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

# ÇOKLU ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME METODOLOJİSİ İLE İÇMESUYU DAĞITIM SİSTEMLERİNDE FİZİKİ KAYIP YÖNETİMİ BİLEŞENLERİNİN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Halil EREN**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut FIRAT**

**AĞUSTOS 2024**

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

# ÇOKLU ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME METODOLOJİSİ İLE İÇMESUYU DAĞITIM SİSTEMLERİNDE FİZİKİ KAYIP YÖNETİMİ BİLEŞENLERİNİN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Halil EREN**
**(36213621008)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut FIRAT**
**Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cansu BOZKURT**

**AĞUSTOS 2024**

## TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardımlarını, önerilerini, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeden beni her konuda yönlendiren danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Mahmut FIRAT ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cansu BOZKURT'a,

Tüm hayatım ve eğitim sürecim boyunca hiçbir desteklerini üzerimden eksik etmeyen sevgili anneme, babama ve kardeşlerime, samimi ve içten bir teşekkürü borç bilirim…

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, FYL-2023-3344 numaralı projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

## ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum "Çoklu Ölçütlü Karar Verme Metodolojisi ile İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Fiziki Kayıp Yönetimi Bileşenlerinin Önceliklendirilmesi" başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Halil EREN

## İÇİNDEKİLER

**TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ** ..... **1**
**ONUR SÖZÜ** ..... **2**
**İÇİNDEKİLER** ..... **3**
**TABLOLAR DİZİNİ** ..... **5**
**ŞEKİLLER DİZİNİ** ..... **7**
**SEMBOLLER VE KISALTMALAR** ..... **9**
**ÖZET** ..... **10**
**ABSTRACT** ..... **12**
**1. GİRİŞ** ..... **1**
**2. KAYNAK ÖZETLERİ** ..... **4**
**3. YÖNTEMLER** ..... **9**
**3.1. AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi)** ..... **9**
**3.2. ANP (Analitik Ağ Süreci)** ..... **14**
**3.3. TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği)** ..... **20**
**3.4. BULANIK MANTIK** ..... **25**
Bulanıklaştırma ..... 27
Üyelik Fonksiyonları ..... 27
Bulanık Kurallar ile Çıkarım ..... 29
Durulaştırma ..... 32
**3.5. BAYES TEOREMİ** ..... **34**
3.5.1. Naive Bayes ..... 37
**4. FİZİKİ KAYIP YÖNETİMİ BİLEŞENLERİ** ..... **38**
**4.1. Su Kayıpları** ..... **38**
**4.2. Fiziki Kayıp Yönetimi Bileşenlerinin Belirlenmesi** ..... **40**
İdari Yapı ve Ekip Yönetimi ..... 42
Veri Ölçümü ..... 45
Bilgi Yönetim Sistemleri ..... 48
Sızıntı Tespiti ve Önleme ..... 51
Performans ve Verimlilik İzleme ..... 54
**5. ANALİZ VE DEĞERLENDİRME** ..... **57**
**5.1. Fiziki Kayıp Yönetimi Bileşenleri için Ölçütlerin Belirlenmesi** ..... **58**
**5.2. Karar Verme Ölçütlerinin Ağırlıklandırılması** ..... **61**
5.2.1. Ölçütlerin AHP ile Ağırlıklandırılması ..... 62

5.2.2. Ölçütlerin ANP ile Ağırlıklandırılması.....65
**5.3. TOPSIS Yöntemi ile Fiziki Kayıp Yönetimi Bileşenlerinin Önceliklendirilmesi .....68**
**5.4. Bayes Teoremi.....75**
5.4.1. Parametrelerin Belirlenmesi.....75
5.4.2. Bayes Teoremi Ağ Yapısının Oluşturulması .....78
5.4.3. Duyarlılık Analizi.....86
**5.5. Bulanık Mantık Modelinin Kurulması .....88**
5.5.1. Fiziki Kayıp Yönetimi Bileşenlerinin Üyelik Fonksiyonları.....89
5.5.2. Fiziki Kayıp Yönetimi Bileşenlerinin Risk Üyelik Fonksiyonu ve Kural Tabanı.....98
**6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....107**
**KAYNAKLAR.....110**
**ÖZGEMİŞ.....121**

# TABLOLAR DİZİNİ

**Tablo 3.1:** Önem derecesi ölçeği (Saaty, 1977).....10
**Tablo 3.2:** Rassal indeks tablosu (Alonso ve Lamata, 2006). .....12
**Tablo 3.3:** AHP örneği ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması.....12
**Tablo 3.4:** AHP örneği ikili karşılaştırma normalize matrisinin oluşturulması. .....13
**Tablo 3.5:** AHP örneği önem ağırlık değerleri. .....13
**Tablo 3.6:** Sistem içerisinde birbirini etkileyen ve etkilenen değişkenler. .....18
**Tablo 3.7:** A3 alternatifini etkileyen alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi.....18
**Tablo 3.8:** Ağırlıklandırılmamış süper matris. .....19
**Tablo 3.9:** Ağırlıklandırılmış süper matris. .....19
**Tablo 3.10:** Limit süper matris. .....20
**Tablo 3.11:** Ağırlıklandırılmış normalize matris. .....24
**Tablo 3.12:** Pozitif ideal çözüm (A+) ve negatif ideal çözüm (A-) değerleri. .....24
**Tablo 3.13:** Pozitif ve negatif ideal çözüm noktalarına olan uzaklıklar .....25
**Tablo 3.14:** İdeal çözüme göreli yakınlık değerleri. .....25
**Tablo 4.1:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri.....41
**Tablo 5.1:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri ölçütleri ve tanımları. .....60
**Tablo 5.2:** Pozitif ve negatif ölçütler.....61
**Tablo 5.3:** Ölçütlerin puanlandırma ölçütleri. .....61
**Tablo 5.4:** AHP yöntemi ile ölçütler için belirlenen ağırlık katsayıları. .....67
**Tablo 5.5:** ANP yöntemi ile ölçütler için belirlenen ağırlık katsayıları. .....67
**Tablo 5.6:** Pozitif ve negatif ölçüt değerlendirme kriterleri. .....69
**Tablo 5.7:** Pozitif ölçütler için değerlendirme örneği. .....69
**Tablo 5.8:** Negatif ölçütler için değerlendirme örneği. .....69
**Tablo 5.9:** Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerleri.....70
**Tablo 5.10:** İdeal çözüme yakınlık değerleri ve değişken sıralamaları.....72
**Tablo 5.11:** Hava durumuna göre futbol oynanabilirlik olasılıkları. .....76
**Tablo 5.12:** Fiziki kayıp yönetiminde bayes teoremi parametreleri. .....77
**Tablo 5.13:** Fiziki kayıplar (Real) koşullu olasılık tablosu. .....81
**Tablo 5.14:** Fiziki kayıp yönetimi bileşeni parametreleri duyarlılık indeksleri (DI).....87
**Tablo 5.15:** Fiziki kayıp yönetimi bileşeni parametrelerine ait olasılık değeri hesaplama sonuçları. .....89
**Tablo 5.16:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin finansal etkilerinin sonuçları. .....91
**Tablo 5.17:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin sosyal etkilerinin sonuçları. .....93
**Tablo 5.18:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin çevresel etkilerinin sonuçları. .....95

**Tablo 5.19:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin risk etkilerinin sonuçları. .....97
**Tablo 5.20:** Riskin ve niteliksel değerinin kural çıkarımı. .....100

# ŞEKİLLER DİZİNİ

**Şekil 3.1:** AHP ve ANP model yapısı (Millet ve Saaty, 2000). ..... 15
**Şekil 3.2:** Ağırlıklandırılmış süper matrisin yapısı. ..... 17
**Şekil 3.3:** Klasik küme ile bulanık küme gösterimi. ..... 26
**Şekil 3.4:** Bulanık çıkarım sistem yapısı. ..... 27
**Şekil 3.5:** a) Üçgen üyelik fonksiyonun gösterimi b) Yamuk üyelik fonksiyonun gösterimi c) Gauss üyelik fonksiyonun gösterimi d) Çan eğrisi üyelik fonksiyonun gösterimi..... 29
**Şekil 3.6:** Mamdami çıkarım yöntemi gösterimi (Baykal ve Beyan, 2004; Roos, 2004).... 31
**Şekil 3.7:** Sugeno çıkarım yöntemi gösterimi (Baykal ve Beyan, 2004; Roos, 2004). ..... 32
**Şekil 3.8:** a) Ağırlık merkezi yönteminin gösterimi b)Maksimum üyelik yönteminin gösterimi c) Ortalama maksimum üyelik yöntemi gösterimi d) Ağırlıklı ortalama yöntemi gösterimi (Akkapatan, 2012). ..... 34
**Şekil 3.9:** Bayes teoremi gösterimi..... 36
**Şekil 4.1:** Su kayıpları ve bileşenleri. ..... 38
**Şekil 5.1:** AHP ile ağırlıkların belirlenmesi için oluşturulan hiyerarşik yapı. ..... 62
**Şekil 5.2:** AHP yönteminde ikili karşılaştırma matrislerinin puanlandırılması ve ağırlıkların elde edilmesi. ..... 63
**Şekil 5.3:** AHP yönteminde ölçütler için ikili karşılaştırma sonucu elde edilen ağırlıklar. 64
**Şekil 5.4:** ANP yönteminde sosyal kategorisinin ilişkili olduğu kategoriler ve ölçütler. ...65
**Şekil 5.5:** ANP yönteminde ölçütler elde edilen ağırlıklar. ..... 66
**Şekil 5.6:** AHP ve ANP yöntemi ile ölçütler için belirlenen ağırlıkların kıyaslanması. ..... 68
**Şekil 5.7:** Fiziki kayıplar (Real) ağ yapısı. ..... 78
**Şekil 5.8:** Rapor edilen sızıntılar (RpL) ağ yapısı. ..... 79
**Şekil 5.9:** Rapor edilmeyen sızıntılar (URpL) ağ yapısı..... 79
**Şekil 5.10:** Depo sızıntıları (Wleak) ağ yapısı. ..... 79
**Şekil 5.11:** Personel ve ekipman yönetimi (Peqm) ağ yapısı..... 80
**Şekil 5.12:** Bakım ve işletme yönetimi (Opm) ağ yapısı. ..... 80
**Şekil 5.13:** Real düğümünün sayısal değerlerin programa aktarılmış halinin görüntüsü. ...82
**Şekil 5.14:** Fiziki kayıplar (Real) koşullu olasılık tablosu..... 82
**Şekil 5.15:** Rapor edilen sızıntılar (RpL) koşullu olasılık tablosu. ..... 83
**Şekil 5.16:** Rapor edilmeyen sızıntılar (URpL) koşullu olasılık tablosu..... 84
**Şekil 5.17:** Depo sızıntıları (Wleak) koşullu olasılık tablosu. ..... 84
**Şekil 5.18:** Personel ve ekipman yönetimi (Peqm) koşullu olasılık tablosu..... 85
**Şekil 5.19:** Bakım ve işletme yönetimi (Opm) koşullu olasılık tablosu. ..... 86
**Şekil 5.20:** Matlab programında fuzzy modeli açılış ekran görüntüsü..... 88

**Şekil 5.21:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri gerçekleşme olasılığı üyelik fonksiyonu.....90
**Şekil 5.22:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri finansal üyelik fonksiyonu. .....92
**Şekil 5.23:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri sosyal üyelik fonksiyonu. .....94
**Şekil 5.24:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri çevresel üyelik fonksiyonu. .....96
**Şekil 5.25:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri risk üyelik fonksiyonu. .....98
**Şekil 5.26:** Bulanık sayıların eşdeğer net değeri. .....99
**Şekil 5.27:** Bulanık kural çıkarımı sonuçları nitel ölçeği. .....99
**Şekil 5.28:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri için bulanık kuralların çıkarım sistemi. .....101
**Şekil 5.29:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri için risk değeri hesaplama örneği. .....102
**Şekil 5.30:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri için risk değeri hesaplama ikinci örneği.....102
**Şekil 5.31:** Olasılık-Finansal, Olasılık-Sosyal ve Olasılık-Çevresel parametrelerinin risk üzerinde etkileri. .....103
**Şekil 5.32:** Finansal-Olasılık, Finansal-Sosyal ve Finansal-Çevresel parametrelerinin risk üzerinde etkileri. .....104
**Şekil 5.33:** Sosyal-Olasılık, Sosyal-Finansal ve Sosyal-Çevresel parametrelerinin risk üzerinde etkileri. .....105
**Şekil 5.34:** Çevresel-Olasılık, Çevresel-Finansal ve Çevresel- Sosyal parametrelerinin risk üzerinde etkileri. .....106

# SEMBOLLER VE KISALTMALAR

| | | |
|---|---|---|
| **AHP** | **:** | Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytic Hierarchy Process) |
| **ANP** | **:** | Analitik Ağ Süreci (Analytic Network Process) |
| **ÇÖKV** | **:** | Çok Ölçütlü Karar Verme |
| **TOPSIS** | **:** | İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) |
| **BBN** | **:** | Bayes İnanç Ağı |
| **GGS** | **:** | Gelir Getirmeyen Su |
| **CI** | **:** | Consistency Index (Tutarlılık İndeksi) |
| **RI** | **:** | Random Index (Rassal İndeks) |
| **CR** | **:** | Consistency Ratio (Tutarlılık Oranı) |
| **SCADA** | **:** | Denetleme (Denetim) ve Kontrol ve Veri Topla Sistemi |
| **CBS** | **:** | Coğrafi Bilgi Sistemi |
| **ABYS** | **:** | Abone Bilgi Yönetim Sistemi |
| **ELL** | **:** | Ekonomik Kaçak Seviyesi |
| **ILI** | **:** | Altyapı Kaçak İndeksi |
| **UARL** | **:** | Önlenemeyen Yıllık Gerçek Kayıplar |
| **DI** | **:** | Duyarlılık İndeksi |
| **EA** | **:** | Eşdeğer Ağırlık |

# ÖZET


Yüksek Lisans Tezi

ÇOKLU ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME METODOLOJİSİ İLE İÇMESUYU DAĞITIM SİSTEMLERİNDE FİZİKİ KAYIP YÖNETİMİ BİLEŞENLERİNİN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

HALİL EREN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

xiii + 121 sayfa

2024

Danışman: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

Su temin ve dağıtım sistemlerinde su kaynağından son kullanıcıya kadar birçok noktada sızıntılar meydana gelmektedir. Bu sızıntılar hizmet kalitesinin düşmesine ve abone şikayetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle sızıntıların azaltılması ve etkin sızıntı yönetimi oldukça kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, etkin ve sürdürülebilir sızıntı yönetimi için çoklu ölçütlü karar verme yöntemi ile öncelikli iyileştirilmesi gereken bileşenlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için fiziki kayıp yönetiminde etkili bileşenler belirlenmiştir. Bu bileşenlerin değerlendirilmesi ve ağırlıklarının tanımlanması için karar verme ölçütleri tanımlanmıştır. Bu ölçütler göz önüne alınarak analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve analitik ağ süreci (ANP) yöntemleri ile tüm bileşenlerin fiziki kayıp yönetimindeki ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu analizler sonucunda "Teknik" ve "Ekonomik" ölçütlerin en etkili kategoriler olduğu belirlenmiştir. Bu ölçütlerin su iletim ve dağıtım sistemlerinin verimliliği ve maliyet etkinliği açısından kritik olduğu tespit edilmiştir. Çevresel boyut da sürdürülebilir su yönetimi açısından önemli bir yer tutmaktadır. Daha sonra bileşenlerin ağırlıkları kullanılarak ideal çözüme benzerliğe göre tercih sıralaması tekniği (TOPSIS) yöntemi ile arıza ve sızıntı yönetiminde öncelikli iyileştirilmesi gereken bileşenler sıralanmıştır. Böylece fiziki kayıp yönetimi bütüncül bir şekilde analiz edilmiş, tüm bileşenler tanımlanmış, ağırlıkları dikkate alınarak öncelik sıralaması yapılmıştır.

Bu çalışmada ayrıca, fiziki kayıp yönetimi bileşenleri için risk analizleri gerçekleştirilmiştir. Bayes Teoremi ve Bulanık Mantık modelleri kullanılarak farklı senaryolar altında bileşenlerin olasılıkları ve risk değerleri hesaplanmıştır. Bu analizler, su dağıtım sistemlerindeki kayıpları en aza indirmek ve kaynak verimliliğini artırmak için önemli veriler sunmuştur. Risk analizlerinde, çevresel ve sosyal faktörlerin yüksek olduğu durumlarda olasılığın artması, riski önemli ölçüde artırmaktadır. Düşük çevresel, finansal ve sosyal koşullarda risk yüksekken, bu değişkenlerin belirli bir dengede olması riskin azalmasına yardımcı olmaktadır. Finansal faktörler genellikle riskin artmasına neden olurken, bu etkinin çevresel ve sosyal değişkenlerin yüksek olduğu durumlarda daha belirgin hale geldiği gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, içmesuyu dağıtım sistemlerinde

uygulanabilir stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayacak nitelikte olup, su yönetimi alanında karar vericilere yol gösterici olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Fiziki kayıp yönetimi, Çoklu ölçütlü karar verme, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Analitik Ağ Süreci (ANP), İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği (TOPSIS), Bayes Teoremi, Bulanık Mantık, Risk analizi

# ABSTRACT

Master Thesis

PRİORİTİZATİON OF REAL LOSS MANAGEMENT COMPONENTS İN WATER DİSTRİBUTİON SYSTEMS WİTH MULTİPLE CRİTERİA DECİSİON MAKİNG METHODOLOGY

HALİL EREN

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

xiii + 121 page

2024

Supervisor: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

Failures and leaks occur at many points in water supply and distribution systems, from the water source to the end user. These leaks cause subscriber complaints and poor service quality. Therefore, reducing leaks and managing them effectively is quite important. The main purpose of this study is to prioritize the leakage management components using a multi-criteria decision-making method for sustainable leakage management. All components within the scope of leakage management have been identified. Then, decision-making criteria were defined to evaluate these components. The weights of the components in leakage management were determined with the analytical hierarchy process (AHP) and analytical network process (ANP) methods by considering these criteria. Then, the leakage management components were prioritized with the technique for order of preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) method using the weights of the components. The results showed that "Technical" and "Economic" criteria were the most effective categories. These criteria have been found to be critical to the efficiency and cost-effectiveness of water transmission and distribution systems. Environmental criteria also have an important place in terms of sustainable water management. Then, the components that need to be improved in fault and leakage management were ranked using the TOPSIS method using the weights of the components. Thus, the leakage management was analyzed in a holistic manner, all components were identified, and priority was ranked by taking their weights into account.

In this study, risk analyses were also performed for physical loss components. Using Bayesian Network and Fuzzy Logic models, probabilities and risk values of the components were calculated under different scenarios. These analyses provided important data to minimize losses in water distribution systems and increase resource efficiency. In risk analyses, when environmental and social factors are high, the probability increases significantly, increasing the risk. While risk is high in poor environmental, financial and social conditions, a certain balance of these variables helps reduce the risk. While financial factors generally cause an increase in risk, it has been observed that this effect becomes more

pronounced in cases where environmental and social variables are high. The results of the study will contribute to the development of applicable strategies in drinking water distribution systems and will guide decision makers in the field of water management.

**Keywords:** Real loss management, Multi-criteria decision making, Analytical Hierarchy Process (AHP), Analytical Network Process (ANP), Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Bayesian Network, Fuzzy Logic, Risk analysis

# 1. GİRİŞ

Su, hayatın devamı için vazgeçilmez bir kaynaktır. Dünyanın büyük bir kısmı su ile kaplı olmasına rağmen, kullanılabilir tatlı su kaynakları oldukça sınırlıdır. Bu sınırlı kaynakların etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi, özellikle su kayıplarının en aza indirilmesi, büyük önem arz etmektedir. Su kayıpları, suyun kaynağından son kullanıcıya ulaşana kadar geçen süreçte meydana gelen her türlü kayıp olarak tanımlanabilir.

Su kayıpları, su dağıtım sistemlerinde meydana gelen ve fiziki kayıplar ile idari kayıplar olarak iki ana kategoriye ayrılan kayıplardır. Fiziki kayıplar, borulardaki sızıntılar, patlamalar ve arızalar gibi nedenlerle suyun fiziksel olarak kaybolmasını ifade ederken; idari kayıplar, hatalı ölçüm, kaçak su kullanımı ve faturalandırma hataları gibi nedenlerle oluşan kayıpları içerir (Lambert, 2002). Su kayıplarının azaltılması, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından büyük bir öneme sahiptir. Dünya Bankası'na göre, dünya genelinde su kayıpları yıllık ortalama %25 civarındadır ve dünya genelinde su kayıplarının yıllık maliyeti yaklaşık 14 milyar dolar olup, bu kayıplar özellikle su kıtlığı çeken bölgelerde daha da ciddi boyutlara ulaşmaktadır (World Bank, 2016; World Bank, 2020). Bu kayıpların azaltılması, su temininde sürdürülebilirlik sağlanması için kritik bir rol oynamaktadır.

Gelişmekte olan ülkelerde ise Gelir Getirmeyen Su (GGS) oranı yaklaşık %45-50 aralığında olup toplam sisteme giriş hacminin yarısı kaybedilmektedir (Dighade vd., 2014). Toplam su kayıplarının önemli bir kısmını (yaklaşık %30-40) fiziki kayıplar (sızıntılar) oluşturmaktadır (Puust vd., 2010). Bu oran dünya çapında günde 346 milyon metreküp ve yılda 126 milyar metreküp su kaybına tekabül etmekte (Liemberger ve Wyatt, 2019) ve enerji kaybı ortalama %25 seviyesinde olmaktadır (Kanakoudis vd., 2015). Arıza oranının ve sızıntı miktarının fazla olduğu sistemlerde su iletimi aksamakta ve aboneler için güvenli su temininin sağlanması zorlaşmaktadır (Hu vd., 2021).

Özellikle son yıllarda iklim değişikliğinin etkisi ile yağışlardaki düzensizlikler mevcut su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir (Aboelnga vd., 2018; Petersen vd., 2013). Bu nedenle içmesuyu dağıtım sistemlerinde sızıntıların tespit edilmesi, azaltılması ve sürdürülebilir yönetilmesi oldukça önemlidir. Özellikle sızıntıların önemli kısmını oluşturan rapor edilmeyen arızaların farkına varılması, yerinin tespit edilmesi ve onarılması kritik öneme sahiptir (Bosco vd., 2020; Rupiper vd., 2022; Firat vd., 2022).

Fiziki kayıplar, suyun dağıtım sistemindeki altyapı sorunları nedeniyle meydana gelen gerçek su kayıplarıdır. Bu kayıplar, suyun sızıntılar, çatlaklar ve boru patlamaları yoluyla fiziksel olarak kaybolmasını içerir. İçmesuyu dağıtım sistemlerinde su kaynağından son kullanıcıya kadar her aşamada sızıntı meydana gelmektedir. Bu sızıntılar, su kaynağının verimsiz kullanılmasına neden olmaktadır. Fiziki kayıplar, su dağıtım sistemlerinin yaşlanması, yetersiz bakım ve düşük kaliteli malzemeler gibi faktörlerden kaynaklanabilir. Bu tür kayıplar, su kaynaklarının verimsiz kullanılmasına ve su temini maliyetlerinin artmasına neden olur (Farley ve Trow, 2003). Fiziki kayıpların azaltılması hem su kaynaklarının korunması hem de su dağıtım sistemlerinin ekonomik verimliliğinin artırılması açısından hayati öneme sahiptir. Örneğin, Türkiye'de yapılan bir çalışmada, fiziki kayıpların %30'un üzerinde olduğu tespit edilmiş ve bu kayıpların azaltılması durumunda önemli ekonomik tasarruf sağlanabileceği vurgulanmıştır.

Fiziki kayıp yönetimi, su dağıtım sistemlerindeki fiziki kayıpların tespiti, izlenmesi ve azaltılması için uygulanan strateji ve yöntemleri içerir. Bu kapsamda, su dağıtım sistemlerinin düzenli bakımı, modern teknoloji kullanımı ve etkili sızıntı yönetim programları gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Fiziki kayıp yönetimi, suyun sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini sağlayarak, su kaynaklarının korunmasına ve su temininde güvenilirliğin artırılmasına katkıda bulunur. Ayrıca, etkili bir fiziki kayıp yönetimi, su kayıplarının %30-50 oranında azaltılmasını mümkün kılmakta ve su dağıtım maliyetlerini düşürerek ekonomik tasarruf sağlar ve çevresel etkileri minimize eder (González-Gómez ve García-Rubio, 2019; Lambert, 2002). Su dağıtım sistemlerinde kullanılan akıllı su şebekeleri ve ileri analiz teknikleri, fiziki kayıpların hızlı bir şekilde tespit edilmesine ve müdahale edilmesine olanak tanımaktadır (Thornton ve Lambert, 2005).

Bu çalışmanın temel amacı, içmesuyu dağıtım sistemlerinde fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin önceliklendirilmesi ve bu bileşenlerin etkin bir şekilde yönetilmesi için bir çerçeve sunmaktır. Çalışma kapsamında AHP, ANP ve TOPSIS gibi çoklu ölçütlü karar verme metodolojileri kullanılarak, fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin önem dereceleri belirlenmiş ve öncelik sıralaması yapılmıştır. Ayrıca fiziki kayıp yönetimi bileşenleri için risk analizleri gerçekleştirilmiştir. Bayes Teoremi ve Bulanık Mantık modelleri kullanılarak farklı senaryolar altında bileşenlerin olasılıkları ve risk değerleri hesaplanmıştır.

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır.

- Giriş bölümde, çalışmanın arka planı, amacı ve kapsamı açıklanmaktadır.
- Kaynak özetleri bölümünde, ilgili literatür taranarak, su kayıpları ve fiziki kayıp yönetimi konularındaki önceki çalışmalar özetlenmiştir.
- Yöntemler bölümünde ise çalışmada kullanılan AHP, ANP, TOPSIS, Bulanık Mantık ve Bayes Teoremi gibi yöntemlerin ayrıntılı açıklamaları ve uygulama süreçleri yer almaktadır.
- Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri bölümünde su kayıplarının bileşenleri ve bu bileşenlerin belirlenmesi için kullanılan yöntemler tartışılmaktadır.
- Analiz ve değerlendirme bölümünde, fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin ölçütlerinin belirlenmesi, karar verme ölçütlerinin ağırlıklandırılması ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmaktadır.
- Son bölüm olan sonuç ve öneriler bölümünde ise çalışma sonucu elde edilen bulgulardan bahsedilmektedir.

# 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatürde sızıntıların farkına varılması, yerinin tespit edilmesi, azaltılması, önlenmesi ve yönetimi kapsamında farklı yöntemler kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Bu bölümde fiziki kayıp yönetimi kapsamında detaylı bir literatür taraması yapılmış ve değerlendirmeler sunulmuştur. Mutikanga vd. (2011) su kayıp yönetiminin stratejik planlanması için entegre bir ÇÖKV çerçevesi sunmaktadır. Su dağıtım şebeklerinde su kayıp azaltma stratejilerini seçme ve önceliklendirme konusunda yardımcı olmak ve stratejik su kayıp yönetimi planlaması (SWLMP) için entegre bir ÇÖKV çerçevesi önerilmiştir. Su kayıp azaltma seçeneklerinin önceliklendirilmesi çerçevesinde PROMETHEE-II yönetimi uygulanmıştır. Bu çalışma, karmaşık su yönetimi ve planlama problemlerini çözmek için operasyonel araştırma teknikleri ile birleştirilmiş karar teorisinin nasıl uygulanabileceğini göstermektedir.

Bezerra vd. (2012) bir su dağıtım şebekesindeki basıncın kontrol edilmesi ve en uygun basınç seviyesinin tanımlanması için bulanık sistem tabanlı bir yaklaşım sunmuştur. Oluşturulan deney düzeneğinden elde edilen sonuçlar, sızıntıların olduğu ve basınç kontrolünün olmadığı gerçek bir hidrolik şebekeye uyarlandığında, fiziki kayıplar %56'dan fazla azaltılabildiğini göstermiştir. Francés-Chust vd. (2020) çalışmasında bir dağıtım sisteminde basınç sensörleri arasındaki ilişkileri değerlendirerek karşılıklı etkilerini mümkün olduğunca eksiksiz bir şekilde anlamak ve böylece ağ bilgileri üzerinde daha büyük etkiye sahip olabilecek sensörleri barındıracak aday düğümleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında bulanık DEMATEL yöntemi kullanılmıştır. Leu ve Bui (2016), su dağıtım şebekelerindeki sızıntıları tahmin etmek için uzman yapısal beklenti maksimizasyonunu (ExSEM) kullanan Bayes ağını sunmaktadır. Sistem bir idarenin su dağıtım şebekesine uygulanmış ve sonuçlar, önerilen yaklaşımın sızıntıyla ilgili ekstra faktörleri ve bu faktörler arasındaki ilişkileri etkili bir şekilde hesaba kattığını göstermiştir.

Fontana ve Morais (2016) kentsel su temininde su kayıp kontrolüne yönelik mevcut eylemlerin bir alt kümesinin analiz edilmesi ve her alternatifin özelliklerini dikkate alarak bunlardan hangisinin benimsenmesi gerektiğinin belirlenmesi amacıyla bir model sunmuştur. Model, alternatifleri tamsayılı doğrusal programlama (ILP) ile değerlendirmek için SMARTER yöntemini uygulayarak eklemeli çok özellikli bir değer analizini birleştirmektedir. Kadenge vd. (2019) çalışmasında su dağıtım sisteminde kullanılan su kayıp yönetim stratejilerini optimize etmek için sayısal optimizasyon tekniği ile entegre

çoklu ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yöntemlerinin karşılaştırmalı analizini sunmuştur. Su kayıp yönetiminde kullanılan bir karar modeli oluşturmak ve en iyi alternatifleri seçmek için tamsayılı doğrusal programlama (ILP) tekniği ile kompleks oransal değerlendirme (COPRAS) ve basit toplamsal ağırlıklandırma (SAW) iki sıralama yöntemi karşılaştırılmıştır.

Kadenge vd. (2020) Tanzanya Moshi Su ve Kanalizasyon Kurumu (MUWSA) verileri kullanılarak, karar vericilere planlamalarında yardımcı olmak üzere su kayıp yönetimi için en iyi stratejileri değerlendirmek, önceliklendirmek ve seçmek için çoklu ölçütlü karar verme (ÇÖKV) ve tamsayılı doğrusal programlama (ILP) yöntemlerini uygulamıştır. Stratejileri değerlendirmek ve önceliklendirmek için çok kriterli değer teorisi (MAVT), sıralamalardan yararlanan basit çok kriterli derecelendirme tekniği (SMARTER) ve basit toplamalı ağırlıklandırma (SAW) kullanılırken, ILP bir karar modeli formüle etmek için kullanılmıştır.

Tabesh vd. (2017), fiziki kayıplar üzerinde etkili faktörleri belirlemeyi ve anketler aracılığıyla pilot uygulamada bulunma düzeylerini puanlamayı amaçlamaktadır. Önerilen metodoloji, bilgi toplamak için bir anket tasarlamanın ve faktörler arasındaki olasılık ilişkilerini değerlendirmek için Bayes ağını kullanmaktadır. Sonuçlar, boruların ve diğer ekipmanların yanlış ve standart dışı montajının ve işçiler ve uzmanlar için yetersiz eğitimin fiziki kayıplar üzerinde en fazla etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Tabesh vd. (2018) çalışmasında gelir getirmeyen su ve alt bileşenler (idari ve fiziki kayıplar ve faturalandırılmamış yasal tüketimler) üzerindeki etkili faktörlerin Bayes ağı yöntemi ile belirlemeyi amaçlamıştır. Barandouzi vd. (2012) dağıtım sistemindeki sızıntıların olasılıksal karakterizasyonlarını haritalamak için Markov zinciri Monte Carlo yöntemi ile bir Bayes yaklaşımını uygulamıştır. Analizler EPANET su dağıtım simülasyon aracı aracılığıyla kolaylaştırılmıştır.

Hall ve Le (2017) çeşitli demografik ve yönetim faktörlerinin Vietnam'daki çiftliklerde kuyulardan ve yağmur suyundan elde edilen içmesuyunda Escherichia coli bulunma olasılığı üzerindeki etkisini incelemiştir. Çeşitli deterministik ve olasılıksal değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlamak için bir Bayes inanç ağı (BBN) tasarlanmıştır. Bayes inanç ağı (BBN), Netica yazılım aracı kullanılarak geliştirilmiştir. Wang vd. (2016) çalışmasında Çin'deki Güneyden Kuzeye Su Aktarım Projesi'nin (MRSNWTP) Orta Güzergâhı üzerindeki riski tanımlayarak, modelleyerek ve niceliksel olarak hesaplayarak

tehlikeli madde taşımacılığı riskini değerlendirmek için Bayes ağı tabanlı bir risk değerlendirme (BN-RA) modeli geliştirilmiştir.

Abdelghany ve Abdel-Monem (2019), su hizmetlerinin performansını etkin bir şekilde yöneten karar vericilere yardımcı olmak için uzmanlar ve yöneticilerle iş birliği içinde yeni bir BSC (Balanced Score Cards) modeli geliştirmiştir. Model, düzenleyici kurum tarafından ulusal düzeyde farklı su tedarikçileri için bir değerlendirme ve sıralama aracı olarak da kullanılabilir. Göstergelerin nihai listesi için ağırlıklarını almak ve tutarlılıklarını sağlamak amacıyla AHP yöntemi uygulanmıştır. Sartorius vd. (2018) geleneksel ve yenilikçi altyapıların karşılaştırılmasını sağlayan yeni birçok kriterli değerlendirme aracının uygulanmasını sunmuştur. Su ve atık su altyapı sisteminin çevre dostu, sosyal açıdan kapsayıcı ve uyarlanabilir olarak nitelendirilmesi için geleneksel ve yenilikçi yöntemlerin var olan çeşitli etkilerin karşılaştırmasını ve bir alternatif seçmesini sağlayacak MuBeWis değerlendirme aracı geliştirilmiştir.

AlHumid vd. (2019) Suudi Arabistan Krallığı'ndaki belediyelerin, Uzun vadeli sürdürülebilir bir belediye katı atık yönetimi (MSWM) göstermesi için kamu hizmeti ve katılımı, personel, fiziksel varlıklar, operasyonel, çevresel, sürdürülebilirlik ve finansal olmak üzere yedi temel bileşen için performans göstergeleri seçim çerçevesi geliştirmiştir. Performans göstergelerinin belirlenmesi için kontrol listesi yöntemi kullanılarak tarama süreci tamamlandıktan sonra tanımlanan seçim kriterlerinin ağırlıklarını tahmin etmek için FAHP yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra, karar vericiler tarafından performans göstergeleri için atanan önem puanları PROMETHEE II kullanılarak toplanmıştır. Hamidifar vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, proje uygulamalarının alternatiflerinin karşılaştırılması, kriterlerin, alt kriterlerin ve alternatiflerin önceliklendirilmesi için üç farklı ÇÖKV yöntemi olan AHP, Bulanık-AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmıştır. Toosi ve Samani (2017) tarafından yapılan çalışmada farklı geliştirme stratejilerine göre havzaları değerlendirmek için bulanık DEMATEL, bulanık ANP ve bulanık VIKOR tabanlı yeni bir karma bulanık karar verme tekniği tanıtarak mali kısıtlılık ve insan kaynakları nedeniyle kalkınma stratejilerinin uygulanmasında havzalara öncelik verme sorununu çözmeyi amaçlanmıştır. Çalışmada AHP yönteminin yalnızca kriterlerin ağırlıklandırılması için kullanıldığı ve TOPSIS yönteminin ana karar modeli olduğu belirtilmektedir.

Tabesh vd. (2020a) gelir getirmeyen suyun alt bileşenleri olan idari ve fiziki kayıpları azaltma politikalarını değerlendirmiştir. Bu amaçla, TOPSIS modeli kullanılarak, her bir gelir getirmeyen su azaltma politikasının uygulanmasıyla ortaya çıkan kayıp risk azaltma değerlerini içeren bir karar matrisi önerilmiştir. Zyoud vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada gelişmekte olan ülkelerin su dağıtım sistemlerinde su kayıplarını azaltma stratejileri çerçevesinde önerilen bir dizi seçenek arasındaki kilit seçeneklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, bulanık küme teorisini AHP ve TOPSIS yöntemleri ile birleştiren entegre bir metodoloji kullanılmıştır. Bulanık AHP ana ve değerlendirme kriterleri için ağırlıklar oluşturmak için kullanılırken, Bulanık TOPSIS karar vericilerin değerlendirme ve tercihlerine dayalı olarak genel hedefi karşılama potansiyelleri açısından seçeneklerin sıralanmasına yardımcı olmak için kullanılmıştır.

Tabesh vd. (2020b), gelir getirmeyen suyun idari ve fiziki kayıpları azaltma politikalarının etkinliğini araştırmaktadır. Bu amaçla, idari ve gerçek kayıpların ortaya çıkmasını ve genişlemesini etkileyen kavramlar ve bilgiler kullanılarak olası tehditler belirlenmiştir. Daha sonra bu faktörler özetlenmiş ve bir anket formunda formüle edilerek uzmanlar tarafından cevaplandırılmıştır. Sonrasında bir Bayes ağı kullanılarak, gelir getirmeyen su (GGS) bileşenlerini ve parametrelerini etkileyen riskler modellenmiştir. Risk analizi modelinin oluşturulmasıyla, GGS göstergesinin riskleri tanımlanan Bulanık kurallar yapısı kullanılarak önceliklendirilmiştir. Zyoud vd. (2016) artan su talebini karşılamak adına su kayıplarını azaltılması ve yönetilmesi için en uygun çözümleri seçmek ve en iyi fikir birliği kararlarını vermek amacıyla ÇÖKV yöntemi olan AHP yöntemini uygulamıştır. Şebekede su kayıplarını azaltmak için seçenekler belirlenmiş ve öncelik sırasına koymak için temel olarak entegre bir stratejiler çerçevesi oluşturulmuştur.

Haider vd. (2021) yaptığı araştırmada su kalitesini kaynaktan musluğa kadar yönetmek için kapsayıcı bir risk değerlendirme metodolojisi sunmaktadır. Hata ağacı şeklindeki neden-sonuç ilişkileri, Boolean işlemlerinin her ikisini de ele almak için çoklu hata modları ve etki analizi (FMEA) kullanılarak çözülmüştür. Bulanık küme teorisi, ciddiyet ve tespit edilebilirliğin öznel değerlendirmesindeki belirsizlikleri ele almak için risk değerlendirme metodolojisi ile entegre edilmiştir. Lee et vd. (2009) yaptığı çalışmada su temin sistemlerindeki arızalara etki eden potansiyel faktörleri değerlendirmek için bir dizi risk faktörü ve bulanık mantık ile birlikte bir hata ağacı metodolojisi tanımlamıştır. Hata ağacı metodolojisi risklerin yapısını oluşturmakta ve bulanık mantık analizi kalitatif risk verilerini olasılıklara dönüştürmektedir. Metodoloji, riskin ne zaman ciddi olduğunu ve

neyin özel dikkat gerektiren bir katkı faktörü oluşturduğunu belirterek karar verme sürecine rehberlik etmektedir.

Beker ve Lal Kansal (2022) bu çalışma, güvenilirlik, esneklik ve kırılganlık endekslerinin bulanık mantık kullanarak kentsel bir su dağıtım şebekesinin performans değerlendirmesine odaklanmaktadır. Bireysel performans göstergelerini değerlendirmek için, bu çalışma hidrolik simülasyon için basınca bağlı analizi (PDA) savunmaktadır. Ayrıca, sonucu dilsel biçimde sunacak ve karar vericinin su dağıtım şebekesinin bakımına öncelik vermesine yardımcı olacak bulanık kural tabanlı bir birleştirilmiş performans endeksini (API) savunmaktadır. Bu çalışma için, Sugeno tipine göre anlaşılması daha kolay, verimli ve daha doğru olan Mamdani bulanık kural tipi seçilmiş ve MATLAB'deki bulanık modelde uygulanmıştır.

# 3. YÖNTEMLER

## 3.1. AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), 1970'lerde Thomas L. Saaty tarafından karmaşık karar problemlerinde karar vericilere yardımcı olmak amacıyla alternatifleri belirlenen kriterlere göre sıralamak için geliştirilmiş bir yöntemdir (Saaty, 1977). AHP yönteminin avantajları; çok sayıda kriter için uygulanabilmesi, ağır matematiksel işlemler içermediği için kolay uygulanması ve anlaşılabilir olması, nitel ve nicel verilerde uygulanabilmesi, ikili karşılaştırmaların tutarlılığının hesaplanabilmesi, karar verme problemini hiyerarşik bir yapıda gösterilebilmesi ve grup kararı alınabilmesi için uygun bir yöntem olması şeklinde ifade edilebilir (Özbek, 2019). Başka bir avantajı ise, farklı çoklu ölçütlü karar verme yöntemleriyle birlikte hibrit olarak kullanılarak kriter ağırlıklarını belirlemek için karar verme problemlerine adapte edilebilmesidir. Buna örnek olarak AHP-TOPSIS (Tabesh vd., 2020), AHP-PROMETHEE (Macharis vd., 2004), AHP-ELECTRE (Mahmoudi vd., 2021) gösterilebilir.

AHP yönteminde, öncelikle çalışma kapsamında problem tanımlanarak ölçütler ve alternatifler belirlenir. Ölçütlerin ve alternatiflerin belirlenmesinden sonra hiyerarşik yapı düzenlenir. Hiyerarşik yapıda tepe noktada ulaşılmak istenilen temel hedef bulunur. Temel hedefin aşağısında temel ölçütler ve alt ölçütler bulunur. Hiyerarşinin en aşağısındaysa alternatifler bulunmaktadır.

Karar probleminin hiyerarşi yapısı düzenlendikten sonra ise eş değer önem derecesine sahip kriterlerin birbirine göre ağırlıkları belirlenir (Uzun ve Kazan, 2016). Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi için karşılaştırma matrisi oluşturulur. Bu adımda Tablo 3.1'de gösterilen Saaty (1977) tarafından önerilen puanlandırma ölçeğinden yararlanılır.

**Tablo 3.1:** Önem derecesi ölçeği (Saaty, 1977).

| Önem Değerleri | Değer Tanımları |
|---|---|
| 1 | Eşit Önemde |
| 3 | Biraz Daha Önemli (Az Üstünlük) |
| 5 | Oldukça Önemli (Fazla Üstünlük) |
| 7 | Çok Önemli (Çok Üstünlük) |
| 9 | Son Derece Önemli (Kesin Üstünlük) |
| 2, 4, 6 ve 8 | Ara Değerler (Uzlaşma Değerleri) |
| 1. faktörün 2. faktörden daha önemsiz olması durumda ise 1/3, 1/5, 1/7 ve 1/9 değerleri kullanılmaktadır. | |

Öncelikle, önem derecesi ölçeği kullanılarak temel ölçütler, varsa alt ölçütler ve sonrasında bütün ölçütler göz önüne alınarak karar seçeneklerinin ölçütlere göre karşılaştırıldığı matrisler oluşturulur. Bu karşılaştırma matrisleri, köşegen elemanları 1 olan bir kare matristir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = {}^{1}/_{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ a_{n1} = {}^{1}/_{a_{1n}} & a_{n2} = {}^{1}/_{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \tag{3.1}$$

Karar seçeneklerinin her bir ölçüte göre ayrı ayrı karşılaştırıldığı matrisler oluşturulur. Bu matrislerde $a_{ij}$, *i*. ölçüt ile *j*. ölçütün ikili karşılaştırma değerini ifade eder ve $a_{ji}$ değeri $1/a_{ij}$ ile hesaplanır. $a_{ij}$ değeri, ölçüt *i* değeri ile ölçüt *j* değeri arasındaki önem derecesini belirler. Normalize edilmiş matrisin her bir sütun toplamı 1 olacak şekilde, her eleman kendi sütun toplamına bölünerek normalize edilir. Bu aşamada, her bir kriter için önem ağırlıklarını gösteren öncelik vektörü ($w$=[$w_i$]×$A$) hesaplanır (Dişkaya ve Emir, 2021). Bu şekilde, ölçütler arasındaki önem derecelerini yansıtan yüzde önem dağılımları hesaplanmış olur. Normalize edilmiş matrisin her bir satır toplamı, matrisin boyutuna bölünerek ortalaması alınır. Elde edilen değerler, her bir ölçüt için hesaplanan önem ağırlıklarını temsil eder.

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \, , i, j = 1, 2, \dots, n \tag{3.2}$$

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^{n} a_{ij} \, , i, j = 1, 2, \dots, n \tag{3.3}$$

$$AxW = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = {}^{1}/_{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ a_{n1} = {}^{1}/_{a_{1n}} & a_{n2} = {}^{1}/_{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ . \\ . \\ . \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ . \\ . \\ . \\ x_n \end{bmatrix} \tag{3.4}$$

AHP yönteminde, tutarlık oranı karar vericilerin ikili karşılaştırmalardaki olası yanlışlarını da belirler. Bir hata tespit edilirse, uygun düzeltmeler yapılarak daha sağlıklı kararlar elde edilir. (Uzun ve Kazan, 2016). Karşılaştırmaların öznel olması nedeniyle tutarsızlıklar olabilir; bu durumu sayısal olarak belirlemek için tutarlılık hesaplaması yapılır. (Dişkaya ve Emir, 2021). Bir A matrisinin tutarlı olup olmadığını belirlemek için "Tutarlılık İndeksi (Consistency Index-*CI*)" adı verilen katsayı hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{3.5}$$

Burada, $\lambda_{max}$ özdeğeri göstermektedir. Karşılaştırma matrisinin tam tutarlılık durumunda özdeğerin kriter sayısıyla aynı olması gerekir (Özbek, 2019).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{1} \left( \frac{\sum_{J=1}^{n} a_{ij} \, w_j}{w_i} \right) \tag{3.6}$$

Tutarlılık Oranının hesaplanmasında kullanılan bir diğer önemli değer Rassal İndeks (*RI:* Random Index) değeridir. Bu değer, kriter sayısına karşılık gelen *RI* değerlerini gösteren Tablo 3.2'den alınır.

**Tablo 3.2:** Rassal indeks tablosu (Alonso ve Lamata, 2006).

| ***n*** | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***RI*** | 0 | 0 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.56 | 1.57 | 1.59 |

*CI* ve *RI* değerleri elde edildikten sonra "Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio-*CR*)" hesaplanır. Tutarlılık oranı değeri de *CI*'nin *RI*'ye oranıdır. Bu oranın 0.10'dan küçük veya eşit olduğunda ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu ve bulunan kriter ağırlıklarının geçerli olduğu kabul edilir. Tutarlılık oranının 0.10'dan büyük olması durumunda ise ikili karşılaştırma matrisindeki ölçüt karşılaştırmasının tutarsız olduğunu gösterir. Bu durumda uzmanların kriterler için yapmış olduğu ikili puanlandırmayı yeniden değerlendirmeleri gerekir (Timor, 2010).

