve diğerleri, 2025).

Banihashemi ve Khalilzadeh (2023) inşaat projelerinin çevresel etkilerini analiz etmek için uygulama gerçekleştirmişlerdir. Süre, çevresel etkiler (sosyoekonomik, biyolojik ve fizikokimyasal) ve maliyet açısından uygun olan uygulama türünü elde etmeyi hedeflemişlerdir. LEOPOLD matrisini kullanarak çevresel etkileri analiz etmişlerdir. Bulanık BWM yöntemiyle kriterleri ağırlıklandırmışlardır. Uygun olan uygulama türünü bulanık COCOSO yöntemiyle sıralayıp elde etmişlerdir (Banihashemi & Khalilzadeh, 2023).

Das ve Chakraborty (2022) iki adet yeşil kuru frezeleme işleminin parametre optimizasyon problemi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. SWARA yöntemiyle kriterler ağırlıklandırılıp COCOSO yöntemiyle denemeler sıralanmıştır. İlk uygulamada burun yarıçapı, kesme derinliği, ilerleme hızı ve kesme hızı; ikinci uygulamada aktif kesme enerjisi, kesme derinliği, malzeme çıkarma oranı, kesme hızı, yüzey pürüzsüzlüğü kesme genişliği ve ilerleme hızı giriş parametreleri kabul etmişlerdir (Das & Chakraborty, 2022).

Fernandez-Portillo ve ark. (2023) gelişmekte olan ülkelerin organik tarımı benimsemesini önleyen durumların üzerine Paraguay'daki iki bölgede uygulama gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında BWM ve bulanık COCOSO yöntemi kullanmışlardır. Çalışma sonucunda bölgelerdeki ürün uzmanlığından ve çiftlik

büyükluğündeki farklardan dolayı strateji sıralamalarında değışimler olduğına ulaşmışlardır (Fernandez-Portillo ve diğeri, 2023).

Janania ve ark. (2025) karmaşık ve belirsiz verilerden verimli sonuçlar almak ve başarılı bir yönetim süreci sağılamak amacıyla çalışma gerçekteşirmişlerdir. COCOSO yöntemi ve Arşimet operatörünü aralık değeri sezgisel bulanık ortamda entegre etmişlerdir (Janani ve diğeri, 2025).

Anes ve Abreu (2024) risk değeriendirme üzerine çalışma gerçekteşirmişlerdir. FMEA yöntemindeki kriterleri ROC yöntemi ile ağırlıklandırıp COCOSO yöntemiyle sıralama yapmışlardır. Önerilen hibrit modelin FMEA yönteminden daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir (Anes & Abreu, 2024).

Yazdani ve ark. (2025) atık tesisi yer seçimi problemini üzerine çalışma gerçekteşirmişlerdir. 10 adet uzman tarafından değeriendirme yapılmıştır. Kriterler bulanık AHP yöntemiyle alternatiflerin sıralamasında ise bulanık COCOSO yöntemini kullanmışlardır (Yazdani ve diğeri, 2025).

Wang ve ark. (2024) yeraltı madenleri için en uygun sensör seçimi için MEREC ve COCOSO yöntemlerini kullanmışlardır. MEREC yöntemiyle kriterleri ağırlıklandırıp COCOSO yöntemiyle sıralama yapmışlardır. 15 kriter üzerinden 10 adet sensör analiz edilmiştir. En önemli kriter kurulum kolaylığı, en uygun sensör yakınlık sensörleri olmuştur. Farklı yöntemlerle sonuçlar karşılaştırılmış doğruluğı ve duyarlılığın önerilen modelde daha yüksek olduğı sonucuna varmışlardır (Wang ve diğeri, 2024).

Lahene ve Kant (2021) dairesel tedarik zinciri sürdürülebilirlik üzerinden performans çıktıları etkilerini Pisagor bulanık AHP ve Pisagor bulanık COCOSO yöntemleriyle analiz etmişlerdir. Hindistan'da üretim işletmesinde yapılan uygulamada en önemli sağlayıcı küresel iklim baskısı ve kaynakların ekolojik kıtlığı iken en uygun performans çıktısı atıkların azaltılması ve yeşil ilerlemenin teşviki olarak elde etmişlerdir (Lahane & Kant, 2021).

Torkayesh ve ark. (2021) sağılık alanında sosyal sürdürülebilirlik ilkeleri bakımından değeriendirmişlerdir. Kriter ağırlıklarını BWM ve LBWA yöntemleriyle ağırlıklandırılıp COCOSO yöntemiyle birkaç ülkenin sağılık sistemleri açısından performanslarını değeriendirmişlerdir (Torkayes ve diğeri, 2021).

Tablo 2.6’da COCOSO ve COCOFISO yöntemi kapsamında incelenen çalışmalar yer almaktadır.

**Tablo 2.6.** COCOSO ve COCOFISO yöntemi ile ilgili çalışmalar.

| Yazar ve Yıl                      | Uygulama Alanı                                                                                     | Yöntem                                 |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Rasoanaivo ve ark. (2024)         | Öğrencilerin yurda yerleştirilmesi                                                                 | COCOSO, COCOFISO                       |
| Chang (2025)                      | Dijitalleşme strateji uygulaması                                                                   | Resim bulanık COCOFISO                 |
| Adar ve ark. (2022)               | Endüstriyel atıksu yönetimi                                                                        | AHP, COCOSO                            |
| Agrawal ve ark. (2025)            | Kauçuk lastik endüstrisinde kullanılan temel malzemelerin tedarikini engelleyen unsurların analizi | SWARA, COCOSO                          |
| Banihashemi ve Khalilzadeh (2023) | İnşaat projelerinin çevresel etkilerinin analizi                                                   | LEOPOLD matrisini, Bulanık BWM-COCOSO  |
| Das ve Chakraborty (2022)         | Yeşil kuru frezeleme işleminin parametre optimizasyonu                                             | SWARA, COCOSO                          |
| Fernandez-Portillo ve ark. (2023) | Organik tarımı benimsenmesini önleyen durumların analizi                                           | BWM, Bulanık COCOSO                    |
| Janania ve ark. (2025)            | Karmaşık ve belirsiz verilerden verimli sonuçlar alınması                                          | Aralık Değerli Sezgisel bulanık COCOSO |
| Anes ve Abreu (2024)              | Risk değerlendirme                                                                                 | FMEA, ROC, COCOSO                      |
| Yazdani ve ark. (2025)            | Atık tesisi yer seçimi                                                                             | Bulanık AHP-COCOSO                     |
| Wang ve ark. (2024)               | Yeraltı madenleri için en uygun sensör seçimi                                                      | MEREC, COCOSO                          |
| Lahene ve Kant (2021)             | Dairesel tedarik zinciri sürdürülebilirlik üzerinden performans çıktıları etkileri                 | Pisagor bulanık AHP-COCOSO             |
| Torkayesh ve ark. (2021)          | Sağlık alanında sosyal sürdürülebilirlik ilkeleri bakımından değerlendirme                         | BWM, LBWA, COCOSO                      |

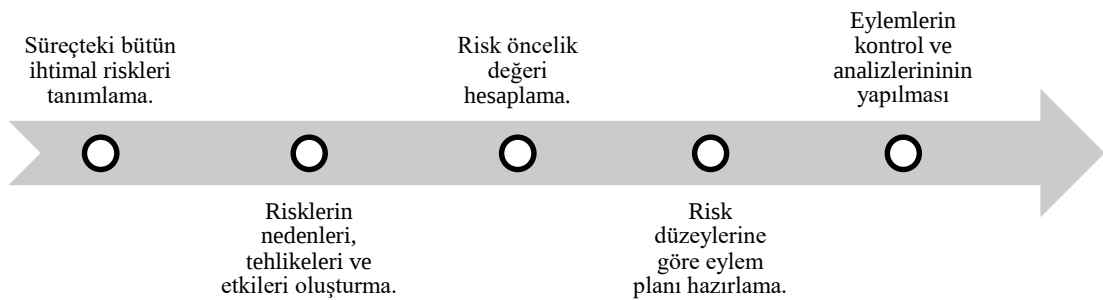
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. FMEA Yöntemi

Risk yönetimi, risklerin tanımlanması, olasılık ve etkilerin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması, riskin temel nedenlerini incelemek, riski azaltacak faaliyetleri belirlemek, faaliyetlerin verimliliğini incelemek ve iyileştirmek şeklinde gerçekleştirilmektedir. Risk değerlendirmede kullanılan FMEA yöntemi olası arızaları tanımlayıp oluşmadan engellemektedir (Testik & Tok Ünlü, 2023). Süreçteki parçaların oluşma ihtimali olan arıza modlarını, etkilerini ve nasıl önleneceğini tanımlayıp değerlendirilmesini sağlayan aşama aşama devam eden bir yöntemdir. İlk olarak 1949 yılında Amerika Birleşik Devletleri Ordusu tarafından tasarlanmış ve kullanılmıştır. Uygulama Apollo uzay projesinde risklerin azaltılmasında devam etti. Sebepler ile etkilerin aralarındaki etkileşimi ortaya çıkarmak, süreç bazında kararlar almak ve çözüm sağlama yöntemin amaçlarıdır (Kadena ve diğerleri, 2022). FMEA yöntemi özellikle sağlık, otomotiv, nükleer ve havacılık sektörü ile beraber birçok sektörde kullanılmaktadır. FMEA yönteminin risk öncelik sayısı (RÖS) hesaplaması olasılık (O), etki (S) ve tespit edilebilirlik (D) bileşenlerinden oluşmaktadır ve denklem 3.1’de gösterilmiştir. RÖS değeri, sürecin yada parçaların risklerinin ciddiyetini vermektedir ve fazla bir değer elde edilirse acil şekilde tedbir alınmalıdır (Kumari ve diğerleri, 2025).

$$RÖS = O \times S \times D \quad (3.1)$$

FMEA yöntemi beş adımda gerçekleştirilerek uygulanmaktadır. Şekil 3.1’de FMEA yönteminin adımları gösterilmiştir (Susanti, 2023).



Şekil 3.1. FMEA yöntemi adımları.

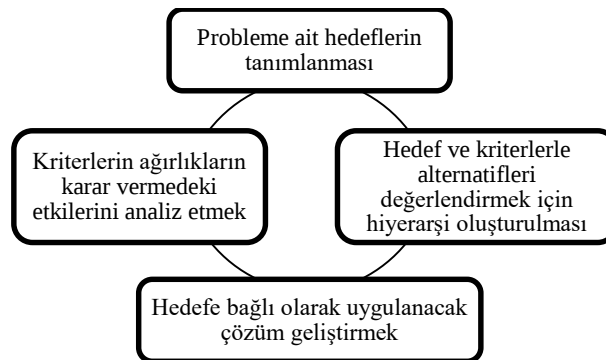
### 3.2. Çok Kriterli Karar Verme

Karar verme süreci, mevcutta yer alan alternatifler içinden en uygun olanın seçimi şeklinde açıklanmaktadır. Çok kriter ve çok alternatifin olduğu karmaşık problemlerin çözümünde ÇKKV yöntemleri olarak adlandırılan yöntemler kullanılmaktadır (Haseli ve diğerleri, 2024). ÇKKV, 1950 yılların sonunda ortaya çıkmıştır. Birçok kriter doğrultusunda karmaşık karar verme aşamalarının daha kolay hale getirilmesi amacıyla kullanılan disiplinler arası yöntemdir. Alternatifler farklı kriterle analiz edilmektedir. Kriterler ağırlıklandırılarak alternatifler sıralanmaktadır (Zakeri ve diğerleri, 2025).

ÇKKV yönteminin temel kavramları 9 başlık altında incelenmektedir (Taherdoos & Madanchian, 2023).

1. Alternatifler: Farklı ihtimali olan seçeneklerdir.
2. Nitelik: Alternatifin ölçülebilir özelliğidir.
3. Toplama: Alternatif seçiminde kriterdeki alternatifin performansının değerlendirilmesidir.
4. Karar Değişkeni: Alternatifin vektör bileşenleridir.
5. Karar Alanı: Uygun alternatiflerdir.
6. Ölçüm: Alternatifin özelliklerini sayısal ve sembol ile değerlendirme parçaları.
7. Kriter: Alternatif kararının verilmesindeki karşılaştırma araçları.
8. Tercihler: Alternatifin niteliğinin karar vericinin ulaşmak istediği amacı nasıl sağlayacağıdır.
9. Karar verilmesi: Seçim veya sıralama sonuçlarının elde edilmesidir.

ÇKKV, 4 temel adımdan oluşmaktadır. Şekil 3.2’de ÇKKV’nin temel adımları yer almaktadır (Thakkar, 2021).



Şekil 3.2. ÇKKV temel adımları.

ÇKKV yöntemlerinin bazı sınırlamaları bulunmaktadır (Thakkar, 2021):

1. Süreç açısından uygun hiyerarşi hazırlanmasında oluşan zorluk alternatif seçilmesinde yanlışlıklara sebep olmaktadır.
2. Karar vericilerin görüşlerine bağlı olduğundan sonuçlarda tutarsızlıklar olmaktadır.
3. Farklı ÇKKV yöntemlerinin çözümünde adımların farklı şekilde ilerlemektedir. Bu sebeple farklı yöntemlerle alternatifler değerlendirildiğinde elde edilen sonuçların doğru olduğunun kabulünde zorluklar bulunmaktadır.
4. Gerçek uygulamalarda süreç kriterler ve alternatifler bakımından değişkenlik gösterebilmektedir. ÇKKV yöntemiyle elde edilen sıralamalar zamanla geçerliliğini yitirmektedir. Bu sebeple detaylı duyarlılık analizi yapılması gereklidir.

Ayrıca, ÇKKV yöntemlerindeki uzman görüşlerinin subjektifliğini ve uzman görüşlerinin değerlendirilmesindeki belirsizlikleri ortadan kaldırmak için Bulanık Küme Teorisi'nden de yararlanılmaktadır (Kumari ve diğerleri, 2025)

### **3.3. Bulanık Küme Teorisi**

Bulanık Küme Teorisi 1965 yılında Zadeh tarafından önerilmiştir (Justman ve diğerleri, 2020). Bulanık küme üyelikleri net olarak belirlenmemiş nesne bölümüdür. Gerçek sonuçları klasik matematiğe göre daha iyi açıklamaktadır. Üyelik dereceleri kademe şeklindedir. Bu durumda bulanık küme teorisinin karara varabilmek için hassasiyet göstererek belirlenmesini sağlamaktadır (Kahraman ve diğerleri, 2016).

Klasik mantıkta üyelik yok 0, tam üyelik ise 1 şeklinde açıklanmaktadır. Bulanık kümelerde her bir eleman 0 ve 1 arasında üyelik kümesinin değerini gösterir (Huitzil ve diğerleri, 2020). Üçgen, gauss ve yamuk gibi farklı üyelik fonksiyonlarından bulanık kümelerde yararlanılmaktadır (Khoshvaght ve diğerleri, 2025).

### **3.4. Fermatean Bulanık Kümeler**

Fermatean bulanık kümeler, Senapati ve Yager tarafından literatüre sunulmuştur. Belirsizlikleri daha doğru ifade edip karar verme süreçlerini daha doğru modellemektedir. Sezgisel bulanık ve Pisagor bulanık kümelere dayanılarak geliştirilmiştir. Bulanık ortamda belirsizlikleri açıklamayı yönelik bir yaklaşımdır

(Senapati & Yager, 2020). Fermatean bulanık kümeler hakkında bilgileri ve uygulama adımlarında kullanılan cebirsel hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

Tanım 1: Denklem 3.2’de yer alan sabit küme  $X$ ’teki bir Fermatean bulanık sayı  $\tilde{F}$  şeklinde gösterilir (Korucuk ve diğerleri, 2022).

$$\tilde{F} \cong \{x, \mu_{\tilde{F}}(x), v_{\tilde{F}}(x); x \in X\} \quad (3.2)$$

$\mu_{\tilde{F}}(x) : X \mapsto [0, 1]$  ve  $v_{\tilde{F}}(x) : X \mapsto [0, 1]$   $x \in X$  elemanının  $F$  üyelik olma ve olmama derecesini tanımlar ve denklem 3.3’te gösterilmiştir (Senapati & Yager, 2020).

$$0 \leq \mu_{\tilde{F}}(x)^3 + v_{\tilde{F}}(x)^3 \leq 1; x \in X \quad (3.3)$$

Kararsızlık derecesi hesaplaması ise denklem 3.4’te gösterilmiştir (Senapati & Yager, 2020).

$$\pi_{\tilde{F}}(x) = \sqrt[3]{1 - (\mu_{\tilde{F}}(x))^3 + (v_{\tilde{F}}(x))^3} \quad (3.4)$$

Tanım 2: Denklem 3.5’te Fermatean bulanık sayı  $\tilde{a} = (\mu_{\tilde{a}}, v_{\tilde{a}})$  pozitif skaler değerle çarpılmasıdır (Ayyıldız & Erdoğan, 2024).

$$\lambda \tilde{a} = \left( \sqrt[3]{1 - (1 - \mu_{\tilde{a}}^3)^\lambda}, v_{\tilde{a}}^\lambda \right) \quad (3.5)$$

Tanım 3: denklem 3.6’da Fermatean bulanık sayı  $\tilde{a} = (\mu_{\tilde{a}}, v_{\tilde{a}})$  pozitif gücünü göstermektedir (Aydoğan & Özkır, 2024).

$$\tilde{a}^\lambda = \left( \mu_{\tilde{a}}^\lambda, \sqrt[3]{1 - (1 - v_{\tilde{a}}^3)^\lambda} \right) \quad (3.6)$$

Tanım 4: denklem 3.7 ve denklem 3.8 ile Fermatean bulanık sayı  $\tilde{a} = (\mu_{\tilde{a}}, v_{\tilde{a}})$  puan ve pozitif puan değeri elde edilir (Korucuk ve diğerleri, 2022).

$$S(\tilde{a}) = \mu_{\tilde{a}}^3 - v_{\tilde{a}}^3 \quad (3.7)$$

$$S^+(\tilde{a}) = 1 + S(\tilde{a}) = 1 + \mu_{\tilde{a}}^3 - v_{\tilde{a}}^3 \quad (3.8)$$

