T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU DAĞITIM SİSTEMLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR SU YÖNETİMİ İÇİN ÇOKLU ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME İLE İDARİ KAYIP BİLEŞENLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Furkan ACAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

HAZİRAN 2025

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU DAĞITIM SİSTEMLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR SU YÖNETİMİ İÇİN ÇOKLU ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME İLE İDARİ KAYIP BİLEŞENLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Furkan ACAR
(36223621002)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

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

HAZİRAN 2025

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında desteklerini esirgemeden her türlü bilgi birikimlerini benimle paylaşan, yol gösteren ve beni sabırla destekleyip motive eden saygıdeğer danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mahmut FIRAT'a ve ikinci danışmanın Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cansu BOZKURT'a,

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FYL-2024-3596 nolu proje) ve TÜBİTAK (122M577 nolu proje) tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne ve TÜBİTAK'a

Çalışmam süresince beni destekleyen ve çok değerli katkılarını sunan kuzenim Dr. Seda ŞAŞMAZ KARACAN'a ve her an yanımda olarak motive edici yaklaşımıyla bana desteğini ve güvenini hissettiren çok değerli arkadaşım Öğr. Gör. Enes DURAK'a

Her an ve her koşulda desteklerini hissettiğim, bugünlere gelmemde büyük emekleri olan, haklarını asla ödeyemeyeceğim annem, babam ve ablama

Teşekkürlerimi ve minnetlerimi borç bilirim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Su Dağıtım Sistemlerinde Sürdürülebilir Su Yönetimi için Çoklu Ölçütlü Karar Verme ile İdari Kayıp Bileşenlerinin Değerlendirilmesi” 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.

Furkan ACAR

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ ..... **i**
ONUR SÖZÜ ..... **ii**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **iv**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **v**
SEMBOLLER VE KISALTMALAR ..... **vii**
ÖZET ..... **viii**
ABSTRACT ..... **x**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Çalışmanın Önemi 1
2. KAYNAK ÖZETLERİ **3**
3. YÖNTEMLER **8**
3.1 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) 8
3.2 Analitik Ağ Süreci (ANP) 13
3.3 TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Tercih Sıralama Tekniği) 21
3.4 Bayes Teoremi 25
3.5 Bulanık Mantık 28
4. İDARİ KAYIP BİLEŞENLERİ **37**
4.1 Su Kayıpları 37
4.2 İdari Kayıp Bileşenlerinin Belirlenmesi 38
5. ANALİZ VE DEĞERLENDİRME **52**
5.1 Problemin Tanımlanması 52
5.2 Kriterlerin ve Alternatiflerin Belirlenmesi 53
5.3 Kriterlerin AHP ile Ağırlıklandırılması 56
5.4 Kriterlerin ANP ile Ağırlıklandırılması 61
5.5 Bileşenlerin TOPSIS Yöntemi ile Önceliklendirilmesi 65
5.6 Bayes Ağları 70
5.6.1 Bayes bileşenlerinin belirlenmesi 70
5.6.2 Bayes ağ modelinin oluşturulması 74
5.6.3 Koşullu olasılıkların modele girilmesi 77
5.6.4 Duyarlılık ve olasılık değerleri 90
5.7 Bulanık Mantık 92
5.7.1 Bulanık mantık modelinin oluşturulması 92
5.7.2 İdari kayıp bileşenleri için bulanık mantık modelinin oluşturulması 94
5.7.3 Üyelik fonksiyonlarının tanımlanması 95
5.7.4 Kural tabanının tanımlanması 98
6. SONUÇ VE ÖNERİLER **113**
KAYNAKLAR **117**
ÖZGEÇMİŞ **125**

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1: Saaty puanlandırma ölçeği **9**
Çizelge 3.2: Rassal İndeks (RI) değeri **11**
Çizelge 3.3: İkili karşılaştırma matrisi [A] **15**
Çizelge 3.4: Kriterlerin puanlandırma örneği **16**
Çizelge 3.5: Kriterlerin ikili karşılaştırma örneği **16**
Çizelge 3.6: Normalize edilmiş karşılaştırma matrisi örneği **17**
Çizelge 3.7: Öncelik vektörü örneği **17**
Çizelge 3.8: Karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü örneği **17**
Çizelge 3.9: Tüm öncelikler matrisi örneği **17**
Çizelge 3.10: Özdeğer (λmax) matrisi örneği **18**
Çizelge 4.1: İdari kayıp bileşenleri **39**
Çizelge 5.1: İdari kayıp bileşenleri karar kriterleri, kategorileri ve tanımları **54**
Çizelge 5.2: Pozitif ve negatif kriterler **55**
Çizelge 5.3: Pozitif ve negatif kriterlerin puanlandırma ölçütleri **55**
Çizelge 5.4: AHP kriter ağırlıkları **60**
Çizelge 5.5: AHP ve ANP'de oluşturulan ikili karşılaştırma matris grupları **62**
Çizelge 5.6: AHP yöntemi ile elde edilen kategori ve kriter ağırlıkları **64**
Çizelge 5.7: ANP yöntemi ile elde edilen kategori ve kriter ağırlıkları **64**
Çizelge 5.8: Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerleri **66**
Çizelge 5.9: Öncelik sıralaması yakınlık değerleri **67**
Çizelge 5.10: İdari kayıp yönetimi bayes ağı bileşenleri **70**
Çizelge 5.11: Karar vericilere sunulan puanlandırma formları **71**
Çizelge 5.12: Karar vericilerin puanlandırmalarının geometrik ortalaması **74**
Çizelge 5.13: İdari kayıplar (AL) koşullu olasılık değişkenleri **77**
Çizelge 5.14: İdari kayıplar (AL) koşullu olasılık değişken değerleri **78**
Çizelge 5.15: Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) koşullu olasılık değişkenleri **78**
Çizelge 5.16: Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) koşullu olasılık değişken değerleri **80**
Çizelge 5.17: Sayaç Yönetimi (MM) koşullu olasılık değişkenleri **81**
Çizelge 5.18: Sayaç Yönetimi (MM) koşullu olasılık değişken değerleri **83**
Çizelge 5.19: Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU) koşullu olasılık değişkenler **84**
Çizelge 5.20: Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU) koşullu olasılık değişken değerleri **85**
Çizelge 5.21: Kaçak Kullanım (IU) koşullu olasılık değişkenleri **86**
Çizelge 5.22: Kaçak Kullanım (IU) koşullu olasılık değişken değerleri **87**
Çizelge 5.23: İdari kayıplar (AL) koşullu olasılık değerleri **90**
Çizelge 5.24: İdari kayıp parametreleri olasılık değerleri **90**
Çizelge 5.25: İdari kayıp parametreleri duyarlılık değerleri (DI) **91**
Çizelge 5.26: Bulanık mantık tasarımında kullanılan değişkenler ve aralıkları **95**
Çizelge 5.27: Bulanık mantık modeli tanımlanan kuralları **98**

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1: AHP modeli **8**
Şekil 3.2: AHP işlem adımları **12**
Şekil 3.3: AHP ve ANP modeli **14**
Şekil 3.4: TOPSIS grafiksel gösterimi **21**
Şekil 3.5: TOPSIS akış diyagramı **22**
Şekil 3.6: Bayes teoreminin ispatının görselleştirilmesi **27**
Şekil 3.7: Klasik mantık ve bulanık mantık şematiği **29**
Şekil 3.8: Klasik mantık ve bulanık mantık sıcaklık örneği **30**
Şekil 3.9: Bulanık mantık temel sistem yapısı **31**
Şekil 3.10: Maksimum üyelik fonksiyonu **32**
Şekil 3.11: Ağırlık merkezi fonksiyonu gösterimi **33**
Şekil 3.12: Ortalama maksimum üyelik fonksiyonu **33**
Şekil 3.13: Ağırlıklı ortalama fonksiyonu **34**
Şekil 3.14: Üçgen üyelik fonksiyonu gösterimi **35**
Şekil 3.15: Trapez üyelik fonksiyonu gösterimi **35**
Şekil 3.16: Gauss üyelik fonksiyonu gösterimi **36**
Şekil 3.17: Çan eğrisi üyelik fonksiyonu gösterimi **36**
Şekil 4.1: İçme suyu şebekelerinde meydana gelen su kayıpları **37**
Şekil 5.1: Yöntem akışı **52**
Şekil 5.2: İdari kayıp yönetimi için oluşturulan AHP şeması **53**
Şekil 5.3: AHP ile karar verme süreci hiyerarşik yapısı **57**
Şekil 5.4: AHP ile karar sürecinde ikili karşılaştırma matrisleri ve puanlandırılması **58**
Şekil 5.5: Kategorilerin AHP ile elde edilen ağırlık katsayıları **58**
Şekil 5.6: Kategorilerin AHP ile elde edilen ağırlık oranları grafiği **58**
Şekil 5.7: Ekonomik kriterleri için AHP ikili karşılaştırmaları **59**
Şekil 5.8: İdari-Yönetim kriterleri için AHP ikili karşılaştırmaları **59**
Şekil 5.9: Kriterlerin ağırlık katsayıları **60**
Şekil 5.10: Kriterlerin AHP ile elde edilen ağırlık oranları grafiği **61**
Şekil 5.11: ANP ile karar verme süreci hiyerarşik yapısı **62**
Şekil 5.12: ANP ile karar sürecinde ikili karşılaştırma matrisleri ve puanlandırılması **63**
Şekil 5.13: Kategorilerin ANP ile elde edilen ağırlık katsayıları **63**
Şekil 5.14: Kategorilerin ANP ile elde edilen ağırlık oranları grafiği **63**
Şekil 5.15: AHP ve ANP ile elde edilen kriter ağırlıkları **65**
Şekil 5.16: C yakınlık değerleri **66**
Şekil 5.17: AHP ve ANP yöntemlerine göre hesaplanan ideal çözüme yakınlık değerlerinin değişimi **69**
Şekil 5.18: İdari kayıplar ana bileşenleri bayes ağ yapısı **75**
Şekil 5.19: Veri Ölçüm ve Yönetimi bileşenleri bayes ağ yapısı **75**
Şekil 5.20: Sayaç Yönetimi bileşenleri bayes ağ yapısı **76**
Şekil 5.21: Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar bileşenleri bayes ağ yapısı **76**
Şekil 5.22: Kaçak Kullanımlar bileşenleri bayes ağ yapısı **77**
Şekil 5.23: İdari kayıplar (AL) koşullu olasılık çizelgesi **88**
Şekil 5.24: Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) koşullu olasılık çizelgesi **88**
Şekil 5.25: Sayaç Yönetimi (MM) koşullu olasılık çizelgesi **89**
Şekil 5.26: Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU) koşullu olasılık çizelgesi **89**
Şekil 5.27: Kaçak Kullanım (IU) koşullu olasılık çizelgesi **90**
Şekil 5.28: Matlab programı arayüzü **93**
Şekil 5.29: Matlab Fuzzy Logic Designer sistem arayüzü **94**
Şekil 5.30: Fuzzy Logic Designer bulanık çıkarım sistemi ekranı **94**

Şekil 5.31: İdari kayıp bileşenleri bulanık mantık modeli.....**95**
Şekil 5.32: Fuzzy Logic Designer değişkenlerin tanımlanması.....**96**
Şekil 5.33: Bulanık mantık üyelik fonksiyonları: a) Bayes Olasılık b) Maliyetler c) Su Enerji Gelir Kaybı d) Sosyal Etki e) Risk **98**
Şekil 5.34: a) Bulanık sayıların eşdeğer net değeri, b) Bulanık kural çıkarımı sonuçları nitel ölçeği.....**100**
Şekil 5.35: Fuzzy Logic Designer Rule Editor ekranı.....**101**
Şekil 5.36: İdari kayıp yönetim bileşenleri için risk değeri hesaplama örneği.....**102**
Şekil 5.37: Bulanık mantık modelinin kontrol yüzeyinde Olasılık-Maliyetler, Olasılık-Su Enerji Gelir Kaybı ve Olasılık-Sosyal Etki değişkenlerinin Risk değişkeni üzerinde etkileri.....**104**
Şekil 5.38: Bulanık mantık modelinin kontrol yüzeyinde Maliyetler-Olasılık, Maliyetler-Su Enerji Gelir Kaybı ve Maliyetler-Sosyal Etki değişkenlerinin Risk değişkeni üzerinde etkileri.....**107**
Şekil 5.39: Bulanık mantık modelinin kontrol yüzeyinde Su Enerji Gelir Kaybı-Olasılık, Su Enerji Gelir Kaybı-Maliyetler ve Su Enerji Gelir Kaybı-Sosyal Etki değişkenlerinin Risk değişkeni üzerinde etkileri.....**109**
Şekil 5.40: Bulanık mantık modelinin kontrol yüzeyinde Sosyal Etki-Olasılık, Sosyal Etki-Maliyetler ve Sosyal Etki-Su Enerji Gelir Kaybı değişkenlerinin Risk değişkeni üzerinde etkileri.....**111**

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

ÇKKV : Çok Kriterli Karar Verme

AHP : Analitik Hiyerarşi Prosesi

FAHP : Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi

ANP : Analitik Ağ Süreci

TOPSIS : İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği

BBN : Bayes İnanç Ağı

GGS : Gelir Getirmeyen Su

CI : Tutarlılık İndeksi

RI : Rassal İndeks

CR : Tutarlılık Oranı

$\boldsymbol{\lambda_{max}}$: Özdeğer

IWA : Uluslararası Su Birliği

SCADA : Merkezi Denetim ve Veri Toplama Sistemi

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemi

ABYS : Abone Bilgi Yönetim Sistemi

MATLAB : Matrix Laboratory

SCADA : Uzaktan Veri İzleme ve Kontrol Sistemi

WDN : Su Dağıtım Şebekesi

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SU DAĞITIM SİSTEMLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR SU YÖNETİMİ İÇİN ÇOKLU ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME İLE İDARİ KAYIP BİLEŞENLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

FURKAN ACAR

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

125+XI sayfa

2025

Danışman: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

Su kaynaklarının verimli kullanılmasında su kayıplarının önlenmesi oldukça kritik rol oynamaktadır. Abone sayaç hatalarından kaynaklanan kayıplar ve yasa dışı kullanımları içeren idari kayıpların etkin yönetimi su ve finansal verimliliğin sağlanmasına ciddi katkı sunmaktadır. İdari kayıpların fazla olduğu sistemlerde aşırı su kullanımı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca idari kayıp oranının artmasına bağlı olarak idarelerin doğrudan gelir kaybı da artmaktadır.

Bu çalışmada, kentsel su temin ve dağıtım sistemlerinde idari kayıp ve faturalandırılmamış yasal kullanımların yönetim bileşenlerinin önceliklendirilmesi ve bu bileşenlerin etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için bir çerçeve sunulması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında ilk olarak iyileştirilmesi gereken bileşenlerin değerlendirilebilmesi için ekonomik, idari/yönetim, sosyo-ekonomik, çevresel ve sosyal kategorilerde kriterler belirlenmiştir. Bileşenlerin karar kriterleri üzerindeki önem derecelerinin belirlenmesinde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Analitik Ağ Süreci (ANP) yöntemleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Daha sonra AHP ve ANP ile ağırlıklandırılmış karar matrislerine TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği) yöntemi uygulanmış ve bileşenlerin su kayıpları üzerindeki etkilerine göre sıralaması elde edilmiştir. Ayrıca Bayes ağları kullanılarak bileşenlerin idari kayıplar üzerindeki olasılıksal analizleri gerçekleştirilmiştir. Son aşamada bulanık mantık teorisi ile bileşenlerin maliyet, su-enerji-gelir kaybı, sosyal etki açısından oluşturabilecekleri risk potansiyelleri hesaplanarak risk sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, su temin dağıtım sistemlerinde idari kayıpları en aza indirmek, su ve finansal verimliliği sağlamak, gelir kaybına neden olan faktörleri en aza indirmek için önemli veriler sunmuştur.

Kriter ağırlıklandırma yöntem sonuçları idari kayıp bileşenlerinin suyun korunması, verimlilik, işletme maliyeti, ödeyebilirlik ve gelir artırımı kriterleri üzerinde büyük etkisi olduğunu göstermektedir. Olasılıksal analiz ve risk değerlendirmeleri ile idari su kayıp bileşenlerinin maliyet, su-enerji-gelir kaybı ve sosyal etki açısından etkileri incelendiğinde ana bileşenlerde veri ölçüm ve yönetimi ile sayaç yönetimi, alt bileşenlerde ise sistem giriş

debisinin düzenli ölçülmemesi veya hatalı ölçülmesi ile ortalama sayaç yaşının yüksek olması bileşenlerinin yüksek öneme sahip olduğu tespit edilmiştir. Olasılığa dayalı risk değerlendirme modelinde ise bileşenlerin gerçekleşme olasılıkları (P), yatırım, işletme, bakım ve rehabilitasyon maliyetleri (C), su, enerji ve gelir kaybı (L) ve sosyal etki (S) kategorilerinde incelenmesi ile risklerin sistematik olarak değerlendirilebilmesi ve etkilerinin tahmin edilebilmesi amaçlanmıştır. Sonuçlar veri ölçüm ve yönetimi ana başlığının idari kayıp oluşma olasılığını 89.78 düzeyinde etkilediğini, alt bileşenlerde ise tahakkuk ve faturalama sisteminin yetersiz olması, kaçak kullanımdan kaynaklı kayıpların fazla olması ve yasal faturalandırılmamış ve ölçülmemiş kullanımların fazla olması bileşenlerinin yüksek etki düzeyinde olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, kentsel su yönetiminde idari kayıpların yönetimi için uygulanabilir stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayacak nitelikte olup, su yönetimi alanında karar vericilere yol gösterici olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Su kayıp yönetimi, İdari kayıplar, ÇKKV, Risk değerlendirme, Bayes teoremi

ABSTRACT

Master Thesis

EVALUATION OF APARENT LOSS COMPONENTS IN WATER DISTRIBUTION SYSTEMS WITH MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING FOR SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT

FURKAN ACAR

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

125+XI page

2025

Supervisor: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

Preventing water losses plays a critical role in the efficient use of water resources. Effective management of administrative losses, including losses caused by subscriber meter errors and illegal uses, makes a significant contribution to ensuring water and financial efficiency. Excessive water use occurs in systems with high administrative losses. In addition, direct revenue losses of administrations increase due to the increase in the administrative loss rate. This study aims to prioritize the management components of administrative losses and unbilled legal uses in urban water supply and distribution systems and to provide a framework for the effective and sustainable management of these components. Within the scope of the study, criteria were first determined in economic, administrative/management, socio-economic, environmental and social categories in order to evaluate the components that need to be improved. Analytical Hierarchy Process (AHP) and Analytical Network Process (ANP) methods were applied separately in determining the importance levels of the components on the decision criteria. Then, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) method was applied to the decision matrices weighted with AHP and ANP and the ranking of the components according to their effects on water losses was obtained. In addition, probabilistic analyses of the components on administrative losses were performed using Bayesian networks. In the last stage, risk classification was carried out by calculating the risk potentials of the components in terms of cost, water-energy-income loss, and social impact with the Fuzzy Logic Theory. These analyses provided important data to minimize administrative losses in water supply distribution systems, to ensure water and financial efficiency, and to minimize the factors causing income loss.

The results of the criteria weighting method show that administrative loss components have a great impact on the criteria of water protection, efficiency, operating cost, solvency and income increase. When the effects of administrative water loss components in terms of cost, water-energy-income loss and social impact are examined with probabilistic analysis and risk assessments, it is determined that data measurement and management and meter management are of high importance in the main components, and irregular or incorrect measurement of system inlet flow and high average meter age are of high importance in the sub-components. In the probability-based risk assessment model, the components are

examined in the categories of probability of occurrence (P), investment, operating, maintenance and rehabilitation costs (C), water, energy and income loss (L) and social impact (S), and the aim is to systematically evaluate the risks and estimate their effects. The results indicated that the main heading of data measurement and management affected the probability of administrative loss at a level of 89.78, and that the components of the inadequacy of the accrual and billing system, the high level of losses due to illegal use, and the high level of unmeasured uses that were not legally billed had a high level of impact. The results of the study will contribute to the development of applicable strategies for apparent loss management in urban water management and will guide decision-makers in the field of water management.

Keywords: Water loss management, Apparent losses, MCDM, Risk assessment, Bayes's theorem

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Önemi

Kentsel su yönetiminde abone memnuniyetinin sağlanması, yeterli miktarda ve kalitede suyun zamanın abonelere iletilmesi ve su teminin sürdürülebilir bir şekilde sağlanması idarelerin en temel görevidir. Bununla birlikte kentsel su yönetimi oldukça karmaşık, zor ve maliyetli süreçleri içermektedir. Özellikle su kayıplarının yüksek oranlara ulaştığı sistemlerde su temin ve dağıtımının sürdürülebilirliğinin sağlanması oldukça güç olmaktadır. Su kayıpları, temel olarak idari kayıplar (sayaç hatalarından kaynaklanan kayıplar ve yasa dışı kullanımlar) ve fiziki kayıplar (kaynaktan son kullanıcıya kadar meydana gelen sızıntılar) olmak üzere iki temel bileşenden oluşmaktadır (Pearson, 2018). Bu kayıplara ilavaten dağıtım sistemlerinde yasal kullanıcı olduğu halde mevzuat gereği ücret ödemeyen kullanıcılar da bulunmaktadır. Bu kullanımlar, faturalandırılmamış yasal kullanım olarak tanımlanır (Bozkurt ve diğ, 2022). Su kayıpları ve faturalandırılmamış yasal kullanımların toplamı gelir getirmeyen suyu ifade etmektedir. Gelir getirmeyen su (GGS) oranı ülkelerin gelişmişlik durumuna göre farklı düzeylerde gözlenmektedir. Bu oranların doğruluğu beyan edilen verilerin doğruluğuna bağlıdır. Gelişmekte olan ülkelerde bu oranın ortalama %45-50 aralığında olduğu raporlanmaktadır (Dighade ve diğ, 2014).

Faturalandırılmamış yasal kullanımlar, hizmet sunulduğu ve kullanıcılar tarafından su tüketildiği halde ücreti ödenmeyen suyu ifade ettiğinden idareler için doğrudan gelir kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle bu tüketimlerin azaltılması, tasarrufun ve verimliliğin sağlanması sadece su kaynakları açısından değil aynı zamanda finansal verimlilik açısından da önemli katkılar sunmaktadır. Benzer durum idari kayıplar için de geçerlidir. Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıp hacmi, yasal kayıtlı abone sayaçlarında meydana gelen arızalar sonucu oluşan kayıp hacmini ifade ettiğinden hata oranının artmasına bağlı olarak idari kayıpların hacmi de artmaktadır. Bu durumda yasal tüketim olduğu halde sayaç eksik ve hatalı okuma yaptığı için daha düşük hacim kaydedilmekte ve fatura bedeli azalmaktadır. Bunun sonucunda idare için hizmet sunulduğu halde ücreti alınmayan hacim ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde kaçak (yasa dışı) kullanımlar kaçak bağlantı ve sayacın tahrip edilmesi gibi yasa dışı faaliyetler sonucu kullanılan suyu ifade eder. Bu durumda da idareler hizmet sunmakta ve kullanıcılar suyu tüketmekte ancak ücret ödememektedir.

Bu kapsamda, bahsedilen iki bileşenin azaltılması idarelerde gelir artışına ya da doğrudan finansal kaybın azaltılmasına önemli katkı sunacaktır. Ancak bunu

gerçekleştirmek için bu kayıplara sebep olan faktörlerin iyi anlaşılması ve risk düzeylerinin belirlenmesi, tespit ve azaltma yöntemlerinin doğru bir şekilde tanımlanması ve önceliklendirilmesi ve bu kayıpların yönetiminde katkı sunacak veritabanlarının güncel olması gibi oldukça fazla sayıda ölçütün aynı anda dikkate alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada, kentsel su temin ve dağıtım sistemlerinde idari kayıp ve faturalandırılmamış yasal kullanımların yönetim bileşenlerinin önceliklendirilmesi ve bu bileşenlerin etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için bir çerçeve sunulması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında ilk olarak iyileştirilmesi gereken bileşenlerin değerlendirilebilmesi için ekonomik, idari/yönetim, sosyo-ekonomik, çevresel ve sosyal kategorilerde kriterler belirlenmiştir. Bileşenlerin karar kriterleri üzerindeki önem derecelerinin belirlenmesinde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Analitik Ağ Süreci (ANP) yöntemleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Daha sonra AHP ve ANP ile ağırlıklandırılmış karar matrislerine TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği) yöntemi uygulanmış ve bileşenlerin su kayıpları üzerindeki etkilerine göre sıralaması elde edilmiştir. Ayrıca Bayes ağları kullanılarak bileşenlerin idari kayıplar üzerindeki olasılıksal analizleri gerçekleştirilmiştir. Son aşamada bulanık mantık teorisi ile bileşenlerin maliyet, su-enerji-gelir kaybı, sosyal etki açısından oluşturabilecekleri risk potansiyelleri hesaplanarak risk sınıflandırması gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır.

- Giriş bölümde, çalışmanın arka planı, amacı ve kapsamı açıklanmaktadır.
- Kaynak Özetleri bölümünde, su kayıpları ve idari kayıp yönetimi, çoklu ölçütlü karar verme yöntemleri konularındaki önceki çalışmalar özetlenmiştir.
- Yöntemler bölümünde, çalışmada kullanılan AHP, ANP, TOPSIS, Bayes Teoremi ve Bulanık Mantık yöntemlerinin ayrıntılı açıklamaları ve uygulama süreçleri yer almaktadır.
- İdari Kayıp Bileşenleri bölümünde, su kayıplarının bileşenleri ve bu bileşenlerin belirlenmesi için kullanılan yöntemler tartışılmaktadır.
- Analiz ve Değerlendirme bölümünde, idari kayıp ve faturalandırılmamış yasal kullanım bileşenlerinin ölçütlerinin belirlenmesi, karar verme ölçütlerinin ağırlıklandırılması ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmaktadır.
- Son bölüm olan Sonuçlar ve Öneriler bölümünde ise çalışma sonucu elde edilen bulgulardan bahsedilmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İdari kayıpların oluşumu, tespiti, önlenmesi, azaltılması ve yönetimi kapsamında literatürde yer alan çalışmalar incelenmiş ve detaylı değerlendirme yapılmıştır.

Rizzo ve diğ. (2007) idari kayıpların (sayaç hatası, sayaç okuma hatası, yasa dışı su kullanımı ve faturalandırma hatası) dört alt bileşenden oluştuğunu vurgulamıştır. Bu bileşenlerin detayları açıklanıp, su denetimlerinin nasıl gerçekleştirileceğine yönelik bir pilot çalışma yapılmıştır. İdari kayıpları doğru ölçebilmek için bir İdari Kayıp Endeksi (ALI) performans göstergesi önerilmiştir. Bu göstergeye göre idari kayıplar için sisteme verilen suyun %5'i temel bir değer olarak önerilmekte ve gerçek idari kayıp değeri bu referans değerine karşı hesaplanmaktadır.

Criminisi ve diğ. (2009) tarafından İtalya'nın Palermo şehrinde gerçekleştirilen çalışmada, su sayaç yaşının ve özel su deposu tanklarının sayaç performansı üzerine etkileri analiz edilmiştir. Çalışmada, 0-45 yaş aralığında olan 180 sayaç test edilerek değerlendirilmiştir. Su sayaç yaşının artmasının sayaçların hassasiyet eşiğinin yükselmesine ve özel su depolarının genelde şamandıra vanası ile düşük ve sabit bir debiyle beslenmesinin sayaçların başlangıç debisinin altında kalıp okuma yapamamasına neden olduğu ifade edilmiştir. Bu durumun idari su kayıpları üzerindeki etkiyi artırdığı ve analiz edilen kullanıcılar için %15 ile %40 arasında ek idari kayıplara neden olduğu belirlenmiştir.

Mutikanga ve diğ. (2011a) tarafından yapılan çalışmada Uganda'nın Kampala şehrinin su dağıtım sisteminde meydana gelen idari kayıpların bileşenleri değerlendirilmiş ve kayıp oranları hesaplanmıştır. Sahada gerçekleştirilen ölçümlere göre idari kayıp oranı ücreti alınan suyun yaklaşık %37'si olarak elde edilmiştir. İdari kayıpların başlıca alt bileşenlerinin yasa dışı su kullanımı ve sayaç ölçüm hataları olduğu vurgulanmıştır. Bu bileşenlerin yönetimi için uygun müdahale stratejileri değerlendirilmiştir.

Mutikanga ve diğ. (2011b) bir diğer çalışmalarında su kayıp yönetim sürecinde su dağıtım sistemlerinde stratejik bir planlama yapmak için çok ölçütlü karar verme yaklaşımını içeren kapsamlı bir çerçeve sunmuştur. Su kayıplarını azaltmaya yönelik stratejik seçenekler arasından önceliklendirme yapmak amacıyla PROMETHEE II yöntemi uygulanmıştır. Karar vericilerin tercihleri esas alınarak finansal-ekonomik, çevresel, halk sağlığı, teknik ve sosyo-ekonomik başlıkları altında kategorize edilen 7 adet değerlendirme kriteri ve hedefler için ağırlıklar belirlenmiş ve göreceli önemleri sıralanmıştır. En çok tercih edilen

seçeneklerin su temin güvenilirliği, halk sağlığı ve su tasarrufu önlemlerini artıran bileşenler olduğu tespit edilmiştir.

Rimeika ve Albrektienn (2014) tarafından yapılan çalışmada, Litvanya'nın Alytus kentinde idari kayıplara sebep olan etkenlerin araştırılması amaçlanmıştır. Çeşitli sayaç tipleriyle yapılan bu çalışmada sayaç tipinin su kayıplarına etkisi değerlendirilmiştir. Kamu binaları gibi toplu okuma yapılan yerlerde B ve C tipi sayaçların kullanıldığı ve evsel kullanımların okunduğu yerlerde yeni C tipi sayacın kullanıldığı bir deney yapılmıştır. Deney sonucunda daha yüksek doğrulukta bir okuma için C sınıfı sayaçların kullanılması önerilmiştir.

Ríos ve diğ. (2014) tarafından yapılan bu çalışmada, idari kayıpların ölçülmesi ve coğrafi bilgi sistemi (CBS) temelli bir sistemin geliştirilmesi amacıyla basit ve maliyet etkin bir yöntem sunulmuştur.

Xin ve diğ. (2014) izole alt bölgelerinde debimetre özelliklerine dayanarak idari kayıpların bileşenlerini analiz etmeyi amaçlamıştır. Gelir getirmeyen suyun üç ana bileşenini hesaplamak için metodoloji sunulmuştur. Sunulan metodolojide fiziki kayıpların değerlendirilmesi Minimum Gece Debisi (MNF) analiziyle gerçekleştirilirken, izinsiz tüketimler varyasyon eğrisiyle ve ölçüm hataları da genetik algoritma destekli su dengesi temelli entegre bir model ile hesaplanmıştır.

Zyoud ve diğ. (2016) Filistin'de kesintili bir su temin sistemi için su kayıp yönetim seçeneklerini önceliklendirmek amacıyla AHP temelli entegre çok kriterli karar verme sürecini önermiştir. Ekonomik, çevresel, teknik ve sosyo-ekonomik başlıkları altında kategorize edilen 10 kriter ve seçenek arasından işletme basıncını kontrol etmeyi ve yönetmeyi içeren stratejik planın en öncelikli seçenek olduğu belirlenmiştir.

Aşchilean ve diğ. (2017) AHP yöntemini kullanarak Romanya'nın Cluj-Napoca şehrinde su dağıtım borularının rehabilitasyonu için belirlenen 10 alternatif arasından çok kriterli karar verme sürecini uygulamıştır. Alternatiflerin 7 adet karar kriterine göre değerlendirilmesi sonucunda en öncelikli rehabilitasyon teknolojisi 0.1527 değer ile Slipline olarak belirlenmiştir.

Tabesh ve diğ. (2017) su dağıtım sistemlerindeki fiziki kayıpları etkileyen faktörleri belirleyerek aralarındaki olasılık ilişkilerini değerlendirmek amacıyla Bayes ağlarını kullanmıştır. Belirlenen 23 adet faktörün koşullu olasılıklarını değerlendirmek için bir model

oluşturmuştur. Çalışmada fiziki kayıplar üzerinde en fazla etkiye sahip olan faktörler; boru ve cihazların yanlış montajı, çalışanlara verilen yetersiz eğitim ve cihazların zamanında değiştirilmemesi olarak belirlenmiştir.

Tabesh ve diğ. (2018) bir başka çalışmalarında, su dağıtım şebekesinde gelir getirmeyen su bileşenlerini etkileyen faktörler üzerinde bir risk değerlendirmesi yapmıştır. Bu risk değerlendirmesinin ilk aşamasında, faktörler arasındaki olasılık ilişkileri Bayes Ağı (BN) kullanılarak belirlenmiştir. İkinci aşamada GGS bileşenlerinin varlığının sosyal ve finansal sonuçları tanımlanıp belirsizlikleri dikkate almak için bulanıklaştırılmıştır. Son olarak bulanıklaştırılmış olasılık ve sonuçlar birleştirilerek GGS bileşenlerinin riski hesaplanmıştır. GGS bileşenlerinin hesaplanan riski "Orta Derecede Yüksek" olup, idari kayıplar, fiziki kayıplar ve faturalandırılmamış yasal tüketimler için sırasıyla 7.05, 6.95 ve 6.4 olarak elde edilmiştir.

Aşchilean ve Giurca (2018) Romanya'nın Cluj-Napoca şehrinin su dağıtım ağındaki asbest boruların rehabilitasyonu için en uygun stratejinin seçilmesi amacıyla ANP uygulanmıştır. Super Decisions 2.6.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen analizde, tanımlanan 7 adet karar kriteri doğrultusunda değerlendirilen 5 alternatif arasından 0.3664 değer ile en öncelikli alternatif Subline olarak belirlenmiştir.

Prakoso ve Notodarmojo (2018) Endonezya'nın Subang bölgesinin içme suyu temin sistemini iyileştirmek amacıyla Bulanık AHP (FAHP) yöntemini kullanmıştır. Operasyonel teknik, finansal, çevresel ve yönetim kapasitesi olmak üzere dört ana faktör altındaki 22 faktör ağırlıklandırılarak su temin sisteminin alternatifleri değerlendirilmiştir. Su temin sisteminin iyileştirilmesinde en yüksek etkiye sahip faktörün operasyonel teknik olduğu belirlenmiş ve bunu yönetim kapasitesi, çevre ve finansal boyut faktörleri izlemiştir.

Ncube ve Taigbenu (2019) Güney Afrika'nın Johannesburg kentindeki bir su idaresinin sayaç verilerini baz alarak idari kayıpları tahmin etmek için veri hazırlama teknikleri, klasik regresyon ve kümeleme analizini birleştiren geliştirilmiş bir karşılaştırmalı faturalama analizi yöntemi ile 3 farklı metodolojiyi değerlendirmiştir. Sonuçlar, veri odaklı keşif süreçlerinin su kayıplarının daha iyi değerlendirilmesi ve yönetimi için uygulanabilir alternatifler olduğunu göstermektedir.

Zyoud ve Fuchs-Hanusch (2019) su kayıpları yönetim stratejilerini önceliklendirmek amacıyla AHP ve FAHP yöntemlerini kullanarak karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmada belirlenen 10 alternatif için ekonomik, çevresel, teknik ve sosyo-ekonomik ana

kriterleri altında 10 adet değerlendirme kriterine göre önceliklendirme yapılmıştır. Önceliklendirme sonucunda geleneksel AHP ve FAHP'ye göre yapılan sıralamaların birbirleri ile uyumluluk gösterdiği görülmüştür.

Tabesh ve diğ. (2020) fiziki ve idari kayıplara ilişkin azaltma politikalarının etkinliğini araştırmak için TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Sonuçlar, risk tabanlı grup karar alma sürecinde en temel gelir getirmeyen su azaltma politikasının, fiziki kayıp sektöründe bakım ve onarımların hızını ve kalitesini artırmak ve idari su kaybı sektöründe yetkisiz bağlantıları belirlemek olduğunu göstermiştir.

Pagano ve diğ. (2021) su temin sistemlerinde acil durumlarda uygulanacak yönetim stratejileri arasından önceliklendirme yapmak amacıyla belirlenen teknik performanslar, ekonomik geçerlilik, çevresel sürdürülebilirlik, sosyal kabul edilebilirlik ve yerel koşullar kriterlerine göre AHP yöntemini esas alan metodoloji önermiştir.

Yılmaz ve diğ. (2021) tarafından yapılan çalışmada, gelir getirmeyen su seviyesini azaltıp ekonomik kazanç seviyesini artırmak ve sayaç değişimi ve rehabilitasyonunda öncelikli alanları belirlemek amacıyla AHP ve ELECTRE yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bütünleşik bir metodoloji kullanılmıştır. Geliştirilen model 7 kriter ile Malatya ilinde belirlenen 20 alt bölgeye uygulanmıştır. AHP yöntemiyle kriterlerin ağırlıklandırılmasının ardından ELECTRE yöntemi ile öncelikli alanlar belirlenmiştir. Ağırlığı en yüksek kriterin 0.242 ile Arızalı Sayaç Oranı olduğu tespit edilmiştir.

Mokhtari ve Sarraf (2023) İran'ın İsfahan kentinde su dağıtım hatlarında meydana gelen su kayıplarının yönetimine ilişkin en uygun stratejinin belirlenmesi ve kendi aralarında önceliklendirilmesi amacıyla 10 uzmanın görüşleri alınarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP yöntemini uygulamıştır. Su kayıp yönetiminin en etkili stratejisinin 0.400 ağırlıkla basınç düşüşü stratejisi olduğu belirlenmiştir.

Nedjar ve diğ. (2023) Cezayir'in Souk-Ahras kentindeki su dağıtım şebekelerinin rehabilitasyonuna yönelik planlamayı iyileştirmek ve boruların bozulması üzerinde etkiye sahip göstergelerin sınıfını belirlemek amacıyla 24 uzmanın görüşlerine göre AHP yöntemini uygulamıştır. Fiziksel, operasyonel ve çevresel ana kriterleri altında 17 adet alt kriterle 56 adet göstergenin göreceli ağırlıkları elde edilmiştir.

Bouchraki ve diğ. (2023) su dağıtım hatlarında rehabilitasyon planlaması yapmak ve faydaları değerlendirmek amacıyla karar destek sistemine dayalı bir metodoloji sunmuştur.

Bu çalışmada, 13 karar kriteri temelinde 204 boru üzerinde gerçekleştirilen uygulamada boruları aciliyet sırasına göre sıralayıp öncelikleri belirlemiştir. Ayrıca faydalar çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik parametreler bağlamında değerlendirilmiştir. FAHP yöntemi ile ağırlıklandırılan kriterler dikkate alınarak PROMETHEE II yöntemi ile boruların genel sıralaması elde edilmiştir.