*AHP yöntemi örneği;*

Ele alınacak örnekte 5 adet kriter (K1, K2, K3, K4 ve K5) ve bu karar noktalarını etkileyen 5 adet alternatif (A1, A2, A3, A4 ve A5) olsun. İlk olarak ölçütler arasında yapılan ikili karşılaştırmalara dayalı bir matris oluşturalım. Matrisin puanlandırılmasında Tablo 3.1'de gösterilen Saaty (1977) tarafından önerilen puanlandırma ölçeğinden yararlanılmıştır. AHP örneği için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 3.3'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.3:** AHP örneği ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması.

| **Kriterler** | **K1** | **K2** | **K3** | **K4** | **K5** |
|---|---|---|---|---|---|
| **K1** | 1 | 2 | 5 | 3 | 4 |
| **K2** | 1/2 | 1 | 3 | 2 | 4 |
| **K3** | 1/5 | 1/3 | 1 | 1/2 | 2 |
| **K4** | 1/3 | 1/2 | 2 | 1 | 3 |
| **K5** | 1/4 | 1/4 | 1/2 | 1/3 | 1 |

İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan bu matris normalize edilir. Normalize matris oluşturulurken ikili karşılaştırma matrisindeki her hücre için hücre değeri ile hücrenin bulunduğu sütunun toplamının bölümü alınır. Bu işlem için Denklem 3.2 kullanılır ve elde edilen ikili karşılaştırma normalize matrisinin Tablo 3.4'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.4:** AHP örneği ikili karşılaştırma normalize matrisinin oluşturulması.

| Kriterler | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 |
|---|---|---|---|---|---|
| **K1** | 0.44 | 0.49 | 0.43 | 0.44 | 0.29 |
| **K2** | 0.22 | 0.24 | 0.26 | 0.29 | 0.29 |
| **K3** | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.07 | 0.14 |
| **K4** | 0.15 | 0.12 | 0.17 | 0.15 | 0.21 |
| **K5** | 0.11 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.07 |

Normalize edilmiş matriste oluşturulduktan sonra normalize edilmiş matrisin her bir satır toplamı, matrisin boyutuna bölünüp ortalaması alınarak her bir kriterin önem ağırlıkları hesaplanır. Bunun için Denklem 3.3 kullanılır ve kriterlerin elde edilen önem ağırlık değerleri Tablo 3.5'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.5:** AHP örneği önem ağırlık değerleri.

| K1 | K2 | K3 | K4 | K5 |
|---|---|---|---|---|
| 0.42 | 0.26 | 0.09 | 0.16 | 0.07 |

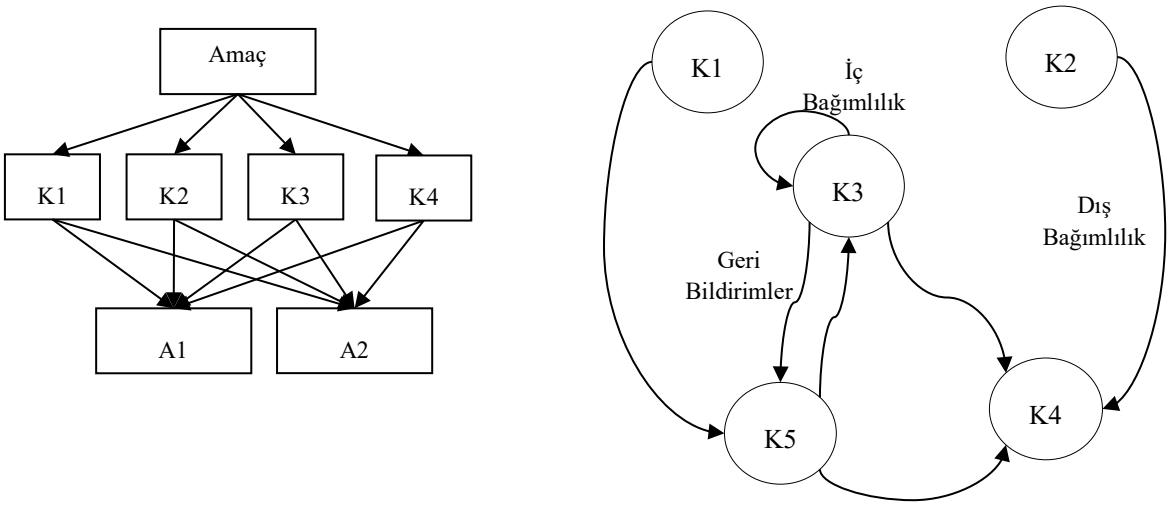
Önem ağırlıkları hesaplandıktan sonra öncelik vektörü hesaplanır. Öncelik vektörünün hesaplanması ikili karşılaştırma matrisinin önem ağırlıkları değerleri ile vektörel çarpılmasıyla elde edilir. Bu işlem adımında Denklem 3.4 kullanılır. Son adım olarak ise karşılaştırmaların tutarlı olup olmadığını kontrol etmek için tutarlılık oranı hesaplanır. Tutarlılık oranının hesaplanmasında Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılır. İşlemler sonucu $\lambda_{max}$ değeri 5.11 bulunmuştur. Sonrasında tutarlılık indisi (*CI*) hesaplanıp tutarlılık oranı (*CR*) hesaplanır. Tutarlılık oranı tutarlılık indisinin (*CI*) rassal indekse (*RI*) oranıdır. Burada rassal indeks değeri Tablo 3.2'de kriter sayısına karşılık gelen *RI* değerlerini alır. Örnekte 5 adet kriter olduğu için *RI* değeri 1.12'dir. *CI*'nin *RI*'ye oranlanması ile tutarlılık oranı değeri 0.03 bulunup bu değerde 0.10'dan küçük olduğu için karşılaştırmalar tutarlıdır.

### 3.2. ANP (Analitik Ağ Süreci)

Analitik Ağ Süreci (ANP), AHP yönteminin daha gelişmiş halidir. Thomas L. Saaty tarafından 1990 yılında geliştirilen ANP yönteminin temeli AHP yöntemine dayanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan AHP yöntemi değişkenler arasındaki ilişkilerin modellemesini tek yönlü yukardan aşağı hiyerarşik bir yapı ile yaparken ANP yöntemi, ögeler arasındaki daha karmaşık ve çeşitli ilişkilerin de dikkate alınmasına müsaade eden ilişkilerin tümünün tanımlandığı ve kriterlerin birbirleriyle etkileşimlerinin gösterildiği ağ yapısı olan bir yöntemdir (Karamahmutoğlu, 2010; Koç ve Burhan, 2015; Mahmoudkelaye vd., 2018; Ömürbek, 2014; Saaty, 2001).

Hiyerarşik süreçte aynı düzeydeki kriterler birbirinden etkilenmezken ağ sürecinde kriterler arasındaki etkileşimler dikkate alınır. ANP, karar verirken, konuyla alakalı olan bütün kriterleri konuya adapte edebilmektedir (Jharkharia ve Shankar, 2007; Saaty, 2005). Böylece kriterler arasındaki ilişkiler daha ayrıntılı olarak belirtilir ve nispeten daha karmaşık yapıdaki problemler ayrıntılı bir şekilde modellenebilmektedir. ANP yönteminde hiyerarşik düzendeki gibi sadece kriterlerin önemlerine göre alternatiflerin önemleri hesaplanmasına ilave olarak alternatiflerin önemlerine göre de kriterin önemleri hesaplanmaktadır (Saaty, 1994; Saaty ve Vargas, 2006)

AHP, karmaşık bir problemin neden-sonuç ilişkisine göre yukardan aşağı doğrusal bir zincir şeklinde ayrıştırılması olarak tanımlanabilir. Yukardan aşağı hiyerarşi işleminde en üst seviyede amaç daha sonra amacı etkileyen kriterler ve sonrasında da kriterleri etkileyen alt kriterler yer alır (Saaty, 1994). Hiyerarşik yapıda, tepeden en alta doğru bir düzen bulunur ve kriterlerin birbirlerini etkilemediği varsayılır; geri bildirim yoktur. Ancak ANP yöntemindeki ağ yapısı, birbirleri arasında etkileşime ve geri bildirime izin verir (Karamahmutoğlu, 2010). Ağ yapısı yönteminin uygulanmasında da ilk önce kriterler kümelere ayrılır. Ardından ise kümelerin diğer kriterler ve alternatifler ile bağımlılıkları veya kendi içlerindeki bağımlılıkları ele alınır. ANP yönteminde üç bağımlılık bulunur. Bunlar bir kriterin diğer kriterle olan bağımlılığına dış bağımlılık, kriterin kendi içindeki bağımlılığına iç bağımlılık ve iki kriter arasında karşılıklı etkileşim varsa buna da geri bildirim denir. İç bağımlılık durumu ANP yöntemini AHP yönteminden ayıran özelliklerden biridir. Ok gösteriminde ise okun çıktığı kriter etkileyen okun gittiği kriterse etkilenendir (Yıldırım ve Önder, 2018). AHP yöntemi hiyerarşik model yapısı ve ANP yöntemi ağ model yapısı örneği Şekil 3.1'de verilmiştir.




**Şekil 3.1:** AHP ve ANP model yapısı (Millet ve Saaty, 2000).

ANP yöntemi ağ yapısı incelendiğinde üç tür bileşen görülmektedir. Bu bileşenler kaynak, hedef ve ara bileşen şeklindedir. Kaynak bileşen, hiçbir bileşenden etkilenmeyen bileşendir. Bu bileşenlere hiçbir ok gelmemektedir. Bunlar K1 ve K2'dir. Hedef bileşen, diğer bileşenler tarafından etkilenen bileşendir. Bu bileşene diğerlerinden ok gelip ama hiç gidişi olmamaktadır. Bu bileşen K4'dür. Ara bileşen ise hem diğer bileşenlerden etkilenen hem de diğer bileşenleri etkileyen bileşendir. Bu bileşene hem ok gelişi olup hem de ok çıkışı olmaktadır. Bu bileşenler K3 ve K5'dir.

ANP yönteminde karar problemi net bir şekilde tanımlanır ve düzenlenir. Başlangıç olarak, aşamaların amacı belirlenir. Sonrasında model oluşturulup ilişkiler tanımlanmaktadır. Model oluşturulurken amaç, karar vericilerin görüşleri doğrultusunda birbirleriyle ilişkili olduğu düşünülen kümeler (bileşenler), faktörler, kriterler ve alt kriterlere ayrılır. Bağımlılıklar ve geri dönüşler göz önüne alınarak ağ yapısındaki ilişkileri tanımlanır (Demirci, 2018). Bu adımda en önemli nokta model yapısındaki her kriterin diğer kriter üzerindeki etkisini belirlemektir (Peker, 2012).

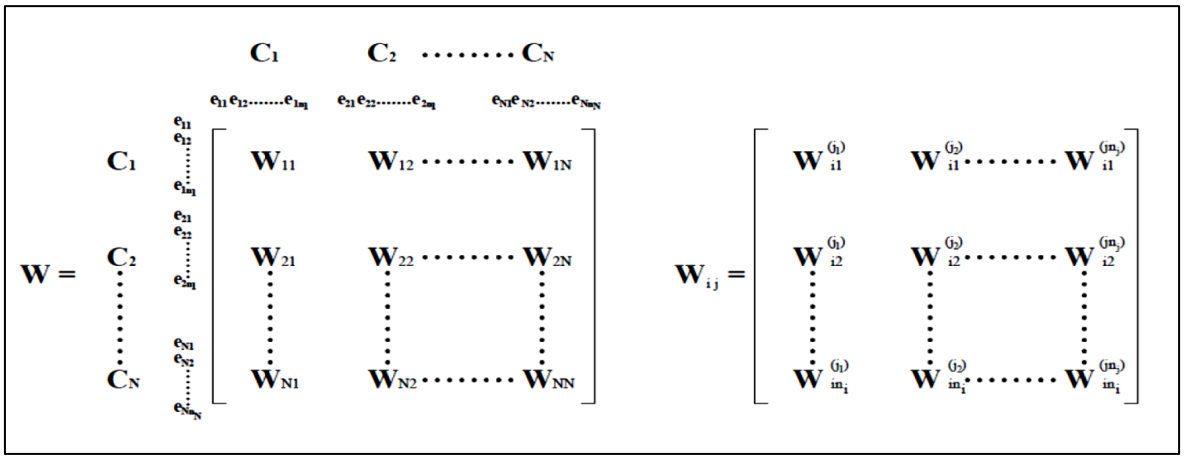
Ağ modeli ile kriterler ve alternatifler, etkileşimli kriterlerle ve alt kriterlerle ikili karşılaştırmalar yapılır. İki karşılaştırmalar yapılırken Saaty tarafından geliştirilen AHP yönteminde de kullanılan ve Tablo 3.1'de gösterilen 1-9 puanlı önem derecesi ölçeğinden yararlanılır ve öncelik vektörü belirlenir (Bayhan, 2015; Canpolat, 2008). AHP yönteminden farklı olarak, iç etkileşim karşılaştırmalarında, kriterlerin önem sırası belirlemek yerine, hangi kriterin diğerini daha fazla etkilediği şeklinde bir karşılaştırma yapılır. Öncelik vektörünün (özdeğer) hesaplanmasında Denklem 3.7'den yararlanılır.

$$A\ x\ w = \lambda_{max}\ x\ w \tag{3.7}$$

Burada, $w$ öncelik vektörünü, $\lambda_{max}$ A'nın en büyük özdeğeridir ve A ise ikili karşılaştırma matrisini ifade eder.

İkili karşılaştırma matrisi oluşturulup ağırlıklar hesaplandıktan sonra tutarlılık oranı belirlenir (Demirci, 2018). İkili karşılaştırmanın tutarlı olması için AHP yöntemindeki gibi hesaplanan "Tutarlılık Oranı" değerinin 0.10'a eşit veya küçük olması gerekmektedir. Oranın 0.10'dan büyük olması durumunda ikili karşılaştırma matrisinin tekrar gözden geçirilmesi gereklidir (Ecer vd., 2009).

Her bir kriter için elde edilen öncelik vektörlerinin birleştirilmesi ile süper matris oluşturulur. Karar ağını oluşturan küme ve kriterler ile aralarındaki etkileşimler bu matriste verilir. Süper matris, ağdaki tüm etkileşimlerin sunulduğu bir matristir (Yang vd., 2015). Süper matristeki her bölüm sistemde yer alan iki faktör arasındaki bağı gösteren parçalı bir matristir (Canpolat, 2008; Demirci, 2018). Eğer bir kümedeki faktörlerin diğer kümedeki faktörler üzerinde etkisi yoksa, ilgili kısımlara 0 konur. Ağırlıklandırılmamış süper matrisler karşılaştırılmalı matrislerden elde edilen öncelik vektörlerinin her bir süper matrisin ilgili bölümlerine yerleştirilmesiyle oluşturulur. Oluşturulan bu ağırlıklandırılmamış süper matristeki değerlerin ilgili faktörün yer aldığı kümenin ağırlığı ile çarpılmasıyla ağırlıklandırılmış süper matris elde edilir (Van Horenbeek ve Pintelon, 2014). Stokastik olma zorunluluğu olduğundan ağırlıklandırılmış süper matrisin sütun toplamı 1'e eşitlenerek stokastik duruma getirilir (Karamahmutoğlu, 2010). Ağırlıklandırılmış süper matrisin yapısı Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.2:** Ağırlıklandırılmış süper matrisin yapısı.

Süper matrisin ağırlıklandırılmasından sonra limitlendirme aşamasına geçilir. Limit matris ise ağırlıklandırılmış süper matrisin satırlarının durgun olana kadar büyük dereceden kuvveti alınarak elde edilir. Bu şekilde kriterlerin nihai ağırlıkları belirlenmiş olur. Oluşturulan yeni matris ise limit süper matristir. Kuvvet alma işlemi Denklem 3.8'de gösterilen eşitlik ile yapılır.

$$\lim_{k\to\infty}(W)^k \tag{3.8}$$

Limit süper matrisle kriterlerin öncelik değerleri ve en yüksek önem derecesine sahip alternatifler belirlenirken, süper matrisin kuvvetinin alınması işleminden faydalanılır (Çelik ve Murat, 2010). Seçim probleminde, en büyük ağırlığa sahip alternatif en iyisi olarak kabul edilir; ağırlıklandırma probleminde ise, en büyük ağırlığa sahip faktör, karar sürecini etkileyen en önemli faktördür (Saaty, 2008).

*ANP yöntemi örneği;*

Ele alınacak ANP yöntemi örneği için 3 adet kriter (K1, K2 ve K3) ve bu karar noktalarını etkileyen 7 adet alternatif (A1, A2, A3, A4, A5, A6 ve A7) olsun. İlk olarak sistem yapısının oluşturulması gereklidir. Sistem içerisinde birbirini etkileyen ve etkilenen değişkenler Tablo 3.6'da gösterilmiştir. Bu tabloda satırlar etkileyen sütunlar ise etkilenen değişkenlerdir. Ağ yapısı değişkenleri arasındaki verilerin değerlendirilmesi uzman görüşleri ve anketler yardımı ile doldurulur.

**Tablo 3.6:** Sistem içerisinde birbirini etkileyen ve etkilenen değişkenler.

| | | | ETKİLENEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | K1 | | K2 | | K3 | | |
| | | | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 |
| ETKİLEYEN | K1 | A1 | X | | X | | X | | X |
| | | A2 | | X | | | X | | X |
| | K2 | A3 | X | | X | | | X | X |
| | | A4 | X | X | | X | | | X |
| | K3 | A5 | | | X | | X | | |
| | | A6 | X | | X | X | X | X | |
| | | A7 | | | X | | X | | X |

Örneğin A3 alternatifi A1 alternatifini etkilemekte ya da A1 alternatifi A5 alternatifini etkilemektedir. Değişkenlerin etki durumları belirlendikten sonra ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. A3 alternatifini etkileyen alternatiflerin nasıl etkilediğini görmek için ikili karşılaştırma matrisi oluşturalım. A3 alternatifini etkileyen alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi Tablo 3.7' de gösterilmiştir.

**Tablo 3.7:** A3 alternatifini etkileyen alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi.

| Alternatifler | A5 | A6 | A7 |
|---|---|---|---|
| **A5** | 1 | 1/5 | 3 |
| **A6** | 5 | 1 | 1/7 |
| **A7** | 1/3 | 7 | 1 |

Oluşturulan bu karşılaştırma matrisindeki alternatiflerin normalize işlemi, ağırlıklarının hesaplanması ve matrisin tutarlılığı AHP yönteminde olduğu gibi hesaplanır. Burada A5 alternatifi ağırlığı 0.134, A6 alternatifi ağırlığı 0.747 ve A7 alternatifi ağırlığı ise 0.119 olarak hesaplanır. Tutarlılık oranı ise 0.013 olup bu değer 0.10'dan küçük olduğu için ikili karşılaştırma matrisi tutarlıdır. Burada alternatiflerin hesaplanan ağırlık değerleri ise Tablo 3.6'da ilgili işaretli alana yazılarak ağırlıklandırılmamış süper matris oluşturulur. Tüm alternatiflerin ikili karşılaştırmaları tamamlandıktan sonra oluşan ağırlıklandırılmamış süper matris Tablo 3.8'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.8:** Ağırlıklandırılmamış süper matris.

| | | | ETKİLENEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | K1 | | K2 | | K3 | | |
| | | | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 |
| ETKİLEYEN | K1 | A1 | 1 | | 1 | | 0.875 | | 0.875 |
| | | A2 | | 1 | | | 0.125 | | 0.125 |
| | K2 | A3 | 0.167 | | 1 | | | 1 | 0.5 |
| | | A4 | 0.833 | 1 | | 1 | | | 0.5 |
| | K3 | A5 | | | 0.134 | | 0.655 | | |
| | | A6 | 1 | | 0.747 | 1 | 0.055 | 1 | |
| | | A7 | | | 0.119 | | 0.290 | | 1 |

Ağırlıklandırılmamış süper matrisin oluşturulmasından sonra ağırlıklandırılmış süper matrisin elde edilmesi için kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapılarak kriterlerinde ağırlıkları elde edilir. Daha sonra kriterlerden elde edilen bu ağırlık değerleri kriterler içindeki ilgili alternatiflerin ağılık değerleri ile çarpılarak ağırlıklandırılmış süper matris oluşturulur. Bu işlemler sonucunda elde edilen ağırlıklandırılmış süper matris Tablo 3.9'da gösterilmiştir.

**Tablo 3.9:** Ağırlıklandırılmış süper matris.

| | | | ETKİLENEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | K1 | | K2 | | K3 | | |
| | | | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 |
| ETKİLEYEN | K1 | A1 | 0.2310 | 0 | 0.1490 | 0 | 0.2258 | 0 | 0.2258 |
| | | A2 | 0 | 0.2310 | 0 | 0 | 0.0323 | 0 | 0.0323 |
| | K2 | A3 | 0.0129 | 0 | 0.0660 | 0 | 0 | 0.1050 | 0.0525 |
| | | A4 | 0.0641 | 0.0770 | 0 | 0.0660 | 0 | 0 | 0.0525 |
| | K3 | A5 | 0 | 0 | 0.1052 | 0 | 0.4172 | 0 | 0 |
| | | A6 | 0.6920 | 0 | 0.5864 | 0.7850 | 0.0350 | 0.6370 | 0 |
| | | A7 | 0 | 0 | 0.0934 | 0 | 0.1847 | 0 | 0.6370 |

Sonrasında ise ağırlıklandırılmış süper matris normalize edilir. Normalize edilen ağırlıklandırılmış süper matris Denklem 3.8'de gösterildiği satırlarının durgun olana kadar büyük dereceden kuvveti alınarak limit süper matrisi elde edilir. Bu işlem sonucunda elde edilen limit süper matrisi Tablo 3.10'da gösterilmiştir. Oluşturulan bu limit süper matrisi ile alternatifler önem ağırlıkları elde edilmiş olup değerlere göre alternatifler kıyaslanabilir.

**Tablo 3.10:** Limit süper matris.

| | | | **ETKİLENEN** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **K1** | | **K2** | | **K3** | | |
| | | | **A1** | **A2** | **A3** | **A4** | **A5** | **A6** | **A7** |
| **ETKİLEYEN** | **K1** | **A1** | 0.0431 | 0.0431 | 0.0431 | 0.0431 | 0.0431 | 0.0431 | 0.0431 |
| | | **A2** | 0.0089 | 0.0089 | 0.0089 | 0.0089 | 0.0089 | 0.0089 | 0.0089 |
| | **K2** | **A3** | 0.1176 | 0.1176 | 0.1176 | 0.1176 | 0.1176 | 0.1176 | 0.1176 |
| | | **A4** | 0.0079 | 0.0079 | 0.0079 | 0.0079 | 0.0079 | 0.0079 | 0.0079 |
| | **K3** | **A5** | 0.0232 | 0.0232 | 0.0232 | 0.0232 | 0.0232 | 0.0232 | 0.0232 |
| | | **A6** | 0.7559 | 0.7559 | 0.7559 | 0.7559 | 0.7559 | 0.7559 | 0.7559 |
| | | **A7** | 0.0434 | 0.0434 | 0.0434 | 0.0434 | 0.0434 | 0.0434 | 0.0434 |

### 3.3. TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği)

TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği) yöntemi Yoon (1980) tarafından geliştirilen ve birçok alanda uygulanan bir ÇÖKV yöntemidir (Yoon, 1980). Bu yöntem daha sonra Yoon (1983) ve Hwang vd. (1993) tarafından iyileştirilen çok ölçütlü bir karar analizi yöntemidir (Yoon, 1987). TOPSIS yöntemi, her bir kriter için en uygun seçeneğin belirlenmesini basit matematiksel hesaplamalar kullanılarak sağlaması ve yüksek oranda güvenilir bir tercih sıralaması ortaya çıkarmasından dolayı sıklıkla tercih edilen bir yöntem olmaktadır.

TOPSIS yönteminin amacı, karar değişkenlerine bağlı olarak en iyi alternatifi seçmek veya alternatifler arasında sıralama yapmaktır. Alternatifler (karar seçenekleri) pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm olarak iki temel noktada değerlendirilir. Çeşitli ölçütlerle değerlendirilen çoklu ölçütlü bir karar verme problemi, pozitif ideal çözümlerin en iyi değerlerin bir bileşimi olduğu ve negatif ideal çözümlerin ise en kötü değerlerin bir

bileşimi olduğu bir yapı içinde ele alınır. Bu bağlamda, seçilen alternatifin pozitif ideal çözüme en yakın konumda olması ve negatif ideal çözüme en uzak konumda bulunmalıdır. (Chen ve Tzeng, 2004; Olson, 2004).

TOPSIS yönteminde, karar seçenekleriyle değerlendirme ölçütlerinin kararlaştırılmasının ardından karar vericiler nxm boyutlu karar matrisini oluştururlar. Karar seçenekleri sayısını n ve değerlendirme kriterleri sayısını ise m ifade eder. A karar matrisinde karar seçenekleri satırlarda ve ölçütler ise sütunlarda gösterilmektedir. Karar matrisinde $a_{ij}$, $i$ seçeneğinin j ölçütüne göre $i$=1,2,...,$n$, $j$=1,2,...,$m$ mevcut performansını göstermektedir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \tag{3.9}$$

Karar matrisinin sütunlarında gösterilen ölçütlerdeki ilgili elemanın, tüm ölçütlere ait değerlerin kareleri toplamının karekökünе (sütun değerlerinin kareleri toplamının) bölünmesiyle standart karar matrisi oluşur. Karar matrisinde bulunan bir elemanının değeri 0 ise standart karar matrisindeki o elemanın da değeri 0 olur. Normalize edilmiş karar matrisi aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Chen ve Hwang, 1992; Shih vd., 2007).

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2}} \tag{3.10}$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \tag{3.11}$$

Kullanılacak kriterlerin önem dereceleri farklı olduğundan, standart karar matrisinin $r_{ij}$ değerleri, her bir değerlendirme kriterine verilen öncelik doğrultusunda ağırlıklandırılır. Önem derecesine göre yapılan ağırlıklandırma işlemiyle TOPSIS yönteminin karar verme aşamasındaki subjektif yönü ortaya koyulmuş olur. V, ağırlıklı standart matrisinin elde edilmesi için R matrisinin elemanları ilgili ağırlık değerleri ile çarpılmalıdır (Chen ve Hwang, 1992).

$$V_{ij} = w_j x r_{ij} \qquad \sum_{i}^{n} w_i = 1 \tag{3.12}$$

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1k} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2K} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ V_{n1} & V_{n2} & \dots & V_{nk} \end{bmatrix} \tag{3.13}$$

İdeal çözümler, aşağıdaki denklemlere göre tespit edilir. Matris değerlendirmesi fayda sağlayan eleman üzerine ise Pozitif ideal çözüm ağırlıklı normalize matrisinin sütunlarının en büyük değerlerini içerirken negatif ideal çözüm, ağırlıklı normalize matrisinin sütunlarının en küçük değerlerini içerir. Öte yandan, yapılan değerlendirme maliyet yani zarar üzerine ise, pozitif ideal çözüm ağırlıklı normalize matrisinin sütunlarının en küçük değerlerini, negatif ideal çözüm ise ağırlıklı normalize matrisinin sütunlarının en büyük değerlerini içerir. Bu ideal çözüm, aşağıdaki denklemlere göre belirlenir.

$$A^+ = \{(max\, V_{ij} \,|j \ni I), (min\, V_{ij} \,|j \ni J)\} \tag{3.14}$$

$$A^- = \{(min\, V_{ij} \,|j \ni I), (max\, V_{ij} \,|j \ni J)\} \tag{3.15}$$

Denklemlerde *I* fayda değerini, *J* ise maliyet değerini vermiştir.

$$A^+ = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_k^+\} \ (maksimum\ değerler) \tag{3.16}$$

$$A^- = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_k^-\} \ (minimum\ değerler) \tag{3.17}$$

Karar seçeneklerinin değerlendirme ölçütlerinin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinden sapmalarının hesaplanmasında Öklid yaklaşımı kullanılır (Şenyiğit ve Livdumlu, 2016). Karar seçeneği sayısı kadar $S_i^+$ ve $S_i^-$ uzaklık değerleri hesaplanır (Ada ve Çakır, 2022).

$$S^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^+)^2} \tag{3.18}$$

$$S^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^-)^2} \tag{3.19}$$

Her karar seçeneğinin, ideal çözüme göreli yakınlık katsayılarını hesaplarken, pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerine olan uzaklıklarından yararlanılır. Hesaplama işlemi, negatif ideal çözüme olan uzaklık değerinin pozitif ideal çözüme olan uzaklık değeri ile negatif ideal çözüme olan uzaklığının toplamına oranıyla yapılır.

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \tag{3.20}$$

Burada $C_i^+$ değeri $0 \leq C_i^+ \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_i^+ = 1$ ilgili karar noktasının ideal çözüme, $C_i^+ = 0$ ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir (Ada ve Çakır, 2022). Alternatiflerin elde edilen $C_i^+$ değerleri, 1'e en yakın değere sahip alternatiften başlayarak azalan sırada büyükten küçüğe doğru sıralanarak en iyi alternatif belirlenir (Doğan ve Önder, 2014). Sonuçta en iyi alternatif, ideal çözüme en yakın olan olarak kabul edilir.

*TOPSIS yöntemi örneği;*

TOPSIS yöntemi örneğinde AHP yöntemi için yapılan örneğin verilerini kullanalım. TOPSIS yönteminde karar matrisinin oluşturulması, normalize matrisin oluşturulması ve önem ağırlıklarının belirlenmesi adımları AHP yöntemi ile aynı olduğu için örnekteki Tablo 3.3, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'deki veriler TOPSIS yöntemi içinde geçerlidir. Normalize matris ve önem ağırlıkları belli olduğundan sırada ağırlıklandırılmış normalize matrisin oluşturulması var. Ağırlıklandırılmış normalize matrisi her hücrenin kendi kriter öenm ağırlığıyla çarpılmasıyla elde edilir. İşlemler sonucu elde edilen ağırlıklandırılmış normalize matris Tablo 3.11'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.11:** Ağırlıklandırılmış normalize matris.

| Kriterler | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 |
|---|---|---|---|---|---|
| **K1** | 0.1848 | 0.1274 | 0.0387 | 0.0704 | 0.0203 |
| **K2** | 0.0924 | 0.0624 | 0.0234 | 0.0464 | 0.0203 |
| **K3** | 0.0378 | 0.0208 | 0.0081 | 0.0112 | 0.0098 |
| **K4** | 0.0630 | 0.0312 | 0.0153 | 0.0240 | 0.0147 |
| **K5** | 0.0462 | 0.0156 | 0.0036 | 0.0080 | 0.0049 |

Ağırlıklandırılmış normalize matris oluşturulduktan sonra elde edilen değerlere göre ideal çözümler belirlenir. İdeal çözümler belirlenirken fayda sağlayan eleman üzerine ise pozitif ideal çözüm ağırlıklandırılmış normalize matrisinin sütunlarının en büyük değerlerini içeren iken; negatif ideal çözüm, ağırlıklandırılmış normalize matrisin sütunlarının en küçük değerlerini içerir. Örnekte ise K1, K2, K4 ve K5 kriterleri fayda sağlayan kriter olarak değerlendirilsin. İdeal çözüm değerleri belirlenirken Denklem 3.14, Denklem 3.15, Denklem 3.16 ve Denklem 3.17'dan yararlanılır. Buna göre pozitif ideal çözüm ($A^+$) ve negatif ideal çözüm ($A^-$) değerleri Tablo 3.12'de verilmiştir.

**Tablo 3.12:** Pozitif ideal çözüm (A+) ve negatif ideal çözüm (A-) değerleri.

| Kriterler | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 |
|---|---|---|---|---|---|
| **A+** | 0.1848 | 0.1274 | 0.0036 | 0.0704 | 0.0203 |
| **A-** | 0.0378 | 0.0156 | 0.0387 | 0.0080 | 0.0049 |

Kriterlerin pozitif ideal çözüm ($A^+$) ve negatif ideal çözüm ($A^-$) değerleri de belirlendikten sonra bu değerlerin pozitif ve negatif ideal çözüm noktalarına olan uzaklıkları hesaplanır. Bu hesaplama için Denklem 3.18 ve Denklem 3.19'dan yararlanılır. Hesaplamalar sonucu elde edilen pozitif ve negatif ideal çözüm noktalarına olan uzaklıkları değerleri Tablo 3.13'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.13:** Pozitif ve negatif ideal çözüm noktalarına olan uzaklıklar

| Kriterler | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 |
|---|---|---|---|---|---|
| S+ | 0.0351 | 0.1172 | 0.1913 | 0.1625 | 0.1893 |
| S- | 0.1955 | 0.0844 | 0.0316 | 0.0422 | 0.0361 |

Kriterlerin pozitif ve negatif ideal çözüm noktalarına olan uzaklık değerlerinin hesaplanmasının ardından son adım olarak kriterlerin ideal çözüme göreli yakınlığı hesaplanır ve 0 ile 1 aralığında elde edilen bu değerler büyükten küçüğe doğru sıralanarak en iyi kriter belirlenir. Negatif ideal çözüme olan uzaklık değerinin pozitif ideal çözüme olan uzaklık değeri ile negatif ideal çözüme olan uzaklığının toplamına oranlanmasıyla ideal çözüme göreli yakınlık değeri hesaplanır ve bu işleminde Denklem 3.20'den yararlanılır. Hesaplamalar sonucu elde edilen ideal çözüme göreli yakınlık değerleri Tablo 3.14'de gösterilmiş olup en iyi kriter K1 olarak belirlenmiştir.

**Tablo 3.14:** İdeal çözüme göreli yakınlık değerleri.

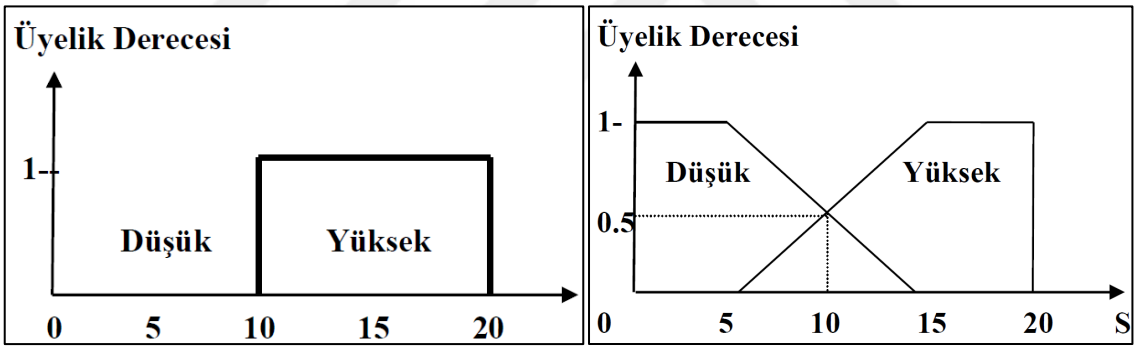
| Kriterler | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 |
|---|---|---|---|---|---|
| C* | 0.8478 | 0.4186 | 0.1417 | 0.2060 | 0.1601 |

## 3.4. BULANIK MANTIK

Profesör Lotfi Asker Zadeh tarafından bulanık mantık kavramı ilk olarak 1965 yılında ortaya atılmıştır (Zadeh, 1965). Bulanık mantık, kontrol sistemini geliştirmek ve karmaşık sistemlerin uygulanmasını kolaylaştırmak için kullanılan güçlü bir tasarım teknolojisidir (Workman, 1996). Bulanık mantığın bilgi eksikliği ve belirsizlik de dâhil olmak üzere tüm belirsizlik türleriyle başa çıkmanın ve performans göstergelerini entegre

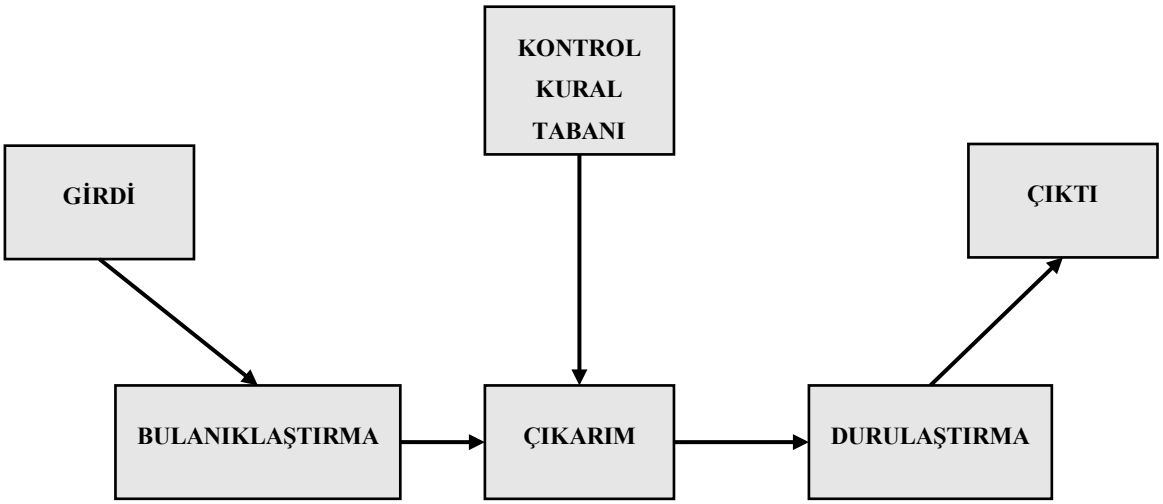
etmek için en iyi yollarından biri olduğu konusunda ortak bir görüş vardır (Ameyaw ve Chan, 2016; Gupta ve Bhave, 2007; Markowski ve Mannan, 2009).

Sistemlerin bazılarında kesinliğe yakın çoklu seçeneklerin artmasıyla sayısal ifadeler gerçekleşen durumları ifade etmekte yetersiz kalabilir. Sistem ne kadar karmaşıksa o kadar az kesin bilgi mevcuttur (Zadeh, 1973). Bulanık mantık, üyelik derecelerine dayalı bilgi temsili için bir dizi matematiksel ilkedir. Bulanık mantık sisteminde doğruluk derecesi klasik mantıktan farklıdır. Klasik mantıkta sadece doğru veya yanlış varken; bulanık mantık aynı ifade içinde doğru ve yanlışın tonlarını verir (Masood, 2017). Sayısal verilerin çözümlenmesinde kesinlik içeren matematiksel yöntemler yeterli olurken, belirsizlik durumlarında sözel verilerin modellenmesi yetersiz kalabilmektedir (Markowski ve Mannan, 2009). Klasik mantıktaki aitlikler var-yok, 0-1, iyi-kötü, evet-hayır gibi terimlerle ifade edilebilir. Bulanık mantıkta 0 ile 1 arasında değişen değerlerde yer alabilir. Yani bulanık mantıkta bir şey ne tam doğru ne de tam yanlış olmaktadır (Kaftan vd., 2013) (Şekil 3.3).




**Şekil 3.3:** Klasik küme ile bulanık küme gösterimi.

Bir bulanık çıkarım sisteminin temel yapısı bulanıklaştırma, bulanık kurallar ile çıkarım ve durulaştırma olarak üç kavramsal bileşenden oluşur (Anand ve Tyagi, 2012). Bulanıklaştırma aşamasında, girdi değerleri bulanık kümelere dönüştürülür. Bu dönüşüm, girdi değerlerinin belirli bulanık kümelerdeki üyelik derecelerinin uygun üyelik fonksiyonları aracılığıyla tanımlanmasıyla gerçekleştirilir. Bulanık çıkarım aşamasında ise, belirlenen üyelik fonksiyonları ve "eğer-o zaman" kuralları kullanılarak bir bulanık kümenin diğerine nasıl bağlı olduğu belirlenir. Durulaştırma aşamasındaysa bulanık çıktılar, bir kesin çıkış kümesine dönüştürülür. Bulanık çıkarım sisteminin yapısı Şekil 3.4'te verilmiştir.




**Şekil 3.4:** Bulanık çıkarım sistem yapısı.

Bulanıklaştırma

Kesin değeri bulanık değere dönüştüren süreç bulanıklaştırma olarak bilinir (Çalmaz ve Avcu, 2022). Bulanıklaştırma sürecinde, girdi değişkenlerinin üyelik işlevlerine ve doğruluk değerlerine eşleme teknikleri aracılığıyla net girdi değerlerinin bulanık değerlere dönüştürülmesi söz konusudur. Giriş ve çıkış için üyelik fonksiyonu ile alt ve üst sınırlar belirlenir. Sonrasında parametreler için gerekli kural tabanı oluşturulur (Wulandari ve Abdullah, 2018). Üyelik fonksiyonları bu dönüşümü sağlamak için kullanılır. Bir üyelik fonksiyonu, sayısal bir değeri kümedeki üyelik seviyesi ile ilişkilendirilir. X evrensel kümesinde tanımlanan A bulanık kümesi için $\mu_A$ üyelik fonksiyonu Denklem 3.21'de gibi ifade edilmektedir.

$$\mu_A = X \rightarrow [0,1] \tag{3.21}$$

Üyelik işlevi, veri giriş noktalarının 0 ile 1 arasında aralıkları olan üyelik değerlerine eşlenmesini gösteren bir eğridir, eleman tamamen kümeye ait olduğunda 1 (bir), ait olmadığında ise 0 değerini alır (Barrett, 1997).

Üyelik Fonksiyonları

Üyelik fonksiyonları, X evrensel kümesinin öğelerine ilişkin değerleri belirli bir aralığa dönüştüren fonksiyonlardır. Üyelik fonksiyonu, bir değerin üyeliğini bildiren

fonksiyonu belirler. Çeşitli üyelik fonksiyonları vardır. Üyelik fonksiyonlarında en çok kullanılanlar üçgen üyelik fonksiyonu, yamuk üyelik fonksiyonu, gauss üyelik fonksiyonu, çan eğrisi üyelik fonksiyonu ve sigmoid üyelik fonksiyonudur (Baykal ve Beyan, 2004; Bai ve Asgarpoor, 2004; Bajpai vd., 2010; Beker ve Lal Kansal, 2022; Petrović vd., 2014).

*Üçgen üyelik fonksiyonu,* {a, b, c} gibi üç parametreyle tanımlanır. En çok kullanılan üyelik fonksiyonlarındandır. Üyelik fonksiyonunun üçgen şekli ise daha kesin dilsel terimler için kullanılır (Ivezić vd., 2008). Üçgen üyelik fonksiyonun gösterimi Şekil 3.5'te gibidir ve Denklem 3.22'te gibi formüle edilir (Şenol, 2010).

$$\mu(x;a,b,c) = \begin{cases} a \le x \le b & ise \quad \dfrac{x-a}{b-a} \\ b \le x \le c & ise \quad \dfrac{c-x}{c-b} \\ x > c \; veya \; x < a & ise \quad 0 \end{cases} \tag{3.22}$$

*Trapez üyelik fonksiyonu*, bulanık kümede normal olarak kabul gören iki değer varsa böyle bir durumda üyelik fonksiyonu trapez üyelik fonksiyon tipinde elde edilecektir. Trapez üyelik fonksiyonu {a, b, c, d} gibi dört parametreyle tanımlanır (Ivezić vd., 2008) (Şekil 3.5).

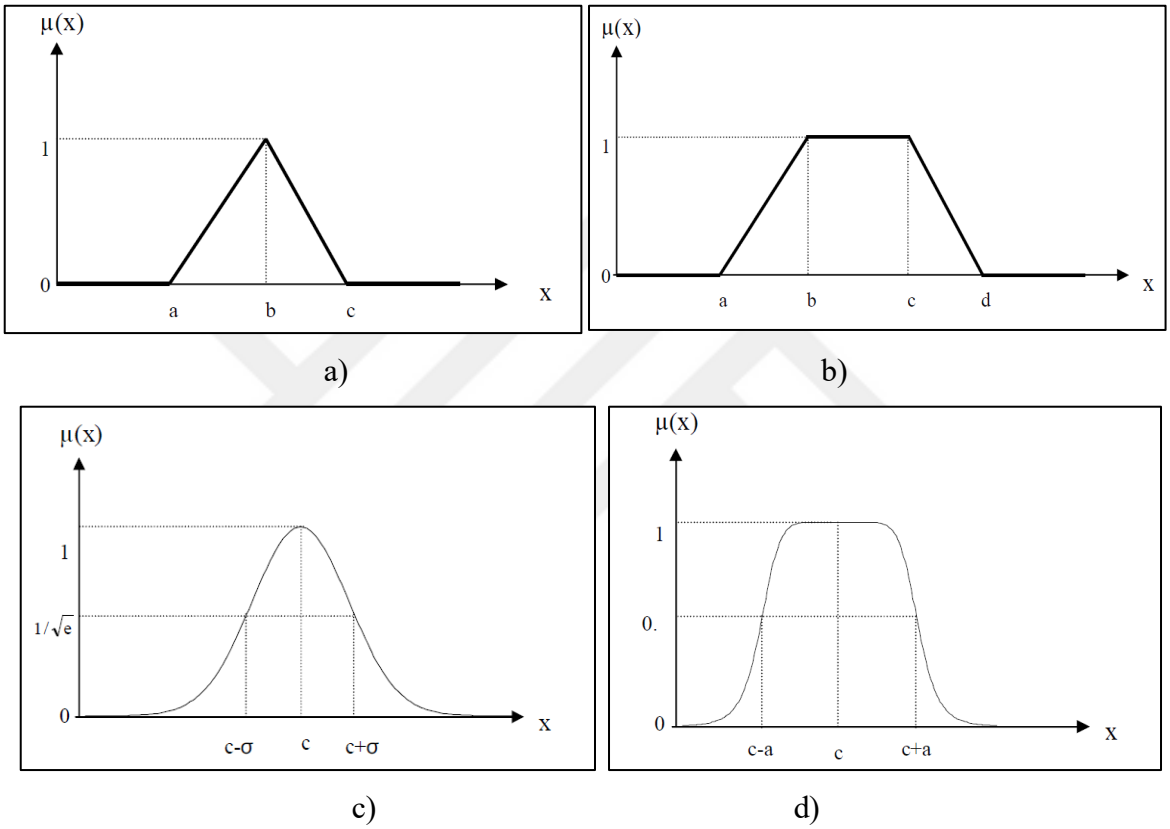
$$\mu(x;a,b,c,d) = \begin{cases} a \le x \le b & ise \quad \dfrac{x-a}{b-c} \\ b \le x \le c & ise \quad 1 \\ c \le x \le d & ise \quad \dfrac{d-x}{d-c} \\ x > d \; veya \; x < a & ise \quad 0 \end{cases} \tag{3.23}$$

*Gauss üyelik fonksiyonu,* {c, σ} gibi iki parametreyle tanımlanır. Gauss üyelik fonksiyonun gösterimi Şekil 3.5'de gibidir ve Denklem 3.24'de gibi formüle edilir (Roos, 2004; Şenol, 2010).

$$\mu(x;c,\sigma) = e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-c}{\sigma})^2} \tag{3.24}$$

*Çan eğrisi üyelik fonksiyonu,* {a, b, c} gibi üç parametreyle tanımlanır. Çan eğrisi üyelik fonksiyonun gösterimi Şekil 3.5'te gibidir ve Denklem 3.25'deki gibi edilir (Şenol, 2010).

$$\mu(x;a,b,c) = \frac{1}{1+\left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \quad , \quad b > 0 \tag{3.25}$$




**Şekil 3.5:** a) Üçgen üyelik fonksiyonun gösterimi b) Yamuk üyelik fonksiyonun gösterimi c) Gauss üyelik fonksiyonun gösterimi d) Çan eğrisi üyelik fonksiyonun gösterimi.