Tanım 5: Denklem 3.9 ve denklem 3.10’da Fermatean bulanık sayı  $\tilde{a} = (\mu_{\tilde{a}}, v_{\tilde{a}})$  ile  $\tilde{\beta} = (\mu_{\tilde{\beta}}, v_{\tilde{\beta}})$  toplama ve çarpma işlemleri verilmiştir (Senapati & Yager, 2020).

$$\tilde{a} \oplus \tilde{\beta} = \left( \sqrt[3]{\mu_{\tilde{a}}^3 + \mu_{\tilde{\beta}}^3 - \mu_{\tilde{a}}^3 \mu_{\tilde{\beta}}^3}, v_{\tilde{a}} v_{\tilde{\beta}} \right) \quad (3.9)$$

$$\tilde{a} \otimes \tilde{\beta} = \left( \mu_{\tilde{a}} \mu_{\tilde{\beta}}, \sqrt[3]{v_{\tilde{a}}^3 + v_{\tilde{\beta}}^3 - v_{\tilde{a}}^3 v_{\tilde{\beta}}^3} \right) \quad (3.10)$$

Tanım 6: İki Fermatean bulanık sayı arasındaki öklid uzaklıkları Fermatean bulanık sayı  $\tilde{\alpha} = (\mu_{\tilde{\alpha}}, v_{\tilde{\alpha}})$  ile  $\tilde{\beta} = (\mu_{\tilde{\beta}}, v_{\tilde{\beta}})$  denklem 3.11’de verilmiştir (Ayyıldız & Erdoğan, 2024).

$$d(\tilde{\alpha}, \tilde{\beta}) = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \left( \mu_{\tilde{\alpha}}^3 - \mu_{\tilde{\beta}}^3 \right)^2 + \left( v_{\tilde{\alpha}}^3 - v_{\tilde{\beta}}^3 \right)^2 + \left( \pi_{\tilde{\alpha}}^3 - \pi_{\tilde{\beta}}^3 \right)^2 \right]} \quad (3.11)$$

### 3.5. Fermatean Bulanık PIPRECIA Yöntemi

PIPRECIA, Stanujkic ve ark. Aracılığıyla geliştirilen kriterlerin ağırlıklandırılması için kullanılan ÇKVY yöntemidir. Kriter sayısının fazla olduğu ve karar vericilerin önem düzeyinde ortak karar veremediği zamanlarda kullanılmaktadır (Yücenur & Maden, 2025). Fermatean bulanık PIPRECIA Yıldırım ve ark. tarafından literatüre kazandırılmıştır. PIPRECIA yönteminin Fermatean bulanık kümeler ile kullanılmasının sebebi karmaşık kriterleri değerlendirirken oluşan belirsizliği ve tereddütü ortadan kaldırmasıdır. Klasik ve bulanık yöntemler değerlendirmede yetersiz kalabildiğinden karar vericilerin daha detaylı karar vermesine olanak tanımaktadır. Çalışma kapsamında PIPRECIA yöntemi bakım süreçlerindeki risklerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında Fermatean bulanık kümeler ile kullanılmıştır. Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemi adımları aşağıda verilmiştir (Yıldırım ve diğerleri, 2024).

Adım 1: Karar vericiler tecrübe ve yetkinliklerine göre Tablo 3.1’de yer alan dilsel ifadeler ile değerlendirilmektedir.

**Tablo 3.1.** Fermatean bulanık PIPRECIA yönteminde karar vericilerin değerlendirmesinde kullanılan dilsel terimler.

| Dilsel Terim              | $\mu$ | $v$  |
|---------------------------|-------|------|
| Kesinlikle Yetenekli (AS) | 0.95  | 0.10 |
| Çok Yetenekli (VS)        | 0.75  | 0.30 |
| Daha Yetenekli (MS)       | 0.55  | 0.50 |
| Yetenekli (S)             | 0.30  | 0.75 |
| Daha az Yetenekli (LS)    | 0.10  | 0.95 |

Karar vericilerin ağırlıkları denklem 3.11'e göre oluşturulur. Her karar vericinin ağırlığı, uzman sayısı (d) ile değerlendirilir Fermatean bulanık sayı ( $\mu_t, v_t$ ) değerleri doğrultusunda denklem 3.12 ile tespit edilmektedir.

$$\psi_t = \frac{SF^+(E_t)}{\sum_{t=1}^d SF^+(E_t)} = \frac{1 + \mu_t^3 - v_t^3}{\sum_{t=1}^d 1 + \mu_t^3 - v_t^3} \quad (3.12)$$

Adım 2: Her bir kriter için karar vericilerin fikirleri toplanıp karar matrisine dönüştürülür. Karar vericiler Tablo 3.2'de yer alan dilsel terimlerle değerlendirme yapmaktadırlar. Kriterler önem düzeyleri göz önüne alınmadan sıralanır. İkinci kriterden başlayarak karar verici t tarafından kriter j Fermatean bulanık sayı şeklinde değerlendirir.

**Tablo 3.2.** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle kriterlerin önem değerlendirmeleri.

| Dilsel Terim                  | $\mu$ | $v$   |
|-------------------------------|-------|-------|
| Kesinlikle Düşük Önemli (AL)  | 0.10  | 0.975 |
| Çok Düşük Önemli (VL)         | 0.20  | 0.85  |
| Düşük Önemli (L)              | 0.35  | 0.70  |
| Orta Düşük Önemli (ML)        | 0.45  | 0.60  |
| Eşit Önemli (EE)              | 0.55  | 0.50  |
| Orta Yüksek Önemli (MH)       | 0.65  | 0.40  |
| Yüksek Önemli (H)             | 0.70  | 0.35  |
| Çok Yüksek Önemli (VH)        | 0.85  | 0.20  |
| Kesinlikle Yüksek Önemli (AH) | 0.975 | 0.10  |

Adım 3: Uzman ağırlıklarıyla beraber uzman görüşleri birleştirilip denklem 3.13 ile karara bağlanır.

$$\tilde{Y}_j = \left( \prod_{t=1}^d (\mu_{jt})^{\psi_t}, \sqrt[3]{1 - \prod_{t=1}^d (1 - (v_{jt})^3)^{\psi_t}} \right) \quad (3.13)$$

Adım 4: Her kriterin denklem 3.14 ile pozitif puanı hesaplanır.

$$SF^+(\tilde{Y}_j) = 1 + S(\tilde{Y}_j) = 1 + \mu_{\tilde{Y}_j}^3 - v_{\tilde{Y}_j}^3 \quad (3.14)$$

Adım 5: Denklem 3.15'te her kriterin  $k_j$  katsayısı hesaplanır.

$$k_j = \begin{cases} = 1 & j = 1 \\ 2 - SF^+(\tilde{Y}_j) & j > 1 \end{cases} \quad (3.15)$$

Adım 6: Denklem 3.16'da  $u_j$  normalleştirilmemiş ağırlık hesaplanır.

$$u_j = \begin{cases} = 1 & j = 1 \\ \frac{u_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (3.16)$$

Adım 7: Denklem 3.17'de  $n$  toplam kriter sayısı olmak üzere normalize kriter ağırlıkları hesaplanır.

$$w_j'' = \frac{u_j}{\sum_{j=1}^n u_j} \quad (3.17)$$

Adım 8: Sürecin doğruluğunun ve tutarlılığının artırılması için ters bulanık yaklaşım uygulanır. Sondan bir önceki kriterden başlanarak Tablo 3.2'de yer alan dilsel terimlerle değerlendirme yapılır.

Adım 9: Adım 3'ten adım 7'ye kadar yer alan aşamalar ters Fermatean bulanık PIPRCIA için tekrardan yapılır. En son adımda elde edilen normalleştirilmiş kriter ağırlığı  $w_j'$  bulunmaktadır. Ters yaklaşım olarak tekrarlanmasının nedeni kriter ağırlıklarının tutarlılığının ve güvenilirliğinin çapraz olarak sorgulanması ihtiyacıdır. Bu aşamalar tutarsızlıkları fark ettirerek kriterlerin daha dengeli ve doğru ağırlıklandırmaktadır.

Adım 10: Denklem 3.18'de kriter ağırlıklarının son hali elde edilir.

$$w_j = \frac{w_j'' + w_j'}{2} \quad (3.18)$$

### 3.6. Fermatean Bulanık SWARA Yöntemi

Swara, Kersulienne ve ark. tarafından ana ve alt kriterlerin ağırlıklandırılmasında kullanılan ÇKKV yöntemidir. Karar vericiler en önemliden en önemsiz kriterleri sıralayarak ağırlıkların önemini belirlemede etkilidirler (Rehman ve diğerleri, 2021). Fermatean bulanık SWARA Ayyıldız tarafından literatüre kazandırılmıştır. SWARA yönteminin Fermatean bulanık kümeler ile kullanılmasının sebebi karmaşık

kriterler değerlendirilirken oluşan belirsizliği önleyerek karar vericilerin daha detaylı karar vermesini sağlamaktadır. Çalışma kapsamında SWARA yöntemi bakım sürecindeki risklerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında Fermatean bulanık kümeler ile kullanılmıştır. Fermatean bulanık SWARA yöntemi adımları aşağıda verilmiştir (Ayyıldız & Erdoğan, 2024).

Adım 1: Karar vericiler tecrübe ve yetkinliklerine göre Tablo 3.3’de yer alan dilsel ifadeler ile değerlendirilmektedir.

**Tablo 3.3.** Fermatean bulanık SWARA yönteminde karar vericilerin değerlendirmesinde kullanılan dilsel terimler.

| Dilsel Terim              | $\mu$ | $\nu$ |
|---------------------------|-------|-------|
| Kesinlikle Yetenekli (AS) | 0.95  | 0.10  |
| Çok Yetenekli (VS)        | 0.75  | 0.30  |
| Daha Yetenekli (MS)       | 0.55  | 0.50  |
| Yetenekli (S)             | 0.30  | 0.75  |
| Daha az Yetenekli (LS)    | 0.10  | 0.95  |

Denklem 3.19 kullanılarak her karar vericinin ağırlığı hesaplanır. Uzman sayısı (d),  $E_t=(\mu_t, \nu_t)$  ise tecrübe ve yetkinlikleri tanımlamadaki Fermatean bulanık sayı değeridir.

$$\psi_t = \frac{S^+(E_t)}{\sum_{t=1}^d S^+(E_t)} = \frac{1 + \mu_t^3 - \nu_t^3}{\sum_{t=1}^d (1 + \mu_t^3 - \nu_t^3)} \quad (3.19)$$

Adım 2: Her bir kriter için karar vericilerin Tablo 3.4’de yer alan dilsel terimlerle değerlendirmeleri toplanıp karar matrisine dönüştürülür. Kriter j karar verici t tarafından değerlendirilerek Fermatean bulanık sayı olarak  $A_{it}=(\mu_{jt}, \nu_{jt})$  şeklindedir.

**Tablo 3.4.** Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle kriterlerin önem değerlendirmeleri.

| Dilsel Terim          | $\mu$ | $\nu$ |
|-----------------------|-------|-------|
| Kesinlikle Önemli (E) | 0.975 | 0.10  |
| Çok Önemli (V)        | 0.85  | 0.20  |
| Önemli (I)            | 0.70  | 0.35  |

**Tablo 3.4. (Devamı)** Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle kriterlerin önem değerlendirmeleri.

| Dilsel Terim             | $\mu$ | $\nu$ |
|--------------------------|-------|-------|
| Orta Derecede Önemli (M) | 0.55  | 0.50  |
| Biraz Önemli (S)         | 0.35  | 0.70  |
| Önemsiz (N)              | 0.20  | 0.85  |
| Kesinlikle Önemsiz (U)   | 0.10  | 0.975 |

Adım 3: Denklem 3.20 ile karar vericilerin kriterler için yaptıkları değerlendirmeler birleştirilerek Fermatean bulanık sayı karar matrisi yapılır.

$$\tilde{Y}_j = \left( \prod_{t=1}^d (\mu_{jt})^{\psi_t}, \sqrt[3]{1 - \prod_{t=1}^d (1 - (\nu_{jt})^3)^{\psi_t}} \right) \quad (3.20)$$

Adım 4: Denklem 3.21’de kriterlerin pozitif puanı hesaplanır.

$$S^+(j) = 1 + \mu_j^3 - \nu_j^3 \quad (3.21)$$

Adım 5: Kriterler pozitif puan değerlerine göre en yüksekte en düşüğe doğru sıralanır.

Adım 6: Her bir kriterin karşılaştırmalı önem ağırlığı  $c_j$ ,  $j$  kriterinin pozitif puan değerleri ile ikinci sıradaki  $j-1$  pozitif puan değeri farkı hesaplanır.

Adım 7: Denklem 3.22 ile karşılaştırma katsayısı  $k_j$  hesaplanır.

$$k_j = \begin{cases} = 1 & j = 1 \\ c_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (3.22)$$

Adım 8: Yeniden hesaplanan ağırlıklar  $q_j$  denklem 3.23 ile belirlenir.

$$q_j = \begin{cases} = 1 & j = 1 \\ \frac{q(j-1)}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (3.23)$$

Adım 9: Yapılan normalleştirmeye kriter ağırlıkları denklem 3.24 ile hesaplanır.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (3.24)$$

### 3.7. COCOFISO Yöntemi

COCOSO yöntemi Yazdani ve ark tarafından alternatiflerin sıralaması için uzlaşmaya dayalı bir kombinasyon çözümüne olanak sağlamaktadır (Banihashemi & Khalilzadeh, 2023). Rasoanaivo ve ark. COSOSO yönteminde bazı adımlarda hatalar olduğunu belirtip bu adımlarda iyileştirme yaparak COCOFISO yöntemini geliştirmişlerdir. COCOFISO yöntemi adımları aşağıda verilmiştir (Rasoanaivo ve diğerleri, 2024).

Adım 1: Denklem 3.25'te dilsel terimler ile başlangıç karar matrisi oluşturulur.

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}; i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (3.25)$$

Adım 2: Denklem 3.26'da normalizasyon işlemi yapılır.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij})^2}} \quad (3.26)$$

Adım 3: Denklem 3.27 ile normalleştirilmiş olan matrisin ağırlık ile çarpımının toplamı  $S_i$  elde edilir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad (3.27)$$

Adım 4: Denklem 3.28 ile normalleştirilmiş matrisin kuvvet ağırlığı toplamı bulunur.

$$P_i = \sum_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j} \quad (3.28)$$

Adım 5: Alternatiflerin göreceli ağırlıkları denklem 3.29, denklem 3.30 ve denklem 3.31'deki üç değerlendirme puanı ile hesaplanır.  $\lambda$  değeri genellikle 0.5 belirlenir.

$$k_{ia} = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^m P_i + S_i} \quad (3.29)$$

$$k_{ib} = \frac{S_i + P_i}{1 + \frac{S_i}{1 + S_i} + \frac{P_i}{1 + P_i}} \quad (3.30)$$

$$k_{ic} = \frac{\lambda (S_i) + (1 - \lambda)(P_i)}{(\lambda \max_i S_i + (1 - \lambda) \max_i P_i)}; 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (3.31)$$

Adım 6: Alternatiflerin sıralaması denklem 3.32'deki  $k_i$  ile belirlenir.

$$k_i = (k_{ia} k_{ib} k_{ic})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3} (k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}) \quad (3.32)$$

#### 4. UYGULAMA

Tezin uygulama bölümünde otomotiv sektöründe üretim gerçekleştiren bir işletmede bakım süreçlerinde risk analizi çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında karar vericiler işletme müdürü, bakım mühendisi ve işletme danışmanıdır. Karar vericiler ile düzenli toplantılar gerçekleştirilmiştir. Karar vericilerin görüşleri doğrultusunda bakım süreçlerini değerlendirmek için kriterler tanımlanmıştır. Bakım faaliyetlerinin değerlendirilmesinde FMEA yönteminde olasılık ve tespit edilebilirlik kriterlerine ek olarak önlenebilirlik kriteri eklenmiştir. Bakım süreçlerinde farklı etkiler oluşabileceğinden etki kriteri tamir süresi, tamir maliyeti ve tamir zorluğu şeklinde üç ayrı kritere ayrılmıştır. Kriterlerin ağırlıkları klasik FMEA yönteminde 1'dir. Çalışma kapsamında belirlenen 6 adet kriterin riskler üzerinde farklı düzeyde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sebeple kriterlerin ağırlıklandırılmasına karar verilmiştir. Daha sonra bakım süreçleri göz önüne alınarak oluşabilecek 25 adet risk belirlenmiştir. Çalışma kapsamında belirlenen kriterler ve açıklamalarına aşağıda yer verilmiştir.

- Olasılık (K1): Bir arızanın oluşma ihtimalini göstermektedir.
- Tespit Edilebilirlik (K2): Arızanın önceden fark edilebilme düzeyidir.
- Önlenebilirlik (K3): Arızanın ortaya çıkmadan önce önleme düzeyidir.
- Tamir süresi (K4): Arızanın tamir süresine olan etki düzeyini göstermektedir.
- Tamir maliyeti (K5): Arızanın tamir maliyetine olan etki düzeyidir.
- Tamir zorluğu (K6): Arızanın tamir zorluğuna olan etki düzeyidir.

Çalışma kapsamında risklerin değerlendirilmesinde kriterlere ait ölçekler aşağıda verilmiştir. Olasılık kriterine ait değerlendirme ölçeği Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.1.** Olasılık değerlendirme ölçeği.

| DERECE | AÇIKLAMA              |
|--------|-----------------------|
| 10     | Her zaman olmaktadır. |
| 9      | Çok sık olmaktadır.   |
| 8      | Sıklıkla olmaktadır.  |

**Tablo 4.1. (Devamı) Olasılık değerlendirme ölçeği.**

| DERECE | AÇIKLAMA                                |
|--------|-----------------------------------------|
| 7      | Belirli aralıklarla olmaktadır.         |
| 6      | Zaman zaman olmaktadır.                 |
| 5      | Nadiren olmaktadır.                     |
| 4      | Çok nadir olmaktadır.                   |
| 3      | Düşük olasılıkla olmaktadır.            |
| 2      | Son derece düşük olasılıkla olmaktadır. |
| 1      | Hiçbir zaman olmamaktadır.              |

Tespit edilebilirlik kriterine ait değerlendirme ölçeği Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.2. Tespit edilebilirlik değerlendirme ölçeği.**

| DERECE | AÇIKLAMA                            |
|--------|-------------------------------------|
| 10     | Kesinlikle tespit edilemez.         |
| 9      | Çoğunlukla tespit edilemez.         |
| 8      | Tespit edilmesi çok zor.            |
| 7      | Tespit edilmesi zor.                |
| 6      | Gözlem yapılarak tespit edilebilir. |
| 5      | Bazı durumlarda tespit edilebilir.  |
| 4      | Bazen tespit edilebilir.            |
| 3      | Çoğunlukla tespit edilebilir.       |
| 2      | Hemen tespit edilebilir.            |
| 1      | Kesinlikle tespit edilebilir.       |

Önlenebilirlik kriterine ait değerlendirme ölçeği Tablo 4.3’te gösterilmiştir.