Sofiane ve diğ. (2023) içme suyu temin hizmetleri sisteminin performansını değerlendirmek için Delphi-FAHP-TOPSIS yöntemlerini içeren entegre bir metodoloji uygulamıştır. Delphi yöntemi kullanılarak 12 adet değerlendirme kriteri ve 6 adet alternatif seçilmiştir. Bu kriterlerin FAHP ile göreceli ağırlıkları elde edilmiş ve bu ağırlıklar dikkate alınarak alternatifler TOPSIS yöntemi ile performanslarına göre sıralanmıştır. FAHP'den elde edilen sonuçlara göre en yüksek ağırlığa sahip iki kriter sırasıyla mali özerklik (%19.5) ve teknik performans (%19) olarak belirlenmiştir. TOPSIS sonuçlarına göre en iyi ilk iki alternatif, su kaybını azaltma ve su fiyat reformu olarak belirlenmiştir.

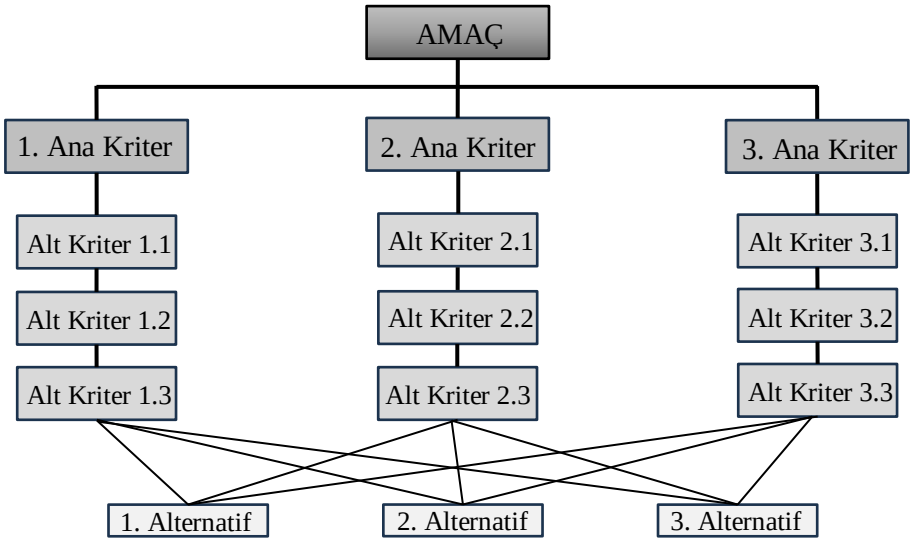
Karasneh ve Moqbel (2024) su dağıtım ağı rehabilitasyon projelerini önceliklendirmek amacıyla belirlenen fiziksel, çevresel, operasyonel, hizmet kalitesi ve sosyoekonomik faktörleri 23 uzmanın değerlendirmesi ile FAHP yöntemini kullanarak ağırlıklandırmıştır. Sonuçlar, beş ana kategoriden en yüksek ağırlığı %38 ile fiziksel faktörlerin aldığını ve bunu %24 ile operasyonel faktörlerin takip ettiğini göstermektedir.

Eren ve diğ. (2025) tarafından yapılan çalışmanın amacı su kaynaklarının verimsizliğine neden olan sızıntıların yönetimi için çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak sızıntı yönetimi bileşenlerini önceliklendirmektir. Karar verme sürecinde tanımlanan 13 adet değerlendirme kriteri AHP ve ANP yöntemleri ile ağırlıklandırılarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Belirlenen 75 adet sızıntı yönetimi bileşenin, AHP ve ANP ile elde edilen kriter ağırlıklarına göre TOPSIS yöntemiyle öncelik sıralaması yapılmıştır. AHP ve TOPSIS ile sıralanan ilk 20 bileşenin, genel olarak ANP ve TOPSIS ile elde edilen sıralamayla benzerlik gösterdiği görülmüştür.

3. YÖNTEMLER

3.1 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

(Saaty, 1977) tarafından geliştirilen AHP, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olup karmaşık ve çok kriterli durumlarda ortaya çıkan karar problemlerini çözmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda çözümlenmek istenen problemi etkileyen kriterleri ve en iyi kararın alınacağı bir dizi alternatif seçenekleri değerlendirir. AHP, temel olarak iki amaç için kullanılmaktadır: Birincisi, karar problemini etkileyen kriterler doğrultusunda alternatiflerin birbirleriyle kıyaslanmasıyla en uygun ve en doğru alternatif seçeneği belirlemek amacıyla gerçekleştirilmektedir. İkincisi ise birbiriyle ilişkili ve sıklıkla rekabet halinde olan kriterler arasında bir öncelik belirlemek amacıyla uygulanmaktadır (Shapira ve Goldenberg, 2005). Bu sonuç ile AHP yönteminde alternatifler ve kriterler arasından bir seçim yapılabileceği gibi sıralamada yapılabilmektedir. AHP, hiyerarşik bir yapı içinde tasarlanarak bünyesinde ulaşılmak istenen hedefi, amacı, kriterleri ve alternatifleri bulundurur. Bu hiyerarşik yapı problemi etkileyen kriterler ile bu kriterlere bağlı alternatiflerin ilişkilendirilmesiyle oluşturulur ve kriterlerin karar önceliklerine göre alternatifler değerlendirilir (Saaty, 2008). Bir problemi daha küçük bileşen parçalarına ayırma mantığına dayanan AHP, hiyerarşide öncelikleri belirlemek ve geliştirmek amacıyla birden fazla kriter ve karar verici görüşünü dikkate alarak problemlere karar süreci uygular (Saaty, 1984).



Şekil 3.1: AHP modeli (Secundo ve diğ, 2017).

AHP yöntemi, süreçlerin analiz edilmesinde karar vericilerin deneyim ve bilgilerinden yararlanmak amacıyla karşılaştırma matrisi oluşturma sürecine katılımlarını gerektirir. İnsan görüşlerini girdi olarak kullanması sebebi ile sezgisel temelli bir yöntem olarak değerlendirilir. Uzmanlar tarafından yapılan puanlandırmalar ve ikili karşılaştırmalar, yöntemin temelini oluşturur. Bu karşılaştırmalar, tanımlanan kriterler ile alternatifler arasındaki göreceli önem derecelerini tespit etmek için kullanılır. Yapılan tüm bu değerlendirmeler bir araya getirilerek sentezlenir ve matematiksel bir model çerçevesinde hiyerarşideki tüm unsurların ağırlık katsayıları belirlenir. AHP, hiyerarşideki tüm unsurların birbiriyle bağlantısını sağlar. Bu sayede bir kriterde meydana gelen değişikliklerin diğer kriterler üzerindeki etkisi rahatlıkla gözlemlenir. AHP temel olarak problem ve amacın belirlenmesi, hiyerarşik yapının oluşturulması, ikili karşılaştırma matrislerinin elde edilmesi, ikili karşılaştırma matrislerinin normalize edilmesi, özdeğer ve öncelik vektörünün elde edilmesi ve tutarlılık oranının hesaplanması adımlarından oluşur (Alonso & Lamata, 2006).

Kriter ve alternatifler arasındaki ikili karşılaştırmaların oluşturulmasında, Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen puanlandırma ölçeği kullanılır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1: Saaty puanlandırma ölçeği (Saaty, 1977 ve 1987).

Önem Derecesi	Tanıtım	Açıklama
1	Eşit Önemli	İki faktörün de önem derecesi eşittir.
3	Orta Derece Önemli	Bir faktörün önem derecesi diğerine oranla biraz daha önemlidir.
5	Yüksek Derece Önemli	Bir faktör diğer faktöre göre oldukça önemlidir.
7	Çok Yüksek Derece Önemli	Bir faktörün diğer faktöre nazaran önem derecesi çok yüksektir.
9	Son Derece Önemli	Bir faktörün önem derecesi diğer faktöre göre son derece önemli bir biçimdedir.
2,4,6,8	Ara Önem Dereceleri	Gerektiğinde ara rakamlar kullanılabilir.

Karar vericiler tarafından kriterlerin birbirlerine göre ağırlıkları belirli bir ölçek kullanılarak puanlanır ve köşegen elemanları 1 olacak şekilde Denklem 3.1'de gösterildiği gibi bir karşılaştırma matrisi oluşturulur. İkili karşılaştırmalar, karar verici uzmanların yapmış oldukları puanlandırmalar ve yargıların bir matrise dönüştürülmesi sebebi ile AHP yönteminin en önemli adımıdır (Oğuzlar, 2007).

$$A = [a_{ij}]_{n\times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & 1 & \vdots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Karşılaştırma matrisinde *i* matrisin satırını *j* ise matrisin sütununu ifade ederken $n \times n$ ifadesi ise *n* tane kriterden oluşan matrisin bir kare matris olduğunu gösterir. Denklem 3.2'de yer alan a_{ij}, *i.* ölçüt ile *j.* ölçütün ikili karşılaştırma değerini, a_{ji} değeri ise *j* ölçüt ile *i* ölçütün ikili karşılaştırma değerini tanımlar. Matriste yer alan bu a_{ji} değeri $1/a_{ij}$ ile hesaplanır. *i=j* olduğu zaman aynı ölçütün kendisine göre üstünlüğü olamayacağı için matris değeri 1 olur. a_{11}, a_{22} ve a_{nn} değeri 1 olarak tanımlanır.

Karşılaştırma matrisinde yer alan elemanlar, Denklem 3.2'deki gibi kendi sütun toplamına bölünerek normalize edilir. Bu işlem neticesinde elde edilen normalize edilmiş matrisin her bir sütun toplamı 1'e eşit olur ve $a_{ij'}$ matrisi elde edilir.

$$a_{ij'} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} aij} \tag{3.2}$$

Normalize edilen $a_{ij'}$ matrisinin her satırındaki elemanların aritmetik ortalaması Denklem 3.3'teki gibi hesaplanır. Bu ortalama değerler her bir kriterin önem ağırlıklarını temsil eder. Elde edilen ağırlıklar öncelik vektörünü (W_{ij}) oluşturur. Öncelik vektörü Denklem 3.4'teki gibi $n \times 1$ boyutunda bir sütun matrisidir.

$$W_{ij} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_{ij'} \qquad \text{i, j = 1, 2, ..., n} \tag{3.3}$$

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix} \tag{3.4}$$

Karar vericiler tarafından oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi [A] ile bu matrislerin normalize edilip ağırlıklandırılması sonucu elde edilen *W* vektörünün çarpımıyla *D* vektörü elde edilir.

$$[D] = [A] \times [W] \tag{3.5}$$

$$[D] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & 1 & \vdots \\ a_{n1} = \frac{1}{a_{1n}} & a_{n2} = \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

[D] vektörünün hesaplanmasının ardından bu vektörün her bir elemanı ilgili kriterin ağırlık katsayısına yani [W] vektörüne bölünerek [E] vektörü elde edilir. Elde edilen [E] vektörü karar verme sürecindeki her bir kriter için nihai değerlendirme değerlerini ifade eder. Elde edilen bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak özdeğer (λ_{max}) elde edilir.

$$[E] = \frac{D}{W} \quad (3.7)$$

Karar vericilerin yapmış olduğu kıyaslama sonuçlarının doğruluğunun değerlendirilebilmesi için tutarlılık analizinin yapılması gerekir. Bu analiz için Denklem 3.9'da yer alan Tutarlılık Oranı (CR) adı verilen değerin hesaplanması gerekir. Denklemde kriter sayısına (n) bağlı olarak değişen RI (Rassal İndeks) yer almaktadır. RI değeri, Çizelge 3.2'den kriter sayısına karşılık gelen değer olarak alınır.

Çizelge 3.2: Rassal İndeks (RI) değeri (Saaty, 1980).

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

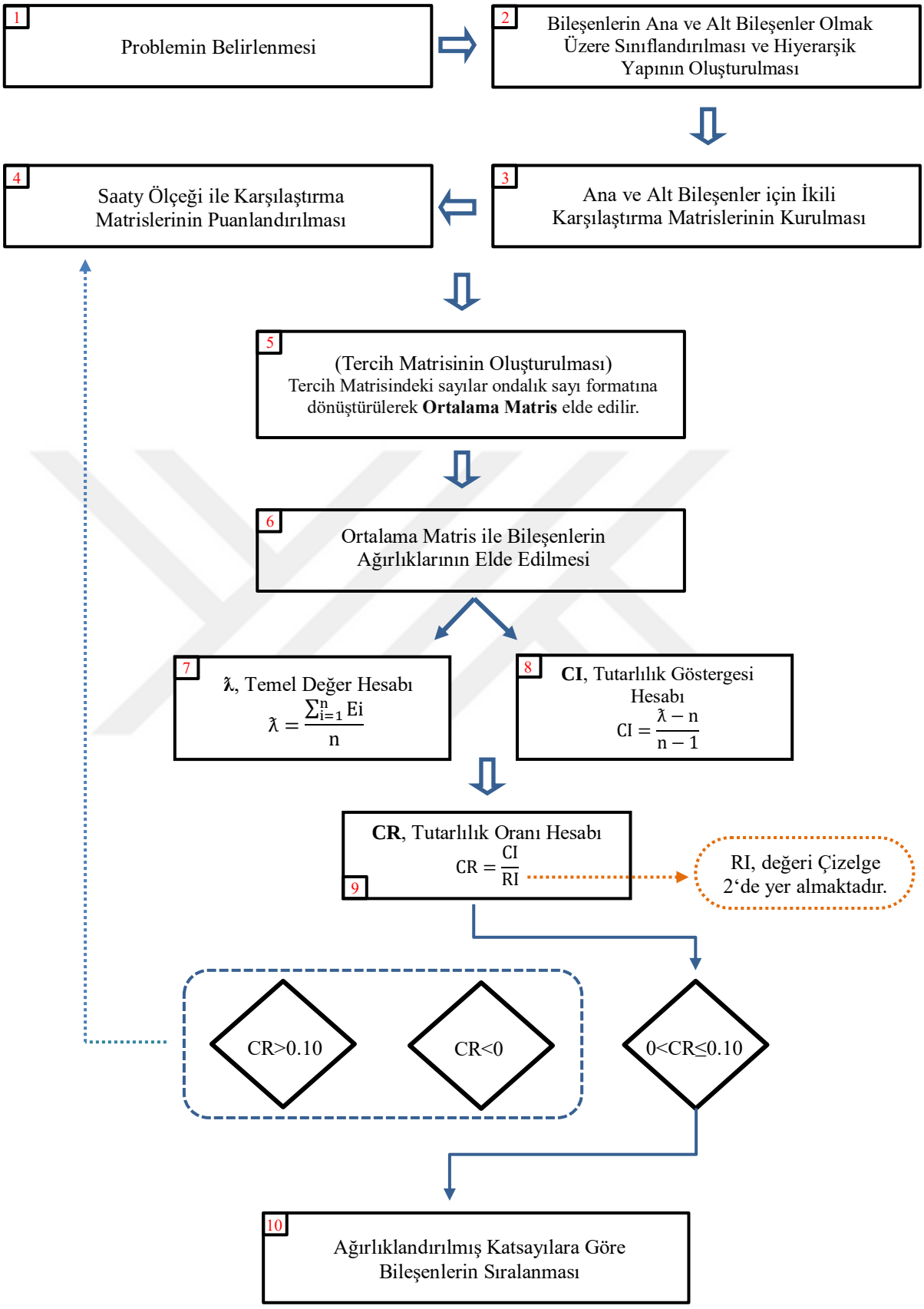
[E] vektörü değerlerinin aritmetik ortalamasının alınmasıyla elde edilen λ_{max} değeri, n değeriyle birlikte kullanılarak Denklem 3.8'e göre Tutarlılık İndeksi (CI) değeri elde edilir.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3.8)$$

Hesaplanan CI ve RI değerleri kullanılarak Denklem 3.9'a göre CR değeri elde edilir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.9)$$

Hesaplanan CR değerinin 0.10'dan küçük olması tutarlılığın sağlandığını ve karar vericilerin değerlendirmelerinin tutarlı olduğunu gösterir. Ancak 0.10'dan büyük elde edilen bir CR değeri, karar vericinin karşılaştırmalarının tutarsız olduğuna işaret eder. Bu durumda, uzmanların kriterler için yaptıkları ikili puanlamayı gözden geçirmeleri ve gerekirse düzeltmeleri gerekmektedir.



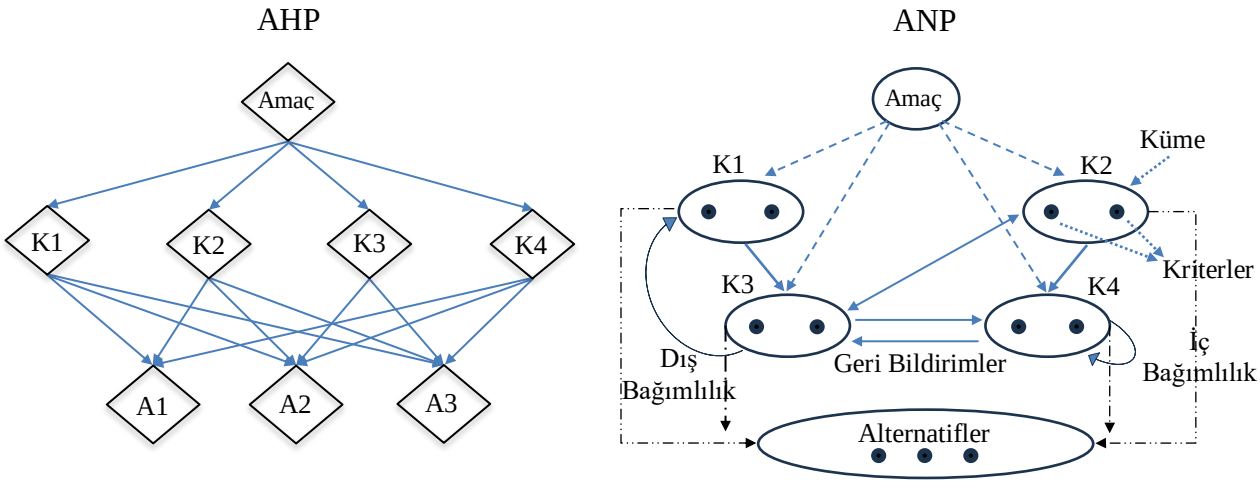
Şekil 3.2: AHP işlem adımları.

3.2 Analitik Ağ Süreci (ANP)

Karmaşık problemlerde karar verme sürecini desteklemek amacıyla geliştirilen çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Ağ Süreci (ANP), 1990 yılında Thomas L. Saaty tarafından ortaya konulmuştur. ANP yöntemi problemleri ele alırken kriterler arasındaki ilişkileri ve kriterlerin birbirleri arasındaki bağlılıkları dikkate alıp bir ağ biçiminde göstererek uygular. Oluşturulan bu ağ yapısıyla birlikte kriterlerin birbirleri ile olan etkileşimleri de hesaplanır (Dağdeviren ve diğ, 2005; Saaty, 2006; Saaty ve Vargas, 2013). Bazı problemler karmaşık yapıları gereği birbirleriyle ilişkili olan alternatif ve kriter kümelerinden oluşabilir. Bu tarz karmaşık karar süreçleri modellenmek istenildiğinde birbirleriyle bağlantısı olmayan doğrusal hiyerarşik bir modeldense kümelerin birbiriyle bağlantılarını ifade eden bir ağ biçiminde modellenir. Hiyerarşik yapılarda aynı doğrultudaki kriter kümelerinin birbirleriyle olan etkileşimleri karar verme sürecinde analize dahil edilmemektedir. Ancak en somut ve gerçekçi sonuca ulaşılabilmesi ve en iyi kararın verilebilmesi için kriterlerin birbirleri arasındaki bu ilişkiler de değerlendirilmelidir (Pamukçu, 2004; Sayın, 2005). AHP yöntemiyle bir karar süreci uygulanmak istendiğinde problem, kriterler, alt kriterler ve alternatiflerden oluşan bir hiyerarşik yapı oluşturularak problemi etkileyen kriterler değerlendirmeye alınırken kriterlerin birbirleri ile olan bağlılıkları değerlendirmeye alınmamaktadır (Saaty, 1994). ANP yönteminde ise AHP yönteminden farklı olarak kriterlerin birbirleri ile olan ilişki ve bağlılıkları da değerlendirmeye alınıp birbirlerine göre önem dereceleri de hesaplanır. Bu ayrımdan yola çıkarak ANP, AHP'nin genelleştirilmiş hali olarak düşünülebilir.

Meade ve Sarkis (1999) tarafından içinde bulunduğumuz hayatta karşılaşılan bir karar problemine karar verme süreci uygulanmak istediğinde problemler ve karşılaştırılan kümelerin kriterleri arasında genel olarak bağlantılar bulunduğu için uygun şekilde kullanıldığında ANP'nin daha tatmin edici sonuçlar üretebileceği paylaşılmıştır. Bunun sebebi ise ANP'nin aynı kümede bulunan kriterler ile farklı kümelerde bulunan kriterler arasında karşılıklı bağımlılıkların oluşturulmasına olanak tanımasıyla açıklanır.

(Saaty, 1996), ANP'nin her bir küme içindeki kriterler ile farklı kümelerdeki kriterler arasında bağımlılıkları kurma olanağı sağladığını belirtirken, AHP'nin bu bağımlılıkların nicel ve nitel hesaplamalar üzerindeki etkilerini dikkate almasına izin vermediğini ifade etmektedir.



Şekil 3.3: AHP ve ANP modeli (Topaloğlu, 2024).

Tasarlanan ANP modelinde kümeler modelin ana bileşenlerini kriterler ise modelin alt bileşenlerini temsil eder. Kriterlerin kümelere ayrılması ile kümelerin birbirleri ve alternatifler ile olan bağlılıkları daha sade ve anlaşılır bir model biçimiyle ele alınmış olur. Şekil 3.3'teki modelde kümeler arasındaki bağlantıyı ifade etmek için oklar tanımlanmıştır. Okun yönü kurulan modelin yönelimini temsil eder (Ecer & Dündar, 2009). Bu okların yön gösterimiyle okun çıktığı küme etkileyen vardığı küme ise etkilenen küme olarak anlaşılır. Yön kavramı sayesinde kriterlerin, alt kriterlerin ve alternatiflerin karşılıklı olarak nasıl bir etkileşim halinde olduğu görülür. ANP yönteminde küme içi (iç bağımlılık), kümeler arası (dış bağımlılık) ve iki küme arası karşılıklı etkileşim (geri bildirim) olmak üzere üç farklı bağlılık türü mevcuttur. İç bağımlılık, kümenin kendi içindeki bağımlılığını, dış bağımlılık ise kümenin diğer kümeler ile bağlılığını ifade etmektedir. ANP yöntemini AHP yönteminden ayıran geri bildirim ise kümelerin karşılıklı olarak etkileşimini ifade etmektedir (Meade ve Sarkis, 1999; Özbek ve Eren, 2013; Topaloğlu, 2024).

Şekil 3.3'teki ağ modeli 4 kümeden oluşmaktadır. Tanımlanan K_1 kümesi dış bağımlılık ile sadece K_3 kümesini etkilemektedir. K_2 kümesi yalnızca K_3 kümesini etkilerken, K_3 kümesi K_1 ve K_2 kümesini etkileyip K_4 ile geri bildirim etkileşimi içerisindedir. K_4 kümesi yalnızca K_2 kümesini etkilerken kendi içerisinde de etkileşimi bulunmaktadır (Özbek ve Eren, 2013).

ANP Oluşturulma Aşamaları

Problemin Tanımlanıp İlişkilerin Belirlenmesi ve Modelin Kurulması

ANP yöntemiyle karar verme sürecine hedeflenen amaca yönelik bir karar problemi tanımlanarak başlanır (Ersöz ve diğ, 2011). Bir ANP modeli oluşturabilmek için problemi etkileyen alternatifler, kriterler ve varsa alt kriterler belirlenir. Karar vericilerin değerlendirmeleri baz alınarak birbirleri ile etkileşim halinde olduğu düşünülen kriterler kümelere ayrılarak modelin yapısı oluşturulur. Bu aşamada kümelerin bağlılık ve geri bildirimleri belirlenerek analitik ağ modeline tanımlanır (Bayazit, 2006; Demirci, 2018; Ömürbek ve diğ, 2013).

Kriter Karşılaştırmalarının Yapılması

Tanımlanan modelde kriterlerin birbirlerine göre göreceli önem derecelerine ulaşabilmek için ikili karşılaştırma matrislerinden yararlanılır (Dağdeviren ve diğ, 2005). Karşılaştırmalar gerçekleştirilirken modeldeki tüm kriterler, alt kriterler ve alternatifler, bağlantılı oldukları diğer kriterler, alt kriterler ve alternatiflerle ikili olarak karşılaştırılır. Oluşturulacak karşılaştırma sayısı probleme, belirlenen kriterlere ve alt kriterler arasındaki bağlılıklara göre değişiklik gösterir. Denklem 3.10 kullanılarak yapılması gereken ikili karşılaştırma sayısı belirlenir.

$$\frac{\boldsymbol{n}\times(\boldsymbol{n}-\boldsymbol{1})}{\boldsymbol{2}} \tag{3.10}$$

Çizelge 3.3'teki gibi elemanlar arasında yapılan ikili karşılaştırmalar sonucunda karar matrisleri oluşturulur. Çizelgede yer alan $\boldsymbol{a_{12}}$, *1.* satırdaki kriter ile *2.* sütundaki kriterin ikili karşılaştırmasını yani bir kriterin diğer kritere göre aldığı değeri ifade eder. $\boldsymbol{a_{12}}=\frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{a_{21}}}$ ile *2.* kriterin *1.* kritere göre önem derecesi, *1.* kriterin *2.* kritere göre önem derecesinin tersi olarak açıklanır (Saaty, 2005).

Çizelge 3.3: İkili karşılaştırma matrisi [A].

	$\boldsymbol{K_1}$	$\boldsymbol{K_2}$	…	$\boldsymbol{K_n}$
$\boldsymbol{K_1}$	1	a_{12}	…	a_{1n}
$\boldsymbol{K_2}$	$a_{21} = 1/a_{12}$	1	…	a_{2n}
…	…	…	1	…
$\boldsymbol{K_n}$	$a_{n1} = 1/a_{1n}$	$a_{n2} = 1/a_{2n}$	…	1

İkili karşılaştırmalar gerçekleştirilirken Saaty tarafından geliştirilen AHP yönteminde de kullanılan ve Çizelge 3.1'de yer alan puanlandırma ölçeği kullanılır. Bu ölçek sayesinde karar vericilerin deneyim ve bilgileri karar verme sürecine dahil edilerek

belirlenen kriterlere göre kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıkları belirlenir (Chou ve diğ, 2008; Zyoud ve diğ, 2016).

ANP işlem adımlarının mantığının daha iyi anlaşılabilmesi için somut bir örnek üzerinden örnekleme yapılarak işlem adımlarına aynı örnek üzerinden devam edilmesi amaçlanmıştır. Tanımlanan bir karar problemini etkileyen A, B, C kriterleri konuyla ilgili deneyimi olan karar vericilere anket formuyla ağırlıklandırılır. Çizelge 3.4'te yapılan puanlandırmalar yer almaktadır.

Çizelge 3.4: Kriterlerin puanlandırma örneği.

A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	B
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	C
B	9	8	7	6	5	4	3	2	1	C

Yapılan puanlandırmalar, ikili karşılaştırmalarının yapılabilmesi için Çizelge 3.5'te ikili karşılaştırma çizelgesinde sunulmuştur.

Çizelge 3.5: Kriterlerin ikili karşılaştırma örneği.

Kriterler	A	B	C
A	1	7	4
B	1/7	1	2
C	1/4	1/2	1

İkili Karşılaştırmaların Normalize Edilmesi ve Özvektörünün Elde Edilmesi

İkili karşılaştırmalar tamamlandıktan sonra elemanların önceliğinin elde edilebilmesi için Denklem 3.11 ile öncelik vektörü hesaplanır.

$$[A] \times [w] = \lambda_{max} \times [w] \tag{3.11}$$

Denklem 3.11'de yer alan [A], karar vericiler tarafından yapılan puanlandırmalar neticesinde elde edilen $n \times n$ boyutunda bir ikili karşılaştırma kare matrisidir. [w], özvektör olup $n \times 1$ boyutunda bir sütun matrisidir. λ_{max} ise özdeğerdir. Formülde yer alan [A] ve [w] birer matris olup, λ_{max} ise sabit bir değerdir. Denklem 3.11 ile bir matrise ait olan özdeğer ve özvektörler hesaplanır. Denklemden anlaşılacağı üzere karşılaştırma matrisi ile özvektörün çarpımı özdeğer ile özvektörün çarpımına eşit olmalıdır.

Karşılaştırma matrisiden özvektörün elde edilebilmesi için ilk olarak sütunlarda yer alan veriler toplanır ve hemen ardından her bir satırdaki değer kendi sütun toplamına bölünerek matris normalize edilir. Normalize edilmiş karşılaştırma matrisi örneği Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6: Normalize edilmiş karşılaştırma matrisi örneği.

Kriterler	A	B	C
A	1 / 1.393=**0.717**	7 / 8.5=**0.823**	4/7=**0.571**
B	(1/7) / 1.393=**0,102**	1 / 8.5=**0.117**	2/7=**0.285**
C	(1/4) / 1.393=**0,179**	(1/2) / 8.5=**0.059**	1/7=**0.142**
TOPLAM	1.393	8.5	7

Çizelge 3.7'de yer aldığı gibi normalize edilmiş matrisin satırlarının ortalaması alınarak öncelik vektörü elde edilir.

Çizelge 3.7: Öncelik vektörü örneği.

Kriterler	A	B	C	Öncelik Vektörü
A	0.717	0.823	0.571	(0.717+0.823+0.571)/3=0.703
B	0.102	0.117	0.285	(0.102+0.117+0.285)/3=0.168
C	0.179	0.059	0.142	(0.179+0.059+0.142)/3=0.126

(λ_{max}) Elde Edilmesi

Çizelge 3.8'de yer alan karşılaştırma matrisinin elemanları ile öncelikler vektörünün elemanları çarpılarak tüm öncelikler matrisi elde edilir (Çizelge 3.9). Elde edilen tüm öncelikler matrisinin her bir elemanı öncelikler vektörünün elemanlarına oranlanır. Elde edilen değerlerin ortalaması alınarak λ_{max} elde edilir (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.8: Karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü örneği.

Kriterler	A	B	C	Öncelik Vektörü
A	1	7	4	0.703
B	1/7	1	2	0.168
C	1/4	1/2	1	0.126

Çizelge 3.9: Tüm öncelikler matrisi örneği.

Kriterler	Tüm Öncelikler Matrisi
A	$(\mathbf{1 \times 0.703}) + (\mathbf{7 \times 0.168}) + (\mathbf{4 \times 0.126}) = \mathbf{2.383}$

B	$\left(\frac{1}{7}\times 0.703\right)+(1\times 0.168)+(2\times 0.126)=0.52$
C	$\left(\frac{1}{4}\times 0.703\right)+\left(\frac{1}{2}\times 0.168\right)+(1\times 0.126)=0.385$

Çizelge 3.10: Özdeğer (λ_{max}) matrisi örneği.

Kriterler	Özdeğer ($\boldsymbol{\lambda_{max}}$) Matrisi
A	$2.383 \div 0.703 = 3.389$
B	$0.52 \div 0.168 = 3.09$
C	$0.385 \div 0.126 = 3.05$
$\boldsymbol{\lambda_{max}}$	$\frac{3.389+3.09+3.05}{3}=3.176$

Tutarlılık Kontrolünün Yapılması

Yüksek güvenilirlik seviyesine sahip bir ağ modeli elde edilebilmesi için karar vericilerin kararlarının yeterince tutarlılık göstermesi gereklidir (Saaty, 2005; Santos ve Fernandes, 2023). Özvektör hesabıyla kriterlerin birbirlerine göre önem dereceleri belirlendikten sonra karar vericilerin puanlandırmalarıyla oluşan karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranının kontrol edilmesi gerekir. Modelin ağ biçiminde olmasından kaynaklı yapılan ikili karşılaştırma sayısının hesabı AHP yönteminden farklıdır. Fakat ikili karşılaştırmaların uygulanış mantığı ve yapılan kıyaslamalardan sonra tutarlılık kontrolü AHP yöntemi ile aynı şekilde gerçekleştirilir. Denklem 3.9'daki gibi (CI) değerinin (RI) değerine oranlanması ile elde edilen (CR) değerinin 0.10'dan daha küçük çıkması istenir. Aksi bir durumda karşılaştırma matrisinin tutarlı olmadığı anlaşılır ve puanlandırmaların tekrarlanması gerekir. Denklem 3.9'daki RI değeri, kriter sayısına göre Çizelge 3.2'den belirlenir. CI değeri, bir önceki adımda elde edilen λ_{max} ile Denklem 3.8'e göre hesaplanır. Yapılan örnekte n değerinin 3 olduğu kabul edilerek, $CI=\frac{3.176-3}{3-1}=0.088$ ve Çizelge 2'ye göre RI değeri 0.58 alınarak $CR=\frac{0.088}{0.58}=0.151$ hesaplanır. CR= 0.151 > 0.10 olması sebebi ile elde edilen sonuçlardan yapılan örnekteki ikili karşılaştırmaların tutarlı olmadığı anlaşılmıştır.

Ağırlıklandırılmamış Süper Matrisin Oluşturulması

Her bir karşılaştırma matrisinde ihtiyaç duyulan tutarlık oranı sağlandıktan sonra süper matrisler hesaplanır. Süper matrisler AHP'den daha karmaşık bir yapıya sahip ANP'de

kriterler, alt kriterler, alternatifler ve kümeler arasında bulunan bağımlılık ve geri besleme ilişkilerinin sunulduğu ve ağ modelindeki tüm ilişkilerin gösterildiği bir matristir. Ağırlıksız süper matris formu ikili karşılaştırma matrislerinden hesaplanan özvektörlerin bir matrisin ilgili satır ve sütunlarına yerleştirilmesiyle elde edilir (Saaty, 1999). Bir kümedeki kriterlerin diğer kümeyle bağımlılığı yok ise ağırlıklandırılmamış matris formunda ilgili kısımlara Denklem 3.12'deki gibi 0 yerleştirilir.

$$\begin{array}{c} \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ \vdots \\ C_n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} C_1 & C_2 & C_3 & \cdots & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & \cdots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & \cdots & 0 \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{n1} & W_{n2} & W_{n3} & \cdots & W_{nn} \end{bmatrix} \end{array} \tag{3.12}$$

Ağırlıklandırılmış Süper Matrisin Oluşturulması

Elde edilen ağırlıklandırılmamış süper matristeki değerlerin ilgili kriterlerin yer aldığı kümenin ağırlığı ile çarpılmasıyla ağırlıklandırılmış süper matris elde edilir. Ağırlıklandırılmış süper matrisin sütunlarının toplamı bire eşit değilse sütun toplamlarının bire eşit olacak şekilde normalize edilmesi gerekir. Ağırlıklandırılmış matrisin sütunlarının normalize edilmesiyle elde edilen matris stokastik süper matris olarak adlandırılır.

$$\begin{array}{c} \\ C_1 \\ e_{11} \\ e_{12} \\ \vdots \\ C_2 \quad e_{1n_1} \\ e_{21} \\ e_{22} \\ C_3 \\ \vdots \\ e_{e_{2n2}} \\ e_{m1} \\ \vdots \quad e_{m2} \\ \vdots \\ C_m \quad e_{mn_2} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} C_1 & C_2 & C_3 & \cdots & C_m \end{array} \\ \begin{array}{ccccc} e_{11}e_{12}\cdots e_{1n_1} & e_{21}e_{22}\cdots e_{2n_2} & e_{21}e_{22}\cdots e_{2n_2} & & e_{m1}e_{m2}\cdots e_{mn_m} \end{array} \\ \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & \cdots & W_{1m} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & \cdots & 0 \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{m1} & W_{m2} & W_{m3} & \cdots & W_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \tag{3.13}$$

Limit Süper Matrisin Oluşturulması

Karşılaştırma sürecinde değerlendirilen kriterlerin birbirleri üzerindeki uzun süreli etkilelerinin belirlenebilmesi için Denklem 3.14'te verildiği gibi ağırlıklandırılmış süper matrisin kuvveti alınarak limit süper matris elde edilir. Bu işlem gerçekleştirilirken ağırlıklandırılmış süpermatris elemanları her satır belirli bir değerde sabit kalana kadar kendisi ile çarpılır (Lin ve Tsai, 2010).

$$\lim_{k\to\infty}(W)^k \tag{3.14}$$

Süper matris döngüsel bir etki sergiliyorsa limit matrisinin benzersiz olmadığı sonucuna varılır ve bu durumda iki veya daha fazla limit matrisi bulunduğu kabul edilir (Tzeng ve Huang, 2011).

$$\lim_{k\to\infty}(W)^k \sum_{k=1}^{N} W^k \tag{3.15}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0 & W_{12} & W_{13} \\ W_{21} & 0 & W_{23} \\ W_{31} & W_{32} & 0 \end{bmatrix} \tag{3.16}$$

$$W^2 = \begin{bmatrix} W_{12}W_{21} + W_{13}W_{31} & W_{12}W_{23} + W_{13}W_{32} & W_{12}W_{32} + W_{13}W_{33} \\ W_{21}W_{12} + W_{23}W_{31} & W_{21}W_{13} + W_{23}W_{32} & W_{21}W_{32} + W_{23}W_{33} \\ W_{31}W_{12} + W_{32}W_{21} & W_{31}W_{13} + W_{32}W_{23} & W_{31}W_{32} + W_{32}W_{33} \end{bmatrix} \tag{3.17}$$

$$W^3 = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^{3} W_{1k}W_{k1} & \sum_{k=1}^{3} W_{1k}W_{k2} & \sum_{k=1}^{3} W_{1k}W_{k3} \\ \sum_{k=1}^{3} W_{2k}W_{k1} & \sum_{k=1}^{3} W_{2k}W_{k2} & \sum_{k=1}^{3} W_{2k}W_{k3} \\ \sum_{k=1}^{3} W_{3k}W_{k1} & \sum_{k=1}^{3} W_{3k}W_{k2} & \sum_{k=1}^{3} W_{3k}W_{k3} \end{bmatrix} \tag{3.18}$$

Bu matris örnek ile açıklanırsa;

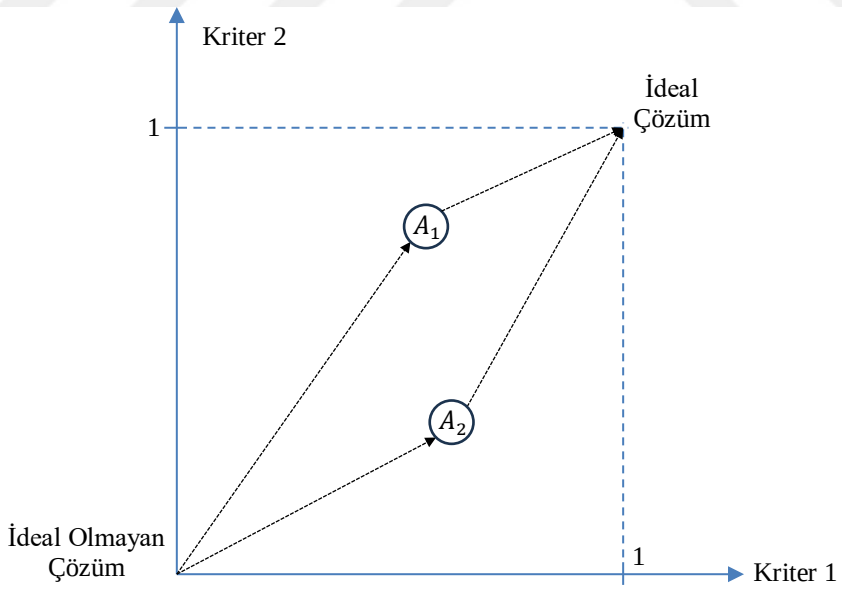
$$W = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix};\ W^2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix};\ W^3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Limit süper matriste en yüksek önceliğe sahip olan kriterin karar sürecini etkileyen en önemli kriter olduğu anlaşılır.