Bulanık Kurallar ile Çıkarım

Üyelik fonksiyonları seçildikten sonra, bir sonraki adım mantıksal değişkeni ve ölçeği belirlemektir (Rahman, 2007). Çıkarım, sezgisel bulanık mantık kurallarının uygulanması ve giriş kümelerinden çıkarılan çıktı bulanık kümelerinin hesaplanmasıdır (Akram vd., 2014; Natick, 2011). Bulanık sistemler, girdileri belirlenen kurallara göre işleyerek çıktıları üretmek için bulanık kuralları kullanır (Şafak, 2009). Bulanık kurallar *"EĞER- O ZAMAN (IF – THEN)"* mantığı şeklinde ifade edilir. Bulanıklaştırma işleminin

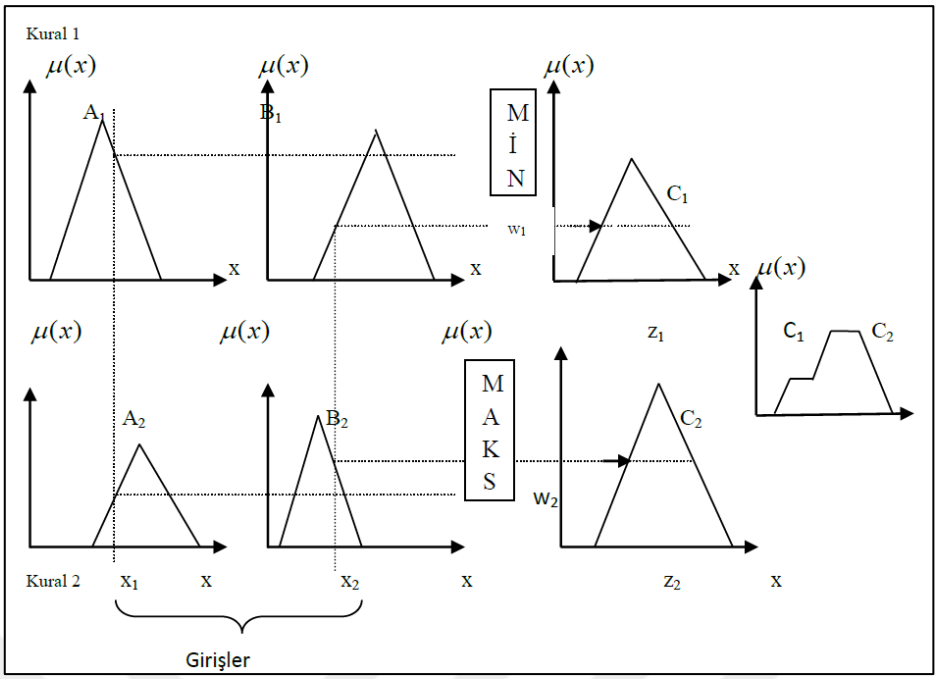
girdisi, bulanık kuralların bileşiminden elde edilen bir bulanık küme iken, ortaya çıkan çıktı, bulanık küme alanındaki bir sayıdır. Yani belirli bir aralıkta bir bulanıklık kümesi verilmişse, çıktı olarak belirli bir net değer alınmalıdır (Wulandari ve Abdullah, 2018).

Bulanık çıkarım, çeşitli çıkarım sistemleriyle modellenmektedir. Çıkarım sistemleri Mamdani yöntemi, Larsen yöntemi, Tsukamoto yöntemi ve Tagaki- Sugeno-Kang yöntemi şeklinde ifade edilmektedir (Akkapatan, 2012; Çatkafa, 2019; Uysal, 2021). Genellikle doğrudan kapalı döngü kontrolörü olarak kullanılan Mamdani (dilsel) çıkarım sistemi ve genellikle denetleyici çıkarım sistemi olarak kullanılan Takagi-Sugeno çıkarım sistemi en yaygın kullanılan bulanık mantık çıkarım sistemleridir (Akram vd., 2014). Bulanık Mantık denetleyicileri, geleneksel oransal-entegre-türevsel denetleyicilerin yapamadığı karmaşık sistemlerdeki problemleri çözme yeteneğine sahiptir (Wulandari ve Abdullah, 2018). Mamdani yönteminin Sugeno yöntemine karşı tercih edilmesinin nedeni, Mamdani'nin uzman bilgisini yakalamak için yaygın olarak kabul görmesi ve uzmanlığı daha sezgisel daha insan benzeri bir biçimde tanımlamaya olanak sağlamasıdır (Abul-Haggag ve Barakat, 2013). Mamdami yönteminin gösterimi Şekil 3.6'da yer almaktadır (Roos, 2004).

$$Eğer\ x_1 = A_1\ ve\ x_2 = B_1\ ise\ O\ Zaman\ z_1 = C_1 \tag{3.26}$$

$$Eğer\ x_1 = A_2\ veya\ x_2 = B_2\ ise\ O\ Zaman\ z_2 = C_2 \tag{3.27}$$

Bu bağlamda, $x_1$ ve $x_2$ giriş değişkenlerini temsil ederken, z çıktı değişkenini ifade etmektedir. A1, B1, A2 ve B2 üyelik fonksiyonlarını tanımlarken, C ise her bir kuralın sonucunda elde edilen bulanık sonuç kümesidir. Girdi değerlerinin etkilediği kurallara bağlı olarak, üyelik değerleri hesaplanır. Ardından, hesaplanan değerler, ilgili kurallarda yer alan ve/veya mantıksal bağlaçlara göre *maksimum* ya da *minimum* operatörüne tabi tutulur.




**Şekil 3.6:** Mamdami çıkarım yöntemi gösterimi (Baykal ve Beyan, 2004; Roos, 2004).

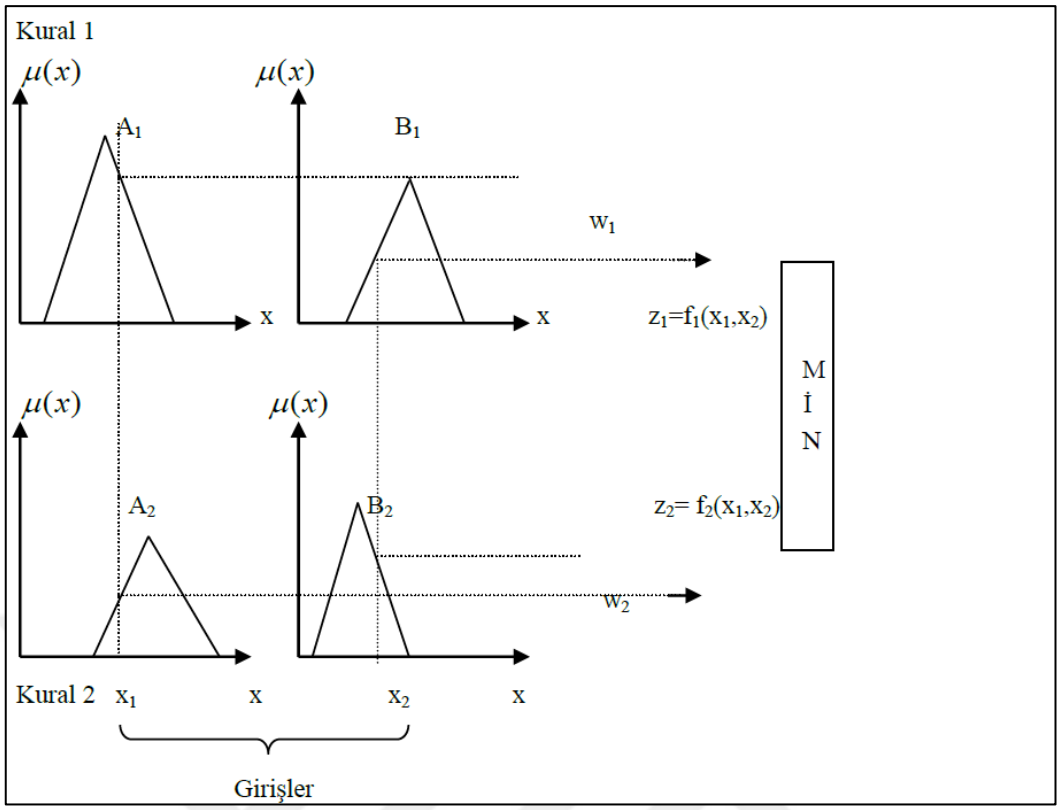
Takagi-Sugeno yönteminin işlem adımları, Mamdani çıkarım yöntemi ile benzerlik göstermektedir. Sugeno yöntemi ile Mamdani yöntemi arasındaki temel fark, Mamdani çıkarımının bulanık değerlerle çıkış sağlarken, Sugeno çıkarımının çıkış değerini bir fonksiyon şeklinde sunmasıdır. Sugeno'da, girişler bulanık kümeler biçiminde olabilirken, çıkışın bir fonksiyon şeklinde (genellikle polinom olarak) tanımlanmış olması gerekir. (Roos, 2004) (Şekil 3.7'de).

$$Eğer\ x_1 = A_1\ ve\ x_2 = B_1\ ise\ O\ Zaman\ z_1 = f(x_1, x_2) \tag{3.28}$$

$$Eğer\ x_1 = A_2\ ve\ x_2 = B_2\ ise\ O\ Zaman\ z_2 = f(x_1, x_2) \tag{3.29}$$

$$z = \frac{w_1 z_1 + w_2 z_2}{z_1 + z_2} \tag{3.30}$$

Burada A ve B giriş bulanık kümeleri, $z = f(x, y)$ ise x ve y'ye bağlı keskin çıkış veren bir fonksiyondur. Her bir kuralın keskin çıkışa sahip olduğu göz önüne alındığında sonuç, tüm kuralların keskin çıkışlarının ağırlıklı ortalaması alınarak belirlenir.




**Şekil 3.7:** Sugeno çıkarım yöntemi gösterimi (Baykal ve Beyan, 2004; Roos, 2004).

Durulaştırma

Durulaştırma, bulanıklaştırmanın tersi bir süreçtir. Bulanıklaştırılmış çıktının, bulanık küme çıktısını en iyi temsil eden net değere dönüştürülmesi işlemi olarak tanımlanır. Bulanık çıktının anlamını ve üyelik değerlerini tercüme etmek ile farklı sonuçlar arasındaki ilişkileri çözmek için bu sürece ihtiyaç vardır. Durulaştırma çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilir bunlar: ağırlık merkezi, ortalama maksimum üyelik, maksimumun üyelik, ağırlıklı ortalama, ilk maksimum üyelik ve son maksimum üyelik şeklindedir. Bunlar arasında, durulaştırma işlemi için en yaygın olarak uygulanan ve kabul edilebilir yöntem olan ağırlık merkezi yöntemidir (Beker ve Lal Kansal, 2022).

Ağırlık merkezi yöntemi, çıktı şeklinin ağırlık merkezinin hesaplanmasına dayanmaktadır. Ağırlık merkezi yöntemi Şekil 3.8'de gösterildiği gibi tanımlanabilir ve Denklem 3.31'de gibi hesaplanabilir (Çelen, 2022).

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i \mu_c(y_i)}{\sum_{i=1}^{n} \mu_c(y_i)} \tag{3.31}$$

Maksimum üyelik yöntemi, çıktı kümesinin maksimum değerli üyesinin seçilmesine dayanmaktadır (Şekil 3.8).

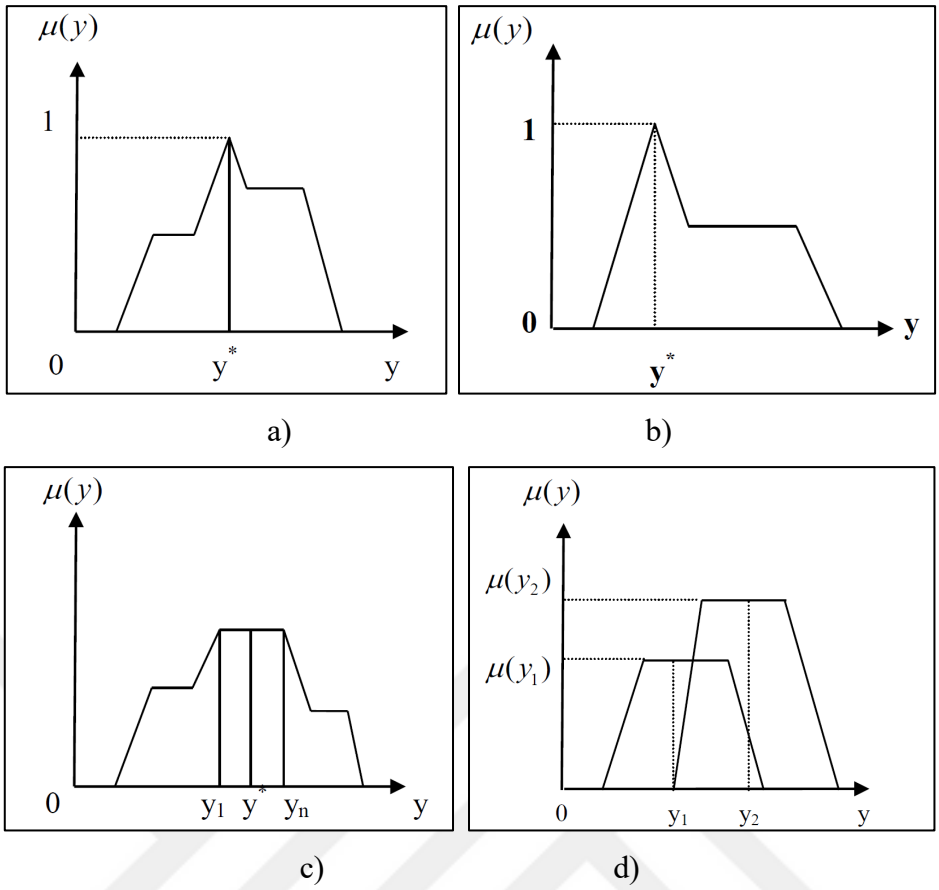
$$\mu_c(y^*) \geq \mu_c(y_i) \tag{3.32}$$

Ortalama maksimum üyelik yöntemi, maksimum üyelik ilkesi yöntemine oldukça benzerdir. Bu yöntemde maksimum üyelik derecesi tek bir noktada yoğunlaşmaz, aksine birden fazla maksimum üyeliğe sahip elemanlar bulunur (Şekil 3.8) (Akkapatan, 2012; Çelen, 2022).

$$y^* = \frac{y_1 + y_2 + \cdots + y_n}{n} \tag{3.33}$$

Ağırlıklı ortalama yöntemi, üyelik fonksiyonlarının simetrik olması durumunda hesaplanabilir (Şekil 3.8) (Çelen, 2022; Şen, 2001).

$$y^* = \frac{y_1.\mu(y_1) + y_2.\mu(y_2)}{\mu(y_1) + \mu(y_2)} \tag{3.34}$$




**Şekil 3.8:** a) Ağırlık merkezi yönteminin gösterimi b)Maksimum üyelik yönteminin gösterimi c) Ortalama maksimum üyelik yöntemi gösterimi d) Ağırlıklı ortalama yöntemi gösterimi (Akkapatan, 2012).

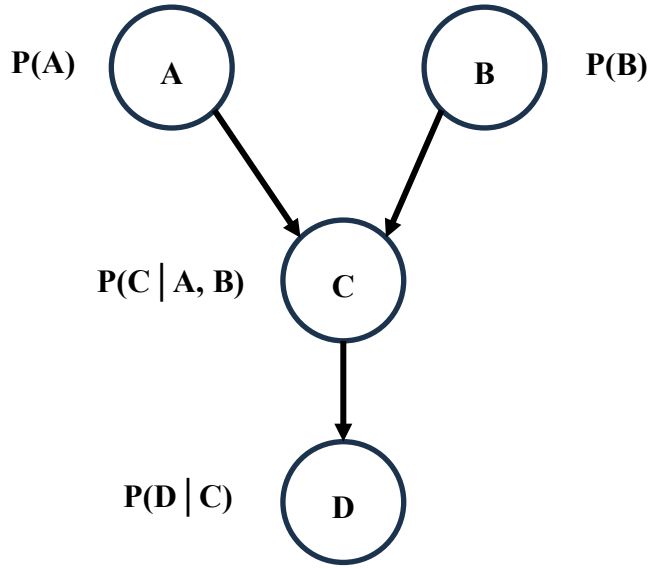
## 3.5. BAYES TEOREMİ

İngiliz matematikçisi Thomas Bayes tarafından koşullu olasılığı belirlemek için kullanılan matematiksel bir yaklaşımdır (McCabe vd., 1998). Bayes Teoremi karmaşık problemler için güçlü bir modelleme aracıdır. Bu teorem, yeni bilgi veya kanıtlara dayanarak olaylar hakkındaki inançlarımızı veya önceki olasılıklarımızı gözden geçirmek için matematiksel bir düzeltme yolu sağlar. Kısmi kanıtlarla bile (yani değişkenlerin yalnızca bir alt kümesi bilindiğinde) çıkarım yapabilir (Dogan ve Aydin, 2011). Bilinmeyen bilgileri hesaplamak için çok sayıda ilgili faktörü aynı anda tanımlayabilir ve aralarındaki ilişkiyi etkili bir şekilde ifade edebilir. Çok sayıda belirsizlik içeren problemlerin çözümünde birçok türde ön bilgiyi ve uzman bilgisini öğrenmeye dahil etmek için bir mekanizma sağlar (Antal vd., 2004; Wang vd., 2016). Bilgi biriktikçe, değişkenin gerçek değeri hakkındaki bilgi genellikle artar, yani değerin belirsizliği azalır ve olasılık dağılımı daralır (Uusitalo, 2007).

Bayes Teoremi, değişkenler arasındaki koşullu bağımlılık ilişkilerini yansıtması, tek bir bağımsız değişkene bağımlı kalmaması, gözlemlere dayalı olarak ağın ve çıkarımların güncellenebilir olması ve tüm bu çıkarımların kullanıcıya görsel bir dil ile aktarılabilmesi açısından kritik bir grafiksel modeldir (Çinicioğlu vd., 2016).

Bayes Teoremi, bilgi tabanlarını nedensel ilişkilerine göre çarpanlara ayrılmış ortak olasılık dağılımları halinde yapılandırmak için esnek ve güçlü bir tekniktir. Bu çarpanlara ayrılmış nedensel yapılar, tanısal ve öngörüsel kanıt sentezini kolaylaştıran yönlendirilmiş döngüsüz grafiklerdir. Böylece gerçek dünyadaki belirsizlik sorunlarını etkili bir şekilde ele alabilir (Pearl ve Russell, 2003; Wang vd., 2016). Bayes Teoremi, olasılıksal ilişkilerin yanı sıra ilgililiklerin yapısını kodlamak için bir bilgi tabanı sağlar. Bu nedenle Bayes Teoremi karar verme ve analiz etme süreçlerinde güçlü bir araç olabilir (Tang ve McCabe, 2007; Uusitalo, 2007). Bayes Teoremi çeşitli mühendislik analizi problemlerinde uygulanmış ve kesin olmayan, belirsiz veya eksik verilerle uğraşırken etkinliğini kanıtlamıştır (Kabir vd., 2015; Leu ve Bui, 2016; Tang ve McCabe, 2007).

Bayes Teoremi, çeşitli faktörler veya düğümler arasındaki olası neden-sonuç ilişkilerini düğümler arasındaki ilişkili koşullu olasılıkları tanımlayan yönlendirilmiş döngüsüz bir grafiktir. Bayes Teoremi grafiksel ve sayısal olarak iki temel bölümden oluşur. Grafiksel bölüm, değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkilerini ifade eden yönlendirilmiş döngüsüz grafik ile gösterilir ve ağın yapısını oluşturur. Koşullu olasılıklar Bayes Teoreminin kritik bir parçasıdır ve ön bilgilere dayalı olarak düğümler arasındaki bir bağlantının olasılığını tanımlar (Hall ve Le, 2017). Bayes Teoremi'nin grafiksel yapısı düğümler ve yaylardan oluşur. Düğümler değişkenleri, yaylar ise olaylar arasındaki doğrudan nedensel ilişkiyi temsil eder. Bir Bayes Teoremi'nin yapısı yönlendirilmiş döngüsüz bir grafiktir. Şekil 3.9'da A, B, C ve D değişkenlerinden oluşan örnek bir Bayes Teoremi'nin grafiksel gösterimi ve Denklem 3.35'de matematiksel gösterimi yapılmaktadır. Burada A ve B değişkeni C değişkenin ebeveyni, C değişkeni ise D değişkeninin ebeveynidir. D değişkeni C değişkeninin çocuğu olup ve C değişkeni ise A ve B değişkeninin çocuğudur. Bir düğümün ebeveyn düğümü var ise koşullu olasılık dağılımına sahip olur ancak aksi bir durum olarak düğümün ebeveyn düğümü yoksa, marjinal olasılık dağılımına sahip olur (Kjaerulff ve Madsen, 2007). Çocuk düğümler tarafından temsil edilen olayların olasılıkları yalnızca ebeveyn düğümleri tarafından temsil edilen olaylara bağlıdır. Bayes Teoremine ait değişkenler sınırsız sayıda çocuk ve ebeveyn düğümüne sahip olabilmektedir.




**Şekil 3.9:** Bayes teoremi gösterimi.

$$P(D|C) = \frac{P(D|C)\,P(C)}{P(D)} \tag{3.35}$$

Burada; P(D | C); C olayı gerçekleştiği durumda D olayının meydana gelme olasılığıdır. P(C | D); D olayı gerçekleştiği durumda C olayının meydana gelme olasılığıdır. P(D) ve P(C); D ve C olaylarının başlangıç olasılığını ifade eder. Bayes Teoreminde birleşik olasılık dağılımını elde etmek için ağda bulunan değişkenlerin koşullu olasılık dağılımları çarpılır. Ağda yer alan değişken sayısını *n* ile göstermek üzere, bu durum Denklem 3.36'da gösterilmiştir.

$$P(A, B, \dots) = \prod_{i=1}^{n} P(A \mid Ebeveyn(A)) \tag{3.36}$$

Bayes Teoreminin sayısal bölümü ise koşullu olasılık tablolarından oluşur. Bayes Teoreminde her düğümün bir olasılık dağılımı vardır. Bu düğümlerin parametreleri koşullu olasılık tablolarında kodlanır. Her düğümün, ebeveynlerine bağlı olarak o düğümün koşullu olasılık dağılımını tanımlayan ilişkili bir koşullu olasılık tablosu vardır. Koşullu olasılık tabloları Bayes olasılık teorisine dayalı olarak düğümler arasındaki bağlantının gücünü ölçer ve bir Bayes Teoremi'nin doğru bir şekilde oluşturulmasında anahtarı temsil eder (Bromley, 2005; Pearl, 1988). Bayes Teoremi modeli iki genel durum üzerine inşa edilebilir: alan

uzmanlarından alınan bilgiler veya geçmiş verilerin mevcut bir algoritma vesilesi ile değişkenlerin koşullu olasılık dağılımlarının öğrenilmesi. İlk yöntem uzmanlar tarafından titiz ve kapsamlı bir araştırma yapılmasını gerektirir ve öznel değerlendirmelerden kaynaklanan hatalara açıktır ve değişken sayısının çok olduğu durumlarda ilişki kurulması zorlaşmaktadır. İkinci yaklaşımın etkili olabilmesi için genellikle büyük miktarda veri gerekir (Chickering vd., 2004).

### 3.5.1. Naive Bayes

Naive Bayes, Bayes Teoremine dayanan olasılıklı bir sınıflandırma algoritmasıdır. Bu algoritma bağımsız varsayımlara dayanır. Basit tasarımına ve görünüşte basitleştirilmiş varsayımlara rağmen Naive Bayes, gerçek dünya koşullarında beklenenden daha iyi sonuçlar sağlar. Değişkenler arasında önem sıralaması yapmadan bütün değişkenlerin aynı değerde öneme sahip olduğunu varsayar. Bu yöntemle sınıflandırmada en yüksek olasılığa sahip gözlemlerin oluşturduğu sınıf, hedef sınıf olarak tespit edilir (Alzubaidi, 2021; Lewis, 1998).

Naive Bayes, P(y | X), y sınıf değişkenidir ve $X_n$ boyutunda bağımlı bir özellik vektörüdür. Bu nedenle, bir dizi bağımsız özellik için Naive Bayes denklemini Denklem 3.37'deki gibi yeniden yazabiliriz: X = ($x_1$, $x_2$, $x_3$, ……, $x_n$)

$$P(y|x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = \frac{P(x_1|y)P(x_2|y) \dots P(x_n|y)P(y)}{P(x_1)P(x_2) \dots P(x_n)} \tag{3.37}$$

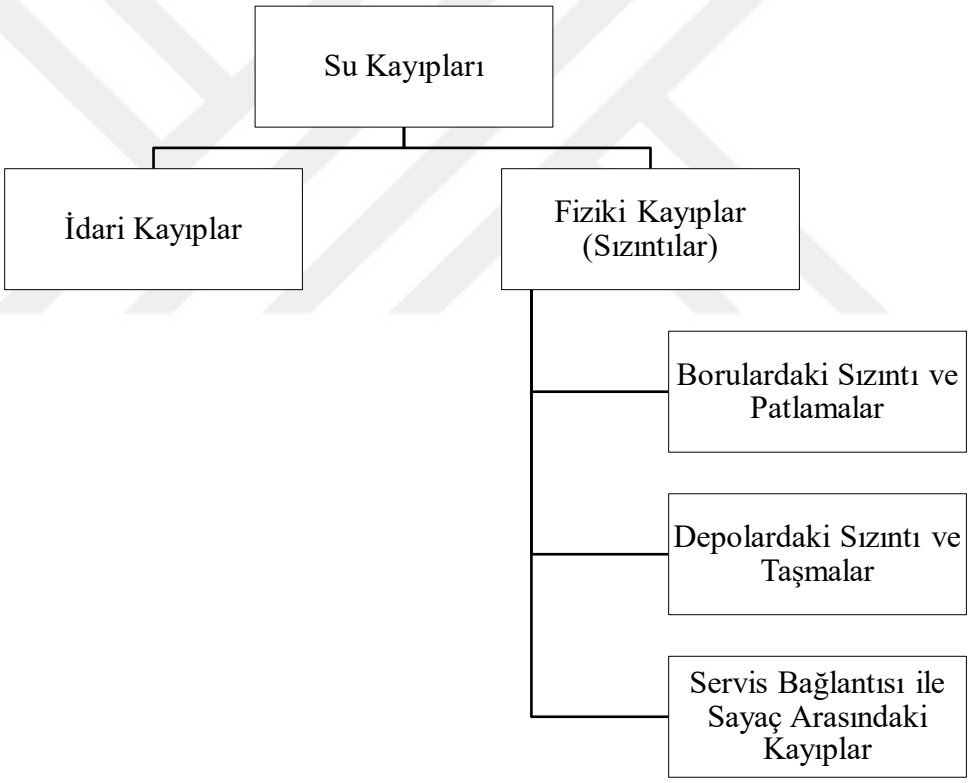
Sınıflandırıcı model oluşturulması için, *y* sınıf değişkeninin tüm olası değerleri için belirli bir girdi kümesinin olasılığını bulunmalı ve çıktıyı maksimum olasılıkla olarak almalıyız. Bu durum Denklem 3.38'de ifade edilir; denklemde P(*y*) sınıf olasılığı ve P($x_i$ | *y*) koşullu olasılık olarak adlandırılır (Dey ve Mukhopadhyay, 2019).

$$y = argmax_y \, P(y) \prod_{i=1}^{n} P(x_i \mid y) \tag{3.38}$$

# 4. FİZİKİ KAYIP YÖNETİMİ BİLEŞENLERİ

## 4.1. Su Kayıpları

Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, su kayıplarının azaltılması ve kontrol edilmesi ile mümkündür. İçmesuyu dağıtım sistemlerinde çeşitli faktörlere bağlı olarak arızalar ve sızıntılar meydana gelmektedir. Arıza oranının veya sızıntı hacminin artmasına bağlı olarak, işletme maliyeti artmakta, abone şikâyetlerinde artış gözlenmekte, şebeke işletmesi zorlaşmaktadır. Bu çalışmada su kayıplarının en önemli bileşeni olan fiziki kayıplara ait bileşenlerin belirlenmesi ve sızıntı yönetimindeki potansiyellerine göre öncelik sıralanmasının ve risklerinin değerlendirilmesi hedeflenmektedir.




**Şekil 4.1:** Su kayıpları ve bileşenleri.

Su kayıpları, suyun üretildiği veya arıtıldığı noktadan nihai tüketiciye ulaşana kadar olan süreçte çeşitli nedenlerle kaybolmasıdır. İçmesuyu dağıtım sistemlerindeki toplam su kayıpları, fiziki kayıplar ve idari kayıplar olmak üzere ikiye alt bileşenden oluşmaktadır (Farley vd., 2008; Lambert, 2002; Lambert vd., 1999). Bu kayıplar, su yönetimi ve dağıtım

sistemlerinde önemli bir sorun teşkil eder ve hem ekonomik hem de çevresel etkileri bulunmaktadır.

*İdari kayıplar*, suyun dağıtım sürecinde doğru şekilde faturalandırılamaması, tüketildiği halde ücret ödenmemesi, yasal tüketimlerin eksik ölçülmesi veya ölçülememesi nedeniyle meydana gelen kayıplardır. İdari kayıpları hatalı ölçüm, kaçak kullanım, faturalama hataları ve veri işleme hataları şeklinde sınıflandırılabilir (Farley ve Trow, 2003).

*Fiziki kayıplar*, sisteme verilen ancak arızalar ve sızıntılar nedeniyle abonelere iletilemeyen suyu ifade eder. Bir dağıtım sisteminde isale hattı, depolar, bağlantı elemanları, dağıtım sistemi ana hattı, servis bağlantıları gibi sistemin her aşamasında meydana gelen sızıntıları, patlamaları ve aşınmaları kapsamaktadır (Alegre vd., 2000; Alegre vd., 2006). Sızıntılar, su kayıplarının önemli kısmını oluşturur ve su yönetimi ile sürdürülebilirlik açısından önemli bir sorundur. Bunun için dikkatle izlenmesi ve yönetilmesi gerekmektedir.

- *Borulardaki sızıntı ve patlamalar*, sistemde ihbar edilmiş veya edilmemiş patlamalar, boru ve teçhizattaki belirsiz sızıntılar, boru çatlakları, vanalardan gelen kaçaklar sonucu kaybolan su miktarını ifade eder. Bu sızıntılar, boruların yaşlanması, aşırı basınç, korozyon veya mekanik hasar gibi nedenlerle oluşabilir (Mutikanga vd., 2013).
- *Depolardaki sızıntı ve taşmalar*, depolarda meydana gelen her türlü taşma, sızıntı ve patlama yoluyla kaybolan su miktarını ifade eder. Bu kayıplar, depoların yapısal hasarları, contaların eskimesi veya yetersiz bakım nedeniyle oluşabilir (Kingdom vd., 2006).
- *Servis bağlantısı ile sayaç arasındaki kayıplar,* abone bağlantıları ile sayaç arasında bağlantı parçaları ve armatürlerdeki sızıntılar, suyun taşındığı boru sistemlerinde meydana gelen her türlü sızıntı ve patlama yoluyla kaybolan su miktarını ifade eder. Bu kaçaklar, bağlantı noktalarındaki gevşeme, sızdırmazlık malzemelerinin yıpranması veya hatalı montaj nedeniyle oluşabilir (Puust vd., 2010). Küçük bir durum gibi görünse de geniş alana yayıldığı için su kayıpları ve arıza sayısı miktarına bakıldığı zaman önemli bir yer kaplamaktadır.

Fiziki kayıpların şebeke işletme, ekonomik ve teknik olumsuz etkileri ortaya çıkmaktadır;

- Sık su kesintileri sonucu abone memnuniyetsizliğinin artması
- Arıza sonucu üst ve altyapının zarar görmesi
- Arıza sonucu sisteme hava girişi ile şebeke ve abone envanterlerinin zarar görmesi
- Arıza oluşumu nedeniyle bakım onarım maliyetlerinin artması
- Sızıntı hacminin artmasına bağlı olarak mevcut kaynakların azalarak yetersiz kalması ve yeni kaynak arayışlarının ortaya çıkması
- Kayıp edilen suyun temini için enerji maliyetinin artması
- Sızıntılar nedeniyle basıncın düşmesi
- Üretilen suyun kullanıcıya temin edilemediği için su üretim maliyetinin artması şeklinde değerlendirilebilir.

Görüldüğü gibi fiziki kayıplar, dağıtım sistemlerinde su kaynağı verimsizliğine, işletme maliyetinin artmasına, hizmet kalitesinin azalmasına, abone şikayetlerinin artmasına neden olmaktadır.

### 4.2. Fiziki Kayıp Yönetimi Bileşenlerinin Belirlenmesi

Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin belirlenmesi için literatür taramaları, uzman görüşleri ve saha tecrübesi esas alınmıştır. Fiziki kayıp yönetimi kapsamında izole bölgelerin oluşturulması, minimum gece debisi analizi, basınç yönetimi gibi en temel yöntemlerin uygulandığı görülmektedir. Bu çalışmada sızıntıların tespit edilmesi, azaltılması, önlenmesi, izlenmesi ve yönetilmesi faaliyetlerini kapsayan 75 adet bileşen belirlenmiştir. Bileşenlerin belirlenmesinde literatür taramaları (Bozkurt vd., 2022; Fırat vd., 2023; Fırat vd., 2021; Kılıç vd., 2023), Bozkurt (2022) ve Kılıç (2023) doktora tezi çalışmaları ve uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Belirlenen bileşenler İdari Yapı ve Ekip Yönetimi, Performans ve Verimlilik İzleme, Sızıntı Tespit ve Önleme, Veri Ölçümü ve Bilgi Yönetim Sistemleri olarak beş başlık altında ayrılmıştır. Çalışmada kullanılan fiziki kayıp yönetimi bileşenleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

**Tablo 4.1:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri.

| **İdari Yapı ve Ekip Yönetimi** | **Veri Ölçüm** | **Bilgi Yönetim Sistemleri** | **Sızıntı Tespit ve Önleme** | **Performans ve Verimlilik İzleme** |
|---|---|---|---|---|
| **A** | **B** | **C** | **D** | **E** |
| Kurum Üst Yönetiminin Su Kayıp Azaltma Faaliyetlerine Bakış Açısı | Üretilen Su Hacmi | SCADA Su Üretim (Su Kaynakları, İsale, Giriş Debi) | Sızıntıların Sahada Belirlenmesi İçin Strateji Geliştirme | CBS Veri Güncelleme ve Doğrulama Faaliyetlerinin İzlenmesi |
| Kurumda Su Kayıp Yönetim Organizasyonu | Giriş Debisi | SCADA Suyun Dağıtılması ve Hidrolik Bileşenlerin İzlenmesi | Aktif Kaçak Kontrolü Programı, Planı ve Stratejisi | İzole Bölge Uygulamaları İçin Performans Analizi ve İzlenmesi |
| Su Kayıp Yönetiminde İlgili Birimler Arası Koordinasyon | Şebeke Uzunluğu | CBS Tabanlı Dağıtım Sistemi | İzole Bölge Oluşturma Faaliyetleri | Su Üretim Toplam Maliyetinin Analizi ve İzlenmesi |
| Kurumun ve Personelin Su Kayıp Yönetimi Farkındalığı ve Deneyimi | Servis Bağlantı Sayısı | Çağrı Merkezi Sistemi | Minimum Gece Debisi Analizi | Şebeke Birim Arıza Bakım-Onarım Maliyetinin Analizi ve İzlenmesi |
| Su Kayıp Yönetimi İçin Birim ve Ekip Yeterliliği | Yasal Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanımlar | Performans İzleme ve Bilgi Sistemlerinin Entegrasyonu | Sızıntı/Arıza Onarım Hızı ve Süresi Analizi ve İyileştirilmesi | Şebeke İşletme Verimliliğinin Analiz Edilmesi ve İzlenmesi |
| Su Kayıp Yönetiminde Uygulanan Yöntemlerin ve Süreçlerin Raporlanması ve Bilgilendirilmesi | Ortalama Basınç | Arıza Yönetim Sistemi (CBS ile Entegre) | Arıza Ev Sızıntı Üzerinde Etkili Faktörlerin Analizi | Fiziki Kayıp Performans Göstergelerinin İzlenmesi |
| Kurumun Su Kayıp Yönetimi Açısından Teknik (Ekipman) Altyapısı | Dağıtım Sistemindeki (Şebeke ve Servis Bağlantıları) Sızıntılar | SCADA Depo İzleme Sistemi ve Veri Tabanı | Basınç-Debi-Sızıntı-Arıza Analizi | Basınç Yönetimi Uygulamalarının İzlenmesi |
| Kurumun Su Kayıp Yönetimi Açısından Ekonomik ve Bütçe Durumu | Depolarda Meydana Gelen Sızıntılar | Şebeke Bakım ve Onarım Yönetim Sistemi (CBS ile Entegre) | Depolarda Sızıntı Yönetimi ve Önlenmesi | Gece Debisi Uygulamasının İzlenmesi |
| Su Kayıp Yönetimi Personelinin Teknik Eğitimi-Kapasite Geliştirme Faaliyetleri | Bilinen/Kontrol Edilen Vana Sayısı | CBS Tabanlı Vana Arıza Veri Tabanı, Bakım-Onarım ve Kontrol Programı | Basınç Yönetimi Stratejisi | Sızıntı Tespit (Ekip ve Denetim) Uygulamalarının İzlenmesi |
| Su Kayıp Bileşenlerinin Yönetilmesi İçin Yol Haritası | Sızıntı Tespit ve Onarım Teknik Kapasite (Ekip, Cihaz) | CBS Tabanlı İzole Bölge Oluşturma Veri Tabanı | Servis Bağlantı Arıza/Sızıntı Önleme Stratejisi | Fiziki Kayıpların Maliyetinin Analizi ve İzlenmesi |

**Tablo 4.1:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri (devam).

| İdari Yapı ve Ekip Yönetimi | Veri Ölçüm | Bilgi Yönetim Sistemleri | Sızıntı Tespit ve Önleme | Performans ve Verimlilik İzleme |
|---|---|---|---|---|
| **A** | **B** | **C** | **D** | **E** |
| Su Kayıp Yönetimi için Yıllık Program-Plan Oluşturma-Bütçeleme Politikası | Şebeke Hidrolik Modeli | Veri Tabanlarının Birbiri ile Entegrasyonu (CBS-SCADA-ABYS-Arıza) | Hidrolik Model Tabanlı Sızıntı Tespit-İzleme | Aktif Kaçak Kontrolü Maliyetinin Analizi ve İzlenmesi |
| Su Kayıp Yönetimi Programlarının Teknik-Ekonomik Denetim Politikası | Su Dengesi Hesaplamaları İçin Fiziki Kayıp Bileşenlerinin Sistematik Ölçülmesi ve İzlenmesi | Minimum Gece Debisine Göre Sızıntı Tahmini ve Su Dengesinin Oluşturulması (Aşağıdan Yukarı Yöntem) | Basınç Sensörü-Gürültü Kaydedici ve Korelatör ile Sızıntı İzleme | ILI ve UARL Göstergelerinin Analizi ve İzlenmesi |
| Su Kayıp Yönetimi Açısından Mevcut Durum Analizi /Değerlendirme | Su Talep Modeli ve Risk Analizi | Arıza ve Sızıntı Kayıtları ile Sızıntı Bileşenlerinin Tahmini (Bileşen Analizi) | Arıza Oranı Değişiminin İzlenmesi ve Faydalı Ömür Analizi | Basınç Yönetimi Maliyeti ve Faydasının Analizi ve İzlenmesi |
| Su Kayıp Yönetimi Stratejik Planının Oluşturulması | Toplam Servis Bağlantı Uzunluğu | CBS Tabanlı Su Dengesi Analizi | Sistemin Gerçek Zamanlı İzlenmesi | Fiziki Kayıplar İçin En Uygun Kayıp Oranı Seviyesinin Belirlenmesi |
| Su ve Enerji Verimliliği Programının Oluşturulması ve İzlenmesi Politikası | Rapor Edilmeyen (Şebeke/Servis Bağlantı) Sızıntı (Arıza) Sayısı | CBS Tabanlı Entegre Su Kayıp Yönetimi Modeli | Ekonomik Kaçak Seviyesi (ELL) Tanımlama | Su Kayıpları Önleme-Kontrol-İzleme-Analiz Faaliyetlerinin Verimlilik ve Ekonomik Açıdan Analizi ve İzlenmesi |

### İdari Yapı ve Ekip Yönetimi

İdari yapı ve ekip yönetimi, su kayıp yönetimi faaliyetlerinin planlanması ve sahada uygulanması için personel ve kurum deneyimi oldukça önemlidir. İdari yapı, stratejik planlama, politika oluşturma ve kaynak tahsisi gibi konularda liderlik ederken; ekip yönetimi, sahada operasyonel etkinliği sağlar. Her iki unsurun uyumlu ve etkin çalışması, su kayıplarının minimize edilmesi ve su kaynaklarının verimli kullanılması açısından önemlidir. İdari yapı ve ekip yönetimi, su kayıplarının azaltılmasında etkin yönetim ve koordinasyonu sağlar. İyi yapılandırılmış bir idari yapı, etkili bir ekip yönetimi ve süreçlerin yapılandırılması, su kaybı yönetimi süreçlerinin sorunsuz ve verimli bir şekilde işlemesini mümkün kılar (Farley ve Trow, 2003; Kingdom vd., 2006). Bu ana başlık altında, personel

ve ekip yeterliliği, raporlama, yıllık planlama ve denetim stratejileri gibi kritik bileşenler dikkate alınmıştır. Bu bileşenlerin mevcut durumu su kayıp yönetimi faaliyetlerinin planlanması, uygulanması, raporlanması, yol haritasının oluşturulması ve denetim programının oluşturulmasına önemli katkı sunmaktadır.

*Kurum üst yönetiminin su kayıp azaltma faaliyetlerine bakış açısı*, kurumun bu alandaki başarı düzeyini belirleyen kritik bir faktördür. Üst yönetimin konuya olan ilgisi ve desteği, gerekli kaynakların tahsis edilmesi ve politikaların uygulanmasında önemli rol oynar. Yönetimin proaktif bir yaklaşımı, uzun vadeli stratejik planların oluşturulmasını ve sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesini sağlar (Farley ve Trow, 2003).

*Kurumda su kayıp yönetim organizasyonu*, kurumsal yapı içinde su kaybının yönetilmesine yönelik özel birimler ve görev tanımlarının oluşturulmasını gerektirir. Bu organizasyon, su kayıplarının tespit edilmesi, izlenmesi ve kontrol altına alınması süreçlerinde sistematik bir yaklaşım sunar. İyi yapılandırılmış bir organizasyon, sorumlulukların net bir şekilde tanımlandığı ve süreçlerin belirli protokoller doğrultusunda yürütüldüğü bir yapıyı ifade eder.

*Su kayıp yönetiminde ilgili birimler arası koordinasyon*, bilginin ve kaynakların etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar. Bu iş birliği, teknik birimler, idari birimler ve saha ekipleri arasında bilgi akışını ve ortak çözümler üretilmesini teşvik eder. Koordinasyon eksikliği, problemlerin çözümünde gecikmelere ve kaynakların verimsiz kullanımına yol açabilir.

*Kurumun ve personelin su kayıp yönetimi farkındalığı ve deneyimi*, su kayıplarının azaltılmasında önemli bir rol oynar. Personelin eğitim düzeyi ve bu alandaki bilgi birikimi, su kayıplarının tespiti ve giderilmesinde kritik öneme sahiptir.

*Su kayıp yönetimi için birim ve ekip yeterliliği*, teknik beceriler ve donanım açısından değerlendirilebilir. Yeterli ekipman ve teknik bilgiye sahip ekipler, su kayıplarının etkin bir şekilde yönetilmesini sağlar.

*Su kayıp yönetiminde uygulanan yöntemlerin ve süreçlerin raporlanması ve bilgilendirilmesi,* ilgili bilgilerin diğer paydaşlarla paylaşılması sürecidir. Su kaybı yönetimi stratejilerinin etkinliğini değerlendirmek ve iyileştirmek için kritik öneme sahiptir. Düzenli raporlama ve bilgilendirme, yönetim ve operasyonel kararların alınmasında önemlidir ve performans izleme için temel oluşturur.

*Kurumun su kayıp yönetimi açısından teknik (ekipman) altyapısı*, su kayıplarının tespiti, izlenmesi ve kontrolü için gerekli olan teknolojik ekipman ve altyapının

sağlanmasıdır. Gelişmiş teknik altyapı, su kayıplarının hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesini sağlar. Bu, su kayıplarının minimize edilmesi ve sistem verimliliğinin artırılması açısından hayati öneme sahiptir.

*Kurumun su kayıp yönetimi açısından ekonomik ve bütçe durumu*, su kayıplarının azaltılması için ayrılan bütçe ve bu bütçenin nasıl yönetildiğidir. Ekonomik ve bütçe durumu, su kayıplarının azaltılması için gerekli yatırımların yapılabilmesi açısından kritiktir. Yeterli bütçe ayrılması, gerekli ekipmanların temin edilmesi ve personelin eğitimi için önemlidir (Lambert, 2002).

*Su kayıp yönetimi personelinin teknik eğitimi-kapasite geliştirme faaliyetleri*, su kayıp yönetimi personelinin teknik bilgi ve becerilerini artırmak için yapılan düzenli eğitim programları, atölye çalışmaları ve sertifikasyon süreçlerini içerir. Teknik eğitim ve kapasite geliştirme faaliyetleri, personelin su kayıplarını daha etkili bir şekilde yönetmesini sağlar. Bu durum su kayıplarının minimize edilmesi ve sistem verimliliğinin artırılması açısından kritiktir.

*Su kayıp bileşenlerinin yönetilmesi için yol haritası*, su kayıplarının azaltılması için izlenecek adımların belirlenmesi ve bu adımların sistematik bir şekilde uygulanmasını içeren planlama sürecidir. Su kaybı yönetimi stratejilerinin etkin bir şekilde uygulanmasını ve sürdürülebilir başarının sağlanmasını mümkün kılar.

*Su kayıp yönetimi için yıllık program-plan oluşturma-bütçeleme politikası*, düzenli olarak program ve plan oluşturulması, bu planların bütçelenmesi sürecidir. Bu politika, su kayıplarının azaltılması için belirlenen hedeflerin gerçekleştirilmesi amacıyla gerekli kaynakların tahsis edilmesini içerir.

*Su kayıp yönetimi programlarının teknik-ekonomik denetim politikası*, programların ve maliyetin etkinliğini değerlendirmeyi amaçlar. Teknik ve ekonomik denetim, su kaybı yönetimi programlarının verimliliğini ve etkinliğini artırır. Bu denetimler, programların iyileştirilmesi ve kaynakların daha etkili kullanılması için gerekli geri bildirimleri sağlar (Kingdom vd., 2006).

*Su kayıp yönetimi açısından mevcut durum analizi/değerlendirme*, su kayıplarının mevcut durumunu, nedenlerini ve etkilerini belirlemeyi amaçlar. Mevcut durum analizi, su kaybı yönetimi için gerekli stratejilerin ve eylem planlarının geliştirilmesine temel oluşturur. Bu analizler, su kayıplarının kaynaklarını ve çözüm yollarını belirlemek için kritik veriler sağlar (Lambert, 2002).

*Su kayıp yönetimi stratejik planının oluşturulması*, belirli hedefler ve bu hedeflere ulaşmak için izlenecek stratejileri içerir. Stratejik planlar, kaynakların etkin bir şekilde kullanılmasını ve sürdürülebilir su kaybı yönetimi politikalarının uygulanmasını sağlar (Mutikanga vd., 2013).

*Su ve enerji verimliliği programının oluşturulması ve izlenmesi politikası*, düzenli olarak tüketimleri izlenmeyi ve bu tüketimleri optimize etmeyi amaçlar. Su ve enerji verimliliği programları hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşır. Bu programlar, su kayıplarının azaltılmasına katkıda bulunurken enerji maliyetlerini de düşürür.

**Veri Ölçümü**

Veri ölçümü, su kayıpları ve arızaların tespiti, analizi ve yönetimi için temel bir gerekliliktir. Veri ölçümü, içmesuyu dağıtım sistemlerinde meydana gelen su kayıplarını nicel olarak belirlemek için kullanılan çeşitli ölçüm tekniklerini ve yöntemlerini ifade eder ve içmesuyu dağıtım sistemlerindeki sızıntılar ile kırıkların yerini belirlemeye yardımcı olur (Lambert vd., 1999). Bu sayede, kayıpların kaynağı tespit edilerek hızlı bir şekilde müdahale edilebilir. Doğru ve düzenli veri ölçümü, su dağıtım sistemlerinin verimli ve etkili bir şekilde işletilmesini sağlar. Bu veriler sadece bir bölge için değil sistem genelinde düzenli olarak ölçülmelidir. Bu süreç, su kaynaklarının korunmasına, ekonomik tasarrufa, erken problem tespitine, verimlilik artışına, bilgi tabanlı karar alma süreçlerine ve şeffaflığa önemli katkılar sağlamasından dolayı su kayıplarının yönetiminde veri ölçümü, vazgeçilmez bir unsurdur. Bu nedenle bu başlık altında içmesuyu şebeke ve abone bilgileri, üretilen ve sisteme verilen su hacimleri, su dengesi bileşenleri ve arıza kayıtları gibi temel veriler dikkate alınmıştır.