**Tablo 4.3. Önlenebilirlik değerlendirme ölçeği.**

| DERECE | AÇIKLAMA              |
|--------|-----------------------|
| 10     | Kesinlikle önlenemez. |

**Tablo 4.3. (Devamı) Önlenebilirlik değerlendirme ölçeği.**

| DERECE | AÇIKLAMA                     |
|--------|------------------------------|
| 9      | Çoğunlukla önlenemez.        |
| 8      | Önlenmesi oldukça zor.       |
| 7      | Önlenmesi zor.               |
| 6      | Nadiren önlenabilir.         |
| 5      | Bazı durumlarda önlenabilir. |
| 4      | Bazen önlenabilir.           |
| 3      | Çoğunlukla önlenabilir.      |
| 2      | Hemen önlenabilir.           |
| 1      | Kesinlikle önlenabilir.      |

Tamir süresi kriterine ait değerlendirme ölçeği Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.4. Tamir süresi değerlendirme ölçeği.**

| DERECE | AÇIKLAMA                                 |
|--------|------------------------------------------|
| 10     | Tamir süresini kesinlikle etkiler.       |
| 9      | Tamir süresini aşırı etkiler.            |
| 8      | Tamir süresini belirgin şekilde etkiler. |
| 7      | Tamir süresini çok etkiler.              |
| 6      | Tamir süresini çoğunlukla etkiler.       |
| 5      | Tamir süresini etkisi telafi edilebilir. |
| 4      | Tamir süresini biraz etkiler.            |
| 3      | Tamir süresini kısa süreli etkiler.      |
| 2      | Tamir süresini çok az etkiler.           |
| 1      | Tamir süresini etkilemez.                |

Tamir maliyeti kriterine ait değerlendirme ölçeği Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.5.** Tamir maliyeti değerlendirme ölçeği.

| DERECE | AÇIKLAMA                                  |
|--------|-------------------------------------------|
| 10     | Tamir maliyetini kesinlikle etkiler.      |
| 9      | Tamir maliyetini aşırı etkiler.           |
| 8      | Tamir maliyetini önemli düzeyde etkiler.  |
| 7      | Tamir maliyetine etkisi çok fazladır.     |
| 6      | Tamir maliyetine etkisi fazladır.         |
| 5      | Tamir maliyetine katlanılabilir.          |
| 4      | . Tamir maliyetini düşük oranda etkiler.  |
| 3      | Tamir maliyetini çok az etkiler.          |
| 2      | Tamir maliyetini neredeyse hiç etkilemez. |
| 1      | Tamir maliyetini kesinlikle etkilemez.    |

Tamir zorluğu kriterine ait değerlendirme ölçeği Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

**Tablo 4.6.** Tamir zorluğu değerlendirme ölçeği.

| DERECE | AÇIKLAMA                              |
|--------|---------------------------------------|
| 10     | Tamir zorluğunu kesinlikle etkiler.   |
| 9      | Tamir zorluğunu aşırı etkiler.        |
| 8      | Tamir zorluğunu oldukça etkiler.      |
| 7      | Tamir zorluğunu çok fazla etkiler.    |
| 6      | Tamir zorluğunu çok etkiler.          |
| 5      | Tamir zorluğunu genellikle etkiler.   |
| 4      | Tamir zorluğunu biraz etkiler.        |
| 3      | Tamir zorluğunu kısmen etkiler.       |
| 2      | Tamir zorluğunu düşük oranda etkiler. |
| 1      | Tamir zorluğunu kesinlikle etkilemez. |

Çalışma kapsamında işletmede bakım süreçlerinde oluşabilecek riskler Tablo 4.7’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.7. Bakım süreçlerinde riskler.**

| RİSKLER                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yedek parça tedarikçinin doğru (t) anında bakım bölümü tarafından talep edilmemiş olması. (R1)                             |
| Yedek parça tedarikçinin doğru (t) anında satın alma bölümü tarafından sipariş edilmemiş olması. (R2)                      |
| Yedek parçanın tedarikçi tarafından zamanında gönderilmemesi. (R3)                                                         |
| Yedek parça envanter seçim kararının doğru yapılmamış olması. (R4)                                                         |
| Yedek parça envanter sayım şartlarının ve metodunun belirlenmemiş olması. (R5)                                             |
| Yedek parça envanter sayım planının belirlenmemiş olması. (R6)                                                             |
| Yedek parça sayımının yanlış yapılmış olması. (R7)                                                                         |
| Yedek parça siparişinin doğru kriterlerde yapılmamış olması. (R8)                                                          |
| Yedek parçanın stokta yanlış adrese konumlandırılmış olması. (R9)                                                          |
| Elektronik kart, PLC, sürücü gibi ekipmanların model versiyonları güncel olmadığından pazarda bulunmaması. (R10)           |
| Bakım onarım operasyonları için gerekli olan alet-edevatın olmaması. (R11)                                                 |
| Bakım onarım operasyonları için gerekli sayıda işgücüne (adam/saat) sahip olunmaması. (R12)                                |
| Bakım onarım operasyonları için gerekli yetkinliklere sahip teknisyene sahip olunmaması. (R13)                             |
| Bakım süreçlerinin ERP programına tam entegre olmaması. (R14)                                                              |
| ERP programında tezgah kartlarının yanlış veya eksik açılması. (R15)                                                       |
| ERP programında yedek parça envanter takibinin olmaması. (R16)                                                             |
| Üretim kapasitesinin yoğunluğundan dolayı planlanan "planlı bakıma" zaman kalmaması. (R17)                                 |
| Operasyonda kullanılan tesis, makine ve ekipmanların imalatçısından kaynaklı tasarım ve işçilik hataları olması. (R18)     |
| Özel teknik bilgi gerektiren (genel bakım onarım yetkinlikleri ötesinde) makine ve/veya ekipman arızaları yaşanması. (R19) |
| Makine imalatçısının imalatı ve/veya servis hizmetini bırakması. (R20)                                                     |
| Yakın bölgede bakım-onarım ihtiyaçlarına uygun/yeterli torna, freze gibi teknik servis hizmetinin bulunmaması. (R21)       |
| Uzun dönemli istirahat, işten ayrılma gibi durumlardan dolayı ani işgücü kaybı yaşanması. (R22)                            |
| Bakım onarım işlemi sırasında iş kazası yaşanması. (R23)                                                                   |
| Ağır bakım sırasında acil üretim sipariş talebi gelmesi. (R24)                                                             |
| Bakım onarım işlemine müdahale eden personelin motivasyon/konsantrasyon eksikliği olması. (R25)                            |

Kriterlerin ağırlıklandırılmasında Fermatean bulanık PIPRECIA ve Fermatean bulanık SWARA yöntemleri kullanılmıştır. Karar vericiler 6 adet kriteri 2 farklı yöntemde değerlendirmişlerdir. Karar vericilerin görüşlerinde belirsizlik olabileceğinden dolayı Fermatean bulanık kümeler kriter ağırlıklandırılmasında tercih edilmiştir. Riskler ise FMEA ve COCOFISO yöntemleriyle önceliklendirilmiştir. Riskler açısından değerlendirme yapılabilmesi için her bir kriter süreç bazında analiz edilerek değerlendirme ölçeği oluşturulmuştur. Oluşturulan ölçek doğrultusunda karar vericiler her bir risk açısından ortak değerlendirme yapmışlardır. Yapılan değerlendirme sonucunda iki farklı yöntemde sıralama değerleri elde edilmiştir.

#### 4.1. Fermatean Bulanık PIPRECIA Yöntemi Çözümü

Karar vericilerden bakım süreçlerinde oluşabilecek risklerin analiz edilmesi için olasılık, tespit edilebilirlik, önlenabilirlik, tamir süresi, tamir maliyeti ve tamir zorluğu kriterlerini değerlendirmeleri istenmiştir. Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle yapılan değerlendirmelerin adımları aşağıda yer almaktadır.

Karar vericilerin tecrübe ve yetkinlik düzeylerine göre karar verici 1 kesinlikle yetenekli, karar verici 2 çok yetenekli, karar verici 3 daha yetenekli olarak belirlenmiştir. Tablo 4.8’de karar vericilerin ağırlıkları Tablo 3.1’deki değerlendirme ölçeğine göre denklem 3.12’den yararlanarak hesaplanmıştır.

**Tablo 4.8.** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemi karar verici ağırlıkları.

| KARAR VERİCİLER | AĞIRLIKLARI |
|-----------------|-------------|
| KV-1            | 0,43245683  |
| KV-2            | 0,324946857 |
| KV-3            | 0,242596313 |

Karar vericiler Tablo 3.2’de yer alan değerlendirme ölçeği kullanarak kriterler için bulanık PIPRECIA değerlendirilmesini yapmışlardır. Tablo 4.9’da karar vericilerin bulanık PIPRECIA değerlendirmeleri gösterilmiştir.

**Tablo 4.9.** Bulanık PIPRECIA yöntemi karar verici değerlendirmeleri.

| KRİTERLER | KV-1 | KV-2 | KV-3 |
|-----------|------|------|------|
| K1        |      |      |      |

**Tablo 4.10. (Devamı)** Bulanık PIPRECIA yöntemi karar verici değerlendirmeleri.

| KRİTERLER | KV-1 | KV-2 | KV-3 |
|-----------|------|------|------|
| K2        | MH   | H    | MH   |
| K3        | VH   | MH   | ML   |
| K4        | VL   | VL   | AL   |
| K5        | AL   | EE   | EE   |
| K6        | AH   | L    | L    |

Karar vericilerin ağırlıkları dikkate alınarak kriterler açısından yaptıkları bulanık PIPRECIA değerlendirmeleri denklem 3.13 kullanılarak birleştirilmiştir. Daha sonra denklem 3.14'e göre  $s_j$ , denklem 3.15'e göre  $k_j$ , denklem 3.16'ya göre  $u_j$  ve denklem 3.17'ye göre  $w_j$  katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen  $s_j$ ,  $k_j$ ,  $u_j$  ve  $w_j$  katsayılarının değerlerinin tamamı Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

**Tablo 4.11.** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemi katsayı değerleri.

| $s_j$ | $k_j$ | $u_j$ | $w_j$ |
|-------|-------|-------|-------|
|       | 1,00  | 1,00  | 0,16  |
| 1,238 | 0,762 | 1,312 | 0,22  |
| 1,217 | 0,783 | 1,676 | 0,28  |
| 0,263 | 1,737 | 0,965 | 0,16  |
| 0,317 | 1,683 | 0,573 | 0,09  |
| 0,950 | 1,050 | 0,546 | 0,09  |

Karar vericilere Tablo 3.2'de yer alan değerlendirme ölçeği kullanarak kriterler için ters bulanık PIPRECIA değerlendirilmesini yapmışlardır. Tablo 4.11'de karar vericilerin ters bulanık PIPRECIA değerlendirmeleri gösterilmiştir.

**Tablo 4.12.** Fermatean ters bulanık PIPRECIA yöntemi karar verici değerlendirmeleri.

| KRİTERLER | KV-1 | KV-2 | KV-3 |
|-----------|------|------|------|
| K6        |      |      |      |
| K5        | AL   | H    | H    |

**Tablo 4.13. (Devamı)** Fermatean ters bulanık PIPRECIA yöntemi karar verici değerlendirmeleri.

| KRİTERLER | KV-1 | KV-2 | KV-3 |
|-----------|------|------|------|
| K4        | VH   | EE   | EE   |
| K3        | VH   | VH   | AH   |
| K2        | VL   | MH   | H    |
| K1        | ML   | VL   | ML   |

Karar vericilerin ağırlıkları dikkate alınarak kriterler açısından yaptıkları ters bulanık PIPRECIA değerlendirmeleri denklem 3.13'e göre birleştirilmiştir. Daha sonra denklem 3.14'e göre  $s_j'$ , denklem 3.15'e göre  $k_j'$ , denklem 3.16'ya göre  $u_j'$  ve denklem 3.17'ye göre  $w_j'$  katsayısı elde edilir. Elde edilen  $s_j'$ ,  $k_j'$ ,  $u_j'$  ve  $w_j'$  katsayılarının değerlerinin tamamı Tablo 4.12'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.14.** Fermatean ters bulanık PIPRECIA yöntemi katsayı değerleri.

| $s_j'$ | $k_j'$ | $u_j'$ | $w_j'$ |
|--------|--------|--------|--------|
| 0,664  | 1,336  | 1,357  | 0,17   |
| 0,704  | 1,296  | 1,813  | 0,23   |
| 1,672  | 0,328  | 2,349  | 0,30   |
| 1,216  | 0,784  | 0,770  | 0,10   |
| 0,342  | 1,658  | 0,603  | 0,08   |
|        | 1,00   | 1,00   | 0,13   |

Bulanık ve ters bulanık PIPRECIA yönteminden elde edilen  $w_j''$  ve  $w_j'$  değerleri ile kriter ağırlıkları Denklem 3.18 ile hesaplanılarak Tablo 4.13'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.15.** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemi kriter ağırlıkları.

| KRİTERLER | FF-PIPRECIA AĞIRLIKLARI |
|-----------|-------------------------|
| K1        | 0,168317517             |
| K2        | 0,222922923             |
| K3        | 0,286841446             |

**Tablo 4.13. (Devamı)** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemi kriter ağırlıkları.

| KRİTERLER | FF-PIPRECIA<br>AĞIRLIKLARI |
|-----------|----------------------------|
| K4        | 0,128206614                |
| K5        | 0,085422805                |
| K6        | 0,108288696                |

#### 4.2. Fermatean Bulanık SWARA Yöntemi Çözümü

Karar vericilerden bakım süreçlerinde oluşabilecek risklerin analiz edilmesi için kriterleri değerlendirmeleri istenilmiştir. Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle yapılan değerlendirmelerin adımları aşağıda yer almaktadır.

Karar vericilerin tecrübe ve yetkinlik düzeylerine göre karar verici 1 kesinlikle yetenekli, karar verici 2 çok yetenekli, karar verici 3 daha yetenekli olarak belirlenmiştir. Tablo 4.14’de karar vericilerin ağırlıkları Tablo 3.3’te yer alan değerlendirme ölçeğine göre denklem 3.19’ dan yararlanarak hesaplanmıştır.

**Tablo 4.16.** Fermatean bulanık SWARA yöntemi karar verici ağırlıkları.

| KARAR VERİCİLER | AĞIRLIKLARI |
|-----------------|-------------|
| KV-1            | 0,43245683  |
| KV-2            | 0,324946857 |
| KV-3            | 0,242596313 |

Karar vericiler Tablo 3.4’de yer alan değerlendirme ölçeğini kullanarak kriterlerin Fermatean bulanık SWARA değerlendirmesini yapmışlardır. Tablo 4.15’de karar vericilerin Fermatean bulanık SWARA değerlendirmeleri gösterilmiştir.

**Tablo 4.17.** Fermatean bulanık SWARA yöntemi karar verici değerlendirmeleri.

| KRİTERLER | KV-1 | KV-2 | KV-3 |
|-----------|------|------|------|
| K1        | I    | S    | V    |
| K2        | V    | V    | E    |
| K3        | E    | V    | M    |
| K4        | U    | M    | I    |

**Tablo 4.15. (Devamı)** Fermatean bulanık SWARA yöntemi karar verici değerlendirmeleri.

| KRİTERLER | KV-1 | KV-2 | KV-3 |
|-----------|------|------|------|
| K5        | S    | M    | I    |
| K6        | M    | S    | I    |

Karar vericilerin ağırlıkları dikkate alınarak kriterler açısından yaptıkları Fermatean bulanık SWARA değerlendirmeleri denklem 3.20 kullanılarak birleştirilmiştir. Daha sonra denklem 3.21'e göre  $s_j$ , adım 6'ya göre  $c_j$ , denklem 3.22'ye göre  $k_j$ , denklem göre 3.23'e  $q_j$  ve denklem 3.24'e göre  $w_j$  katsayısı elde edilir. Elde edilen  $s_j$ ,  $c_j$ ,  $k_j$ ,  $q_j$  ve  $w_j$  katsayılarının değerlerinin tamamı Tablo 4.16'da gösterilmiştir.