3.3 TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği)

TOPSIS, Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında çok kriterli karar verme yöntemi olarak geliştirilmiştir. Karar problemine göre tanımlanan kriterler doğrultusunda alternatifler arasında tercih yapılmasını kolaylaştırmak ve karar noktaları arasında sıralama yapılması amacıyla tasarlanmıştır. TOPSIS yöntemi, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm olmak üzere iki temel noktaya dayanır. Karar alternatiflerinin pozitif ve negatif ideal çözüm noktalarına olan uzaklıkları hesaplanır. Bu yöntem, pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak mesafede bulunan alternatifleri belirlemeyi amaçlar (Chen, 2000; Hwang ve Yang, 1981). Nitekim pozitif ideal çözüme en yakın olan alternatif en uygun seçenek olarak benimsenir (Hwang ve Yang, 1981).

Pozitif ideal çözüm fayda kriterlerini maksimum seviyeye çıkarırken maliyet kriterlerini minimum seviyeye indirir, negatif ideal çözüm ise maliyet kriterlerini maksimum seviyeye çıkarırken fayda kriterlerini minimum seviyeye indirir (Behzadian ve diğ, 2012; Wang ve Elhag, 2006). Şekil 3.4'te iki kriterli ve iki alternatifli karar problemine ilişkin bir durum yer almaktadır. Her iki alternatif arasından $\boldsymbol{A_1}$ alternatifi, ideal çözüme en yakın ve ideal olmayan çözüme en uzak mesafede olan alternatif olup $\boldsymbol{A_2}$ alternatifine göre daha ideal durumdadır bu nedenle en uygun seçenek olarak değerlendirilir.



Şekil 3.4: TOPSIS grafiksel gösterimi.

TOPSIS yöntemi temelde 7 aşamada oluşturulabilmektedir. Bu aşamalar Şekil 3.5'te özetlenmiştir ve her bir aşama sırasıyla daha detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.



Şekil 3.5: TOPSIS akış diyagramı.

Amacın Kriterlerin ve Alternatiflerin Belirlenmesi

TOPSIS yönteminde ilk aşama, problem ve amacın belirlenmesi ve bu amaca yönelik değerlendirme kriterlerinin tanımlanmasını içermektedir. Tanımlanan problem doğrultusunda hedefe ulaşma sürecinde, karar verme noktaları olan karar alternatifleri tanımlanır. Bu matris m adet alternatif $(A_1, A_2, \dots, A_m)$ ve n adet kriterden $(K_1, K_2, \dots, K_n)$ oluşan bir karar matrisidir. Karar matrisinde değerlendirilen her alternatif, n adet kriterin her biri için ayrı ayrı değerlendirilir ve bu değerlendirmeler sonucunda bir karar matrisi oluşturulur (Papathanasiou ve Ploskas, 2018).

Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar kriterleri ve alternatiflerinin belirlenmesiyle birlikte karar vericiler tarafından satırlarında alternatiflerin sütunlarında ise değerlendirme kriterlerinin yer aldığı bir karar matrisi oluşturulur. Bu matris $n \times m$ boyutlarında bir başlangıcı matrisidir. Bu matriste n, karar alternatiflerinin sayısını, m ise değerlendirme kriterlerinin sayısını ifade eder.

Denklem 3.19'da yer alan A karar matrisindeki a_{ij}, matristeki i alternatifinin j kriterine göre olan performans değerini gösterir.

$$A = [a_{ij}]_{m\times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması

Literatürde standart karar matrisi olarak da adlandırılan normalize edilmiş karar matrisi, Denklem 3.20'de de yer aldığı gibi her bir sütun değerinin (a_{ij}) kareleri toplamının karekökünün alınıp sütunun ilgili elemanının bu değere bölünmesi ile elde edilir. Bu aşamayla birlikte matriste yer alan tüm değerlerin 0-1 arası standart değerlere dönüştürülmesi amaçlanır.

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{n} aij^2}},\ i= 1, 2, \ldots, n \quad (3.20)$$

Yapılan hesaplama sonucunda elde edilen veriler ile Denklem 3.21'de gösterildiği gibi normalize edilmiş karar matrisi elde edilir.

$$[x_{ij}]_{m\times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \cdots & x_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Ağırlıklandırılmış Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar sürecinde kullanılan kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerinin farklı olmasından kaynaklı karar matrisinin her bir değeri değerlendirme kriterlerine belirlenmiş olan öncelik değerleri doğrultusunda ağırlıklandırılır. Bu öncelik değerleri karar vericinin öncesinden tespit etttiği kriter ağırlıkları (w_i) kullanılarak elde edilir. Kriterlerin birbirlerine göre üstünlüklerinin oransal olarak karşılaştırılmasında tutarlılığın sağlanabilmesi için kriter ağırlıkları toplamının ($\sum_i^n W_i = 1$) olması gerekir. Bu aşamada, her bir kritere tanımlanan ağırlıklarla normalleştirilmiş karar matrisi elemanlarının çarpılması sonucunda Denklem 3.22'deki gibi ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi elde edilir. Bu işlem sonucunda kriterlerin etkileri bir araya getirilerek alternatiflerin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirmesi mümkün hale gelir. Denklem 3.23'te yer aldığı gibi X_{ij} matrisinin sütunlarındaki değerlerin, ilgili w_i değerleriyle çarpılmasıyla ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisi (V_{ij}) oluşturulur.

$$V_{ij} = W_{ij} \times X_{ij} \quad (3.22)$$

$$[V_{ij}]_{m\times n} = \begin{bmatrix} w_1x_{11} & w_2x_{12} & w_3x_{13} & \cdots & w_nx_{1n} \\ w_1x_{21} & w_2x_{22} & w_3x_{23} & \cdots & w_2x_{2n} \\ w_1x_{31} & w_2x_{32} & w_3x_{33} & \cdots & w_nx_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1x_{m1} & w_2x_{m2} & w_3x_{m3} & \cdots & w_nx_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} & \cdots & v_{2n} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} & \cdots & v_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & v_{m3} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözümlerin Elde Edilmesi

Elde edilen ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisi (V_{ij}) kullanılarak değerlendirme kriterlerinin amacına göre ideal çözüm kümeleri elde edilir. İdeal çözüm, belirli bir karar problemi için ulaşılmak istenen hedef olarak tanımlanır ve değerlendirme sürecinde bir referans noktası işlevi görerek alternatiflerin bu ideal hedeflere olan uzaklık ve yakınlık durumunun belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Pozitif İdeal (A+) ve Negatif İdeal (A-) çözümlerin elde edilebilmesi için ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisi, Denklem 3.24 ve 3.25 kullanılarak pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri elde edilir.

Pozitif ideal çözüm: $A\ (+) \rightarrow V_j^+ = [(\max(Vij), j\ \varepsilon\ J); (\min Vij\ , j\ \varepsilon J')]$ (3.24)

Pozitif ideal çözümleri kümesi: $A^+ = v_1^+, v_2^+, v_3^+ \cdots v_m^+$ şeklindedir.

Negatif ideal çözüm: $A\ (-) \rightarrow V_j^- = [(\min(Vij), j\ \varepsilon\ J); (\max Vij\ , j\ \varepsilon J')]$ (3.25)

Negatif ideal çözümleri kümesi: $A^- = v_1^-, v_2^-, v_3^- \cdots v_m^-$ şeklindedir.

Daha önce belirtilen (J) maksimizasyon (fayda), (J') ise minimizasyon (maliyet) değerini ifade eder. İdeal çözüm değerlerine ulaşılmak istenirse karar probleminin amacı doğrultusunda hareket edilir. Karar sürecindeki hedef maksimum değeri elde etmekse, ilgili sütundaki maksimum değer pozitif ideal çözüm olarak seçilir ve aynı sütundaki minimum değer negatif ideal çözüm olarak belirlenir. Ancak amaç minimum değere ulaşmaksa bu durum tersine çevrilir. Pozitif ideal çözüm sütundaki minimum değer, negatif ideal çözüm sütundaki ise maksimum değer olarak kabul edilir.

Pozitif ve Negatif İdeal Noktalara Olan Uzaklığın Elde Edilmesi

Her bir karar alternatifinin değerlendirme kriterlerinin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinden sapmaları Denklem 3.26 ve 3.27'deki gibi Öklit formülü kullanılarak elde edilir. Bu ölçümler sayesinde alternatiflerin pozitif veya negatif ideal çözümlere olan

yakınlıkları tespit edilir. İdeal uzaklık (S_i^+), her bir karar alternatifinin ideal çözüme olan uzaklığı;

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^+)^2} \tag{3.26}$$

Negatif ideal uzaklık (S_i^-), her bir karar alternatifinin negatif ideal çözümden olan uzaklığı;

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^-)^2} \tag{3.27}$$

Buna göre, karar alternatifi sayısı kadar uzaklık değerleri ($S^+ ve\ S^-$) olmalıdır.

İdeal Çözüme Göre Nispi Yakınlığın Hesaplanması

Her bir karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığının hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçütlerinden yararlanılır. Burada kullanılan göreli yakınlık ölçütü, negatif ideal ayırım ölçütünün toplam ayırım ölçütüne bölünmesiyle hesaplanır. İdeal çözüme göreli yakınlık değeri Denklem 3.28 kullanılarak elde edilir.

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \tag{3.28}$$

İdeal çözüme göre yakınlık $C_i^+ = 1$ ise pozitif ideal çözüm noktasında olduğunu, $C_i^+ = 0$ ise negatif ideal çözüme mutlak yakınlığı ve negatif ideal çözüm noktasında olduğunu belirtir. İdeal çözüme göreli yakınlık (C_i^+) değeri $0 \leq C_i^+ \leq 1$ değerleri arasında yer almalıdır. Alternatifler ideal çözüme nispi yakınlık C_i^+ değerlerine göre sıralanır. Maksimum C_i^+ değeri seçilir.

3.4 Bayes Teoremi

Bayes teoremi, olasılık teorisini kullanarak ilk olarak 18. yüzyılda Thomas Bayes tarafından ortaya atılmış ve 19. yüzyılın başlarında Pierre-Simon Laplace tarafından genişletilmiştir (Chakrabarty ve diğ, 2016). Koşullu olasılık temeline dayanan Bayes teoremi ilk kez 1763 yılında Thomas Bayes tarafından açıklandıktan sonra olasılık teorisinin en temel ve en önemli teoremlerinden biri haline gelmiştir (González-Mejía ve diğ, 2015). Bir *X* olayının gerçekleşme olasılığı başka bir *Y* olayının gerçekleşme olasılığına bağlıdır.

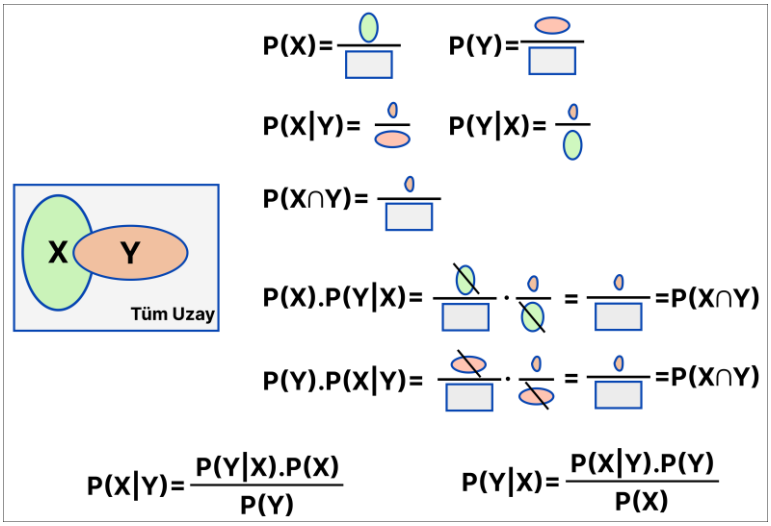
Basit bir ifadeyle, *Y* olayı gerçekleşmişken *X* olayının olasılığı bulunur. Bu durum P(X|Y) notasyonu ile ifade edilir. Yani Bayes teoremi bir olayın olasılığının belirlenmesi için o olayla ilişkili olan koşulların bilinmesinin yeterli olacağını savunur (Theodoridis, 2015). Bayes teoremi Denklem 3.29'daki gibi açıklanabilir. Bu teoremin gerçekleşmesi için *Y* olayının gerçekleşme olasılığı 0'dan farklı olmalıdır ($P(Y) \neq 0$).

$$P(X|Y) = \frac{P(Y|X)P(X)}{P(Y)} \tag{3.29}$$

X ve *Y* olayları gösterirken P(X) ve P(Y) sırasıyla *X* ve *Y* olaylarının gerçekleşme olasılığını göstermektedir.

- P(X), *X* olayının gerçekleşme olasılığı bilindiği için öncü bilgidir, öncül olasılık olarak adlandırılır. *X* olayının marjinal olasılığıdır. *Y* olayı hakkında herhangi bir bilgi içermemesi gerekmektedir.
- P(Y) ise, *Y* olayının gerçekleşme olasılığıdır, toplam olasılık olarak adlandırılır. *Y* olayının marjinal olasılığıdır.
- P(X|Y) bilinen *Y* olayı için *X* olayının koşullu olasılığını ifade eder. Sonsal olasılık rolündedir.
- P(Y|X) bilinen *X* olayı için *Y* olayının koşullu olasılığını ifade eder. Olabilirlik işlevi rolündedir.

Bayes Teoreminin ispatının görsel olarak açıklaması Şekil 3.6'da verilmiştir. *X* ve *Y* olaylarını içeren bir uzay olduğu varsayılırsa, *X*'in gerçekleşme olasılığı ve *Y*'nin gerçekleşme olasılığı sırasıyla P(X) ve P(Y) ile ifade edilir. *X*'in bilinen *Y* olayı için gerçekleşme olasılığı P(X|Y) iken, *Y*'nin bilinen *X* olayı için gerçekleşme olasılığı P(Y|X) olmaktadır. Şekilde P(X|Y) ve P(Y|X) durumlarının görseli verilmiştir. P(X) ve P(Y|X) durumları çarpımı sonucunda P(X∩Y) alanı elde edilmektedir. Aynı şekilde P(Y) ve P(X|Y) durumları çarpımı sonucunda da P(X∩Y) alanı elde edilmektedir. Bu durum P(X|Y) ve P(Y|X) durumları için Bayes teoreminin doğruluğunu açıklamaktadır.



Şekil 3.6: Bayes teoreminin ispatının görselleştirilmesi (Bayes' Theorem — Statistics and Data Science).

Özetle, Bayes teoremi ön bilgileri ve yeni bilgileri kullanarak olasılığın güncel değerinin elde edilmesinde kullanılır. Öncül olasılıkları yeni bilgilerle güncelleyerek daha doğru olasılık değerine ulaşmayı sağlar. Bayes teoremi uygulama alanlarından bahsedilecek olursa esnekliği sayesinde yalnızca istatistik alanında değil tıp, mühendislik ve sosyal bilimler alanlarında da kullanılmaktadır. Tıp alanında teşhis ve testlerin doğruluğunun anlaşılması; mühendislik alanında makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmalarında, sinyal işleme, hata tespiti adımlarında, su kayıp yönetiminde karar verme süreçlerinde; sosyal bilimlerde ise anket analizleri ve karar verme süreçlerinde kullanılmaktadır.

Naive Bayes

Naive Bayes, sınıflandırma işlemlerinde kullanma imkânı sağlayan Bayes teoremine dayanan olasılık temelli bir sınıflandırma algoritmasıdır. Özelliklerin birbirinden bağımsız olduğu varsayımına dayanır ve değişkenler arasında önem sıralaması yapmaz.

X olayının Denklem 3.30'daki gibi birbirinden bağımsız n tane özellik içerdiği varsayılırsa, $P(X|Y)$ Denklem 3.31'deki gibi ifade edilir.

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots x_n\} \tag{3.30}$$

$$P(X|Y) = P(x_1|Y)P(x_2|Y)P(x_3|Y) \dots P(x_n|Y) \tag{3.31}$$

Dengesiz veri kümelerinde çalışma ve az veri ile sınıflandırma imkânı sağlama gibi avantajları olan bir algoritmadır. Gerçek zamanlı tahmin, çok sınıflı (multiclass)

sınıflandırma, metin sınıflandırması, duyarlılık analizi, karar-destek sistemleri ve öneri sistemleri gibi pratik uygulamalarda kullanılmaktadır.

Özelliklerin dağılımına göre 3 farklı türü vardır:

- Gaussian Naive Bayes: Özelliklerin sürekli ve normal dağılımlı olduğu durumlarda kullanılır.
- Multinomial Naive Bayes: Özellikle metin sınıflandırmada kelime sayılarının dağılımına göre çalışır.
- Bernoulli Naive Bayes: İkili (binary) verilerle çalışır (var/yok etiketlerine dayanır).

Naive Bayes hesaplama açısından verimli ve hızlı çalışma avantajına sahiptir. Az veri içeren veri setlerinde çalışma imkânı sağlar. Ancak özelliklerin bağımsız olduğunu varsayması ise gerçekçilik açısından bazen dezavantaj oluşturmaktadır.

3.5 Bulanık Mantık

Günlük hayatta karşılaşılan birçok olayda belirsizlikler olduğu gözlemlenir. Bu belirsizlikler klasik mantığın çizdiği kesin perspektif (soğuk ya da sıcak; doğru ya da yanlış) ile tanımlanıp açıklanamadığı için bulanık mantığa başvurulma ihtiyacı doğar. Bulanık mantık belirsizliklerle başa çıkma yeteneği ile kararsızlık ve bilinmezlik içerisinde olan problemleri ele almak için geliştirilmiş olan matematiksel bir modeldir (Yılmaz ve Şahin, 2023). Karar sistemlerine insan mantığını taklit etme ve sezgisel yaklaşabilme yeteneği kazandırır. Bu yeteneği kazandırırken sayısal ifadelerden ziyade sembolik ifadeler kullanır. Bu sembolik ifadelerin karar sistemlerine aktarılması matematiksel bir esasa dayanan bulanık kümeler ile gerçekleştirilir (Elmas, 2003; Ertuğrul, 2006).

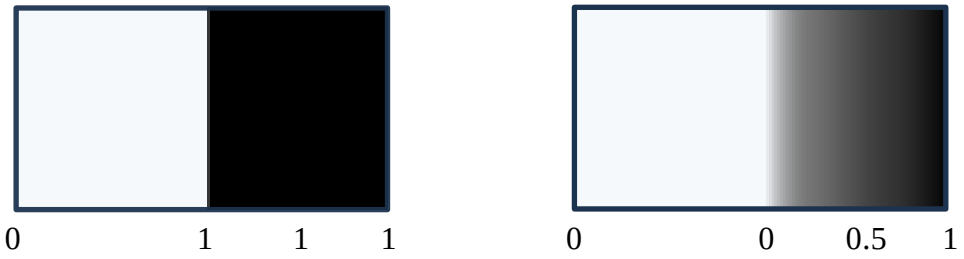
Bulanık kümelerden ilk defa 1965 yılında Lotfi Asker Zadeh'in yayınladığı bir çalışmada bahsedilmiştir. Bu buluş ile bulanık mantık ilk kez 1973 yılında Mamdani ve Assilian tarafından Londra'da bir buhar makinası türbin hızının kontrolünün modellenmesinde uygulanarak günlük hayata girmeye başlamıştır (Karal, 2004; Mamdani ve Assilian, 1975). O tarihten itibaren giderek daha fazla önem kazanan, kullanımı artarak günümüze kadar gelen ve günümüzde artık hayatın her noktasında ihtiyaç duyulan bulanık mantık kavramı; mühendislik ve otomasyon kontrol sistemlerinde, sağlık alanı tıbbi görüntü izleme ve hastalık teşhisi gibi izleme ve işleme sistemlerinde, ekonomi ve finans alanında tahmin ve risk analizinde, tarım, eğitim, endüstri gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Bulanık mantık çok kriterli karar verme araçlarından biri olarak kabul edilir ve (Ertuğrul, 2006) tarafından belirsizliklerin ifade edilebilmesi ve yönetilebilmesi amacıyla

geliştirilmiş matematiksel bir yapı olarak tanımlanır. Klasik mantığın matematiksel yöntemleri gerçek dünyadaki karmaşık sistemlerin modellenmesi konusunda yetersiz kalmaktadır. Kesin ifadeleri kapsayan klasik mantık kavramında üçüncü bir durum yani kısmi üyelik düşünülmemektedir. Klasik mantık bir elemanın incelenen kümeye ait olma ya da olmama temel kavramı üzerine kuruludur (Baykal ve Beyan, 2004). Klasik mantığa göre bir elemanın aynı anda hem kümenin üyesi olması hem de olmaması mümkün değildir, daha açık bir ifadeyle eleman ya kümenin içinde ya da dışında olmalıdır (Karakaşoğlu, 2008). (Zadeh, 1965) küme elemanlarının üyelik derecelerini ifade etmek için [0, 1] aralığında yer alan reel sayıların kullanılmasını önermiştir. Klasik mantıkta da küme kavramı $\{0, 1\}$ küme elemanları ile adlandırılır. Elemanın üyelik derecesinin 1 olması durumunda tamamen o kümenin bir parçası olduğu, 0 olması durumunda ise o kümenin bir elemanı olmadığı anlaşılır (Şekercioğlu, 1994).

Klasik bir K kümesi için üyelik fonksiyonu Denklem 3.32'deki gibi tanımlanır. Bulanık mantık ise klasik mantığın yapısını kapsayan yalnızca iki doğruluk değerinden ziyade [0, 1] aralığındaki sonsuz sayıda kesiklik ve doğruluk değerine sahip olan ve bu değerleri ilişkilendiren bir fonksiyon olarak tanımlanır (Altaş, 1999). Bulanık mantığa göre bir elemanın üyelik derecesinin 0 ile 1 aralığında değişen bir değer olması (0.5 gibi), elemanın kısmen o kümeye ait olduğu anlamına gelir (Şekil 3.7).

$$K \Rightarrow \mu = \begin{cases} x \in K\ ise\ 1 \\ x \notin K\ ise\ 0 \end{cases} \tag{3.32}$$

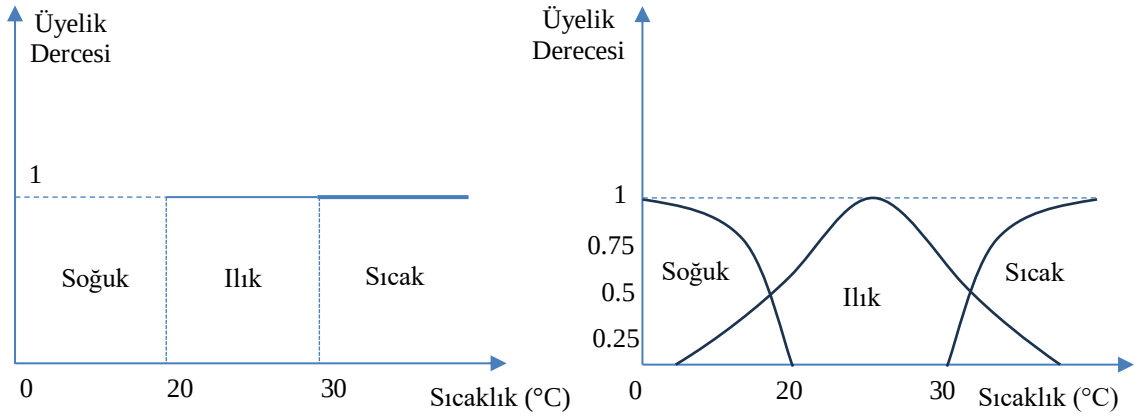


Şekil 3.7: Klasik mantık ve bulanık mantık şematiği (Yılmaz ve Şahin, 2023).

Şekil 3.7'deki klasik mantık grafiğinde sonuçların net ve kesin bir şekilde tanımlandığı ancak bulanık mantık grafiğinde bu durumun farklı olduğu, yalnızca 0 veya 1 ile sınırlı olmayıp 0 ile 1 arasındaki herhangi bir değer alabileceği gözlemlenir (Yılmaz ve Şahin, 2023). Bir elemanın değerlendirilmek istenen küme içerisindeki üyelik ilişkisi ve derecesi matematiksel olarak fonksiyonel ifadelerle klasik ve bulanık mantık için belirlenecek olunursa klasik mantığa göre bir u elemanının A kümesi ile ilişkisi: $\mu(A_u) = 0$

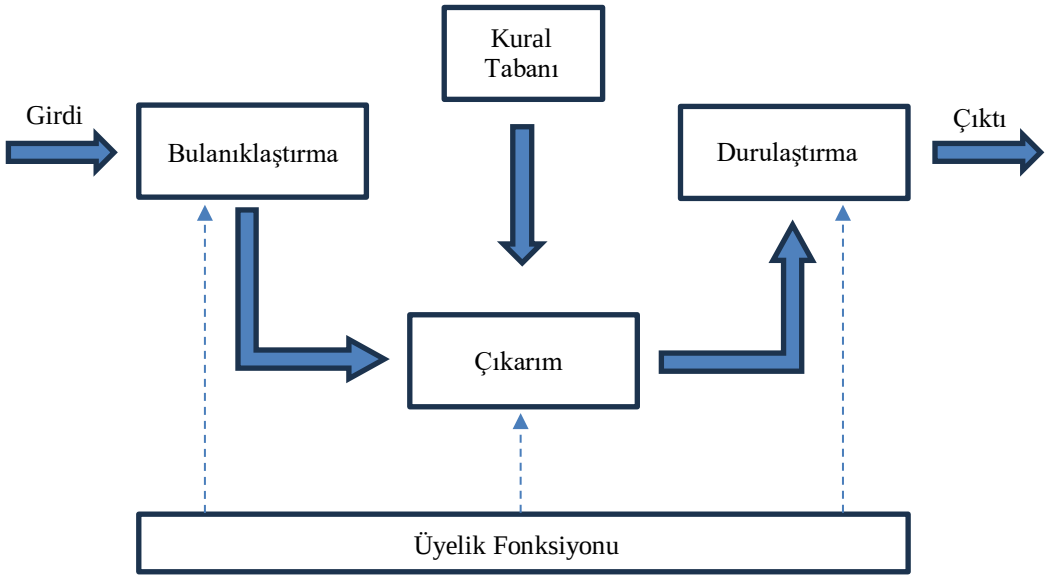
eşitliği ile u elemanının A kümesine ait olmadığı, $\mu(A_u) = 1$ olması durumunda ise u elemanının A kümesinin bir elemanı olduğu anlaşılır (Kasabov, 1998).

Bulanık mantığa göre U evrensel kümesinin bir alt kümesi (F ⊂ U) olan F bulanık kümesi, $\mu(F_u)$ üyelik fonksiyonu ile karakterize edilir ve evrensel kümenin bir elemanı olan u ile ilişkisi: $\mu(F_u): U \rightarrow [0,1]$, $F = \{u \in R : 0 \leq u \leq 1\}$ olarak tanımlanır. Yani bulanık F kümenin elemanlarının alacağı üyelik değerleri [0, 1] aralığında sonsuz sayıda olabilmektedir. Bulanık küme elemanlarının üyelik değerleri (üçgen, yamuk, gaus ve çan eğrisi) üyelik fonksiyonu olarak adlandırılan fonksiyonlar ile belirlenir (Lai ve Hwang, 1992) (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Klasik mantık ve bulanık mantık sıcaklık örneği (Özek ve Sinecen, 2004).

Şekil 3.8'de klasik ve bulanık mantığa göre sıcaklık değerleri yer almaktadır. Bu sıcaklık değerlerine göre üyelik dereceleri belirlenecek olursa 0-20°C sıcaklık için soğuk, 20-30°C sıcaklık için ılık ve 30°C sıcaklık üzeri için ise sıcak sınıfına girmektedir. Belirlenen bu aralığa göre 29°C sıcaklık ılık, 31°C sıcaklık ise sıcak sayılmaktadır. Bu durum bulanık küme teorisine göre değerlendirildiğinde 31°C sıcaklık belli oranda ılık, belli oranda sıcak olarak kabul edilir. Bu örnek bulanık mantıkta daha esnek bir yaklaşımın benimsendiğini ve kısmi üyeliğin olduğunu gösterir. Şekil 3.9'da bulanık mantık modelinin genel yapısı yer almaktadır. Model; bulanıklaştırma, kural tabanı, çıkarım ve durulaştırma olmak üzere temelde dört adımdan oluşur (Dadone, 2001; Elmas, 2003).



Şekil 3.9: Bulanık mantık temel sistem yapısı (Dadone, 2001; Mendel, 1995; Pillay ve Wang, 2003; Yılmaz ve Arslan, 2007).

Bulanık bir sistem tasarlamaya karar verildikten sonra yapılacak ilk işlem kurallar çizelgesini oluşturmaktır. Bu kurallar genellikle bir uzman yardımıyla hazırlanır. Veri tabanındaki girişlerin çıkış değişkenlerine bağlanmasını sağlayan mantıksal biçimde yazılabilen tüm kurallar bu çizelgenin tamamını oluşturur. Bu kuralların oluşturulmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasındaki tüm olası bağlantılar (bulanık kümeler) göz önünde bulundurulur (Ödük, 2020). Böylece her bir kural girdi uzayının bir bölümünü çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. Bu bağlamların tümü kural tabanını meydana getirir.

Bulanıklaştırma

Bu işlem adımıyla giriş keskin değerleri üyelik fonksiyonları aracılığıyla bulanık küme modelinde kullanılabilir bulanık değerlere dönüştürülür. Bu süreç, kurulan model girişlerinin ve çıkışlarının karmaşık bir modeli ifade edebilmesi ve tanımlanan kuralların uygulanabilmesi için dilsel terimlerle ifade edilmesini mümkün kılar. Giriş değerleri ait oldukları üyelik fonksiyonlara göre bulanık değerlere dönüştürülür ve elde edilen bu bulanık değerler her birinin kendi üyelik fonksiyonlarındaki üyelik derecelerine karşılık gelir. Bulanık kümenin elde edilebilmesi için kullanılan bulanık sayılar için en çok kullanılan tipleri üçgensel ve yamuk tipli bulanık sayılardır (Baykal ve Beyan, 2004).

Çıkarım

Bulanık kural tabanı giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasındaki ilişkileri bir araya getirerek sistemin tek bir çıkış üretmesini sağlayan işlem mekanizmasını içerir. Bu mekanizma, her bir kuralın çıkarımlarını birleştirerek sistemin belirli girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğini belirler. Karar verme birimi aynı zamanda Çıkarım Motoru olarak adlandırılır ve bulanık mantık denetiminin temel bileşenidir (Bingöl, 2006). Bu birim, insanın karar verme ve çıkarım yapma yeteneğini taklit ederek bulanık kavramları işler ve gerekli denetimi belirler.

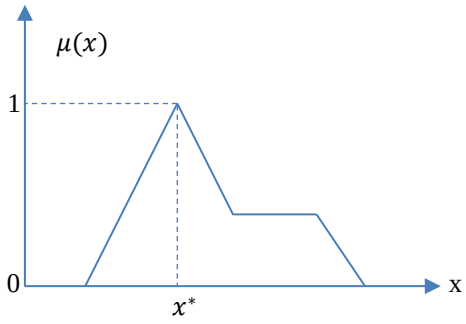
Durulaştırma

Çıkarım işlemi sonucunda elde edilen bulanık değer veya kümelerin gerçek dünyamızda bir anlam ifade etmemesi sebebiyle daha anlamlı ve günümüz sistemlerinde kullanılabilir bir formata dönüştürülmesi amacıyla durulaştırma (netleştirme) işlem adımı gerçekleştirilir. Bu işlem adımı, bulanık mantık sistemlerinin günümüz pratik uygulamalarında kullanılabilir olmasını sağlar (Beker ve Kansal, 2022). Durulaştırma işlemi temelde 4 farklı yöntemle gerçekleştirilebilmektedir.

Maksimumun üyelik, ağırlık merkezi, ortalama maksimum üyelik, ağırlıklı ortalama, ilk maksimum üyelik ve son maksimum üyelik şeklindedir.

Maksimum Üyelik Yöntemi, yükseklik yöntemi olarak da adlandırılabilen bu yöntem Denklem 3.33'te de ifade edildiği gibi üyelik dereceleri içinden en büyük olan değere eşittir (Şekil 3.10). Denklemde yer alan x^* bulanıklaştırılmış çıktıyı ifade etmektedir.

$$\mu_C(x^*) \geq \mu_C(y_i) \tag{3.33}$$

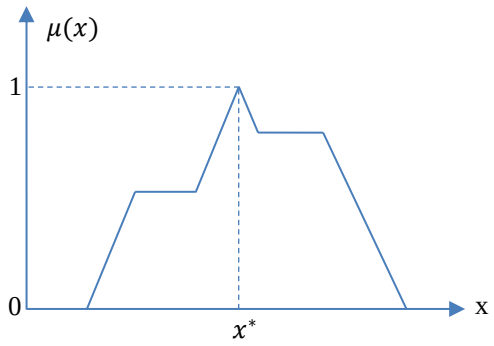


Şekil 3.10: Maksimum üyelik fonksiyonu (Akkaptan, 2012)

Ağırlık Merkezi Yöntemi, durulaştırma adımı için en sık kullanılan yöntemlerden biri olan bu yöntem ile Denklem 3.34 kullanılarak bulanık kümenin ağırlık merkezi hesaplanır (Şekil 3.11). Hesaplanan bu değer ile tüm sistemin çıkış değeri elde edilir. Denklemde yer alan *x*

verinin gerçek değerini x^* ağırlık merkezinin sayısal değerini, μ(x) üyelik değerini, *a* ve *b*'de verinin alt ve üst sınır değerlerini ifade eder.

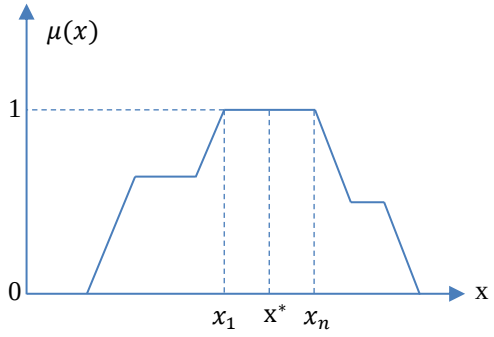
$$x^* = \frac{\int_a^b \mu\,(x) \times x \times dx}{\int_a^b \mu(x) \times dx} \tag{3.34}$$



Şekil 3.11: Ağırlık merkezi fonksiyonu gösterimi (Akkaptan, 2012).

Ortalama Maksimum Üyelik Yöntemi, en büyüklerin ortası olarak da adlandırılan bu yönteme göre Denklem 3.35 kullanılarak en büyük üyelik değerinin birden fazla nokta tarafından sağlanması durumunda bu değerlerin ortalaması alınarak çıktı değeri elde edilir (Şekil 3.12) (Yen ve Langari, 1999).

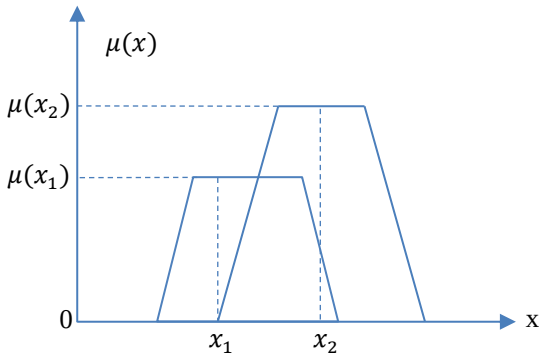
$$x^* = \frac{x_1 + x_n}{2} \tag{3.35}$$



Şekil 3.12: Ortalama maksimum üyelik fonksiyonu (Akkaptan, 2012).

Ağırlıklı Ortalama Yöntemi, çıktı değerinin bulunabilmesi için Denklem 3.36 kullanılarak birden fazla üyelik fonksiyonunun ağırlık merkezlerinin ortalaması alınması mantığına dayanmaktadır (Şekil 3.13). Bu yöntemin uygulanabilmesi için simetrik bir üyelik fonksiyonunun bulunması gereklidir.

$$\frac{x_1 \times \mu(x_1) + x_2 \times \mu(x_2)}{\mu(x_1) + \mu(x_2)} \tag{3.36}$$



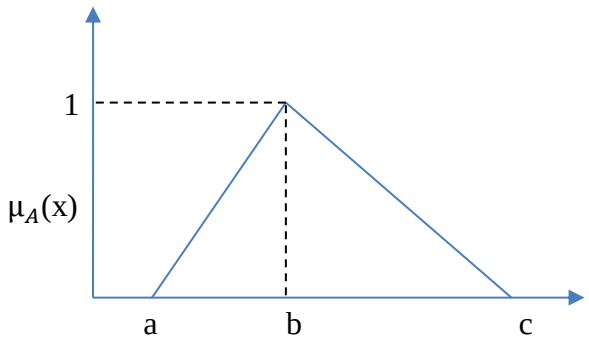
Şekil 3.13: Ağırlıklı ortalama fonksiyonu (Akkaptan, 2012).

Üyelik Fonksiyonu

Bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonu klasik kümelerdeki gösterge fonksiyonunun genelleştirilmiş bir versiyonudur. Bulanık mantıkta bu fonksiyon değerlemenin bir uzantısı olarak doğruluk derecesini temsil eder (Yılmaz ve Şahin, 2023). Doğruluk dereceleri kavramsal olarak farklı olsalar da genellikle olasılıklarla karıştırılabilir. Bunun nedeni bulanık doğruluğun belirsiz bir şekilde tanımlanmış kümelerdeki üyeliği ifade etmesidir, bu bazı olayların veya koşulların olasılığını değil, onların üyelik derecelerini belirtir. Üyelik fonksiyonları Zadeh tarafından 1965 yılında yayınlanan ilk bulanık küme makalesinde tanıtılmıştır.

Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Bulanık mantık tasarımında en yaygın kabul görmüş ve kullanılan üyelik fonksiyonlarından biri üçgen üyelik fonksiyonudur. Girişi bulanıklaştıran üçgen, *c*'nin tabanı ve *b*'nin üçgenin yüksekliğini tanımladığı *a, b ve c* olmak üzere üç parametre ile tanımlanır (Şekil 3.14).