*Üretilen su hacmi*, belirli bir süre zarfında içmesuyu arıtma tesislerinden, sondajlardan ve kaynaklardan temin edilen toplam su miktarını ifade eder. Üretilen su hacmi, su kaynaklarının verimli kullanımını değerlendirmek ve talebi karşılayıp karşılayamadığını belirlemek için kritik bir göstergedir. Bu veri, su üretim tesislerinin kapasitesini optimize etmek ve su dağıtım sistemlerinin performansını izlemek için kullanılır (Gikas ve Angelakis, 2009).

*Giriş debisi*, su şebekelerinin performansını ve kapasitesini anlamak ve su kaynakları sistemlerinin planlanması ve yönetimi açısından için önemlidir. Bu veri, suyun dağıtım hızını kontrol etmek ve herhangi bir sızıntı veya su kaybını tespit etmek için kullanılır. Giriş

debisi ayrıca su tüketimi ve sistemin genel performansı hakkında bilgi sağlar (Loucks ve van Beek, 2017).

*Şebeke uzunluğu*, bir su dağıtım sistemindeki toplam boru hattı uzunluğunu ifade eder. Şebeke uzunluğunun doğru ölçülmesi, izlenmesi ve yönetilmesi, su kayıp kontrol programlarının başarısı için kritik öneme sahiptir. Su kayıplarının denetimi ve kontrolü bağlamında önemli bir parametredir. Bu parametre su kayıplarını ve bakım ihtiyaçlarını belirlemek için de kullanılır. Ayrıca, şebeke uzunluğu, sistemin karmaşıklığını ve bakım maliyetlerini doğrudan etkileyen bir faktördür (AWWA, 2018).

*Servis bağlantı sayısı*, bir içmesuyu dağıtım sistemine bağlı olan toplam abone noktalarının (örneğin, evler, işletmeler) sayısını ifade eder. Servis bağlantı sayısı, su talebini ve şebekenin hizmet verdiği kullanıcı sayısını belirlemek için önemlidir. Daha fazla bağlantı noktası, potansiyel kaçak ve sızıntı noktalarının sayısını artırır, bu da su kaybı yönetimini daha karmaşık hale getirebilir. Ayrıca, hizmet bağlantı sayısı, abone yönetimi ve su faturalandırma süreçlerinde kritik bir rol oynar (Lambert vd., 1999).

*Yasal faturalandırılmış ölçülmüş kullanımlar*, su kullanımının ölçüldüğü ve kullanıcılar tarafından ödenen yasal olarak kabul edilmiş miktarları ifade eder (Lambert ve Hirner, 2000). Bu tüketimler, su dağıtım sistemlerinde su kayıplarının doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve yönetilmesi için temel bir bileşendir. Yasal faturalandırılmış ölçülmüş kullanımların doğru izlenmesi, kaydedilmesi ve analiz edilmesi su kayıplarının azaltılmasına yönelik stratejiler geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Farley ve Trow, 2003).

*Ortalama basınç*, su dağıtım sistemindeki belirli bir zaman diliminde ölçülen basınç değerlerinin ortalamasını ifade eder. Bu değer, sistemin genel basınç seviyesini temsil eder. Su dağıtım sisteminin performansını ve güvenilirliğini anlamak için kritik bir göstergedir. Yüksek basınç, boru hatlarında ve bağlantılarda aşınma ve sızıntılara neden olabilirken, düşük basınç suyun etkin bir şekilde dağıtılmasını engelleyebilir (Lambert ve Thornton, 2012).

*Dağıtım sistemindeki (şebeke ve servis bağlantıları) sızıntılar*, su kayıplarının önemli bir kısmını oluşturur ve su kaynaklarının verimsiz kullanımına yol açar. Sızıntıların tespiti ve onarımı, su dağıtım sisteminin performansını artırmak ve kayıpları minimize etmek için hayati öneme sahiptir (Farley ve Trow, 2003).

*Depolarda meydana gelen sızıntılar*, büyük miktarda su kaybına neden olabilir ve su temin sistemlerinin verimliliğini azaltır. Depolardaki sızıntıların kontrol edilmesi, su kaybını

önlemek ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir.

*Bilinen/kontrol edilen vana sayısı*, su akışını kontrol etmek ve gerektiğinde kesmek için kritik bileşenlerdir. Vanaların düzenli olarak kontrol edilmesi ve bakımının yapılması, su kayıplarını önlemek ve sistemin verimli çalışmasını sağlamak için önemlidir.

*Sızıntı tespit ve onarım teknik kapasite (ekip, cihaz)*, sızıntı tespit ve onarım kapasitesi, su kayıplarını en aza indirmek ve sistemin verimliliğini artırmak için kritik öneme sahiptir. İleri teknoloji cihazlar ve eğitimli personel, sızıntıların hızlı ve etkin bir şekilde tespit edilmesini ve onarılmasını sağlar (Hunaidi ve Giamou, 1998; Farley vd., 2008).

*Şebeke hidrolik modeli*, su dağıtım sistemlerindeki akış ve basınç koşullarını simüle eden matematiksel bir modeldir. Bu model, boru hatları, pompalar, vanalar ve depolama tankları gibi bileşenlerin etkileşimlerini analiz ederek, suyun nasıl hareket ettiğini ve sistemdeki olası arızaları tahmin eder. Bu tür modeller, suyun dağıtımı sırasında karşılaşılabilecek sorunları önceden tespit ederek sistemin verimliliğini artırmak için kullanılır (Walski vd., 2003).

*Su dengesi hesaplamaları için fiziki kayıp bileşenlerinin sistematik ölçülmesi ve izlenmesi*, su dağıtım sistemlerindeki giriş ve çıkışları analiz ederek su kayıplarını belirler. Bu bileşenlerin sistematik olarak ölçülmesi ve izlenmesi, su yönetiminde kayıpları minimize etmek için kritik bir adımdır. Sistematik ölçüm yöntemleri, su kayıplarını belirlemek ve bu kayıpları minimize etmek için gerekli önlemleri almak amacıyla kullanılır (Lambert, 2002).

*Su talep modeli ve risk analizi*, belirli bir bölgedeki su talebini tahmin etmek için kullanılan bir modeldir. Bu model, nüfus artışı, ekonomik faaliyetler ve iklim değişiklikleri gibi faktörleri dikkate alarak su talebini proje eder. Risk analizi ise su talebi ve arzı arasındaki dengesizlikleri ve bu dengesizliklerin potansiyel etkilerini değerlendirir. Su talep modeli ve risk analizi, su yönetiminde sürdürülebilirlik ve güvenliği sağlamak için kullanılır (Baumann vd., 1998).

*Toplam servis bağlantı uzunluğu*, su dağıtım sisteminde abone bağlantılarını sağlayan boru hatlarının toplam uzunluğunu ifade eder. Bu uzunluk, su kayıplarının değerlendirilmesinde ve sistemin bakım ihtiyaçlarının belirlenmesinde önemli bir parametredir. Servis bağlantı uzunluğunun doğru bir şekilde ölçülmesi, su dağıtım sistemlerinin etkin yönetimi için gereklidir (AWWA, 2016).

*Rapor edilmeyen (şebeke/servis bağlantı) sızıntı (arıza) sayısı*, su dağıtım sistemlerinde meydana gelen ve ihbar edilmeyen su kaçaklarını veya arızaları ifade eder. Bu tür sızıntıların belirlenmesi, sistemin genel performansını ve güvenilirliğini artırmak için önemlidir. Rapor edilmeyen sızıntılar, genellikle fiziksel denetimler ve gelişmiş sızıntı tespit teknolojileri kullanılarak tespit edilir (Farley, 2001).

**Bilgi Yönetim Sistemleri**

Bilgi yönetim sistemleri, su dağıtım sistemlerinde verilerin düzenli ölçülmesinin yanı sıra, verilerin anlık ve sistematik olarak izlenmesi, su kayıplarının tespit edilmesi, analiz edilmesi ve yönetilmesi süreçlerinde merkezi bir rol oynar. Bilgi yönetim sistemleri, su dağıtım sistemlerindeki verilerin toplanması, saklanması, işlenmesi ve analiz edilmesi için kullanılan entegre yazılım ve donanım sistemleridir. Su kayıp yönetimi analizlerinin yapılması, yöntemlerin belirlenmesi, karar verme süreçlerinin iyileştirilmesi, performans analizlerinin yapılması, ekonomik verimliliklerin izlenmesi, etkin su yönetimi, maliyet tasarrufu, şeffaflık ve hesap verebilirlik gibi birçok alanda su kayıplarının minimize edilmesine yardımcı olur. Su yönetiminde bilgi yönetim sistemlerinin kullanımı, su kayıplarının azaltılması ve su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi açısından vazgeçilmezdir (Thornton vd., 2008). Bu nedenle bu ana başlık altında veri izleme ve yönetim sistemleri, şebeke ve abone veri tabanları göz önünde bulundurulmuştur.

*SCADA su üretim (su kaynakları, isale, giriş debi)*, SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), su üretim süreçlerinin izlenmesi ve kontrol edilmesi için kullanılan bir sistemdir. Su kaynaklarından gelen suyun izlenmesi, isale hatları üzerinden taşınması ve giriş debisinin ölçülmesi gibi işlemler SCADA sistemi aracılığıyla gerçekleştirilir.

*SCADA suyun dağıtılması ve hidrolik bileşenlerin izlenmesi,* SCADA sistemi, suyun dağıtım sistemindeki akış ve basınç koşullarını izler. Bu sistem, pompalar, vanalar ve depolar gibi hidrolik bileşenlerin durumunu sürekli olarak takip eder ve herhangi bir arıza veya anormallik durumunda operatörleri uyarır. Böylece, su dağıtım sistemindeki sorunlar hızlı bir şekilde tespit edilip giderilebilir, su kayıpları minimize edilir ve sistemin verimliliği artırılır.

*CBS tabanlı dağıtım sistemi*, boru hatları, vanalar ve diğer altyapı bileşenlerinin coğrafi konumlarını ve özelliklerini dijital haritalar üzerinde gösterir. Bu sistem, bakım ve onarım faaliyetlerinin planlanmasında, arıza tespitinde ve su dağıtım sisteminin genel yönetiminde büyük kolaylık sağlar (Goodchild vd., 1996).

*Çağrı merkezi sistemi*, abone şikayetleri, arıza bildirimleri ve su hizmetleriyle ilgili diğer iletişimlerin yönetilmesi için kullanılır. Bu sistem, idarelerin abone hizmetlerini iyileştirir ve arızalara hızlı müdahale edilmesini sağlar. Çağrı merkezi sistemi, abone memnuniyetini artırırken, aynı zamanda su yönetim süreçlerinin daha etkin bir şekilde yürütülmesine katkıda bulunur.

*Performans izleme ve bilgi sistemlerinin entegrasyonu*, su kayıpları, enerji tüketimi, basınç ve debi değerleri gibi kritik performans göstergelerini takip eder. Bilgi sistemlerinin entegrasyonu veri paylaşımını ve analizini kolaylaştırarak, su yönetiminde daha bilinçli ve stratejik kararlar alınmasına olanak tanır.

*Arıza yönetim sistemi (CBS ile entegre)*, su dağıtım sisteminde meydana gelen arızaların izlenmesi, kaydedilmesi ve yönetilmesi için kullanılır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre edildiğinde, arızaların coğrafi konumları harita üzerinde görselleştirilebilir. Bu entegrasyon, arıza noktalarının hızlı bir şekilde tespit edilmesine ve müdahale edilmesine olanak tanır. CBS ile entegre arıza yönetim sistemi, su kayıplarını azaltarak ve onarım süreçlerini hızlandırarak operasyonel verimliliği artırır (Liu ve Xu, 2012).

*SCADA depo izleme sistemi ve veri tabanı*, su depolarının durumunu gerçek zamanlı olarak izlemek ve yönetmek için kullanılan bir SCADA alt sistemidir. Bu sistem, su seviyeleri, basınç, akış hızı ve kalite parametreleri gibi verileri sürekli olarak izler ve kaydeder. Bu veriler, su depolarının yönetimi ve bakım planlaması için değerli bilgiler sunar (Galli vd., 2008).

*Şebeke bakım ve onarım yönetim sistemi (CBS ile entegre)*, su dağıtım sistemindeki bakım ve onarım faaliyetlerinin planlanması ve yönetilmesi için kullanılır. CBS entegrasyonu, bakım ve onarım çalışmalarının coğrafi olarak planlanmasına ve izlenmesine olanak tanır. Bu sistem, boru hatları, vanalar ve diğer altyapı bileşenlerinin durumu hakkında detaylı bilgi sağlar ve bakım çalışmalarının etkinliğini artırır (Alegre vd., 2006).

*CBS tabanlı vana arıza veri tabanı, bakım-onarım ve kontrol programı*, su dağıtım sistemindeki vanaların arıza kayıtlarını ve bakım geçmişini saklar ve şebekenin genel bakım ve onarım faaliyetlerini planlar ve yönetir. Arızaların, bakım ve onarım çalışmalarının coğrafi konumlarını harita üzerinde gösterir ve vana arızalarının hızlı bir şekilde tespit edilmesine ve onarılmasına olanak tanır (Goodchild vd., 1996).

*CBS tabanlı izole bölge oluşturma veri tabanı*, su dağıtım sisteminde belirli bölgelerin izole edilmesi ve yönetilmesi için kullanılır. Bu veri tabanı, su dağıtım sistemindeki farklı bölgelerin coğrafi konumlarını ve özelliklerini saklar. İzole bölgeler, bakım ve onarım çalışmalarının daha etkin bir şekilde yürütülmesi ve su kayıplarının minimize edilmesi amacıyla oluşturulur. Bu yöntem, su dağıtım sisteminin genel yönetimini ve operasyonel verimliliği artırır.

*Veri tabanlarının birbiri ile entegrasyonu (CBS-SCADA-ABYS-Arıza)*, su yönetiminde kapsamlı ve doğru veri analizi yapabilmek için gereklidir. CBS, coğrafi verileri sağlarken; SCADA, su dağıtım sistemlerinin izlenmesini ve kontrolünü; ABYS, abone su kullanımını ve arıza sistemi ise arıza bildirim ve yönetimini sağlar. Bu sistemlerin entegrasyonu, su yönetiminde daha bilinçli ve hızlı kararlar alınmasına olanak tanır.

*Minimum gece debisine göre sızıntı tahmini ve su dengesinin oluşturulması (aşağıdan yukarı yöntem)*, su dağıtım sistemlerindeki sızıntıları tahmin etmek için kullanılan bir yöntemdir. Geceleri su tüketimi minimum seviyedeyken ölçülen debi, sistemdeki sızıntıları gösterebilir. Aşağıdan yukarı yöntem, su dengesi hesaplamalarında kullanılır ve su giriş-çıkışlarını ayrıntılı bir şekilde analiz eder. Bu yöntem, su kayıplarının belirlenmesi ve su dengesinin oluşturulması için önemlidir (Lambert ve Taylor, 2010).

*Arıza ve sızıntı kayıtları ile sızıntı bileşenlerinin tahmini (bileşen analizi)*, su dağıtım sistemindeki fiziksel kayıpların analiz edilmesinde kullanılır. Bu analiz, sistemdeki zayıf noktaların belirlenmesine ve sızıntıların minimize edilmesi için gerekli önlemlerin alınmasına olanak tanır.

*CBS tabanlı su dengesi analizi*, su dağıtım sistemlerindeki su giriş-çıkışlarını ve kayıpları coğrafi olarak analiz eder. CBS tabanlı su dengesi analizi, su yönetiminde daha verimli ve hedefe yönelik müdahalelerin planlanmasına yardımcı olur.

*CBS tabanlı entegre su kayıp yönetimi modeli*, su dağıtım sistemlerindeki kayıpların minimize edilmesi için kapsamlı bir yaklaşımdır. Bu model, CBS kullanarak su kayıplarının coğrafi analizini yapar ve çeşitli yönetim stratejilerini entegre eder. Model, su kayıplarının izlenmesi, analiz edilmesi ve yönetilmesi için gerekli tüm bileşenleri bir araya getirir. Su yönetiminde daha etkili ve sürdürülebilir çözümler sunar (Alegre vd., 2006).

**Sızıntı Tespiti ve Önleme**

Sızıntı tespit ve önleme, su dağıtım sistemlerinin verimli ve sürdürülebilir bir şekilde işletilmesi için hayati bir öneme sahiptir. Sızıntı hacminin önemli bir kısmını oluşturan rapor edilmeyen arızaların erken tespiti, hızlı müdahale edilmesi, azaltılması, önlenmesi ve sürdürülebilir yönetimi su kayıplarının minimize edilmesini sağlarken, teknolojik uygulamalar ve veri analizi, sızıntıların yerini ve nedenlerini belirlemekte kritik rol oynar. Önleyici bakım ve altyapı iyileştirmeleri, sızıntıların önlenmesine yardımcı olurken, personel eğitimi ve kamu farkındalığı da bu süreçlerin etkinliğini artırır. Bu nedenle, sızıntı tespit ve önleme, su kaynaklarının korunması ve ekonomik kayıpların önlenmesi açısından vazgeçilmezdir (Fanner vd., 2007; Thornton vd., 2008).

*Sızıntıların sahada belirlenmesi için strateji geliştirme*, su dağıtım sistemlerindeki su kayıplarının yerini ve nedenlerini tespit etmek için stratejik bir yaklaşım gerektirir. Bu strateji, sızıntıların hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesi için gerekli olan yöntemlerin ve teknolojilerin belirlenmesini içerir. Strateji geliştirme, sızıntı tespit ekiplerinin eğitilmesi, gerekli ekipmanların temini ve saha çalışmalarının planlanması gibi adımları kapsar (Farley ve Trow, 2003).

*Aktif kaçak kontrolü programı, planı ve stratejisi*, su dağıtım sistemlerinde düzenli olarak yapılan kaçak tespit ve onarım faaliyetlerini ifade eder. Bu işlem akustik dinleme cihazları, basınç yönetim sistemleri ve gece debisi ölçümleri gibi çeşitli yöntemler kullanılarak planlı ve sistematik bir şekilde yürütülür.

*İzole bölge oluşturma faaliyetleri*, su dağıtım sisteminde belirli alanların izole edilerek daha küçük bölgeler halinde yönetilmesini sağlar. Bu yöntem, sızıntıların yerini ve kaynağını daha kolay tespit etmeye olanak tanır. İzole bölgeler, basınç kırıcı vanalar ve izleme cihazları (debimetreler, basınç sensörleri) ile donatılarak su akışının kontrol edilmesi ve sızıntıların daha etkili bir şekilde yönetilmesi sağlanır. Bu faaliyetler, su kayıplarının azaltılmasında önemli bir rol oynar (Thornton ve Lambert, 2006).

*Minimum gece debisi analizi*, gece saatlerinde su tüketiminin minimum seviyede olduğu zaman diliminde yapılan debi ölçümlerini ifade eder. Bu analiz, sistemdeki sızıntı miktarını belirlemek için kullanılır. Gece saatlerinde tüketim düşük olduğundan, ölçülen debi genellikle sistemdeki kaçakları ve sızıntıları temsil eder. Minimum gece debisi analizi, su kayıplarının tahmin edilmesinde ve önleyici stratejilerin geliştirilmesinde etkili bir yöntemdir (Fanner vd., 2007).

*Sızıntı/arıza onarım hızı ve süresi analizi ve iyileştirilmesi*, tespit edilen sızıntı ve arızaların ne kadar sürede onarıldığını ve bu sürecin etkinliğini değerlendirir. Hızlı ve etkili onarım, su kayıplarının minimize edilmesi ve sistemin sürekli çalışabilirliğinin sağlanması açısından kritiktir. Bu analiz, mevcut onarım süreçlerinin performansını değerlendirir ve iyileştirilmesi gereken alanları belirler. Süreç iyileştirmeleri, onarım ekiplerinin eğitilmesi, gerekli ekipmanların temini ve onarım prosedürlerinin optimize edilmesi gibi adımları içerir (Sturm vd., 2014).

*Arıza ve sızıntı üzerinde etkili faktörlerin analizi*, su dağıtım sistemlerindeki sızıntı ve arızaların nedenlerini ve bunlara katkıda bulunan faktörleri belirlemeyi amaçlar. Bu analiz, boru malzemesi, boru yaşı, basınç seviyesi, işçilik gibi faktörleri içerir. Bu faktörlerin anlaşılması, sızıntıların önlenmesi ve sistemin daha dayanıklı hale getirilmesi için önemlidir (Farley ve Trow, 2003).

*Basınç-debi-sızıntı-arıza analizi*, su dağıtım sistemlerindeki bu dört önemli parametre arasındaki ilişkileri incelemeyi amaçlar. Basınç yönetimi, su dağıtım sistemlerinde sızıntıların ve arızaların azaltılması için kritik bir rol oynar. Yüksek basınç seviyeleri, borularda daha fazla stres yaratarak sızıntı ve arıza riskini artırabilir. Debi ve basınç verilerinin analizi, sızıntı noktalarının tespit edilmesine ve önleyici stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olur.

*Depolarda sızıntı yönetimi ve önlenmesi*, su depolarında meydana gelen su kayıplarının izlenmesi ve önlenmesini kapsar. Su depolarındaki sızıntılar, su kalitesini ve miktarını olumsuz etkileyebilir. Depolardaki sızıntıların tespiti için düzenli denetimler, su seviyelerinin izlenmesi ve yapısal bütünlüğün kontrol edilmesi gibi yöntemler kullanılır. Sızıntıların önlenmesi için depo yapılarının güçlendirilmesi ve su geçirmezlik önlemlerinin alınması gereklidir.

*Basınç yönetimi stratejisi*, su dağıtım sistemlerindeki su basıncının optimize edilmesi için kullanılan bir stratejidir. Bu strateji, basınç seviyelerinin sürekli izlenmesi ve kontrol edilmesini içerir. Optimum basınç seviyesinin korunması, sızıntı ve arıza riskini azaltarak sistemin genel verimliliğini artırır.

*Servis bağlantı arıza/sızıntı önleme stratejisi*, su dağıtım sistemindeki abone bağlantılarının yönetimi ve korunmasını içerir. Servis bağlantılarında meydana gelen sızıntılar, toplam su kayıplarının önemli bir kısmını oluşturabilir. Bu strateji, bağlantı

noktalarının düzenli olarak denetlenmesi, eski ve hasarlı bağlantıların yenilenmesi ve uygun bağlantı malzemelerinin kullanılması gibi önlemleri içerir (Sturm vd., 2014).

*Hidrolik model tabanlı sızıntı tespit ve izleme*, su dağıtım sistemlerindeki akış ve basınç koşullarını simüle eden matematiksel araçlardır. Bu modeller, su dağıtım ağındaki sızıntıların yerini ve miktarını belirlemek için kullanılır. Hidrolik model tabanlı sızıntı tespiti, sistemdeki anormal basınç ve debi değişikliklerini tespit eder ve potansiyel sızıntı noktalarını işaretler. Bu yöntem, su kayıplarının minimize edilmesi ve sistem performansının artırılması için kritik öneme sahiptir (Walski vd., 2003).

*Basınç sensörü, gürültü kaydedici ve korelatör ile sızıntı izleme*, su dağıtım sistemlerinde sızıntıların izlenmesi ve yerlerinin tespit edilmesi için kullanılan gelişmiş teknolojilerdir. Bu teknolojiler arızaların hızlı bir şekilde tespiti ve etkili onarımı, su kayıplarının minimize edilmesi ve sistemin sürekli çalışabilirliğinin sağlanması açısından önemlidir.

*Arıza oranı değişiminin izlenmesi ve faydalı ömür analizi*, su dağıtım sistemlerindeki boru ve bileşenlerin arıza sıklığını değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu analiz, boruların ve diğer altyapı bileşenlerinin faydalı ömrünü belirlemek için kritik veriler sağlar. Faydalı ömür analizi, boru malzemeleri, yaş, basınç koşulları ve çevresel faktörler gibi değişkenleri dikkate alarak bileşenlerin ne kadar süreyle sorunsuz çalışabileceğini tahmin eder. Bu analizler, bakım ve yenileme stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olur (Alegre vd., 2006).

*Sistemin gerçek zamanlı izlenmesi*, su şebekelerinin anlık verilerini toplar ve analiz eder. Bu sistemler, sızıntıların hızlı bir şekilde tespit edilmesi ve müdahale edilmesini sağlar. Gerçek zamanlı izleme, SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemleri gibi teknolojilerle entegre edilerek, operatörlerin sistemdeki anomalileri anında tespit etmelerine olanak tanır.

*Ekonomik kaçak seviyesi (ELL) tanımlama*, su kayıplarının ekonomik olarak kabul edilebilir seviyesinin belirlenmesidir. ELL, su kayıplarının tamamen ortadan kaldırılmasının maliyetinin, bu kayıpları azaltmak için harcanan maliyetlerle dengelendiği noktayı ifade eder. ELL, sızıntı yönetimi ve su kayıplarının minimize edilmesi için optimal stratejilerin geliştirilmesinde önemli bir rehberdir. Su idarelerinin kaynaklarını en verimli şekilde kullanmalarını sağlar (Lambert, 2002).

**Performans ve Verimlilik İzleme**

İçmesuyu şebekesinde gerçekleşen arıza ve sızıntıların yönetiminde sahada izlenen süreç ve yöntemlerin performansının analizi ve verimliliğin izlenmesi, etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi gibi konularda kritik rol oynar. Bu sistemler, su kaynaklarının korunması, maliyetlerin azaltılması, hızlı problem çözme, sürekli iyileştirme ve şeffaflık sağlama gibi birçok alanda önemli faydalar sunar. Performans ve verimlilik izleme sistemlerinin kullanımı, su kayıplarının minimize edilmesine ve su dağıtım sistemlerinin performansının optimize edilmesine katkıda bulunur. Bu kapsamda teknik, ekonomik ve süreç göstergeleri dikkate alınarak arızaların ve sızıntıların etkisi, uygulanan yöntemlerin verimlilikleri ve en uygun hedefler analiz edilmektedir.

*CBS veri güncelleme ve doğrulama faaliyetlerinin izlenmesi*, mekansal verilerin doğruluğunu ve güncelliğini sağlamak için yapılan işlemleri kapsar. Bu süreçler, veri kalitesinin sürdürülebilirliğini ve sistemdeki bilgilerin güvenilirliğini artırmak için kritiktir. CBS veri güncelleme ve doğrulama, verilerin doğru bir şekilde toplandığından, işlendiğinden ve saklandığından emin olmak için sürekli bir izleme gerektirir (Goodchild vd., 1996).

*İzole bölge uygulamaları için performans analizi ve izlenmesi*, su dağıtım sisteminde belirli bölgelerin izole edilerek daha küçük yönetim birimleri haline getirilmesini sağlar. Bu bölgelerin performans analizi ve izlenmesi, sızıntıların ve arızaların daha etkili bir şekilde yönetilmesine olanak tanır. İzole bölgeler, su kayıplarının ve sistem basıncının daha hassas bir şekilde izlenmesini sağlar. Performans analizi, izole bölgelerdeki su kayıplarını, basınç seviyelerini ve enerji tüketimini değerlendirir (Lambert ve Taylor, 2010).

*Su üretim toplam maliyetinin analizi ve izlenmesi*, suyun kaynaktan tüketiciye ulaştırılması sürecinde oluşan tüm maliyetlerin değerlendirilmesini içerir. Bu maliyetler, enerji tüketimi, kimyasal kullanımı, bakım ve onarım masrafları gibi çeşitli bileşenlerden oluşur. Su üretim maliyetlerinin düzenli olarak izlenmesi, maliyet etkinliğini artırmak ve suyun ekonomik olarak sürdürülebilir bir şekilde üretilmesini sağlamak için önemlidir (Sturm vd., 2014).

*Şebeke birim arıza bakım-onarım maliyetinin analizi ve izlenmesi*, su dağıtım ağındaki arızaların onarılması ve bakımı için harcanan maliyetlerin değerlendirilmesini içerir. Bu analiz, her bir arızanın onarım maliyetini ve bakım faaliyetlerinin etkinliğini ölçer.

Maliyetlerin izlenmesi, bakım ve onarım stratejilerinin optimize edilmesine ve bütçenin verimli bir şekilde kullanılmasına yardımcı olur.

*Şebeke işletme verimliliğinin analiz edilmesi ve izlenmesi*, su dağıtım sisteminin genel performansını değerlendirmek için kullanılan bir süreçtir. Bu analiz, su kayıpları, enerji tüketimi, basınç yönetimi ve abone memnuniyeti gibi çeşitli performans göstergelerini içerir. İşletme verimliliğinin izlenmesi, su dağıtım sisteminin sürdürülebilirliğini ve güvenilirliğini artırmak için gerekli verileri sağlar (Thornton vd., 2008).

*Fiziki kayıp performans göstergelerinin izlenmesi*, su şebekesinin performansını ölçmek ve değerlendirmek için kullanılan metriklerdir. Bu göstergeler, kayıpların büyüklüğünü ve kaynağını belirlemeye yardımcı olur.

*Basınç yönetimi uygulamalarının izlenmesi*, su şebekelerindeki basıncın optimize edilerek fiziki kayıpların azaltılmasını hedefleyen bir stratejidir. Yüksek basınç, boru hatlarında sızıntı ve patlak riskini artırır.

*Gece debisi uygulamasının izlenmesi*, gece saatlerinde (genellikle 02:00-04:00 arası) su tüketiminin düşük olduğu dönemlerde şebekedeki debinin izlenmesini ifade eder. Bu uygulama, şebekedeki gizli sızıntıların tespiti için kritik öneme sahiptir.

*Sızıntı tespit (ekip ve denetim) uygulamalarının izlenmesi*, şebekedeki sızıntıların yerini belirlemek ve onarmak için kullanılan yöntemlerdir.

*Fiziki kayıpların maliyetinin analizi ve izlenmesi*, su şebekesindeki kayıpların ekonomik etkilerini değerlendirir. Bu analiz, kayıpların finansal maliyetlerini ve onarım maliyetlerini içerir. Bu analiz, kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesine ve bütçelerin optimize edilmesine yardımcı olur.

*Aktif kaçak kontrolü maliyetinin analizi ve izlenmesi*, su şebekesinde sızıntıların sürekli olarak tespit edilmesi ve onarılması sürecidir. Bu sürecin maliyet analizi ve izlenmesi, aktif kaçak kontrolünün ekonomik verimliliğini değerlendirmek için gereklidir. Aktif kaçak kontrolü maliyet analizi personel ve ekipman maliyetleri, onarım ve bakım maliyetleri ve fayda-maliyet analizi gibi unsurları içerir.

*ILI ve UARL göstergelerinin analizi ve izlenmesi*, ILI (Infrastructure Leakage Index) ve UARL (Unavoidable Annual Real Losses) göstergeleri, su şebekelerindeki fiziki kayıpların değerlendirilmesinde kullanılan önemli performans göstergeleridir. ILI, mevcut gerçek kayıpların, sistemin optimum performansta çalıştığı durumda gerçekleşecek

minimum kayıplara oranı. Düşük ILI değeri, şebekenin iyi yönetildiğini gösterir. UARL, şebekenin mevcut teknolojik ve işletme koşulları altında kaçınılmaz olarak gerçekleşecek yıllık gerçek kayıplar. UARL değeri, şebekenin teknik sınırlarını belirler (Lambert ve Taylor, 2010).

*Basınç yönetimi maliyeti ve faydasının analizi ve izlenmesi*, su şebekesinde sızıntı ve patlakları azaltmak için basıncın optimize edilmesini içerir. Bu uygulamanın maliyeti ve faydasının analizi, basınç yönetimi stratejilerinin ekonomik verimliliğini değerlendirir. Uygulama maliyetleri ve uygulamanın fayda-maliyet analizleri gibi değerlendirmeleri kapsar.

*Fiziki kayıplar için en uygun kayıp oranı seviyesinin belirlenmesi*, su şebekesinde kabul edilebilir bir fiziki kayıp seviyesini belirler. Bu seviyenin belirlenmesi, teknik ve ekonomik analizler gerektirir. Bunun için şebekenin mevcut durumu ve potansiyel iyileştirmesi gibi teknik analizler ile kayıp oranının azaltılması için yapılacak yatırımların maliyet etkinliği gibi ekonomik analizlerin değerlendirilmesi gerekmekte.

*Su kayıpları önleme-kontrol-izleme-analiz faaliyetlerinin verimlilik ve ekonomik açıdan analizi ve izlenmesi*, bütüncül bir şekilde ele alınması gereklidir. Bu faaliyetlerin verimlilik ve ekonomik açıdan analizi, yeni teknolojiler ve altyapı iyileştirmeleri ile su kayıplarının önlenmesi, mevcut sızıntıların tespiti ve onarılıp kontrol altına alınması, şebekenin sürekli izlenmesi ve toplanan verilerin analizi ve performans göstergelerinin değerlendirilmesiyle olur (Alegre vd., 2006; Lambert vd., 1999).

# 5. ANALİZ ve DEĞERLENDİRME

İçmesuyu dağıtım sistemlerinde çeşitli faktörlere bağlı olarak arızalar ve sızıntılar meydana gelmektedir. Arıza sayısının veya sızıntı hacminin artmasına bağlı olarak, işletme maliyeti artmakta, abone şikâyetlerinde artış gözlenmekte, işletme koşulları bozulmaktadır. Bu çalışmada içmesuyu dağıtım sistemlerinde fiziki kayıp yönetiminde etkili faktörler belirlenerek fiziki kayıp miktarının azaltılmasındaki potansiyellerine göre sıralanması ve risklerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Literatür taramaları, uzman görüşleri ve saha tecrübeleri esas alınarak fiziki kayıp yönetimi bileşenleri belirlenmiştir. Fiziki kayıp yönetimi kapsamında, İdari ve Ekip Yönetimi, Performans ve Verimlilik İzleme, Sızıntı Tespit ve Önleme, Veri Ölçüm ve Bilgi Yönetim Sistemi ana başlıkları göz önüne alınmıştır.

Çalışma temel olarak iki aşamadan gerçekleştirilmektedir. İlk aşamada karar verme süreçlerinde sıklıkla kullanılan AHP, ANP ve TOPSIS çoklu ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmada, karar matrisinin oluşturulması, AHP ve ANP yöntemleri ile ölçüt ağırlıklarının belirlenmesi, normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması, ağırlıklı normalize karar matrisinin hesaplanması, TOPSIS yöntemiyle ideal ve ideal olmayan çözümlerin belirlenmesi, alternatiflerin ideal çözümlere olan uzaklıklarının hesaplanması, göreceli yakınlığın hesaplanması ve ölçütlerin sıralanması adımları izlenmiştir.

Çalışmada ikinci aşamada ise Bulanık Mantık ve Bayes Teoreminden yararlanılmıştır. Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerini etkileyen faktörler arasındaki olasılık ilişkilerini göstermek için Bayes Teoremi kullanılmıştır. Bu aşamanın sonunda, parametreler etkileri açısından önceliklendirilmiştir. Daha sonra, fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin varlığının sonuçları belirlenmiş ve belirsizlikleri göz önünde bulundurularak bulanıklaştırılmıştır. En son adımda, risk tanımı ve bulanık çıkarım sistemleriyle bulanıklaştırılmış olasılık ve sonuçlar birleştirilerek fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin riski hesaplanmıştır.

## 5.1. Fiziki Kayıp Yönetimi Bileşenleri için Ölçütlerin Belirlenmesi

Çoklu ölçütlü karar vermede en temel adım, fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin değerlendirilmesinde kullanılan karar verme ölçütlerinin belirlenmesidir. Fiziki kayıp yönetimine ilişkin literatür ve araştırmalardan (Kadenge vd., 2020; Kadenge vd., 2019; Mutikanga vd., 2011; Toosi ve Samani, 2017; Tabesh vd., 2020; Zyoud vd., 2016) uzmanlarla ve su idaresi yöneticileri ile yapılan görüşmeler sonucu ölçütler belirlenmiştir. Bu ölçütler fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin teknik, ekonomik, sosyal ve sistem işletme etkilerini kapsamaktadır. Bu bağlamda, ekonomik (maliyetleri en aza indirme ve gelirleri en üst düzeye çıkarma eğilimi), idari/yönetim (teknik ve ekonomik koşulların uygulanabilirliği), teknik (su tedarikinin güvenilirliğini artırmak), çevresel (su tasarrufu), sosyal (halk üzerindeki olumsuz etkinin azaltımı) ve sosyo-ekonomik (su kalitesi) kategorilerde olmak üzere toplam 13 karar verme ölçütleri belirlenmiş ve Tablo 5.1'de verilmiştir. AHP yöntemi kullanılarak bileşenlerin fiziki kayıp yönetimindeki önem düzeyleri karar verme ölçütleri için puanlandırılmaktadır.

*Gelir Üretimi (C1):* Fiziki su kayıplarının azaltılması, su idarelerinin gelirini artırır çünkü su kayıpları azaldıkça, suyu daha verimli kullanabilir. Ayrıca daha fazla suyun abonelere ulaştırılmasını sağlar ve dolayısıyla daha yüksek gelir elde edilir. Bu nedenle, gelir üretimi açısından fiziki su kayıplarının azaltılması kritiktir.

*Yatırım Maliyeti (C2):* Fiziki su kayıplarını azaltmak için yapılan yatırımların maliyeti düşük olmalıdır. Uygun maliyetli yatırımlar, uzun vadeli ekonomik sürdürülebilirlik açısından önemlidir ve su idarelerinin bu tür projelere daha kolay ve daha sık yatırım yapmalarını sağlar.

*İşletme ve Bakım Maliyetleri (C3):* Fiziki su kayıplarını azaltma çözümlerinin işletme ve bakım maliyetlerinin düşük olması önemlidir. Bu su şebekesinin ekonomik açıdan sürdürülebilirliğini sağlar ve uzun vadede maliyet etkinliği artırır.

*Faydalı Ömür Süresi (C4):* Fiziki su kayıplarını azaltmak için kullanılan altyapı ve ekipmanın uzun ömürlü olması gerekir. Böylece uzun vadede maliyet tasarrufu sağlar ve su kayıplarının düşük seviyede kalmasına yardımcı olur.

*Su Temini/Dağıtımı Güvenilirliği (C5):* Su temini ve dağıtımı güvenilirliği, fiziki su kayıplarının minimize edilmesiyle artar. Daha az sızıntı ve kaçak, suyun güvenilir bir şekilde dağıtılmasını sağlar.

*Suyun Korunması (Verimliliği) (C6):* Suyun korunması, su kaynaklarının verimli kullanımı anlamına gelir. Fiziki su kayıplarının azaltılması, su tasarrufunu ve su kaynaklarının sürdürülebilirliğini artırır.

*Enerjinin Korunması (Verimliliği) (C7):* Su kayıplarını azaltmak, suyun pompalanması ve işlenmesi için gereken enerji tüketimini de azaltır. Bu da enerji verimliliğini artırır, maliyetleri ve çevresel etkileri düşürür.

*Satın Alınabilirlik (C8):* Su kayıplarının azaltılması, su tarifelerinin düşük kalmasını sağlar. Maliyetlerin düşmesi, aboneler için suyun daha satın alınabilir olmasını sağlar.

*Risk Azaltma (C9):* Fiziki su kayıplarının azaltılması, su altyapısının güvenilirliğini artırır ve arıza risklerini azaltır. Altyapı güvenliğini ve bütünlüğünü artırarak fiziksel kayıpların minimize edilmesini sağlar.

*Sosyal Etki (C10):* Su kayıplarının azaltılması, su kesintilerini ve diğer olumsuz sosyal etkileri azaltır. Toplumun suya erişimini iyileştirir ve su hizmetlerinden memnuniyeti artırır.

*Uygulanabilirlik (C11):* Su kayıplarını azaltma çözümlerinin teknik ve finansal olarak uygulanabilir olması gerekir. Bu durum idarelerin su kayıplarını azaltma çözümlerini pratikte uygulayabilmesini sağlar.

*Sermaye Getiri Oranı (C12):* Fiziki su kayıplarının azaltılması, sermaye getirisi açısından önemli bir faktördür. Yapılan yatırımların geri dönüş oranı yüksek olmalıdır. Kaybedilen suyun geri kazanılması, su idarelerine ek gelir sağlar.

*Su Kalitesi (C13):* Fiziki su kayıplarının azaltılması, su kalitesini iyileştirir. Sızıntılar ve kaçaklar, su kalitesini olumsuz etkileyebilir; bu yüzden bu kayıpların minimize edilmesi su kalitesinin korunması açısından önemlidir.

**Tablo 5.1:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri ölçütleri ve tanımları.

| Kod | Ölçüt | Kategori | Tercih | Tanım |
|---|---|---|---|---|
| **C1** | Gelir Üretimi | Ekonomik | Mak. | Alternatifin Kurumlar için gelir üretmeye etki durumu nasıldır? |
| **C2** | Yatırım Maliyeti | Ekonomik | Min. | Alternatifin uygulanabilmesi için gerekecek maliyet/bütçe miktarı nasıldır?" |
| **C3** | İşletme ve Bakım Maliyetleri | Ekonomik | Min. | Alternatif uygulandığında bakım ve kontrolleri için gerekecek maliyet durumu nasıldır? |
| **C4** | Faydalı Ömür Süresi | Ekonomik | Mak. | Alternatifin aktif olarak sürdüreceği hizmet süresi ne kadardır? |
| **C5** | Su Temini/Dağıtımı Güvenilirliği | Çevresel | Mak. | Alternatifin su temin ve dağıtım sistemlerinde arıza, sızıntı ve kaçak kullanımdan kaynaklı kesintileri önleme kapasitesi nasıldır? |
| **C6** | Suyun Korunması (verimliliği) | Çevresel | Mak. | Alternatifin suyun verimli kullanılması ve doğal su kaynakları üzerindeki baskıyı kaldırarak su tasarrufu sağlaması durumu nasıldır? |
| **C7** | Enerjinin Korunması (verimliliği) | Çevresel | Mak. | Alternatifin enerji tüketimi, su kayıplarını azaltma ve sera gazı emisyonlarını en aza indirme kabiliyeti nasıldır? |
| **C8** | Satın Alınabilirlik | Sosyo-Ekonomik | Mak | Alternatifin su fiyatları üzerindeki etkisi nasıldır? |
| **C9** | Risk Azaltma | Teknik | Mak | Alternatifin su şebekelerindeki fiziksel ve idari su kayıp risklerini azaltma durumu nasıl değişmektedir? |
| **C10** | Sosyal Etki | Sosyal | Min | Alternatifin uygulanması sırasında sosyal ve çevresel açıdan oluşturacağı Trafik aksaklıkları, gürültü, su kesintisi vb.nin gibi olumsuz durumların tüketiciler üzerindeki etkisi nasıldır? |
| **C11** | Uygulanabilirlik | İdari/Yönetim | Mak | Alternatifin Su İdarelerinin teknik ve finansal koşulları ve her alternatifin uygulanmasında sosyal çevre açısından kabulü gibi koşullar göz önüne alındığında uygulanabilirlik durumu nasıldır? |
| **C12** | Sermaye Getiri Oranı | Ekonomik | Mak | Alternatif uygulandıktan sonra kaybedilen suyun geri kazanılması ve bundan elde edilen gelir durumu nasıldır? |
| **C13** | Su Kalitesi | Sosyo-Ekonomik | Mak | Alternatifin su kalitesini iyileştirme yeteneğini nasıldır? |

Belirlenen bu ölçütlerden C1, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C11, C12 ve C13 ölçütlerine verilecek yüksek puanlar pozitif etkiyi temsil eder ve olumlu yönden etkilerken C2, C3 ve C10 ölçütlerine verilecek yüksek puanlar negatif etkiyi temsil eder ve olumsuz yönden

etkilemektedir. Örneğin C2 ölçütünde bir değişkenin yatırım maliyeti yüksekse bu istemediğimiz bir şeydir ama C1 ölçütünde bir değişkenin gelir üretimine katkısı (puanı) yüksekse bu istenilen durumdur. Pozitif ve negatif ölçütler Tablo 5.2'de ve bu ölçütlerin puanlandırma ölçütleri ise Tablo 5.3'de verilmiştir.

**Tablo 5.2:** Pozitif ve negatif ölçütler.

| **Pozitif Ölçütler** | | **Negatif Ölçütler** | |
|---|---|---|---|
| **C1** | Gelir Üretimi | **C2** | Yatırım Maliyeti |
| **C4** | Faydalı Ömür Süresi | **C3** | İşletme ve Bakım Maliyetleri |
| **C5** | Su Temini/Dağıtımı Güvenilirliği | **C10** | Sosyal Etki |
| **C6** | Suyun Korunması (verimliliği) | | |
| **C7** | Enerjinin Korunması (verimliliği) | | |
| **C8** | Satın Alınabilirlik | | |
| **C9** | Risk Azaltma | | |
| **C11** | Uygulanabilirlik | | |
| **C12** | Sermaye Getiri Oranı | | |
| **C13** | Su Kalitesi | | |

**Tablo 5.3:** Ölçütlerin puanlandırma ölçütleri.

| Pozitif Ölçütler için Değerlendirme Ölçütleri | **Çok Kötü** | **Kötü** | **Orta** | **İyi** | **Çok İyi** |
|---|---|---|---|---|---|
| Puanlar | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |

| Negatif Ölçütler için Değerlendirme Ölçütleri | **Çok İyi** | **İyi** | **Orta** | **Kötü** | **Çok Kötü** |
|---|---|---|---|---|---|
| Puanlar | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |

## 5.2. Karar Verme Ölçütlerinin Ağırlıklandırılması

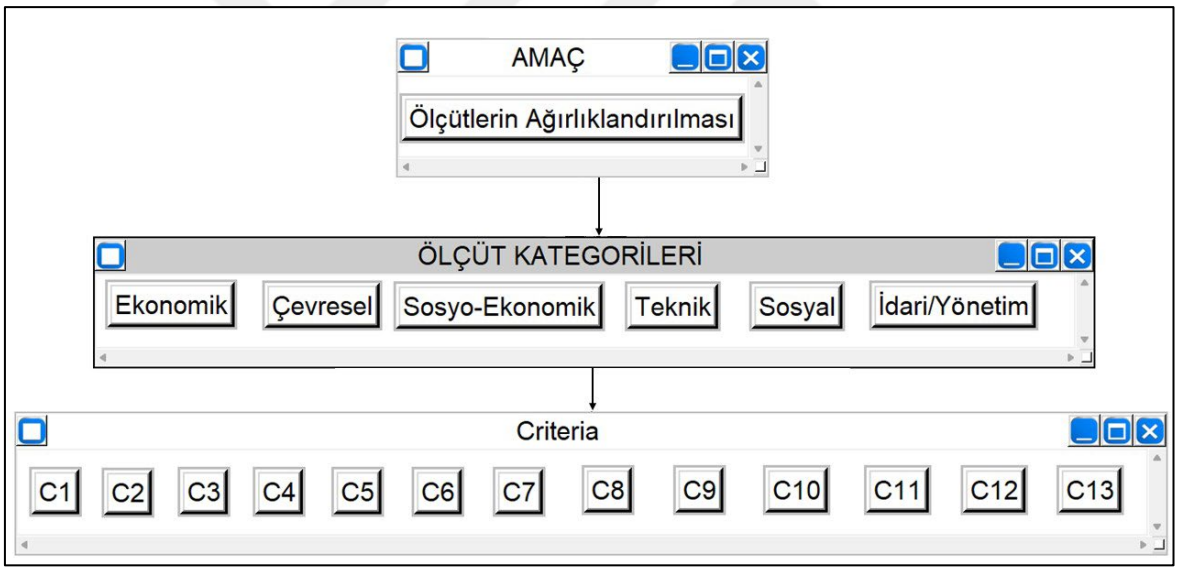
Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin değerlendirilmesinde kullanılıcak karar verme ölçütleri Tablo 5.1'de belirtilmiştir. Ölçütlerin belirlenmesinden sonra fiziki kayıpların yönetimi için izlenen bileşenler, uygulanan faaliyetlerin etkinliğinin araştırılması amacıyla çalışmanın ilk aşamasında AHP ve ANP yöntemi ile sistemi etkileyen ölçütlerin ağırlık katsayıları tespit edilmiş ve önerilen karar matrisi kullanılarak TOPSIS yöntemi ile bileşenler önceliklerine göre sıralanmıştır.