**Tablo 4.18.** Fermatean bulanık SWARA yöntemi katsayı değerleri.

| Kriterler | $s_j$ | $c_j$ | $k_j$ | $q_j$       | $w_j$       |
|-----------|-------|-------|-------|-------------|-------------|
| K2        | 1,055 |       | 1     | 1           | 0,26270571  |
| K3        | 1,672 | 0,173 | 1,173 | 0,852807077 | 0,224037289 |
| K1        | 1,500 | 0,444 | 1,444 | 0,590446515 | 0,155113671 |
| K6        | 0,327 | 0,113 | 1,113 | 0,530505405 | 0,139366799 |
| K5        | 0,900 | 0,042 | 1,042 | 0,509107778 | 0,13374552  |
| K4        | 0,942 | 0,573 | 1,573 | 0,32367401  | 0,085031011 |

Fermatean bulanık SWARA yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları Tablo 4.17'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.19.** Fermatean bulanık SWARA yöntemi kriter ağırlıkları.

| KRİTERLER | FF-SWARA AĞIRLIKLARI |
|-----------|----------------------|
| K1        | 0,155113671          |
| K2        | 0,26270571           |
| K3        | 0,224037289          |
| K4        | 0,085031011          |
| K5        | 0,13374552           |

**Tablo 4.17. (Devamı)** Fermatean bulanık SWARA yöntemi kriter ağırlıkları.

| KRİTERLER | FF-SWARA AĞIRLIKLARI |
|-----------|----------------------|
| K6        | 0,139366799          |

#### 4.3. FMEA Yöntemi Çözümü

Çalışma kapsamında karar verici görüşleri doğrultusunda belirlenen riskler FMEA yöntemiyle önceliklendirilmiştir. Olasılık, tespit edilebilirlik, önlenabilirlik, tamir süresi, tamir maliyeti ve tamir zorluğu ölçeklerine göre karar vericiler ortak değerlendirme yapmışlardır. Yapılan değerlendirme Tablo 4.18’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.20.** FMEA yöntemiyle risklerin değerlendirmesi.

| RİSKLER | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 |
|---------|----|----|----|----|----|----|
| R1      | 3  | 7  | 6  | 9  | 8  | 6  |
| R2      | 3  | 9  | 6  | 9  | 8  | 6  |
| R3      | 2  | 9  | 8  | 9  | 8  | 6  |
| R4      | 2  | 6  | 4  | 7  | 7  | 8  |
| R5      | 4  | 5  | 4  | 7  | 7  | 8  |
| R6      | 4  | 3  | 5  | 6  | 6  | 7  |
| R7      | 7  | 9  | 7  | 7  | 7  | 8  |
| R8      | 6  | 8  | 7  | 7  | 9  | 8  |
| R9      | 5  | 6  | 7  | 2  | 1  | 1  |
| R10     | 5  | 3  | 4  | 7  | 7  | 8  |
| R11     | 3  | 2  | 3  | 7  | 7  | 8  |
| R12     | 6  | 8  | 7  | 7  | 7  | 4  |
| R13     | 4  | 3  | 4  | 6  | 7  | 9  |
| R14     | 8  | 4  | 3  | 5  | 5  | 2  |
| R15     | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  | 2  |
| R16     | 5  | 3  | 2  | 8  | 8  | 7  |
| R17     | 8  | 7  | 7  | 9  | 9  | 9  |

**Tablo 4.18. (Devamı)** FMEA yöntemiyle risklerin değerlendirilmesi.

| RİSKLER | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 |
|---------|----|----|----|----|----|----|
| R18     | 4  | 7  | 5  | 10 | 10 | 10 |
| R19     | 5  | 9  | 6  | 10 | 10 | 5  |
| R20     | 2  | 7  | 10 | 10 | 10 | 10 |
| R21     | 2  | 2  | 3  | 10 | 7  | 2  |
| R22     | 5  | 8  | 8  | 8  | 6  | 5  |
| R23     | 1  | 6  | 5  | 5  | 3  | 5  |
| R24     | 6  | 7  | 7  | 9  | 9  | 9  |
| R25     | 7  | 5  | 10 | 10 | 10 | 10 |

Karar vericilerin yaptıkları değerlendirmelere göre Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemi kullanarak elde edilen kriter ağırlıkları FMEA yöntemine entegre edilmiştir. Tablo 4.19’da Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıklarına göre gerçekleştirilen FMEA yöntemi sonuçları yer almaktadır.

**Tablo 4.21.** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle ağırlıklara göre FMEA yöntemi sonuçları.

| RİSKLER | K1          | K2          | K3          | K4          | K5          | K6          | RÖS         |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|         | 0,168317517 | 0,222922923 | 0,286841446 | 0,128206614 | 0,085422805 | 0,108288696 |             |
| R1      | 3           | 7           | 6           | 9           | 8           | 6           | 0,6947805   |
| R2      | 3           | 9           | 6           | 9           | 8           | 6           | 0,893289214 |
| R3      | 2           | 9           | 8           | 9           | 8           | 6           | 0,794034857 |
| R4      | 2           | 6           | 4           | 7           | 7           | 8           | 0,240171037 |
| R5      | 4           | 5           | 4           | 7           | 7           | 8           | 0,400285061 |
| R6      | 4           | 3           | 5           | 6           | 6           | 7           | 0,192994583 |
| R7      | 7           | 9           | 7           | 7           | 7           | 8           | 2,206571401 |
| R8      | 6           | 8           | 7           | 7           | 9           | 8           | 2,161539332 |
| R9      | 5           | 6           | 7           | 2           | 1           | 1           | 0,005360961 |

**Tablo 4.19. (Devamı)** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle ağırlıklara göre FMEA yöntemi sonuçları.

| RİSKLER | K1          | K2          | K3          | K4          | K5          | K6          | RÖS         |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|         | 0,168317517 | 0,222922923 | 0,286841446 | 0,128206614 | 0,085422805 | 0,108288696 |             |
| R10     | 5           | 3           | 4           | 7           | 7           | 8           | 0,300213796 |
| R11     | 3           | 2           | 3           | 7           | 7           | 8           | 0,090064139 |
| R12     | 6           | 8           | 7           | 7           | 7           | 4           | 0,840598629 |
| R13     | 4           | 3           | 4           | 6           | 7           | 9           | 0,2315935   |
| R14     | 8           | 4           | 3           | 5           | 5           | 2           | 0,061268122 |
| R15     | 4           | 3           | 3           | 4           | 4           | 2           | 0,014704349 |
| R16     | 5           | 3           | 2           | 8           | 8           | 7           | 0,171550741 |
| R17     | 8           | 7           | 7           | 9           | 9           | 9           | 3,647597623 |
| R18     | 4           | 7           | 5           | 10          | 10          | 10          | 1,786986882 |
| R19     | 5           | 9           | 6           | 10          | 10          | 5           | 1,723165922 |
| R20     | 2           | 7           | 10          | 10          | 10          | 10          | 1,786986882 |
| R21     | 2           | 2           | 3           | 10          | 7           | 2           | 0,021443843 |
| R22     | 5           | 8           | 8           | 8           | 6           | 5           | 0,980289946 |
| R23     | 1           | 6           | 5           | 5           | 3           | 5           | 0,028719432 |
| R24     | 6           | 7           | 7           | 9           | 9           | 9           | 2,735698217 |
| R25     | 7           | 5           | 10          | 10          | 10          | 10          | 4,467467204 |

Karar vericilerin yaptıkları değerlendirmelere göre Fermatean bulanık SWARA yöntemi kullanarak elde edilen kriter ağırlıkları FMEA yöntemine entegre edilmiştir. Tablo 4.20’de Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıklarına göre gerçekleştirilen FMEA yöntemi sonuçları yer almaktadır.

**Tablo 4.22.** Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle ağırlıklara göre FMEA yöntemi sonuçları.

| RİSKLER | K1          | K2         | K3          | K4          | K5         | K6          | RÖS |
|---------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|-----|
|         | 0,155113671 | 0,26270571 | 0,224037289 | 0,085031011 | 0,13374552 | 0,139366799 |     |

**Tablo 4.20. (Devamı)** Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle ağırlıklara göre FMEA yöntemi sonuçları.

| RİSKLER | K1          | K2         | K3          | K4          | K5         | K6          | RÖS         |
|---------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|
|         | 0,155113671 | 0,26270571 | 0,224037289 | 0,085031011 | 0,13374552 | 0,139366799 |             |
| R1      | 3           | 7          | 6           | 9           | 8          | 6           | 0,787607966 |
| R2      | 3           | 9          | 6           | 9           | 8          | 6           | 1,012638814 |
| R3      | 2           | 9          | 8           | 9           | 8          | 6           | 0,90012339  |
| R4      | 2           | 6          | 4           | 7           | 7          | 8           | 0,272259544 |
| R5      | 4           | 5          | 4           | 7           | 7          | 8           | 0,453765907 |
| R6      | 4           | 3          | 5           | 6           | 6          | 7           | 0,218779991 |
| R7      | 7           | 9          | 7           | 7           | 7          | 8           | 2,50138456  |
| R8      | 6           | 8          | 7           | 7           | 9          | 8           | 2,450335895 |
| R9      | 5           | 6          | 7           | 2           | 1          | 1           | 0,006077222 |
| R10     | 5           | 3          | 4           | 7           | 7          | 8           | 0,34032443  |
| R11     | 3           | 2          | 3           | 7           | 7          | 8           | 0,102097329 |
| R12     | 6           | 8          | 7           | 7           | 7          | 4           | 0,952908404 |
| R13     | 4           | 3          | 4           | 6           | 7          | 9           | 0,262535989 |
| R14     | 8           | 4          | 3           | 5           | 5          | 2           | 0,069453965 |
| R15     | 4           | 3          | 3           | 4           | 4          | 2           | 0,016668952 |
| R16     | 5           | 3          | 2           | 8           | 8          | 7           | 0,194471103 |
| R17     | 8           | 7          | 7           | 9           | 9          | 9           | 4,134941823 |
| R18     | 4           | 7          | 5           | 10          | 10         | 10          | 2,025740654 |
| R19     | 5           | 9          | 6           | 10          | 10         | 5           | 1,953392774 |
| R20     | 2           | 7          | 10          | 10          | 10         | 10          | 2,025740654 |
| R21     | 2           | 2          | 3           | 10          | 7          | 2           | 0,024308888 |
| R22     | 5           | 8          | 8           | 8           | 6          | 5           | 1,111263444 |
| R23     | 1           | 6          | 5           | 5           | 3          | 5           | 0,032556546 |

**Tablo 4.20. (Devamı)** Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle ağırlıklara göre FMEA yöntemi sonuçları.

| RİSKLER | K1          | K2         | K3          | K4          | K5         | K6          | RÖS         |
|---------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|
|         | 0,155113671 | 0,26270571 | 0,224037289 | 0,085031011 | 0,13374552 | 0,139366799 |             |
| R24     | 6           | 7          | 7           | 9           | 9          | 9           | 3,101206367 |
| R25     | 7           | 5          | 10          | 10          | 10         | 10          | 5,064351635 |

#### 4.4. COCOFISO Yöntemi Çözümü

Çalışma kapsamında belirlenen riskler COCOFISO yöntemiyle önceliklendirilmiştir. Olasılık, tespit edilebilirlik, önlenabilirlik, tamir süresi, tamir maliyeti ve tamir zorluğu ölçeklerine göre karar vericiler ortak değerlendirme yapmışlardır. Yapılan değerlendirme Tablo 4.21’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.23.** COCOFISO yöntemiyle risklerin değerlendirmesi.

| RİSKLER | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 |
|---------|----|----|----|----|----|----|
| R1      | 3  | 7  | 6  | 9  | 8  | 6  |
| R2      | 3  | 9  | 6  | 9  | 8  | 6  |
| R3      | 2  | 9  | 8  | 9  | 8  | 6  |
| R4      | 2  | 6  | 4  | 7  | 7  | 8  |
| R5      | 4  | 5  | 4  | 7  | 7  | 8  |
| R6      | 4  | 3  | 5  | 6  | 6  | 7  |
| R7      | 7  | 9  | 7  | 7  | 7  | 8  |
| R8      | 6  | 8  | 7  | 7  | 9  | 8  |
| R9      | 5  | 6  | 7  | 2  | 1  | 1  |
| R10     | 5  | 3  | 4  | 7  | 7  | 8  |
| R11     | 3  | 2  | 3  | 7  | 7  | 8  |
| R12     | 6  | 8  | 7  | 7  | 7  | 4  |
| R13     | 4  | 3  | 4  | 6  | 7  | 9  |
| R14     | 8  | 4  | 3  | 5  | 5  | 2  |

**Tablo 4.21. (Devamı) COCOFISO yöntemiyle risklerin değerdendirilmesi.**

| RİSKLER | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 |
|---------|----|----|----|----|----|----|
| R15     | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  | 2  |
| R16     | 5  | 3  | 2  | 8  | 8  | 7  |
| R17     | 8  | 7  | 7  | 9  | 9  | 9  |
| R18     | 4  | 7  | 5  | 10 | 10 | 10 |
| R19     | 5  | 9  | 6  | 10 | 10 | 5  |
| R20     | 2  | 7  | 10 | 10 | 10 | 10 |
| R21     | 2  | 2  | 3  | 10 | 7  | 2  |
| R22     | 5  | 8  | 8  | 8  | 6  | 5  |
| R23     | 1  | 6  | 5  | 5  | 3  | 5  |
| R24     | 6  | 7  | 7  | 9  | 9  | 9  |
| R25     | 7  | 5  | 10 | 10 | 10 | 10 |

Karar vericilerin yaptıkları değerdendirmelere göre Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemi kullanılarak elde edilen kriter ağırlıkları COCOFISO yöntemine entegre edilmiştir. Denklem 3.26 kullanılarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir ve Tablo 4.22’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.24. Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi normalizasyon işlemi.**

| RİSKLER | K1          | K2          | K3          | K4          | K5          | K6          |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| R1      | 0,124247305 | 0,222699667 | 0,199007438 | 0,230997151 | 0,2127479   | 0,172345497 |
| R2      | 0,124247305 | 0,286328143 | 0,199007438 | 0,230997151 | 0,2127479   | 0,172345497 |
| R3      | 0,082831537 | 0,286328143 | 0,265343251 | 0,230997151 | 0,2127479   | 0,172345497 |
| R4      | 0,082831537 | 0,190885429 | 0,132671625 | 0,179664451 | 0,186154413 | 0,229793996 |
| R5      | 0,165663073 | 0,159071191 | 0,132671625 | 0,179664451 | 0,186154413 | 0,229793996 |
| R6      | 0,165663073 | 0,095442714 | 0,165839532 | 0,153998101 | 0,159560925 | 0,201069746 |
| R7      | 0,289910378 | 0,286328143 | 0,232175344 | 0,179664451 | 0,186154413 | 0,229793996 |

**Tablo 4.22. (Devamı)** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi normalizasyon işlemi.

| RİSKLER | K1          | K2          | K3          | K4          | K5          | K6          |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| R8      | 0,24849461  | 0,254513905 | 0,232175344 | 0,179664451 | 0,239341388 | 0,229793996 |
| R9      | 0,207078842 | 0,190885429 | 0,232175344 | 0,0513327   | 0,026593488 | 0,028724249 |
| R10     | 0,207078842 | 0,095442714 | 0,132671625 | 0,179664451 | 0,186154413 | 0,229793996 |
| R11     | 0,124247305 | 0,063628476 | 0,099503719 | 0,179664451 | 0,186154413 | 0,229793996 |
| R12     | 0,24849461  | 0,254513905 | 0,232175344 | 0,179664451 | 0,186154413 | 0,114896998 |
| R13     | 0,165663073 | 0,095442714 | 0,132671625 | 0,153998101 | 0,186154413 | 0,258518245 |
| R14     | 0,331326147 | 0,127256953 | 0,099503719 | 0,128331751 | 0,132967438 | 0,057448499 |
| R15     | 0,165663073 | 0,095442714 | 0,099503719 | 0,1026654   | 0,10637395  | 0,057448499 |
| R16     | 0,207078842 | 0,095442714 | 0,066335813 | 0,205330801 | 0,2127479   | 0,201069746 |
| R17     | 0,331326147 | 0,222699667 | 0,232175344 | 0,230997151 | 0,239341388 | 0,258518245 |
| R18     | 0,165663073 | 0,222699667 | 0,165839532 | 0,256663501 | 0,265934875 | 0,287242495 |
| R19     | 0,207078842 | 0,286328143 | 0,199007438 | 0,256663501 | 0,265934875 | 0,143621247 |
| R20     | 0,082831537 | 0,222699667 | 0,331679063 | 0,256663501 | 0,265934875 | 0,287242495 |
| R21     | 0,082831537 | 0,063628476 | 0,099503719 | 0,256663501 | 0,186154413 | 0,057448499 |
| R22     | 0,207078842 | 0,254513905 | 0,265343251 | 0,205330801 | 0,159560925 | 0,143621247 |
| R23     | 0,041415768 | 0,190885429 | 0,165839532 | 0,128331751 | 0,079780463 | 0,143621247 |
| R24     | 0,24849461  | 0,222699667 | 0,232175344 | 0,230997151 | 0,239341388 | 0,258518245 |
| R25     | 0,289910378 | 0,159071191 | 0,331679063 | 0,256663501 | 0,265934875 | 0,287242495 |

Denklem 3.27 kullanılarak  $S_i$  değeri, Denklem 3.28 kullanılarak  $P_i$  değeri, Denklem 3.29 kullanılarak  $k_{ia}$  değeri, Denklem 3.30 kullanılarak  $k_{ib}$  değeri, Denklem 3.31 kullanılarak  $k_{ic}$  değeri hesaplanmıştır ve Tablo 4.23'te  $S_i$ ,  $P_i$ ,  $k_{ia}$ ,  $k_{ib}$  ve  $k_{ic}$  katsayılarının tamamı gösterilmiştir.