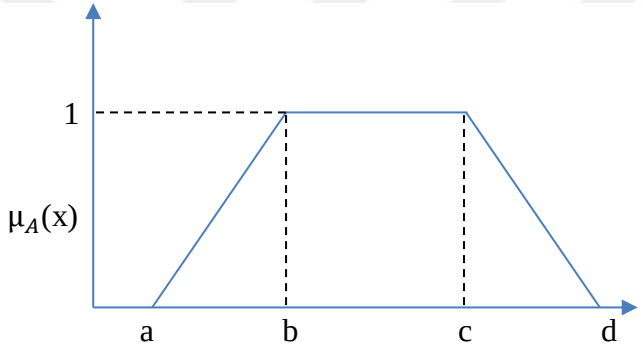
$$\begin{aligned} a \le x \le b \quad &\Rightarrow \quad \frac{x-a}{b-a} \\ b \le x \le c \quad &\Rightarrow \quad \frac{c-x}{c-b} \\ x > c \; veya \; x < a \quad &\Rightarrow \quad 0 \end{aligned} \tag{3.37}$$

Şekil 3.14: Üçgen üyelik fonksiyonu gösterimi (Chen, 2000; Güvenç ve diğ, 2007).

Bulanık bir A kümesindeki μA (x), x ekseninin (a, b, c) koordinatlarını temsil etmektedir.

Trapez Üyelik Fonksiyonu

(a, b,c ,d) olmak üzere dört parametre ile tanımlanır (Şekil 3.15). Eğer eleman (a, b) veya (c, d) arasında ise 0 ile 1 arasında bir üyelik değerine sahip olur, (b, c) arasında ise en yüksek üyelik değeri olan 1'i alır.

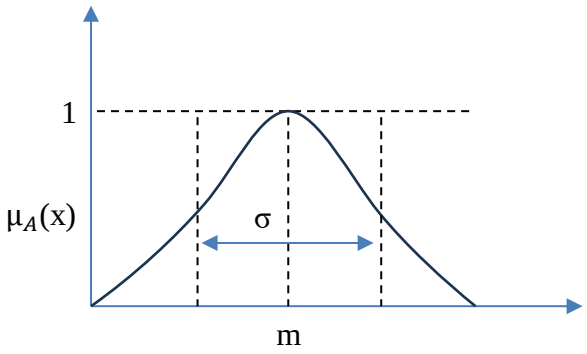


$$\begin{aligned} a \le x \le b \quad &\Rightarrow \quad \frac{x-a}{b-a} \\ b \le x \le c \quad &\Rightarrow \quad 1 \\ c \le x \le d \quad &\Rightarrow \quad \frac{d-x}{d-c} \\ x > d \; veya \; x < a \quad &\Rightarrow \quad 0 \end{aligned} \tag{3.38}$$

Şekil 3.15: Trapez üyelik fonksiyonu gösterimi (Chen ve diğ, 2005; Gülcan, 2012).

Gauss Üyelik Fonksiyonu

İki parametreyle {m, σ} belirtilir (Şekil 3.16). Bu fonksiyonda *m* Gauss eğrisinin ortalamasını veya merkezini, *σ* ise eğrinin yayılımını temsil eder. Gauss üyelik fonksiyonu veri dağılımını daha doğal bir şekilde temsil etmenin etkili bir yoludur.

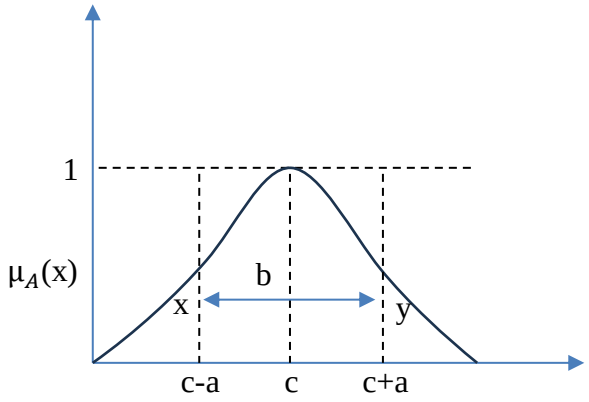


Şekil 3.16: Gauss üyelik fonksiyonu gösterimi.

$$e^{\frac{-(x-c)^2}{2a^2}} \tag{3.39}$$

Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu

{a, b, c} üç parametre ile belirtilir ve aşağıdaki gibi tanımlanır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17: Çan eğrisi üyelik fonksiyonu gösterimi (Chen, 2000).

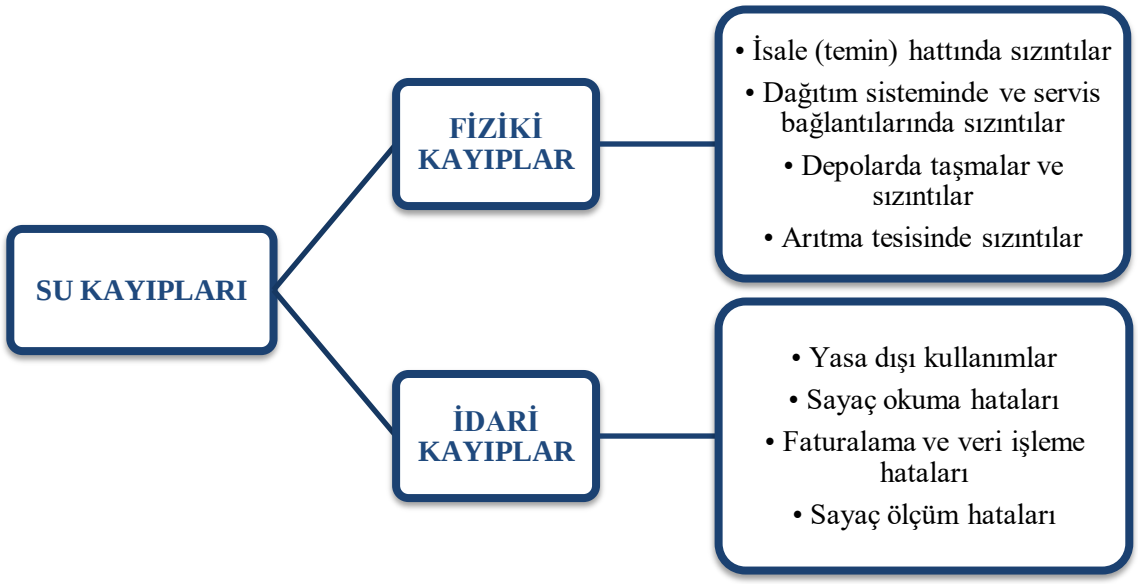
$$x = \frac{b}{2a}, \qquad y = -\frac{b}{2a}$$
$$0 < b \quad \Rightarrow \frac{1}{1 + \frac{|(x-c)|^{2b}}{a}} \tag{3.40}$$

4. İDARİ KAYIP BİLEŞENLERİ

4.1 Su Kayıpları

Suyun kaynaktan alınıp kullanıcılara taşınması sırasında içme suyu iletim ve dağıtım hatlarında bazı kayıplar meydana gelmektedir. Artan nüfus ve şehirleşmeyle beraber dünyadaki su kaynakları yetersiz kalmakta ve beraberinde yeni kaynak arayışı gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Yeni su kaynakları bulma daha maliyetli ve uzun sürebilecek bir süreç olduğundan su idareleri için ilk öncelik mevcut suyu korumak ve su kayıplarını azaltmak olmalıdır. Dünyadaki su şirketlerinin baş etmek zorunda olduğu en büyük zorluklardan biri içme suyu iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen yüksek seviyedeki su kayıplarıdır. Su kayıpları idari ve fiziki kayıplardan oluşmaktadır. Fiziki kayıplar, su temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında meydana gelen sızıntılar ile depolarda meydana gelen taşmalardan ve sızıntılardan kaynaklanmaktadır. İdari kayıplar ise aboneler tarafından tüketildiği halde ücretinin alınamadığı suyu ifade etmektedir (Bozkurt ve diğ, 2022; Xin ve diğ, 2014).

İdari kayıplar, idarelerin gelirini doğrudan olumsuz etkilemekle kalmayıp aynı zamanda temel veri hatalarına da neden olmaktadır. Bu durum da su kayıp yönetim sürecini daha da zor hale getirmektedir (Şekil 4.1) (Mutikanga ve diğ, 2011b). İdari kayıpların (yasa dışı kullanımlar, sayaç okuma hataları, faturalama ve veri işleme hataları, sayaç ölçüm hataları olmak üzere dört ana bileşeni bulunmaktadır (Rizzo ve diğ, 2007; Fanner ve diğ, 2007).



Şekil 4.1: İçme suyu şebekelerinde meydana gelen su kayıpları.

Sisteme giren su miktarı ile faturalandırılmış yasal tüketimler arasındaki fark Gelir Getirmeyen Su (GGS) olarak tanımlanmaktadır (Farley ve diğ, 2008; Hirner ve Lambert, 2000; Lambert, 2003). GGS oranının yüksek olmasının sebepleri arasında fiziki kayıplar, idari kayıplar ve faturalandırılmamış yasal tüketimler ön plana çıkmaktadır (González-Gómez ve diğ, 2011; Liemberger ve Farley, 2004). Su kayıp analizi için uluslararası yöntemlerin kullanılması önemlidir. Su kayıp yönetiminde kayıp oranlarının belirlenmesi, su dengesinin oluşturulması ve mevcut durumun anlaşılması önleme stratejilerinin geliştirilmesi için hayati bir adımdır. Uluslararası Su Birliği (IWA) (1999) tarafından önerilen standart su dengesi çizelgesi ile su dengesi genel bir terminoloji ve yapı çerçevesinde düzenlenmiştir (Hirner ve Lambert, 2000). Belirlenemeyen bileşenler su kayıplarını değerlendirmek amacıyla bu standartlara göre tanımlanmıştır. **(**Lambert, 2003) tarafından su kayıpları üzerine yapılan bir çalışmaya göre su temin ve dağıtım sistemlerindeki idari kayıplar, toplam su kayıplarının %30-40'ını oluşturmaktadır. Bu değerler su idarelerinin su kayıplarıyla mücadele uygulamalarına, kullanılan teknolojilere ve dağıtım sistemlerinin karakteristiğine gibi birçok sebeplere göre değişkenlik gösterebilmektedir. İdari kayıplar su şirketlerinin gelirini doğrudan olumsuz etkilemekle kalmayıp aynı zamanda temel veri hatalarına da neden olmaktadır, bu da su kayıp yönetim sürecini daha zorlu hale getirmektedir (Mutikanga ve diğ, 2011b). Su kayıpları oranlarının değerlendirilmesinde yeterli veri ve metodoloji eksikliğinde gelişmiş ülkeler genellikle iyi yönetilen su sistemleri için en düşük değerler olan varsayılan değerleri tercih etmektedir (McKenzie ve Seago, 2005). Bu kabuller, sorunlu ve iyi yönetilemeyen içme suyu şebekelerine sahip gelişmekte olan ülkeler için uygun olmamaktadır.

4.2 İdari Kayıp Bileşenlerinin Belirlenmesi

Sürdürülebilir su kayıp yönetimi için saha tecrübesi, literatür taramaları ve uzman görüşleri esas alınarak idari kayıpların tespit edilmesi, azaltılması, önlenmesi, izlenmesi ve yönetilmesi faaliyetlerini kapsayan 72 adet idari kayıp bileşeni belirlenmiştir. Belirlenen bileşenler İdare Yönetim, Su Dengesi Bileşenleri, İdari Kayıp Yönetimi, Ekonomik Analiz, Performans İzleme, Veri Yönetimi olarak altı başlık altında toplanmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1: İdari kayıp bileşenleri.

İdare Yönetim	**Su Dengesi Bileşenleri**	**İdari Kayıp Yönetimi**	**Ekonomik Analiz**	**Performans İzleme**	**Veri Yönetimi**
D1	D13	D25	D37	D49	D61
Kurum Üst Yönetiminin Su Kayıp Azaltma Faaliyetlerine Bakış Açısı	Su Dengesi için İdari Kayıp Bileşenlerinin Sistematik Ölçülmesi	İdari Kayıplara Etki Eden Faktörlerin Analizi	Su Üretim Toplam Maliyetinin Analizi ve İzlenmesi	Performans İzleme ve Bilgi Sistemlerinin Entegrasyonu	Giriş Debisi
D2	D14	D26	D38	D50	D62
Su Kayıp Yönetiminde Birimler Arası Koordinasyon	Yasal Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanımlar	İdari Kayıp Azaltma ve Yönetim Stratejisi	Sayaç Yenileme Maliyetinin Analizi ve İzlenmesi	Su Dengesi İzleme, Güncelleme Sistemi ve Analizi	Abone Sayısı
D3	D15	D27	D39	D51	D63
Karar Verici ve Teknik Personelin Su Kayıp Yönetimi Farkındalığı	Yasal Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanımlar	Abone Yönetim Sisteminin Sahada Güncellenmesi	Tahsilat Yapılan Abonelerin ve Hacimlerin İzlenmesi ve Analizi	Faturalama-Tahsilat İzleme-Doğruluk/Verimlilik Analizi	Sayaç Yaşı
D4	D16	D28	D40	D52	D64
Kurumun Su Kayıp Yönetiminde Deneyimi	Yasal Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanımlar	Sayaç Hata Oranlarının Belirlenmesi-Sayaçların İzlenmesi	İdari Kayıpları Önleme Faaliyetlerinin Maliyetlerinin ve Ekonomik Kazanımlarının Analizi ve İzlenmesi	Su Kayıp Uygulamaları için Düzenli Raporlama Sistemi	Yüksek Tüketimli Toplam Abone Sayısı
D5	D17	D29	D41	D53	D65
Su Kayıp Yönetimi için Birim ve Ekip Yeterliliği	Yasal Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanılmalar	Abone Sayaçlarının Kalibrasyonu-Test Laboratuvarının Varlığı	Şebeke İşletme Verimliliğinin Analiz Edilmesi ve İzlenmesi	İdari Kayıp Performans Göstergelerinin İzlenmesi	Özel Tüketimli Toplam Abone Sayısı
D6	D18	D30	D42	D54	D66
Kurumun Su Kayıp Yönetimi Açısından Bütçe Durumu	Abone Sayaç Hatasından Kaynaklanan Kayıplar	Abone Sayaç Tercihi ve Kullanımı için Yazılı Teknik Şartname ve Kılavuzun Varlığı	Sayaç Hatalarından Kaynaklı İdari Kayıp Maliyetinin Analizi ve İzlenmesi	Yasal Faturalandırılmamış Kullanım Değişimlerinin İzlenmesi	Bilgi Yönetim Sistemlerinin Planlanması

Çizelge 4.1: İdari kayıp bileşenleri (devamı).

İdare Yönetim	Su Dengesi Bileşenleri	İdari Kayıp Yönetimi	Ekonomik Analiz	Performans İzleme	Veri Yönetimi
D7	D19	D31	D43	D55	D67
Su Kayıp Yönetimi Personelinin Teknik Yetenek Seviyesi	Kaçak Kullanımdan Kaynaklı Kayıplar	Yasal Faturalandırılmamış Kullanımların Azaltılması için Strateji ve Önlemler	İdari Kayıpların Maliyetinin Analizi ve İzlenmesi	Su Kayıpları Önleme-Kontrol-İzleme-Analiz Faaliyetlerinin Verimlilik ve Ekonomik Açıdan Analizi ve İzlenmesi	Abone Yönetim ve Faturalama Sistemi
D8	D20	D32	D44	D56	D68
Su Kayıp Bileşenlerinin Yönetilmesi için Yol Haritası	Aboneler için Uzaktan Okuma Sistemlerinin Kullanılması	Yasal Faturalandırılmamış Kullanımların Ölçülmesi	Faturalandırılmamış Yasal Kullanımların Maliyetinin Analizi ve İzlenmesi	Su Tüketimi ve Kaynak Verimliliğinin İzlenmesi	Sayaç Yönetimi Veri Tabanı (CBS ile Entegre)
D9	D21	D33	D45	D57	D69
İdari Kayıp Bileşenleri için Yasal Şartnameler	Yasal Faturalandırılmamış Kullanıcı Sayısı ve Takılan Sayaç Sayısı	Yasa dışı Kullanımlar İçin Halkın Bilinçlendirilmesi	Yasadışı-Kaçak Kullanımların Maliyetinin Analizi ve İzlenmesi	CBS tabanlı Entegre Su Kayıp Yönetimi Modeli	Çağrı Merkezi Sistemi
D10	D22	D34	D46	D58	D70
İdari Kayıp Yönetimi Programlarının Teknik ve ekonomik Denetim Politikası	Yüksek Tüketimli Abonelerin Uzaktan Okunması-İzlenmesi	Yasal Faturalandırılmamış Abonelerin Uzaktan Okuma ile İzlenmesi ve Azaltılması	Abone Sayaç Okuma Verimliliğinin İzlenmesi ve Artırılması	Okullarda ve Kamu Binalarında Tüketimler ve Sayaçların Kontrolü	Site vb. Yerler için Kontrol Sayacı Takılması ve İzlenmesi
D11	D23	D35	D47	D59	D71
İdari Kayıp Yönetimi Açısından Mevcut Durum Analizi/Değerlendirme	Özel Tüketimli Aboneler için Uzaktan Okuma Sistemi	Kaçak Bağlantılar ile Mücadele için Denetim Politikası	Ekonomik İdari Kayıp Seviyesinin Analizi	İdari Kayıplar için En Uygun Kayıp Oranı Seviyesinin Belirlenmesi	Kaçak Bağlantı Denetim Sayısı ve Oranı
D12	D24	D36	D48	D60	D72
İdari Kayıp Yönetimi Stratejik Planının Oluşturulması	Kaçınılmaz Yıllık İdari Kayıpların Hesaplanması	Ücretini Ödemeyen Aboneler için İzleme-Kesme Stratejisi-Yol Haritası	Ekonomik Analizi Esas Alan Sayaç Yenileme Stratejisi	Abone Şikâyet Verilerinin Tutulması ve Analizi	Veri tabanlarının Birbiri ile Entegrasyonu (CBS-SCADA-ABYS-Arıza)

İdare Yönetim

Kurum üst yönetiminin su kayıp azaltma faaliyetlerine bakış açısı (D1), kurum üst yöneticilerinin su kayıplarıyla mücadele sürecine olan yaklaşım ve farkındalık düzeyini değerlendirmektedir. Su kayıp yönetim sürecine göre gerekli stratejik önceliklerin belirlenmesi, kurumsal organizasyonun düzenlenmesi ve ihtiyaç duyulan kaynakların sürece uygun kullanılmasını kapsamaktadır.

Su kayıp yönetiminde ilgili birimler arası koordinasyon (D2), kurumda idari, teknik, saha ve destek gibi birimler arasındaki koordineli iletişimi değerlendirir. Birimler arasında koordinasyonun sağlanması ve uyumlu bir şekilde çalışılabilmesi için gerekli çalışma usul ve esasları düzenlenmelidir. Bu düzenlemeyle birlikte birimlerin koordinasyon içinde çalışması sayesinde teknik ve mali kaynakların rasyonel ve verimli bir biçimde kullanılması desteklenir.

Karar verici ve teknik personelin su kayıp yönetimi farkındalığı (D3), su kayıp yönetimi sürecinde kurumdaki teknik personel ve karar vericilerin farkındalık seviyesini belirtmektedir. İdare bünyesindeki yöneticilerin ve personelin su kayıplarının azaltılmasında bilinç ve farkındalık kazanması yönetim sürecinin başlıca önceliklerindendir.

Kurumun su kayıp yönetiminde deneyimi (D4), kurumun su kayıp yönetimindeki tecrübesini değerlendirir. Su kayıp yönetim sürecinde izlenen yöntem ve tekniklerin gereksinimleri, sahadaki mevcut durum ve verilerin analizi ve önleme stratejilerinin belirlenmesi kurum deneyimlerine bağlıdır. Bu sebeple kurumsal deneyimin artırılması ve geliştirilmesi uygulanacak sürecin verimliliği için temel unsurlardandır.

Su Kayıp yönetimi için birim ve ekip yeterliliği (D5), su kayıp yönetimi sürecinde kurumdaki ilgili birim ve ekipleri donanım, kapasite ve yeterlilik bakımından değerlendirir. İdarenin en üst yöneticilerinden alt kademedeki tüm personeline kadar her ekip görevini etkin ve etkili bir şekilde yürütebilecek gerekli deneyim, bilgi ve yeterliliğe sahip olmalıdır. Temel ölçüt olarak mesleki yeterlilik baz alınarak ilgili birimler için en uygun personeller değerlendirilmelidir.

Kurumun su kayıp yönetimi açısından bütçe durumu (D6), kayıpların azaltılması için ayrılan bütçeyi değerlendirmektedir. İdarelerin su kayıpları mücadelesinde hedeflenen kayıp seviyesine ulaşmakta zorlanmasının başlıca sebeplerinden biri mali kaynakların yetersiz olmasıdır. Hedeflenen su kayıpları seviyesine ulaşmayı sağlayacak eylem planlarının ve faaliyetlerin belirlenmesi ve uygulanması mali kaynak gerektirir. Kayıpların yönetim

süreçleri uzun yıllar sürebilmektedir, bu bağlamda toplam yatırım ve işletme maliyeti de artmaktadır. Su kayıp yönetim süreci için gerekli olan bütçenin, kurum tarafından mali açıdan uygulanabilirliğinin irdelenmesi ve fayda maliyet analizi ile gerekli finansal kaynakların sağlanması önemli rol oynamaktadır.

Su kayıp yönetimi personelinin teknik yetenek seviyesi (D7), kurumdaki personelin teknik yetenek seviyesini değerlendirmektedir. Su kayıpları ile mücadelede uygulama planlarının etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için ekibin teknik yetenek seviyesi ve becerileri yeterli düzeyde olmalıdır. Personel verimliliği için gerekli eğitimler verilmelidir.

Su kayıp bileşenlerinin yönetilmesi için yol haritası (D8), su kayıp yönetimi için kurumun stratejik plan ve yol haritasını değerlendirmektedir. Kayıpların izlenmesi, müdahale edilmesi ve önleme faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi sistematik bir planlama ve düzen içerisinde olması gerekir. Bu düzenin sağlanabilmesi için idareler tarafından hedeflenen kayıp seviyesine göre uygulanabilir bir yol haritası oluşturulmalıdır.

İdari kayıp bileşenleri için yasal şartnameler (D9), idari su kayıp yönetimi sürecinde kullanılan yöntemlerin, ekipmanların, teknik cihaz ve yönetim sistemlerinin mevcut şartnamede belirtilen esaslara göre uygunluğunu değerlendirmektedir.

İdari kayıp yönetimi programlarının teknik ve ekonomik denetim politikası (D10), idari kayıp yönetimi faaliyetlerinin teknik ve ekonomik olarak izlenmesini ve değerlendirilmesini kapsamaktadır. İdari kayıpların yönetim faaliyetlerinin verimliliği, teknik ve ekonomik denetimler sonucunda artırılır. Bu denetimler yönetim faaliyetlerinin iyileştirilmesi, kaynakların daha verimli bir hale getirilmesi ve çalışmaların geliştirilmesi için gerekli değerlendirmelerde bulunur.

İdari kayıp yönetimi açısından mevcut durum analizi (D11), idari kayıp yönetim sürecinde risklerin tanımlanması ve zayıf/güçlü yönlerin ve kritik unsurların belirlenmesi mevcut durum analizi ile gerçekleştirilebilmektedir. İdari kayıp bileşenlerinin önlenmesi ve yönetimi amacıyla uygulanan yöntemler genel olarak zaman ve maliyet gerektirmektedir. Bu nedenle saha verileri dikkate alınıp mevcut durum analizi yapılarak uygun maliyetlerle önlenebilir ve sahada uygulanabilir yöntem ve stratejiler belirlenmelidir.

İdari kayıp yönetimi stratejik planının oluşturulması (D12), idari kayıpların yönetimi ve analizi için idarenin mevcut durumunu analiz eden ve bileşenlere yönelik uygulanan yöntemlerin etkinliğini değerlendiren uygulanabilir kısa, orta ve uzun vadeli hedefleri içeren stratejik planın oluşturulması kritik bir öneme sahiptir.

Su Dengesi Bileşenleri

Su dengesi için idari kayıp bileşenlerinin sistematik ölçülmesi (D13), idareler için doğrudan mali kayıplara sebep olan idari kayıpların azaltılması için sahada düzenli olarak tüm bileşenlerin ölçülmesi ve izlenmesi gerekmektedir. Alt bileşenlerin kayıp oranlarının belirlenmesi ile kayıp seviyesine göre bir yönetim stratejisi belirlenir.

Yasal faturalandırılmış ölçülmüş kullanımlar (D14), tüketilen su miktarının ölçüldüğü ve aboneler tarafından ücretinin ödendiği su miktarını ifade etmektedir (Lambert ve Hirner, 2000). Bu bileşen gelir getiren su içerisinde ölçülen su miktarını su dengesi çizelgesinde göstermektedir. Bileşenin doğru bir şekilde ölçülmesi idarelerin gelir getiren ve gelir getirmeyen su miktarlarını belirleyebilmesini ve su dengesi çizelgesini doğru bir şekilde oluşturmasını sağlar.

Yasal faturalandırılmış ölçülmemiş kullanımlar (D15), tüketilen su miktarının ölçülmediği, bazı değerlendirmeler ve tahminlere göre abonelerden ücretinin alındığı su miktarını ifade etmektedir (Seago & McKenzie, 2007).

Yasal faturalandırılmamış ölçülmüş kullanımlar (D16), sayaç bağlantısı bulunan ve su tüketim ölçümleri yapılan idarenin bilgisi dahilinde cami gibi alanlarda izinli olarak kullanılan faturalandırılmayan su miktarıdır. Bu alanlarda yüksek su tüketimleri gerçekleştirilebildiği için tüketim miktarının ölçülmesi, idarenin su dengesi çizelgesini doğru bir şekilde oluşturmasını ve su tasarrufunun sağlanmasını gerektiren durumların görülmesi ve gerekli önlemlerin alınabilmesi için önemlidir.

Yasal faturalandırılmamış ölçülmemiş kullanımlar (D17), idarenin verdiği izinle tüketilen ücreti alınmayan su miktarını ifade etmektedir. Belediye tarafından şehrin ana hatlarını yıkamak, depoları temizlemek ve itfaiye tarafından yangın söndürmek için kullanılan su tüketimlerini kapsamaktadır. Belediyeye ait tanker vb. araçların kullanım sıklığının belirlenmesi ve itfaiye araçlarının yangın hidrantlarından kullandığı suyun miktarının tahmin edilebilmesi için izlenmesi ve analiz edilmesi gerekir.

Sayaç hatasından kaynaklanan kayıplar (D18), yasal abone sayaçlarında meydana gelen ölçüm hatalarının neden olduğu kayıpları değerlendirmektedir. Bu bileşende abone tüketimi olmasına rağmen sayaç hatalarından kaynaklı gerekli ücret alınamamaktadır. Saha denetimleriyle beraber hatalı ölçüm yapılan sayaçların tespit edilmesi ve ekonomik ömrünü tamamlamış sayaçların değiştirilmesi bu bileşenin azalmasına katkı sağlamaktadır.

Kaçak kullanımdan kaynaklı kayıplar (D19), idarenin bilgisi dışından yasal olmayan (kaçak bağlantılardan kaynaklanan) kullanımları içermektedir. Yasa dışı kullanımların tespit edilmesine yönelik sahada denetim çalışmaları gerçekleştirilmesi ve abonelerin

bilinçlendirilerek tanık olanların idareye ihbarda bulunmaya yönlendirilmesi bu kullanımların azalmasına katkı sağlayacaktır.

*Aboneler için uzaktan okuma sistemlerinin kullanılması (D20)***,** idarelerin klasik sayaç okuma yöntemleri yerine teknolojik imkanlardan yararlanarak uzaktan sayaç okuma sistemlerini kullanmasını değerlendirmektedir. Sayaçların uzaktan okunması zaman alıcı takipleri, hatalı okumaları ve tahmini hesaplamaları ortadan kaldırıp sayaçtan alınan verilerin güvenilir ve doğru bir şekilde iletilmesini sağlar.

Yasal faturalandırılmamış kullanıcı sayısı ve takılan sayaç sayısı (D21), GGS alt bileşeni olan ve idarelerde doğrudan gelir kaybına neden olan faturalandırılmamış yasal kullanımların ne kadarının ölçülerek takip edilebildiği değerlendirilmektedir. İdarelerin su dengesi çizelgesini doğru bir şekilde doldurabilmesi için çizelge içinde yer alan bileşenlerin kullanım miktarları sahadan alınan veriler doğrultusunda doldurmalıdır. İdareler için gelir kaybı riski taşıyan bu alt bileşenin miktarının tespiti için yasal olarak izin verilen bu kullanım yerlerine sayaç takılarak kullanım miktarları takip edilmelidir.

Yüksek tüketimli aboneler için uzaktan okuma sistemi (D22), yüksek tüketim gerçekleştiren abonelerin kullanım miktarlarının uzaktan izlenmesini değerlendirmektedir. İdareler için gelir sağlayan bu kullanımların uzaktan okuma sistemi sayesinde okuma hatası olmadan sistematik ve düzenli olarak ölçülmesi tahsilat ve tahakkuk hacimlerinin yükseltilmesine ve geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Özel tüketimli aboneler için uzaktan okuma sistemi (D23), özel tüketim gerçekleştiren abonelerin kullanımlarının uzaktan okuma sistemi ile izlenmesini değerlendirmektedir. Özel tüketim gerçekleştiren aboneler üzerinde etkinliği arttırmak, yasa dışı ve ani yüksek tüketimleri tespit etmek ve daha hızlı ve daha doğru okuma sağlayabilmek amacıyla uzaktan okuma sistemlerinin kullanılması su idarelerinin öncelikleri arasında yer almalıdır.

Kaçınılmaz yıllık idari kayıpların hesaplanması (D24), su idareleri tarafından önlenemeyen (okuma ve faturalandırmadaki küçük veri hataları, tespit edilmesi güç olan yasa dışı kullanımlar ve sayaç hataları vs.) ya da tespit etme maliyeti yüksek olan düşük seviyedeki idari kayıpların hesaplanmasını değerlendirmektedir.

İdari Kayıp Yönetimi

İdari kayıplara etki eden faktörlerin analizi (D25), idari kayıplara etki eden yasa dışı su kullanımları, sayaç ölçüm hataları, faturalama ve veri işleme hataları ve sayaç okuma hatalarının su idareleri tarafından tespit edilip analiz edilmesini değerlendirmektedir.

İdari kayıp azaltma ve yönetim stratejisi (D26), idari kayıplarda etkili olan faktörlerin analiz edilerek yönetim stratejilerinin geliştirilmesini değerlendirmektedir. Yasa dışı kullanımlar için sahada denetimlerin arttırılması, tahakkuk sürecindeki eksikliklerin giderilmesi, uzaktan okunan sayaçlar ile veri işleme hatalarının önüne geçilmesi ve hatalı okuma yapan sayaçların yenilenmesi gibi idari kayıp yönetim stratejileri uygulanarak idarelerin doğrudan gelir kaybı yaşamasına sebebiyet veren idari kayıpların minimize edilmesi hedeflenir.

Abone yönetim sisteminin sahada güncellenmesi (D27), abone yönetim sisteminde bulunan veriler ile sahadaki abone bilgilerinin entegrasyonunu değerlendirmektedir. Abone bilgilerini sahada kontrol edip veri tabanında bulunan veriler ile karşılaştırma ve güncelleme esasına dayalı bir uygulamadır. Yasa dışı kullanımların önlenebilmesi ve tahakkuk ve tahsilatların izlenip analiz edilmesi açısından önemli bir değişkendir.

Sayaç hata oranlarının belirlenmesi-sayaçların izlenmesi (D28), abone sayaçlarının performansını, okuma sapmalarını ve hata oranlarını değerlendirmektedir. Sayaç hatalarından kaynaklanan gelir kayıplarını minimuma indirmek ve sayaç değişim sürecinde öncelikli bölgeleri belirlemek açısından kritik bir öneme sahiptir.

Abone sayaçlarının kalibrasyonu-test laboratuvarının varlığı (D29), sayaçların çalışma ve kalibrasyon durumunu test edebilmek için idarelerdeki sayaç test laboratuvarının varlığını değerlendirmektedir. Testlerin bilimsel standartlara uygun bir şekilde gerçekleştirilmesi ve sayaç hatalarının belirlenebilmesi için gerekli bir değişkendir.

Abone sayaç tercihi ve kullanımı için yazılı teknik şartname ve kılavuzun varlığı (D30), sayaçların teknik özelliklerine ve performans durumuna göre sayaç tercihinin yapılabilmesi için teknik şartname ve kılavuzun varlığını değerlendirmektedir. Sayaç seçiminde gerekli standartların belirlenmesi için oluşturulan şartnameler idarelerin sayaç seçiminde rehber niteliği taşımaktadır.

Yasal faturalandırılmamış kullanımların azaltılması için strateji ve önlemler (D31), yasal faturalandırılmamış kullanımların yönetimi için uygulanacak strateji ve önlemleri değerlendirmektedir. Suyun korunabilmesi ve finansal verimliliğin sağlanabilmesi için idareler tarafından bu kullanımlar ile ilgili yönetim stratejileri oluşturulmalıdır.

Yasal faturalandırılmamış kullanımların ölçülmesi (D32), yasal faturalandırılmamış su miktarının ölçülmesi ve kayda alınmasını değerlendirmektedir. Mezarlıklar, parklar, camiler, kurum içi kullanımlar, okullar, umumi tuvaletler ve itfaiye gibi alanlarda idari kayıp yönetimi için gelir elde edilemeyen kullanım miktarları su dengesi çizelgesinin doğru bir şekilde doldurulabilmesi için sayaçlar ile ölçülmelidir.

Yasa dışı kullanımlar için halkın bilinçlendirilmesi (D33), yasa dışı kullanımların engellenebilmesi için kamuoyunda farkındalık yaratma ve bilinçlendirme çalışmalarını değerlendirmektedir. Yasa dışı kullanımlardan kaynaklanan kayıp ve yaptırımlar konusunda halkı bilinçlendirip kamuoyunda bilinç oluşturmaktadır.

Yasal faturalandırılmamış abonelerin uzaktan okuma ile izlenmesi ve azaltılması (D34), yasal faturalandırılmamış abonelerin uzaktan okuma sistemi ile izlenmesi ve bu kullanımların azaltması ile ilgili çalışmaları değerlendirmektedir. Gelir kaybının azaltılması ve su dengesi tablosunun doğru bir şekilde oluşturulabilmesi için bu tüketimlerin sistematik bir şekilde izlenmesi önemlidir.

Kaçak bağlantılar ile mücadele için denetim politikası (D35), yasa dışı bağlantıların tespit edilmesi için idarelerin denetim politikalarını değerlendirmektedir. Saha kontrolleri ile riskli bölgeler belirlenerek gerekli cezai yaptırımların uygulanması ve bu kullanımların önlenmesi için halkın bilinçlendirilmesi kaçak bağlantılar ile mücadele süreci için önemlidir.

Ücretini ödemeyen aboneler için izleme-kesme stratejisi-yol haritası (D36), yasal aboneler tarafından tüketilmesine rağmen ücretinin ödenmediği durumlar için su idareleri tarafından nasıl bir yol izlendiğini değerlendirmektedir. Tahsilat sürecinde yaşanan sorunların çözülebilmesi için ücretini ödemeyen abonelerin tespit edilip uyarı yapılması ve hizmetin kesilmesi gibi stratejileri içeren bir yol haritası oluşturulması önemlidir.

Ekonomik Analiz

Su üretim toplam maliyetinin analizi ve izlenmesi (D37), su üretim sürecinde temin, arıtma ve dağıtım aşamalarında meydana gelen maliyetlerin analizini değerlendirmektedir. Verimlilik düzeyinin yükseltilmesi ve birim metreküp su satış bedelleri üzerinden sürdürülebilir fiyatlandırma sağlanabilmesi için idarelerin üretim maliyeti analizi gerçekleştirmesi önemlidir.

Sayaç yenileme maliyetinin analizi ve izlenmesi (D38), hatalı ölçüm yapan ya da kullanım ömrünü doldurmuş sayaçların yenilenme faaliyetleri için gerekli olan maliyet analizini değerlendirmektedir. İdareler tarafından yatırım planlamasının stratejik ve rasyonel bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için sayaç yenileme maliyet analizinin yapılması önemlidir.

Tahsilat yapılan abonelerin ve hacimlerin izlenmesi ve analizi (D39), su idaresinin gelir kaynağı olan yasal abone sayılarını ve tahakkuk edilen hacimleri değerlendirmektedir. Tüketilmesine rağmen ücretini ödemeyen abonelerin takip edilmesi, abonelerden alınan tahsilat oranlarının değerlendirilmesi ve gelirlerin sürdürülebilirliğinin sağlanması için tahsilat yapılan abonelerin izlenmesi önemlidir.

İdari kayıpları önleme faaliyetlerinin maliyetlerinin ve ekonomik kazanımlarının analizi ve izlenmesi (D40), idari kayıpları önlemek amacıyla yapılan yatırımların maliyetlerinin analizini ve bu yatırımlar ile elde edilen ekonomik kazanımları değerlendirmektedir.

Şebeke işletme verimliliğinin analiz edilmesi ve izlenmesi (D41), su idarelerinin operasyonel verimliliğinin sistemli bir şekilde izlenerek analiz edilmesini değerlendirmektedir. Kaynakların etkin bir şekilde kullanılması ve maliyetlerin minimize edilmesinin işletme verimliliğinin sağlanmasında önemli bir rolü ve etkisi vardır.

Sayaç hatalarından kaynaklı idari kayıp maliyetinin analizi ve izlenmesi (D42), su dağıtım hatlarında sayaç hatalarından kaynaklı oluşan gelir kayıplarının idareler tarafından analiz edilip izlenmesini değerlendirmektedir. İdari kayıpların alt bileşeni olan sayaç hatalarının neden olduğu maliyetlerin analiz edilebilmesi için sayaçların düzenli olarak izlenerek hatalı ölçüm yapanların finansal etkisinin belirlenmesi gereklidir.

İdari kayıpların maliyetinin analizi ve izlenmesi (D43), su idarelerinin karşı karşıya olduğu idari kayıplardan kaynaklanan gelir kayıplarını analiz edip toplam maliyeti değerlendirmektedir. Yasa dışı kullanımlar, sayaç okuma hataları, faturalama ve veri işleme hataları ve sayaç ölçüm hatalarının toplam maliyete olan etkisi analiz edilmektedir.

Faturalandırılmamış yasal kullanımların maliyetinin analizi ve izlenmesi (D44), tüketilmesine rağmen ücreti alınmayan faturalandırılmamış yasal su kullanımlarının idareler üzerindeki maliyet etkisini değerlendirmektedir. İdarelerin şebekenin günlük su ihtiyacını belirleyebilmesi ve su dengesi tablosunu doğru bir şekilde doldurabilmesi için bu kullanımların izlenmesi ve analiz edilmesi su kayıp yönetim süreci için önemlidir.