### 5.2.1. Ölçütlerin AHP ile Ağırlıklandırılması

Grup karar verme ve AHP yöntemi ile ölçütlerin ağırlıklandırılmasında ücretsiz olan modern teknoloji uygulaması *Super Decisions* programından faydalanılmıştır. Üç aşama olarak yürütülen AHP uygulamasında ilk aşamada kümeler ve düğüm noktaları belirlenerek hiyerarşik yapı kurulmakta ve bileşenler arası ilişkilendirmeler yapılmakta. İkinci aşamada ise yapılan ilişkilendirmeler doğrultusunda oluşan ikili karşılaştırma tabloları doldurulmakta ve üçüncü aşamadaysa tutarlılık analizi edilip ve ağırlık katsayıları elde edilmektedir.

*1. Adım:* Hiyerarşik yapının kurulması ve bileşenlerin ilişkilendirilmesi

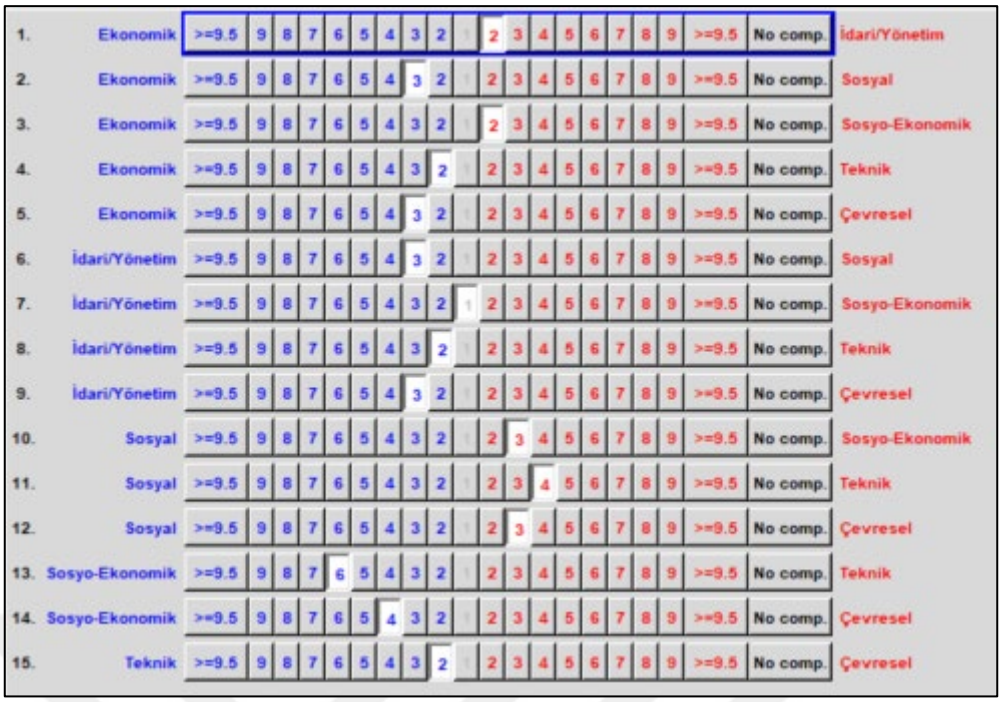
Bu aşamada kararı etkileyen tüm parametreler tanımlanmakta ve amaç ile ilişkilendirilmektedir. Hiyerarşik yapının oluşturulması Şekil 5.1'de gösterilmiştir.




**Şekil 5.1:** AHP ile ağırlıkların belirlenmesi için oluşturulan hiyerarşik yapı.

*2. Adım:* İkili karşılaştırma matrislerinin puanlandırılması

Bu işlem adımında bir ölçütün diğer tüm ölçütlerle ikili karşılaştırılması yapılmakta ve üstünlük durumuna göre puanlamada ise Saaty tarafından önerilen puanlama ölçeğinden yararlanılmıştır. Kurulan hiyerarşik yapı doğrultusunda Super Decisions programının sunduğu ikili karşılaştırma örneği Şekil 5.2'de sunulmuştur.

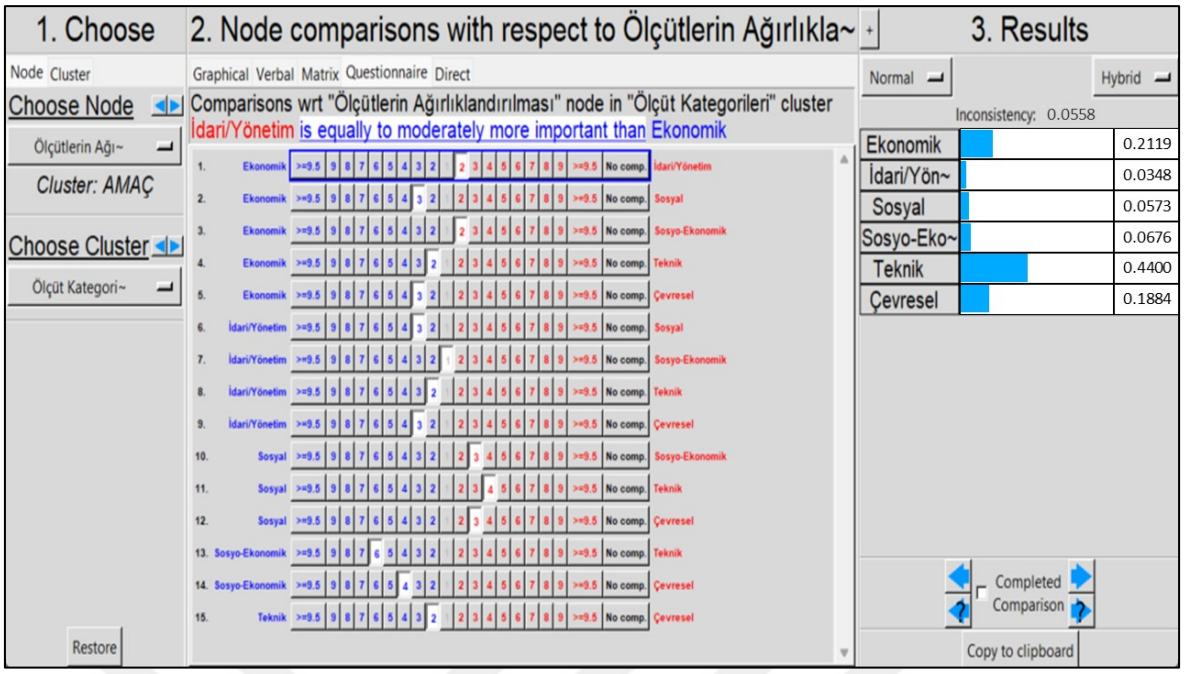



**Şekil 5.2:** AHP yönteminde ikili karşılaştırma matrislerinin puanlandırılması ve ağırlıkların elde edilmesi.

Şekil 5.2'de verilen puanlandırma tablosuna göre, Ekonomik ve İdari/Yönetim ölçütleri Sosyal ve Çevresel ölçütlerinden 3'er kat ve Teknik ölçütten 2 kat üstündür. Ayrıca, Sosyo-Ekonomik ölçütü Teknik ölçütten 6 kat ve Çevresel ölçütten 4 kat üstündür. Diğer taraftan Sosyo-Ekonomik ölçütü, İdari/Yönetimle ise aynı öneme sahip, Teknik ölçütü ise Çevreselden 2 kat üstün bulunmuştur.

*3. Adım:* Tutarlılık analizi edilip ve ağırlık katsayıları elde edilmesi

Tüm ölçütler için ikili karşılaştırmalar tamamlandıktan sonra sonuç ekranında puanlandırmalar için tutarlılık oranları ve ölçütlerin ağırlıkları Şekil 5.3'de verildiği gibi gösterilmektedir. Puanlandırmalar için CR tutarlılık indisi 0.0558 olup ve bu değer 0 ile 0.10 aralığında olduğu için tutarlılığın sağlandığı görülmektedir.




**Şekil 5.3:** AHP yönteminde ölçütler için ikili karşılaştırma sonucu elde edilen ağırlıklar.

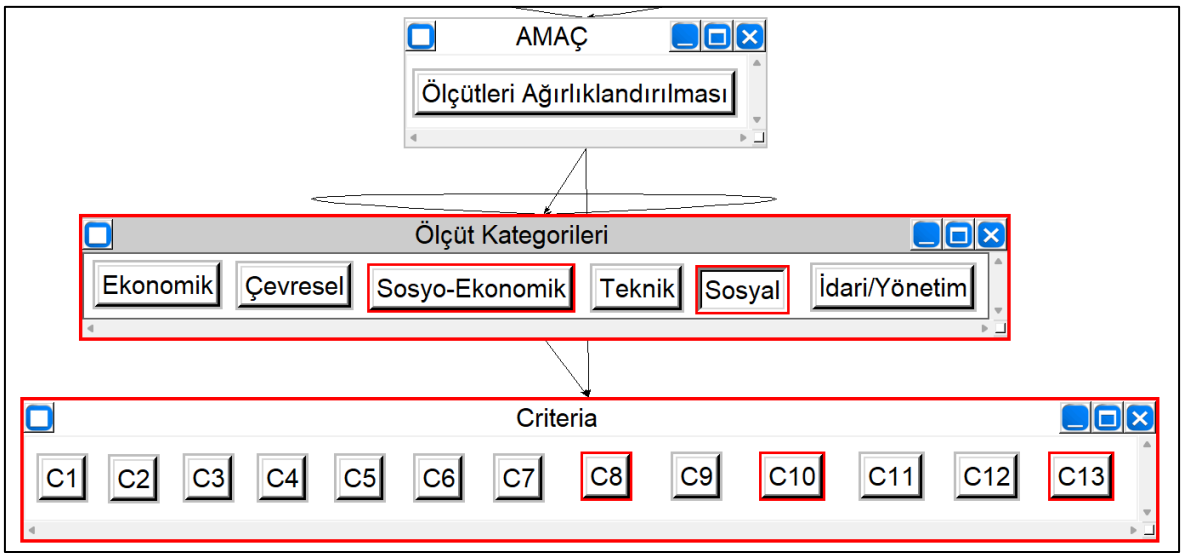
Fiziki kayıp yönetimi ölçütlerinde en etkili değerlendirme kategorisi 0.4400 katsayısı ile "Teknik" ölçütü olup bunu da sırası ile 0.2119 katsayısıyla "Ekonomik", 0.1884 katsayısıyla "Çevresel", 0.0676 katsayısıyla "Sosyo-Ekonomik", 0.0573 katsayısı ile "Sosyal" ve 0.0348 katsayısıyla da "İdari/Yönetim" değerlendirme kategorisi takip etmektedir.

Fiziki kayıpların, su dağıtım sistemlerindeki sızıntılar ve arızalardan oluşmasından dolayı bu kayıplarla mücadelede en etkili kategorilerinin düşünüldüğü gibi "Teknik" ve "Ekonomik" olduğu yapılan değerlendirme sonucunda da görülmüştür. Teknik ve ekonomik ölçütlerin yüksek ağırlıklara sahip olması, içmesuyu dağıtım sistemlerinin verimliliğinin artırılması ve maliyet etkinliğinin sağlanması için teknik yeterliliklerin ve ekonomik stratejilerin kritik olduğunu vurgular. Çevresel boyutun da önemli bir yer tutması, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve çevresel etkilerin azaltılmasının uzun vadeli hedefler arasında olduğunu gösterir. Sosyo-ekonomik ve sosyal ölçütlerin nispeten düşük ağırlıklara sahip olması, bu alanların daha az kritik olduğu anlamına gelmez; aksine, teknik ve ekonomik boyutlar kadar dikkatle yönetilmesi gereken, ancak diğerlerine kıyasla ikinci planda kalan alanlar olarak görülmektedir. İdari/yönetim ölçütlerinin en düşük ağırlığa sahip olması, yönetim ve organizasyonel yapının destekleyici bir rol oynadığını, ancak doğrudan içmesuyu fiziki kayıplarının yönetimi kadar kritik olmadığı anlamına gelir.

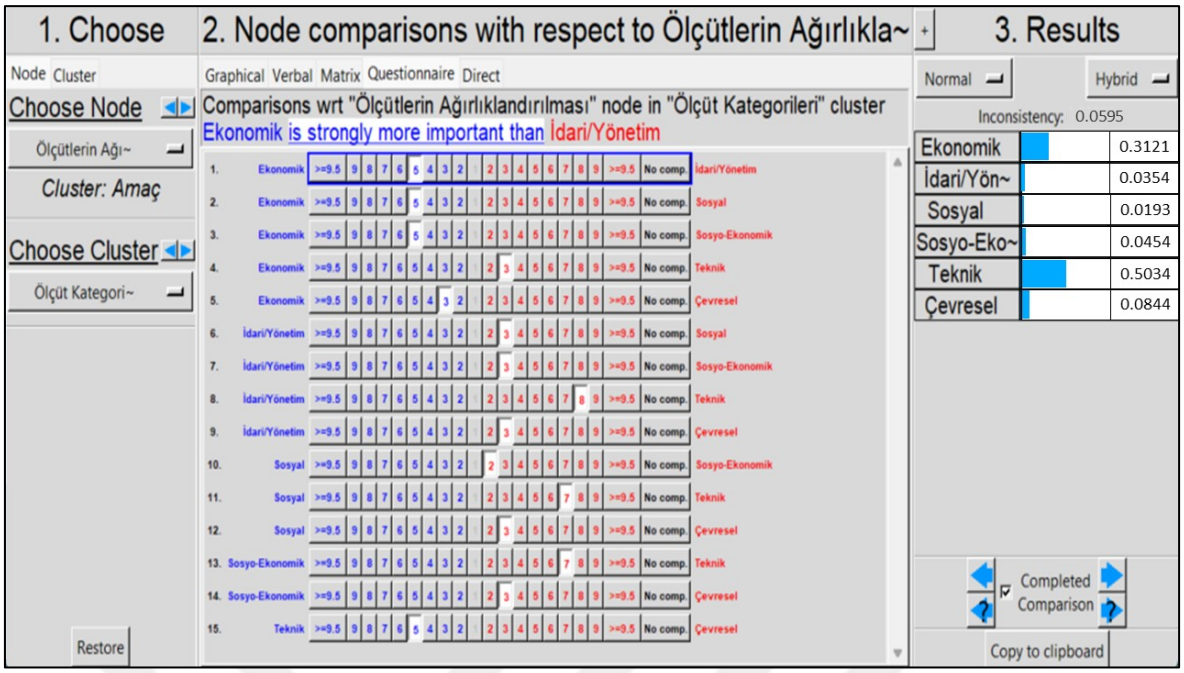
### 5.2.2. Ölçütlerin ANP ile Ağırlıklandırılması

AHP yönteminden farklı olarak ölçütler arasındaki etkileşimler de ANP yönetiminde dikkate alınmaktadır. Uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmelere göre, Ekonomik kategorisi Ekonomik ve Sosyo-Ekonomik kategorisiyle, Çevresel kategorisi Çevresel, Sosyal ve İdari/Yöntem kategorilerle, Sosyo-Ekonomik kategorisi Ekonomik ve Sosyo-Ekonomik kategorilerle, Teknik kategorisi Teknik ve İdari/Yönetim kategorisi ile, Sosyal kategorisi Sosyal ve Sosyo-Ekonomik kategorileri ile ve İdari/Yönetim kategorisi ise tüm kategoriler ile ilişkilendirilmiştir. Daha sonra bu kategoriler için ağırlıklar elde edilmiştir.

Kategorilerin ağırlıkları elde edildikten sonra kategoriler ile ölçütler ilişkilendirilmiştir. Böylece Ekonomik kategorisi C1, C2, C3, C4, C8, C12 ve C13 ölçütleri ile, Çevresel kategorisi C5, C6, C7, C8, C11, C13 ölçütleri ile, Sosyo-Ekonomik kategorisi C1, C2, C3, C4, C8, C12 ve C13 ölçütleri ile, Teknik kategorisi C9 ve C11 ölçütleri ile, Sosyal kategorisi C8, C10, C13 ölçütleri ile ve İdari/Yönetim kategorisi ise tüm ölçütler ile ilişkilendirilmiştir. Sosyal kategorisinin Super Decisions programına işlenen ve ilişkili olduğu diğer kategoriler ve ölçütler arasındaki ilişki Şekil 5.4'deki gibi işaretlenmiş ve kategoriler için elde edilen ağırlıklar Şekil 5.5'de gösterilmiştir.




**Şekil 5.4:** ANP yönteminde sosyal kategorisinin ilişkili olduğu kategoriler ve ölçütler.




**Şekil 5.5:** ANP yönteminde ölçütler elde edilen ağırlıklar.

ANP yöntemiyle yapılan değerlendirme sonucunda da fiziki kayıp yönetimi ölçütlerinde en etkili değerlendirme kategorisi "Teknik" ölçütü olmuştur. Teknik ölçütünün ağırlık katsayısı 0.5034 olup bunu da sırası ile 0.3121 katsayısıyla "Ekonomik", 0.0844 katsayısıyla "Çevresel", 0.0354 katsayısıyla "İdari/Yönetim", 0.0454 katsayısı ile "Sosyo-Ekonomik" ve 0.0193 katsayısıyla da "Sosyal" değerlendirme kategorisi takip etmektedir.

Teknik ve ekonomik ölçütlerin yüksek ağırlıklara sahip olması, bu alanların su kayıplarının yönetiminde kritik olduğunu, bu konularda yapılacak yatırımların ve iyileştirmelerin öncelikli olması gerektiğini gösterir. Çevresel, sosyo-ekonomik ve idari/yönetim ölçütleri de önemli olup, su yönetimi süreçlerinde dikkate alınmalıdır. Sosyal ölçütlerin en düşük ağırlığa sahip olması, bu alanın nispeten daha az öncelikli olduğunu gösterse de toplum sağlığı ve yaşam kalitesinin korunması için önemlidir.

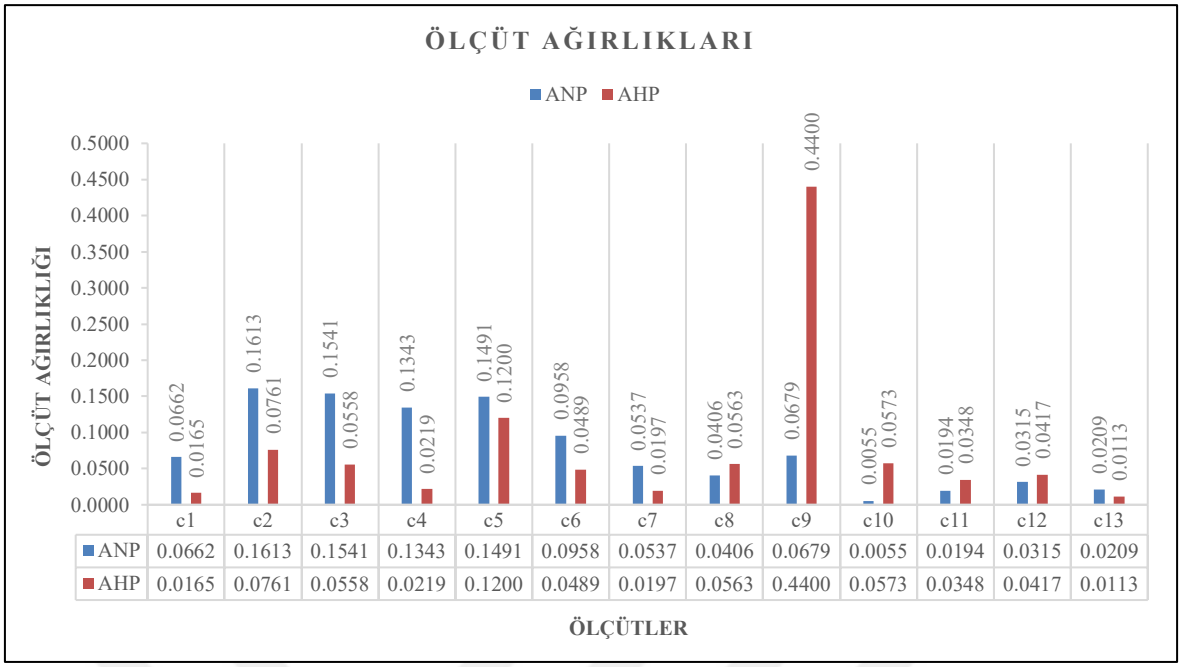
Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'de verilen AHP ve ANP yöntemleriyle elde edilen ağırlıklara bakıldığında; AHP yönteminde açığa çıkan ağırlık katsayısına göre öncelik sıralaması; C9, C5, C2, C10, C8, C3, C6, C12, C11, C4, C7, C1, C13 şeklinde ve ANP yönteminde oluşan ağırlık katsayısına göre kriterler arası öncelik sıralaması C2, C3, C5, C4, C6, C9, C1, C7, C8, C12, C13, C11 ve C10 şeklindedir. AHP ve ANP yöntemleri sonucu oluşan ağırlık katsayılarının karşılaştırmaları ise Şekil 5.6' da gösterilmiştir.

**Tablo 5.4:** AHP yöntemi ile ölçütler için belirlenen ağırlık katsayıları.

| AHP Ağırlıkları | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kategoriler** | **Ağırlık** | **CR** | **Ölçütler** | **Ağırlık** | **CR** | **Bütünleşik Ağırlık** |
| Ekonomik | 0.2119 | 0.0558 | C1 | 0.0777 | 0.0396 | 0.0165 |
| | | | C2 | 0.3591 | | 0.0761 |
| | | | C3 | 0.2631 | | 0.0558 |
| | | | C4 | 0.1033 | | 0.0219 |
| | | | C12 | 0.1969 | | 0.0417 |
| Çevresel | 0.1884 | | C5 | 0.6369 | 0.0370 | 0.1200 |
| | | | C6 | 0.2593 | | 0.0489 |
| | | | C7 | 0.1047 | | 0.0197 |
| Sosyo-Ekonomik | 0.0676 | | C8 | 0.8333 | 0 | 0.0563 |
| | | | C13 | 0.1667 | | 0.0113 |
| Teknik | 0.4400 | | C9 | 1 | 0 | 0.4400 |
| Sosyal | 0.0573 | | C10 | 1 | 0 | 0.0573 |
| İdari/Yönetim | 0.0348 | | C11 | 1 | 0 | 0.3480 |

**Tablo 5.5:** ANP yöntemi ile ölçütler için belirlenen ağırlık katsayıları.

| ANP Ağırlıkları | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Kategoriler** | **Ağırlık** | **CR** | **Ölçütler** | **Normalize Edilmiş** | **Sınırlı** |
| Ekonomik | 0.3121 | 0.0595 | C1 | 0.0662 | 0.0397 |
| | | | C2 | 0.1613 | 0.0968 |
| | | | C3 | 0.1541 | 0.0924 |
| | | | C4 | 0.1343 | 0.0805 |
| | | | C12 | 0.0315 | 0.0895 |
| Çevresel | 0.0844 | | C5 | 0.1491 | 0.0575 |
| | | | C6 | 0.0958 | 0.0322 |
| | | | C7 | 0.0537 | 0.0244 |
| Sosyo-Ekonomik | 0.0454 | | C8 | 0.0406 | 0.0407 |
| | | | C13 | 0.0209 | 0.0033 |
| Teknik | 0.5034 | | C9 | 0.0679 | 0.0116 |
| Sosyal | 0.0193 | | C10 | 0.0315 | 0.0189 |
| İdari/Yönetim | 0.0354 | | C11 | 0.0209 | 0.0125 |




**Şekil 5.6:** AHP ve ANP yöntemi ile ölçütler için belirlenen ağırlıkların kıyaslanması.

Kategorilerin ağırlık katsayıları göz önüne alındığında iki yöntem için de sıralamanın benzer şekilde olduğu görülmektedir. Bununla birlikte kategoriler arası ilişki durumu dikkate alındığında AHP yöntemi ile ANP yöntemi arasında puan farklılıkları oluştuğu da gözlenmektedir. Ölçüt ağırlıkları incelendiğinde, AHP yönteminde ağırlığı en yüksek 3 ölçüt sırasıyla C9 (Risk Azaltma), C5 (Su Temini/Dağıtımı Güvenilirliği) ve C2 (Yatırım Maliyeti) iken, ANP yönteminde ise C2 (Yatırım Maliyeti), C3 (İşletme ve Bakım Maliyetleri) ve C5 (Su Temini/Dağıtımı Güvenilirliği) şeklindedir. ANP yönteminde, AHP yönteminden farklı olarak kıyaslanan değişkenler birbirinden bağımsız değil de bağımlı olarak dikkate alındığından ağırlık katsayılarının farklı çıkması mümkündür. Alternatif önceliklerini ise bu farklılıklar etkileyecektir.

### 5.3. TOPSIS Yöntemi ile Fiziki Kayıp Yönetimi Bileşenlerinin Önceliklendirilmesi

Bu bölümde TOPSIS yöntemi ile fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin önceliklendirilmesi amaçlanmıştır. Bileşenlerin önceliklendirilmesinde AHP ve ANP yöntemleri ile belirlenen ölçütlerin ağırlıkları ayrı ayrı kullanılmıştır. Daha sonrasında AHP ve ANP yöntemleri hesaplanan ölçüt ağırlık değerleri ile önceliklendirilen fiziki kayıp yönetimi bileşenleri kıyaslanmıştır.

*1. Adım: Karar Matrisinin Oluşturulması*

Çalışmadaki karar matrisi, fiziki su kayıplarını etkileyen 75 bileşen, fiziki kayıp yönetiminde belirlenen 13 ölçüt ve bu ölçütlerin bileşenler üzerindeki etkisini ifade eden bir puanlama yapısı dikkate alınarak kurulmuştur. Değişkenlerin ölçütler bazında değerlendirilmesinde aşağıda verilen sorular göz önünde bulundurulmuştur.

Negatif ölçütlere verilen yüksek puanlar olumsuzluğu temsil ettiği için C2, C3 ve C10 negatif ölçütleri ve pozitif ölçütler için Tablo 5.6'dan faydalanılmıştır. Tablo 5.7 ve Tablo 5.8'de pozitif ve negatif ölçüt değerlendirme örneği gösterilmiştir.

**Tablo 5.6:** Pozitif ve negatif ölçüt değerlendirme kriterleri.

| Pozitif Ölçütler için Değerlendirme Kriterleri | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| Çok Kötü | Kötü | Orta | İyi | Çok İyi |
| Negatif Ölçütler için Değerlendirme Kriterleri | | | | |
| 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| Çok İyi | İyi | Orta | Kötü | Çok Kötü |

**Tablo 5.7:** Pozitif ölçütler için değerlendirme örneği.

| C1: Gelir Üretimi | Puanlanacak/Değerlendirilecek olan alternatifin Kurumlar için gelir üretmeye etki durumu nasıldır? | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Puanlar | Çok Az | Az | Orta | Fazla | Çok Fazla |
| | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| D1 | | √ | | | |
| D2 | | | √ | | |

**Tablo 5.8:** Negatif ölçütler için değerlendirme örneği.

| C2: Yatırım Maliyeti | Puanlanacak/Değerlendirilecek olan alternatifin uygulanabilmesi için gerekecek maliyet/bütçe miktarı nasıldır? | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Puanlar | Çok Fazla | Fazla | Orta | Az | Çok Az |
| | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| D1 | √ | | | | |
| D2 | | √ | | | |

*2. Adım: Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözümlerin Belirlenmesi*

Belirlenen ölçüt ağırlıkları ile normalize edilen karar matrisinin çarpımı sonucu ağırlıklı karar matrisi elde edilmektedir. Ağırlıklı karar matrisinde sütunların maksimum ve minimum değerleri alınarak pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerleri elde edilmektedir. İdeal çözüm değerleri problem yapısına göre belirlenmektedir. Eğer maksimizasyon amaçlanıyorsa ölçüt sütunundaki değerlerin maksimum değeri pozitif ideal çözümü, aynı sütunun minimum değeri ise negatif ideal çözümü oluşturmaktadır. Eğer problemin yapısında minimizasyon amaçlanıyorsa bu durumda sütundaki minimum değerler pozitif ideal çözümleri, maksimum değerler negatif ideal çözümleri oluşturmaktadır. Buna göre belirlenen pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 5.9'da sunulmuştur.

**Tablo 5.9:** Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerleri.

| **Ölçüt** | **Tercih** | **AHP V+** | **AHP V-** | **ANP V+** | **ANP V-** |
|---|---|---|---|---|---|
| C1 | Maksimizasyon | 0.0026 | 0.0010 | 0.0103 | 0.0038 |
| C2 | Minimizasyon | 0.0041 | 0.0139 | 0.0088 | 0.0294 |
| C3 | Minimizasyon | 0.0034 | 0.0093 | 0.0093 | 0.0256 |
| C4 | Maksimizasyon | 0.0033 | 0.0013 | 0.0201 | 0.0080 |
| C5 | Maksimizasyon | 0.0181 | 0.0075 | 0.0225 | 0.0093 |
| C6 | Maksimizasyon | 0.0074 | 0.0033 | 0.0145 | 0.0064 |
| C7 | Maksimizasyon | 0.0031 | 0.0012 | 0.0083 | 0.0034 |
| C8 | Maksimizasyon | 0.0105 | 0.0034 | 0.0075 | 0.0025 |
| C9 | Maksimizasyon | 0.0665 | 0.0334 | 0.0103 | 0.0052 |
| C10 | Minimizasyon | 0.0035 | 0.0101 | 0.0003 | 0.0010 |
| C11 | Maksimizasyon | 0.0058 | 0.0023 | 0.0032 | 0.0013 |
| C12 | Maksimizasyon | 0.0064 | 0.0028 | 0.0048 | 0.0021 |
| C13 | Maksimizasyon | 0.0017 | 0.0007 | 0.0032 | 0.0014 |

*3. Adım: Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Uzaklık Değerlerinin Hesaplanması*

Her bir karar seçeneğine ilişkin değerlendirme ölçütlerinin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinden sapmalarının bulunabilmesi için Öklid yaklaşımından yararlanılır. Karar seçeneği sayısı kadar $S_i^+$ ve $S_i^-$ uzaklık değerleri hesaplanır (Ada ve Çakır,

2022). Ölçütlerinin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerini bulmak için sırasıyla Denklem 5.1 ve Denklem 5.2'den yararlanılmıştır.

$$S^{+} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^{+})^2} \tag{5.1}$$

$$S^{-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^{-})^2} \tag{5.2}$$

*4. Adım: İdeal Çözüme Yakınlık Değerinin Hesaplanması*

Her bir karar seçeneğinin ideal çözüme göreli yakınlık katsayılarının hesaplanmasında pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinden uzaklıklar kullanılır. Hesaplama, negatif ideal çözüme uzaklık değerinin pozitif ideal çözüme uzaklık değeri ile negatif ideal çözüme uzaklık değerinin toplamına oranıdır. İdeal çözüme yakınlık değerlerini hesaplamak için Denklem 5.3'den yararlanılmıştır.

$$\mathrm{C_i^{+}} = \frac{\mathrm{S_i^{-}}}{\mathrm{S_i^{-}} + \mathrm{S_i^{+}}} \tag{5.3}$$

Burada $C_i^+$ değeri $0 \leq C_i^+ \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_i^+ = 1$ ilgili karar noktasının pozitif ideal çözüme, $C_i^+ = 0$ ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir (Ada ve Çakır, 2022). Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin ideal ve negatif ideal çözüme yakınlık değerleri Tablo 5.10'da sunulmuştur.

*5. Adım:* Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin sıralanması

Hesaplanan ideal çözüme yakınlık değerlerinde 1'e en yakın olan pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak değişkeni ifade etmektedir. Buna göre

değerler büyükten küçüğe doğru sıralandığında fiziki kayıp yönetimi bileşenleri için risk önceliklendirmesi elde edilmektedir (Tablo 5.10).

**Tablo 5.10:** İdeal çözüme yakınlık değerleri ve değişken sıralamaları.

| AHP+TOPSIS | | | ANP+TOPSIS | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **No** | **Sıralama** | **C Değeri** | **No** | **Sıralama** | **C Değeri** |
| 1 | D47 | 0.8880 | 1 | D1 | 0.8754 |
| 2 | D1 | 0.8621 | 2 | D47 | 0.8465 |
| 3 | D46 | 0.8282 | 3 | D7 | 0.8052 |
| 4 | D48 | 0.8272 | 4 | D32 | 0.7998 |
| 5 | D49 | 0.8066 | 5 | D31 | 0.7996 |
| 6 | D31 | 0.7788 | 6 | D22 | 0.7968 |
| 7 | D22 | 0.7730 | 7 | D48 | 0.7813 |
| 8 | D54 | 0.7711 | 8 | D54 | 0.7764 |
| 9 | D17 | 0.7662 | 9 | D50 | 0.7641 |
| 10 | D32 | 0.7243 | 10 | D30 | 0.7355 |
| 11 | D16 | 0.7234 | 11 | D49 | 0.7295 |
| 12 | D13 | 0.7214 | 12 | D33 | 0.7235 |
| 13 | D50 | 0.7205 | 13 | D37 | 0.7049 |
| 14 | D34 | 0.7049 | 14 | D5 | 0.7045 |
| 15 | D5 | 0.6945 | 15 | D18 | 0.6837 |
| 16 | D4 | 0.6810 | 16 | D52 | 0.6814 |
| 17 | D14 | 0.6764 | 17 | D4 | 0.6744 |
| 18 | D7 | 0.6556 | 18 | D17 | 0.6714 |
| 19 | D30 | 0.6548 | 19 | D16 | 0.6712 |
| 20 | D37 | 0.6450 | 20 | D55 | 0.6588 |
| 21 | D33 | 0.6425 | 21 | D57 | 0.6533 |
| 22 | D55 | 0.6229 | 22 | D56 | 0.6523 |
| 23 | D67 | 0.6222 | 23 | D8 | 0.6461 |
| 24 | D21 | 0.6080 | 24 | D60 | 0.6413 |
| 25 | D8 | 0.6052 | 25 | D34 | 0.6407 |

**Tablo 5.10:** İdeal çözüme yakınlık değerleri ve değişken sıralamaları (devam).

| AHP+TOPSIS | | | ANP+TOPSIS | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **No** | **Sıralama** | **C Değeri** | **No** | **Sıralama** | **C Değeri** |
| 26 | D18 | 0.6000 | 26 | D46 | 0.6247 |
| 27 | D52 | 0.5891 | 27 | D38 | 0.6152 |
| 28 | D36 | 0.5821 | 28 | D2 | 0.6149 |
| 29 | D68 | 0.5742 | 29 | D42 | 0.5960 |
| 30 | D10 | 0.5622 | 30 | D45 | 0.5870 |
| 31 | D15 | 0.5529 | 31 | D59 | 0.5863 |
| 32 | D59 | 0.5487 | 32 | D67 | 0.5816 |
| 33 | D2 | 0.5484 | 33 | D36 | 0.5662 |
| 34 | D38 | 0.5386 | 34 | D21 | 0.5532 |
| 35 | D45 | 0.5339 | 35 | D68 | 0.5420 |
| 36 | D62 | 0.5265 | 36 | D14 | 0.5397 |
| 37 | D56 | 0.4952 | 37 | D58 | 0.5311 |
| 38 | D41 | 0.4944 | 38 | D3 | 0.5289 |
| 39 | D51 | 0.4866 | 39 | D43 | 0.5280 |
| 40 | D66 | 0.4837 | 40 | D13 | 0.5234 |
| 41 | D58 | 0.4803 | 41 | D61 | 0.5214 |
| 42 | D3 | 0.4744 | 42 | D11 | 0.5164 |
| 43 | D19 | 0.4471 | 43 | D69 | 0.5096 |
| 44 | D61 | 0.4388 | 44 | D71 | 0.4995 |
| 45 | D28 | 0.4360 | 45 | D19 | 0.4995 |
| 46 | D6 | 0.4345 | 46 | D23 | 0.4939 |
| 47 | D57 | 0.4328 | 47 | D75 | 0.4927 |
| 48 | D35 | 0.4305 | 48 | D73 | 0.4904 |
| 49 | D20 | 0.4237 | 49 | D39 | 0.4819 |
| 50 | D69 | 0.4226 | 50 | D40 | 0.4797 |

**Tablo 5.10:** İdeal çözüme yakınlık değerleri ve değişken sıralamaları (devam).

| AHP+TOPSIS | | | ANP+TOPSIS | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **No** | **Sıralama** | **C Değeri** | **No** | **Sıralama** | **C Değeri** |
| 51 | D42 | 0.4214 | 51 | D62 | 0.4714 |
| 52 | D60 | 0.4202 | 52 | D15 | 0.4378 |
| 53 | D39 | 0.4159 | 53 | D26 | 0.4318 |
| 54 | D72 | 0.4109 | 54 | D41 | 0.4252 |
| 55 | D40 | 0.4064 | 55 | D20 | 0.4237 |
| 56 | D65 | 0.3899 | 56 | D66 | 0.4222 |
| 57 | D64 | 0.3856 | 57 | D10 | 0.4213 |
| 58 | D26 | 0.3818 | 58 | D27 | 0.4191 |
| 59 | D23 | 0.3767 | 59 | D72 | 0.4019 |
| 60 | D63 | 0.3759 | 60 | D74 | 0.3954 |
| 61 | D9 | 0.3696 | 61 | D65 | 0.3865 |
| 62 | D73 | 0.3611 | 62 | D53 | 0.3840 |
| 63 | D27 | 0.3447 | 63 | D51 | 0.3818 |
| 64 | D71 | 0.3421 | 64 | D9 | 0.3742 |
| 65 | D75 | 0.3356 | 65 | D35 | 0.3706 |
| 66 | D43 | 0.3306 | 66 | D25 | 0.3703 |
| 67 | D11 | 0.3222 | 67 | D28 | 0.3414 |
| 68 | D53 | 0.3100 | 68 | D24 | 0.3374 |
| 69 | D12 | 0.3033 | 69 | D64 | 0.3251 |
| 70 | D25 | 0.2562 | 70 | D12 | 0.3218 |
| 71 | D74 | 0.2490 | 71 | D44 | 0.3076 |
| 72 | D24 | 0.1987 | 72 | D70 | 0.2777 |
| 73 | D29 | 0.1911 | 73 | D29 | 0.2726 |
| 74 | D44 | 0.1682 | 74 | D6 | 0.2667 |
| 75 | D70 | 0.1514 | 75 | D63 | 0.2354 |

AHP yöntemi ile hesaplanan ağırlık katsayıları dikkate alınarak elde edilen sıralamada, öncelikli ilk 5 değişken sırasıyla, D47 “Aktif Kaçak Kontrolü Programı, Planı ve Stratejisi”, D1 “Kurum Üst Yönetiminin Su Kayıp Azaltma Faaliyetlerine Bakış Açısı”, D46 “Sızıntıların Sahada Belirlenmesi için Strateji Geliştirme”, D48 “İzole Bölge Oluşturma Faaliyetleri” ve D49 “Minimum Gece Debisi Analizi” şeklindedir.

Benzer şekilde ANP yöntemi ile hesaplanan ağırlık katsayıları dikkate alınarak elde edilen sıralamada, öncelikli ilk 5 değişken sırasıyla, D1 “Kurum Üst Yönetiminin Su Kayıp Azaltma Faaliyetlerine Bakış Açısı”, D47 “Aktif Kaçak Kontrolü Programı, Planı ve Stratejisi”, D7 “Kurumun Su Kayıp Yönetimi Açısından Teknik (Ekipman) Altyapısı”, D32 “SCADA Suyun Dağıtılması ve Hidrolik Bileşenlerin İzlenmesi” ve D31 “SCADA Su Üretim (su kaynakları, isale, giriş debi)” şeklindedir.

Ayrıca her iki yönteme göre elde edilen sıralamalar incelendiğinde ilk 25’te 20 değişkenin aynı olduğu görülmektedir. AHP yönteminde en düşük ağırlık katsayısına sahip 5 değişken D70 “Fiziki Kayıpların Maliyetinin Analizi ve İzlenmesi”, D44 “CBS Tabanlı Su Dengesi Analizi”, D29 “Toplam Servis Bağlantı Uzunluğu”, D24 “Bilinen/kontrol Edilen Vana Sayısı” ve D74 “Fiziki Kayıplar için En Uygun Kayıp Oranı Seviyesinin Belirlenmesi” olarak belirlenmiştir. ANP yönteminde ise en düşük ağırlık katsayısına sahip 5 değişken D63 “Su Üretim Toplam Maliyetinin Analizi ve İzlenmesi”, D6 “Su Kayıp Yönetiminde Uygulanan Yöntemlerin ve Süreçlerin Raporlanması ve Bilgilendirilmesi”, D29 “Toplam Servis Bağlantı Uzunluğu”, D70 “Fiziki Kayıpların Maliyetinin Analizi ve İzlenmesi” ve D44 “CBS Tabanlı Su Dengesi Analizi” şeklinde belirlenmiştir.

AHP yönteminde hiyerarşik yapıda sunulan faktörlerin birbirinden bağımsız olduğu varsayılarak ağırlık hesabı yapılırken ANP yönteminde faktörler arası olası bağımlılıklar, iç ve dış etkileşimler de dikkate alınarak daha hassas sonuç üretildiği görülmektedir.

## 5.4. Bayes Teoremi

### 5.4.1. Parametrelerin Belirlenmesi

Bayes Teoremi, olasılıksal ilişkileri modellemek için kullanılan grafiksel bir yöntemdir. Bu teorem, değişkenler arasındaki bağımlılıkları ve koşullu bağımlılıkları temsil eden yönlendirilmiş döngüsüz grafikler şeklinde düzenlenir. Özellikle, doğrudan veri seti bulunmayan durumlarda ya da veri kısıtlı olduğunda, uzman bilgisi veya nitel gözlemlerle bu ağların parametreleri (koşullu olasılık dağılımları) tahmin edilebilir ve yapılandırılabilir. Nitel gözlemlerle puanlandırma yapısına örnek verecek olursak, belirli bir hava durumu verildiğinde futbol oynanabilirliğin olasılığının hesaplanması düşünülebilir. Burada Hava Durumu (Güneşli, Bulutlu, Yağmurlu) ve Futbol Oynama (Evet, Hayır) gibi iki temel değişkenimiz vardır. Bağlantılar ve koşullu olasılıklara baktığımızda ise; “Hava Durumu" düğümünün olasılıkları direkt olarak belirli olabilir (Güneşli: %50, Bulutlu: %30, Yağmurlu:

%20). Benzer şekilde, “Futbol Oynanabilir" düğümü, "Hava Durumu" düğümüne bağlıdır ve koşullu olasılık değerleri Tablo 5.11’de gösterilmiştir. Burada kullanılan H ve L değerleri futbol oynanabilirliği üzerindeki risk puanlarını temsil eder ve tarihsel veriler, uzman görüşleri ve istatistiksel analizler kullanılarak belirlenir. Tarihsel veriler ile geçmiş hava durumu verileri ve futbol oynanabilirliği kayıtları analiz edilerek, hangi koşullarda futbol oynanma olasılığının yüksek olduğu belirlenir; uzman görüşleri ile meteorologlar ve spor analistlerinin görüşleri alınarak, hava durumunun futbol oynanabilirliği üzerindeki etkileri değerlendirilir; istatistiksel analizlerle ise hava durumu ve futbol oynanabilirliği arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak analiz edilerek risk katsayıları belirlenir.

**Tablo 5.11:** Hava durumuna göre futbol oynanabilirlik olasılıkları.

| Futbol Oynanabilirlik | Hava Durumu | | |
|---|---|---|---|
| | Güneşli | Bulutlu | Yağmurlu |
| Evet (Düşük/L) | %90 | %70 | %10 |
| Hayır (Yüksek/H) | %10 | %30 | %90 |

Güneşli hava durumu, futbol oynamak için ideal koşulları ifade eder. Bu durumda risk düşük olarak değerlendirilir. Güneşli hava için düşük risk puanı (L) verilir, bu da futbol oynanabilirliğin yüksek olduğu anlamına gelir. Bulutlu hava durumu, futbol oynamak için orta derecede uygun koşulları ifade eder. Bu durumda risk orta seviyede değerlendirilir. Bulutlu hava için düşük risk puanı (L) verilir, bu da futbol oynanabilirliğin yüksek düzeyde olduğu anlamına gelir. Yağmurlu hava durumu, futbol oynamak için kötü koşulları ifade eder. Bu durumda risk yüksek olarak değerlendirilir. Yağmurlu hava için yüksek risk puanı (H) verilir, bu da futbol oynanabilirliğin düşük olduğu anlamına gelir.

Bayes Teoremi ile çıkarım yapmak için çeşitli algoritmalar kullanılabilir. En yaygın olanlarından biri değişkenlerin değerlerini belirterek ağ üzerinde olasılıkları güncellemektir. Örneğin, hava durumunun "Güneşli" olduğu bilindiğinde, "Futbol Oynanabilir" olasılığı yeniden hesaplanır ve %90 olarak güncellenir. Çalışma kapsamında fiziki kayıp yönetimi bileşenleri Rapor Edilen Sızıntılar (RpL), Rapor Edilmeyen Sızıntılar (URpL), Depo Sızıntıları (Wleak), Personel ve Ekipman Yönetimi (Peqm) ve Bakım ve İşletme Yönetimi (Opm) ana başlıkları altında toplanmış ve toplamda 39 parametre belirlenmiştir. Belirlenen 39 adet bayes teoremi parametreleri Tablo 5.12’de gösterilmiştir.