**Tablo 4.25.** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi katsayı değerleri.

| RİSKLER | $S_i$ | $P_i$ | $k_{ia}$ | $k_{ib}$ | $k_{ic}$ |
|---------|-------|-------|----------|----------|----------|
|---------|-------|-------|----------|----------|----------|

**Tablo 4.26. (Devamı)** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi katsayı değerleri

| RİSKLER | S <sub>i</sub> | P <sub>i</sub> | k <sub>ia</sub> | k <sub>ib</sub> | k <sub>ic</sub> |
|---------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| R1      | 0,194093394    | 4,580295546    | 0,040593515     | 2,407243694     | 0,940379796     |
| R2      | 0,20827764     | 4,621522959    | 0,041064644     | 2,421574268     | 0,951293864     |
| R3      | 0,220334501    | 4,629217769    | 0,041232579     | 2,421255665     | 0,95518422      |
| R4      | 0,158370552    | 4,430530862    | 0,039016435     | 2,350180146     | 0,903845545     |
| R5      | 0,165220428    | 4,484364236    | 0,039532385     | 2,372894776     | 0,915797924     |
| R6      | 0,151877314    | 4,410677167    | 0,038792424     | 2,343337923     | 0,898656164     |
| R7      | 0,243043708    | 4,747826785    | 0,042434116     | 2,468840575     | 0,983018735     |
| R8      | 0,233523966    | 4,726220021    | 0,042169468     | 2,461803316     | 0,976887953     |
| R9      | 0,155968639    | 4,214060334    | 0,037155506     | 2,248957386     | 0,860735689     |
| R10     | 0,158007181    | 4,441202527    | 0,03910408      | 2,355350593     | 0,905875902     |
| R11     | 0,127459129    | 4,282431166    | 0,03749442      | 2,292348838     | 0,86858691      |
| R12     | 0,21653854     | 4,645756043    | 0,041340919     | 2,430088465     | 0,957693989     |
| R13     | 0,150856098    | 4,408166052    | 0,038762391     | 2,342553802     | 0,897960424     |
| R14     | 0,14671073     | 4,321917619    | 0,037993832     | 2,303371209     | 0,880156156     |
| R15     | 0,106172324    | 4,153682763    | 0,036218769     | 2,239735363     | 0,839035468     |
| R16     | 0,141431095    | 4,351738373    | 0,038202489     | 2,319591984     | 0,884989857     |
| R17     | 0,250065545    | 4,781073221    | 0,042776491     | 2,481983573     | 0,99095011      |
| R18     | 0,211826485    | 4,658300867    | 0,041407516     | 2,437418402     | 0,959236757     |
| R19     | 0,226943103    | 4,69670014     | 0,041862527     | 2,450273409     | 0,969777428     |
| R20     | 0,245454138    | 4,708314186    | 0,04211866      | 2,450059732     | 0,975710966     |
| R21     | 0,111696849    | 4,154662266    | 0,036274068     | 2,237825813     | 0,840316523     |
| R22     | 0,223210888    | 4,669405489    | 0,041598725     | 2,438876756     | 0,963666272     |
| R23     | 0,135913996    | 4,258477445    | 0,037362644     | 2,277497379     | 0,865534203     |
| R24     | 0,236123547    | 4,741824954    | 0,042324249     | 2,468169166     | 0,980473575     |

**Tablo 4.27. (Devamı)** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi katsayı değerleri

| RİSKLER | $S_i$       | $P_i$       | $k_{ia}$    | $k_{ib}$    | $k_{ic}$ |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| R25     | 0,266124888 | 4,810960945 | 0,043167149 | 2,491087793 | 1        |

Denklem 3.32 kullanarak risklerin ağırlık değerleri  $k_i$  hesaplanarak Tablo 4.24'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.28.** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi sonuçları.

| RİSKLER | $k_i$       |
|---------|-------------|
| R1      | 1,160036497 |
| R2      | 1,169510156 |
| R3      | 1,171010971 |
| R4      | 1,125306944 |
| R5      | 1,1380442   |
| R6      | 1,120825912 |
| R7      | 1,199092495 |
| R8      | 1,194091447 |
| R9      | 1,072924215 |
| R10     | 1,127921735 |
| R11     | 1,091028489 |
| R12     | 1,175111771 |
| R13     | 1,120271369 |
| R14     | 1,099515698 |
| R15     | 1,061017514 |
| R16     | 1,107068995 |
| R17     | 1,206973297 |
| R18     | 1,178291995 |

**Tablo 4.24. (Devamı)** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi sonuçları.

| RİSKLER    | k <sub>i</sub> |
|------------|----------------|
| <b>R19</b> | 1,18712931     |
| <b>R20</b> | 1,189525376    |
| <b>R21</b> | 1,060876379    |
| <b>R22</b> | 1,18063657     |
| <b>R23</b> | 1,084681802    |
| <b>R24</b> | 1,197796866    |
| <b>R25</b> | 1,213929366    |

Karar vericilerin yaptıkları değerlendirmelere göre Fermatean bulanık SWARA yöntemi kullanılarak elde edilen kriter ağırlıkları COCOFISO yöntemine entegre edilmiştir.

Denklem 3.26 kullanılarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir ve Tablo 4.25'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.29.** Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi normalizasyon işlemi.

| RİSKLER   | K1          | K2          | K3          | K4          | K5          | K6          |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>R1</b> | 0,124247305 | 0,222699667 | 0,199007438 | 0,230997151 | 0,2127479   | 0,172345497 |
| <b>R2</b> | 0,124247305 | 0,286328143 | 0,199007438 | 0,230997151 | 0,2127479   | 0,172345497 |
| <b>R3</b> | 0,082831537 | 0,286328143 | 0,265343251 | 0,230997151 | 0,2127479   | 0,172345497 |
| <b>R4</b> | 0,082831537 | 0,190885429 | 0,132671625 | 0,179664451 | 0,186154413 | 0,229793996 |
| <b>R5</b> | 0,165663073 | 0,159071191 | 0,132671625 | 0,179664451 | 0,186154413 | 0,229793996 |
| <b>R6</b> | 0,165663073 | 0,095442714 | 0,165839532 | 0,153998101 | 0,159560925 | 0,201069746 |
| <b>R7</b> | 0,289910378 | 0,286328143 | 0,232175344 | 0,179664451 | 0,186154413 | 0,229793996 |
| <b>R8</b> | 0,24849461  | 0,254513905 | 0,232175344 | 0,179664451 | 0,239341388 | 0,229793996 |
| <b>R9</b> | 0,207078842 | 0,190885429 | 0,232175344 | 0,0513327   | 0,026593488 | 0,028724249 |

**Tablo 4.25. (Devamı)** Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi normalizasyon işlemi.

| RİSKLER | K1          | K2          | K3          | K4          | K5          | K6          |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| R10     | 0,207078842 | 0,095442714 | 0,132671625 | 0,179664451 | 0,186154413 | 0,229793996 |
| R11     | 0,124247305 | 0,063628476 | 0,099503719 | 0,179664451 | 0,186154413 | 0,229793996 |
| R12     | 0,24849461  | 0,254513905 | 0,232175344 | 0,179664451 | 0,186154413 | 0,114896998 |
| R13     | 0,165663073 | 0,095442714 | 0,132671625 | 0,153998101 | 0,186154413 | 0,258518245 |
| R14     | 0,331326147 | 0,127256953 | 0,099503719 | 0,128331751 | 0,132967438 | 0,057448499 |
| R15     | 0,165663073 | 0,095442714 | 0,099503719 | 0,1026654   | 0,10637395  | 0,057448499 |
| R16     | 0,207078842 | 0,095442714 | 0,066335813 | 0,205330801 | 0,2127479   | 0,201069746 |
| R17     | 0,331326147 | 0,222699667 | 0,232175344 | 0,230997151 | 0,239341388 | 0,258518245 |
| R18     | 0,165663073 | 0,222699667 | 0,165839532 | 0,256663501 | 0,265934875 | 0,287242495 |
| R19     | 0,207078842 | 0,286328143 | 0,199007438 | 0,256663501 | 0,265934875 | 0,143621247 |
| R20     | 0,082831537 | 0,222699667 | 0,331679063 | 0,256663501 | 0,265934875 | 0,287242495 |
| R21     | 0,082831537 | 0,063628476 | 0,099503719 | 0,256663501 | 0,186154413 | 0,057448499 |
| R22     | 0,207078842 | 0,254513905 | 0,265343251 | 0,205330801 | 0,159560925 | 0,143621247 |
| R23     | 0,041415768 | 0,190885429 | 0,165839532 | 0,128331751 | 0,079780463 | 0,143621247 |
| R24     | 0,24849461  | 0,222699667 | 0,232175344 | 0,230997151 | 0,239341388 | 0,258518245 |
| R25     | 0,289910378 | 0,159071191 | 0,331679063 | 0,256663501 | 0,265934875 | 0,287242495 |

Denklem 3.27 kullanılarak  $S_i$  değeri, Denklem 3.28 kullanılarak  $P_i$  değeri, Denklem 3.29 kullanılarak  $k_{ia}$  değeri, Denklem 3.30 kullanılarak  $k_{ib}$  değeri, Denklem 3.31 kullanılarak  $k_{ic}$  değeri hesaplanmıştır ve Tablo 4.26’da  $S_i$ ,  $P_i$ ,  $k_{ia}$ ,  $k_{ib}$  ve  $k_{ic}$  katsayılarının tamamı gösterilmiştir.

**Tablo 4.30.** Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi katsayı değerleri.

| RİSKLER | $S_i$       | $P_i$       | $k_{ia}$    | $k_{ib}$    | $k_{ic}$    |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| R1      | 0,194477257 | 4,572641617 | 0,040619253 | 2,403550261 | 0,943885289 |
| R2      | 0,211192821 | 4,618640199 | 0,041153622 | 2,419284985 | 0,956302634 |

**Tablo 4.2631. (Devamı)** Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi katsayı değerleri.

| RİSKLER | $S_i$       | $P_i$       | $k_{ia}$    | $k_{ib}$    | $k_{ic}$    |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| R3      | 0,219630364 | 4,620899594 | 0,041244767 | 2,417639442 | 0,958420618 |
| R4      | 0,164918409 | 4,44026376  | 0,039239436 | 2,352275658 | 0,911821966 |
| R5      | 0,169408931 | 4,487125405 | 0,039676993 | 2,372608424 | 0,921989649 |
| R6      | 0,150381813 | 4,399679892 | 0,038769771 | 2,338729388 | 0,900908163 |
| R7      | 0,244405058 | 4,743711136 | 0,042502307 | 2,466556394 | 0,987642561 |
| R8      | 0,236736644 | 4,729576252 | 0,042316528 | 2,462364928 | 0,983325528 |
| R9      | 0,146208224 | 4,153702574 | 0,036638307 | 2,223873721 | 0,851378506 |
| R10     | 0,159117519 | 4,436294848 | 0,039156191 | 2,35260915  | 0,909887554 |
| R11     | 0,130480585 | 4,282416577 | 0,037601031 | 2,291089254 | 0,873749706 |
| R12     | 0,213610297 | 4,627257572 | 0,041247647 | 2,422486011 | 0,958487524 |
| R13     | 0,154514138 | 4,411876992 | 0,038908909 | 2,342873233 | 0,904141374 |
| R14     | 0,143819277 | 4,295538405 | 0,037826493 | 2,291993762 | 0,878988865 |
| R15     | 0,104025692 | 4,129066973 | 0,036068968 | 2,228815393 | 0,838148576 |
| R16     | 0,145991812 | 4,354052141 | 0,038343584 | 2,318870406 | 0,891004693 |
| R17     | 0,249595244 | 4,774433572 | 0,042808308 | 2,479087523 | 0,994753228 |
| R18     | 0,218779343 | 4,668113157 | 0,041639809 | 2,439687447 | 0,96760036  |
| R19     | 0,229333873 | 4,69124804  | 0,041926867 | 2,447024476 | 0,974270834 |
| R20     | 0,243085278 | 4,703309125 | 0,042146808 | 2,448451733 | 0,979381684 |
| R21     | 0,1065845   | 4,121788963 | 0,036028757 | 2,224202263 | 0,837214178 |
| R22     | 0,217245876 | 4,643619487 | 0,041418039 | 2,428875726 | 0,96244701  |
| R23     | 0,135323575 | 4,242007392 | 0,037297982 | 2,269896894 | 0,866707631 |
| R24     | 0,23674694  | 4,737663527 | 0,042385525 | 2,466070789 | 0,98492884  |
| R25     | 0,258490474 | 4,792037308 | 0,043034099 | 2,484583285 | 1           |

Denklem 3.32 kullanarak risklerin ağırlık değerleri  $k_i$  hesaplanarak Tablo 4.27’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.32.** Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi sonuçları.

| RİSKLER | $k_i$       |
|---------|-------------|
| R1      | 1,160068905 |
| R2      | 1,170650989 |
| R3      | 1,170957906 |
| R4      | 1,129166675 |
| R5      | 1,140356433 |
| R6      | 1,120031489 |
| R7      | 1,200080039 |
| R8      | 1,196822753 |
| R9      | 1,060419992 |
| R10     | 1,12849034  |
| R11     | 1,092570395 |
| R12     | 1,172665009 |
| R13     | 1,122781272 |
| R14     | 1,095005258 |
| R15     | 1,0568042   |
| R16     | 1,109147099 |
| R17     | 1,207405929 |
| R18     | 1,182408106 |
| R19     | 1,187726179 |
| R20     | 1,190348985 |
| R21     | 1,054845187 |
| R22     | 1,176520747 |
| R23     | 1,082426734 |
| R24     | 1,198778511 |

**Tablo 4.27. (Devamı)** Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle ağırlıklara göre COCOFISO yöntemi sonuçları.

| RİSKLER | k <sub>i</sub> |
|---------|----------------|
| R25     | 1,211513062    |

#### 4.5. Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi en önemli riskin seçilmesi açısından önemli bir durumdur. Kriterlerin ağırlığında yapılabilecek değişimlerin sıralamalar üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir. Yapılan küçük ağırlık değişimleri sıralamalarda büyük farklara neden olabilmektedir. Duyarlılık analizi farklı durumlar açısından yapılmaktadır.

Tez kapsamında elde edilen sıralama sonuçlarını değerlendirmek için duyarlılık analizi çalışması yapılmıştır. Uygulama kapsamında Fermatean bulanık PIPRECIA ve Fermatean bulanık SWARA yöntemlerinden elde edilen kriter ağırlıkları üzerinde değişim gerçekleştirilmiştir. En önemli kriter ağırlığının senaryo 1’de %10, senaryo 2’de %15, senaryo 3’de %20, senaryo 4’de %25 arttırılması durumları incelenmiştir. Diğer kriterlerde senaryolardaki oranlara göre kriter ağırlığı toplamı 1 olacak şekilde azaltılmıştır. Tablo 4.28’de Fermatean bulanık PIPRECIA yönteminin senaryo durumlarına göre kriter ağırlığı değişimi gösterilmiştir.

**Tablo 4.33.** Fermatean bulanık PIPRECIA duyarlılık analizi kriter ağırlıkları.

| SENARYO   | K1          | K2          | K3          | K4          | K5          | K6          |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| SENARYO 1 | 0,161547572 | 0,213956679 | 0,31552559  | 0,123049981 | 0,081986991 | 0,103933187 |
| SENARYO 2 | 0,1581626   | 0,209473557 | 0,329867663 | 0,120471664 | 0,080269084 | 0,101755432 |
| SENARYO 3 | 0,154777627 | 0,204990435 | 0,344209735 | 0,117893347 | 0,078551177 | 0,099577678 |
| SENARYO 4 | 0,151392655 | 0,200507314 | 0,358551807 | 0,115315031 | 0,07683327  | 0,097399923 |

Tablo 4.29’da Fermatean bulanık SWARA yönteminin senaryo durumlarına göre kriter ağırlığı değişimi gösterilmiştir.

**Tablo 4.34.** Fermatean bulanık SWARA duyarlılık analizi kriter ağırlıkları.

| SENARYO   | K1          | K2          | K3          | K4          | K5          | K6          |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| SENARYO 1 | 0,149586808 | 0,288976281 | 0,216054604 | 0,082001266 | 0,128980027 | 0,134401014 |

**Tablo 4.29. (Devamı)** Fermatean bulanık SWARA duyarlılık analizi kriter ağırlıkları.

| SENARYO   | K1          | K2          | K3          | K4          | K5          | K6          |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| SENARYO 2 | 0,146823376 | 0,302111567 | 0,212063262 | 0,080486394 | 0,12659728  | 0,131918121 |
| SENARYO 3 | 0,144059945 | 0,315246852 | 0,20807192  | 0,078971522 | 0,124214533 | 0,129435228 |
| SENARYO 4 | 0,141296513 | 0,328382138 | 0,204080578 | 0,07745665  | 0,121831786 | 0,126952335 |

Tablo 4.30’da Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemindeki kriter ağırlıklarının FMEA yöntemiyle değerlendirilmesinde senaryolar bazında değişiklik yaparak elde edilen yeni sıralama puanları ve sıra değerleri göstermiştir.

**Tablo 4.35.** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle FMEA yöntemi duyarlılık analizi.

| RİSKLER | UYGULAMA<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-1<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-2<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-3<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-4<br>DEĞER- SIRA |
|---------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| R1      | 0,6947805-13            | 0,622437724-13           | 0,585353014-13           | 0,548180035-13           | 0,511252075-13           |
| R2      | 0,893289214-10          | 0,800277073-10           | 0,752596732-10           | 0,704802903-10           | 0,657324096-10           |
| R3      | 0,794034857-12          | 0,711357398-12           | 0,668974873-12           | 0,626491469-12           | 0,584288086-12           |
| R4      | 0,240171037-16          | 0,215163658-16           | 0,202344252-16           | 0,189494333-16           | 0,176729112-16           |
| R5      | 0,400285061-14          | 0,358606096-14           | 0,337240419-14           | 0,315823889-14           | 0,294548521-14           |
| R6      | 0,192994583-18          | 0,172899368-18           | 0,162598059-18           | 0,152272232-18           | 0,142014465-18           |
| R7      | 2,206571401-4           | 1,976816104-4            | 1,859037812-4            | 1,740979187-4            | 1,62369872-4             |
| R8      | 2,161539332-5           | 1,936472918-5            | 1,821098264-5            | 1,705448999-5            | 1,590562011-5            |
| R9      | 0,005360961-25          | 0,00480276-25            | 0,004516613-25           | 0,004229784-25           | 0,003944846-25           |
| R10     | 0,300213796-15          | 0,268954572-15           | 0,252930315-15           | 0,236867917-15           | 0,22091139-15            |
| R11     | 0,090064139-20          | 0,080686372-20           | 0,075879094-20           | 0,071060375-20           | 0,066273417-20           |
| R12     | 0,840598629-11          | 0,753072801-11           | 0,708204881-11           | 0,663230166-11           | 0,618551893-11           |
| R13     | 0,2315935-17            | 0,207479241-17           | 0,195117671-17           | 0,182726678-17           | 0,170417358-17           |
| R14     | 0,061268122-21          | 0,054888688-21           | 0,051618432-21           | 0,048340391-21           | 0,045083957-21           |
| R15     | 0,014704349-24          | 0,013173285-24           | 0,012388424-24           | 0,011601694-24           | 0,01082015-24            |

**Tablo 4.30. (Devamı)** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle FMEA yöntemi duyarlılık analizi.

| RİSKLER | UYGULAMA<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-1<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-2<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-3<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-4<br>DEĞER- SIRA |
|---------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| R16     | 0,17155074119           | 0,153688327-19           | 0,144531608-19           | 0,135353095-19           | 0,12623508-19            |
| R17     | 3,647597623-2           | 3,267798049-2            | 3,073103321-2            | 2,877945186-2            | 2,684073394-2            |
| R18     | 1,786986882-6           | 1,600920071-6            | 1,505537586-6            | 1,409928075-6            | 1,314948753-6            |
| R19     | 1,723165922-8           | 1,543744354-8            | 1,451768387-8            | 1,3595735-8              | 1,267986297-8            |
| R20     | 1,786986882-6           | 1,600920071-6            | 1,505537586-6            | 1,409928075-6            | 1,314948753-6            |
| R21     | 0,021443843-23          | 0,019211041-23           | 0,018066451-23           | 0,016919137-23           | 0,015779385-23           |
| R22     | 0,980289946-9           | 0,87821901-9             | 0,825894905-9            | 0,773446258-9            | 0,721343316-9            |
| R23     | 0,028719432-22          | 0,025729073-22           | 0,02419614-22            | 0,022659558-22           | 0,021133105-22           |
| R24     | 2,735698217-3           | 2,450848537-3            | 2,304827491-3            | 2,158458889-3            | 2,013055045-3            |
| R25     | 4,467467204-1           | 4,002300177-1            | 3,763843966-1            | 3,524820186-1            | 3,287371881-1            |

Tablo 4.31’de Fermatean bulanık SWARA yöntemindeki kriter ağırlıklarının FMEA yöntemiyle değerlendirilmesinde senaryolar bazında değişiklik yaparak elde edilen yeni sıralama puanları ve sıra değerleri göstermiştir.