Yasa dışı-kaçak kullanımların maliyetinin analizi ve izlenmesi (D45), yasa dışı su kullanımlarının tespit edilmesi sonucunda idarelerde neden olduğu gelir kayıplarını analiz edip değerlendirmektedir. Yasa dışı kullanımların idareler tarafından tespit edilerek gerekli müdahalelerin yapılması ve takip altında tutulması mevcut su kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılabilmesi için gereklidir.

Abone sayaç okuma verimliliğinin izlenmesi ve artırılması (D46), sayaç okumalarının doğruluğunun analiz edilip gerekli verimliliğin sağlanması ve arttırılması için yapılan çalışmaları değerlendirmektedir. Tahakkuk oranının doğruluğunun sağlanabilmesi için sayaç okumalarının sürekli olarak izlenmesi, uzaktan okuma yapan sayaçların kalibre ve bakımlarının yapılması, ömrünü dolduran sayaçların yenilenmesi ve elle okuma yapan ekiplerin performanslarının değerlendirilmesi kritik bir öneme sahiptir.

Ekonomik idari kayıp seviyesinin analizi (D47), idari kayıpların yönetilmesi için gerekli olan maliyet ile idarelere sağlayacağı ekonomik kazanç arasındaki kayıp/kazanç seviyesini değerlendirmektedir. Stratejik yatırım planı oluşturulmasına, optimum seviyede idari kayıp hedeflerinin belirlenmesine ve kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasına için imkân tanır.

Ekonomik analizi esas alan sayaç yenileme stratejisi (D48), su idarelerinin ekonomik ölçütlerini esas alarak sayaç yenileme stratejilerini değerlendirmektedir. Değişim için öncelikli olan sayaçların belirlenerek fayda/maliyet analizi sonuçlarına göre sayaç yenileme stratejisinin uygulanması, idarelerin sayaç yönetim süreçlerini verimli ve sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirmesine katkı sağlar.

Performans İzleme

Performans izleme ve bilgi sistemlerinin entegrasyonu (D49), idarelerde kurumsal bilgi ağının oluşturulması ve faaliyetlerin izlenmesi için kullanılan performans izleme ve bilgi sistemlerinin birbirleriyle olan entegrasyonunu değerlendirmektedir. Sistemler arasındaki entegrasyonun sağlanması ile karar mekanizmasının daha güçlü bir şekilde çalıştığı, idarelerde verimlilik artışının sağlandığı ve maliyetlerin azaltıldığı gözlemlenir.

Su dengesi izleme, güncelleme sistemi ve analiz (D50), idareler tarafından üretilen, aboneler tarafından tüketilen ve temin ve dağıtım hatlarında kaybolan su miktarının tespit edilebilmesi için doldurulan su dengesi tablosunun izlenerek güncelliğinin korunmasını değerlendirmektedir. İdarelerin kaynaklarını verimli bir şekilde kullanabilmesi için su dengesinin sistematik bir şekilde izlenmesi ve güncel verilere göre analiz edilmesi büyük bir önem taşır.

Faturalama-tahsilat izleme-doğruluk/verimlilik analizi (D51), abone su tüketimlerinin faturalandırılarak tahakkuk edilmesi ve tahsilatların izlenerek doğruluk ve verimlilik analizlerinin yapılmasını değerlendirmektedir. Faturalandırma hatalarının önüne geçilebilmesi için akıllı sayaç sistemlerinin ve dijital faturalandırma yazılımlarının kullanılması stratejik bir öneme sahiptir.

Su kayıp uygulamaları için düzenli raporlama sistemi (D52), su kayıp yönetim sürecinde idareler tarafından gerçekleştirilen uygulamalara yönelik oluşturulan raporlamaların etkinliğini değerlendirmektedir. İdarelerin yönetim sürecindeki performanslarının takip edilmesi ve kapsamlı değerlendirmelerin yapılabilmesi için raporlamaların bir sisteme oturtularak düzenli bir şekilde yapılması gereklidir.

İdari kayıp performans göstergelerinin izlenmesi (D53), idari kayıp yönetim sürecinde gerçekleştirilen uygulamaların kullanılan performans göstergelerine göre izlenip analiz edilmesini değerlendirmektedir. İdari su kayıp yönetiminde sistem performansının izlenmesi ve uygun göstergelere göre analiz edilmesi işletme koşullarının geliştirilmesi açısından büyük öneme sahiptir.

Yasal faturalandırılmamış kullanım değişimlerinin izlenmesi (D54), idareler tarafından izin verilen fakat ücretlendirilmeyen faturalandırılmamış yasal kullanımlardaki tüketimlerin değişim seviyelerinin izlenmesini değerlendirmektedir. Tüketim seviyesinde artış gözlemlenmesi durumunda kullanımların sınırlandırılarak kontrol altına alınması idarelerin kaynaklarını optimum düzeyde ve verimli şekilde kullanması için kritik öneme sahiptir.

Su kayıpları önleme-kontrol-izleme-analiz faaliyetlerinin verimlilik ve ekonomik açıdan analizi ve izlenmesi (D55), su kayıplarını önleme ve azaltmaya yönelik gerçekleştirilen faaliyetleri verimlilik ve ekonomik açıdan değerlendirmektedir. Sürdürülebilir bir su kayıp yönetimi için planlanan uygulamaların kısa vadeli hedeflerden ziyade idarelere ekonomik fayda sağlayacak, mevcut kaynaklarını optimize edecek ve verimliliği artıracak bir bakış açısıyla yürütülmesi gereklidir.

Su tüketimi ve kaynak verimliliğinin izlenmesi (D56), abone tüketimlerini ve sistemi besleyen kaynağın verimliliğini değerlendirmektedir. Abonelerin su tüketim eğilimlerine göre bölgesel su kullanım dağılımları oluşturularak arz/talep oranının analiz edilmesi ve kaynak verimliliğinin sağlanması için su tasarruf politikalarının geliştirilmesi önemlidir.

CBS tabanlı entegre su kayıp yönetimi modeli (D57), su idarelerinin CBS tabanlı entegre su kayıp yönetim modelini değerlendirmektedir. İçme suyu temin ve dağıtım hatlarını oluşturan her bir yapının haritalandırılıp sayısallaştırılarak CBS'ye aktarılması ve CBS tabanlı bir su kayıp yönetimi modelinin kullanılması, gerçekçi bir yaklaşım ile mevcut durumun izlenmesi ve müdahale edilmesi için stratejik bir öneme sahiptir.

Okullarda ve kamu binalarında tüketimler ve sayaçların kontrolü (D58), okullar ve kamu binaları gibi yasal faturalandırılmamış su kullanımlarının gerçekleştiği alanlarda tüketimlerin sayaçlar aracılığıyla izlenmesini ve sayaç kontrollerinin yapılmasını değerlendirmektedir. Bu alanlardaki tüketimlerin sayaçlar ile düzenli olarak izlenmesi su idarelerinin sistemde ne kadarlık bir su tüketimi gerçekleştiğini tespit ederek kaynaklarını daha etkin bir şekilde kullanması ve gerekirse bu alanlarda su tasarrufu politikalarını uygulaması için büyük bir öneme sahiptir.

İdari kayıplar için en uygun kayıp oranı seviyesinin belirlenmesi (D59), idarelerin hedeflediği en uygun idari kayıp seviyesini değerlendirmektedir. Ekonomik olarak uygulanabilir minimum idari kayıp seviyesinin belirlenmesinde mevcut durum ve maliyet-etkinlik analizlerinin yapılması idarelerin kaynaklarını ve zamanını verimli bir şekilde yönetmesi için kritik bir öneme sahiptir.

Abone şikâyet verilerinin tutulması ve analizi (D60), abonelerden idarelere gelen şikayetlerin tutularak şikayetle alakalı gerekli analizlerin yapılmasını değerlendirmektedir. Gelen şikayetlerin önemsenmesi ve çözüm üretilmesi hem idarelerin hizmet kalitesini arttırarak kurumsal gelişim sağlayabilmesi hem de abone memnuniyetinin sağlanması bakımından son derece önemlidir.

Veri Yönetimi

Giriş debisi (D61), sisteme verilen su miktarının ölçülmesini değerlendirmektedir. Giriş debisinin ölçülmesi üretim ve tüketim arasındaki farkın belirlenip su dengesi tablosunun oluşturulması, finansal analizlerin yapılıp su bütçesinin oluşturulması ve kaynak yönetiminin sağlanması için gereklidir.

Abone sayısı (D62), su idaresine kayıtlı olan abone sayısını değerlendirmektedir. Abone sayısı idarenin hizmet sağladığı ağın büyüklüğünü, tahakkuk-tahsilat miktarını ve sisteme verilmesi gereken su miktarını belirlemektedir.

Sayaç yaşı (D63), sisteme kayıtlı olan sayaçların yaşını değerlendirmektedir. Hatalı ölçüm yapabilecek sayaçların önceden tespit edilmesi ve öncelikli olarak değiştirilmesi gereken sayaçların belirlenmesi için sayaç yaşlarının takip edilmesi önemlidir.

Yüksek tüketimli toplam abone sayısı (D64), hizmet verilen yüksek tüketimli abone sayısını değerlendirmektedir. Sanayi, ticaret, ulaşım, çevre ve turizm gibi alanlarda faaliyet gösteren yüksek tüketimli abone sayısının bilinmesi kaynak planlamasının yapılması ve yasa dışı kullanımların kontrolü gibi çalışmalar için önemli bir parametredir.

Özel tüketimli toplam abone sayısı (D65), hizmet verilen özel tüketimli abone sayısını değerlendirmektedir. Alışveriş merkezleri, oteller, hastaneler gibi özel tüketim gerçekleştiren aboneler su idareleri için yüksek gelir akışı sağlamaktadır. Bu abonelerin toplam sayısının bilinmesi ve izlenmesi idarelerin operasyonel kontrol sağlayabilmesi için önemlidir.

Bilgi yönetim sistemlerinin planlanması (D66), idarelerde verilerin yönetiminde kullanılan bilgi yönetim sistemlerinin planlanmasını değerlendirmektedir. İdari kayıpların yönetim sürecinde bilgi yönetim sistemlerinin kullanılarak verilerin sistematik bir biçimde

izlenmesi yönetim sürecinin bütüncül, güvenli ve sürdürülebilir biçimde yürütülmesi için önemlidir.

Abone yönetim ve faturalama sistemi (D67), idarelerde kullanılan abone yönetim sistemini ve faturalandırma sistemini değerlendirmektedir. Tahakkuk ve faturalandırmaların eksiksiz bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için abone yönetim sisteminin güncel tutularak faturalandırma sistemiyle entegre bir biçimde çalıştırılması önemlidir. Bu sistemlerin entegre bir biçimde çalıştırılması eksiksiz ve zamanında bir faturalama sürecinin uygulanması için temel bir araç olup idarenin gelir durumunu doğrudan etkilemektedir.

Sayaç yönetimi veri tabanı (CBS ile entegre) (D68), idarelerin kullandıkları sayaç yönetimi veri tabanının güncelliğini ve CBS ile entegre çalışmasını değerlendirmektedir. Abone sayaçlarının teknik bilgilerini içeren sayaç yönetimi veri tabanının CBS ile entegre edilmesiyle birlikte sayaçların dağıtım hattı üzerindeki konumlarına da erişilebilmektedir. Bu sistemlerin entegre bir biçimde çalışması sayaç analizi, arıza yönetimi ve su kayıp analizleri için önemlidir.

Çağrı merkezi sistemi (D69), arıza bildirimlerinin, abone şikayetlerinin ve taleplerin alındığı çağrı merkezi sistemini değerlendirmektedir. Çağrı merkezi sisteminin aktif bir şekilde kullanılması ve gelen bildirimlere hızlı reaksiyon verilmesi abone memnuniyetinin sağlanması, gelen arıza bildirimleriyle beraber arızalara hızlı müdahale edilmesi ve kaçak ihbarlarıyla kayıpların yönetilmesi bakımından önemli etkilere sahiptir.

Site vb. yerler için kontrol sayacı takılması ve izlenmesi (D70), toplu yaşam alanları içerisinde olan site vb. yerler için kontrol sayaçlarının kullanılması ve sayaçların izlenmesini değerlendirmektedir. Daire sayaçları ile site sayaçları arasındaki farkın analiz edilmesi ile site içi su kayıpları, kaçak su kullanımları ve site ortak alanındaki su kullanımları tespit edilir. Ortak alanlarda yüksek su kullanımı tespiti durumunda su tasarrufu uygulamaları teşvik edilebilir.

Kaçak bağlantı denetim sayısı ve oranı (D71), yasa dışı su kullanımlarının tespiti amacıyla yapılan saha denetimlerini değerlendirmektedir. Saha denetimleriyle tespit edilen yasa dışı su kullanım oranı su idaresinin kontrol kapasitesini ve denetim etkinliğini göstermektedir.

Veri tabanlarının birbiri ile entegrasyonu (CBS-SCADA-ABYS-Arıza)(D72), su idarelerinin kullandığı veri tabanlarının birbirleriyle entegre içinde çalışmasını değerlendirmektedir. CBS, SCADA, ABYS ve Arıza sistemlerinin birbirleriyle entegrasyonunun sağlanması su idarelerinin operasyonel süreçlerde karar alma hızını ve hizmet kalitesini artırır.

5. ANALİZ ve DEĞERLENDİRME

5.1 Problemin Tanımlanması

Su kayıplarının bir bileşeni olan idari kayıplar ve faturalandırılmamış yasal kullanımlar su idarelerinde doğrudan gelir kaybına yol açmaktadır. Bu durum, yalnızca idarelerin gelirini olumsuz etkilemekle kalmayıp aynı zamanda temel veri hatalarına da neden olmaktadır. İdarelerin bu kayıplarla mücadele sürecinde kaynaklarını ve zamanlarını verimli kullanabilmeleri yönetim sürecindeki hedefleri doğrultusunda en uygun bileşenleri belirlemeleriyle mümkün olmaktadır. İdarelerin gelir kayıplarını önleme ve yönetme stratejilerini uygulayabilmesi ve sürdürülebilir bir şekilde mücadele edebilmesi amacıyla bu çalışmada, idari kayıp ve faturalandırılmamış yasal kullanımların yönetiminde etkili olan bileşenler belirlenmiştir. Belirlenen bileşenlerin su kayıp miktarının önlenmesi ve azaltılmasındaki potansiyellerine göre sıralanması ve risklerinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışma, temelde beş aşamadan oluşan bir süreç ile yürütülmektedir (Şekil 5.1). İlk aşamada hiyerarşik yapıdaki tüm elemanların göreceli önem derecelerini belirleyebilmek için AHP yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenir. İkinci aşamada ANP yöntemi kullanılarak idari kayıp yönetimi bileşenlerinin değerlendirilmesinde dikkate alınan kriterlerin ağırlık katsayıları elde edilir. Üçüncü aşamada ilk iki yaklaşımla elde edilen ağırlık katsayıları kullanılarak TOPSIS yöntemi ile idari kayıp yönetiminde etkili olan bileşenlerin sıralamaları kıyaslanmıştır. Dördüncü aşamada, idari kayıp bileşenlerini etkileyen kriterler arasındaki olasılıksal ilişkilerin belirlenmesi amacıyla Bayes Teoreminden faydalanılmıştır. Bayes Teoremi kullanılarak değişkenler arasındaki olasılık bağıntıları analiz edilmiş ve bu doğrultuda değişkenler etkilerine göre önceliklendirilmiştir. Son aşamada, idari kayıp bileşenlerinin varlığına ilişkin muhtemel sonuçlar tespit edilmiş ve belirsizlik düzeyleri dikkate alınarak bulanıklaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bulanık çıkarım süreçleri ile olasılık ve sonuçlar bütünleştirilerek idari kayıp bileşenlerine ilişkin risk düzeyi hesaplanmıştır.

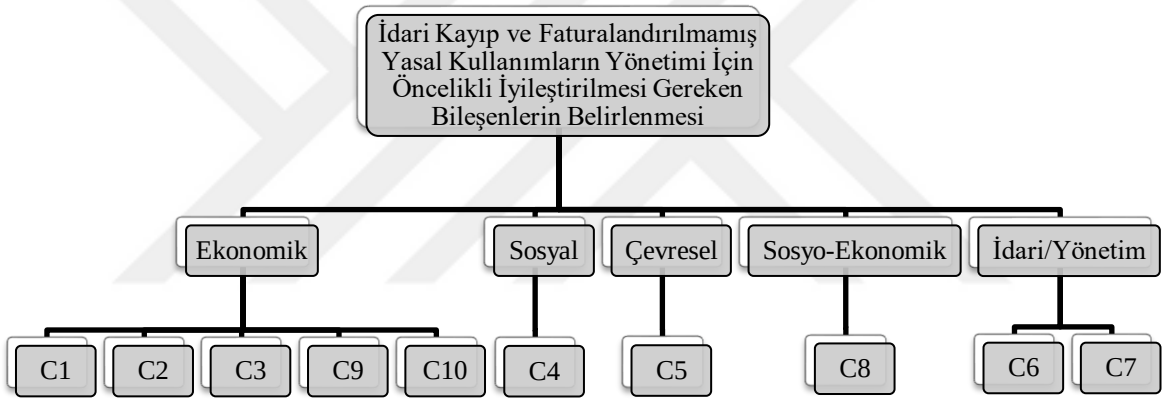


Şekil 5.1: Yöntem akışı.

5.2 Kriterlerin ve Alternatiflerin Belirlenmesi

Çok kriterli karar verme süreçlerinde uygulanması gereken ilk adım karar problemine göre amacın belirlenmesi olmalıdır. Bu çalışmada, çok kriterli karar verme yöntemleri ile idari kayıp ve faturalandırılmamış yasal kullanımların yönetimi için öncelikli iyileştirilmesi gereken bileşenlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Karar verme sürecinde ikinci adım ise hedeflenen amaç doğrultusunda karar kriterleri ile alternatiflerin belirlenmesidir. Bu çalışmada, karar alternatifi olarak değerlendirilmek üzere 72 adet bileşen belirlenmiştir.

İdari kayıp yönetimi kapsamında iyileştirilmesi gereken bileşenlerin değerlendirilmesi için literatür taranarak (Aşchilean ve Giurca, 2018; Mutikanga ve diğ, 2011; Zyoud ve diğ, 2016) toplam 10 adet değerlendirme ve karar kriteri belirlenmiştir (Şekil 5.2). Belirlenen bu kriterler ekonomik, idari/yönetim, sosyo-ekonomik, çevresel ve sosyal olmak üzere farklı kategorilere ayrılmıştır (Çizelge 5.2).



Şekil 5.2: İdari kayıp yönetimi için oluşturulan AHP şeması.

Gelir Artırımı (C1): Su idarelerinde doğrudan gelir kaybına neden olan idari kayıpların ve faturalandırılmamış yasal kullanımların azaltılmasıyla birlikte idarenin doğrudan gelir elde ettiğini temsil eder.

İlk Yatırım Maliyeti (C2): Önerilen alternatifin idari su kayıpları yönetim sürecinde uygulanabilmesi için idareye yansıtacağı maliyetleri ifade eder. İdareler uzun vadeli ekonomik sürdürülebilirlik sağlayabilmek amacıyla önerilen alternatife yapılacak olan maliyetlerin düşük ve uygulanabilir olmasını hedefler. Fayda ve maliyet analizi yapılarak sınırlı bir bütçeyle daha verimli yatırımlar yapılabilir.

İşletme Maliyeti (C3): Önerilen alternatifin uygulanmasıyla birlikte idareye yansıyacak olan kontrol ve bakım maliyetleridir. Bakım maliyetlerinin düşük olması o alternatifin uzun vadeli sürdürülebilirliği açısından önemlidir.

Sosyal Etki (C4): Önerilen alternatifin uygulanması sırasında (eskiyen veya yanlış ölçüm yapan abone sayaçlarının yenilenmesi, kaçak kullanımlar için yapılan saha çalışmaları ve ücretini ödemeyen aboneler için izleme ve kesme stratejisinin uygulanması) sosyal ve çevresel açıdan oluşturacağı olumsuz durumların tüketiciler üzerindeki etkisini ifade eder.

Suyun Korunması (C5): Önerilen alternatifin uygulanması (sayaç hatalarının önlenmesi, kaçak kullanımların önlenmesi vb.) ile suyun verimli kullanılması ve doğal su kaynakları üzerindeki baskıyı kaldırarak su tasarrufu sağlanmasıdır.

Verimlilik (C6): İdari kayıplar idare açısından ekonomik verimsizliğe neden olmaktadır. İdari kayıp yönetim sürecinde önerilen alternatifin su, personel, enerji ve finansal verimlilikleri sağlayabilmesi hedeflenir.

Yöntem Uygulanabilirliği (C7): Önerilen alternatifin su idarelerinin teknik ve finansal koşulları ve her alternatifin uygulanmasında sosyal ve çevre açısından kabulü gibi koşullar göz önüne alındığında uygulanabilirlik durumudur.

Ödeyebilirlik (C8): Doğrudan gelir kaybına neden olan idari kayıpların azaltılması maliyetlerin düşmesine katkı sağlayacağı için su tarifelerinin aboneler tarafından ödenebilir olmasını sağlar.

Gelir Kaybı Riski (C9): Önerilen alternatifin uygulanmasıyla birlikte su idaresine yansıtacak maliyetler bakımından değerlendirilmesidir.

Faydalı Ömür Süresi (C10): İdari su kayıpları yönetim sürecinde uygulanan alternatifin faydalı olarak hizmet vereceği süreyi ifade eder.

Çizelge 5.1: İdari kayıp bileşenleri karar kriterleri, kategorileri ve tanımları.

Kriterler	Kriter İsmi	Kategori	Tercih	Tanım
C1	Gelir Artırımı	Ekonomik	Maksimum	Alternatif gelir artırmaya katkıda bulunmalıdır.
C2	İlk Yatırım Maliyeti	Ekonomik	Minimum	Alternatifin uygulanması için gerekli olan maliyetlerdir.
C3	İşletme Maliyeti	Ekonomik	Minimum	Alternatif uygulandıktan sonra kontrolü ve bakımı için gereken maliyetlerdir.
C4	Sosyal Etki	Sosyal	Minimum	Alternatifin uygulanması sırasında sosyal ve çevresel açıdan tüketiciye olan etkisini ifade eder.
C5	Suyun Korunması	Çevresel	Maksimum	Alternatifin uygulanması ile suyun verimli kullanılması ve su tasarrufu sağlamasıdır.

C6	Verimlilik	İdari/Yönetim	Maksimum	Alternatifin sürdürülebilir bir idari kayıp yönetim sürecine sağlayacağı verimidir.
C7	Yöntem Uygulanabilirliği	İdari/Yönetim	Maksimum	Alternatifin su idarelerinin teknik ve finansal koşulları göz önüne alındığında uygulanabilirlik durumudur.
C8	Ödeyebilirlik	Sosyo-Ekonomik	Maksimum	Alternatifin tüketiciye uygulanan su tarifesi seviyesi üzerindeki etkisidir.
C9	Gelir Kaybı Riski	Ekonomik	Minimum	Alternatifin uygulandıktan sonra idareye yansıyacak maliyetler bakımından değerlendirilmesidir.
C10	Faydalı Ömür Süresi	Ekonomik	Maksimum	Alternatifin faydalı olarak hizmet verebileceği süredir

Kriterlerin problem üzerindeki pozitif ve negatif etkilerine göre sınıflandırmaları Çizelge 5.2'de sunulmaktadır. Belirlenen kriterlerden C1, C5, C6, C7, C8, C10 kriterleri pozitif kriterler olması sebebiyle karar vericiler tarafından verilecek yüksek puanlandırmalar pozitif etki gösterir ve olumlu değerlendirilir. Bu durum, C6 kriteriyle örneklendirilebilir. Verimlilik kriterine göre değerlendirilen bir değişkenin puanının yüksek olması yönetim sürecine olumlu katkı sağlaması nedeniyle hedeflenen bir durumdur. Bu yüzden C6 kriteri, pozitif kriter olarak değerlendirilir. C2, C3, C4 ve C9 kriterlerinin negatif kriterler olması sebebiyle verilecek yüksek puanlandırmalar olumsuzluğu temsil eder. Bu durum örnekle açıklanacak olunursa C3 kriterine göre değerlendirilen bir değişkenin puanının yüksek olması yönetim sürecine olumsuz katkı sağlaması nedeniyle istenilmeyen bir durumdur, bu yüzden C3 kriteri Çizelge 5.3'te yer aldığı gibi negatif kriter olarak değerlendirilir.

Çizelge 5.2: Pozitif ve negatif kriterler.

Pozitif Kriterler		**Negatif Kriterler**	
C1	Gelir Artırımı	**C2**	İlk Yatırım Maliyeti
C5	Suyun Korunması	**C3**	İşletme Maliyeti
C6	Verimlilik	**C4**	Sosyal Etki
C7	Yöntem Uygulanabilirliği	**C9**	Gelir Kaybı Riski
C8	Ödeyebilirlik		
C10	Faydalı Ömür Süresi		

Çizelge 5.3: Pozitif ve negatif kriterlerin puanlandırma ölçütleri.

Pozitif Kriterler/Değerlendirme Kriterleri	**Çok Kötü**	**Kötü**	**Orta**	**İyi**	**Çok İyi**
Puanlar	1	3	5	7	9

Negatif Kriterler/Değerlendirme Kriterleri	**Çok İyi**	**İyi**	**Orta**	**Kötü**	**Çok Kötü**
Puanlar	1	3	5	7	9

Çizelge 5.3'te pozitif değerlendirme kriterlerinin yüksek puan alması su temin ve dağıtım sistemi için iyi ve tercih avantajı oluştururken negatif değerlendirme kriterlerinin yüksek puan alması kötü ve sistem kısıtları için dezavantaj durumunu ifade etmektedir. Tüm bu koşullar dikkate alınarak idari kayıp ve faturalandırılmamış yasal tüketimler yönetimi için belirlenen 72 adet bileşen, 10 adet karar kriterine göre uzmanlar tarafından puanlandırılmıştır.

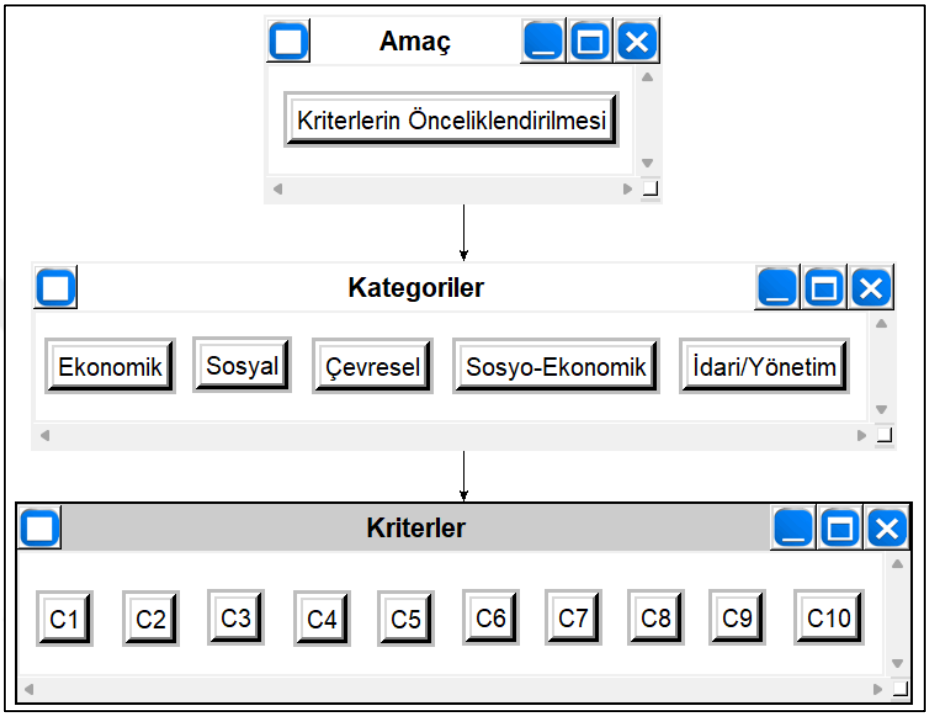
5.3 Kriterlerin AHP ile Ağırlıklandırılması

Çalışmanın ilk aşamasında, kriter ağırlıklarının hesaplanması için AHP yöntemine uygun model oluşturulmuştur. Daha sonra karar vericiler tarafından belirtilen kriterlerin ikili karşılaştırma verileri, kriter ağırlıklarının hesaplanması amacıyla Super Decisions programına girişleri yapılmıştır. Devamında Super Decisions programının uygulanması ve problemin çözümüne ilişkin aşamalar sırasıyla aktarılmıştır. Üç aşamada gerçekleştirilen AHP'ye göre ağırlıklandırmada ilk aşamada hiyerarşik yapı oluşturularak amaç, kategoriler ve kriterler kümeleri arasında ilişkilendirmeler yapılmaktadır. İkinci aşamada yapılan ilişkilendirmeler doğrultusunda oluşan ikili karşılaştırma için puanlandırma çizelgeleri doldurulmaktadır. Üçüncü aşamada ise kriterlerin ağırlık katsayıları elde edilip tutarlılık analizi yapılmaktadır.

AHP ile ağırlık katsayısı belirlemede öncelikle ekonomik, çevresel, sosyal, idari-yönetim ve sosyo-ekonomik kategoriler için ikili karşılaştırma matrisleri kurulmuş ve kategorilerin ağırlık katsayıları belirlenmiştir. Daha sonra her bir kategori altında bulunan kriterler kendi aralarında kıyaslanmıştır. Buna göre Ekonomik kategoride bulunan C1,C2, C3, C9 ve C10 kriterleri İdare-Yönetim kategorisinde bulunan C6 ve C7 kriterleri için ikili karşılaştırma matrisleri kurulmuştur. Çevresel kategoride C5, Sosyo-Ekonomik kategoride C8 ve Sosyal kategoride C4 kriterleri tek olarak bulunduğu için bu kriterlerin ağırlıkları 1 alınmakta ve kategori ağırlığı ile çarpılarak toplam ağırlıkları elde edilmektedir.

Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

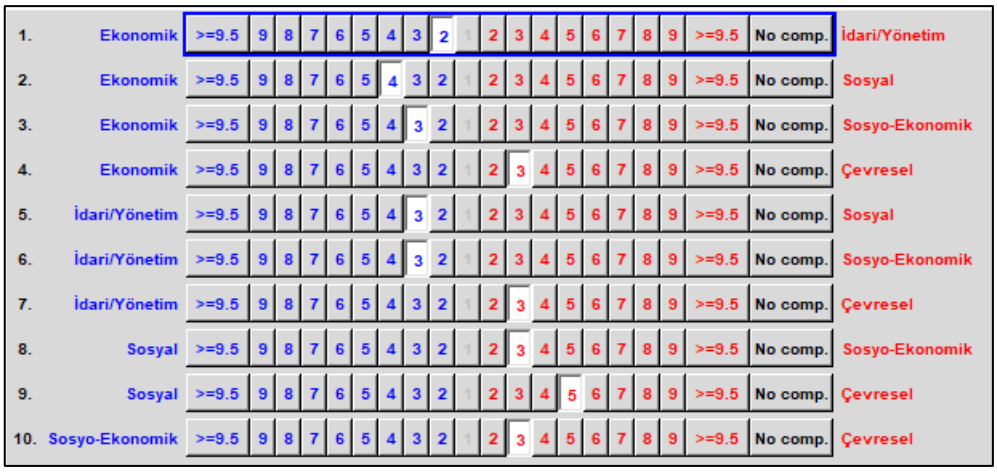
Karar verme sürecinin daha etkin bir şekilde yönetilebilmesi için bu işlem adımında problemin hedefi alt sistemlere bölünmüştür. Şekil 5.3'te oluşturulan hiyerarşik yapıda kriterlerin önceliklendirilmesi olan nihai hedef hiyerarşinin en üst seviyesinde yer almaktadır. Bir alt seviyede de hedefi etkileyen kriterlerin kategorileri ve kriterler yer almaktadır.



Şekil 5.3: AHP ile karar verme süreci hiyerarşik yapısı.

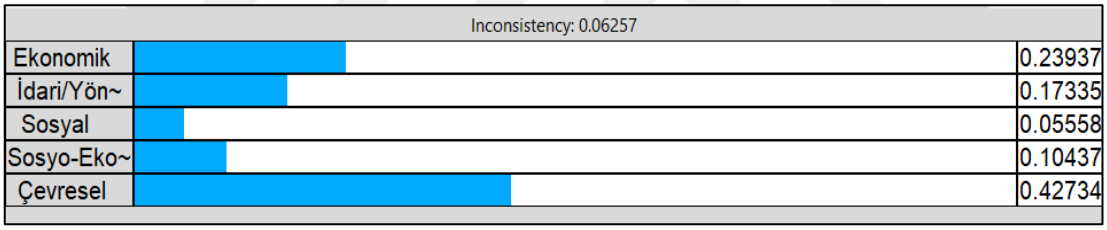
İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması

AHP'de karar hiyerarşisinin oluşturulmasının ardından kriterlerin birbirleri üzerindeki önem derecelerinin elde edilebilmesi için ikili karar matrisleri oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan kriterlerin önem değerleri hazırlanan kriter değerlendirme formlarında yedi karar verici uzmanın puanlandırmalarıyla elde edilmiştir. Karar vericiler tarafından yapılan puanlandırmalar Şekil 5.4'te görüldüğü gibi Super Decisions paket programına işlenmiştir. Bu işlem adımı ile idari kayıp ve faturalandırılmamış yasal kullanımların yönetimi için belirlenen bileşenlerin değerlendirilmesinde kullanılacak olan kriterlerin birbirlerine göre ağırlıkları belirlenmiştir.

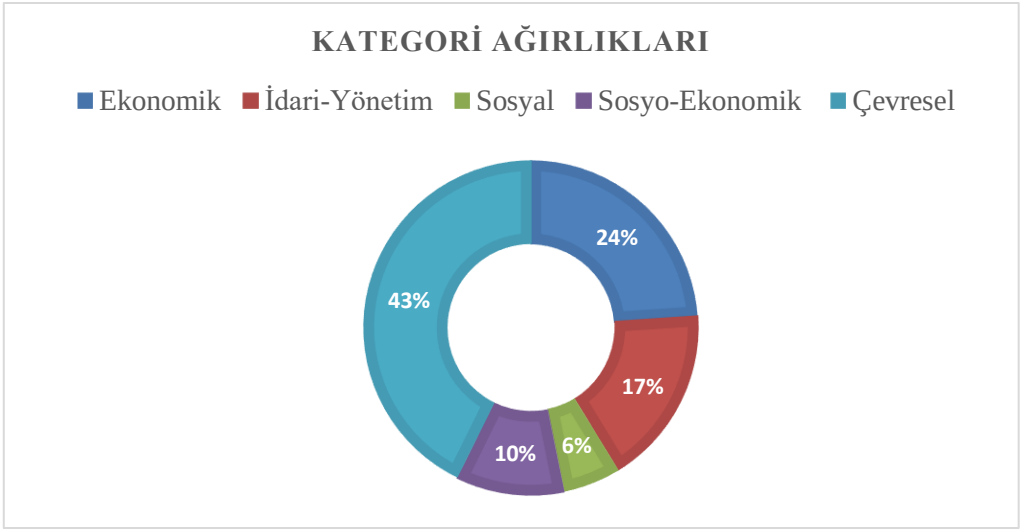


Şekil 5.4: AHP ile karar sürecinde ikili karşılaştırma matrisleri ve puanlandırılması.

Şekil 5.5'te verilen kriterlerin ikili karşılaştırma sonuçlarının Çizelge 3.1'de yer alan Saaty puanlandırma ölçeğine göre üstünlük durumları değerlendirilmiştir. Buna göre, Ekonomik kategorisine bağlı kriterlerin Sosyo-Ekonomik kategorisine bağlı kriterlere göre orta derece önemli olduğu, Çevresel kategorisine bağlı kriterlerin Sosyal kategorisine bağlı kriterlere göre yüksek derece öneme sahip olduğu gözlemlenir (Şekil 5.5 ve Şekil 5.6).

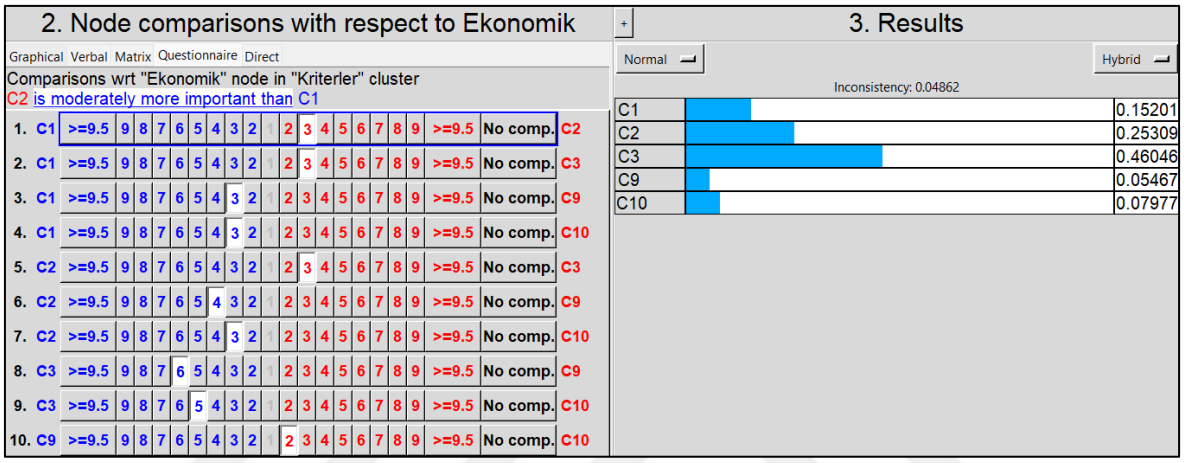


Şekil 5.5: Kategorilerin AHP ile elde edilen ağırlık katsayıları.



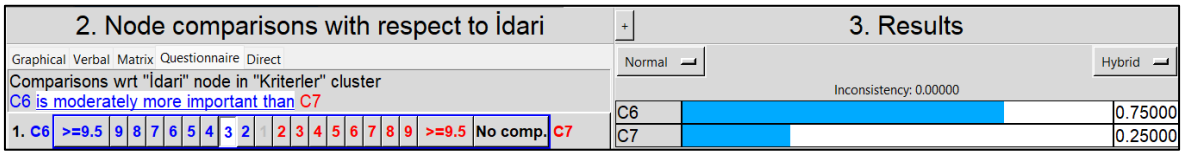
Şekil 5.6: Kategorilerin AHP ile elde edilen ağırlık oranları grafiği.

Yapılan puanlandırmalara göre Super Decisions paket programında kriter ve kategorilerin birbirlerine göre üstünlükleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde 0.42734 ile Çevresel, 0.23937 ile Ekonomik ve 0.17335 ile İdari-Yönetim kategorilerinin en yüksek puanları aldığı 0.10437 ile Sosyo-Ekonomik ve 0.05558 ile Sosyal kategorilerin ise düşük puanları aldığı görülmektedir. Kategori ağırlıkları belirlendikten sonra Ekonomik ve İdari-Yönetim kategorilerindeki kriterler için ikili karşılaştırmalar kurulmuş ve yapılan puanlamalar Şekil 5.7 ve 5.8'de sunulmuştur.