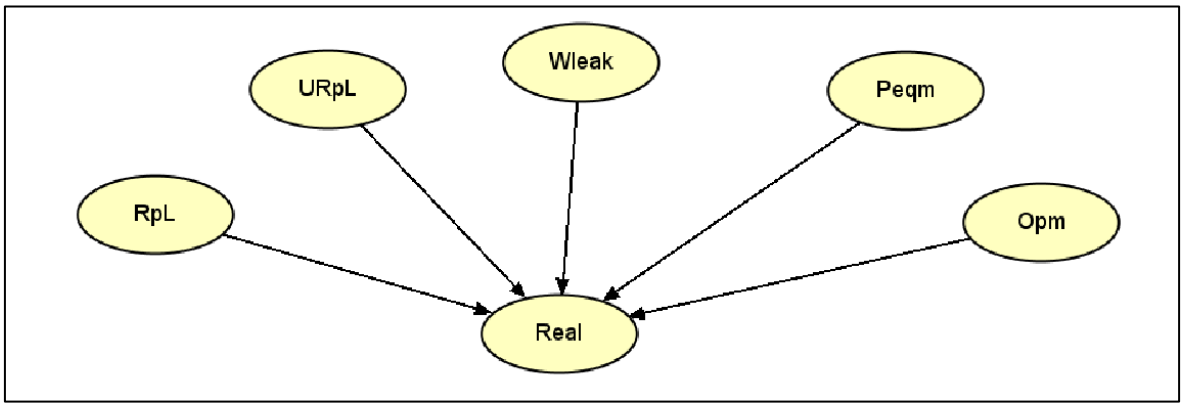
**Tablo 5.12:** Fiziki kayıp yönetiminde bayes teoremi parametreleri.

| Rapor Edilen Sızıntılar (RpL) | Rapor Edilmeyen Sızıntılar (URpL) | Depo Sızıntıları (Wleak) | Personel ve Ekipman Yönetimi (Peqm) | Bakım ve İşletme Yönetimi (Opm) |
|---|---|---|---|---|
| Çağrı Merkezi Sisteminin Olmaması/Yetersiz Olması (Cc) | Sızıntı Hacminin Azaltılması İçin Basınç Yönetiminin Uygulanmaması/Yetersiz Olması (Lpm) | Kurum ve Personelin Depo Yönetimi Deneyiminin Yetersiz Olması (Wme) | Arıza Onarım Ekip Kapasitesinin Yetersiz Olması (Feq) | Arıza Verilerin ve Kayıtlarının Raporlanmaması (Fdata) |
| Arıza Yönetim Sistemi (CBS ile Entegreli) Yetersiz Olması (Fm) | Sızıntıların Sahada Belirlenmesi için Strateji Geliştirilmemesi (Lms) | Depo Bakım Onarım Programının Olmaması/Yetersiz Olması (Wom) | Arıza Onarım Ekipman Kapasitesinin Yetersiz Olması (Fmc) | Dağıtım Sistemi CBS Veri Tabanının Güncel Olmaması (Gis) |
| Yeni Arıza Oluşumunun Engellenmesi için Basınç Yönetiminin Uygulanmaması (FPm) | Aktif Sızıntı Kontrolü Stratejisinin Uygulanmaması (Alc) | Depolarda Meydana Gelen Sızıntıların Tespit Edilmemesi (Wld) | Kurum ve Personelin Arıza Yönetimi Deneyiminin Yetersiz Olması (Fpe) | İşletme Basıncının Yüksek Olması (Oprs) |
| Arıza Onarım Süresinin Yüksek Olması (Rt) | İzole Ölçüm Bölgelerinin Oluşturulmaması (DMA) | SCADA Depo İzleme Sisteminin Olmaması/Yetersiz Olması (Wsd) | Kurum ve Personelin Sızıntı Yönetimi Deneyiminin Yetersiz Olması (Flme) | Vana Veri Tabanının Güncel Olmaması (Vdata) |
| Arıza Onarım Kalitesinin Kötü Olması (Rq) | Minimum Gece Debisinin Analiz Edilmemesi ve İzlenmemesi (MNF) | Depolarda Sızıntı Yönetimi ve Önlenme Stratejisinin Olmaması (Wlc) | Sızıntı Tespit Ekipman Altyapısının Yetersiz Olması (Ldee) | Şebeke Bakım ve Onarım Yönetim Sisteminin (CBS ile Entegreli) Yetersiz olması (Cnmo) |
| Uygun Olmayan Malzeme Seçimi (Ms) | Hidrolik Model Tabanlı Sızıntı Tespitinin Yapılmaması (Hm) | Depo Bakım ve Kontrol Ekip Kapasitesinin Yetersiz Olması (Wpe) | Sızıntı Tespit Ekip Kapasitesinin Yetersiz Olması (Leqe) | Vana Bakım-Onarım ve Kontrol Programının Yetersiz Olması (Cvmo) |
| Arızaya Sebep Olan Faktörlerin Analiz Edilmemesi (Fa) | Bölgesel Kaydedici ve Korelatör ile Sızıntı Tespitinin Yapılmaması (Rc) | Depo Yönetimi Ekipman Altyapısının Yetersiz Olması (Weq) | Personel İçin Teknik Eğitimin Yetersiz Olması (Pedu) | Şebeke Yaşının Fazla Olması (Age) |
| | Sistemin Gerçek Zamanlı İzlenmemesi (Rtm) | Depo ve Kontrol Elemanlarında İşçilik Kalitesinin Kötü Olması (Wtw) | | Önleyici Bakım Politikasının Uygulanmaması (Prev) |
| | Tespit Edilen Sızıntıların Onarım Süresinin Yüksek Olması (Lrt) | | | |

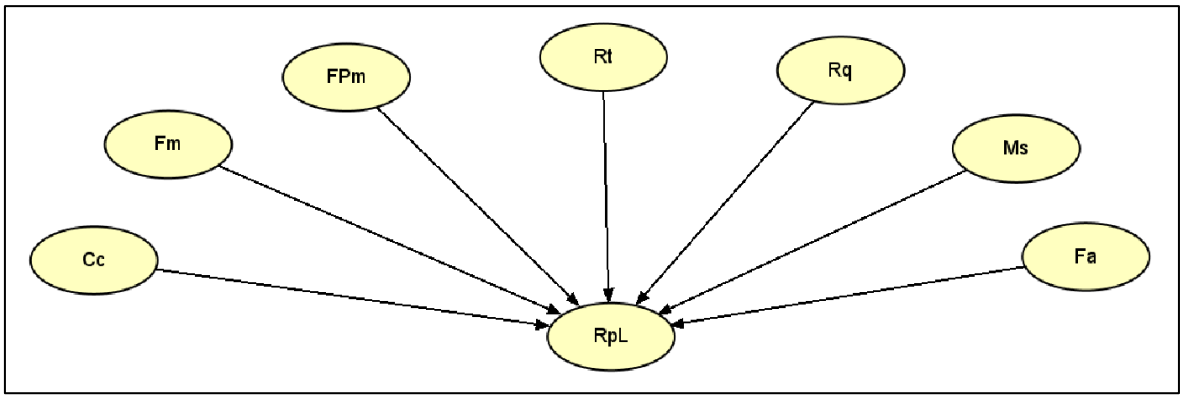
### 5.4.2. Bayes Teoremi Ağ Yapısının Oluşturulması

Ana (ebeveyn) ve alt (çocuk) parametreler belirlendikten sonra ilişkileri gösteren Bayes Teoremi ağ yapısı grafiksel olarak oluşturulmalıdır. Bayes Teoremi ağ yapısı ise değişken ve değişkenler arasındaki bir dizi yönlendirilmiş bağlantıdan oluşur. Bu bağlantılar sonucunda bazı değişkenler ebeveyn düğüm bazıları ise çocuk düğüm olarak nitelendirilir. Parametrelerin belirlenmesiyle birlikte altı adet ağ yapısı oluşturulmuştur. Bu ağ yapılarından beş tanesi fizik kayıp değişkenleri olan Rapor Edilen Sızıntılar (RpL), Rapor Edilmeyen Sızıntılar (URpL), Depo Sızıntıları (Wleak), Personel ve Ekipman Yönetimi (Peqm) ve Bakım ve İşletme Yönetimi (Opm) için ayrı ayrı oluşturulmuştur ve altıncısı ise tüm bu değişkenlerin bir arada değerlendirildiği Fiziki Kayıplar (Real) ağ yapısıdır. Fiziki Kayıplar (Real) ağ yapısı incelendiğinde ise Real düğümü çocuk düğüm; RpL, URpL, Wleak, Peqm ve Opm düğümleri ise ebeveyn düğüm olarak tasarlanmıştır. Fiziki Kayıplar (Real), Rapor Edilen Sızıntılar (RpL), Rapor Edilmeyen Sızıntılar (URpL), Depo Sızıntıları (Wleak), Personel ve Ekipman Yönetimi (Peqm) ve Bakım ve İşletme Yönetimi (Opm) için oluşturulan ağ yapıları sırasıyla Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de gösterilmiştir.

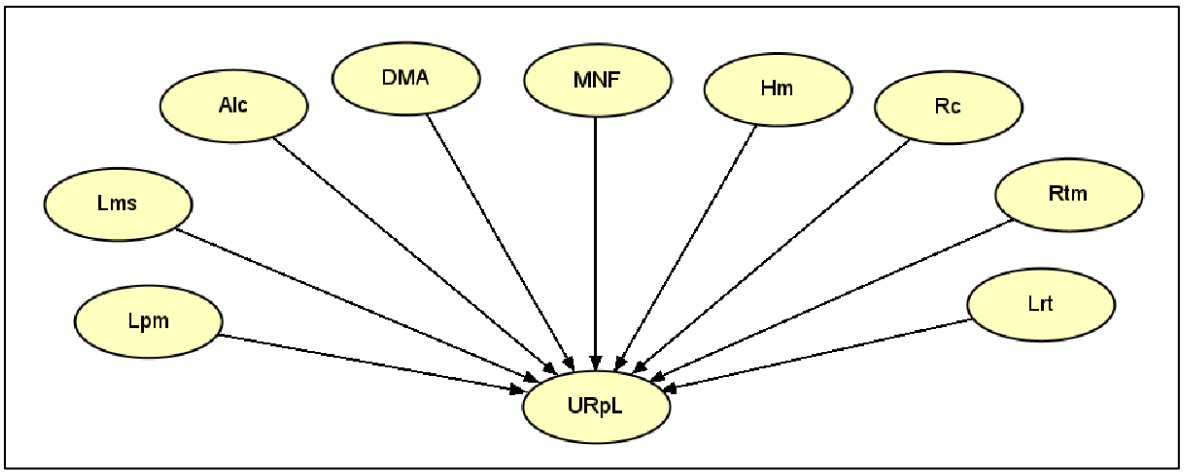
Ağ yapıları oluşturulduktan sonra her bir değişkenin ve bu değişenlerinde kendi içlerinde gerçekleşme olasılığını hesaplamak için Hugin Lite (Hugin Lite 9.4 version) yazılımına girişleri yapılmıştır.



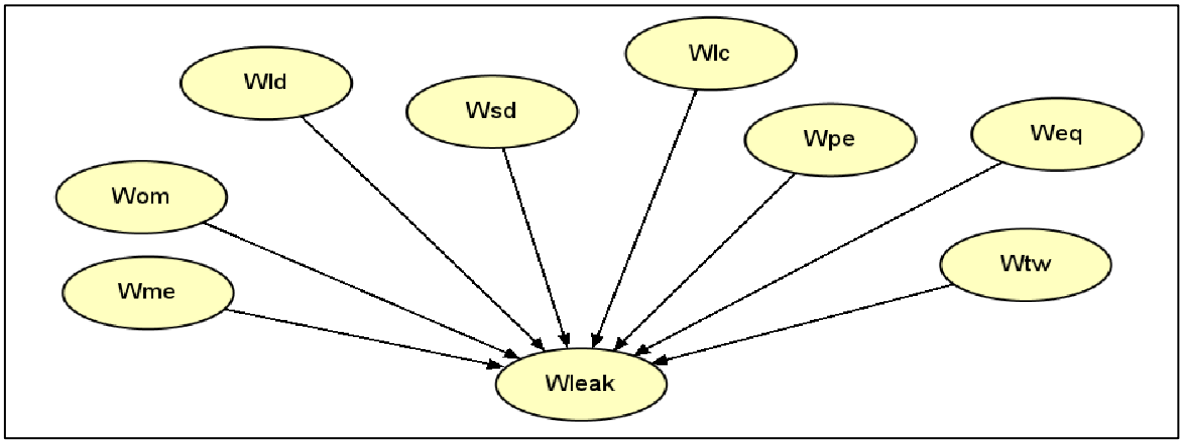

**Şekil 5.7:** Fiziki kayıplar (Real) ağ yapısı.



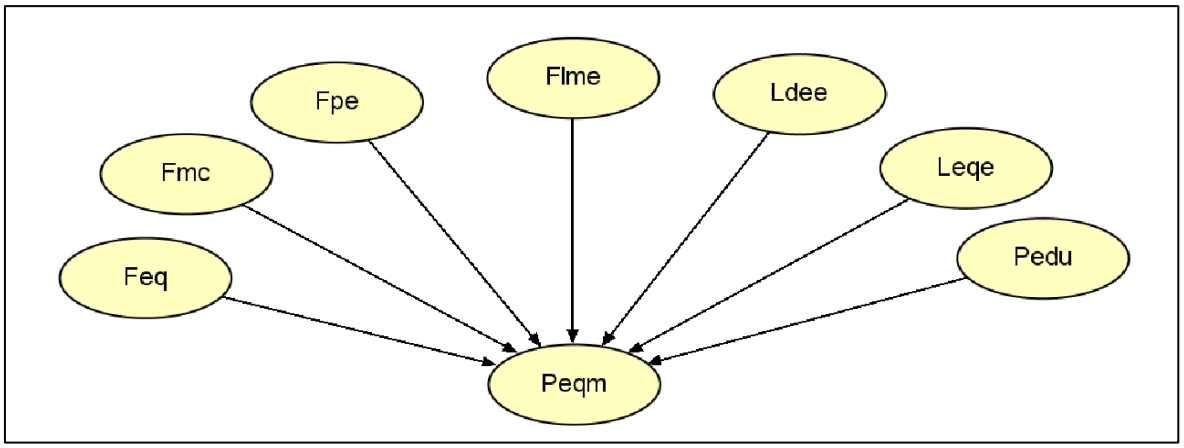

**Şekil 5.8:** Rapor edilen sızıntılar (RpL) ağ yapısı.



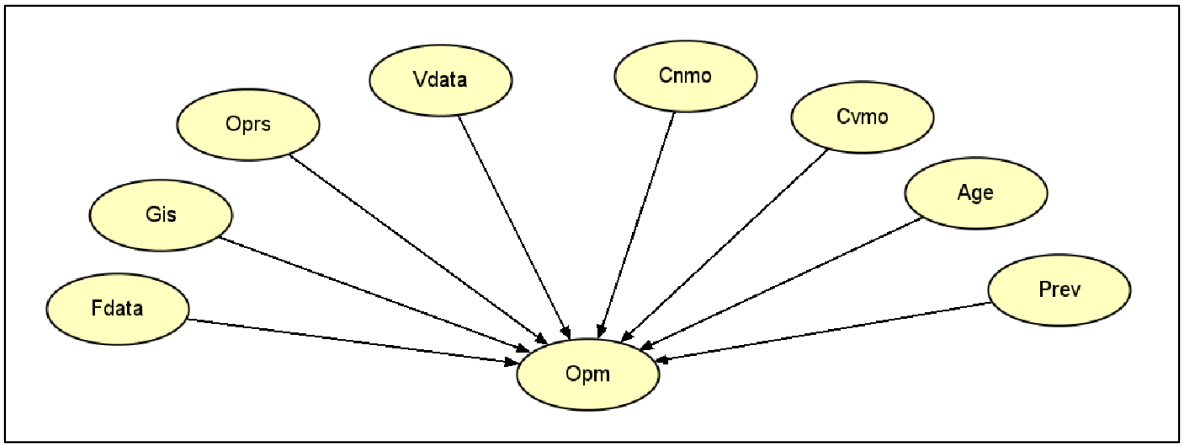

**Şekil 5.9:** Rapor edilmeyen sızıntılar (URpL) ağ yapısı.




**Şekil 5.10:** Depo sızıntıları (Wleak) ağ yapısı.




**Şekil 5.11:** Personel ve ekipman yönetimi (Peqm) ağ yapısı.

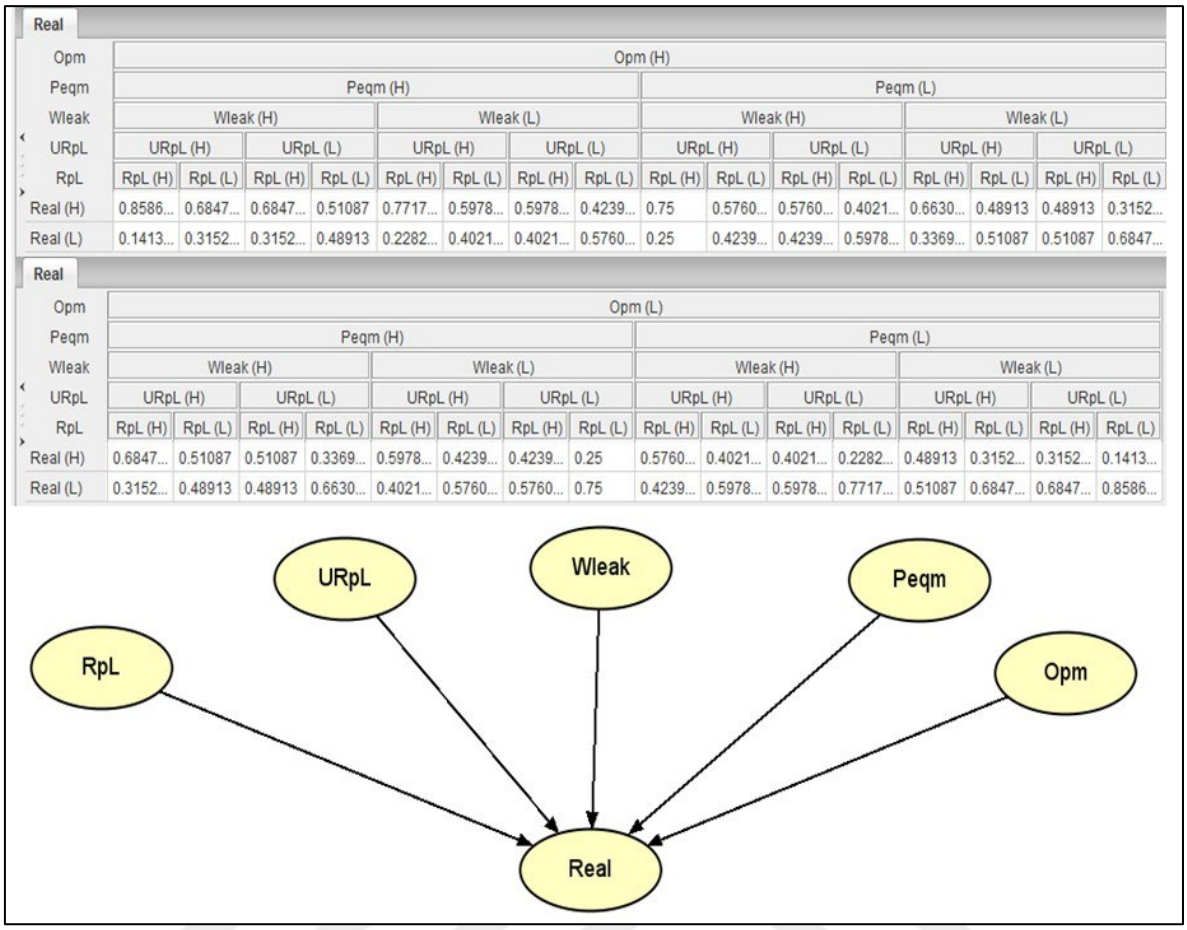



**Şekil 5.12:** Bakım ve işletme yönetimi (Opm) ağ yapısı.

Ağ yapısı oluşturulan her bir değişken için koşullu olasılık tabloları oluşturulur. Oluşturulan koşullu olasılık tabloları uzman kişiler tarafından doldurulmuştur. Fiziki kayıplar (Real) durumunun koşullu olasılık tablosu Tablo 5.13'de verilmiştir. Burada "H" durumun "Yüksek" olmasını "L" ise "Düşük" olması durumunu temsil etmektedir. Daha sonra doldurulan bu koşullu olasılık tablolarındaki ifadelere karşılık gelen sayısal değerler Hugin Lite (Hugin Lite 9.4 version) yazılımına aktarılıp parametrelerin gerçekleşme olasılıkları hesaplanır. Real düğümünün ilişkili olduğu diğer düğümler ile durumlarının "Yüksek (H)" veya "Düşük (L)" olmasına karşılık gelen sayısal değerlerin programa aktarılmış halinin görüntüsü Şekil 5.13'de gösterilmiştir.

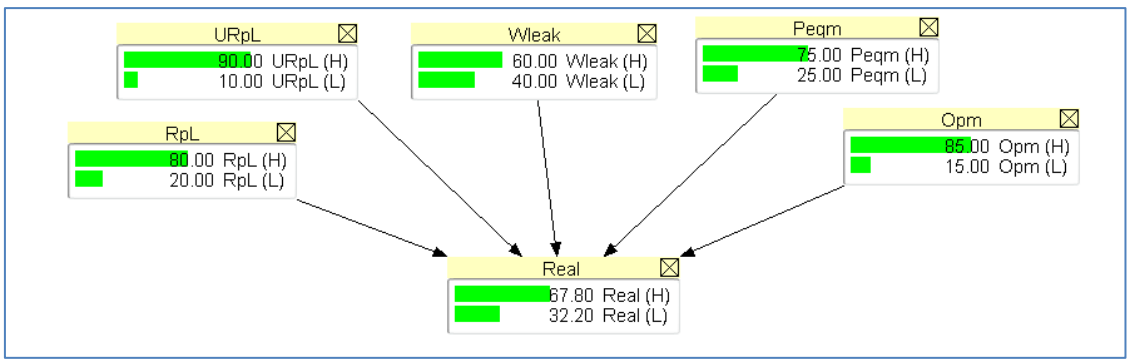
**Tablo 5.13:** Fiziki kayıplar (Real) koşullu olasılık tablosu.

| S.No | Opm | Peqm | Wleak | URpL | RpL | Real |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | H | H | H | H | H | H |
| 2 | H | H | H | H | L | H |
| 3 | H | H | H | L | H | H |
| 4 | H | H | H | L | L | H |
| 5 | H | H | L | H | H | H |
| 6 | H | H | L | H | L | H |
| 7 | H | H | L | L | H | H |
| 8 | H | H | L | L | L | L |
| 9 | H | L | H | H | H | H |
| 10 | H | L | H | H | L | H |
| 11 | H | L | H | L | H | H |
| 12 | H | L | H | L | L | L |
| 13 | H | L | L | H | H | H |
| 14 | H | L | L | H | L | L |
| 15 | H | L | L | L | H | L |
| 16 | H | L | L | L | L | L |
| **17** | L | H | H | H | H | H |
| 18 | L | H | H | H | L | H |
| 19 | L | H | H | L | H | H |
| 20 | L | H | H | L | L | L |
| 21 | L | H | L | H | H | H |
| 22 | L | H | L | H | L | L |
| 23 | L | H | L | L | H | L |
| 24 | L | H | L | L | L | L |
| 25 | L | L | H | H | H | H |
| 26 | L | L | H | H | L | L |
| 27 | L | L | H | L | H | L |
| 28 | L | L | H | L | L | L |
| 29 | L | L | L | H | H | L |
| 30 | L | L | L | H | L | L |
| 31 | L | L | L | L | H | L |
| 32 | L | L | L | L | L | L |



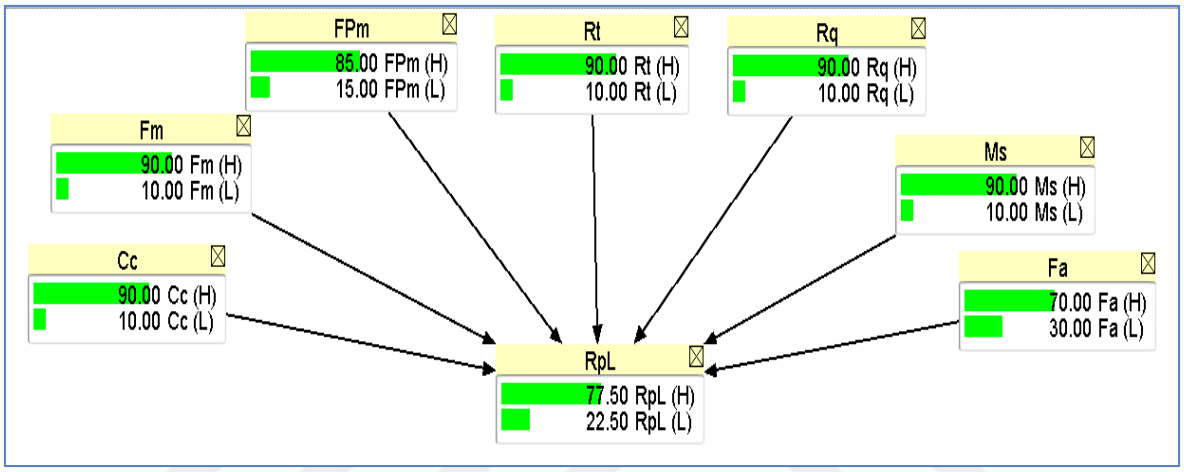

**Şekil 5.13:** Real düğümünün sayısal değerlerin programa aktarılmış halinin görüntüsü.

Fiziki Kayıplar (Real) koşullu olasılık tablosunun gösterildiği Şekil 5.14 incelendiğinde parametrelerin fiziki kayıplara etkisinin yüksek olma olasılığı en fazla %90.00 ile Rapor Edilmeyen Sızıntılar (URpL) olduğu görülmektedir ve onu %85.00 ile Bakım ve İşletme Yönetimi (Opm) takip etmektedir.



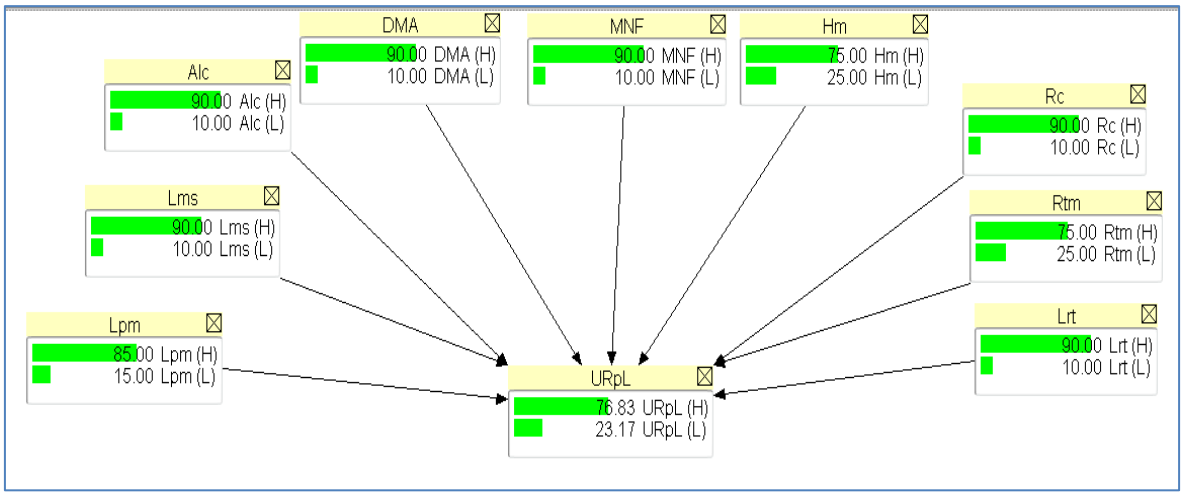

**Şekil 5.14:** Fiziki kayıplar (Real) koşullu olasılık tablosu.

Şekil 5.15'de gösterilen Rapor Edilen Sızıntıları (RpL) koşullu olasılık tablosu değerleri incelendiğinde yüksek ve düşük etkilenme olasılığı sırasıyla %77.50 ve %22.50'dir. Rapor edilen sızıntılar üzerinde yüksek etkileme olasılığı en fazla olan parametreler sırasıyla arıza onarım süresinin yüksek olması (Rt), arıza yönetim sistemi (CBS ile Entegreli) yetersiz olması (Fm) ve çağrı merkezi sistemi yetersiz olması (Cc), Arıza Onarım Kalitesinin Kötü Olması (Rq) ve Uygun Olmayan Malzeme Seçimi (Ms) şeklindedir. Parametreler için olasılık değerleri aynı olup değer ise %90.00'dır.



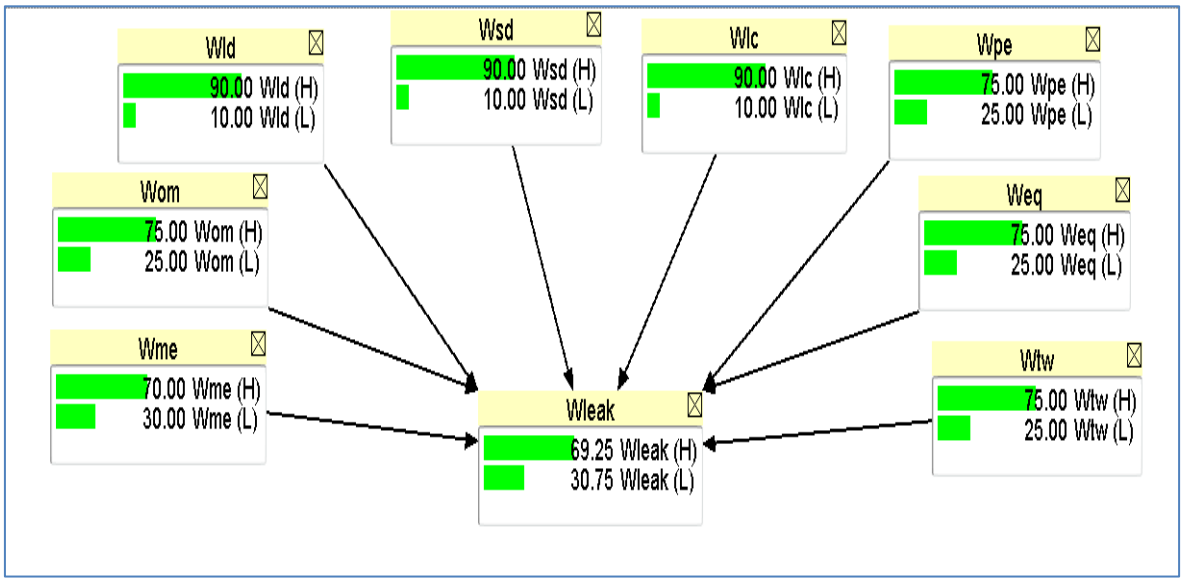

**Şekil 5.15:** Rapor edilen sızıntılar (RpL) koşullu olasılık tablosu.

Rapor Edilmeyen Sızıntılar (URpL) değişkenin Şekil 5.16'daki koşullu olasılık tablosuna bakıldığında yüksek etkileme olasılığı en düşük olan parametre sistemin gerçek zamanlı izlenmemesidir (Rtm) ve sonrasında ise sızıntı hacminin azaltılması için basınç yönetiminin uygulanmaması/yetersiz olması (Lpm) gelmektedir. Bu parametrelerin yüksek ve düşük gerçekleşme olasılık değerleri ise sırasıyla %75.00 ve %25.00 ile %85.00 ve %15.00 şeklindedir. Rapor Edilmeyen Sızıntıların (URpL) ise yüksek ve düşük etkilenme olasılığı sırasıyla %76.83 ve %23.17'dir.



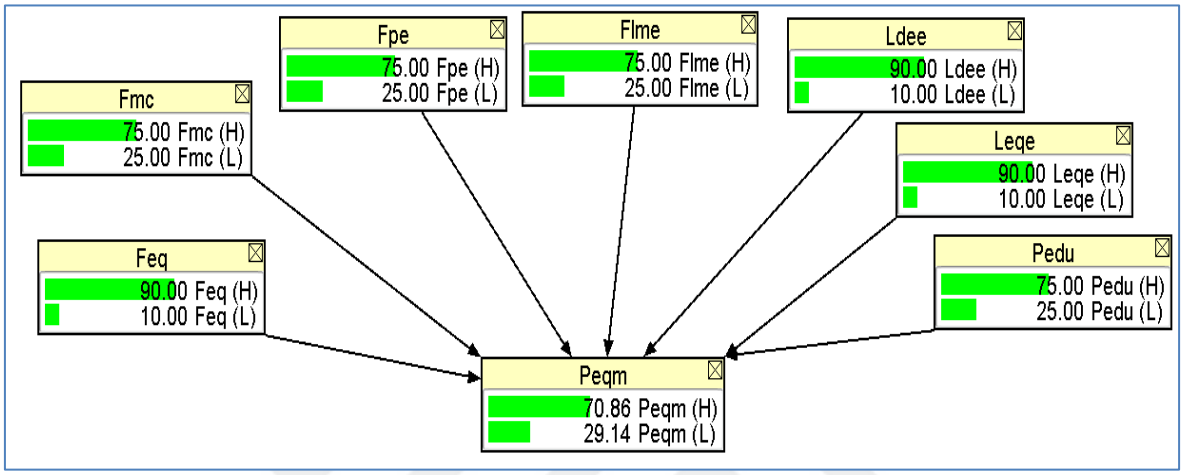

**Şekil 5.16:** Rapor edilmeyen sızıntılar (URpL) koşullu olasılık tablosu.

Şekil 5.17'deki gösterilen koşullu olasılık tabloları incelendiğinde ise Depo Sızıntılarına (Wleak) yüksek olasılık etkisinin en fazla olduğu ilk üç parametresırası ile depolarda sızıntı yönetimi ve önlenme stratejisi olmaması (Wlc), SCADA Depo İzleme Sisteminin Olmaması/Yetersiz Olması (Wsd) ve Depolarda Meydana Gelen Sızıntıların Tespit Edilmemesi (Wld) şeklindedir. Bu parametrelerin yüksek gerçekleşme olasılık değerleri ise %90.00'dır.



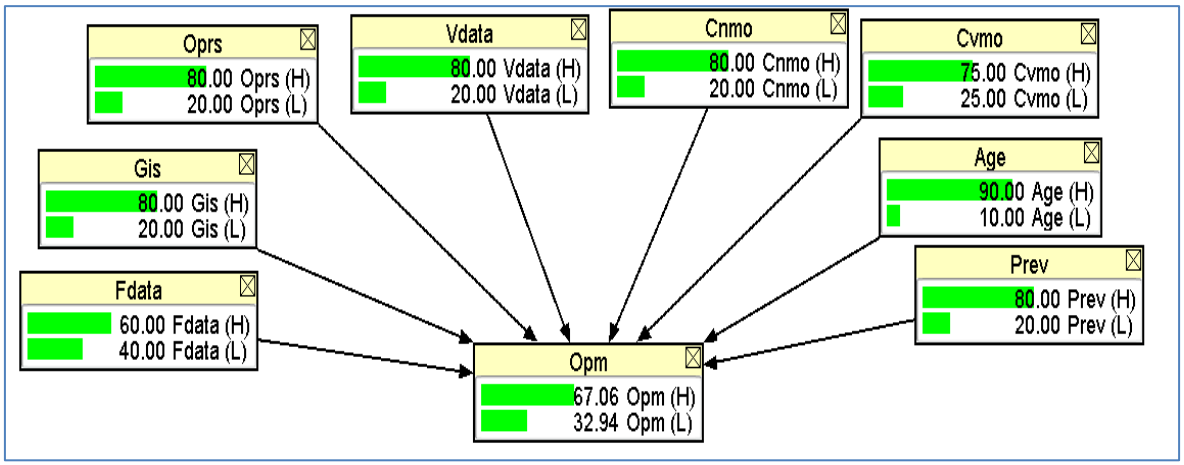

**Şekil 5.17:** Depo sızıntıları (Wleak) koşullu olasılık tablosu.

Personel ve Ekipman Yönetimi (Peqm) koşullu olasılık tablosuna bakıldığında yüksek olasılık etkisinin en fazla olduğu ilk üç parametre sırası ile Arıza Onarım Ekip Kapasitesinin Yetersiz Olması (Feq), Sızıntı Tespit Ekipman Altyapısının Yetersiz Olması (Ldee) ve Sızıntı Tespit Ekip Kapasitesinin Yetersiz Olması (Leqe) şeklindedir. Bu parametrelerin yüksek gerçekleşme olasılık değerleri ise %90.00'dır.




**Şekil 5.18:** Personel ve ekipman yönetimi (Peqm) koşullu olasılık tablosu.

Başka bir değişken olan Bakım ve İşletme Yönetimi (Opm)'nin Şekil 5.19'da verilen koşullu olasılık tablosu değerleri incelendiğinde yüksek etkileme olasılığı en düşük olan parametre %60.00 ile arıza verilerin ve kayıtlarının raporlanmaması (Fdata) olup bu parametreyi ise %75.00 ile vana bakım-onarım ve kontrol programının yetersiz olması (Cvmo) takip etmektedir. Bakım ve İşletme Yönetiminin (Opm) etki değerlerine bakıldığında ise yüksek ve düşük etkilenme olasılığı sırasıyla %67.06 ve %32.94'dür.




**Şekil 5.19:** Bakım ve işletme yönetimi (Opm) koşullu olasılık tablosu.

### 5.4.3. Duyarlılık Analizi

Bayes Teoremi ağları oluşturularak fiziki kayıplara etki eden parametrelerin her bir durumunun olasılığı tanımlanmıştır. Analizler tanımlandıktan sonra ağda yer alan ebeveyn düğümlerin (ana düğümlerin) çocuk düğümler (alt düğümler) üzerindeki olasılık durumlarında meydana gelen değişimlerin ağ yapısını nasıl etkilediğini görmek için duyarlılık analizi yapılmıştır.

Duyarlılık analizi yapılırken Hugin Lite (Hugin Lite 9.4 version) yazılımına tanımlanan Fiziki Kayıplar (Real), Rapor Edilen Sızıntılar (RpL), Rapor Edilmeyen Sızıntılar (URpL), Depo Sızıntıları (Wleak), Personel ve Ekipman Yönetimi (Peqm) ve Bakım ve İşletme Yönetimi (Opm) her bir ağ yapısındaki ebeveyn düğümlerin ayrı ayrı "Yüksek" durumu %100 olduğu zamandaki çocuk düğümlerin "Yüksek" durumlarındaki değişimler dikkate alınmıştır. Bu bağlamda, Duyarlılık İndekesi (DI) önerilmiştir (Massoud Tabesh vd., 2018b). Duyarlılık İndeksi (DI) Denklem 5.4'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$DI = \frac{\Delta C_i}{\Delta P_i} \tag{5.4}$$

Burada $\Delta P_i$: ana düğüm değişimi, $\Delta C_i$: alt düğüm değişimini ifade eder. Denklem 5.4'e göre bir parametrenin DI değeri ne kadar yüksek ise fiziki kayıp yönetimi değişkenlerinin risk değerlendirilmesi için öncelikleri o kadar yüksektir. Fiziki Kayıplar (Real), Rapor Edilen Sızıntılar (RpL), Rapor Edilmeyen Sızıntılar (URpL), Depo Sızıntıları

(Wleak), Personel ve Ekipman Yönetimi (Peqm) ve Bakım ve İşletme Yönetimi (Opm) için hesaplanan Duyarlılık İndeksleri (DI) küçükten büyüğe Tablo 5.14'de verilmiştir.

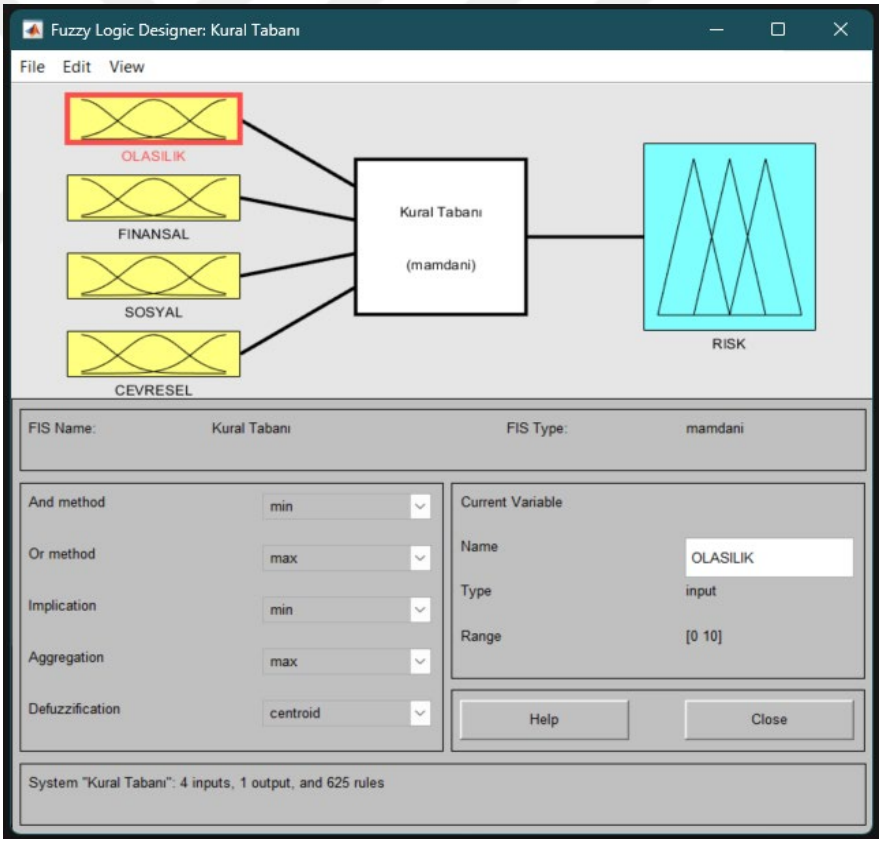
**Tablo 5.14:** Fiziki kayıp yönetimi bileşeni parametreleri duyarlılık indeksleri (DI).

| **Real** | | **RpL** | | **URpL** | | **Wleak** | | **Peqm** | | **Opm** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Wleak** | 4.00% | **Fa** | 5.70% | **Hm** | 5.56% | **Wme** | 5.00% | **Fmc** | 7.12% | **Fdata** | 2.50% |
| **Peqm** | 10.00 % | **FPm** | 10.00 % | **Rlm** | 5.56% | **Wom** | 6.24% | **Fpe** | 7.12% | **Cvmo** | 6.28% |
| **RpL** | 12.00 % | **Cc** | 11.40 % | **Lpm** | 7.80% | **Wpe** | 6.24% | **Flme** | 7.12% | **Gis** | 7.50% |
| **Opm** | 14.00 % | **Fm** | 11.40 % | **Lms** | 8.90% | **Weq** | 6.24% | **Pedu** | 7.12% | **Oprs** | 7.50% |
| **URpL** | 16.00 % | **Rt** | 11.40 % | **Alc** | 8.90% | **Wtw** | 6.24% | **Feq** | 11.40% | **Vdata** | 7.50% |
| | | **Rq** | 11.40 % | **DMA** | 8.90% | **Wld** | 10.00 % | **Ldee** | 11.40% | **Cnmo** | 7.50% |
| | | **Ms** | 11.40 % | **MNF** | 8.90% | **Wsd** | 10.00 % | **Leqe** | 11.40% | **Prev** | 7.50% |
| | | | | **Rc** | 8.90% | **Wlc** | 10.00 % | | | **Age** | 10.00 % |
| | | | | **Lrt** | 8.90% | | | | | | |

Tablo 5.14'deki Fiziki Kayıplar ve bileşenleri üzerinde etkili olan parametrelerin Duyarlılık İndeksleri (DI) incelendiğinde düşük öncelikten yüksek önceliğe sahip parametreler sırasıyla Fiziki Kayıplar (Real) için depo sızıntıları (Wleak, %4.00), Rapor Edilen Sızıntılar (RpL) için arızaya sebep olan faktörlerin analiz edilmemesi (Fa, %5.70), Rapor Edilmeyen Sızıntılar (URpL) için hidrolik model tabanlı sızıntı tespitinin yapılmaması (Hm, %5.56) ve sistemin gerçek zamanlı izlenmemesi (Rtm, %5.56), Depo Sızıntıları (Wleak) için kurum ve personelin depo yönetimi deneyiminin yetersiz olması (Wme, %5.00) şeklindedir. Personel ve Ekipman Yönetimi (Peqm) için bakıldığında en düşük duyarlılık indisine sahip dört adet parametre bulunmakta ve bu değer %7.12'dir. Bu değere sahip parametreler ise sırasıyla arıza onarım ekipman kapasitesinin yetersiz olması (Fmc), kurum ve personelin arıza yönetimi deneyiminin yetersiz olması (Fpe), kurum ve personelin sızıntı yönetimi deneyiminin yetersiz olması (Flme) ve personel için teknik eğitimin yetersiz olması (Pedu) şeklindedir. Bakım ve İşletme Yönetimi (Opm) için arıza verilerin ve kayıtlarının raporlanmaması (Fdata, %2.50) düşük önceliğe sahiptir.

## 5.5. Bulanık Mantık Modelinin Kurulması

Fiziki kayıplar ve bileşenlerinin olasılıkları Bayes Teoremi yöntemi ile tahmin edilmiştir. Bu bölümde fiziki kayıplar ve bileşenlerinin bulanık riskini hesaplamak için olasılık ve fiziki kayıp yönetimi bileşeni sonuçlarının (finansal, sosyal ve çevresel) üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Fiziki kayıplar ve bileşenlerinin bulanık riskini hesaplamak için Mamdani çıkarım sisteminden faydalanılmıştır. Girdi değişkeni olarak tanımlanan finansal, sosyal ve çevresel parametreleri üçgen üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanıklaştırılırken çıktı değişkeni olan risk parametresi trapez üyelik fonksiyonu kullanılarak bulanıklaştırılmıştır. Kullanılan Matlab programının açılış ekran görüntüsü Şekil 5.20'da gösterildiği gibidir. Daha sonra beş fiziki kayıp yönetimi bileşeninin riski hesaplanmasının akabinde toplam risk değerini elde etmek için birbirleriyle toplanır.




**Şekil 5.20:** Matlab programında fuzzy modeli açılış ekran görüntüsü.

### 5.5.1. Fiziki Kayıp Yönetimi Bileşenlerinin Üyelik Fonksiyonları

Fiziki kayıpların gerçekleşme olasılığı rapor edilen sızıntılar (RpL), rapor edilmeyen sızıntılar (URpL), depo sızıntıları (Wleak), personel ve ekipman yönetimi (Peqm) ve bakım ve işletme yönetimi (Opm) olarak beş ayrı kategoride tahmin edilmektedir. Kategorilerdeki her bir parametre için Bayes Teoremi ağı çıktıları "Yüksek" ve "Düşük" olmak üzere iki ölçüde düzenlenmiştir.

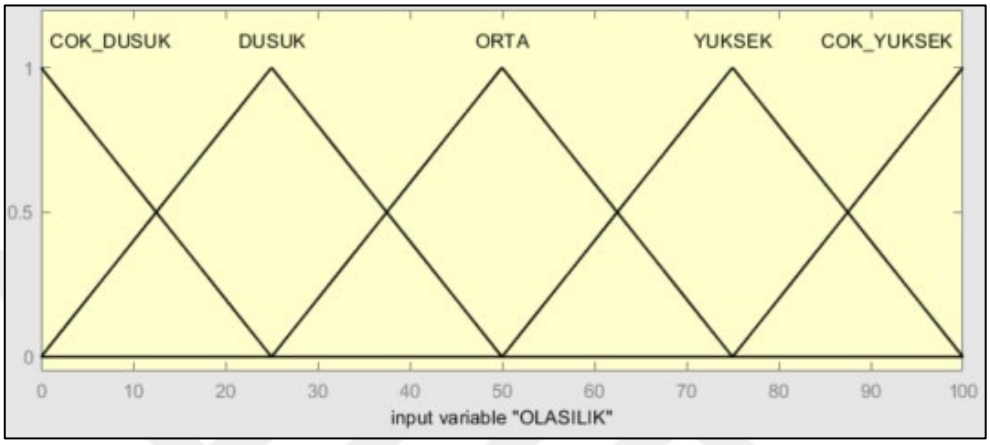
Risk değerlendirme sürecinde tüm parametrelerin olasılığını hesaba katmak için Bayes Teoremi ağının "Yüksek" ve "Düşük" ölçülerinin her birinin beklenen değerleri $W_1$ ve $W_2$ ($W_1$=0.75 ve $W_2$=0.25 olarak alınmıştır) ile çarpılıp toplanmalıdır. Toplama işlemi bulanık risk değerlendirmesi için bulanıklaştırılmış girdilere ihtiyaç duyulmasından dolayıdır. Bu işlem Denklem 5.5'e göre hesaplanmaktadır (Massoud Tabesh vd., 2018a) . Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerine ait parametreler için hesaplanan değerler Tablo 5.15'de gösterilmiştir.

$$Olasılık = (W_1 * Yüksek) + (W_2 * Düşük) \quad (5.5)$$

**Tablo 5.15:** Fiziki kayıp yönetimi bileşeni parametrelerine ait olasılık değeri hesaplama sonuçları.

| Real | | RpL | | URpL | | Wleak | | Peqm | | Opm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Wleak** | 55 | **Fa** | 60 | **Hm** | 62.5 | **Wme** | 60 | **Pedu** | 62.5 | **Fdata** | 55 |
| **Peqm** | 62.5 | **Fpm** | 67.5 | **Rlm** | 62.5 | **Wom** | 62.5 | **Fpe** | 62.5 | **Cvmo** | 62.5 |
| **RpL** | 65 | **Fm** | 70 | **Lpm** | 70 | **Wpe** | 62.5 | **Flme** | 62.5 | **Vdata** | 65 |
| **Opm** | 67.5 | **Cc** | 70 | **MNF** | 70 | **Weq** | 62.5 | **Fmc** | 62.5 | **Cnmo** | 65 |
| **URpL** | 70 | **Rq** | 70 | **Lrt** | 70 | **Wsd** | 70 | **Feq** | 70 | **Prev** | 65 |
| | | **Ms** | 70 | **DMA** | 70 | **Wtw** | 62.5 | **Ldee** | 70 | **Oprs** | 65 |
| | | **Rt** | 70 | **Alc** | 70 | **Wld** | 70 | **Leqe** | 70 | **Gis** | 65 |
| | | | | **Rc** | 70 | **Wlc** | 70 | | | **Age** | 70 |
| | | | | **Lms** | 70 | | | | | | |

Sonuçların değerlendirilmesinin kolay olması için sonuçlar çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş sınıfa ayrılmıştır. Elde edilen değerler daha sonrasında olasılık, finansal, sosyal ve çevresel üyelik fonksiyonları sırasıyla üçgen üyelik fonksiyonları aracılığıyla bulanıklaştırılır. Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri gerçekleşme olasılığı üyelik fonksiyonu Şekil 5.21'de gösterilmiştir.