**Tablo 4.36.** Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle FMEA yöntemi duyarlılık analizi.

| RİSKLER | UYGULAMA<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-1<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-2<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-3<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-4<br>DEĞER- SIRA |
|---------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| R1      | 0,787607966-13          | 0,722634806-13           | 0,688229986-13           | 0,653066161-13           | 0,617485767-13           |
| R2      | 1,012638814-10          | 0,929101893-10           | 0,884867125-10           | 0,839656493-10           | 0,793910272-10           |
| R3      | 0,90012339-12           | 0,82586835-12            | 0,786548555-12           | 0,746361327-12           | 0,705698019-12           |
| R4      | 0,272259544-16          | 0,249799686-16           | 0,237906662-16           | 0,225751266-16           | 0,21345187-16            |
| R5      | 0,453765907-14          | 0,41633281-14            | 0,396511103-14           | 0,376252109-14           | 0,355753117-14           |
| R6      | 0,218779991-18          | 0,200731891-18           | 0,191174996-18           | 0,181407267-18           | 0,171523824-18           |

**Tablo 4.31. (Devamı)** Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle FMEA yöntemi duyarlılık analizi.

| <b>RİSKLER</b> | <b>UYGULAMA</b>    | <b>SENARYO-1</b>   | <b>SENARYO-2</b>   | <b>SENARYO-3</b>   | <b>SENARYO-4</b>   |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                | <b>DEĞER- SIRA</b> | <b>DEĞER- SIRA</b> | <b>DEĞER- SIRA</b> | <b>DEĞER- SIRA</b> | <b>DEĞER- SIRA</b> |
| <b>R7</b>      | 2,50138456-4       | 2,295034615-4      | 2,185767456-4      | 2,074089752-4      | 1,961089056-4      |
| <b>R8</b>      | 2,450335895-5      | 2,248197174-5      | 2,141159956-5      | 2,03176139-5       | 1,921066831-5      |
| <b>R9</b>      | 0,006077222-25     | 0,005575886-25     | 0,005310417-25     | 0,005039091-25     | 0,004764551-25     |
| <b>R10</b>     | 0,34032443-15      | 0,312249607-15     | 0,297383327-15     | 0,282189082-15     | 0,266814838-15     |
| <b>R11</b>     | 0,102097329-20     | 0,093674882-20     | 0,089214998-20     | 0,084656725-20     | 0,080044451-20     |
| <b>R12</b>     | 0,952908404-11     | 0,874298901-11     | 0,832673316-11     | 0,790129429-11     | 0,747081545-11     |
| <b>R13</b>     | 0,262535989-17     | 0,240878269-17     | 0,229409995-17     | 0,21768872-17      | 0,205828589-17     |
| <b>R14</b>     | 0,069453965-21     | 0,06372441-21      | 0,060690475-21     | 0,057589609-21     | 0,054452008-21     |
| <b>R15</b>     | 0,016668952-24     | 0,015293858-24     | 0,014565714-24     | 0,013821506-24     | 0,013068482-24     |
| <b>R16</b>     | 0,194471103-19     | 0,178428347-19     | 0,16993333-19      | 0,161250904-19     | 0,152465621-19     |
| <b>R17</b>     | 4,134941823-2      | 3,793832731-2      | 3,613207427-2      | 3,428597345-2      | 3,241800277-2      |
| <b>R18</b>     | 2,025740654-6      | 1,858628616-6      | 1,770138853-6      | 1,679696916-6      | 1,588183557-6      |
| <b>R19</b>     | 1,953392774-8      | 1,792249022-8      | 1,706919608-8      | 1,61970774-8       | 1,531462716-8      |
| <b>R20</b>     | 2,025740654-6      | 1,858628616-6      | 1,770138853-6      | 1,679696916-6      | 1,588183557-6      |
| <b>R21</b>     | 0,024308888-23     | 0,022303543-23     | 0,021241666-23     | 0,020156363-23     | 0,019058203-23     |
| <b>R22</b>     | 1,111263444-9      | 1,019590555-9      | 0,971047599-9      | 0,921433737-9      | 0,871232123-9      |
| <b>R23</b>     | 0,032556546-22     | 0,029870817-22     | 0,02844866-22      | 0,026995129-22     | 0,025524379-22     |
| <b>R24</b>     | 3,101206367-3      | 2,845374548-3      | 2,70990557-3       | 2,571448009-3      | 2,431350207-3      |
| <b>R25</b>     | 5,064351635-1      | 4,64657154-1       | 4,425347132-1      | 4,19924229-1       | 3,970458893-1      |

Tablo 4.32’de Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemindeki kriter ağırlıklarının COCOFISO yöntemiyle değerlendirilmesinde senaryolar bazında değişiklik yaparak elde edilen yeni sıralama puanları ve sıra değerleri göstermiştir.

**Tablo 4.37.** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle COCOFISO yöntemi duyarlılık analizi.

| <b>RİSKLER</b> | <b>UYGULAMA<br/>DEĞER- SIRA</b> | <b>SENARYO-1<br/>DEĞER- SIRA</b> | <b>SENARYO-2<br/>DEĞER- SIRA</b> | <b>SENARYO-3<br/>DEĞER- SIRA</b> | <b>SENARYO-4<br/>DEĞER- SIRA</b> |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>R1</b>      | 1,160036497-13                  | 1,161165451-13                   | 1,161850922-13                   | 1,162615111-13                   | 1,163456603-13                   |
| <b>R2</b>      | 1,169510156-12                  | 1,170360469-12                   | 1,170903165-12                   | 1,171522299-12                   | 1,172216473-12                   |
| <b>R3</b>      | 1,171010971-11                  | 1,172787732-11                   | 1,173765495-11                   | 1,174801821-11                   | 1,175895962-11                   |
| <b>R4</b>      | 1,125306944-16                  | 1,126325924-16                   | 1,127011637-16                   | 1,127811229-16                   | 1,1287221-16                     |
| <b>R5</b>      | 1,1380442-14                    | 1,138710719-14                   | 1,139215487-14                   | 1,139830983-14                   | 1,140554597-14                   |
| <b>R6</b>      | 1,120825912-17                  | 1,122486988-17                   | 1,123472868-17                   | 1,124559679-17                   | 1,125745513-17                   |
| <b>R7</b>      | 1,199092495-3                   | 1,199567609-3                    | 1,199897335-3                    | 1,200287125-3                    | 1,200735971-3                    |
| <b>R8</b>      | 1,194091447-5                   | 1,194704173-5                    | 1,19510482-5                     | 1,195566929-5                    | 1,196089483-5                    |
| <b>R9</b>      | 1,072924215-5                   | 1,077261515-23                   | 1,079561292-23                   | 1,081946978-23                   | 1,084417472-23                   |
| <b>R10</b>     | 1,127921735-15                  | 1,12877052-15                    | 1,129372225-15                   | 1,130088583-15                   | 1,130917026-15                   |
| <b>R11</b>     | 1,091028489-21                  | 1,092239185-21                   | 1,093067163-21                   | 1,094038607-21                   | 1,095149968-21                   |
| <b>R12</b>     | 1,175111771-10                  | 1,176374386-10                   | 1,177104199-10                   | 1,177898238-10                   | 1,178755453-10                   |
| <b>R13</b>     | 1,120271369-18                  | 1,121346448-18                   | 1,122063983-18                   | 1,122897944-18                   | 1,123845757-18                   |
| <b>R14</b>     | 1,099515698-20                  | 1,100752706-20                   | 1,101584484-20                   | 1,102553415-20                   | 1,103655886-20                   |
| <b>R15</b>     | 1,061017514-24                  | 1,063403722-24                   | 1,064823459-24                   | 1,066389156-24                   | 1,068097131-24                   |
| <b>R16</b>     | 1,107068995-19                  | 1,107287441-19                   | 1,107652244-19                   | 1,10818011-19                    | 1,108865823-19                   |
| <b>R17</b>     | 1,206973297-2                   | 1,207125034-20                   | 1,207292679-2                    | 1,207520164-2                    | 1,207806508-2                    |
| <b>R18</b>     | 1,178291995-9                   | 1,178243365-9                    | 1,178355263-9                    | 1,178555408-9                    | 1,178841942-9                    |
| <b>R19</b>     | 1,18712931-7                    | 1,187432799-7                    | 1,187696715-7                    | 1,188033522-7                    | 1,18844184-7                     |
| <b>R20</b>     | 1,189525376-6                   | 1,191599694-6                    | 1,192702948-6                    | 1,193849789-6                    | 1,195039869-6                    |
| <b>R21</b>     | 1,060876379-25                  | 1,062974577-25                   | 1,064256291-25                   | 1,06568812-25                    | 1,067266508-25                   |
| <b>R22</b>     | 1,18063657-8                    | 1,182231408-8                    | 1,183112631-8                    | 1,184048655-8                    | 1,185038699-8                    |
| <b>R23</b>     | 1,084681802-22                  | 1,087461648-22                   | 1,089017385-22                   | 1,090681016-22                   | 1,092450622-22                   |

**Tablo 4.32. (Devamı)** Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemiyle COCOFISO yöntemi duyarlılık analizi.

| RİSKLER | UYGULAMA<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-1<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-2<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-3<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-4<br>DEĞER- SIRA |
|---------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| R24     | 1,197796866-4           | 1,198257059-4            | 1,198581268-4            | 1,198966842-4            | 1,199412777-4            |
| R25     | 1,213929366-1           | 1,215274794-1            | 1,21600539-1             | 1,216774128-1            | 1,217580682-1            |

Tablo 4.33’de Fermatean bulanık SWARA yöntemindeki kriter ağırlıklarının COCOFISO yöntemiyle değerlendirilmesinde senaryolar bazında değişiklik yaparak elde edilen yeni sıralama puanları ve sıra değerleri göstermiştir.

**Tablo 4.38.** Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle COCOFISO yöntemi duyarlılık analizi.

| RİSKLER | UYGULAMA<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-1<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-2<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-3<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-4<br>DEĞER- SIRA |
|---------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| R1      | 1,160068905-13          | 1,162350219-13           | 1,163568526-13           | 1,164837784-13           | 1,166157396-13           |
| R2      | 1,170650989-12          | 1,173568896-12           | 1,175081681-12           | 1,17663005-12            | 1,178213782-12           |
| R3      | 1,170957906-11          | 1,173869018-11           | 1,175377957-11           | 1,176922201-11           | 1,178501545-11           |
| R4      | 1,129166675-15          | 1,131665722-15           | 1,133017729-15           | 1,134436824-15           | 1,135922108-15           |
| R5      | 1,140356433-14          | 1,142094872-14           | 1,143079348-14           | 1,1441389-14             | 1,145272245-14           |
| R6      | 1,120031489-18          | 1,121206923-18           | 1,121963827-18           | 1,122829758-18           | 1,123802002-18           |
| R7      | 1,200080039-3           | 1,202278459-3            | 1,203421434-3            | 1,204593354-3            | 1,205794051-3            |
| R8      | 1,196822753-5           | 1,198649367-5            | 1,199617054-5            | 1,200620547-5            | 1,20165952-5             |
| R9      | 1,060419992-23          | 1,064621357-23           | 1,06684475-23            | 1,069148698-23           | 1,07153229-23            |
| R10     | 1,12849034-16           | 1,129374379-16           | 1,129984318-16           | 1,130702495-16           | 1,131526237-16           |
| R11     | 1,092570395-21          | 1,093648896-21           | 1,094406385-21           | 1,095303664-21           | 1,096336652-21           |
| R12     | 1,172665009-10          | 1,175133489-10           | 1,176429088-10           | 1,177765079-10           | 1,179141091-10           |
| R13     | 1,122781272-17          | 1,123819491-17           | 1,124508101-17           | 1,125305988-17           | 1,126210467-17           |
| R14     | 1,095005258-20          | 1,097249873-20           | 1,09852383-20            | 1,099896341-20           | 1,101365563-20           |
| R15     | 1,0568042-24            | 1,059481788-24           | 1,061011146-24           | 1,062663688-24           | 1,06443663-24            |

**Tablo 4.33. (Devamı)** Fermatean bulanık SWARA yöntemiyle COCOFISO yöntemi duyarlılık analizi.

| RİSKLER | UYGULAMA<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-1<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-2<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-3<br>DEĞER- SIRA | SENARYO-4<br>DEĞER- SIRA |
|---------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| R16     | 1,109147099-19          | 1,110323621-19           | 1,111088989-19           | 1,111968779-19           | 1,112960367-19           |
| R17     | 1,207405929-2           | 1,208430633-2            | 1,209006725-2            | 1,209624634-2            | 1,210283867-2            |
| R18     | 1,182408106-8           | 1,184045342-8            | 1,18493608-8             | 1,185874167-8            | 1,186859069-8            |
| R19     | 1,187726179-7           | 1,190199032-7            | 1,191484071-7            | 1,192801264-7            | 1,194150428-7            |
| R20     | 1,190348985-6           | 1,19178933-6             | 1,192578557-6            | 1,193413136-6            | 1,194292569-6            |
| R21     | 1,054845187-25          | 1,056805832-25           | 1,058017449-25           | 1,059377513-25           | 1,060881908-25           |
| R22     | 1,176520747-9           | 1,178903666-9            | 1,180155035-9            | 1,181445835-9            | 1,182775696-9            |
| R23     | 1,082426734-22          | 1,086092784-22           | 1,088042794-22           | 1,090069485-22           | 1,092171905-22           |
| R24     | 1,198778511-4           | 1,200052385-4            | 1,200755227-4            | 1,201501296-4            | 1,202290071-4            |
| R25     | 1,211513062-1           | 1,211366966-1            | 1,211388146-1            | 1,211470598-1            | 1,2116132-1              |

Duyarlılık analizinde, Fermatean bulanık PIPRECIA ve Fermatean bulanık SWARA yöntemlerindeki en önemli kriterin ağırlığı %10, %15, %20 ve %25 oranlarında artırılmıştır. Bu artışlara rağmen sıralama değişmemiştir. Bu durum, sonuçlarının belirlenen kriter ağırlıklarındaki değişimlere karşı oldukça dayanıklı ve kararlı olduğunu gösterdiğinden modelin güvenilirliğini desteklemektedir.

#### 4.6. Karşılaştırma Analizi

Tez kapsamında Fermatean bulanık PIPRECIA ve FMEA, Fermatean bulanık SWARA ve FMEA, Fermatean bulanık PIPRECIA ve COCOFISO, Fermatean bulanık SWARA ve COCOFISO yöntemlerinden farklı sıralama elde edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tablo 4.34'te yöntemlerdeki sıralama değerleri ve sıra numaraları gösterilmiştir. Tabloda 4.34'te görüleceği üzere tüm yöntemlerde en önemli birinci sıradaki risk bakım onarım işlemine müdahale eden personelin motivasyon/konsantrasyon eksikliği olması (R25) ve ikinci sıradaki risk Üretim kapasitesinin yoğunluğundan dolayı planlanan "planlı bakıma" zaman kalmaması (R17) değişmemiştir.