Şekil 5.7: Ekonomik kriterleri için AHP ikili karşılaştırmaları.

Karar vericiler tarafından yapılan ekonomik kategorisi altındaki kriterlerin birbirlerine göre kıyaslama puanlandırmaları programa işlenmiştir. Girilen puanlandırmalara göre ekonomik kategorisi içindeki C1, C2, C3, C9, C10 kriterleri kendi aralarında karşılaştırarak kriterlerin kategori içerisindeki üstünlükleri belirlenmiştir ve Şekil 5.7'de verilmiştir.



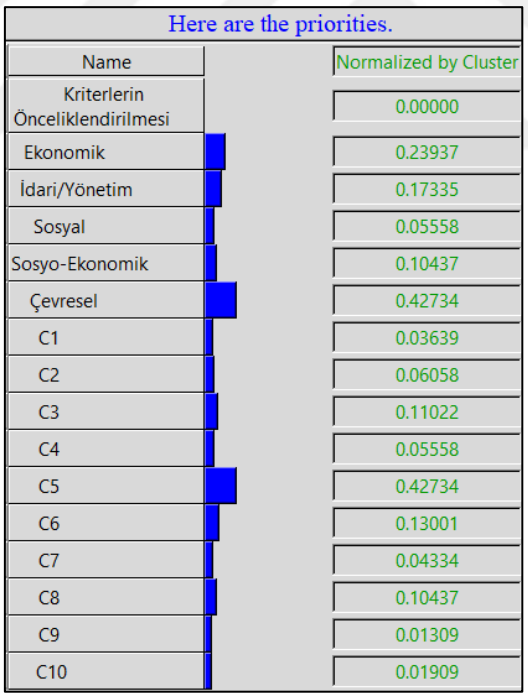
Şekil 5.8: İdari-Yönetim kriterleri için AHP ikili karşılaştırmaları.

Ekonomik kategorisinde gerçekleştirilen karşılaştırma işlemleri İdari-Yönetim kategorisi içindeki C6 ve C7 kriterleri için de uygulanmıştır. İdari-Yönetim kategorisi içindeki kriterlerin birbirlerine göre olan üstünlükleri Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Sosyal kategoride C4, Çevresel kategoride C5 ve Sosyo-Ekonomik kategoride C8 kriterleri bulundukları kategori içerisinde tek kriter olarak bulunmaktadır. Bir kriterin kendisine göre üstünlüğü olamayacağı için bu kriterlerde herhangi bir ikili karşılaştırma yapılamamaktadır

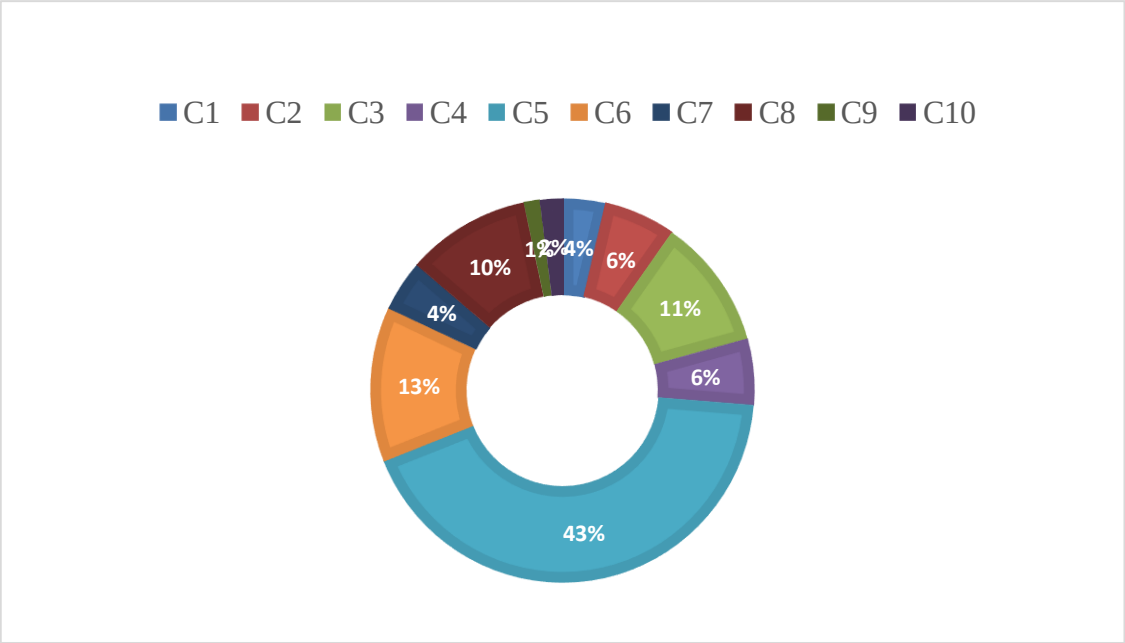
ve ağırlıkları 1 alınmaktadır. Program Çizelge 5.4'te detaylandırıldığı gibi kategori içindeki kriterlerin ağırlıkları ile kategori ağırlıklarını çarparak kriterlerin karar sürecindeki genel ağırlıklarını hesaplamıştır. Hesaplanan kriter ağırlıkları Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da yer almaktadır.

Çizelge 5.4: AHP kriter ağırlıkları.

Kriterler	Kategori Ağırlığı	Kriter Ağırlığı	(Kategori Ağırlığı)x(Kriter Ağırlığı)
C1	0.23937	0.152011	(0.23937 x 0.15201) = **0.03639**
C2	0.23937	0.25309	(0.23937 x 0.25309) = **0.06058**
C3	0.23937	0.46046	(0.23937 x 0.46046) = **0.11022**
C4	0.05558	1	(0.05558 x 1) = **0.05558**
C5	0.42734	1	(0.42734 x 1) = **0.42734**
C6	0.17335	0.75000	(0.17335 x 0.75000) = **0.13001**
C7	0.17335	0.25000	(0.17335 x 0.25000) = **0.04334**
C8	0.10437	1	(0.10437 x 1) = **0.10437**
C9	0.23937	0.05466	(0.23937 x 0.05466) = **0.01309**
C10	0.23937	0.07977	(0.23937 x 0.07977) = **0.01909**



Şekil 5.9: Kriterlerin ağırlık katsayıları.



Şekil 5.10: Kriterlerin AHP ile elde edilen ağırlık oranları grafiği.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en önemli kriterlerin sırasıyla %43 katsayı ile Suyun Korunması (C5), %13 ile Verimlilik (C6), %11 ile İşletme Maliyeti (C3), %10 ile Ödeyebilirlik (C8) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu kriterleri %6 ile İlk Yatırım Maliyeti (C2) ve Sosyal Etki (C4), %4 ile Gelir Artırımı (C1) ve Yöntem Uygulanabilirliği (C7), %2 ile Faydalı Ömür Süresi (C10), %1 ile Gelir Kaybı Riski (C9) kriterleri takip etmektedir.

Tutarlılık Oranının Hesaplanması

Kategorilerin ikili karşılaştırmalarının tamamlanmasıyla birlikte tutarlılık analizi aşamasına geçilir. Kategori ağırlıklarının yer aldığı Şekil 5.5'de karşılaştırmaların tutarlılık oranının (CR) 0.06257 olduğu ve bu değerin 0 ile 0.1 aralığında olması sebebiyle tutarlılığın sağlandığı görülmektedir.

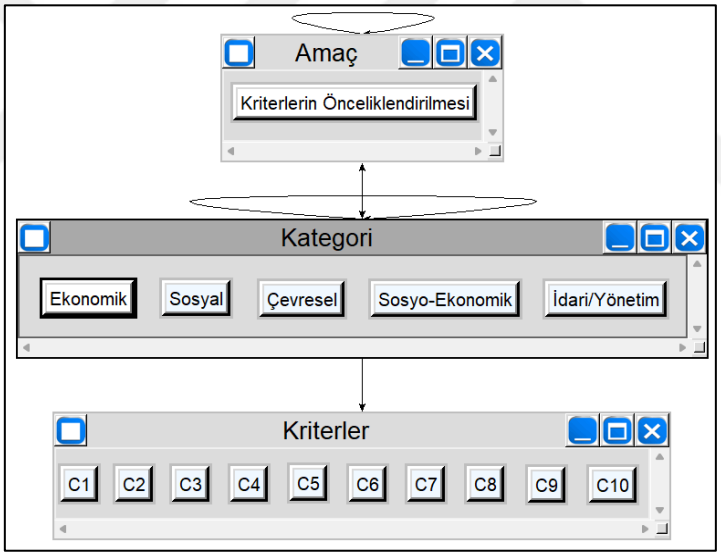
5.4 Kriterlerin ANP ile Ağırlıklandırılması

Çalışmanın ikinci aşaması olan kriterlerin ANP ile ağırlıklandırılmasında sadece belirli bir kategorinin içerisinde yer alan kriterler değil, birbiri ile ilişkisi bulunan kategorilerde yer alan tüm kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapılmaktadır. Uzman görüşlerine göre Ekonomik kategori Ekonomik ve Sosyo-Ekonomik kategori ile, Sosyal kategori Sosyal ve Sosyo-Ekonomik kategoriler ile ilişkili bulunmuştur. Ayrıca Çevresel kategori Çevresel, Sosyal ve İdari-Yönetim kategorileri ile, Sosyo-Ekonomik kategori Ekonomik ve Sosyo-Ekonomik kategoriler ile ve İdari-Yönetim kategorisi ise tüm kategoriler ile ilişkili bulunmuştur. Buna göre AHP yönteminde Ekonomik kategoride

sadece C1, C2, C3, C9 ve C10 kriterleri kıyaslanırken ANP yönteminde Sosyo-Ekonomik bir kriter olan C8 kriteri de bu grupta kıyaslanmıştır. AHP yönteminde İdari-Yönetim kategorisinde sadece C6 ve C7 kriterleri kıyaslanırken ANP yönteminde C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10 kriterleri de bu grupta kıyaslanmıştır. ANP ile karar süreci hiyerarşik yapısı Şekil 5.11'de sunulmuştur. Benzer şekilde AHP ve ANP de yapılan ikili karşılaştırma matris elemanları Çizelge 5.5'te verilmiştir.

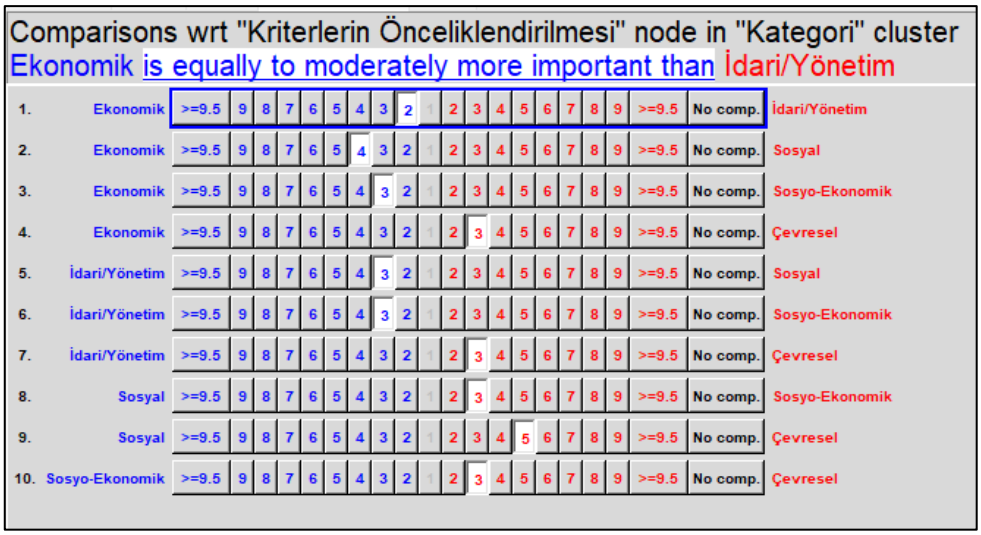
Çizelge 5.5: AHP ve ANP'de oluşturulan ikili karşılaştırma matris grupları.

Kategori	Kıyaslanan Kriterler (ANP)	Kıyaslanan Kriterler (AHP)
Ekonomik	C1, C2, C3, C9, C10, C8	C1, C2, C3, C9, C10
Sosyal	C4, C8	C4
Çevresel	C5, C8, C6, C7	C5
Sosyo-Ekonomik	C8, C1, C2, C3, C9, C10	C8
İdari-Yönetim	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10	C6, C7



Şekil 5.11: ANP ile karar verme süreci hiyerarşik yapısı.

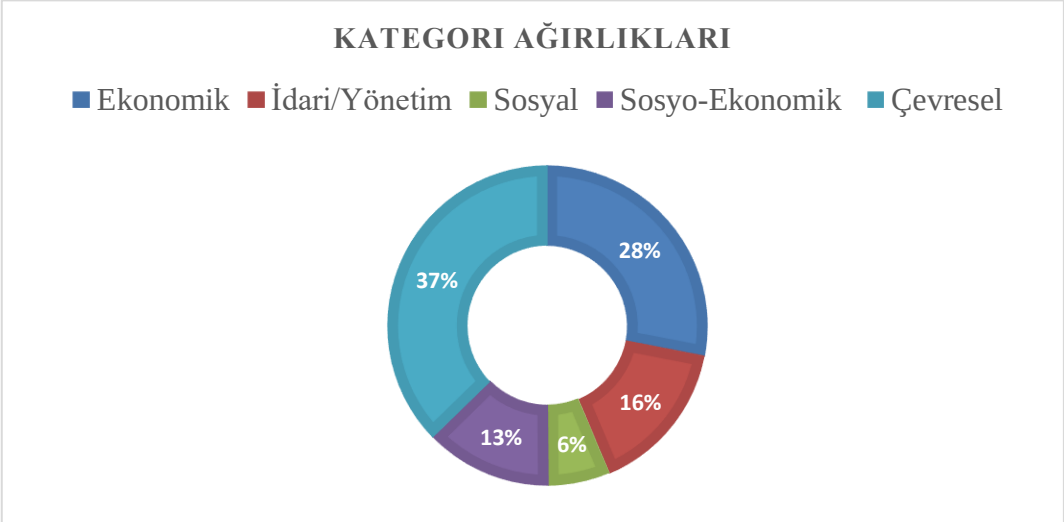
Karar vericiler tarafından yapılan puanlandırmalar Şekil 5.12'de görüldüğü gibi Super Decisions paket programına işlenmiştir. Kategorilerin ağırlıkları Şekil 5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.12: ANP ile karar sürecinde ikili karşılaştırma matrisleri ve puanlandırılması.

Inconsistency: 0.06257		
Ekonomik		0.28039
İdari/Yönetim		0.15597
Sosyal		0.06243
Sosyo-Ekonomik		0.12840
Çevresel		0.37280

Şekil 5.13: Kategorilerin ANP ile elde edilen ağırlık katsayıları.



Şekil 5.14: Kategorilerin ANP ile elde edilen ağırlık oranları grafiği.

Karar vericiler tarafından yapılan puanlandırmalara göre Super Decisions paket programında ANP yöntemine göre kategorilerin birbirlerine göre üstünlükleri Şekil 5.13'te

görüldüğü gibi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en yüksek puanları 0.37280 ile Çevresel, 0.28039 ile Ekonomik ve 0.15597 ile İdari/Yönetim kategorilerinin aldığı ve 0.12840 ile Sosyo-Ekonomik ve 0.06243 ile Sosyal kategorilerinin de takip ettiği görülmektedir. Şekil 5.14'te kategorilerin ağırlık oranları grafiği sunulmuştur.

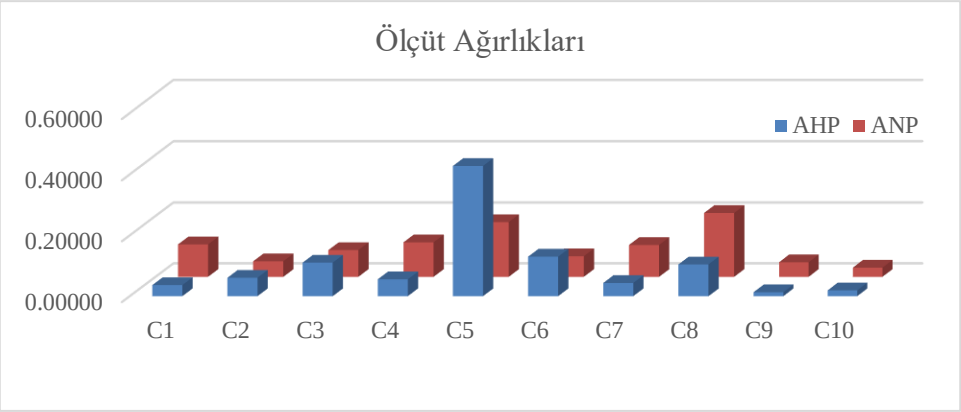
AHP yöntemi ile elde edilen kriter ve kategori ağırlıkları Çizelge 5.6'da ve Şekil 5.15'te yer almaktadır. ANP ile elde edilen kriter ve kategori ağırlıkları da Çizelge 5.7'de ve Şekil 5.15'te yer almaktadır.

Çizelge 5.6: AHP yöntemi ile elde edilen kategori ve kriter ağırlıkları.

AHP Ağırlık Katsayıları						
Kategoriler	*Ağırlık*	*CR*	*Kriterler*	*Ağırlık*	*CR*	*Bütünleşik Ağırlık*
Ekonomik	0.23937	0.06257	C1	0.15201	0.04862	0.03639
			C2	0.25309		0.06058
			C3	0.46046		0.11022
			C9	0.05467		0.01309
			C10	0.07977		0.01909
İdari /Yönetim	0.17335		C6	0.75	0	0.13001
			C7	0.25		0.04334
Çevresel	0.42734		C5	1	0	0.42734
Sosyo-Ekonomik	0.10437		C8	1	0	0.10437
Sosyal	0.05558		C4	1	0	0.05558

Çizelge 5.7: ANP yöntemi ile elde edilen kategori ve kriter ağırlıkları.

ANP Ağırlık Katsayıları					
Kategoriler	*Ağırlık*	*CR*	*Kriterler*	*Normalized by Cluster*	*Limiting*
Ekonomik	0.28039	0.06257	C1	0.10670	0.01778
			C2	0.05121	0.00854
			C3	0.08805	0.01468
			C9	0.04799	0.008
			C10	0.03033	0.00506
İdari /Yönetim	0.15597		C6	0.06775	0.01129
			C7	0.10469	0.01745
Çevresel	0.37280		C5	0.17991	0.02999
Sosyo-Ekonomik	0.12840		C8	0.21002	0.03500
Sosyal	0.06243		C4	0.11336	0.01889



Şekil 5.15: AHP ve ANP ile elde edilen kriter ağırlıkları.

AHP yönteminde ağırlığı en yüksek ilk 5 kriter sırasıyla C5, C6, C3, C8 ve C2 iken ANP yönteminde ise C8, C5, C4, C1 ve C7 şeklindedir. Her iki yöntemle belirlenen kriter ağırlıkları arasındaki farklılıklar AHP'deki puan dalgalanmaları AHP'de sadece kategori içerisinde bulunan kriterlerin ikili kıyaslamasının yapılması ve bir kategoride bulunan kriterin başka kategorilerde bulunan kriterlerle olan ilişki durumlarını göz ardı edilerek basit hesaplama yapmasından kaynaklanmaktadır. Kategorilerin ikili karşılaştırmalarının tamamlanmasıyla birlikte elde edilen sonuçların tutarlılığının tayin edilebilmesi için tutarlılık analizinin yapılması gereklidir. Super Decisions programında kategori ağırlıklarının yer aldığı Şekil 5.5 ve Şekil 5.13'te karşılaştırmaların tutarlılık oranının (CR) 0.06257 olduğu ve bu değerin 0 ile 0.1 aralığında olması sebebiyle tutarlılığın sağlandığı görülmektedir.

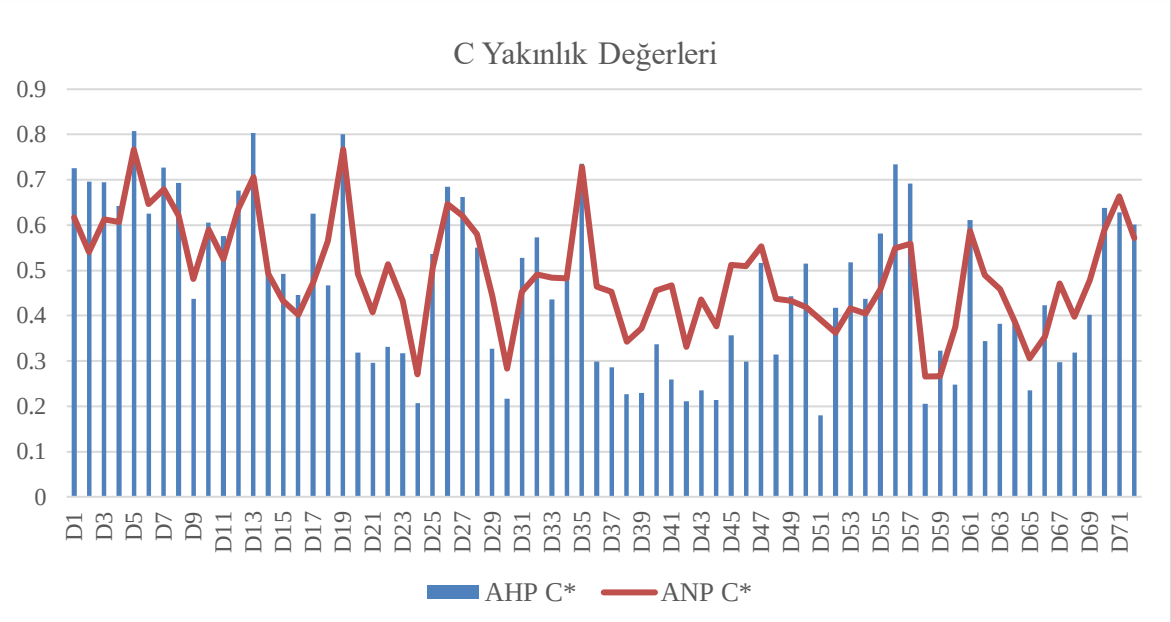
5.5 Bileşenlerin TOPSIS Yöntemi ile Önceliklendirilmesi

Çalışmada belirlenen 72 bileşen idari kayıp yönetimi için İdare Yönetim, Su Dengesi Bileşenleri, İdari Kayıp Yönetimi, Ekonomik Analiz, Performans İzleme ve Veri Yönetim ana başlıkları altında gruplandırılmıştır. Bu bileşenler idarelerde temin ve dağıtım sistemlerindeki idari kayıpları azaltma ve kontrol altında tutmaları açısından yol gösterici olan 10 kritere göre uzmanlar tarafından puanlandırılmıştır. Her uzman tarafından yapılan puanlandırmaların geometrik ortalamaları alınarak 72 satır ve 10 sütundan oluşan TOPSIS karar matrisi elde edilmiştir. Karar matrisi normalize edilmiş ve ağırlıklandırılmıştır. Bu aşamada, çalışma kapsamında iki farklı ağırlık katsayısı belirleme yöntemi kullanıldığı için AHP-TOPSIS ve ANP-TOPSIS olmak üzere iki sıralama elde edilmiştir. Çizelge 5.8'de ağırlıklandırılmış normalize matrislerden elde edilen pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerleri sunulmuştur.

Çizelge 5.8: Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerleri.

Kriterler	Tercih	AHP V+	AHP V-	ANP V+	ANP V-
C1	Maksimum	0.00528	0.00219	0.01548	0.00642
C2	Minimum	0.01187	0.00208	0.01003	0.00176
C3	Minimum	0.02085	0.00483	0.01665	0.00386
C4	Minimum	0.00899	0.00224	0.01834	0.00458
C5	Maksimum	0.07588	0.02721	0.03194	0.01145
C6	Maksimum	0.02044	0.00900	0.01065	0.00469
C7	Maksimum	0.00805	0.00288	0.01943	0.00696
C8	Maksimum	0.01647	0.00658	0.03314	0.01324
C9	Minimum	0.00212	0.00086	0.00778	0.00314
C10	Maksimum	0.00284	0.00128	0.00451	0.00203

Kriterlerin tercih eğilimleri doğrultusunda ideal çözümler oluşturulmaktadır. C2, C3, C4 ve C9 ölçütlerinin tercih eğilimi minimum olduğu için bu ölçütlerin negatif ideal değerleri, C1, C5, C6, C7, C8 ve C10 ölçütlerinin tercih eğilimi maksimum olduğu için bu ölçütlerin pozitif ideal değerleri ideal çözümleri oluşturmaktadır. Buna göre C1 ölçütü için ideal çözüm değeri AHP'de 0.00528 ve ANP'de 0. 01548 iken C2 ölçütü için ideal çözüm değeri AHP'de 0.00208 ve ANP'de 0.00176'dır. Değerlendirme ölçütlerinin ideal çözüm değerleri belirlendikten sonra Öklit yaklaşımı ile sızıntı yönetimi bileşenlerinin ideal çözüm değerlerine yakınlık ve uzaklık mesafeleri hesaplanmıştır (Şekil 5.16).



Şekil 5.16: C yakınlık değerleri.

Her iki ağırlıklandırma yöntemine göre 72 bileşenin TOPSIS öncelik sıralamaları incelendiğinde ilk 18 sırada aynı 14 bileşenin yer aldığı, yakınlık puanlarında değişiklikler olduğu görülmektedir. Çizelge 5.9'da yakınlık değerleri verilmiştir.

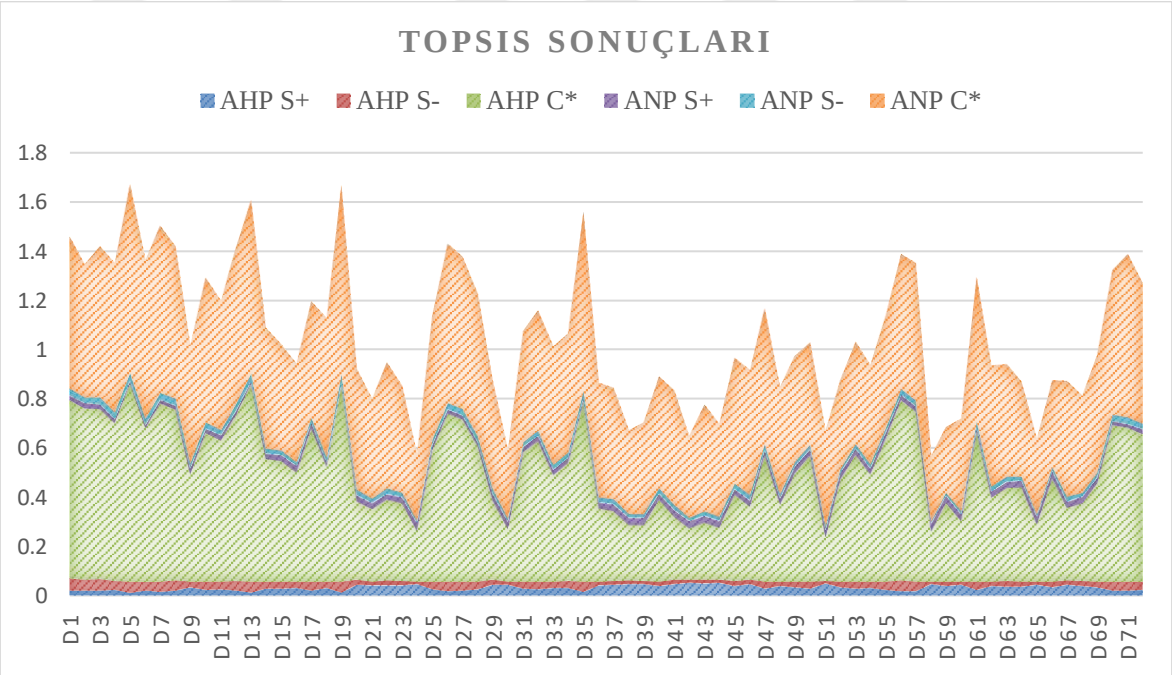
Çizelge 5.9: Öncelik sıralaması yakınlık değerleri.

AHP+TOPSIS			ANP+TOPSIS		
No	Sıralama	C Değeri	No	Sıralama	C Değeri
1	D5	0.80800	1	D19	0.76707
2	D13	0.80396	2	D5	0.76675
3	D19	0.80082	3	D35	0.72857
4	D35	0.73521	4	D13	0.70597
5	D56	0.73352	5	D7	0.67915
6	D7	0.72637	6	D71	0.66336
7	D1	0.72554	7	D26	0.64709
8	D2	0.69621	8	D6	0.64649
9	D3	0.69432	9	D12	0.63445
10	D8	0.69349	10	D8	0.62039
11	D57	0.69124	11	D27	0.62029
12	D26	0.68460	12	D1	0.61693
13	D12	0.67582	13	D3	0.61227
14	D27	0.66163	14	D4	0.60728
15	D4	0.64196	15	D10	0.58953
16	D70	0.63834	16	D70	0.58947
17	D71	0.62832	17	D61	0.58671
18	D17	0.62573	18	D28	0.58024
19	D6	0.625339	19	D72	0.571948
20	D61	0.610928	20	D18	0.564305
21	D10	0.604812	21	D57	0.558131
22	D72	0.601077	22	D47	0.552726
23	D55	0.581677	23	D56	0.549463
24	D11	0.576084	24	D2	0.540971
25	D32	0.572489	25	D11	0.524369
26	D28	0.55023	26	D22	0.51321
27	D25	0.536818	27	D45	0.512629
28	D31	0.527445	28	D46	0.50912
29	D53	0.517582	29	D25	0.506893
30	D47	0.515777	30	D20	0.492261
31	D50	0.514694	31	D14	0.491994
32	D14	0.500852	32	D32	0.490784

Çizelge 5.9: Öncelik sıralaması yakınlık değerleri (devamı).

AHP+TOPSIS			ANP+TOPSIS		
No	Sıralama	C Değeri	No	Sıralama	C Değeri
33	D15	0.492561	33	D62	0.490056
34	D34	0.481009	34	D33	0.483277
35	D18	0.466728	35	D34	0.48299
36	D16	0.446217	36	D9	0.480591
37	D49	0.442763	37	D69	0.47865
38	D9	0.437421	38	D17	0.472461
39	D54	0.43685	39	D67	0.470599
40	D33	0.435989	40	D41	0.467442
41	D66	0.422409	41	D36	0.464491
42	D52	0.417775	42	D55	0.458592
43	D69	0.401298	43	D63	0.457996
44	D64	0.386348	44	D40	0.455542
45	D63	0.381579	45	D37	0.453085
46	D45	0.355979	46	D31	0.45236
47	D62	0.34343	47	D29	0.443543
48	D40	0.336283	48	D48	0.436875
49	D22	0.331658	49	D43	0.435755
50	D29	0.326418	50	D23	0.433064
51	D59	0.322492	51	D49	0.432914
52	D20	0.318777	52	D15	0.432516
53	D68	0.318529	53	D50	0.418404
54	D23	0.316862	54	D53	0.416596
55	D48	0.313511	55	D21	0.407728
56	D46	0.29917	56	D54	0.405303
57	D36	0.298479	57	D16	0.402073
58	D67	0.297897	58	D68	0.396999
59	D21	0.295893	59	D51	0.389886
60	D37	0.285996	60	D64	0.38669
61	D41	0.259244	61	D44	0.377036
62	D60	0.248133	62	D60	0.375097
63	D43	0.235541	63	D39	0.372579
64	D65	0.234826	64	D52	0.36249
65	D39	0.229621	65	D66	0.353537
66	D38	0.226888	66	D38	0.342435
67	D30	0.216611	67	D42	0.330898
68	D44	0.213351	68	D65	0.305441
69	D42	0.211097	69	D30	0.283391
70	D24	0.206865	70	D24	0.270342
71	D58	0.205969	71	D59	0.266372
72	D51	0.179205	72	D58	0.265653

AHP yöntemi ile hesaplanan ağırlık katsayıları dikkate alınarak elde edilen sıralamada öncelikli ilk 5 değişken sırasıyla, D5 “Su Kayıp Yönetimi için Birim ve Ekip Yeterliliği”, D13 “Su Dengesi için İdari Kayıp Bileşenlerinin Sistematik Ölçülmesi” ve D19 “Kaçak Kullanımdan Kaynaklı Kayıplar”, D35 “Kaçak Bağlantılar ile Mücadele için Denetim Politikası”, D36 “Ücretini Ödemeyen Aboneler için İzleme ve Kesme Stratejisi” şeklindedir. Benzer şekilde ANP yöntemi ile hesaplanan ağırlık katsayıları dikkate alınarak elde edilen sıralamada, öncelikli ilk 5 değişken sırasıyla, D19 “Kaçak Kullanımdan Kaynaklı Kayıplar”, D5 “Su Kayıp Yönetimi için Birim ve Ekip Yeterliliği” ve D35 “Kaçak Bağlantılar ile Mücadele için Denetim Politikası”, D13 “Su Dengesi için İdari Kayıp Bileşenlerinin Sistematik Ölçülmesi” ve D7 “Su Kayıp Yönetimi Personelinin Teknik Yetenek Seviyesi” şeklindedir.



Şekil 5.17: AHP ve ANP yöntemlerine göre hesaplanan ideal çözüme yakınlık değerlerinin değişimi.

Şekil 5.17’de AHP ve ANP yöntemlerine göre elde edilen pozitif ve negatif ideal noktalara olan uzaklık değerleri (S+, S-) ve ideal çözüme yakınlık değerlerinin (C*) değişim şekli verilmiştir. TOPSIS öncelik sıralaması için ideal çözüme yakınlık değerleri incelendiğinde ANP yöntemine göre kriterler arası bağımlılıklar ve geri beslemeler hesaba katılması kaynaklı bileşenleri daha iyi ayrıştırabildiğini, AHP yöntemine göre ise daha dengeli fakat ayırt etme gücü ANP'ye göre nispeten daha düşük bir dağılım gösterdiği görülmektedir.

5.6 Bayes Ağları

Temeli Bayes teroremine dayanan Bayes ağları gibi olasılıksal grafik modeller belirsizlik altında karar verebilmek için sıklıkla kullanılan etkili modellerdir. Bileşen sayısının fazla olduğu bir bayes modelinin oluşturulması oldukça emek ve zaman gerektiren bir süreçtir. Çalışmanın bu aşamasında, belirsizlik altında karar verebilmek ve olasılıksal analiz ile idari kayıp bileşenleri arasında risk hesaplayabilmek için Bayes Teoremi uygulanmıştır. Çalışma, yaygın olarak kullanılan Hugin Lite (9.4 version) paket programından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Bayes ağlarını oluşturma süreci kapsamlı ve güvenilir bir modelin oluşturulmasına katkıda bulunan üç temel aşamayla gerçekleştirilir. İlk aşama, literatür araştırması ve uzman görüşleri sonucunda belirlenen idari kayıpların yönetim sürecinde etkili olan bileşenlerin ana ve alt bileşenler şeklinde sınıflandırılmasıyla oluşturulur. Akabinde, belirlenen bileşenlere göre Hugin Lite paket programında Bayes ağ modeli oluşturulur. Karar verici uzmanlardan alınan anket puanlandırmaları koşullu olasılık değerleri programa girilir ve bileşenlerin olasılık değerleri elde edilir. Elde edilen sonuçlar duyarlılık analizi ile değerlendirilir. Bu süreçler Bayes ağı (BBN) modelinin ana yapısını oluşturmaktadır.

5.6.1 Bayes bileşenlerinin belirlenmesi

Bayes ağlarının modellenmesinde ilk aşama olasılıksal analiz ile risk hesaplanabilmesi için karar sürecinde etkili olan bileşenlerin belirlenmesidir. Literatür araştırması ve uzman görüşleri sonucunda idari su kayıplarının yönetim sürecini etkileyen 4 ana bileşen ve 22 alt bileşen belirlenmiştir (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.10: İdari kayıp yönetimi Bayes ağı bileşenleri.

Ana Bileşenler	Alt Bileşenler
Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM)	Abone Yönetim Sisteminin Yetersiz Olması (ISMS)
	Abone Sayısının Güncel Olmaması (SCNU)
	Tahakkuk ve Faturalama Sisteminin Yetersiz Olması (IBIS)
	Ücretini Ödemeyen Abonelerin İzlenmemesi veya Yetersiz Olması (UTNS)
	Abone Sayaç Okuma Verimliliğinin Yetersiz Olması (MREE)
	Sistem Giriş Debisinin Düzenli Ölçülmemesi veya Hatalı Ölçülmesi (IMSI)
Sayaç Yönetimi (MM)	Sayaç Yaşı Veri Tabanının Güncel Olmaması (OMAD)
	Ortalama Sayaç Yaşının Yüksek Olması (HAMA)
	Sayaç Hata Oranlarının Belirlenmemesi veya İzlenmemesi (UMER)
	Abone Sayaç Hatasından Kaynaklanan Kayıpların Yüksek Olması (HLME)

Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU)	Değiştirilmesi Gereken Sayaç Sayısının (>10 yaş) Fazla Olması (HNMR) Hassasiyeti Yüksek Olan Sayaçların Kullanılmaması veya Oranının Düşük Olması (LHSM) Yasal Faturalandırılmamış Kullanıcıların Bilgilerinin ve Kullanım Oranlarının Bilinmemesi veya Bilginin Eksik Olması (IDLU) Yasal Faturalandırılmamış Kullanımların Ölçüm Oranının Düşük Olması (LMUL) Yasal Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanımların Fazla Olması (HMUL) Yasal Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanılmaların Fazla Olması (HUUL) Yasal Faturalandırılmamış Kullanımların Azaltılması için Programının Oluşturulmaması (LPRU)
Kaçak Kullanım (IU)	Kaçak Bağlantı Denetiminin Yapılmaması veya Yetersiz Yapılması (NICI) Yüksek Tüketimli Aboneler için Kaçak Kullanım Denetimlerinin Yetersiz Olması (IIHC) Kaçak Kullanımdan Kaynaklı Kayıpların Fazla Olması (HLIU) Yangın Musluklarında Kaçak Su Kullanımlarının İzlenmemesi (IUHF) Okullarda ve Kamu Binalarında Sayaçların Kontrol Edilmemesi ya da Yetersiz Olması (NMSP)

Ana ve alt bileşenler arasındaki ilişkilerin değerlendirilebilmesi için karar vericilere 100 üzerinden puanlandırma yaptırılmıştır (Çizelge 5.11). Yapılan puanlandırmada idari kayıplar için en önemli görülen bileşenlere daha düşük puan verilmesi gerekirken daha az önemli olan bir bileşene daha yüksek puan verilmesi gerekmektedir.