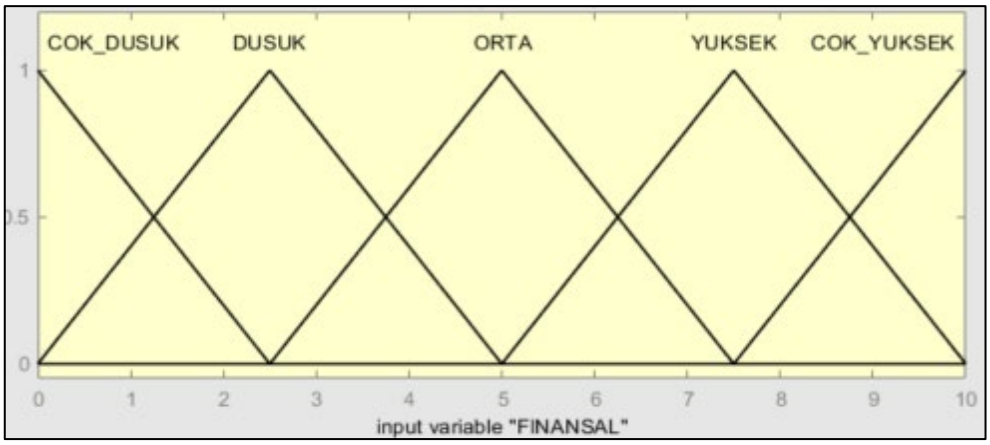



**Şekil 5.21:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri gerçekleşme olasılığı üyelik fonksiyonu.

Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin finansal etkilerinin sonuçları beş değişken için de ayrı ayrı Tablo 5.16'daki incelenmiştir. Fiziki su kayıpların azaltılması, altyapının sürekli onarım ve yeniden yapılanmasını gerektirir, bu da önemli maliyetler doğurur. Su kaybı, suyun üretim ve dağıtım maliyetlerinin artmasına yol açar, idarelerin gelirlerini azaltır ve nihayetinde tüketicilere yansır, su fiyatlarının artmasına neden olabilir. Bu durum, su hizmetlerine erişimi etkileyerek ekonomik eşitsizlikleri artırabilir. Çalışmada, fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin finansal sonuçları için tanımlanan bulanık üyelik fonksiyonu Şekil 5.22'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.16:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin finansal etkilerinin sonuçları.

| **Finansal Sonuçlar** | |
|---|---|
| Rapor Edilen Sızıntılar (RpL) | • Sızıntıların hızlı bir şekilde rapor edilmesi ve onarılması, su kayıplarını minimize eder ve maliyet tasarrufu sağlar.<br>• Erken müdahale, büyük hasarların ve yüksek onarım maliyetlerinin önüne geçer. |
| Rapor Edilmeyen Sızıntılar (URpL) | • Rapor edilmeyen sızıntılar, uzun süre fark edilmedikleri için büyük miktarda su kaybına neden olur. Bu durum, su kayıplarının maliyetini artırır.<br>• Sürekli su kaybı, altyapının zamanla daha fazla zarar görmesine ve büyük onarım maliyetlerine neden olabilir. |
| Depo Sızıntıları (Wleak) | • Depolardaki sızıntılar, suyun depolanması için yapılan yatırımın boşa gitmesine neden olur. Bu durum, suyun yeniden depolanması ve sızıntıların onarımı için ek maliyetler yaratır.<br>• Sızıntılar nedeniyle suyun verimli kullanılamaması, su temini maliyetlerini artırır ve tüketiciye yansıtılan su fiyatlarının yükselmesine neden olabilir. |
| Personel ve Ekipman Yönetimi (Peqm) | • Yetersiz eğitimli personel ve bakımı yapılmayan ekipmanlar, sık sık arızalara ve su kayıplarına yol açar. Bu durum, onarım ve bakım maliyetlerini artırır.<br>• Verimsiz ekipman kullanımı, su dağıtım sistemlerinin enerji maliyetlerini yükseltebilir. |
| Bakım ve İşletme Yönetimi (Opm) | • Düzenli bakım ve etkin işletme yönetimi, uzun vadede maliyet tasarrufu sağlar. Arızaların ve büyük onarımların önlenmesi, genel işletme maliyetlerini düşürür.<br>• İhmal edilen bakım, beklenmedik büyük arızalara ve yüksek onarım maliyetlerine yol açabilir. |

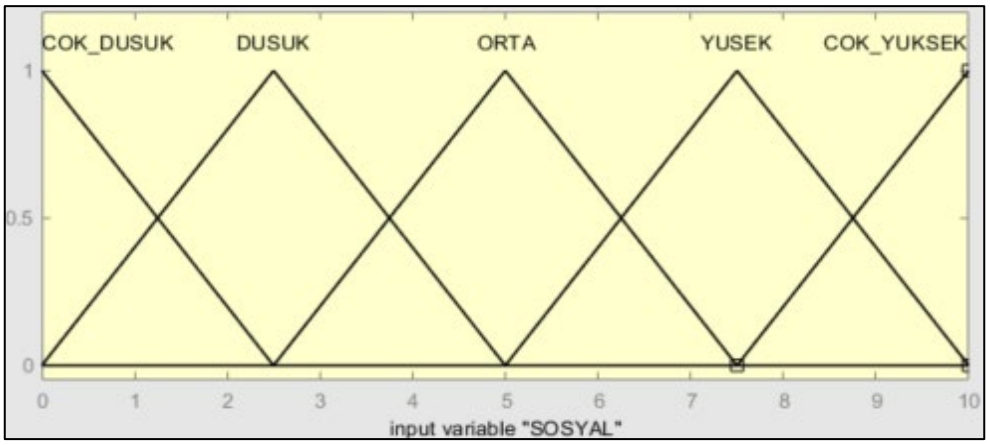



**Şekil 5.22:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri finansal üyelik fonksiyonu.

Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin sosyal etkilerinin sonuçları beş değişken için de ayrı ayrı Tablo 5.17'deki incelenmiştir. Fiziki su kayıpları, su temininde kesintilere ve kalite düşüşüne yol açar, bu da halk sağlığını tehdit eder. Her bir faktörün sosyal etkileri, su hizmetlerinin kalitesi, güvenilirliği ve sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Sürekli su sorunları, toplulukta memnuniyetsizlik ve güvensizlik yaratır. Ayrıca, su hizmetlerindeki aksaklıklar toplumsal huzursuzluğa ve adaletsizliğe neden olabilir, sosyal gerilimleri artırabilir. Toplumun su kaynaklarına erişimi ve bu kaynakların korunması, sosyal refahı doğrudan etkiler. Bu çalışmada, fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin sosyal sonuçları için tanımlanan bulanık üyelik fonksiyonu Şekil 5.23'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.17:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin sosyal etkilerinin sonuçları.

| **Sosyal Sonuçlar** | |
|---|---|
| Rapor Edilen Sızıntılar (RpL) | • Rapor edilen sızıntılar, hızlı bir şekilde onarıldığında su hizmetlerine olan güven artar. Toplum, su idaresinin sorunlara hızlı ve etkili bir şekilde müdahale ettiğini görerek memnuniyet duyar.<br>• Sızıntıların hızlıca onarılması, suyun kalitesini korur ve su kaynaklı sağlık risklerini minimize eder. Bu, halk sağlığını korur ve toplumda genel bir güvenlik duygusu oluşturur. |
| Rapor Edilmeyen Sızıntılar (URpL) | • Rapor edilmeyen sızıntılar, suyun fark edilmeden kaybolmasına neden olur. Bu, suyun kıt olduğu dönemlerde su temininde ciddi sorunlara yol açar ve toplumsal yaşamı olumsuz etkiler. |
| Depo Sızıntıları (Wleak) | • Depo sızıntıları, suyun son kullanıcıya ulaşmasını engelleyebilir. Bu, toplumda su temininde sıkıntılara yol açarak insanların günlük su ihtiyaçlarını karşılamalarını zorlaştırabilir.<br>• Depo sızıntıları nedeniyle kirli suyun kullanımı, su kaynaklı hastalıkların yayılmasına neden olabilir. Bu durum, özellikle çocuklar ve yaşlılar gibi hassas gruplarda ciddi sağlık problemlerine yol açabilir.<br>• Sürekli su kesintileri ve kalite problemleri, toplulukta su hizmetlerine olan güveni sarsabilir ve memnuniyeti azaltabilir. |
| Personel ve Ekipman Yönetimi (Peqm) | • Yetersiz personel eğitimi ve bakımsız ekipmanlar, su hizmetlerinin kalitesini düşürür. Bu durum, su kesintilerine ve düşük su kalitesine yol açarak toplulukta memnuniyetsizlik yaratır.<br>• İyi yönetilmeyen personel ve ekipman, iş gücü verimliliğini azaltır. Bu, su hizmetlerinin daha yavaş ve etkisiz bir şekilde sağlanmasına neden olur, bu da halkın günlük yaşamını olumsuz etkiler. |
| Bakım ve İşletme Yönetimi (Opm) | • Etkili bakım ve işletme yönetimi, suyun sürekli ve güvenilir bir şekilde temin edilmesini sağlar. Bu, toplumda yaşam kalitesini artırır ve memnuniyeti yükseltir. |

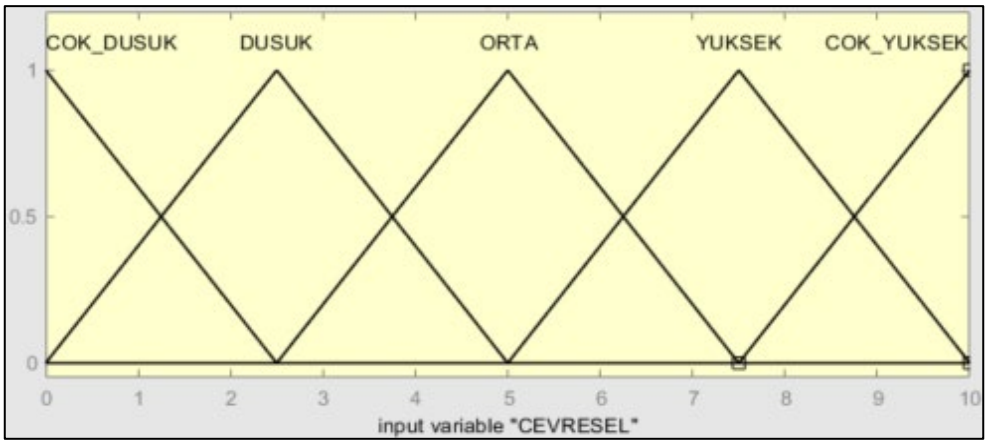



**Şekil 5.23:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri sosyal üyelik fonksiyonu.

Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin çevresel etkilerinin sonuçları beş değişken için de ayrı ayrı Tablo 5.18'deki incelenmiştir. Bu değişkenlerin çevresel etkileri, su kaynaklarının yönetimi ve korunması açısından önemlidir. Fiziki kayıplar, su kaynaklarının hızla tükenmesine, toprak ve yer altı suyu kirliliğine yol açar. Bu durum, ekosistem dengesizliğine ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olur. Ayrıca, verimsiz su yönetimi, enerji tüketimini artırarak karbon ayak izini büyütür ve iklim değişikliğine neden olur. Su kayıplarının minimize edilmesi hem çevresel sürdürülebilirliği artırır hem de doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur. Bu çalışmada, fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin çevresel sonuçları için tanımlanan bulanık üyelik fonksiyonu Şekil 5.24'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.18:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin çevresel etkilerinin sonuçları.

| **Çevresel Sonuçlar** | |
|---|---|
| Rapor Edilen Sızıntılar (RpL) | • Rapor edilen sızıntıların hızlıca onarılması, su kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlar ve çevresel sürdürülebilirliği destekler.<br>• Erken müdahale, çevresel zararları ve su kaynaklarının tükenmesini önler. |
| Rapor Edilmeyen Sızıntılar (URpL) | • Sürekli su kaybı, su kaynaklarının aşırı kullanımına ve tükenmesine yol açar. Bu durum, su ekosistemlerini ve biyolojik çeşitliliği olumsuz etkiler.<br>• Uzun süreli sızıntılar, yer altı suyu ve toprak kirliliğine neden olabilir. |
| Depo Sızıntıları (Wleak) | • Depo sızıntıları, suyun çevreye kontrolsüz bir şekilde yayılmasına neden olarak toprağı ve yer altı su kaynaklarını kirletebilir.<br>• Su kaybı, su kaynaklarının sürdürülebilirliğini tehdit eder ve ekosistemlerde su kıtlığına yol açabilir. |
| Personel ve Ekipman Yönetimi (Peqm) | • Ekipman arızaları ve su kayıpları, su kaynaklarının gereksiz yere tükenmesine ve çevresel ayak izinin artmasına neden olur.<br>• Verimli olmayan sistemler, enerji tüketimini artırarak karbon ayak izini büyütür. |
| Bakım ve İşletme Yönetimi (Opm) | • İyi yönetilen bir su dağıtım sistemi, su kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlar ve çevresel sürdürülebilirliği destekler.<br>• Bakımın ihmal edilmesi, su kaynaklarının israf edilmesine ve çevresel bozulmaya neden olabilir. |

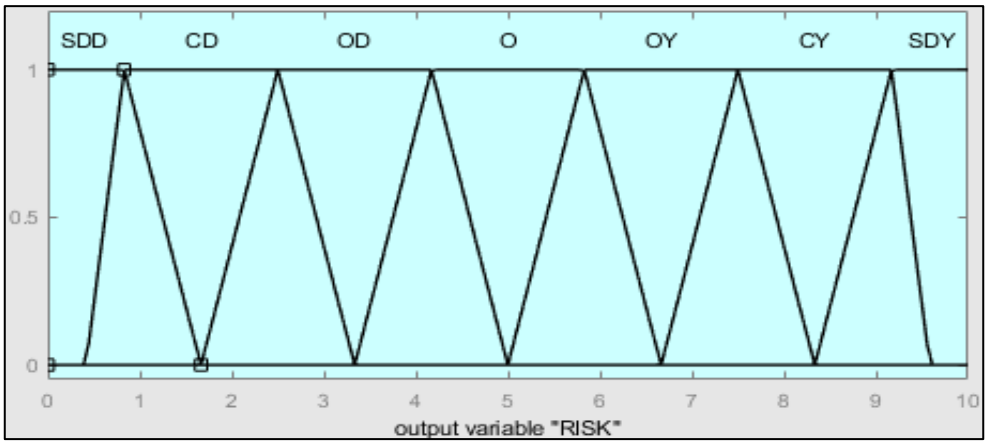



**Şekil 5.24:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri çevresel üyelik fonksiyonu.

Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin çıktı değişkeni olan risk parametresinin olası etkilerinin sonuçları beş değişken için de ayrı ayrı Tablo 5.19'deki incelenmiştir. Fiziki kayıplar, içmesuyu dağıtım sistemlerinde ciddi verimlilik sorunlarına ve maliyet artışlarına neden olan kritik bir problemdir. Bu kayıplar, depo sızıntıları gibi yapısal arızalar, personel ve ekipman yönetimindeki yetersizlikler, düzenli bakım ve işletme faaliyetlerindeki eksiklikler, fark edilmeyen ve uzun süre rapor edilmeyen sızıntılar ile zamanında müdahale edilmeyen rapor edilen sızıntılar gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanır. Sonuç olarak, suyun depolanması ve dağıtımındaki bu problemler, su kalitesinin bozulmasına, büyük onarım maliyetlerine, sistemin performansının düşmesine ve su temininde güvenilirliğin azalmasına yol açarak, içmesuyu dağıtım sisteminin sürdürülebilirliğini ve uzun vadeli güvenilirliğini ciddi şekilde riske atar. Bu çalışmada, fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin çıktı değişkeni olan risk parametresinin sonuçları için tanımlanan bulanık üyelik fonksiyonu Şekil 5.25'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.19:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin risk etkilerinin sonuçları.

| **Risk Sonuçlar** | |
|---|---|
| Rapor Edilen Sızıntılar (RpL) | • Zamanında müdahale edilmezse, su kaybı devam eder ve sistemin etkinliği azalır.<br>• Sızıntı tamirleri sırasında, bazı bölgelerde su kesintileri yaşanabilir, bu da kullanıcılar için rahatsızlık yaratır.<br>• Rapor edilen sızıntıların yanlış tamiri, daha büyük su kaçaklarına ve ek maliyetlere yol açabilir, bu da sistemi daha fazla zayıflatır. |
| Rapor Edilmeyen Sızıntılar (URpL) | • Uzun süre devam ederek büyük miktarda su kaybına neden olabilir.<br>• Yer altındaki borularda meydana gelen sızıntılar, yeraltı su kaynaklarına zarar verebilir ve çevresel sorunlar doğurabilir.<br>• Tespiti genellikle zordur ve bu nedenle onarım süreci daha maliyetli ve karmaşık hale gelir.<br>• Sistemdeki su basıncının düşmesine neden olur, bu da su teminini zorlaştırır ve performansı olumsuz etkiler. |
| Depo Sızıntıları (Wleak) | • Sürekli olarak suyun kaçmasına neden olur, bu da su dağıtım sisteminin genel verimliliğini azaltır.<br>• Sızıntılar, zamanla depo yapılarının zayıflamasına ve potansiyel çökme riskine yol açar, bu da büyük hasar ve onarım ihtiyacı doğurur.<br>• Depo çatlaklarından giren dış etkenler, suyun kirlenmesine ve halk sağlığını tehdit eden kalite sorunlarına neden olabilir. |
| Personel ve Ekipman Yönetimi (Peqm) | • Yetersiz eğitim almış personel, sızıntı tespiti ve tamiri sırasında hatalar yapabilir, bu da sızıntıların daha da büyümesine neden olur.<br>• Düzenli bakımı yapılmayan veya eskiyen ekipmanlar, arızalanarak su kaçaklarına yol açabilir ve sistemin güvenilirliğini düşürebilir.<br>• Uygun yönetim eksikliği, operasyonel süreçlerin yavaşlamasına ve su dağıtım sisteminin genel verimliliğinin düşmesine neden olabilir. |
| Bakım ve İşletme Yönetimi (Opm) | • Düzenli bakım yapılmadığında, su dağıtım sisteminde sızıntılar artar ve su kaybı oranı yükselir.<br>• Yetersiz bakım, kritik bileşenlerin arızalanmasına yol açarak, su dağıtımında kesintilere ve büyük operasyonel sorunlara neden olabilir.<br>• Bakım yapılmayan borular ve ekipmanlar, paslanma ve kirlilik gibi sorunlara yol açarak su kalitesini olumsuz etkiler. |




**Şekil 5.25:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri risk üyelik fonksiyonu.

### 5.5.2. Fiziki Kayıp Yönetimi Bileşenlerinin Risk Üyelik Fonksiyonu ve Kural Tabanı

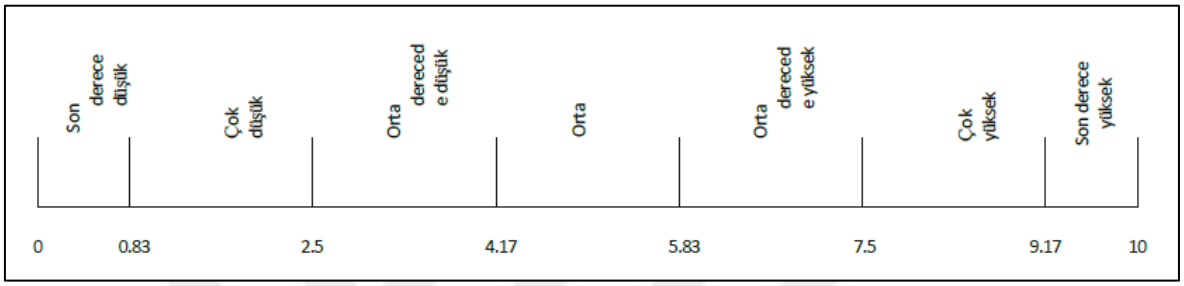
Her bir fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin riskini hesaplamak için önceki bölümde tahmin edilen bulanık sonuçlar ve olasılıklar bir araya getirilmelidir. Bu amaçla, değerler ortak bir ölçeğe (çalışmada 0-10) alınmıştır. Daha sonra, bulanık kuralların elde edilmesi için, risk bileşenlerine uzman görüşleri ile önemlerine göre bir ağırlık atanmalıdır. Risk bileşenlerine ağırlık tanımlanmasında (Fares ve Zayed, 2010) tarafından önerilen metodoloji kullanılmıştır ve kuralların eşdeğer ağırlık (EA) etkilerini bulmak için Denklem 5.6'dan yararlanılmıştır.

$$EA = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i F_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \tag{5.6}$$

Burada $W_i$, $i$. değerlerin ağırlığıdır (burada $i$=4; olasılık, finansal, sosyal ve çevresel sonuçlar) ve $F_i$, $i$. değerlerin bulanık sayısının eşdeğer net değeri ve Şekil 5.26'ya göre bulunur. Çalışmada değerlerin $W_i$ ağırlıkları uzmanlar tarafından doldurulan anketlerden hareketle olasılık, finansal, sosyal ve çevresel sonuçlar için sırasıyla 0.35, 0.35, 0.15 ve 0.15 olarak alınmıştır. Denklem 5.6'nın sonuçlarının nitel olarak değerlendirile bilinmesi için çıktıların 0-10 aralığındaki değerlerini ifade edecek şekilde sonuçlar Şekil 5.27'de gösterildiği gibi bölümlendirilmiştir.




**Şekil 5.26:** Bulanık sayıların eşdeğer net değeri.




**Şekil 5.27:** Bulanık kural çıkarımı sonuçları nitel ölçeği.

Kullanılan metodolojinin örnek bir uygulamasını gösterecek olursak fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinden birinin gerçekleşme olasılığı çok düşük, finansal sonuçları çok yüksek, sosyal sonuçları ve çevresel sonuçları orta ise Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.23 ve Şekil 5.24 ve Denklem.5.6'ya göre eşdeğer ağırlığı (EA) aşağıdaki gibi olacaktır.

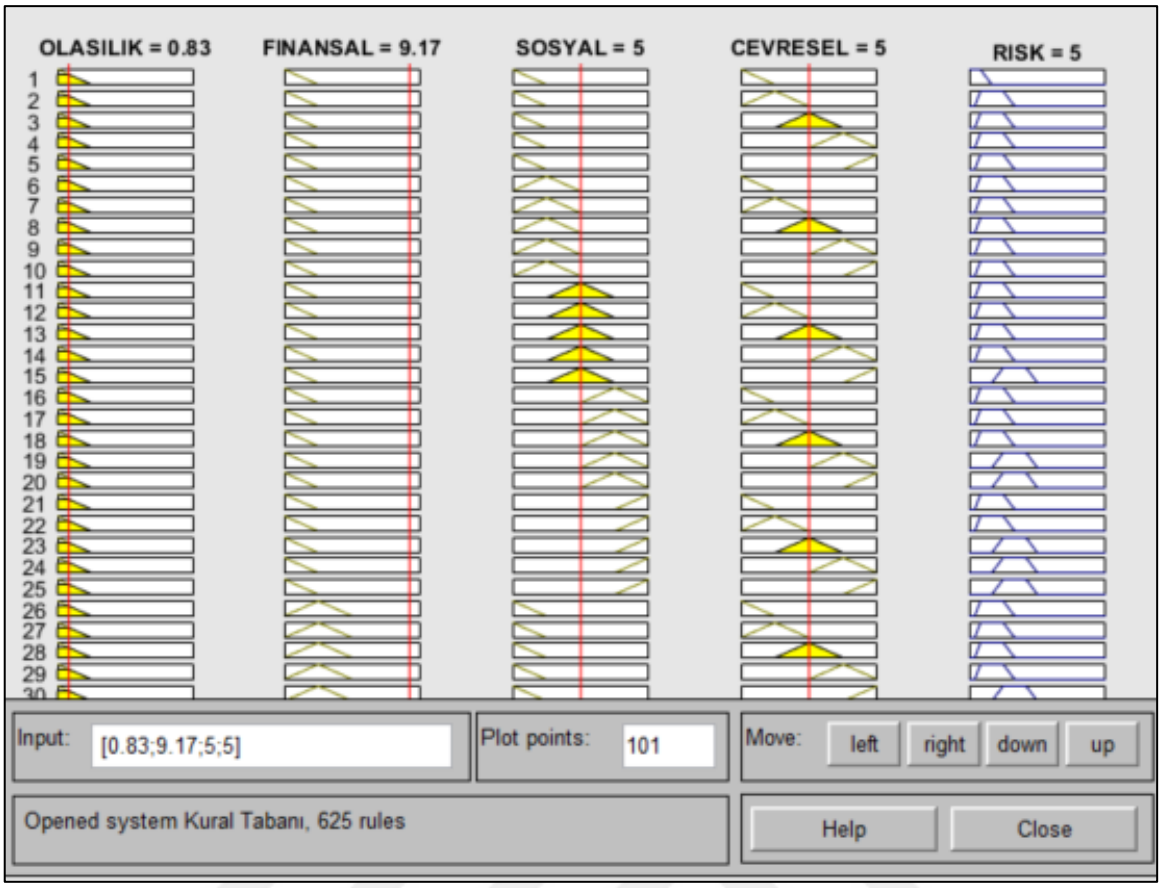
$$EA = \frac{(0.35 * 0.83) + (0.35 * 9.17) + (0.15 * 5) + (0.15 * 5)}{(0.35 + 0.35 + 0.15 + 0.15)} = 5$$

Elde edilen değer daha sonra Şekil 5.27'ye göre değerlendirildiğinde nitel risk değeri "orta" kategorisinde olacaktır. Bu yapılan işlem tanımlanan kurallara sadece bir örnektir. Çalışma kapsamında $i^n$ adet ($i$=5 (değerlendirme sınıf sayısı) ve $n$=4 (girdi sayısı), $5^4$=5*5*5*5=625) olacak şekilde 625 adet kural tanımlanmıştır. Tanımlanan bazı kurallar Tablo 5.20'de ve kuralların çıkarım sistemi Şekil 5.28'de verilmiştir.

**Tablo 5.20:** Riskin ve niteliksel değerinin kural çıkarımı.

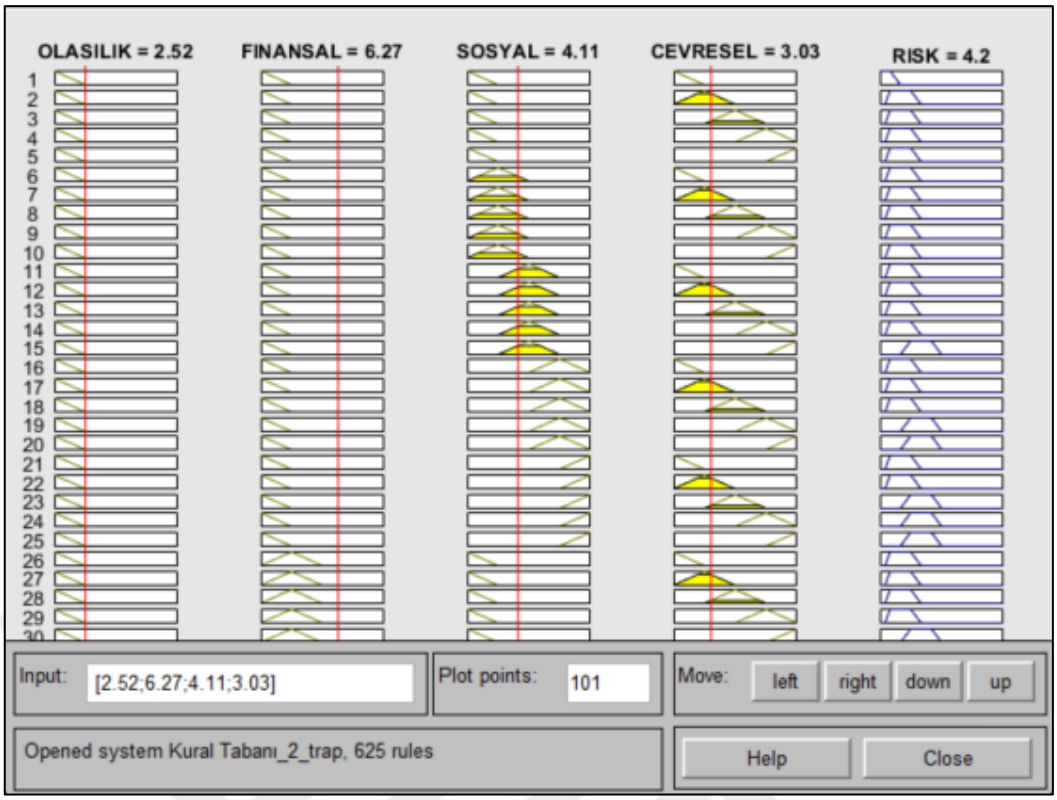
| Sıra | Olasılık | Finansal | Sosyal | Çevresel | Risk | Nitel risk değeri |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 0.83 | 0.83 | 0.83 | 0.83 | **0.83** | Son Derece Düşük |
| **2** | 0.83 | 0.83 | 0.83 | 2.5 | **1.08** | Çok Düşük |
| **3** | 0.83 | 0.83 | 0.83 | 5 | **1.46** | Çok Düşük |
| **4** | 0.83 | 0.83 | 0.83 | 7.5 | **1.83** | Çok Düşük |
| **5** | 0.83 | 0.83 | 0.83 | 9.17 | **2.08** | Çok Düşük |
| **50** | 0.83 | 2.5 | 9.17 | 9.17 | **3.92** | Orta Düşük |
| **51** | 0.83 | 5 | 0.83 | 0.83 | **2.29** | Çok Düşük |
| **52** | 0.83 | 5 | 0.83 | 2.5 | **2.54** | Orta Düşük |
| **53** | 0.83 | 5 | 0.83 | 5 | **2.92** | Orta Düşük |
| **54** | 0.83 | 5 | 0.83 | 7.5 | **3.29** | Orta Düşük |
| **55** | 0.83 | 5 | 0.83 | 9.17 | **3.54** | Orta Düşük |
| **101** | 0.83 | 9.17 | 0.83 | 0.83 | **3.75** | Orta Düşük |
| **102** | 0.83 | 9.17 | 0.83 | 2.5 | **4.00** | Orta Düşük |
| **103** | 0.83 | 9.17 | 0.83 | 5 | **4.37** | Orta |
| **104** | 0.83 | 9.17 | 0.83 | 7.5 | **4.75** | Orta |
| **105** | 0.83 | 9.17 | 0.83 | 9.17 | **5.00** | Orta |
| **245** | 2.5 | 9.17 | 7.5 | 9.17 | **6.59** | Orta Yüksek |
| **246** | 2.5 | 9.17 | 9.17 | 0.83 | **5.58** | Orta |
| **247** | 2.5 | 9.17 | 9.17 | 2.5 | **5.84** | Orta Yüksek |
| **248** | 2.5 | 9.17 | 9.17 | 5 | **6.21** | Orta Yüksek |
| **249** | 2.5 | 9.17 | 9.17 | 7.5 | **6.59** | Orta Yüksek |
| **250** | 2.5 | 9.17 | 9.17 | 9.17 | **6.84** | Orta Yüksek |
| **450** | 7.5 | 5 | 9.17 | 9.17 | **7.13** | Orta Yüksek |
| **451** | 7.5 | 7.5 | 0.83 | 0.83 | **5.50** | Orta |
| **452** | 7.5 | 7.5 | 0.83 | 2.5 | **5.75** | Orta |
| **453** | 7.5 | 7.5 | 0.83 | 5 | **6.12** | Orta Yüksek |
| **454** | 7.5 | 7.5 | 0.83 | 7.5 | **6.50** | Orta Yüksek |
| **455** | 7.5 | 7.5 | 0.83 | 9.17 | **6.75** | Orta Yüksek |
| **620** | 9.17 | 9.17 | 7.5 | 9.17 | **8.92** | Çok Yüksek |
| **621** | 9.17 | 9.17 | 9.17 | 0.83 | **7.92** | Çok Yüksek |
| **622** | 9.17 | 9.17 | 9.17 | 2.5 | **8.17** | Çok Yüksek |
| **623** | 9.17 | 9.17 | 9.17 | 5 | **8.54** | Çok Yüksek |
| **624** | 9.17 | 9.17 | 9.17 | 7.5 | **8.92** | Çok Yüksek |
| **625** | 9.17 | 9.17 | 9.17 | 9.17 | **9.17** | Çok Yüksek |

Kullanılan metodolojinin örnek bir uygulamasını göstermek adına fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinden birinin gerçekleşme olasılığını çok düşük, finansal sonuçları çok yüksek, sosyal sonuçları ve çevresel sonuçların orta kabul edildiği nitel değerlerin sayısal karşılıkları Matlab yazılımda kuralların çıkarım sistemine girildiğinde yazılımın verdiği sonuç ile örnek uygulamada hesaplanan değer örtüşmektedir. Yazılımın kuralların çıkarım sistemine girilen değerlerin ve risk değerinin görüntüsü Şekil 5.28'de verilmiştir.

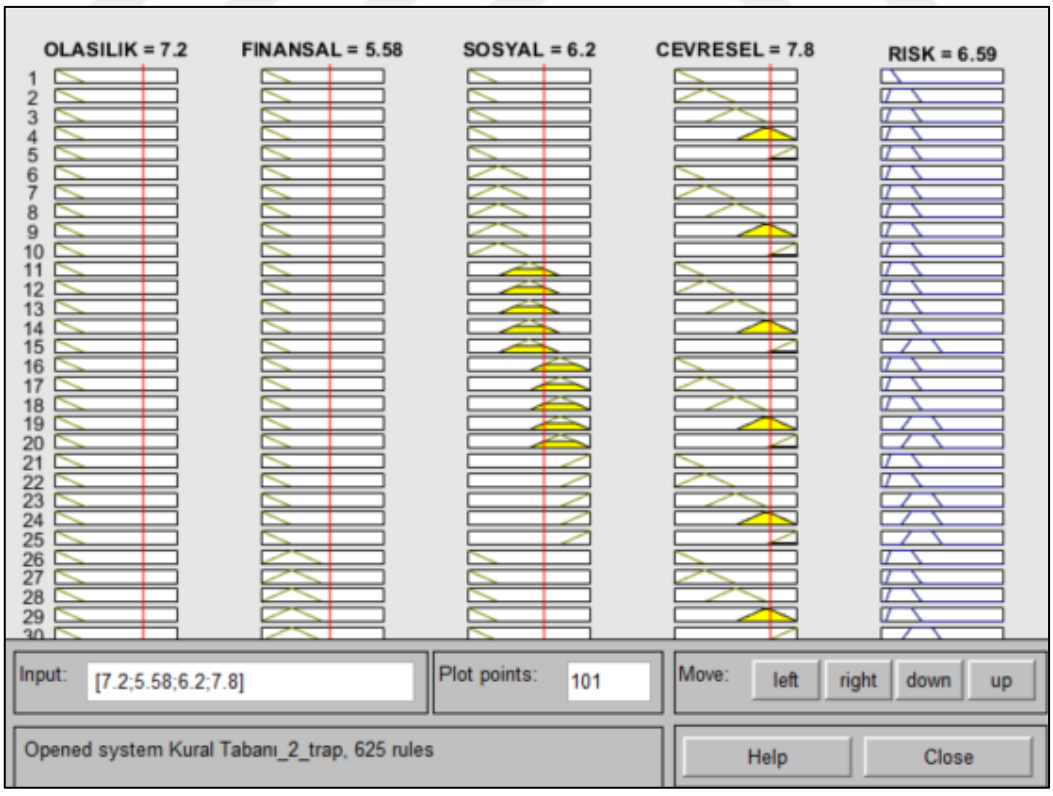



**Şekil 5.28:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri için bulanık kuralların çıkarım sistemi.

Örnekleri çeşitlendirecek olursak Denklem 5.6'da olasılık, finansal, sosyal ve çevresel değerlerini sırasıyla 2.52, 6.27, 4.11 ve 3.03 aldığımızda risk değeri 4.15 olup nitel ölçekte ise "Orta" sınıfına denk gelmektedir. Bu değerleri Matlab yazılımına girdiğimizde ise risk değerini 4.20 hesaplamakta bu değerde nitel ölçekte "Orta" sınıfa denk gelmektedir. Başka bir örnek değerlere bakacak olursak eğer değerleri sırasıyla 7.2, 5.58, 6.2 ve 7.8 aldığımızda risk değeri 6.57 olup nitel ölçekteyse "Orta Yüksek" sınıfa denk gelmektedir. Hesaplama yaptığımız bu değerleri Matlab yazılımına girdiğimizdeyse 6.59 risk değeri sonucu elde edilmiştir. Elde edilen bu değer de nitel ölçekte "Orta Yüksek" sınıfta yer almaktadır. İncelenen iki örnekte de hesaplanan değerler ile yazılımın verdiği değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu da hesaplama ile yazılımın örtüştüğünü ve kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Kıyaslaması yapılan ilk örneğin yazılımdaki görüntüsü Şekil 5.29'da ikinci örneğin görüntüsü ise Şekil 5.30'da verilmiştir.

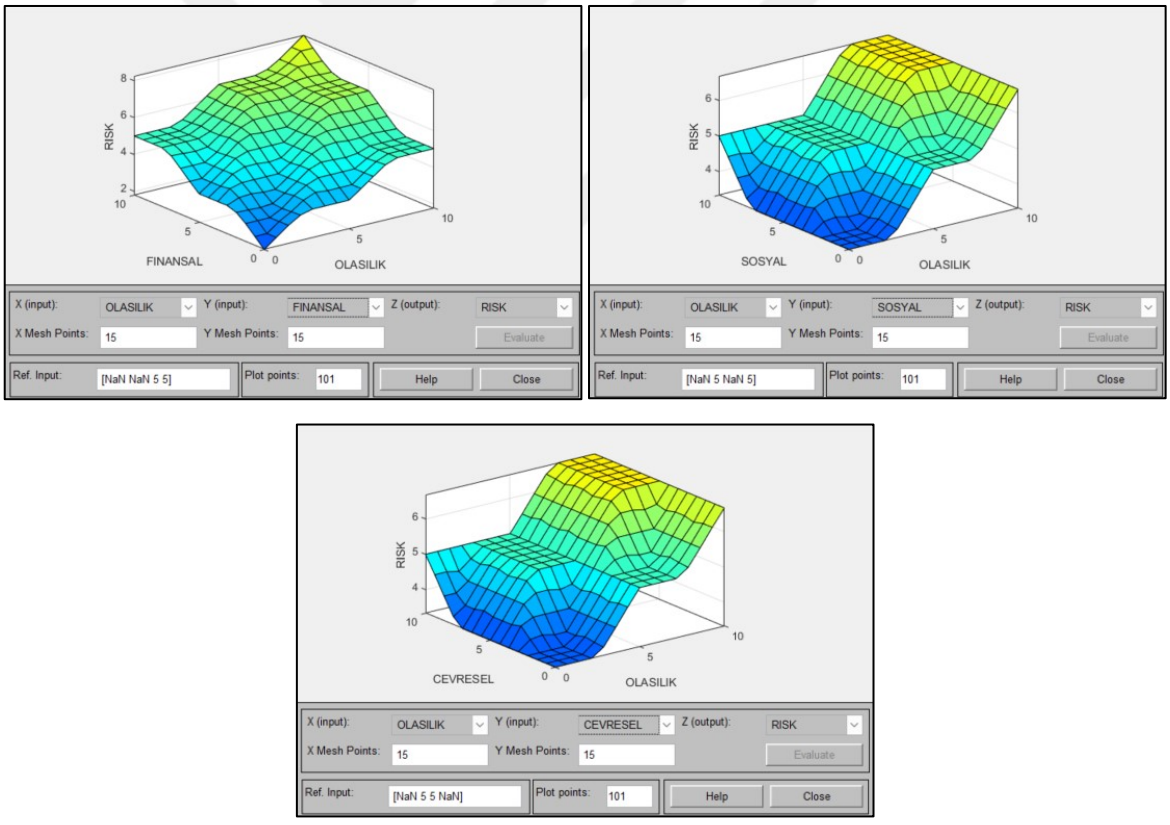



**Şekil 5.29:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri için risk değeri hesaplama örneği.



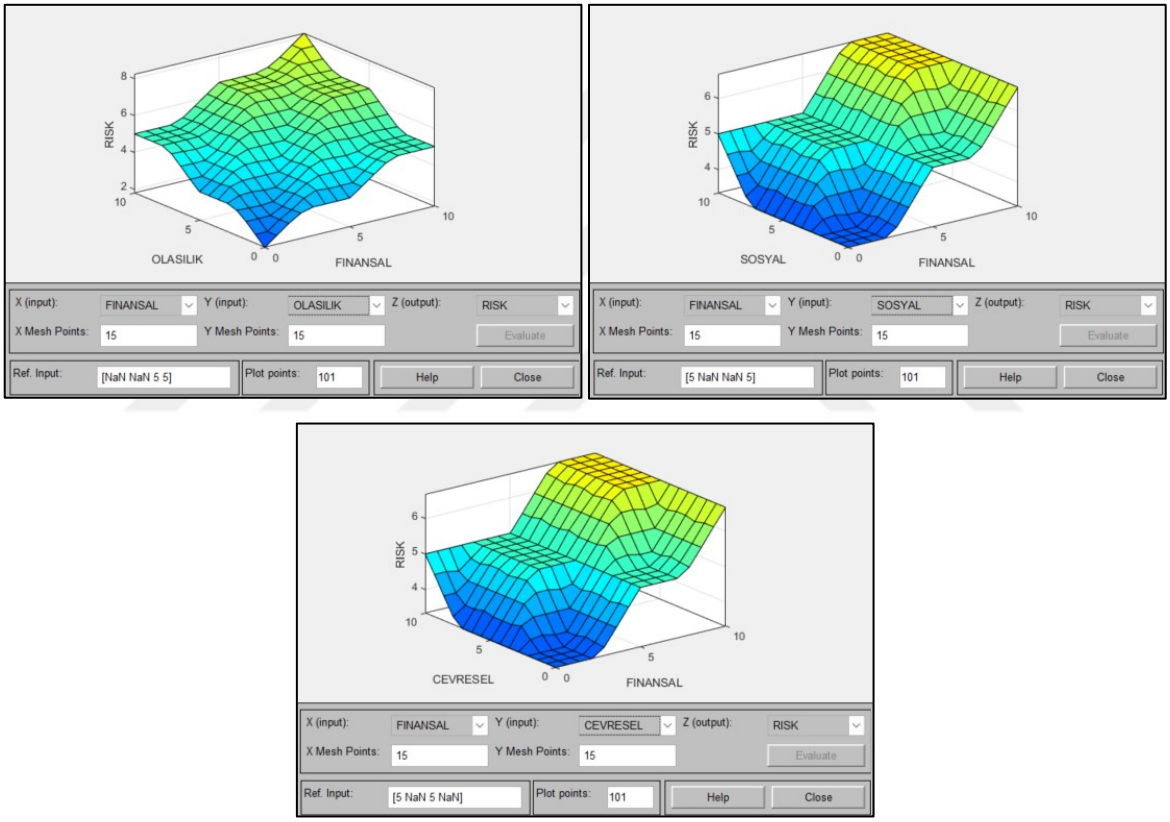

**Şekil 5.30:** Fiziki kayıp yönetimi bileşenleri için risk değeri hesaplama ikinci örneği.

Bunun yanı sıra Matlab yazılımında girdi parametrelerinin üç boyutlu yüzey gösterimi “View Surface” seçeneği ile gözlenebilir. Yüzey gösterimi giriş parametrelerinin risk değişimini gözlemlemek için kullanılabilir. Parametrelerin risk üzerindeki etkilerine bakacak olursak eğer olasılık ile finansalın, olasılık ile sosyalin ve olasılık ile çevreselin riske etkisi Şekil 5.31’da gösterilmiştir. Finansal ile olasılığın, finansal ile sosyalin ve finansal ile çevreselin risk üzerindeki etkileri Şekil 5.32’de, sosyal ile olasılığın, sosyal ile finansalın ve sosyal ile çevresel parametrelerinin risk üzerinde etkileri Şekil 5.33’de ve çevresel ile olasılığın, çevresel ile finansalın ve çevresel ile sosyalin parametrelerinin risk üzerinde etkileri Şekil 5.34’de gösterilmiştir. Bu tür görseller, karar vericilere hangi faktörlerin risk üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğunu anlamada yardımcı olup böylece faktörlerinin optimal seviyelerini belirlemek ve riskleri en aza indirmek için stratejiler geliştirmek için faydalı olmaktadır.



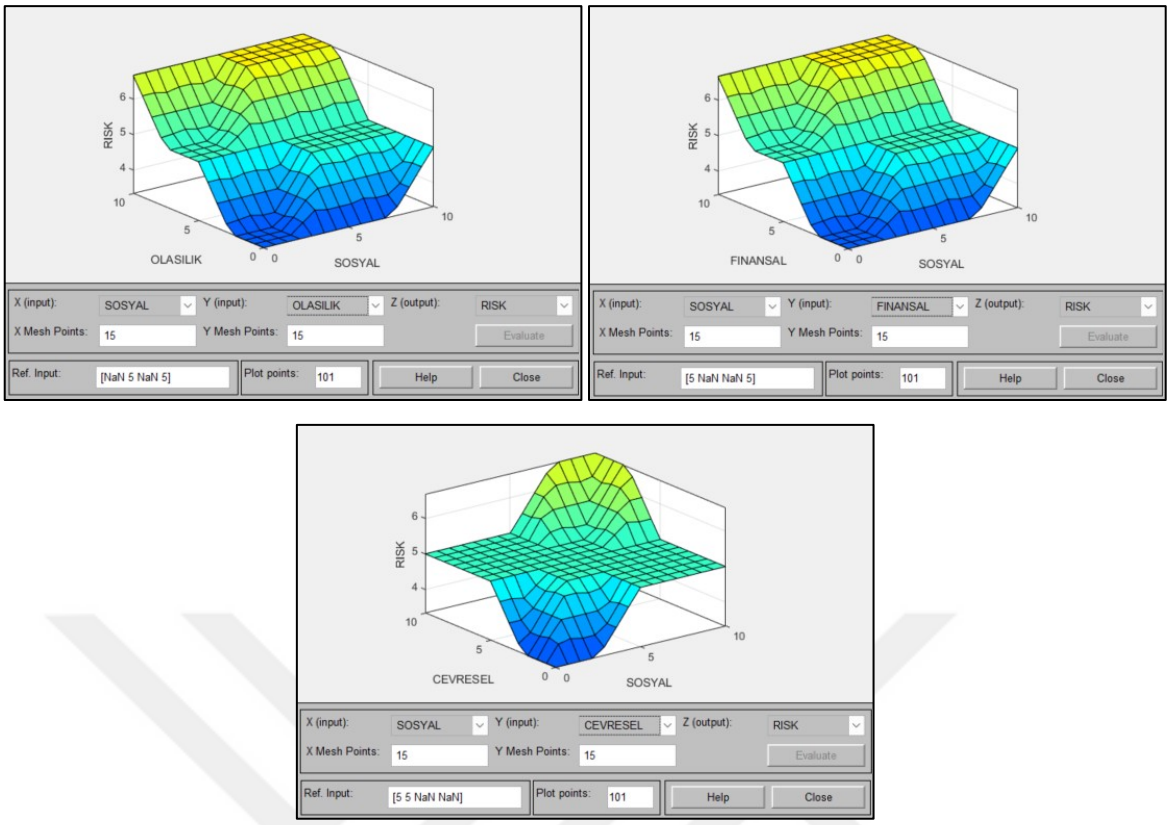

**Şekil 5.31:** Olasılık-Finansal, Olasılık-Sosyal ve Olasılık-Çevresel parametrelerinin risk üzerinde etkileri.

Olasılık-Finansal yüzey gösteriminde yüzeyin tepe noktası, ortada yer alıyor ve olasılık ile finansal değerlerin orta seviyelerinde riskin yüksek olduğunu gösteriyor. Yüzeyin kenarlarına doğru indikçe risk değeri düşüyor. Bu hem olasılığın hem de finansal değerin düşük ya da yüksek olduğu durumlarda riskin daha az olduğunu gösteriyor. Olasılık-Sosyal ve Olasılık-Çevresel yüzey grafiklerinde benzer bir eğilim mevcuttur. Olasılık değeri arttıkça, çevresel ve sosyal değişkenlerin yüksek olduğu durumlarda risk önemli ölçüde artıyor. Risk değerlendirmesinde bu iki değişkenin olasılık ile birlikte önemli rol oynadığını gösteriyor.