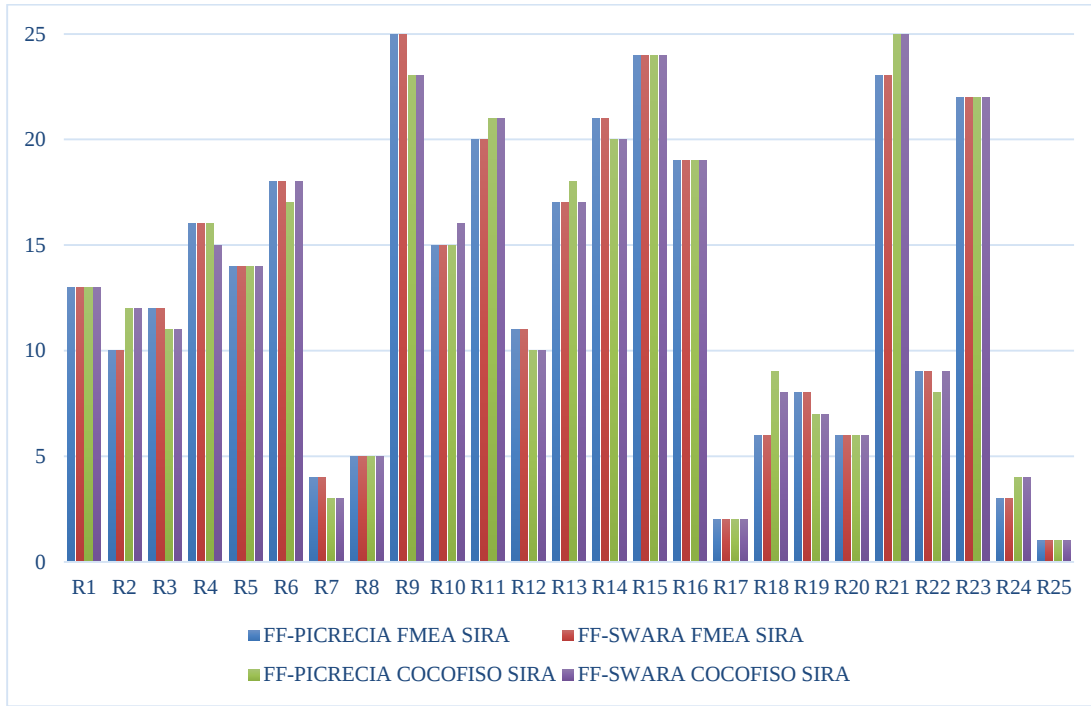
**Tablo 4.39.** Karşılaştırma analizi.

| <b>RİSKLER</b> | <b>FF-PICRECIA<br/>FMEA<br/>DEĞER- SIRA</b> | <b>FF-SWARA<br/>FMEA<br/>DEĞER- SIRA</b> | <b>FF-PICRECIA<br/>COCOFISO<br/>DEĞER- SIRA</b> | <b>FF-SWARA<br/>COCOFISO<br/>DEĞER- SIRA</b> |
|----------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>R1</b>      | 0,6947805-13                                | 0,787607966-13                           | 1,160036497-13                                  | 1,160068905-13                               |
| <b>R2</b>      | 0,893289214-10                              | 1,012638814-10                           | 1,169510156-12                                  | 1,170650989-12                               |
| <b>R3</b>      | 0,794034857-12                              | 0,90012339-15                            | 1,171010971-11                                  | 1,170957906-11                               |
| <b>R4</b>      | 0,240171037-16                              | 0,272259544-16                           | 1,125306944-16                                  | 1,129166675-15                               |
| <b>R5</b>      | 0,400285061-14                              | 0,453765907-14                           | 1,1380442-14                                    | 1,140356433-14                               |
| <b>R6</b>      | 0,192994583-18                              | 0,218779991-18                           | 1,120825912-17                                  | 1,120031489-18                               |
| <b>R7</b>      | 2,206571401-4                               | 2,50138456-4                             | 1,199092495-3                                   | 1,200080039-3                                |
| <b>R8</b>      | 2,161539332-5                               | 2,450335895-5                            | 1,194091447-5                                   | 1,196822753-5                                |
| <b>R9</b>      | 0,005360961-25                              | 0,006077222-25                           | 1,072924215-23                                  | 1,060419992-23                               |
| <b>R10</b>     | 0,300213796-15                              | 0,34032443-15                            | 1,127921735-15                                  | 1,12849034-16                                |
| <b>R11</b>     | 0,090064139-20                              | 0,102097329-20                           | 1,091028489-21                                  | 1,092570395-21                               |
| <b>R12</b>     | 0,840598629-11                              | 0,952908404-11                           | 1,175111771-10                                  | 1,172665009-10                               |
| <b>R13</b>     | 0,2315935-17                                | 0,262535989-17                           | 1,120271369-18                                  | 1,122781272-17                               |
| <b>R14</b>     | 0,061268122-21                              | 0,069453965-21                           | 1,099515698-20                                  | 1,095005258-20                               |
| <b>R15</b>     | 0,014704349-24                              | 0,016668952-24                           | 1,061017514-25                                  | 1,0568042-24                                 |
| <b>R16</b>     | 0,171550741-19                              | 0,194471103-19                           | 1,107068995-19                                  | 1,109147099-19                               |
| <b>R17</b>     | 3,647597623-2                               | 4,134941823-2                            | 1,206973297-2                                   | 1,207405929-2                                |
| <b>R18</b>     | 1,786986882-6                               | 2,025740654-6                            | 1,178291995-9                                   | 1,182408106-8                                |
| <b>R19</b>     | 1,723165922-8                               | 1,953392774-8                            | 1,18712931-7                                    | 1,187726179-7                                |
| <b>R20</b>     | 1,786986882-6                               | 2,025740654-6                            | 1,189525376-6                                   | 1,190348985-6                                |
| <b>R21</b>     | 0,021443843-23                              | 0,024308888-23                           | 1,060876379-25                                  | 1,054845187-25                               |
| <b>R22</b>     | 0,980289946-9                               | 1,111263444-9                            | 1,18063657-8                                    | 1,176520747-9                                |
| <b>R23</b>     | 0,028719432-22                              | 0,032556546-22                           | 1,084681802-22                                  | 1,082426734-22                               |

**Tablo 4.34. (Devamı) Karşılaştırma analizi.**

| RİSKLER | FF-PICRECIA<br>FMEA<br>DEĞER- SIRA | FF-SWARA<br>FMEA<br>DEĞER- SIRA | FF-PICRECIA<br>COCOFISO<br>DEĞER- SIRA | FF-SWARA<br>COCOFISO<br>DEĞER- SIRA |
|---------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|
| R24     | 2,735698217-3                      | 3,101206367-3                   | 1,197796866-4                          | 1,198778511-4                       |
| R25     | 4,467467204-1                      | 5,064351635-1                   | 1,213929366-1                          | 1,211513062-1                       |

Yapılan karşılaştırma analizine ait gösterim Şekil 4.1’de yer almaktadır.

**Şekil 4.1. Karşılaştırma analizi grafiği.**

Farklı yöntemlerde yapılan sıralamalar Spearman korelasyon katsayısı ile analiz edilmiştir. Sıralamalar arasında nasıl bir ilişki olduğunu ve güvenilirliğini göstermektedir. Spearman korelasyon katsayısı denklem 4.1’de gösterilmiştir. Denklem 4.1’de yer alan  $d_j$  değişkenler açısından sıra farkı,  $n$  örnek büyüklüğüdür. (Yacan, 2024)

$$Spearman(p) = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^n (d_j)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (4.1)$$

Tablo 4.35’te yöntemler arasındaki Spearman korelasyon katsayısı gösterilmiştir. 1’e yakın olması doğrusal olarak pozitif yönde ilişkinin güçlü ve tutarlı olduğunu göstermektedir.

**Tablo 4.40.** Karşılaştırma analizi Spearman korelasyon katsayıları.

| YÖNTEMLER                                | SPEARMAN KORELASYON KATSAYILARI |
|------------------------------------------|---------------------------------|
| FF-PIPRECIA FMEA & FF-SWARA FMEA         | 1                               |
| FF-PIPRECIA FMEA & FF-PIPRECIA COCOFISO  | 0,988076923                     |
| FF-PIPRECIA FMEA & FF-SWARA COCOFISO     | 0,990384615                     |
| FF-SWARA FMEA & FF-PIPRECIA COCOFISO     | 0,988076923                     |
| FF-SWARA FMEA & FF-SWARA COCOFISO        | 0,990384615                     |
| FF-PIPRECIA COCOFISO & FF-SWARA COCOFISO | 0,997692308                     |

Yapılan karşılaştırma analizi sonucunda, farklı yöntemler kullanılarak elde edilen sıralamalarda bazı sapmalar gözlemlenmiştir. Bu durum, her yöntemin değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının ve hesaplama adımlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Yöntemler arasındaki ilişkinin daha detaylı incelenebilmesi amacıyla Spearman korelasyon katsayısı hesaplanmıştır ve güçlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirme çalışma kapsamında önerilen yöntemlerin tutarlı sonuçlar verdiğini göstermektedir.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Artan rekabet ve teknolojiadaki değişimler sonucunda işletmeler en az maliyetle en verimli üretim sürecini oluşturmaya odaklanmaktadır. İşletmeler açısından verimliliği azaltan ve maliyeti arttıran en önemli engellerden birisi üretim sürecinde yaşanan arızalardır. Yaşanabilecek arızalar işletme açısından büyük kayıplara sebep olabilmektedir. Üretim faaliyeti sırasında oluşan bir arıza üretimin aksamaması, siparişlerin tesliminin gecikmesi, kar miktarında azalma olması gibi işletme açısından yaşanabilecek olumsuz sonuçlara örnek verilebilir. Bu yüzden arızaların önceden tespit edilip engellenmesi gerekmektedir. Bu durumda bakım faaliyetlerini işletmeler açısından önemli hale gelmiştir.

Bu çalışmada, bakım süreçlerinde oluşabilecek riskler analiz edilmiştir. Fermatean bulanık küme kullanılarak SWARA ve PIPRECIA yöntemleriyle ağırlıklandırma yapıp FMEA ve COCOFISO yöntemleriyle riskler sıralanarak hibrit bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin bakım süreçleri gözlemlenmiştir. İşletme müdürü, bakım mühendisi ve işletme danışmanı olmak üzere 3 karar verici belirlenmiştir. Süreçler açısından 25 adet risk tanımlanmıştır. Süreçlerin değerlendirilmesi için klasik FMEA yöntemi geliştirilerek etki 3 bölüme ayrılıp yeni bir kriter eklenmiştir. Kullanılan kriterler olasılık, tespit edilebilirlik, önlenebilirlik, tamir süresi, tamir maliyeti ve tamir zorluğudur. Karar vericilerin değerlendirmeleri sonucunda Fermatean bulanık PIPRECIA yönteminde en önemli kriter önlenebilirlik, Fermatean bulanık SWARA yönteminde ise en önemli kriter tespit edilebilirlik olarak elde edilmiştir. İşletmenin bakım süreçlerine uygun olacak şekilde her kriter bazında 1-10 skalasında değerlendirme ölçekleri hazırlanmıştır. Karar vericiler riskleri, kriterler açısından hazırlanan ölçekleri kullanarak ortak bir değerlendirme yapmışlardır. Değerlendirmeler FMEA ve COCOFISO yöntemlerinde kullanılıp Fermatean bulanık PIPRECIA ve Fermatean bulanık SWARA kriter ağırlıklarına göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemlerin güvenilirliğini ve tutarlılığını doğrulamak için duyarlılık ve karşılaştırma analizleri yapılmıştır.

Duyarlılık analizinde, Fermatean bulanık SWARA ve Fermatean bulanık PIPRECIA yöntemlerindeki en önemli kriterin ağırlığı %10, %15, %20 ve %25 oranlarında 4 farklı senaryo ile kademeli olarak artırılarak FMEA ve COCOFISO yöntemlerden elde edilen sıralamalar açısından değerlendirilmiştir. Risklerin sıralamasında değişiklik olmamıştır. Bu nedenle yöntemler yapılan değişimlere yüksek bir dayanıklılık ve kararlılık göstermiştir. Bu durum, yöntemlerin parametre değişikliklerine karşı hassas olmadığını ve böylece elde edilen sıralamanın güvenilirliğinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.

Karşılaştırma analizinde farklı yöntemlerden elde edilen sıralamalar incelenmiştir. Tüm yöntemlerde en önemli birinci risk bakım onarım işlemine müdahale eden personelin motivasyon/konsantrasyon eksikliği olması ikinci risk ise üretim kapasitesinin yoğunluğundan dolayı planlanan "planlı bakıma" zaman kalmaması olarak elde edilmiştir. Diğer sıralamalarda birden çok ağırlıklandırma ve sıralama yöntemi kullanıldığından uygulama adımlarının farklılığı küçük sapmaları meydana getirmiştir. Spearman korelasyon katsayısı ile yöntemlerden elde edilen sıralamalar arasındaki ilişkiler analiz edilerek güçlü ve tutarlı ilişki olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durumda önerilen yöntemlerin tutarlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca karmaşık karar problemlerinde ve karar verici değerlendirmelerindeki belirsizliklerde Fermatean bulanık kümelerin etkili sonuçlar verdiği görülmüştür.

Gelecek çalışmalarda kullanılan yöntemlerle farklı alanlarda uygulama yapılabilir ve yeni kriterler eklenebilir. Ayrıca farklı bulanık küme kullanılarak farklı yöntemlerle ağırlıklar değerlendirilip farklı yöntemlerle sıralamalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Ab Rahim, M. S., Reniers, G., Yang, M., & Bajpai, S. (2024). Risk assessment methods for process safety, process security and resilience in the chemical process industry: A thorough literature review. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 88, 105274. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2024.105274>
- Adar, E., Delice, E. K., & Adar, T. (2022). Prioritizing of industrial wastewater management processes using an integrated AHP–CoCoSo model: comparative and sensitivity analyses. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19, 4691-4712. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13762-021-03511-y>
- Agarwal, S., Tyagi, M., Garg, R. K., & Chopra, A. (2025). Optimizing sustainable supply of essential materials in a circular economy: a CoCoSo-SWARA based approach. *Journal of Remanufacturing*, 15, 1–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13243-024-00141-8>
- Akhtar, M. (2025). Fermatean fuzzy group decision model for agile, resilient and sustainable logistics service provider selection in the manufacturing industry. *Journal of Modelling in Management*, 20(2), 390-416. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/JM2-02-2024-0040>
- Ali, J. A., Khodakarami, L., Abdulqadir, S., Abdulrahman, H., & Mazar, G. (2025). Modified FMEA quality risk management technique for cross-country petroleum pipeline using GIS. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 42(6), 1672-1705. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/IJQRM-08-2023-0271>
- Alnoor, A., Muhsen, Y. R., Husin, N. A., Chew, X., Zolkepli, M. B., & Manshor, N. (2025). Z-cloud Rough Fuzzy-Based PIPRECIA and CoCoSo Integration to Assess Agriculture Decision Support Tools. *International Journal of Fuzzy Systems*, 27, 190-203. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40815-024-01771-7>
- Anes, V., & Abreu, A. (2024). A Hybrid FMEA-ROC-CoCoSo Approach for Improved Risk Assessment and Reduced Complexity in Failure Mode Prioritization. *Algorithms*, 17(12), 585. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/a17120585>
- Ansari, Z. N., Kant, R., & Shankar, R. (2020). Evaluation and ranking of solutions to mitigate sustainable remanufacturing supply chain risks: a hybrid fuzzy SWARA-fuzzy COPRAS framework approach. *International Journal of Sustainable Engineering*, 13(6), 473-494. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/19397038.2020.1758973>

- Avakh Darestani, S., Palizban, T., & Imannezhad, R. (2022). Maintenance strategy selection: a combined goal programming approach and BWM-TOPSIS for paper production industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 28(1), 14-36. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/JQME-03-2019-0022>
- Aydoğar, H., & Özkır, V. (2024). A Fermatean fuzzy MCDM method for selection and ranking Problems: Case studies. *Expert Systems with Applications*, 237, 121628. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121628>
- Ayyıldız, E. (2022). Fermatean fuzzy step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) and its application to prioritizing indicators to achieve sustainable development goal-7. *Renewable Energy*, 193, 136-148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.021>
- Ayyıldız, E., & Erdoğan, M. (2024). A fermatean fuzzy SWARA-TOPSIS methodology based on SCOR model for autonomous vehicle parking lot selection. *Applied Soft Computing*, 166, 112198. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.112198>
- Banihashemi, S. A., & Khalilzadeh, M. (2023). Application of fuzzy BWM-CoCoSo to time–cost–environmental impact trade-off construction project scheduling problem. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 1199-1214. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13762-022-04075-1>
- Behnia, F., Zare Ahmadabadi, H., Schuelke-Leech, B.-A., & Mirhassani, M. (2023). Developing a fuzzy optimized model for selecting a maintenance strategy in the paper industry: An integrated FGP-ANP-FMEA approach. *Expert Systems With Applications*, 232, 120899. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120899>
- Blagojevic, A., Stevic, Ž., Marinkovic, D., Kasalica, S., & Rajilic, S. (2020). A Novel Entropy-Fuzzy PIPRECIA-DEA Model for Safety Evaluation of Railway Traffic. *Symmetry*, 12(9), 1479. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/sym12091479>
- Ceylan, B. O. (2025). Control theory-based fuzzy Fine-Kinney risk assessment for boiler automation system from the maritime autonomous surface ships (MASS) perspective. *Ocean Engineering*, 322, 12044. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.120444>
- Chang, H. (2025). Decision Algorithm for Digital Media and Intangible-Heritage Digitalization Using Picture Fuzzy Combined Compromise for Ideal Solution in Uncertain Environments. *Symmetry*, 17(3), 443. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/sym17030443>
- Chen, C., Zhang, R., Guo, J., Liu, Z., Hua, C., Yan, H., . . . Jin, T. (2025). A new approach for failure mode and effect analysis based on Fermatean fuzzy Z-number weighted Muirhead mean operator. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 143, 110080. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.110080>
- Choi, J.-Y., Kim, S.-H., Han, K.-S., & Chung, J.-S. (2023). Application of Failure Mode Effects Analysis for Maintenance of Turnout System on Serviced Urban Rapid Transit. *Applied Sciences*, 13(5), 2978. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app13052978>

- Das, P. P., & Chakraborty, S. (2022). SWARA-CoCoSo method-based parametric optimization of green dry milling processes. *Journal of Engineering and Applied Science*, 69, 35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s44147-022-00087-3>
- Demirel, B., Yıldırım, E., & Can, E. (2025). GIS-based landslide susceptibility mapping using AHP, FMEA, and Pareto systematic analysis in central Yalova, Türkiye. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 64, 102013. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jestch.2025.102013>
- Deswandri, D., Sudarno, S., Tyas, R. L., Kumaraningrum, A. R., Maerani, R., Hidayatullah, I. M., . . . Hermansyah, H. (2024). Risk identification of integral pressurized water reactor (IPWR) cooling system using a combination HAZOP, FMEA, and FTA methods. *Process Safety Progress*, 43(S1), 78-89. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/prs.12570>
- Deveci, M., Varouchakis, E. A., Brito-Parada, P. R., Mishra, A. R., Rani, P., Bolgkoranou, M., & Galetakis, M. (2023). Evaluation of risks impeding sustainable mining using Fermatean fuzzy score function based SWARA method. *Applied Soft Computing*, 139, 110220. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110220>
- Ervural, B., & Ayaz, H. İ. (2023). A fully data-driven FMEA framework for risk assessment on manufacturing processes using a hybrid approach. *Engineering Failure Analysis*, 152, 107525. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107525>
- Farwaha, H. S., Singh, S., Ranjan, N., Grewal, J. S., & Pandey, S. (2025). MCDM methods for boom placer maintenance strategy design: a case study in a construction sector. *Safety in Extreme Environments*, 7, 2. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s42797-024-00116-9>
- Fernandez-Portillo, L. A., Yazdani, M., Estepa-Mohedano, L., & Sisto, R. (2023). Prioritisation of strategies for the adoption of organic agriculture using BWM and fuzzy CoCoSo. *Soft Computing*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00500-023-09431-y>
- Giordano, V., & Fantoni, G. (2025). Decomposing maintenance actions into sub-tasks using natural language processing: A case study in an Italian automotive company. *Computers in Industry*, 164, 104186. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compind.2024.104186>
- Görçün, Ö. F., Aytakin, A., Korucuk, S., & Tirkolae, E. B. (2023). Evaluating and selecting sustainable logistics service providers for medical waste disposal treatment in the healthcare industry. *Journal of Cleaner Production*, 408, 137194. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137194>
- Görçün, Ö. F., Hashemkhani Zolfani, S., Küçükönder, H., Antucheviciene, J., & Pavlovskis, M. (2024). 3D Printer Selection for the Sustainable Manufacturing Industry Using an Integrated Decision-Making Model Based on Dombi Operators in the Fermatean Fuzzy Environment. *Machines*, 12(1), 5. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/machines12010005>