Bu durum bir örnek ile açıklanacak olursa, DMM bileşeninin %90 yetersiz olması idari kayıplar için çok büyük bir risk oluştururken MM bileşeninin %50 yetersiz olması idari kayıplar üzerinde çok büyük bir risk oluşturabilir. Bu nedenle idarikKayıplar için en önemli görülen bileşene daha düşük puan verilmesi gerekmektedir.

Çizelge 5.11: Karar vericilere sunulan puanlandırma formları.

	Ana Bileşenler	Soru	Puan
İdari Kayıplar	Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM)	Güncel bir abone yönetim sisteminin olmaması ya da sisteme verilen su miktarının doğru tespit edilememesi durumları 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa İdari Kayıplar için büyük risk oluşturur?	
	Sayaç Yönetimi (MM)	Sayaç yönetim sürecinin etkili bir şekilde gerçekleştirilememesi durumları 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa İdari Kayıplar için büyük risk oluşturur?	
	Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU)	Faturalandırılmamış yasal kullanımların doğru bir şekilde ölçülememesi ya da uygun bir yönetim programının olmaması durumları 100 puan	

		üzerinden kaç puana ulaşırsa İdari Kayıplar için büyük risk oluşturur?
	Kaçak Kullanım (IU)	Kaçak kullanım oranlarının yüksek olması veya kaçak bağlantı tespit çalışmalarının yetersiz yapılması durumları 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa İdari Kayıplar için büyük risk oluşturur?

Çizelge 5.11: Karar vericilere sunulan puanlandırma formları (devamı).

	Alt Bileşenler	Soru	Puan
Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM)	Abone Yönetim Sisteminin Yetersiz Olması (ISMS)	Abone yönetim sisteminin yetersiz olması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa Veri Ölçüm ve Yönetimi için büyük risk oluşturur?	
	Abone Sayısının Güncel Olmaması (SCNU)	Abone sayısının güncel olmaması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa Veri Ölçüm ve Yönetimi için büyük risk oluşturur?	
	Tahakkuk ve Faturalama Sisteminin Yetersiz Olması (IBIS)	Tahakkuk ve faturalama sisteminin yetersiz olması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa Veri Ölçüm ve Yönetimi için büyük risk oluşturur?	
	Ücretini Ödemeyen Abonelerin İzlenmemesi veya Yetersiz Olması (UTNS)	Ücretini ödemeyen abonelerin izlenmemesi veya yetersiz olması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa Veri Ölçüm ve Yönetimi için büyük risk oluşturur?	
	Abone Sayaç Okuma Verimliliğinin Yetersiz Olması (MREE)	Abone sayaç okuma verimliliğinin yetersiz olması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa Veri Ölçüm ve Yönetimi için büyük risk oluşturur?	
	Sistem Giriş Debisinin Düzenli Ölçülmemesi veya Hatalı Ölçülmesi (IMSI)	Sistem giriş debisinin düzenli ölçülmemesi veya hatalı ölçülmesi 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa Veri Ölçüm ve Yönetimi için büyük risk oluşturur?	

Çizelge 5.11: Karar vericilere sunulan puanlandırma formları (devamı).

	Alt Bileşenler	Soru	Puan
Sayaç Yönetimi (MM)	Sayaç Yaşı Veri Tabanının Güncel Olmaması (OMAD)	Sayaç yaşı veri tabanının güncel olmaması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa Sayaç Yönetimi için risk oluşturur?	
	Ortalama Sayaç Yaşının Yüksek Olması (HAMA)	Ortalama sayaç yaşının yüksek olması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa Sayaç Yönetimi için risk oluşturur?	
	Sayaç Hata Oranlarının Belirlenmemesi veya İzlenmemesi (UMER)	Sayaç hata oranlarının izlenmemesi 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa Sayaç Yönetimi için risk oluşturur?	
	Abone Sayaç Hatasından Kaynaklanan Kayıpların Yüksek Olması (HLME)	Sayaç hatasından kaynaklanan kayıpların yüksek olması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa Sayaç Yönetimi için risk oluşturur?	
	Değiştirimesi Gereken Sayaç Sayısının (>10 yaş) Fazla Olması (HNMR)	10 yaşından büyük değiştirilmesi gereken sayaç sayısının fazla olması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa Sayaç Yönetimi için risk oluşturur?	

	Hassasiyeti Yüksek Olan Sayaçların Kullanılmaması veya Oranının Düşük Olması (LHSM)	Hassasiyeti yüksek olan sayaçların kullanılmaması veya oranının düşük olması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa Sayaç Yönetimi için risk oluşturur?	

Çizelge 5.11: Karar vericilere sunulan puanlandırma formları (devamı).

	Alt Bileşenler	Soru	Puan
Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU)	Yasal Faturalandırılmamış Kullanıcıların Bilgilerinin ve Kullanım Oranlarının Bilinmemesi veya Bilginin Eksik Olması (IDLU)	Yasal faturalandırılmamış kullanıcı bilgilerinin ve kullanımlarının bilinmemesi veya eksik olması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa bu bileşen için risk oluşturur?	
	Yasal Faturalandırılmamış Kullanımların Ölçüm Oranının Düşük Olması (LMUL)	Yasal faturalandırılmamış kullanımların ölçüm oranının düşük olması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa bu bileşen için risk oluşturur?	
	Yasal Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanımların Fazla Olması (HMUL)	Yasal faturalandırılmamış ölçülmüş kullanımların fazla olması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa bu bileşen için risk oluşturur?	
	Yasal Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanılmaların Fazla Olması (HUUL)	Yasal faturalandırılmamış ölçülmemiş kullanılmaların fazla olması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar için risk oluşturur?	
	Yasal Faturalandırılmamış Kullanımların Azaltılması için Programının Oluşturulmaması (LPRU)	Yasal faturalandırılmamış kullanımların azaltılması için programının oluşturulmaması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa bu bileşen için risk oluşturur?	

Çizelge 5.11: Karar vericilere sunulan puanlandırma formları (devamı).

	Alt Bileşenler	Soru	Puan
Kaçak Kullanım (IU)	Kaçak Bağlantı Denetiminin Yapılmaması veya Yetersiz Yapılması (NICI)	Kaçak bağlantı denetiminin yapılmaması veya yetersiz yapılması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa bu bileşen için risk oluşturur?	
	Yüksek Tüketimli Aboneler için Kaçak Kullanım Denetimlerinin Yetersiz Olması (IIHC)	Yüksek tüketimli aboneler için kaçak kullanım denetimlerinin yetersiz olması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa bu bileşen için risk oluşturur?	
	Kaçak Kullanımdan Kaynaklı Kayıpların Fazla Olması (HLIU)	Kaçak kullanımdan kaynaklı kayıpların fazla olması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa bu bileşen için risk oluşturur?	
	Yangın Musluklarında Kaçak Su Kullanımlarının İzlenmemesi (IUHF)	Yangın musluklarında kaçak su kullanımlarının izlenmemesi 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa bu bileşen için risk oluşturur?	

	Okullarda ve Kamu Binalarında Sayaçların Kontrol Edilmemesi ya da Yetersiz Olması (NMSP)	Okullarda ve kamu binalarında sayaçların kontrol edilmemesi ya da yetersiz olması 100 puan üzerinden kaç puana ulaşırsa bu bileşen için risk oluşturur?

Çizelge 5.12'de yer aldığı gibi karar vericilerin anketler üzerinde yapmış olduğu puanlandırmaların geometrik ortalaması alınarak bileşenlerin risk oranları elde edilmiştir.

Çizelge 5.12: Karar vericilerin puanlandırmalarının geometrik ortalaması.

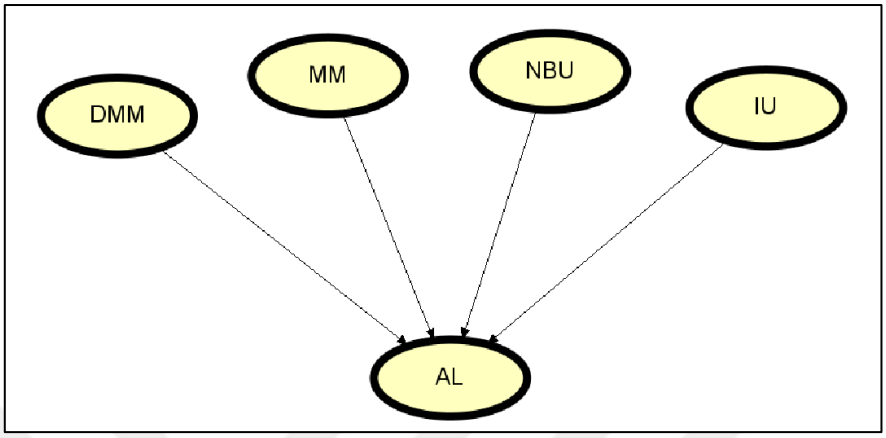
		Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 4	Uzman 5	Geo.ort	
							H	**L**
Ana Bileşen	**DMM**	90	80	90	100	90	**89.78**	**10.22**
	MM	95	90	80	90	90	**88.86**	**11.14**
	NBU	85	80	70	80	70	**76.76**	**23.24**
	IU	95	90	90	80	80	**86.79**	**13.21**
DMM	**ISMS**	90	80	80	100	90	**87.69**	**12.31**
	SCNU	80	80	95	100	70	**84.29**	**15.71**
	IBIS	90	60	100	100	80	**84.55**	**15.45**
	UTNS	80	80	95	100	80	**86.58**	**13.42**
	MREE	70	80	95	100	70	**82.07**	**17.93**
	IMSI	95	90	90	100	90	**92.92**	**7.08**
MM	**OMAD**	80	90	60	90	60	**74.74**	**25.26**
	HAMA	95	90	80	90	70	**84.50**	**15.50**
	UMER	85	85	70	90	75	**80.66**	**19.34**
	HLME	95	90	70	80	90	**84.50**	**15.50**
	HNMR	95	80	80	80	75	**81.74**	**18.26**
	LHSM	85	90	60	80	90	**80.14**	**19.86**
NBU	**IDLU**	90	75	60	90	80	**78.16**	**21.84**
	LMUL	90	85	70	90	75	**81.59**	**18.41**
	HMUL	80	80	70	90	85	**80.72**	**19.28**
	HUUL	85	80	80	100	85	**85.70**	**14.30**
	LPRU	85	75	80	90	85	**82.84**	**17.16**
	NICI	95	90	80	90	80	**86.79**	**13.21**
IU	**IIHC**	90	90	80	90	85	**86.91**	**13.09**
	HLIU	95	90	90	90	90	**90.98**	**9.02**
	IUHF	85	75	80	80	80	**79.94**	**20.06**
	NMSP	80	70	80	90	85	**80.72**	**19.28**

5.6.2 Bayes ağ modelinin oluşturulması

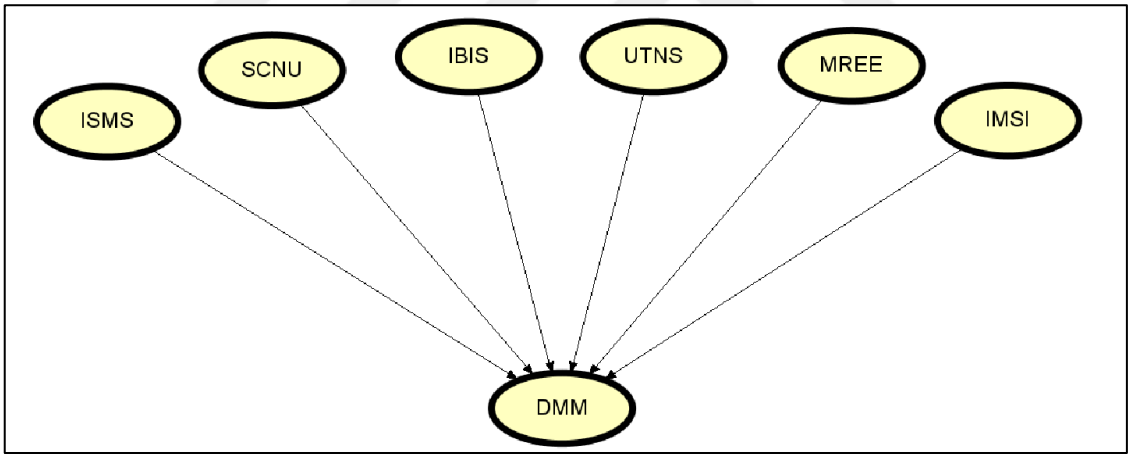
Ana ve alt bileşenlerin belirlenmesi aşamasından sonra bileşenler arasındaki ilişkileri gösteren Bayes ağ modeli oluşturulmalıdır. Bayes ağı bileşenler arasındaki yönlendirilmiş bağlantılardan meydana gelir. Yapılan bu çalışmada ebeveyn düğüm olan belirlenen 4 adet ana bileşene ait ağ yapısı ve 1 adet de ana bileşenlerin değerlendirildiği çocuk bileşen olan

ağ yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ağ yapıları Hugin Lite paket programına sırasıyla Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21, Şekil 5.22'deki gibi işlenmiştir.

Şekil 5.18 incelendiğinde idari kayıplar (Apparent Losses/AL) düğümü çocuk düğüm olup DMM, MM, NBU ve IU düğümleri ise ebeveyn düğüm olarak tanımlanmıştır.

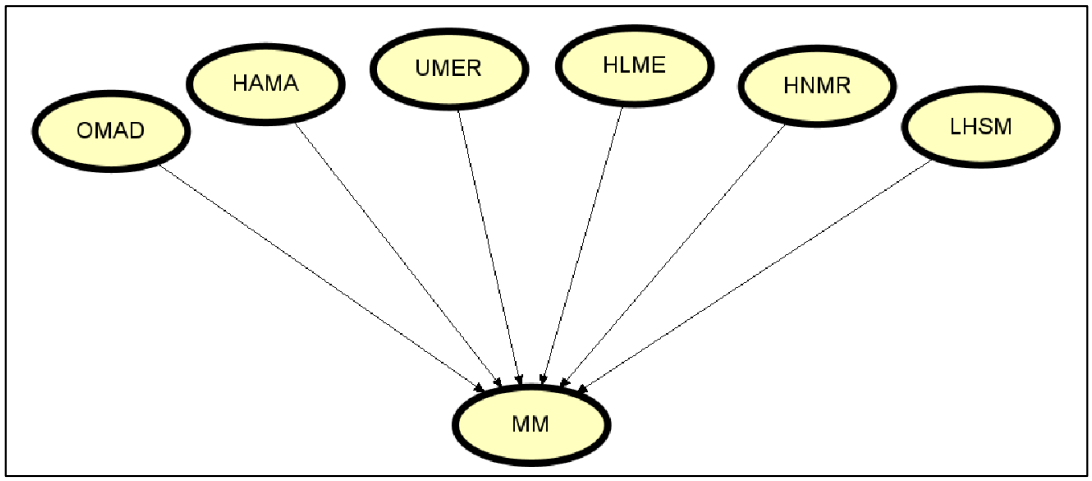


Şekil 5.18: İdari kayıplar ana bileşenleri bayes ağ yapısı.



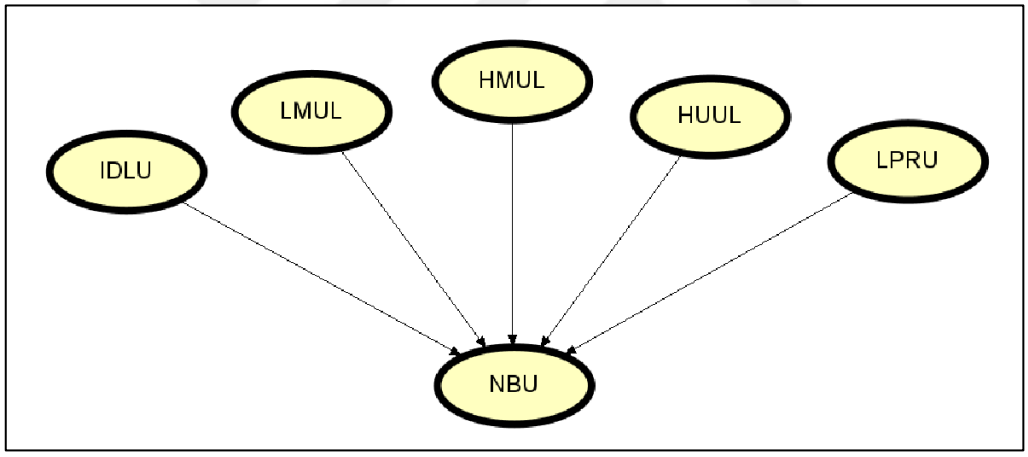
Şekil 5.19: Veri Ölçüm ve Yönetimi bileşenleri bayes ağ yapısı.

Şekil 5.19 incelendiğinde Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) düğümü çocuk düğüm olup ISMS, SCNU, IBIS, UTNS, MREE ve IMSI düğümleri ise ebeveyn düğüm olarak tanımlanmıştır.



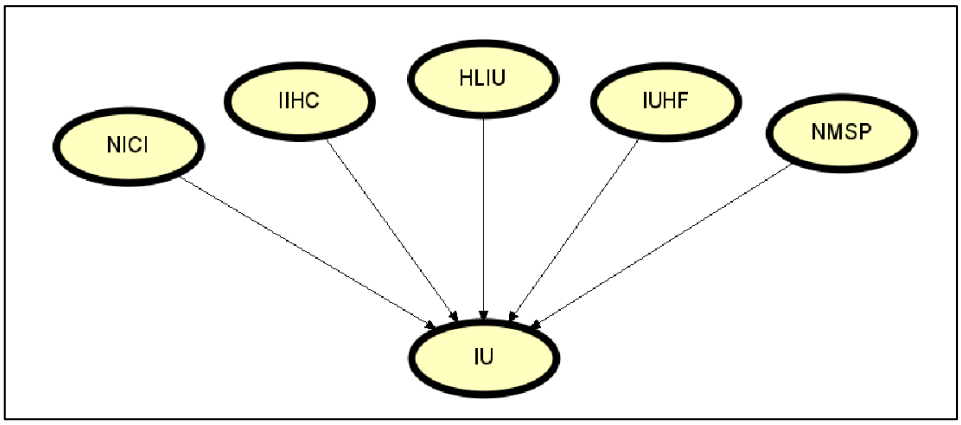
Şekil 5.20: Sayaç Yönetimi bileşenleri bayes ağ yapısı.

Şekil 5.20 incelendiğinde Sayaç Yönetimi (MM) düğümü çocuk düğüm olup OMAD, HAMA, UMER, HLME, HNMR ve LHSM düğümleri ise ebeveyn düğüm olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5.21: Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar bileşenleri bayes ağ yapısı.

Şekil 5.21 incelendiğinde Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU) düğümü çocuk düğüm olup IDLU, LMUL, HMUL, HUUL ve LPRU düğümleri ise ebeveyn düğüm olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5.22: Kaçak Kullanımlar bileşenleri bayes ağ yapısı.

Şekil 5.22 incelendiğinde Kaçak Kullanımlar (IU) düğümü çocuk düğüm olup NICI, IIHC, HLIU, IUHF ve NMSP düğümleri ise ebeveyn düğüm olarak tanımlanmıştır.

5.6.3 Koşullu olasılıkların modele girilmesi

Koşullu olasılık çizelgesindeki yüksek (H) ve düşük (L) olma durumlarını ifade eden puanlandırmalar Hugin Lite paket programına aktarılmıştır (Çizelge 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21, 5.22). Değişken sayısı kadar olasılığın hesabı için 2 üzeri n formülü kullanılmaktadır. Ana bileşen sayısı 4 olduğu için 2 üzeri 4'ten 16 olasılık bulunmaktadır. Bu olasılığın 8 tanesi H, 8 tanesi L olasılığıdır.

Çizelge 5.13: İdari kayıplar (AL) koşullu olasılık değişkenleri.

Sıra	**DMM**	**MM**	**NBU**	**IU**
1	H	H	H	H
2	H	H	H	L
3	H	H	L	H
4	H	H	L	L
5	H	L	H	H
6	H	L	H	L
7	H	L	L	H
8	H	L	L	L
9	L	H	H	H
10	L	H	H	L
11	L	H	L	H
12	L	H	L	L
13	L	L	H	H
14	L	L	H	L
15	L	L	L	H
16	L	L	L	L

Çizelge 5.14: İdari kayıplar (AL) koşullu olasılık değişken değerleri.

Sıra	**DMM**	**MM**	**NBU**	**IU**	**H**	**L**
1	89.78	88.86	76.76	86.79	342.19	57.81
2	89.78	88.86	76.76	13.21	268.61	131.39
3	89.78	88.86	23.24	86.79	288.67	111.33
4	89.78	88.86	23.24	13.21	215.09	184.92
5	89.78	11.14	76.76	86.79	264.47	135.53
6	89.78	11.14	76.76	13.21	190.89	209.11
7	89.78	11.14	23.24	86.79	210.95	189.05
8	89.78	11.14	23.24	13.21	137.37	262.64
9	10.22	88.86	76.76	86.79	262.64	137.37
10	10.22	88.86	76.76	13.21	189.05	210.95
11	10.22	88.86	23.24	86.79	209.11	190.89
12	10.22	88.86	23.24	13.21	135.53	264.47
13	10.22	11.14	76.76	86.79	184.92	215.09
14	10.22	11.14	76.76	13.21	111.33	288.67
15	10.22	11.14	23.24	86.79	131.39	268.61
16	10.22	11.14	23.24	13.21	57.81	342.19
				Maksimum	342.19	
				Minimum	57.81	

Çizelge 5.15: Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) koşullu olasılık değişkenleri.

Sıra	**ISMS**	**SCNU**	**IBIS**	**UTNS**	**MREE**	**IMSI**
1	H	H	H	H	H	H
2	H	H	H	H	H	L
3	H	H	H	H	L	H
4	H	H	H	H	L	L
5	H	H	H	L	H	H
6	H	H	H	L	H	L
7	H	H	H	L	L	H
8	H	H	H	L	L	L
9	H	H	L	H	H	H
10	H	H	L	H	H	L
11	H	H	L	H	L	H
12	H	H	L	H	L	L
13	H	H	L	L	H	H
14	H	H	L	L	H	L
15	H	H	L	L	L	H
16	H	H	L	L	L	L
17	H	L	H	H	H	H
18	H	L	H	H	H	L
19	H	L	H	H	L	H
20	H	L	H	H	L	L
21	H	L	H	L	H	H
22	H	L	H	L	H	L

Çizelge 5.15: Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) koşullu olasılık değişkenleri (devam).

Sıra	**ISMS**	**SCNU**	**IBIS**	**UTNS**	**MREE**	**IMSI**
23	H	L	H	L	L	H
24	H	L	H	L	L	L
25	H	L	L	H	H	H
26	H	L	L	H	H	L
27	H	L	L	H	L	H
28	H	L	L	H	L	L
29	H	L	L	L	H	H
30	H	L	L	L	H	L
31	H	L	L	L	L	H
32	H	L	L	L	L	L
33	L	H	H	H	H	H
34	L	H	H	H	H	L
35	L	H	H	H	L	H
36	L	H	H	H	L	L
37	L	H	H	L	H	H
38	L	H	H	L	H	L
39	L	H	H	L	L	H
40	L	H	H	L	L	L
41	L	H	L	H	H	H
42	L	H	L	H	H	L
43	L	H	L	H	L	H
44	L	H	L	H	L	L
45	L	H	L	L	H	H
46	L	H	L	L	H	L
47	L	H	L	L	L	H
48	L	H	L	L	L	L
49	L	L	H	H	H	H
50	L	L	H	H	H	L
51	L	L	H	H	L	H
52	L	L	H	H	L	L
53	L	L	H	L	H	H
54	L	L	H	L	H	L
55	L	L	H	L	L	H
56	L	L	H	L	L	L
57	L	L	L	H	H	H
58	L	L	L	H	H	L
59	L	L	L	H	L	H
60	L	L	L	H	L	L
61	L	L	L	L	H	H
62	L	L	L	L	H	L
63	L	L	L	L	L	H
64	L	L	L	L	L	L

Çizelge 5.16: Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) koşullu olasılık değişken değerleri.

Sıra	**ISMS**	**SCNU**	**IBIS**	**UTNS**	**MREE**	**IMSI**	**H**	**L**
1	87.69	84.29	84.55	86.58	82.07	92.92	518.09	81.91
2	87.69	84.29	84.55	86.58	82.07	7.08	432.26	167.74
3	87.69	84.29	84.55	86.58	17.93	92.92	453.95	146.05
4	87.69	84.29	84.55	86.58	17.93	7.08	368.11	231.89
5	87.69	84.29	84.55	13.42	82.07	92.92	444.94	155.06
6	87.69	84.29	84.55	13.42	82.07	7.08	359.11	240.89
7	87.69	84.29	84.55	13.42	17.93	92.92	380.79	219.21
8	87.69	84.29	84.55	13.42	17.93	7.08	294.96	305.04
9	87.69	84.29	15.45	86.58	82.07	92.92	449	151
10	87.69	84.29	15.45	86.58	82.07	7.08	363.17	236.83
11	87.69	84.29	15.45	86.58	17.93	92.92	384.85	215.15
12	87.69	84.29	15.45	86.58	17.93	7.08	299.02	300.98
13	87.69	84.29	15.45	13.42	82.07	92.92	375.85	224.15
14	87.69	84.29	15.45	13.42	82.07	7.08	290.02	309.98
15	87.69	84.29	15.45	13.42	17.93	92.92	311.70	288.30
16	87.69	84.29	15.45	13.42	17.93	7.08	225.87	374.13
17	87.69	15.71	84.55	86.58	82.07	92.92	449.50	150.50
18	87.69	15.71	84.55	86.58	82.07	7.08	363.67	236.33
19	87.69	15.71	84.55	86.58	17.93	92.92	385.36	214.64
20	87.69	15.71	84.55	86.58	17.93	7.08	299.53	300.47
21	87.69	15.71	84.55	13.42	82.07	92.92	376.35	223.65
22	87.69	15.71	84.55	13.42	82.07	7.08	290.52	309.48
23	87.69	15.71	84.55	13.42	17.93	92.92	312.20	287.80
24	87.69	15.71	84.55	13.42	17.93	7.08	226.37	373.63
25	87.69	15.71	15.45	86.58	82.07	92.92	380.41	219.59
26	87.69	15.71	15.45	86.58	82.07	7.08	294.58	305.42
27	87.69	15.71	15.45	86.58	17.93	92.92	316.26	283.74
28	87.69	15.71	15.45	86.58	17.93	7.08	230.43	369.57
29	87.69	15.71	15.45	13.42	82.07	92.92	307.26	292.74
30	87.69	15.71	15.45	13.42	82.07	7.08	221.43	378.57
31	87.69	15.71	15.45	13.42	17.93	92.92	243.11	356.89
32	87.69	15.71	15.45	13.42	17.93	7.08	157.28	442.72
33	12.31	84.29	84.55	86.58	82.07	92.92	442.72	157.28
34	12.31	84.29	84.55	86.58	82.07	7.08	356.89	243.11
35	12.31	84.29	84.55	86.58	17.93	92.92	378.57	221.43
36	12.31	84.29	84.55	86.58	17.93	7.08	292.74	307.26
37	12.31	84.29	84.55	13.42	82.07	92.92	369.57	230.43
38	12.31	84.29	84.55	13.42	82.07	7.08	283.74	316.26
39	12.31	84.29	84.55	13.42	17.93	92.92	305.42	294.58
40	12.31	84.29	84.55	13.42	17.93	7.08	219.59	380.41
41	12.31	84.29	15.45	86.58	82.07	92.92	373.63	226.37
42	12.31	84.29	15.45	86.58	82.07	7.08	287.80	312.20
43	12.31	84.29	15.45	86.58	17.93	92.92	309.48	290.52
44	12.31	84.29	15.45	86.58	17.93	7.08	223.65	376.35
45	12.31	84.29	15.45	13.42	82.07	92.92	300.47	299.53

Çizelge 5.16: Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) koşullu olasılık değişken değerleri (devam).

Sıra	ISMS	SCNU	IBIS	UTNS	MREE	IMSI	H	L
46	12.31	84.29	15.45	13.42	82.07	7.08	214.64	385.36
47	12.31	84.29	15.45	13.42	17.93	92.92	236.33	363.67
48	12.31	84.29	15.45	13.42	17.93	7.08	150.50	449.50
49	12.31	15.71	84.55	86.58	82.07	92.92	374.13	225.87
50	12.31	15.71	84.55	86.58	82.07	7.08	288.30	311.70
51	12.31	15.71	84.55	86.58	17.93	92.92	309.98	290.02
52	12.31	15.71	84.55	86.58	17.93	7.08	224.15	375.85
53	12.31	15.71	84.55	13.42	82.07	92.92	300.98	299.02
54	12.31	15.71	84.55	13.42	82.07	7.08	215.15	384.85
55	12.31	15.71	84.55	13.42	17.93	92.92	236.83	363.17
56	12.31	15.71	84.55	13.42	17.93	7.08	151	449
57	12.31	15.71	15.45	86.58	82.07	92.92	305.04	294.96
58	12.31	15.71	15.45	86.58	82.07	7.08	219.21	380.79
59	12.31	15.71	15.45	86.58	17.93	92.92	240.89	359.11
60	12.31	15.71	15.45	86.58	17.93	7.08	155.06	444.94
61	12.31	15.71	15.45	13.42	82.07	92.92	231.89	368.11
62	12.31	15.71	15.45	13.42	82.07	7.08	146.05	453.95
63	12.31	15.71	15.45	13.42	17.93	92.92	167.74	432.26
64	12.31	15.71	15.45	13.42	17.93	7.08	81.91	518.09
						Maksimum	518.09	
						Minimum	81.91	

Çizelge 5.17: Sayaç Yönetimi (MM) koşullu olasılık değişkenleri.

Sıra	OMAD	HAMA	UMER	HLME	HNMR	LHSM
1	H	H	H	H	H	H
2	H	H	H	H	H	L
3	H	H	H	H	L	H
4	H	H	H	H	L	L
5	H	H	H	L	H	H
6	H	H	H	L	H	L
7	H	H	H	L	L	H
8	H	H	H	L	L	L
9	H	H	L	H	H	H
10	H	H	L	H	H	L
11	H	H	L	H	L	H
12	H	H	L	H	L	L
13	H	H	L	L	H	H
14	H	H	L	L	H	L
15	H	H	L	L	L	H
16	H	H	L	L	L	L
17	H	L	H	H	H	H
18	H	L	H	H	H	L

Çizelge 5.17: Sayaç Yönetimi (MM) koşullu olasılık değişkenleri (devamı).

19	H	L	H	H	L	H
20	H	L	H	H	L	L
21	H	L	H	L	H	H
22	H	L	H	L	H	L
23	H	L	H	L	L	H
24	H	L	H	L	L	L
25	H	L	L	H	H	H
26	H	L	L	H	H	L
27	H	L	L	H	L	H
28	H	L	L	H	L	L
29	H	L	L	L	H	H
30	H	L	L	L	H	L
31	H	L	L	L	L	H
32	H	L	L	L	L	L
33	L	H	H	H	H	H
34	L	H	H	H	H	L
35	L	H	H	H	L	H
36	L	H	H	H	L	L
37	L	H	H	L	H	H
38	L	H	H	L	H	L
39	L	H	H	L	L	H
40	L	H	H	L	L	L
41	L	H	L	H	H	H
42	L	H	L	H	H	L
43	L	H	L	H	L	H
44	L	H	L	H	L	L
45	L	H	L	L	H	H
46	L	H	L	L	H	L
47	L	H	L	L	L	H
48	L	H	L	L	L	L
49	L	L	H	H	H	H
50	L	L	H	H	H	L
51	L	L	H	H	L	H
52	L	L	H	H	L	L
53	L	L	H	L	H	H
54	L	L	H	L	H	L
55	L	L	H	L	L	H
56	L	L	H	L	L	L
57	L	L	L	H	H	H
58	L	L	L	H	H	L
59	L	L	L	H	L	H
60	L	L	L	H	L	L
61	L	L	L	L	H	H
62	L	L	L	L	H	L
63	L	L	L	L	L	H
64	L	L	L	L	L	L

Çizelge 5.18: Sayaç Yönetimi (MM) koşullu olasılık değişken değerleri.

	PUANLAR							
Sıra	**OMAD**	**HAMA**	**UMER**	**HLME**	**HNMR**	**LHSM**	**H**	**L**
1	74.74	84.50	80.66	84.50	81.74	80.14	486.28	113.72
2	74.74	84.50	80.66	84.50	81.74	19.86	426.01	173.99
3	74.74	84.50	80.66	84.50	18.26	80.14	422.81	177.19
4	74.74	84.50	80.66	84.50	18.26	19.86	362.54	237.46
5	74.74	84.50	80.66	15.50	81.74	80.14	417.27	182.73
6	74.74	84.50	80.66	15.50	81.74	19.86	357.00	243.00
7	74.74	84.50	80.66	15.50	18.26	80.14	353.80	246.20
8	74.74	84.50	80.66	15.50	18.26	19.86	293.53	306.47
9	74.74	84.50	19.34	84.50	81.74	80.14	424.97	175.03
10	74.74	84.50	19.34	84.50	81.74	19.86	364.69	235.31
11	74.74	84.50	19.34	84.50	18.26	80.14	361.50	238.50
12	74.74	84.50	19.34	84.50	18.26	19.86	301.22	298.78
13	74.74	84.50	19.34	15.50	81.74	80.14	355.96	244.04
14	74.74	84.50	19.34	15.50	81.74	19.86	295.69	304.31
15	74.74	84.50	19.34	15.50	18.26	80.14	292.49	307.51
16	74.74	84.50	19.34	15.50	18.26	19.86	232.21	367.79
17	74.74	15.50	80.66	84.50	81.74	80.14	417.27	182.73
18	74.74	15.50	80.66	84.50	81.74	19.86	357.00	243.00
19	74.74	15.50	80.66	84.50	18.26	80.14	353.80	246.20
20	74.74	15.50	80.66	84.50	18.26	19.86	293.53	306.47
21	74.74	15.50	80.66	15.50	81.74	80.14	348.26	251.74
22	74.74	15.50	80.66	15.50	81.74	19.86	287.99	312.01
23	74.74	15.50	80.66	15.50	18.26	80.14	284.79	315.21
24	74.74	15.50	80.66	15.50	18.26	19.86	224.52	375.48
25	74.74	15.50	19.34	84.50	81.74	80.14	355.96	244.04
26	74.74	15.50	19.34	84.50	81.74	19.86	295.69	304.31
27	74.74	15.50	19.34	84.50	18.26	80.14	292.49	307.51
28	74.74	15.50	19.34	84.50	18.26	19.86	232.21	367.79
29	74.74	15.50	19.34	15.50	81.74	80.14	286.95	313.05
30	74.74	15.50	19.34	15.50	81.74	19.86	226.68	373.32
31	74.74	15.50	19.34	15.50	18.26	80.14	223.48	376.52
32	74.74	15.50	19.34	15.50	18.26	19.86	163.21	436.79
33	25.26	84.50	80.66	84.50	81.74	80.14	436.79	163.21
34	25.26	84.50	80.66	84.50	81.74	19.86	376.52	223.48
35	25.26	84.50	80.66	84.50	18.26	80.14	373.32	226.68
36	25.26	84.50	80.66	84.50	18.26	19.86	313.05	286.95
37	25.26	84.50	80.66	15.50	81.74	80.14	367.79	232.21
38	25.26	84.50	80.66	15.50	81.74	19.86	307.51	292.49
39	25.26	84.50	80.66	15.50	18.26	80.14	304.31	295.69
40	25.26	84.50	80.66	15.50	18.26	19.86	244.04	355.96
41	25.26	84.50	19.34	84.50	81.74	80.14	375.48	224.52
42	25.26	84.50	19.34	84.50	81.74	19.86	315.21	284.79
43	25.26	84.50	19.34	84.50	18.26	80.14	312.01	287.99
44	25.26	84.50	19.34	84.50	18.26	19.86	251.74	348.26

Çizelge 5.18: Sayaç Yönetimi (MM) koşullu olasılık değişken değerleri (devamı).

	PUANLAR							
Sıra	**OMAD**	**HAMA**	**UMER**	**HLME**	**HNMR**	**LHSM**	**H**	**L**
45	25.26	84.50	19.34	15.50	81.74	80.14	306.47	293.53
46	25.26	84.50	19.34	15.50	81.74	19.86	246.20	353.80
47	25.26	84.50	19.34	15.50	18.26	80.14	243.00	357.00
48	25.26	84.50	19.34	15.50	18.26	19.86	182.73	417.27
49	25.26	15.50	80.66	84.50	81.74	80.14	367.79	232.21
50	25.26	15.50	80.66	84.50	81.74	19.86	307.51	292.49
51	25.26	15.50	80.66	84.50	18.26	80.14	304.31	295.69
52	25.26	15.50	80.66	84.50	18.26	19.86	244.04	355.96
53	25.26	15.50	80.66	15.50	81.74	80.14	298.78	301.22
54	25.26	15.50	80.66	15.50	81.74	19.86	238.50	361.50
55	25.26	15.50	80.66	15.50	18.26	80.14	235.31	364.69
56	25.26	15.50	80.66	15.50	18.26	19.86	175.03	424.97
57	25.26	15.50	19.34	84.50	81.74	80.14	306.47	293.53
58	25.26	15.50	19.34	84.50	81.74	19.86	246.20	353.80
59	25.26	15.50	19.34	84.50	18.26	80.14	243.00	357.00
60	25.26	15.50	19.34	84.50	18.26	19.86	182.73	417.27
61	25.26	15.50	19.34	15.50	81.74	80.14	237.46	362.54
62	25.26	15.50	19.34	15.50	81.74	19.86	177.19	422.81
63	25.26	15.50	19.34	15.50	18.26	80.14	173.99	426.01
64	25.26	15.50	19.34	15.50	18.26	19.86	113.72	486.28
						Maksimum	486.28	
						Minimum	113.72	

Çizelge 5.19: Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU) koşullu olasılık değişkenleri.

Sıra	**IDLU**	**LMUL**	**HMUL**	**HUUL**	**LPRU**
1	H	H	H	H	H
2	H	H	H	H	L
3	H	H	H	L	H
4	H	H	H	L	L
5	H	H	L	H	H
6	H	H	L	H	L
7	H	H	L	L	H
8	H	H	L	L	L
9	H	L	H	H	H
10	H	L	H	H	L
11	H	L	H	L	H
12	H	L	H	L	L
13	H	L	L	H	H
14	H	L	L	H	L
15	H	L	L	L	H
16	H	L	L	L	L

Çizelge 5.19: Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU) koşullu olasılık değişkenleri (devam).

17	L	H	H	H	H
18	L	H	H	H	L
19	L	H	H	L	H
20	L	H	H	L	L
21	L	H	L	H	H
22	L	H	L	H	L
23	L	H	L	L	H
24	L	H	L	L	L
25	L	L	H	H	H
26	L	L	H	H	L
27	L	L	H	L	H
28	L	L	H	L	L
29	L	L	L	H	H
30	L	L	L	H	L
31	L	L	L	L	H
32	L	L	L	L	L

Çizelge 5.20: Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU) koşullu olasılık değişken değerleri.