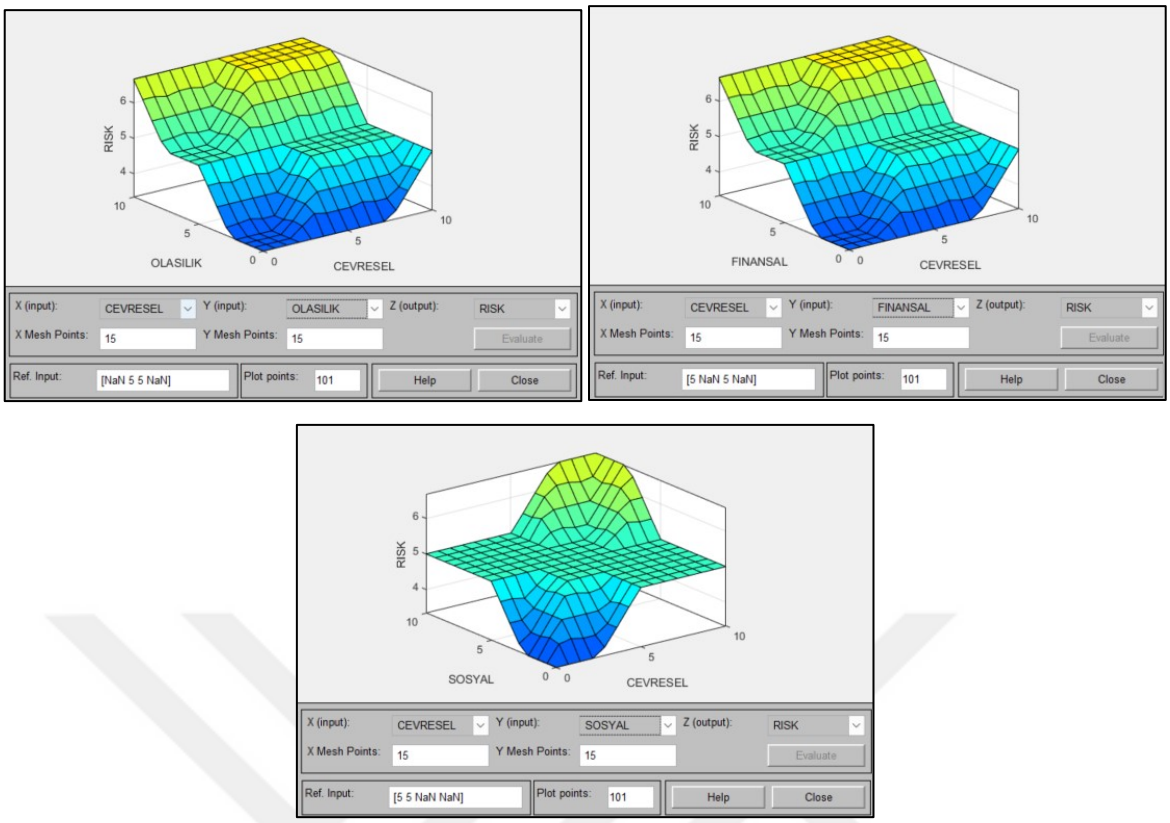

**Şekil 5.32:** Finansal-Olasılık, Finansal-Sosyal ve Finansal-Çevresel parametrelerinin risk üzerinde etkileri.

Finansal-Olasılık yüzey gösteriminde grafiğin tepe noktası, ortada yer alıyor ve olasılık ile finansal değerlerin orta seviyelerinde riskin yüksek olduğunu gösteriyor. Finansal değerler genellikle riskin artmasına neden oluyor ve bu etki çevresel ve sosyal değişkenlerinin yüksek olduğu durumlarda daha belirgin hale geliyor.




**Şekil 5.33:** Sosyal-Olasılık, Sosyal-Finansal ve Sosyal-Çevresel parametrelerinin risk üzerinde etkileri.

Sosyal-Çevresel değişkenlerinin için üç boyutlu yüzey grafiği incelendiğinde yüzeyin merkezinde belirgin bir tepe noktası bulunuyor. Sosyal-Çevresel faktörlerin belirli bir kombinasyonunun riskin en yüksek olduğu noktayı gösteriyor. Tepe noktası dışındaki bölgelerde sosyal ve çevresel faktörlerin değeri arttıkça veya azaldıkça risk seviyesi düşmektedir. Buda uç noktaların düşük risk seviyelerini gösterdiği bir yapıdır. Diğer iki grafikte ise sosyal faktörünün finansal ve olasılık değişkenleri ile risk üzerindeki etkisini görselleştirmektedir. Her iki durumda içinde risk seviyesi, bu faktörlerin orta değerlerinde minimuma ulaşmakta ve uç noktalarda yükselmektedir. Görseller incelendiğinde faktörlerin değerleri arttıkça risk seviyesinin belirli bir noktaya kadar azaldığı, ardından tekrar yükseldiği gözlemlenebilir. Grafikteki renk geçişleri, daha yüksek sosyal ve finansal değerlerin ortalama risk seviyesini düşürdüğünü göstermektedir. Bu durum, düşük Sosyal-Finansal ve Sosyal-Çevresel koşullarda riskin daha yüksek olabileceğini, belirli bir seviyede ise riskin azaldığını, fakat en yüksek seviyelerde tekrar artabileceğini gösterebilir.




**Şekil 5.34:** Çevresel-Olasılık, Çevresel-Finansal ve Çevresel- Sosyal parametrelerinin risk üzerinde etkileri.

Çevresel-Sosyal değişkenlerinin risk üzerinde yüzey görünümüne bakıldığında Sosyal-Çevresel yüzey grafiğinin eşdeğeri olduğu görülmekte. Diğerinde olduğu gibi bu yüzey grafiğinde de yüzeyin merkezinde belirgin bir tepe noktası bulunuyor. Tepe noktası dışındaki bölgelerde faktörlerin değeri arttıkça veya azaldıkça risk seviyesi düşmektedir. Çevresel-Finansal ve Çevresel- Sosyal grafiklerine bakıldığında ise faktörlerin değerleri arttıkça risk seviyesinin önce azaldığı, belirli bir noktadan sonra tekrar arttığı gözlemlenmekte. Renk geçişleri, özellikle düşük çevresel, finansal ve sosyal değerlerde yüksek risk seviyelerini göstermektedir. Bu değişkenlerin değerleri orta seviyelere ulaştığında risk azalmakta, ancak en yüksek değerlere ulaştığında risk seviyesi tekrar artmaktadır. Bu, düşük çevresel, finansal ve sosyal koşullarında riskin yüksek olabileceğini ancak bu faktörlerin belirli bir dengede riskin azalmasına yardımcı olabileceğini göstermektedir.

# 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, içmesuyu dağıtım sistemlerinde fiziki kayıp yönetiminde etkili faktörler belirlenerek bu faktörlerin fiziki kayıp miktarını azaltma potansiyeline göre sıralanması ve risklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. İlk aşamada, AHP, ANP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak karar matrisleri oluşturulmuş, ölçüt ağırlıkları belirlenmiş ve alternatifler ideal çözümlere olan yakınlıklarına göre sıralanmıştır. İkinci aşamada, Bulanık Mantık ve Bayes Teoremi kullanılarak fiziki kayıp yönetimi bileşenlerini etkileyen faktörlerin olasılık ilişkileri gösterilmiş ve risk analizleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin öncelikleri ve riskleri belirlenmiştir.

AHP yöntemi kullanılarak ölçütlerin ağırlıklandırılmasında Super Decisions programından yararlanılmıştır. AHP ile analiz sonucunda, "Teknik" ve "Ekonomik" ölçütlerin en etkili kategoriler olduğu belirlenmiştir. Teknik ve ekonomik ölçütler, içmesuyu dağıtım sistemlerinin verimliliği ve maliyet etkinliği için kritik olup, çevresel boyut da sürdürülebilir su yönetimi açısından önemli bir yer tutmaktadır. Sosyo-ekonomik ve sosyal ölçütler nispeten düşük ağırlıklara sahipken, idari/yönetim ölçütleri en düşük ağırlığa sahip bulunmuştur, bu ölçütler yönetim ve organizasyonel yapının destekleyici bir rol oynadığını göstermektedir.

ANP yönteminde AHP yönteminden farklı olarak ölçütler arasındaki etkileşimler de dikkate alınmaktadır. ANP yöntemiyle yapılan analiz sonucunda, fiziki kayıp yönetiminde en etkili değerlendirme kategorileri "Teknik" ve “Ekonomik” olmuştur. Teknik ve ekonomik ölçütlerin yüksek öneme sahip olması, su kayıplarının yönetiminde bu alanların kritik olduğunu ve yatırımların bu alanlara öncelik verilmesi gerektiğini göstermektedir. Çevresel, sosyo-ekonomik ve idari/yönetim ölçütleri de önemli olup, su yönetimi süreçlerinde dikkate alınmalıdır. Sosyal ölçütler nispeten daha az öncelikli olsa da toplum sağlığı ve yaşam kalitesinin korunması açısından önemlidir.

AHP ve ANP yöntemleriyle elde edilen ağırlıklar karşılaştırıldığında, her iki yöntemde de benzer öncelik sıralamaları elde edilmiştir. AHP yönteminde en yüksek ağırlığa sahip ölçütler C9 (Risk Azaltma), C5 (Su Temini/Dağıtımı Güvenilirliği) ve C2 (Yatırım Maliyeti) iken, ANP yönteminde C2 (Yatırım Maliyeti), C3 (İşletme ve Bakım Maliyetleri) ve C5 (Su Temini/Dağıtımı Güvenilirliği) öne çıkmaktadır.

TOPSIS yöntemi, fiziki kayıp yönetimi bileşenlerinin önceliklendirilmesini ve sisteme etkilerini değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. AHP ve ANP yöntemleri ile hesaplanan ağırlık katsayıları dikkate alınarak yapılan sıralamalarda, öncelikli bileşenler arasında bazı farklılıklar olsa da her iki yöntemde de önemli ölçüde benzerlikler bulunmaktadır. AHP yöntemiyle en öncelikli bileşenler arasında "Aktif Kaçak Kontrolü Programı" ve "Kurum Üst Yönetiminin Su Kayıp Azaltma Faaliyetlerine Bakış Açısı" öne çıkarken, ANP yöntemiyle "Kurum Üst Yönetiminin Su Kayıp Azaltma Faaliyetlerine Bakış Açısı" ve "Aktif Kaçak Kontrolü Programı" önceliklidir. Her iki yöntemde de ilk 25 bileşen arasında 20 bileşenin aynı olduğu görülmüştür.

Bayes Teoremi kullanılarak fiziki kayıplara etki eden değişkenlerin olasılıkları hesaplanmıştır. Hugin Lite yazılımı ile yapılan analizde, Rapor Edilmeyen Sızıntılar (URpL) ile Bakım ve İşletme Yönetiminin (Opm) fiziki kayıplara en yüksek etkiyi yaptığı görülmüştür. Rapor edilen sızıntılara en çok etki eden faktörler onarım süresinin yüksek olması (Rt), arıza yönetim sistemi (CBS ile Entegreli) yetersiz olması (Fm) ve çağrı merkezi sistemi yetersiz olması (Cc), Arıza Onarım Kalitesinin Kötü Olması (Rq) ve Uygun Olmayan Malzeme Seçimi (Ms) olarak belirlenmiştir. Rapor edilmeyen sızıntılara en çok etki eden faktörler ise sızıntıların sahada belirlenmesi için strateji geliştirilmemesi (Lms), aktif sızıntı kontrolü stratejisinin uygulanmaması (Alc), izole ölçüm bölgelerinin oluşturulmaması (DMA), minimum gece debisinin analiz edilmemesi ve izlenmemesi (MNF), bölgesel kaydedici ve korelatör ile sızıntı tespitinin yapılmaması (Rc) ve tespit edilen sızıntıların onarım süresinin yüksek olması (Lrt) olarak saptanmıştır. Depo sızıntıları üzerinde depolarda meydana gelen sızıntıların tespit edilmemesi (Wld), SCADA depo izleme sisteminin olmaması/yetersiz olması (Wsd) ve depolarda sızıntı yönetimi ve önlenme stratejisinin olmaması (Wlc) faktörleri en büyük etkiye sahiptir. Personel ve ekipman yönetimi açısından ise arıza onarım ekip kapasitesinin yetersiz olması (Feq), sızıntı tespit ekipman altyapısının yetersiz olması (Ldee) ve sızıntı tespit ekip kapasitesinin yetersiz olması (Leqe) öne çıkmaktadır. Bakım ve işletme yönetimi üzerinde en etkili faktör ise şebeke yaşının fazla olması (Age) olarak belirlenmiştir.

Olasılıkları hesaplanan parametrelerin ağ yapısını nasıl etkilediğini görmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Analizler sonucu fiziki kayıplar ve bileşenleri üzerinde en etkili parametrelerin yine bileşenler içerisindeki en yüksek olasılık değerine sahip olan parametreler olduğu görülmüştür.

Olasılık, finansal, sosyal ve çevresel değişkenlerin belirli kombinasyonları incelenmiş ve risk seviyeleri analiz edilmiştir. Sonuçlar, riskin genellikle olasılık ve diğer faktörlerin orta seviyelerinde en yüksek olduğunu, bu seviyelerden sapıldığında ise riskin azaldığını göstermektedir. Özellikle, çevresel ve sosyal faktörlerin yüksek olduğu durumlarda olasılığın artması, riski önemli ölçüde artırmaktadır. Düşük çevresel, finansal ve sosyal koşullarda risk yüksekken, bu değişkenlerin belirli bir dengede olması riskin azalmasına yardımcı olmaktadır. Finansal faktörler, genellikle riskin artmasına neden olurken, bu etkinin çevresel ve sosyal değişkenlerin yüksek olduğu durumlarda daha belirgin hale geldiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, çevresel, finansal ve sosyal değerlerin belirli bir dengede olması, riskin azalmasına yardımcı olurken, bu değerlerin çok düşük veya çok yüksek olması riskin artmasına yol açmaktadır. Bu bulgular, fiziki kayıpların yönetiminde bu faktörlerin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.

Gelecek araştırmalarda, su kayıplarını etkileyen diğer faktörlerin daha detaylı incelenmesi ve su dağıtım sistemlerinde yenilikçi teknolojilerin uygulanabilirliğinin araştırılması önerilmektedir. Ayrıca, su kayıplarının azaltılması konusunda daha kapsamlı ekonomik analizler yapılması faydalı olacaktır.

# KAYNAKLAR


**Abdelghany, M., & Abdel-Monem, M.** (2019). Balanced scorecard model for water utilities in Egypt. *Water Practice and Technology*, *14*(1), 203–216. https://doi.org/10.2166/wpt.2019.006

**Aboelnga, H., Saidan, M., Al-Weshah, R., Sturm, M., Ribbe, L., & Frechen, F. B.** (2018). Component analysis for optimal leakage management in Madaba, Jordan. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, *67*(4), 384–396. https://doi.org/10.2166/aqua.2018.180

**Abul-Haggag, O. Y., & Barakat, W.** (2013). Application of Fuzzy Logic for Risk Assessment using Risk Matrix. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, *3*(1), 49–54. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.413.6689&rep=rep1&type=pdf

**Ada, M., & Çakır, H.** (2022). Topsis Ve Ahp ÇoKriterli Karar VermYöntemlerinin PersonelSeçimSürecine Uygulanmasi. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, *6*(2), 186–200. https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1018279

**Akkapatan, A.** (2012). Hayvancılıkta Bulanık Mantık Tabanlı Karar Destek Sistemi. *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*.

**Akram, M., Habib, S., & Javed, I.** (2014). Intuitionistic fuzzy logic control for washing machines. *Indian Journal of Science and Technology*, *7*(5), 654–661. https://doi.org/10.17485/ijst/2014/v7i5.20

**Alegre H., Baptista J.M., Cabrera Jr E., Cubillo F., Duarte P., Hirner W., Merkel W., Parena R.** (2006), Performance Indicators for Water Supply Services: Second Edition, IWA Publishing, London, UK, 312ss.

**Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J. M., & Parena, R.** (2000). Performance indicators for water supply services. IWA Publishing.

**AlHumid, H. A., Haider, H., AlSaleem, S. S., Shafiquzamman, M., & Sadiq, R.** (2019). Performance indicators for municipal solid waste management systems in Saudi Arabia: selection and ranking using fuzzy AHP and PROMETHEE II. *Arabian Journal of Geosciences*, *12*(15). https://doi.org/10.1007/s12517-019-4645-0

**Alonso, J. A., & Lamata, M. T.** (2006). Consistency in the analytic hierarchy process: A new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowldege-Based Systems*, *14*(4), 445–459. https://doi.org/10.1142/S0218488506004114

**Alzubaidi, F.** (2021). Detect Malware Url Using Naive Bayes Algorithm. *Altınbaş Unıversity, Institute of Graduate Studies, Master Thesis*.

**Ameyaw, E. E., & Chan, A. P. C.** (2016). A Fuzzy Approach for the Allocation of Risks in Public–Private Partnership Water-Infrastructure Projects in Developing Countries. *Journal of Infrastructure Systems*, *22*(3). https://doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000297

**Anand, M. S., & Tyagi, B.** (2012). Design and Implementation of Fuzzy Controller on FPGA. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, *4*(10), 35–42. https://doi.org/10.5815/ijisa.2012.10.04

**AWWA** (American Water Works Association). (2016). Water Audits and Loss Control Programs. Manual of Water Supply Practices M36.

**AWWA** (American Water Works Association). (2018). M36 Water Audits and Loss Control Programs. American Water Works Association.

**Antal, P., Fannes, G., Timmerman, D., Moreau, Y., & De Moor, B.** (2004). Using literature and data to learn Bayesian networks as clinical models of ovarian tumors. *Artificial Intelligence in Medicine*, *30*(3), 257–281. https://doi.org/10.1016/j.artmed.2003.11.007

**Bai, X., & Asgarpoor, S.** (2004). Fuzzy-based approaches to substation reliability evaluation. *Electric Power Systems Research*, *69*(2–3), 197–204. https://doi.org/10.1016/j.epsr.2003.08.011

**Bajpai, S., Sachdeva, A., & Gupta, J. P.** (2010). Security risk assessment: Applying the concepts of fuzzy logic. *Journal of Hazardous Materials*, *173*(1–3), 258–264. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.078

**Barrett, J. D.** (1997). A First Course in Fuzzy Logic Journal of the American Statistical Association. 92 (439) 1217-1219

**Baumann, D. D., Boland, J. J., & Hanemann, W. M.** (1998). Urban Water Demand Management and Planning. McGraw-Hill.

**Bayhan, M.** (2015). Analitik Network Prosesi (Anp) Yöntemi Kullanılarak Ankara İli İçin Entegre Katı Atık Tesisi Uygun Yer Tayini. *Aksaray Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.

**Baykal, N. ve Beyan, T.** (2004), Bulanık Mantık İlke ve Temelleri, Bıçaklar Kitabevi, Ankara, 406s.

**Beker, B. A., & Lal Kansal, M.** (2022). Fuzzy logic-based integrated performance evaluation of a water distribution network. *Aqua Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, *71*(4), 490–506. https://doi.org/10.2166/aqua.2022.004

**Bezerra, S. de T. M., da Silva, S. A., & Gomes, H. P.** (2012). Operational optimisation of water supply networks using a fuzzy system. *Water SA*, *38*(4), 565–572. https://doi.org/10.4314/wsa.v38i4.12

**Bozkurt, C.** (2022). Su Kayıp Yönetimi Ve Kontrolü İçin Optimizasyon Tabanlı En Uygun Strateji Modelinin Geliştirilmesi. *İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*.

**Bozkurt, C., Firat, M., & Ateş, A.** (2022). Development of a new comprehensive framework for the evaluation of leak management components and practices. *Aqua Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, *71*(5), 642–663. https://doi.org/10.2166/aqua.2022.031

**Bromley, J.** (2005). Guidelines for the use of Bayesian networks as a participatory tool for Water Resource Management. *Management of the Environment and Resources Using Integrated Techniques*, *July*, 137. http://nora.nerc.ac.uk/3300/

**Çalmaz, M. A., & Avcu, N.** (2022). Fuzzy Controller for Optimization of Operation Time in Washing Machine. *European Journal of Science and Technology*, *34*, 561–567. https://doi.org/10.31590/ejosat.1083443

**Canpolat, R.** (2008). Hata Türü ve Etkileri Analizi'nde Analitik Ağ Süreci ve Bulanık Mantık Uygulaması. *Sakarya Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.

**Çatkafa, A.** (2019). Bir Hidrolik Derin Çekme Pres Makinesinin Plc Tabanlı Bulanık Mantık Kontrolü. *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, *3*(1), 18–23.

**Çelen, M. M.** (2022). Improved Fuzzy Logıc Based Edge Detection Method On Clinical Images. *Istanbul Technical Unıversity, Graduate School, M.Sc. Thesıs*.

**Çelik, N., & Murat, G.** (2010). Analitik Ağ Süreci Yöntemi ile Üniversite Dinamik Entegre Strateji Model Geliştirilmesi. *Yönetim*, 32–51.

**Chen, M. F., & Tzeng, G. H.** (2004). Combining grey relation and TOPSIS concepts for selecting an expatriate host country. *Mathematical and Computer Modelling*, *40*(13), 1473–1490. https://doi.org/10.1016/J.MCM.2005.01.006

**Chen, S.-J., & Hwang, C.-L.** (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making* (Vol. 375). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-46768-4

**Chickering, D. M., Heckerman, D., & Meek, C.** (2004). Large-sample learning of Bayesian networks is NP-hard. *Journal of Machine Learning Research*, *5*, 1287–1330.

**Çinicioğlu, E. N., Atalay, M., & Yorulmaz, H.** (2016). Trafik Kazaları Analizi için Bayes Ağları Modeli Bayesian Network Model for Analysis of Traffic Accidents. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, *6*(2), 41–52.

**Demirci, A. E.** (2018). An Integrated Approach Based on Anp, Dematel and Electre Methodologıes for Personnel Selection and An Applicatıon in İndustry. *Marmara University, I Nstitute For Graduate Studies I N Pure And Applied Sciences*, *524414025*.

**Dey, L., & Mukhopadhyay, A.** (2019). A Classification-based Approach to Prediction of Dengue Virus and Human Protein-Protein Interactions using Amino Acid Composition and Conjoint Triad Features. *Proceedings of 2019 IEEE Region 10 Symposium, TENSYMP 2019*, *7*, 373–378. https://doi.org/10.1109/TENSYMP46218.2019.8971382

**Dighade, R. R., Kadu, M. S., & Pande, A. M.** (2014). Challenges in Water Loss Management of Water Distribution Systems in Developing Countries. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, *3*(6), 13838–13846.

**Dişkaya, F., & Emir, Ş.** (2021). AHP-TOPSIS Bütünleşik Yaklaşımıyla Deprem Riski Tabanlı İstanbul İli Kentsel Dönüşüm Öncelik Sıralaması. *Afet ve Risk Dergisi*, *4*(2), 203–223. https://doi.org/10.35341/afet.983105

**Dogan, A., & Onder, E.** (2014). İnsan Kaynakları Temin Ve Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinin Kullanılması Ve Bir Uygulama. *Journal of Yaşar University*, *9*(34), 5796. https://doi.org/10.19168/jyu.90784

**Dogan, I., & Aydin, N.** (2011). Combining Bayesian Networks and Total Cost of Ownership method for supplier selection analysis. *Computers and Industrial Engineering*, *61*(4), 1072–1085. https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.06.021

**Ecer, F., Açıkgözoğlu, S., & Yaman, F.** (2009). Analitik Ağ Süreci (Aas) Ve Web Sitelerinden Yararlanarak Otel Seçimi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*.

**Fanner, P., Thornton, J., Liemberger, R., & Sturm, R.** (2007). Evaluating Water Loss and Planning Loss Reduction Strategies. Water 21.

**Fares, H., & Zayed, T.** (2010). Hierarchical Fuzzy Expert System for Risk of Failure of Water Mains. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, *1*(1), 53–62. https://doi.org/10.1061/(asce)ps.1949-1204.0000037

**Farley, M.** (2001). Leakage Management and Control: Best Practices Training Manual. *Who*, 1–98. http://whqlibdoc.who.int/hq/2001/WHO_SDE_WSH_01.1_pp1-98.pdf

**Farley, M., & Trow, S.** (2003). Losses in Water Distribution Networks: A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control. IWA Publishing.

**Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z. B. M., Istandar, A., & Sigh, S.** (2008). The Manager's Non-Revenue Water Handbook. *A Guide to Understanding Water Losses, Ranhill Utilities Bernhad and USAID, Malaysia*, 110.

**Firat, M., Bozkurt, C., Ateş, A., Yilmaz, S., & Özdemir, Ö.** (2023). Development and Implementation of a Novel Assessment System for Water Utilities in Strategic Water Loss Management. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, *14*(1). https://doi.org/10.1061/jpsea2.pseng-1323

**Fırat, M., Orhan, C., Yılmaz, S., & Özdemir, Ö.** (2021). Su İdarelerinin Su Kayıp Yönetim Performansının Analizi ve Temel Performans Gösterge Hesaplama Aracının Geliştirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, *7*(1), 75–88. https://doi.org/10.21324/dacd.784488

**Fontana, M. E., & Morais, D. C.** (2016). Decision model to control water losses in distribution networks. *Producao*, *26*(4), 688–697. https://doi.org/10.1590/0103-6513.201815

**Francés-Chust, J., Brentan, B. M., Carpitella, S., Izquierdo, J., & Montalvo, I.** (2020). Optimal placement of pressure sensors using fuzzy DEMATEL-based sensor influence. *Water (Switzerland)*, *12*(2), 1–18. https://doi.org/10.3390/w12020493

**Galli, A., Islam, M. K., & Deshpande, P. B.** (2008). Water Quality Management for Reservoirs and Distribution Systems. CRC Press.

**Gikas, P., & Angelakis, A. N.** (2009). Water resources management in Crete and in the Aegean Islands, with emphasis on the utilization of non-conventional water sources. *Desalination*, *248*(1–3), 1049–1064. https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.10.021

**González-Gómez, F., & García-Rubio, M. A.** (2019). Efficiency in the management of urban water services. What have we learned after four decades of research? Hacienda Pública Española, 185, 39-67.

**Goodchild, M. F., Parks, B. O., Steyaert. L. T.** (1996). GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues. GIS World Books.

**Gupta, R., & Bhave, P. R.** (2007). Fuzzy parameters in pipe network analysis. *Civil Engineering and Environmental Systems*, *24*(1), 33–54. https://doi.org/10.1080/10286600601024822

**Haider, H., Alkhowaiter, M. H., Shafiquzzaman, M. D., Alresheedi, M., AlSaleem, S. S., & Ghumman, A. R.** (2021). Source to Tap Risk Assessment for Intermittent Water Supply Systems in Arid Regions: An Integrated FTA—Fuzzy FMEA Methodology. *Environmental Management*, *67*(2), 324–341. https://doi.org/10.1007/s00267-020-01400-7

**Hall, D. C., & Le, Q. B.** (2017). Use of Bayesian networks in predicting contamination of drinking water with E. coli in rural Vietnam. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, *111*(6), 270–277. https://doi.org/10.1093/trstmh/trx043

**Hamidifar, H., Ghorbani, M. K., Bakhshandeh, M. A., & Gholami, S.** (2023). A multi-criteria multidimensional model for optimal selection of rural water supply systems. *Aqua Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, *72*(6), 1042–1056. https://doi.org/10.2166/aqua.2023.028

**Hu, X., Han, Y., Yu, B., Geng, Z., Fan, J.** (2021). Novel leakage detection and water loss management of urban water supply network using multiscale neural networks. Journal of Cleaner Production, *278*, 123611.

**Hunaidi, O., & Giamou, P.** (1998). Ground-penetrating radar for detection of leaks in buried plastic water distribution pipes. Construction and Building Materials, 12(3), 185-192.

**Hwang, C. L., Lai, Y. J., & Liu, T. Y.** (1993). A new approach for multiple objective decision making. *Computers & Operations Research*, *20*(8), 889–899. https://doi.org/10.1016/0305-0548(93)90109-V

**Ivezić, D., Tanasijević, M., & Ignjatović, D.** (2008). Fuzzy approach to dependability performance evaluation. *Quality and Reliability Engineering International*, *24*(7), 779–792. https://doi.org/10.1002/qre.926

**Jharkharia, S., & Shankar, R.** (2007). Selection of logistics service provider: An analytic network process (ANP) approach. *Omega*, *35*(3), 274–289. https://doi.org/10.1016/j.omega.2005.06.005

**Joseph Kadenge, M., Masanja, V. G., & Mkandawile, M. J.** (2020). Optimisation of Water Loss Management Strategies: Multi-Criteria Decision Analysis Approaches. *Journal of Mathematics and Informatics*, *18*(February), 105–119. https://doi.org/10.22457/jmi.v18a9166

**Kabir, G., Tesfamariam, S., Francisque, A., & Sadiq, R.** (2015). Evaluating risk of water mains failure using a Bayesian belief network model. *European Journal of Operational Research*, *240*(1), 220–234. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.06.033

**Kadenge, M. J., Grace Masanja, V., & Mkandawile, M.** (2019). A Comparative Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods in Optimizing Water Loss Management Strategies used in Water Distribution System A case of Moshi Urban Water Supply and Sanitation Authority, Tanzania. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT*, *16*(1), 260–274. http://ijpsat.ijsht-journals.org

**Kaftan, İ., Balkan, E., & Şalk, M.** (2013). Bulanik Mantik (Fuzzy Logic) VJeofizikte Kullanim Alanlari Sismoloji Örneği. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendisli Bilimleri Dergisi*, *15*(2), 15–29.

**Kanakoudis, V., Tsitsifli, S., Cerk, M., Banovec, P., Samaras, P., & Zouboulis, A. I.** (2015). Basic Principles of a DSS Tool Developed to Prioritize NRW Reduction Measures in Water Pipe Networks. *Water Quality, Exposure and Health*, *7*(1), 39–51. https://doi.org/10.1007/s12403-014-0111-0

**Kanakoudis, V., Tsitsifli, S., Samaras, P., & Zouboulis, A. I.** (2015). Water Pipe Networks Performance Assessment: Benchmarking Eight Cases Across the EU Mediterranean Basin. *Water Quality, Exposure and Health*, *7*(1), 99–108. https://doi.org/10.1007/s12403-014-0113-y

**Karamahmutoğlu, Y.** (2010). Analitik Ağ Süreci Ve Türk Sigorta Sektörüne Uygulaması. *Marmara Üniversitesi, Bankacılık Ve Sigortacılık Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.

**Kiliç, S., Firat, M., Yilmaz, S., & Ateş, A.** (2023). A novel assessment framework for evaluation of the current implementation level of water and wastewater management practices. *Water Supply*, *23*(5), 1787–1809. https://doi.org/10.2166/ws.2023.117

**Kingdom, B., Liemberger, R., & Marin, P.** (2006). The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries - How the private sector can help: A look at performance-based service contracting. *Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion Paper Series*, *8*, 1–52. https://documents1.worldbank.org/curated/en/385761468330326484/pdf/394050Reducing1e0water0WSS81PUBLIC1.pdf

**Kılıç, S.** (2023). Sürdürülebilir Su Ve Atık Su Yönetimi İçin En Uygun Strateji Modelinin Ve Performans Değerlendirme Sisteminin Geliştirilmesi. *İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, *47*(1), 100950.

**Kjaerulff, U., & Madsen, A.** (2007). *Probabilistic Networks for Practitioners — A Guide to Construction and Analysis of Bayesian Networks and Influence Diagrams*.

**Koç, E., & Burhan, H. A.** (2015). An Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) in a Real World Problem of Store Location Selection. *Advances in Management & Applied Economics*, *5*(1), 41–50.

**L. A. Zadeh.** (1965). Fuzzy Sets. *Computing in Civil and Building Engineering - Proceedings of the 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, *8*, 3389–353. https://doi.org/10.1061/9780784413616.194

**Lambert, A. O.** (2002). International Report: Water losses management and techniques. *Water Supply*, *2*(4), 1–20. https://doi.org/10.2166/ws.2002.0115

**Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M., & Weimer, D.** (1999). A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, *48*(6), 227–237. https://doi.org/10.2166/aqua.1999.0025

**Lambert, & Hirner, W.** (2000). *Losses from Water Supply Systems: Astandard Terminology and Recommended Performance Measures*. IWA. https://books.google.com.tr/books?id=-Os5jwEACAAJ

**Lambert, A., & Taylor, R.** (2010). Water Loss Management: Tools and Methods for Success. Water Science and Technology: Water Supply, 10(1), 85-91.

**Lambert, A., & Thornton, J.** (2012). Managing Pressure to Reduce New Breaks in Distribution Systems. Water21 Magazine, 14(5), 29-30.

**Lee, M., McBean, E. A., Ghazali, M., Schuster, C. J., & Huang, J. J.** (2009). Fuzzy-Logic Modeling of Risk Assessment for a Small Drinking-Water Supply System. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *135*(6), 547–552. https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9496(2009)135:6(547)

**Leu, S. Sen, & Bui, Q. N.** (2016). Leak Prediction Model for Water Distribution Networks Created Using a Bayesian Network Learning Approach. *Water Resources Management*, *30*(8), 2719–2733. https://doi.org/10.1007/s11269-016-1316-8

**Lewis, D. D.** (1998). Naive (Bayes) at Forty: The Independence Assumption in Information Retrieval. *Naive (Bayes) at Forty:The Independence Assumption in Information Retrieval*, *x*.

**Liemberger, R., & Wyatt, A.** (2019). Quantifying the global non-revenue water problem. *Water Science and Technology: Water Supply*, *19*(3), 831–837. https://doi.org/10.2166/ws.2018.129

**Liu, Y., & Xu, H.** (2012). Integration of GIS and SCADA in Water Distribution Systems. Procedia Engineering, 28, 489-494.

**Loucks, D. P., & van Beek, E.** (2017). Water Resource Systems Planning and Management. In *Advances in Water Resources* (Vol. 4, Issue 3). https://doi.org/10.1016/0309-1708(81)90046-4

**M. A. Barandouzi, G. Mahinthakumar, R. Ranjithan, E. D. B.** (2012). *Probabilistic Mapping of Water Leakage Characterizations using a Bayesian Approach*. *2010*, 2247–2252.

**Macharis, C., Springael, J., De Brucker, K., & Verbeke, A.** (2004). PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis - Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research*, *153*(2), 307–317. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00153-X

**Mahmoudi, M., Aydi, A., & Ibrahim, H.** (2021). *Selected Case Studies On The Environment Of The Mediterranean And Surrounding Site selection for artificial recharge with treated wastewater with the integration of multi-criteria evaluation and ELECTRE III*. 46748–46763.

**Mahmoudkelaye, S., Taghizade Azari, K., Pourvaziri, M., & Asadian, E.** (2018). Sustainable material selection for building enclosure through ANP method. *Case Studies in Construction Materials*, *9*, e00200. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00200

**Markowski, A. S., & Mannan, M. S.** (2009). Fuzzy logic for piping risk assessment (pfLOPA). *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *22*(6), 921–927. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2009.06.011

**Masood, R. F.** (2017). *Application Of Fuzzy Logic In Design Of Smart Washing Machine*. *3*(1), 79–88.

**McCabe, B., AbouRizk, S. M., & Goebel, R.** (1998). Belief Networks for Construction Performance Diagnostics. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *12*(2), 93–100. https://doi.org/10.1061/(asce)0887-3801(1998)12:2(93)

**Millet, I., & Saaty, T. L.** (2000). On the relativity of relative measures – accommodating both rank preservation and rank reversals in the AHP. *European Journal of Operational Research*, *121*(1), 205–212. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00040-5

**Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., & Vairavamoorthy, K.** (2011). Multi-criteria Decision Analysis: A Strategic Planning Tool for Water Loss Management. *Water Resources Management*, *25*(14), 3947–3969. https://doi.org/10.1007/s11269-011-9896-9

**Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., & Vairavamoorthy, K.** (2013). Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *139*(2), 166–174. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000245

**Natick, M. A.** (2011). Fuzzy Logic Toolbox ™ 2 User ' s Guide. In *Order A Journal On The Theory Of Ordered Sets And Its Applications*.

**Olson, D. L.** (2004). Comparison of weights in TOPSIS models. *Mathematical and Computer Modelling*, *40*(7–8), 721–727. https://doi.org/10.1016/j.mcm.2004.10.003

**Ömürbek, N.** (2014). Analitik Hiyerarşi Süreci Ve Analitik Ağ Süreci Yöntemleri İle Online Alışveriş Site Seçimi. *Journal of Management and Economics Research*, *22*, 306–306. https://doi.org/10.11611/JMER214

**Özbek, A.** (2019). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü, İkinci Basım, Ankara: Seçkin Yayınları.

**Pearl, J.** (1988). Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference. *Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, Calif.*, 552.

**Pearl, J., & Russell, S.** (2003). Bayesian Networks. *Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, *November 2000*, 157–160.

**Peker, İ.** (2012). Analitik Ağ Süreci Yöntemiyle Lojistik Merkez Yeri Seçimi: Trabzon Örneği. *Karadeniz Teknik Üniversitesi , Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi*.

**Petersen, R., Dafter, M., Melchers, R., Whiffin, V., Crawley, C., Li, Z., Chen, F., Gould, S., Beale, D., Davis, P., & Marlow, D.** (2013). *Senegal River Basin gets $ 228 million World Bank funding arnessing of the potential of West Africa ' s*. *9*(4).

**Petrović, D. V., Tanasijević, M., Milić, V., Lilić, N., Stojadinović, S., & Svrkota, I.** (2014). Risk assessment model of mining equipment failure based on fuzzy logic. *Expert Systems with Applications*, *41*(18), 8157–8164. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.06.042

**Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D. A., & Koppel, T.** (2010). *A review of methods for leakage management in pipe networks*. *9006*, 24–45. https://doi.org/10.1080/15730621003610878

**Rahman, S. M. S.** (2007). *Condition assessment tool for elements of drinking water treatment plant* (Vol. MR34452, p. 207). http://search.proquest.com/docview/304791358?accountid=13552

**Razavi Toosi, S. L., & Samani, J. M. V.** (2017). Prioritizing Watersheds Using a Novel Hybrid Decision Model Based on Fuzzy DEMATEL, Fuzzy ANP and Fuzzy VIKOR. *Water Resources Management*, *31*(9), 2853–2867. https://doi.org/10.1007/s11269-017-1667-9

**Roos, T. J.** (2004). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*.

**Rupiper, A., Weill, J., Bruno, E., Jessoe, K., & Loge, F.** (2022). Untapped potential: Leak reduction is the most cost-effective urban water management tool. *Environmental Research Letters*, *17*(3). https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac54cb

**Saaty, T. L.** (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, *15*(3), 234–281. https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5

S**aaty, T. L.** (1994), "Fundamentals of Decision-Making and Priority Theory with the AHP" RWS Publications, Pittsburg, PA, USA.

**Saaty, T. L.** (2001). Decision Making with Interdependence and Feedback. The Analytic Network Process. RWS Publications, Pittsburgh.

**Saaty, T. L.** (2005) Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks, RWS Publications, USA, 2005, s.47.

**Saaty, T. L.** (2008), "Decision making with the analytic hierarchy process", Int. J. Services Sciences, vol. 1, no. 1,83-98.

**Saaty, T. L., & Vargas, L.** (2006). *Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks* (Vol. 95). Springer US. https://doi.org/10.1007/0-387-33987-6

**Şafak, İ.** (2009). Bulanık Mantık Ve Ormancılıkta Uygulama Alanları. *Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü*, 1–30.

**Sartorius, C., Lévai, P., Niederste-Hollenberg, J., Nyga, I., Sorge, C., & Hillenbrand, T.** (2018). Comparative multi-criteria performance assessment of alternative water infrastructure systems. *Water Supply*, *18*(6), 2188–2198. https://doi.org/10.2166/ws.2018.045

**Şen, Z.** (2001). Bulanık (Fuzzy) Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Kültür Sanat Yayınları, İstanbul, 176s.

**Şenol, C.** (2010). *Yapay Sinir Ağı ve Bulanık Mantık Hibrid Yapı ve Algoritmalarının Geliştirilmesi*. 79.

**Şenyiğit, E., & Livdumlu, D.** (2016). Mobilya Sektöründe Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Yeni Tasarımlardan En İyisinin Seçilmesi. *1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (Ss.1612). Adana, Türkiye*.

**Shih, H. S., Shyur, H. J., & Lee, E. S.** (2007). An extension of TOPSIS for group decision making. *Mathematical and Computer Modelling*, *45*(7–8), 801–813. https://doi.org/10.1016/J.MCM.2006.03.023

**Sturm, R., Thornton, J., & Kunkel, G.** (2014). Water Loss Control. McGraw-Hill.

**Tabesh, M, Faghihi, N. R., Roozbahani, A., Heidarzadeh, R., & Roghani, B.** (2017). Using bayesian networks for risk assessment of real losses in water distribution systems. *European Water*, *58*(November), 391–398.

**Tabesh, Massoud, Roozbahani, A., Roghani, B., Faghihi, N. R., & Heydarzadeh, R.** (2018a). Risk Assessment of Factors Influencing Non-Revenue Water Using Bayesian Networks and Fuzzy Logic. *Water Resources Management*, *32*(11), 3647–3670. https://doi.org/10.1007/s11269-018-2011-8

**Tabesh, Massoud, Roozbahani, A., Roghani, B., Faghihi, N. R., & Heydarzadeh, R.** (2018b). Risk Assessment of Factors Influencing Non-Revenue Water Using Bayesian Networks and Fuzzy Logic. *Water Resources Management*, *32*(11), 3647–3670. https://doi.org/10.1007/s11269-018-2011-8

**Tabesh, Massoud, Roozbahani, A., Roghani, B., Salehi, S., Rasi Faghihi, N., & Heydarzadeh, R.** (2020). Prioritization of non-revenue water reduction scenarios using a risk-based group decision-making approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *34*(11), 1713–1724. https://doi.org/10.1007/s00477-020-01858-1

**Tang, Z., & McCabe, B.** (2007). Developing Complete Conditional Probability Tables from Fractional Data for Bayesian Belief Networks. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *21*(4), 265–276. https://doi.org/10.1061/(asce)0887-3801(2007)21:4(265)

**Thornton, J., & Lambert, A.** (2005). Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships. *... of IWA Special Conference'Leakage*, 1–10. http://www.leakssuite.com/Research Papers/2005_ThorntonLambert IWA Halifax.pdf

**Thornton, J., & Lambert, A.** (2006). *Managing pressures to reduce new breaks*. 24–26.

**Thornton, J., Sturm, R., & Kunkel, G.** (2008). Water Loss Control, Second Edition. *Water Loss Control*, 247–258.

**Timor, M.** (2010). Yöneylem Araştırması, İstanbul: Türkmen Kitapevi.

**Uusitalo, L.** (2007). Advantages and challenges of Bayesian networks in environmental modelling. *Ecological Modelling*, *203*(3–4), 312–318. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.11.033

**Uysal, B. S.** (2021). Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Yönetici Yetkinliklerinin Ölçülmesi. *Marmara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Eğitim Bilimleri Anabilim Dalı Doktora Tezi*.

**Uzun, S., & Kazan, H.** (2016). Comparing MCDM Methods of AHP, TOPSIS and PROMETHEE: A Study on the Selection of Ship Main Engine System. *Journal of Transportation and Logistics*, *1*(1), 99–99. https://doi.org/10.22532/jtl.237889

**Van Horenbeek, A., & Pintelon, L.** (2014). Development of a maintenance performance measurement framework—using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection. *Omega*, *42*(1), 33–46. https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.02.006

**Walski, Thomas M.; Chase, Donald V.; Savic, Dragan A.; Grayman, Walter; Beckwith, Stephen; and Koelle, Edmundo** (2003), Advanced Water Distribution Modeling and Management. Civil and Environmental Engineering and Engineering Mechanics Faculty Publications. 18.

**Wang, X., Zhu, J., Ma, F., Li, C., Cai, Y., & Yang, Z.** (2016). Bayesian network-based risk assessment for hazmat transportation on the Middle Route of the South-to-North Water Transfer Project in China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *30*(3), 841–857. https://doi.org/10.1007/s00477-015-1113-6

**Workman, M. E.** (1996). *Hardware requirements for fuzzy logic control systems*. http://hdl.handle.net/2346/19473

**World Bank.** (2016). "Reducing Water Loss in Developing Countries".

**World Bank.** (2020). The Cost of Water Losses: Developing Sustainable Water Systems.

**Wulandari, N., & Abdullah, A. G.** (2018). Design and Simulation of Washing Machine using Fuzzy Logic Controller (FLC). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *384*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/384/1/012044

**Yang, C.-L., Yuan, B., & Huang, C.-Y.** (2015). Key Determinant Derivations for Information Technology Disaster Recovery Site Selection by the Multi-Criterion Decision Making Method. *Sustainability*, *7*(5), 6149–6188. https://doi.org/10.3390/su7056149

**Yıldırım, B., & Önder, E.** (2018). Operasyonel, Yönetsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (3. Baskı b.). Dora. doi:ISBN:978-605-247-004-6

**Yoon, K.** (1980). Systems Selection By Multiple Attribute Decision Making. *Kansas State University, College of Engineering*.

**Yoon, K.** (1987). A Reconciliation Among Discrete Compromise Solutions. *Journal of the Operational Research Society*, *38*(3), 277–286. https://doi.org/10.1057/jors.1987.44

**Zadeh, L. A.** (1973). Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, *SMC-3*(1), 28–44. https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.5408575

**Zyoud, S. H., Fuchs-Hanusch, D., Shaheen, H., Samhan, S., Rabi, A., & Al-Wadi, F.** (2016). Utilizing analytic hierarchy process (AHP) for decision making in water loss management of intermittent water supply systems. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, *6*(4), 534–546. https://doi.org/10.2166/washdev.2016.123

**Zyoud, S. H., Kaufmann, L. G., Shaheen, H., Samhan, S., & Fuchs-Hanusch, D.** (2016). A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, *61*, 86–105. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.05.016

# ÖZGEMİŞ

**Ad-Soyad** **:** Halil EREN

**ÖĞRENİM DURUMU:**

| Derece | Üniversite | Fakülte-Enstitü | Bölüm-Ana Bilim Dalı |
|---|---|---|---|
| Lisans | Erciyes Üniversitesi | Mühendislik Fakültesi | İnşaat Mühendisliği Bölümü |
| Yüksek Lisans | İnönü Üniversitesi | Fen Bilimleri Enstitüsü | İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı |

**MESLEKİ DENEYİM:**

| Yıl | Kurum-Kuruluş | Pozisyon |
|---|---|---|
| 2021-Devam | KASKİ Genel Müdürlüğü | İnşaat Mühendisi |

**YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR (Makaleler, Bildiriler, Patentler v.b.)**

- **Eren H., Bozkurt C., Fırat M. (2023).** "Evaluation of Tank Leak Management Components in Water Loss Management with Analytical Network Process Approach". 8th International Conference on Natural and Engineering Sciences
- **Eren H., Bozkurt C., Fırat M. (2023).** "Determining Weight Coefficients f or Priority Components i n Improving Warehouse Leakage Management u sing AHP". 2nd Internatıonal Workshop On Intellıgent Systems For Sustaınable Smart Cıtıes (I3sc'23)