- Görçün, Ö. F., Ulutaş, A., Topal, A., & Ecer, F. (2024). Telescopic forklift selection through a novel interval-valued Fermatean fuzzy PIPRECIA–WISP approach. *Expert Systems With Applications*, 255, 124674. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124674>
- Haseli, G., Sheikh, R., Ghouschi, S. J., Hajiaghaei-Keshteli, M., Moslem, S., Deveci, M., & Kadry, S. (2024). An extension of the best–worst method based on the spherical fuzzy sets for multi-criteria decision-making. *Granular Computing*, 9, 40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s41066-024-00462-w>
- He, J., Huang, Z., Mishra, A. R., & Alrasheedi, M. (2021). Developing a new framework for conceptualizing the emerging sustainable community-based tourism using an extended interval-valued Pythagorean fuzzy SWARA-MULTIMOORA. *Technological Forecasting and Social Change*, 171, 120955. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120955>
- Hosseini, N., Givehchi, S., & Maknoon, R. (2020). Cost-based fire risk assessment in natural gas industry by means of fuzzy FTA and ETA. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 63, 104025. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.104025>
- Huitzil, I., Alegre, F., & Bobillo, F. (2020). GimmeHop: A recommender system for mobile devices using ontology reasoners and fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems*, 401, 55-77. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fss.2019.12.001>
- İlbahar, E., Kahraman, C., & Çebi, S. (2022). Risk assessment of renewable energy investments: A modified failure mode and effect analysis based on prospect theory and intuitionistic fuzzy AHP. *Energy*, 239, 121907. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121907>
- İlbahar, E., Karaşan, A., Çebi, S., & Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. *Safety Science*, 103, 124-136. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.025>
- Jafarzadeh Ghouschi, S., Garg, H., Rahnamay Bonab, S., & Rahimi, A. (2023). An integrated SWARA-CODAS decision-making algorithm with spherical fuzzy information for clean energy barriers evaluation. *Expert Systems with Applications*, 223, 119884. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119884>
- Jafarzadeh Ghouschi, S., Shaffiee Haghshenas, S., Vahabzadeh, S., Shaffiee Haghshenas, S., Astarita, V., & Guido, G. (2025). Risk assessment of young driver behavior using an extended decision-making approach based on FMEA in uncertain environments. *Neural Computing and Applications*, 37, 9565-9602. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00521-025-11087-8>
- Janani, K., Mohanrasu, S. S., Kashkynbayev, A., & Rakkiyappan, R. (2025). Ensemble feature selection via CoCoSo method extended to interval-valued intuitionistic fuzzy environment. *Mathematics and Computers in Simulation*, 229, 50-77. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matcom.2024.09.023>
- Jaukovic Jocic, K., Jocic, G., Karabasevic, D., Popovic, G., Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., & Thanh Nguyen, P. (2020). A Novel Integrated PIPRECIA–Interval-Valued Triangular Fuzzy ARAS Model: E-Learning Course Selection. *Symmetry*, 12(6), 928. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/sym12060928>

- Justman, D., Creason, C. G., Rose, K., & Bauer, J. (2020). A knowledge-data framework and geospatial fuzzy logic-based approach to model and predict structural complexit. *Journal of Structural Geology*, 141, 104153. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsg.2020.104153>
- Kadena, E., Koçak, S., Takács-György , K., & Keszthelyi, A. (2022). FMEA in Smartphones: A Fuzzy Approach. *Mathematics*, 10(3), 513. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/math10030513>
- Kahraman, C., Öztayşi, B., & Çevik Onar , S. (2016). A Comprehensive Literature Review of 50 Years of Fuzzy Set Theory. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9, 3-24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/18756891.2016.1180817>
- Kang, J., Su, T., Meng, X., Mi, B., Jin, H., & Gong, B. (2025). Safety risk analysis and assessment of marine solid oxide fuel cells supply system based on HAZOP and combined weighting-cloud model. *Ocean Engineering*, 332, 121410. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.121410>
- Karanovic, V., Ceylan, B. O., & Jocanovic, M. (2024). Reliable ships: A fuzzy FMEA based risk analysis on four-ram type hydraulic steering system. *Ocean Engineering*, 314, 119758. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.119758>
- Karimi, H., Sadeghi-Dastaki, M., & Javan, M. (2020). A fully fuzzy best–worst multi attribute decision making method with triangular fuzzy number: A case study of maintenance assessment in the hospitals. *Applied Soft Computing Journal*, 86, 105882. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105882>
- Khoshvaght, P., Tanveer, J., Rahmani, A. M., Mohammadi, M., Mehranzadeh, A., Lansky, J., & Hosseinzadeh, M. (2025). H-TERF: A hybrid approach combining fuzzy multi-criteria decision-making techniques and enhanced random forest to improve WBAN-IoT. *Internet of Things*, 32, 101613. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.iot.2025.101613>
- Korkusuz Polat, T., & Pamuk Candan, I. (2024). Risk Prioritizing with Weighted Failure Mode and Effects Analysis and Fuzzy Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis: An Application Software Service Provider Company in the Defense Industry. *Applied Sciences*, 14(24), 11573. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app142411573>
- Korkusuz Polat, T., & Saltan Yaşlı, G. (2024). Risk Prioritization in A Manufacturing Project with Fuzzy SWARA and Fuzzy MOORA Methods. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 17(1), 16-36. <https://doi.org/https://doi.org/10.18185/erzifbed.1229541>
- Korucuk, S., Aytekin, A., Ecer, F., Karamaşa, Ç., & Zavadskas, E. K. (2022). Assessing Green Approaches and Digital Marketing Strategies for Twin Transition via Fermatean Fuzzy SWARA-COPRAS. *Axioms*, 11(12), 709. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/axioms11120709>
- Kumari, S., Ahmad, K., Khan, Z. A., & Ahmad, S. (2025). A hybrid fuzzy MCDM based FMEA approach for identification of critical failure modes of sewage treatment plant. *Life Cycle Reliability and Safety Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s41872-025-00310-z>

- Kusumasari, W., Rabung, Y. Y., Ilmi, F. M., & Ellizar, E. (2022). Assessing the safety effect through Google Maps usage: FMEA approach (Case study: Indonesia). *Case Studies on Transport Policy*, 10(3), 1917-1929. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.08.006>
- Lahane, S., & Kant, R. (2021). A hybrid Pythagorean fuzzy AHP – CoCoSo framework to rank the performance outcomes of circular supply chain due to adoption of its enablers. *Waste Management*, 130, 48-60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.05.013>
- Li, T., You, J., Aktaş, E., Dong, Y., & Yang, M. (2025). Risk assessment for digital transformation projects in construction Enterprises: An enhanced FMEA model. *Expert Systems With Applications*, 274, 126991. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.126991>
- Liu, T., Gao, K., & Rong, Y. (2024). Multicriteria group decision-making based on Fermatean fuzzy fairly weighted and ordered weighted averaging operators. *Granular Computing*, 9, 13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s41066-023-00427-5>
- Maghami, M. R., Vahabzadeh, S., Mutambara, A. G., Jafarzadeh Ghouschi, S., & Gomes, C. (2024). Failure analysis in smart grid solar integration using an extended decision-making-based FMEA model under uncertain environ. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 38, 3543-3563. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00477-024-02764-6>
- Manenzhe, M. T., Telukdarie, A., & Munsamy, M. (2023). Maintenance work management process model: incorporating system dynamics and 4IR technologies. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 29(5), 88-119. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/JQME-10-2022-0063>
- Mishra, A. R., Rani, P., Alshamrani, A. M., Alrasheedi, A. F., & Simic, V. (2025). Sustainable benchmarking of e-scooter micromobility systems: A hybrid q-rung orthopair fuzzy score function and distance measure-based ranking approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 143, 109934. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109934>
- Över Özçelik, T., Yılmaz Yalçiner, A., Çetinkaya, M., & Aker, A. (2025). Risk assessment with the fuzzy Fine–Kinney method in a business operating in the metal industry. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 31(1), 308-317. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10803548.2024.2438562>
- Özdağoğlu, A., Öztaş, G. Z., Keleş, M. K., & Genç, V. (2022). A comparative bus selection for intercity transportation with an integrated PIPRECIA & COPRAS-G. *Case Studies on Transport Policy*, 10(2), 993-1004. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.03.012>
- Pandey, B., & Khurana, M. K. (2024). An integrated Pythagorean fuzzy SWARA-COPRAS framework to prioritise the solutions for mitigating Industry 4.0 risks. *Expert Systems with Applications*, 254, 124412. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124412>

- Pathak, R., Soni, B., Muppalaneni, N. B., & Deveci, M. (2025). Assessing the factors of blockchain technology-enabled hospitals using an integrated interval-valued q-rung orthopair fuzzy decision-making model. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 139, 109641. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109641>
- Penelas, A. J., & Pires, J. C. (2021). HAZOP Analysis in Terms of Safety Operations Processes for Oil Production Units: A Case Study. *Applied Sciences*, 11(21), 10210. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app112110210>
- Puška, A., Beganović, A., Stojanović, I., & Murtič, S. (2022). Green supplier's selection using economic and environmental criteria in medical industry. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10668-022-02544-8>
- Rahnamay Bonab, S., & Osgooei, E. (2022). Environment risk assessment of wastewater treatment using FMEA method based on Pythagorean fuzzy multiple-criteria decision-making. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10668-022-02555-5>
- Ramere, M. D., & Laseinde, O. T. (2021). Optimization of condition-based maintenance strategy prediction for aging automotive industrial equipment using FMEA. *Procedia Computer Science*, 180, 229-238. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.160>
- Rani, P., Mishra, A. R., Mardani, A., Cavallaro, F., Štreimikiene, D., & Khan, S. A. (2020). Pythagorean Fuzzy SWARA–VIKOR Framework for Performance Evaluation of Solar Panel Selection. *Sustainability*, 12(10), 4278. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su12104278>
- Rasoanaivo, R. G., Yazdani, M., Zarate, P., & Fate, A. (2024). Combined compromise for ideal solution (CoCoFISo): A multi-criteria decision-making based on the CoCoSo method algorithm. *Expert Systems With Applications*, 251, 124079. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124079>
- Rehman, S., Rehman, N., Naz, M., Mumtaz, A., & Jianglin, Z. (2021). Application of Grey-Based SWARA and COPRAS Techniques in Disease Mortality Risk Assessment. *Journal of Healthcare Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2021/7302157>
- Senapati, T., & Yager, R. R. (2020). Fermatean fuzzy sets. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11, 663-674. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12652-019-01377-0>
- Shafiee, M., & Animah, I. (2022). An integrated FMEA and MCDA based risk management approach to support life extension of subsea facilities in high-pressure–high-temperature (HPHT) conditions. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 21(4), 189-204. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/20464177.2020.1827486>
- Siahaan, J. P., Yaqin, R. I., Priharanto, Y. E., Abrori, M. Z., & Siswantoro, N. (2024). Risk-Based Maintenance Strategies on Fishing Vessel Refrigeration Systems Using Fuzzy-FMEA. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 24, 855-876. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11668-024-01878-x>

- Singh, A. K., Kumar, R. S., & Pusti, A. (2022). Consequence Analysis of Most Hazardous Initiating Event in Electrical Energy Storage Systems Using Event Tree Analysis. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 22, 1646-1656. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11668-022-01464-z>
- Soltanali, H., Rohani, A., Abbaspour-Fard, M. H., Parida, A., & Farinha, J. T. (2020). Development of a risk-based maintenance decision making approach for automotive production line. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 11, 236-251. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13198-019-00927-1>
- Soltani, E., & Mirzaei Aliabadi, M. (2023). Risk assessment of firefighting job using hybrid SWARA-ARAS methods in fuzzy environment. *Heliyon*, 9(11). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22230>
- Stevic, Ž., Bouraima, M. B., Subotic, M., Qiu, Y., Buah, P. A., Ndiema, K. M., & Ndjegwes, C. M. (2022). Assessment of Causes of Delays in the Road Construction Projects in the Benin Republic Using Fuzzy PIPRECIA Method. *Mathematical Problems in Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2022/5323543>
- Susanti, H. D. (2023). Risk prevention of plywood product defects using Failure Mode Effect Analysis (FMEA) in the Indonesian plywood processing industry. *Wood Material Science & Engineering*, 18(6), 2049-2059. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/17480272.2023.2214527>
- Taherdoos, H., & Madanchian, M. (2023). Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts. *Encyclopedia*, 3(1), 77-87. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006>
- Tang, Y., Zhou, D., Zhu, S., & Ouyang, L. (2025). A probabilistic uncertain linguistic approach for FMEA-based risk assessment. *Quality and Reliability Engineering International*, 41, 51-70. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/qre.3657>
- Tao, Z., Zhu, R., Hu, J., Wang, M., Chen, Q., & Wang, C. (2025). A novel hierarchical failure analysis approach targeting the operation and maintenance of floating offshore wind turbines. *Renewable Energy*, 241, 122267. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.122267>
- Testik, Ö. M., & Tok Ünlü, E. (2023). Fuzzy FMEA in risk assessment for test and calibration laboratories. *Quality and Reliability Engineering International*, 39(2), 575-589. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/qre.3198>
- Thakkar, J. J. (2021). *Multi-Criteria Decision Making*. Springer Singapore. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-33-4745-8>
- Tomak, N., & Korkusuz Polat, T. (2022). Risk prioritization model driven by success factor in the light of multicriteria decision making. *Open Chemistry*, 20, 759-776. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/chem-2022-0188>
- Tomašević, M., Lapuh, L., Stevic, Ž., Stanujkic, D., & Karabašević, D. (2020). Evaluation of Criteria for the Implementation of High-Performance Computing (HPC) in Danube Region Countries Using Fuzzy PIPRECIA Method. *Sustainability*, 12(7), 3017. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su12073017>

- Torkayes, A. E., Pamucar, D., Ecer, F., & Chatterjee, P. (2021). An integrated BWMLBWA-CoCoSo framework for evaluation of healthcare sectors in Eastern Europe. *Socio-Economic Planning Sciences*, 78, 101052. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101052>
- Tuş, A., & Aytaç Adalı, E. (2022). Green Supplier Selection Based on the Combination of Fuzzy SWARA (SWARA-F) and Fuzzy MARCOS (MARCOS-F) Methods. *Gazi University Journal of Science*, 35(4), 1535-1554. <https://doi.org/https://doi.org/10.35378/gujs.978997>
- Ulutaş, A., Popovic, G., Stanujkic, D., Karabasevic, D., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2020). A New Hybrid MCDM Model for Personnel Selection Based on a Novel Grey PIPRECIA and Grey OCRA Methods. *Mathematics*, 8(10), 1698. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/math8101698>
- Wang, Q., Cheng, T., Lu, Y., Liu, H., Zhang, R., & Huang, J. (2024). Underground Mine Safety and Health: A Hybrid MEREC–CoCoSo System for the Selection of Best Sensor. *Sensors*, 24(4), 1285. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s24041285>
- Xie, S., Dong, S., Chen, Y., Peng, Y., & Li, X. (2021). A novel risk evaluation method for fire and explosion accidents in oil depots using bow-tie analysis and risk matrix analysis method based on cloud model theory. *Reliability Engineering and System Safety*, 215, 107791. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107791>
- Xu, W., Das, D. K., Stevic, Ž., Subotic, M., Alrasheedi, A. F., & Sun, S. (2023). Trapezoidal Interval Type-2 Fuzzy PIPRECIA-MARCOS Model for Management Efficiency of Traffic Flow on Observed Road Sections. *Mathematics*, 11(12), 2652. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/math11122652>
- Yacan, İ. (2024). *Çok Kriterli Karar Vermede Yeni Bir Yöntem Önerisi: Geliştirilmiş Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi, Kesin ve Bulanık Sayılarla Uygulamalar*. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Yazdani, M., Mohammed, A., Bai, C., & Labib, A. (2021). A novel hesitant-fuzzy-based group decision approach for outsourcing risk. *Expert Systems With Applications*, 184, 115517. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115517>
- Yazdani, M., Ye, C., Shaayesteh, M. T., & Zaraté, P. (2025). Decision support system for waste management: fuzzy group AHP-CoCoSo. *International Journal of Production Management and Engineering*, 13(1), 77-92. <https://doi.org/https://doi.org/10.4995/ijpme.2025.21558>
- Yıldırım, B., Ayyıldız, E., & Aydın, N. (2024). Optimal location selection for electric vehicle car-sharing stations using Fermatean fuzzy decision-making methodology. *Journal of Cleaner Production*, 485, 144400. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144400>
- Yücenur, G. N., & Maden, A. (2025). Location selection for a photovoltaic agricultural with f-PIPRECIA and WASPAS methods: A case study. *Energy*, 314, 134179. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.134179>

- Zakeri, S., Konstantas, D., Chatterjee, P., & Zavadskas, E. K. (2025). Soft cluster-rectangle method for eliciting criteria weights in multi-criteria decision-making. *Scientific Reports*, 15, 284. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-024-81027-4>
- Zhou, W., Qiu, Z., Tian, S., Liu, Y., Wei, L., & Langari, R. (2021). A Novel Hybrid Approach for Risk Evaluation of Vehicle Failure Modes. *Sensors*, 21(2), 661. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s21020661>



## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Refiye İrem GÜNDÜZ

### ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans** : 2023, Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
- Yüksek Lisans** : 2025, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 02.2024-07.2024 tarihleri arasında Ayan Gıda firmasında Üretim Planlama Mühendisi olarak çalıştı.

### TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Gündüz R.İ., Korkusuz Polat T. (2025). Bir Üretim İşletmesinde Bakım Süreçlerindeki Risklerin FMEA Yöntemi Kullanılarak Değerlendirilmesi. 21. Uluslararası İstanbul Fen, Mühendislik, Mimarlık Ve Matematik Bilimlerinde Bilimsel Araştırmalar Kongresi, İstanbul, Türkiye.