	PUANLAR						
Sıra	**IDLU**	**LMUL**	**HMUL**	**HUUL**	**LPRU**	**H**	**L**
1	78.16	81.59	80.72	85.70	82.84	409.01	90.99
2	78.16	81.59	80.72	85.70	17.16	343.33	156.67
3	78.16	81.59	80.72	14.30	82.84	337.60	162.40
4	78.16	81.59	80.72	14.30	17.16	271.92	228.08
5	78.16	81.59	19.28	85.70	82.84	347.56	152.44
6	78.16	81.59	19.28	85.70	17.16	281.88	218.12
7	78.16	81.59	19.28	14.30	82.84	276.16	223.84
8	78.16	81.59	19.28	14.30	17.16	210.47	289.53
9	78.16	18.41	80.72	85.70	82.84	345.84	154.16
10	78.16	18.41	80.72	85.70	17.16	280.15	219.85
11	78.16	18.41	80.72	14.30	82.84	274.43	225.57
12	78.16	18.41	80.72	14.30	17.16	208.75	291.25
13	78.16	18.41	19.28	85.70	82.84	284.39	215.61
14	78.16	18.41	19.28	85.70	17.16	218.71	281.29
15	78.16	18.41	19.28	14.30	82.84	212.99	287.01
16	78.16	18.41	19.28	14.30	17.16	147.30	352.70
17	21.84	81.59	80.72	85.70	82.84	352.70	147.30
18	21.84	81.59	80.72	85.70	17.16	287.01	212.99
19	21.84	81.59	80.72	14.30	82.84	281.29	218.71
20	21.84	81.59	80.72	14.30	17.16	215.61	284.39
21	21.84	81.59	19.28	85.70	82.84	291.25	208.75
22	21.84	81.59	19.28	85.70	17.16	225.57	274.43

Çizelge 5.20: Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU) koşullu olasılık değişken değerleri (devam).

23	21.84	81.59	19.28	14.30	82.84	219.85	280.15
24	21.84	81.59	19.28	14.30	17.16	154.16	345.84
25	21.84	18.41	80.72	85.70	82.84	289.53	210.47
26	21.84	18.41	80.72	85.70	17.16	223.84	276.16
27	21.84	18.41	80.72	14.30	82.84	218.12	281.88
28	21.84	18.41	80.72	14.30	17.16	152.44	347.56
29	21.84	18.41	19.28	85.70	82.84	228.08	271.92
30	21.84	18.41	19.28	85.70	17.16	162.40	337.60
31	21.84	18.41	19.28	14.30	82.84	156.67	343.33
32	21.84	18.41	19.28	14.30	17.16	90.99	409.01
					Maksimum	409.01	
					Minimum	90.99	

Çizelge 5.21: Kaçak Kullanım (IU) koşullu olasılık değişkenleri.

Sıra	**NICI**	**IIHC**	**HLIU**	**IUHF**	**NMSP**
1	H	H	H	H	H
2	H	H	H	H	L
3	H	H	H	L	H
4	H	H	H	L	L
5	H	H	L	H	H
6	H	H	L	H	L
7	H	H	L	L	H
8	H	H	L	L	L
9	H	L	H	H	H
10	H	L	H	H	L
11	H	L	H	L	H
12	H	L	H	L	L
13	H	L	L	H	H
14	H	L	L	H	L
15	H	L	L	L	H
16	H	L	L	L	L
17	L	H	H	H	H
18	L	H	H	H	L
19	L	H	H	L	H
20	L	H	H	L	L
21	L	H	L	H	H
22	L	H	L	H	L
23	L	H	L	L	H
24	L	H	L	L	L
25	L	L	H	H	H
26	L	L	H	H	L
27	L	L	H	L	H
28	L	L	H	L	L

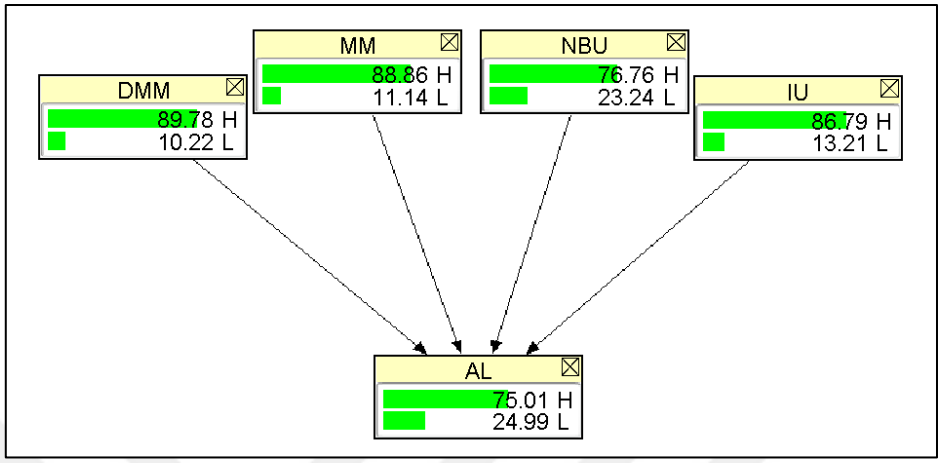
Çizelge 5.21: Kaçak Kullanım (IU) koşullu olasılık değişkenleri (devam).

29	L	L	L	H	H
30	L	L	L	H	L
31	L	L	L	L	H
32	L	L	L	L	L

Çizelge 5.22: Kaçak Kullanım (IU) koşullu olasılık değişken değerleri.

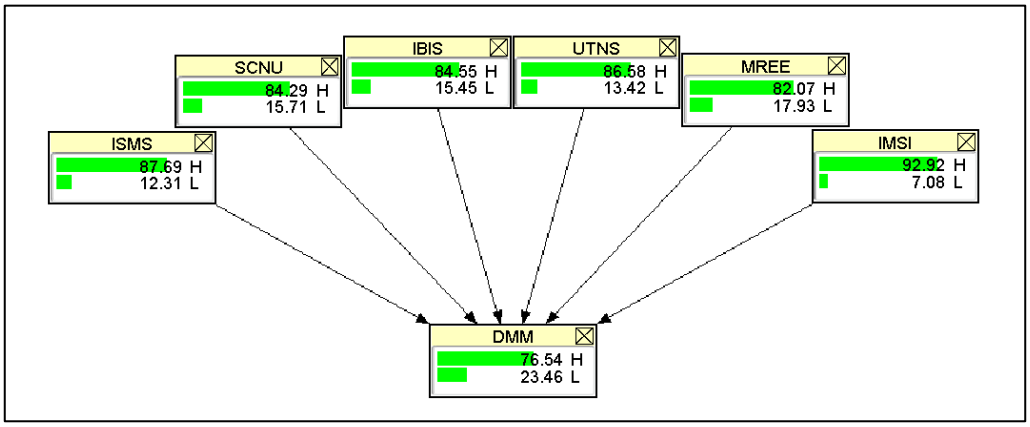
	PUANLAR						
Sıra	**NICI**	**IIHC**	**HLIU**	**IUHF**	**NMSP**	**H**	**L**
1	86.79	86.91	90.98	79.94	80.72	425.33	74.67
2	86.79	86.91	90.98	79.94	19.28	363.89	136.11
3	86.79	86.91	90.98	20.06	80.72	365.46	134.54
4	86.79	86.91	90.98	20.06	19.28	304.02	195.98
5	86.79	86.91	9.02	79.94	80.72	343.38	156.62
6	86.79	86.91	9.02	79.94	19.28	281.93	218.07
7	86.79	86.91	9.02	20.06	80.72	283.50	216.50
8	86.79	86.91	9.02	20.06	19.28	222.06	277.94
9	86.79	13.09	90.98	79.94	80.72	351.52	148.48
10	86.79	13.09	90.98	79.94	19.28	290.08	209.92
11	86.79	13.09	90.98	20.06	80.72	291.65	208.35
12	86.79	13.09	90.98	20.06	19.28	230.21	269.79
13	86.79	13.09	9.02	79.94	80.72	269.57	230.43
14	86.79	13.09	9.02	79.94	19.28	208.12	291.88
15	86.79	13.09	9.02	20.06	80.72	209.69	290.31
16	86.79	13.09	9.02	20.06	19.28	148.25	351.75
17	13.21	86.91	90.98	79.94	80.72	351.75	148.25
18	13.21	86.91	90.98	79.94	19.28	290.31	209.69
19	13.21	86.91	90.98	20.06	80.72	291.88	208.12
20	13.21	86.91	90.98	20.06	19.28	230.43	269.57
21	13.21	86.91	9.02	79.94	80.72	269.79	230.21
22	13.21	86.91	9.02	79.94	19.28	208.35	291.65
23	13.21	86.91	9.02	20.06	80.72	209.92	290.08
24	13.21	86.91	9.02	20.06	19.28	148.48	351.52
25	13.21	13.09	90.98	79.94	80.72	277.94	222.06
26	13.21	13.09	90.98	79.94	19.28	216.50	283.50
27	13.21	13.09	90.98	20.06	80.72	218.07	281.93
28	13.21	13.09	90.98	20.06	19.28	156.62	343.38
29	13.21	13.09	9.02	79.94	80.72	195.98	304.02
30	13.21	13.09	9.02	79.94	19.28	134.54	365.46
31	13.21	13.09	9.02	20.06	80.72	136.11	363.89
32	13.21	13.09	9.02	20.06	19.28	74.67	425.33
					Maksimum	425.33	
					Minimum	74.67	

Şekil 5.23 incelendiğinde idari kayıplar (AL) koşullu olasılık çizelgesinin parametrelerin idari kayıplara etkisinin yüksek olma olasılığı en fazla %89.78 ile Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) olduğu görülmektedir ve onu %88.86 ile Bakım ve Sayaç Yönetimi (MM) takip etmektedir.



Şekil 5.23: İdari kayıplar (AL) koşullu olasılık çizelgesi.

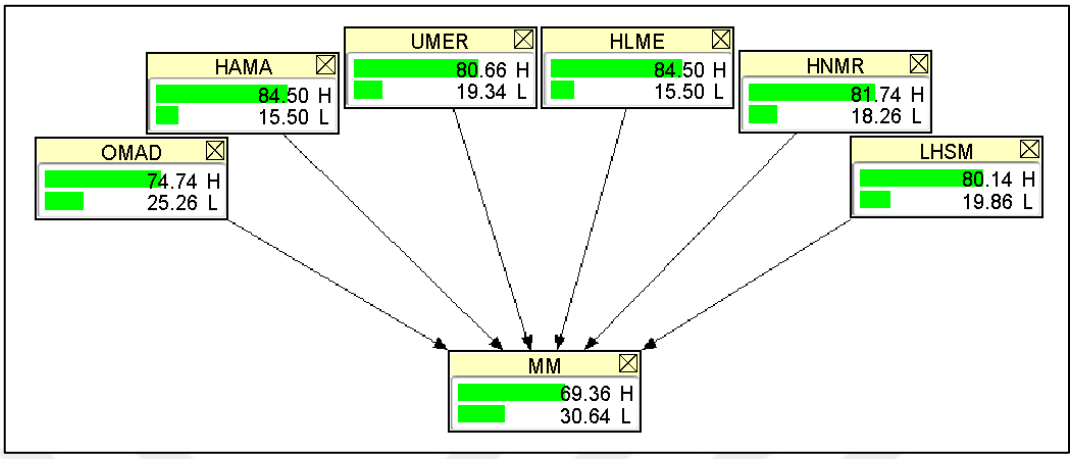
Şekil 5.24 incelendiğinde Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) koşullu olasılık çizelgesinin parametrelerin idari kayıplara etkisinin yüksek olma olasılığı en fazla %92.92 ile Sistem Giriş Debisinin Düzenli Ölçülmemesi veya Hatalı Ölçülmesi (IMSI) olduğu görülmektedir ve onu %87.69 ile Abone Yönetim Sisteminin Yetersiz Olması (ISMS), %86.58 ile Ücretini Ödemeyen Abonelerin İzlenmemesi veya Yetersiz Olması (UTNS) takip etmektedir.



Şekil 5.24: Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) koşullu olasılık çizelgesi.

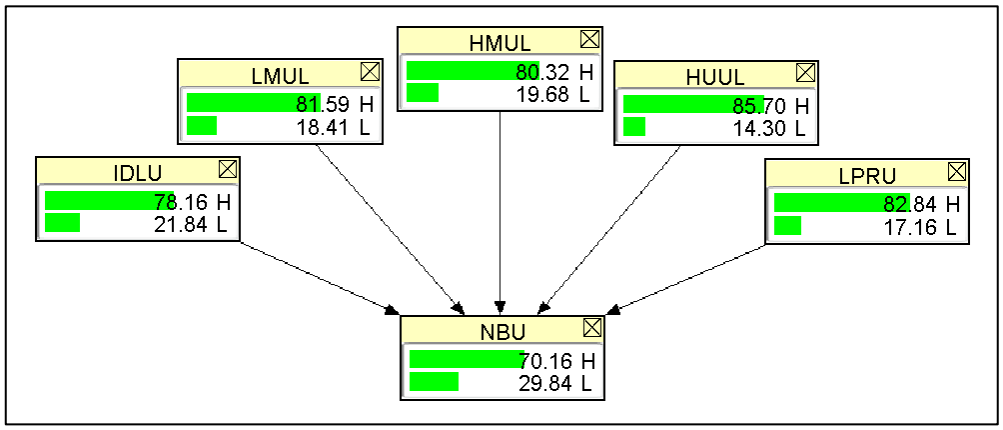
Şekil 5.25 incelendiğinde Sayaç Yönetimi (MM) koşullu olasılık çizelgesinin parametrelerin idari kayıplara etkisinin yüksek olma olasılığı en fazla %84.50 ile Ortalama Sayaç Yaşının Yüksek Olması (HAMA) ve Abone Sayaç Hatasından Kaynaklanan

Kayıpların Yüksek Olması (HLME) olduğu görülmektedir ve onu %81.74 ile Değiştirilmesi Gereken Sayaç Sayısının (>10 yaş) Fazla Olması (HNMR), %80.66 ile Sayaç Hata Oranlarının Belirlenmemesi veya İzlenmemesi (UMER) takip etmektedir.



Şekil 5.25: Sayaç Yönetimi (MM) koşullu olasılık çizelgesi.

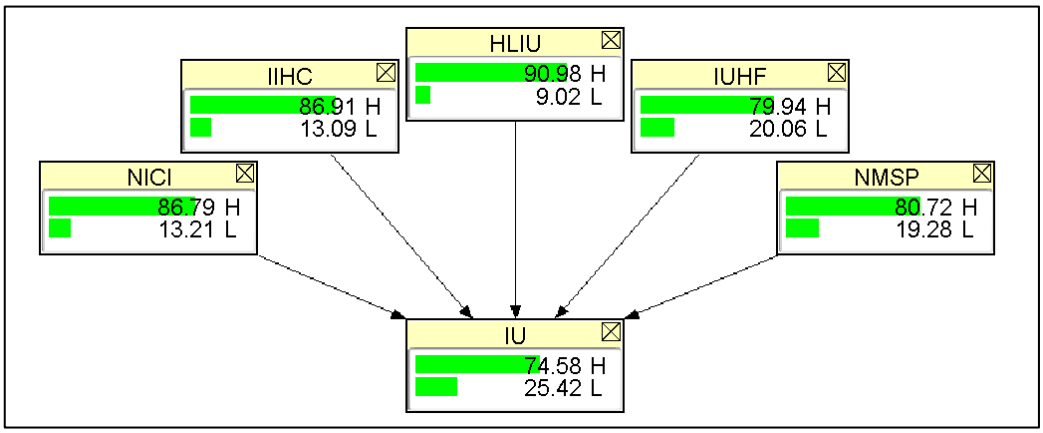
Şekil 5.26 incelendiğinde Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU) koşullu olasılık çizelgesinin parametrelerin idari kayıplara etkisinin yüksek olma olasılığı en fazla %85.70 ile Yasal Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanılmaların Fazla Olması (HUUL), %82.84 ile Yasal Faturalandırılmamış Kullanımların Azaltılması için Programının Oluşturulmaması (LPRU), %81.59 ile Yasal Faturalandırılmamış Kullanımların Ölçüm Oranının Düşük Olması (LMUL) takip etmektedir.



Şekil 5.26: Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU) koşullu olasılık çizelgesi.

Şekil 5.27 incelendiğinde Kaçak Kullanım (IU) koşullu olasılık çizelgesinin parametrelerin idari kayıplara etkisinin yüksek olma olasılığı en fazla %90.98 ile Kaçak Kullanımdan Kaynaklı Kayıpların Fazla Olması (HLIU), %86.91 ile Yüksek Tüketimli

Aboneler için Kaçak Kullanım Denetimlerinin Yetersiz Olması (IIHC), %86.79 ile Kaçak Bağlantı Denetiminin Yapılmaması veya Yetersiz Yapılması (NICI) takip etmektedir.



Şekil 5.27: Kaçak Kullanım (IU) koşullu olasılık çizelgesi.

5.6.4 Duyarlılık ve olasılık değerleri

İdari kayıplara etki eden parametrelerin her bir durumunun olasılığı Bayes ağları oluşturularak Hugin Lite programında elde edilmiştir (Çizelge 5.23). Elde edilen olasılık değerleri Denklem 5.1'de yer alan denkleme göre elde edilir (Çizelge 5.24).

$$\text{OLASILIK} = (0.75\text{xH})+(0.25\text{xL}) \tag{5.1}$$

Çizelge 5.23: İdari kayıplar (AL) koşullu olasılık değerleri.

	DMM		**MM**		**NBU**		**IU**		**AL**
H	89.78	H	88.86	H	76.76	H	86.79	H	75.01
L	10.22	L	11.14	L	23.24	L	13.21	L	24.99

İdari Kayıp ana bileşenleri örnek olarak 5.1 Denkleminde uygulandığında;

$DMM = 0.75 \times 89.78 + 0.25 \times 10.22 = 69.89$ elde edilir.

$MM = 0.75 \times 88.86 + 0.25 \times 11.14 = 69.43$ elde edilir.

$NBU = 0.75 \times 76.76 + 0.25 \times 23.24 = 63.38$ elde edilir.

$IU = 0.75 \times 86.79 + 0.25 \times 13.21 = 68.40$ elde edilir.

Çizelge 5.24: İdari kayıp parametreleri olasılık değerleri.

OLASILIK DEĞERLERİ									
AL		DMM		MM		NBU		IU	
DMM	69.89	ISMS	69	OMAD	62	IDLU	64	NICI	68
MM	69.43	SCNU	67	HAMA	67	LMUL	66	IIHC	68

NBU	63.38	IBIS	67	UMER	65	HMUL	65	HLIU	70
IU	68.40	UTNS	68	HLME	67	HUUL	68	IUHF	65
		MREE	66	HNMR	66	LPRU	66	NMSP	65
		IMSI	71	LHSM	65				

Çizelge 5.24'te yer alan olasılık değerleri incelendiğinde ana bileşenler arasında en büyük olasılığa 69.89 ile Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) ve Sayaç Yönetimi (MM) sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.25: İdari kayıp parametreleri duyarlılık değerleri (DI).

DUYARLILIK DEĞERLERİ									
AL		DMM		MM		NBU		IU	
MM	0.13	SCNU	0.11	LHSM	0.08	LPRU	0.11	IIHC	0.12
DMM	0.18	MREE	0.11	OMAD	0.10	HMUL	0.13	NICI	0.12
NBU	0.19	UTNS	0.12	UMER	0.10	HUUL	0.13	IUHF	0.15
IU	0.20	IBIS	0.12	HAMA	0.11	IDLU	0.13	NMSP	0.15
		IMSI	0.13	HLME	0.11	LMUL	0.14	HLIU	0.16
		ISMS	0.14	HNMR	0.12				

Çizelge 5.25'te yer alan idari kayıplar ve bileşenleri üzerinde etkili olan parametrelerin Duyarlılık İndeksleri (DI) incelendiğinde yüksek öncelikten düşük önceliğe sahip parametreler sırasıyla İdari Kayıplar (AL) için sırasıyla; %20 ile Kaçak Kullanım (IU), %19 ile Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU), %18 ile Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) ve %13 ile Sayaç Yönetimi (MM) elde edilmiştir.

Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) için sırasıyla; %14 ile Abone Yönetim Sisteminin Yetersiz Olması (ISMS), %13 ile Sistem Giriş Debisinin Düzenli Ölçülmemesi veya Hatalı Ölçülmesi (IMSI), %12 ile Ücretini Ödemeyen Abonelerin İzlenmemesi veya Yetersiz Olması (UTNS) ve Tahakkuk ve Faturalama Sisteminin Yetersiz Olması (IBIS) ve %11 ile Abone Sayısının Güncel Olmaması (SCNU) ve Abone Sayaç Okuma Verimliliğinin Yetersiz Olması (MREE) elde edilmiştir.

Sayaç Yönetimi (MM) için sırasıyla; %12 Değiştirilmesi Gereken Sayaç Sayısının (>10 yaş) Fazla Olması (HNMR), %11 ile Ortalama Sayaç Yaşının Yüksek Olması (HAMA) ve Abone Sayaç Hatasından Kaynaklanan Kayıpların Yüksek Olması (HLME), %10 ile Sayaç Yaşı Veri Tabanının Güncel Olmaması (OMAD) ve Sayaç Hata Oranlarının Belirlenmemesi veya İzlenmemesi (UMER) ve %8 ile Hassasiyeti Yüksek Olan Sayaçların Kullanılmaması veya Oranının Düşük Olması (LHSM) elde edilmiştir.

Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU) için sırasıyla; %14 ile Yasal Faturalandırılmamış Kullanımların Ölçüm Oranının Düşük Olması (LMUL), %13 ile Yasal Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanımların Fazla Olması (HMUL), Yasal Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanılmaların Fazla Olması (HUUL), Yasal Faturalandırılmamış Kullanıcıların Bilgilerinin ve Kullanım Oranlarının Bilinmemesi veya Bilginin Eksik Olması (IDLU) ve %11 ile Yasal Faturalandırılmamış Kullanımların Azaltılması için Programının Oluşturulmaması (LPRU) elde edilmiştir.

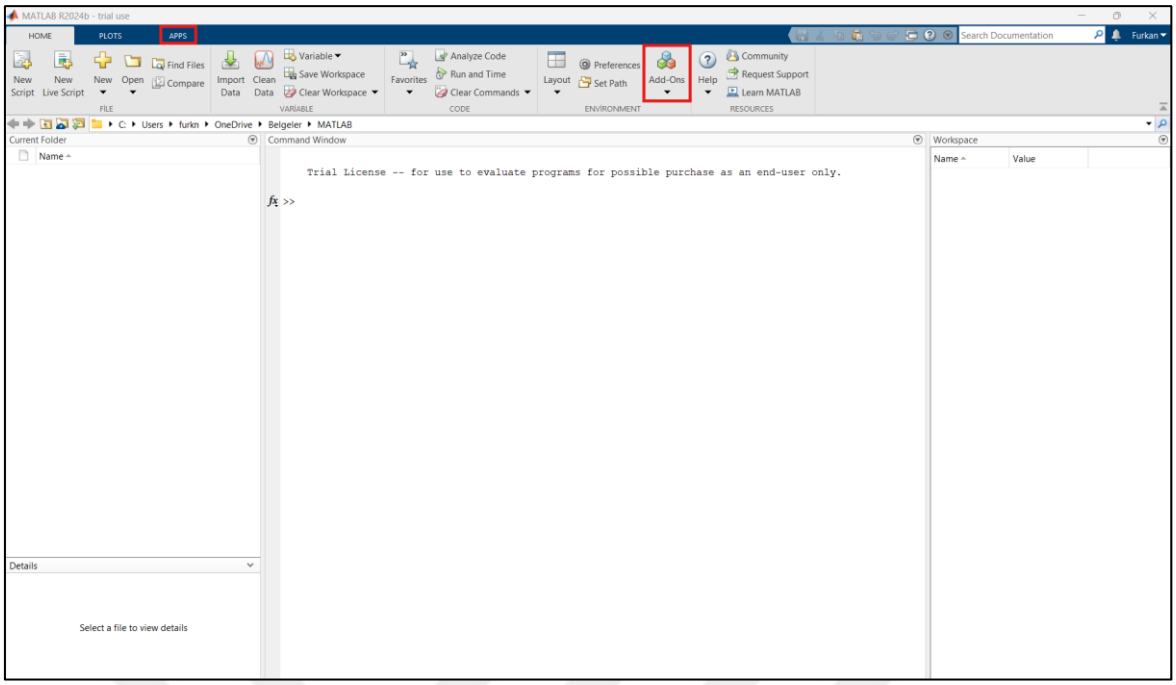
Kaçak Kullanım (IU) için sırasıyla; %16 ile Kaçak Kullanımdan Kaynaklı Kayıpların Fazla Olması (HLIU), %15 ile Yangın Musluklarında Kaçak Su Kullanımlarının İzlenmemesi (IUHF) ve Okullarda ve Kamu Binalarında Sayaçların Kontrol Edilmemesi ya da Yetersiz Olması (NMSP) ve %12 ile Kaçak Bağlantı Denetiminin Yapılmaması veya Yetersiz Yapılması (NICI) ve Yüksek Tüketimli Aboneler için Kaçak Kullanım Denetimlerinin Yetersiz Olması (IIHC) elde edilmiştir.

5.7 Bulanık Mantık

Çalışmanın bu aşamasında idari kayıp bileşenlerinin bulanık mantık ile risk değerlendirmesi yapılmaktadır. Bileşenlerin maliyet, su-enerji-gelir kaybı, sosyal etki açısından sonuçları ve riskin ana bileşeni olan olasılık ile bulanık üyelik fonksiyonu tanımlanmaktadır. Bulanık çıkarım sistemi aracılığıyla bileşenlerin risk değerinin elde edilebilmesi için Matlab'da bulanık kurallar tanımlanmıştır. Bu aşamaların sonunda değerlendirilen bileşenlerin gerçekleşme olasılığı, maliyet, su-enerji-gelir kaybı ve sosyal etki sonuçlarına göre risk seviyeleri elde edilmiştir. Elde edilen risk seviyeleri bulanık mantık tasarımı ile yüzey gösterimlerine göre değerlendirilmiştir.

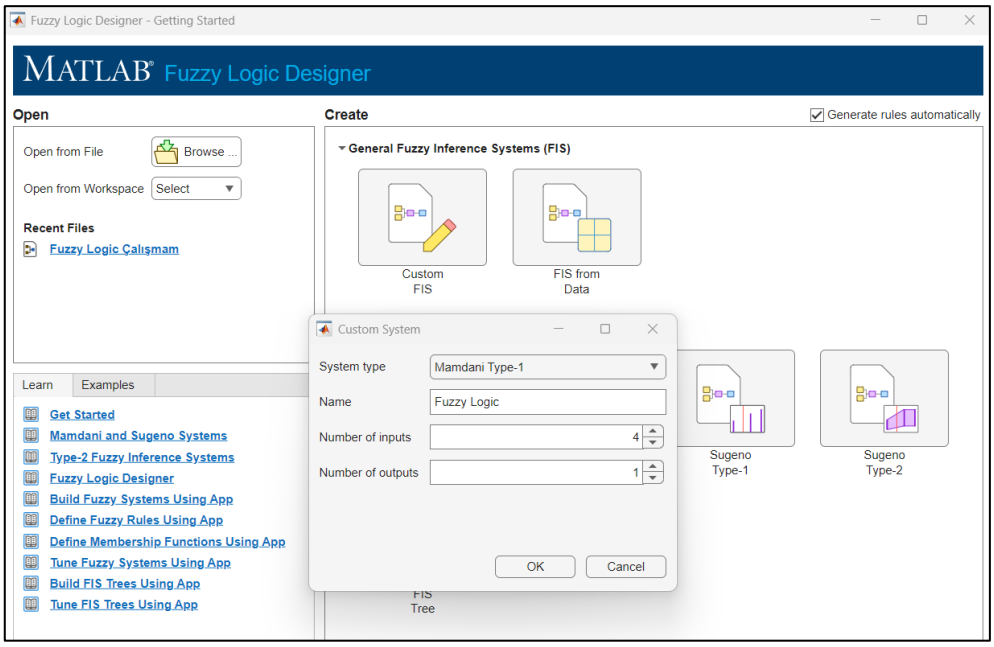
5.7.1 Bulanık mantık modelinin oluşturulması

Matlab programının https://www.mathworks.com adresinden indirilip kurulması ile Şekil 5.28'de yer alan ekran arayüzü ile karşılaşılmaktadır. Matlab'da bulanık mantık opsiyonundan faydalanılabilmesi için arayüzde yer alan "Add-Ons" sekmesinden "Get Add-Ons" seçilip açılan eklenti gezgini ekranından bulanık mantık araç kutusu (Fuzzy Logic Toolbox) indirilerek Matlab uygulamasına entegre edilir.

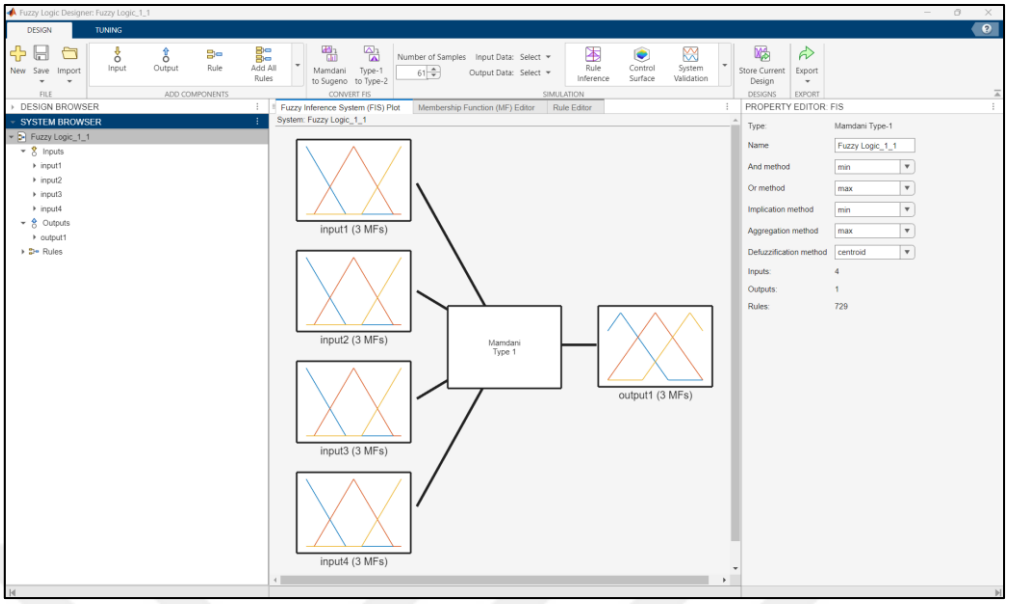


Şekil 5.28: Matlab programı arayüzü.

Fuzzy Logic Toolbox'ın Matlab'a entegre edilmesinin ardından Şekil 5.28'de görüldüğü gibi arayüzde yer alan "APPS" sekmesinden "Fuzzy Logic Designer" seçeneği seçilir. Açılan bulanık mantık tasarımcısı ekranından "Custom Fis" seçeneği ile bulanık mantık giriş ve çıkış değişkenlerinin tanımlanacağı Şekil 5.29'da yer alan ekran açılır. Bu çalışmada Mamdani çıkarım sistemi kullanıldığı için Mamdani Type-1 seçilerek bulanık mantığa tanımlanacak olan giriş ve çıkış değişkenlerinin sayıları girilir. Çalışmada 4 adet giriş 1 adet de çıkış değişkeni tanımlanmıştır.



Şekil 5.29: Matlab Fuzzy Logic Designer sistem arayüzü.

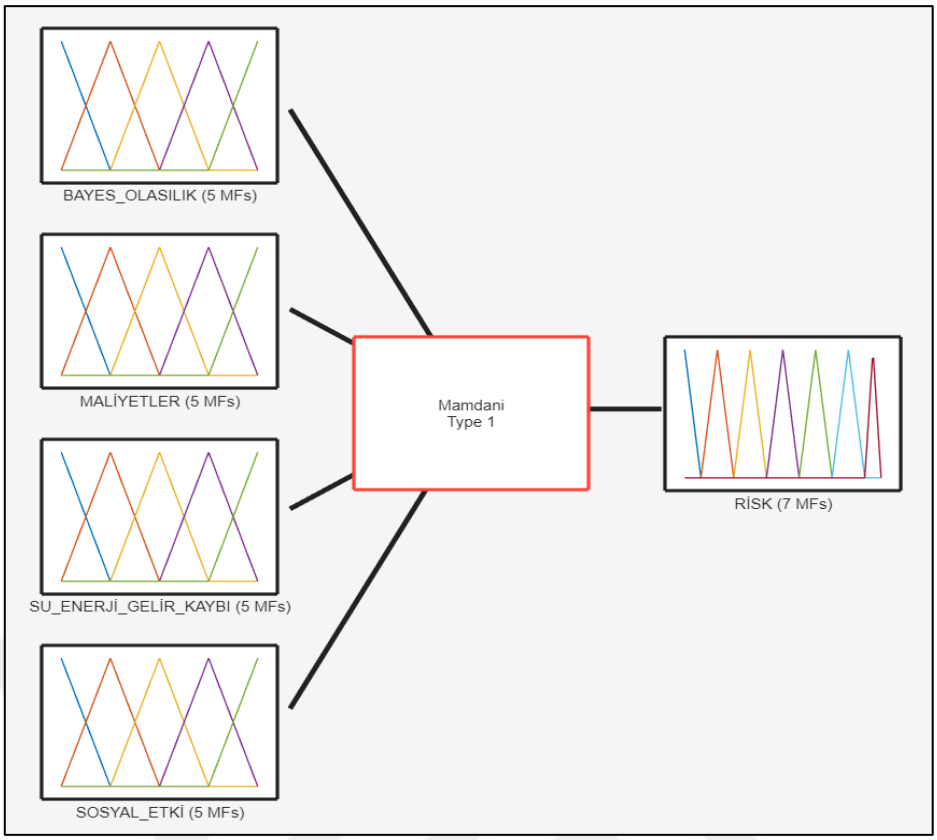


Şekil 5.30: Fuzzy Logic Designer bulanık çıkarım sistemi ekranı.

Giriş çıkış değişkenlerinin ve çıkarım sisteminin tanımlanmasıyla birlikte Şekil 5.30'daki gibi açılan bulanık çıkarım sistemi penceresinde giriş ve çıkış değişkenlerinin isimleri, sayıları, üyelik fonksiyonlarının sayısı ve üyelik fonksiyonlarının türü düzenlenir. Oluşturulmak istenilen modele ilişkin girdi ve çıktılar bu menüden eklenip çıkartılabilir. Çalışmada tanımlanan değişkenlerin isimleri, "System Browser" bölmesinde yer alan giriş ve çıkış değişkenlerinin üzerine gelinip "Property Editor" alanından düzenlenebilir. Bu alanda giriş ve çıkış değişkenlerinin aralığı da belirlenmektedir. Bir değişkene üyelik fonksiyonlarının eklenebilmesi için, "System Browser"da ilgili değişken seçildikten sonra "Property Editor" bölümünde uygulama giriş değişkeni ve üyelik fonksiyonu özellikleri yer alır. Değişkene üyelik fonksiyonu (MF) eklenebilmesi için Şekil 5.32'de yer aldığı gibi "Design" sekmesindeki "Add Components" galerisinde "MF" öğesine tıklanır.

5.7.2 İdari kayıp bileşenleri için bulanık mantık modelinin oluşturulması

İdari kayıp bileşenlerinin su idarelerine hangi konularda risk oluşturabileceği konusunda yapılan araştırmalar ve literatür taramalarından alınan verilerle Şekil 5.31'deki gibi Bayes Olasılık, Maliyetler, Su-Enerji-Gelir Kaybı ve Sosyal Etki olmak üzere toplam 4 giriş ve Risk olmak üzere 1 de çıkış değişkeni tanımlanmıştır. Her bir değişkeni kendine ait üyelik fonksiyonlarına olacak şekilde tanımlanmıştır. Modelin bulanık mantık yapısı insana benzer bir karar mekanizmasının oluşturulabilmesi amacıyla Mamdani tipi çıkarım modeliyle oluşturulmuştur.



Şekil 5.31: İdari kayıp bileşenleri bulanık mantık modeli.

5.7.3 Üyelik fonksiyonlarının tanımlanması

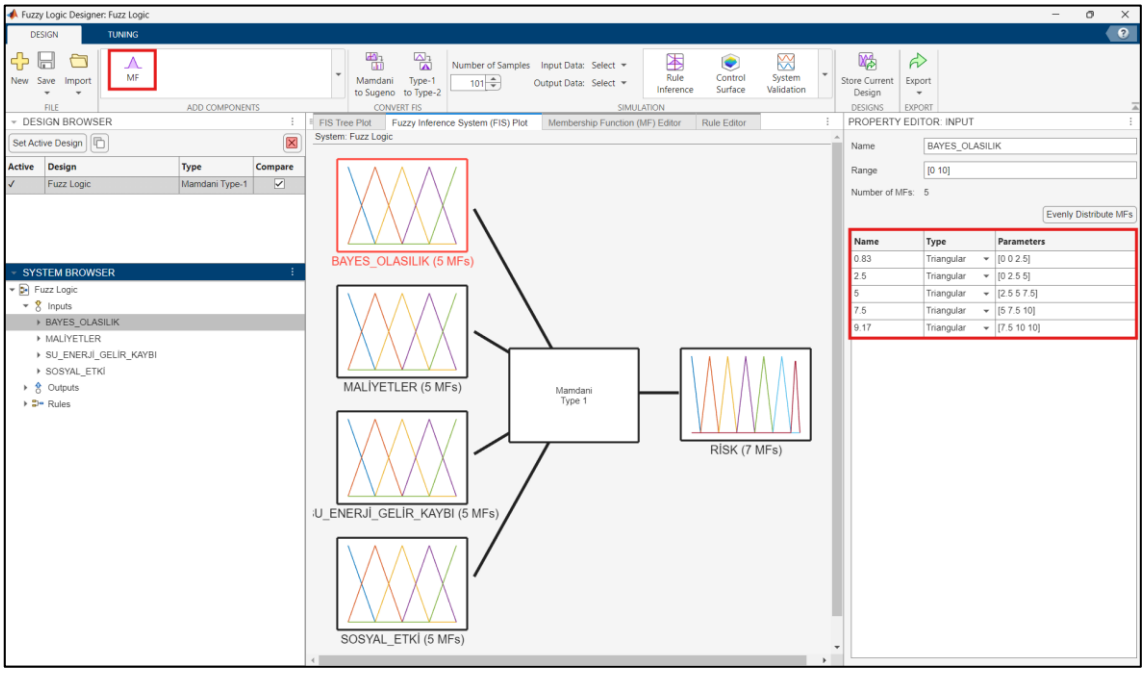
Bulanık mantıkta sayısal değerler yerine genellikle düşük, orta, yüksek gibi dilsel ifadeler kullanılır (Silva ve Pinto, 2011). Bu çalışmada ise Çizelge 5.26'da belirtilen sözel ifadeler kullanılarak üçgen üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Tanımlanan bu üyelik fonksiyonları giriş değişkenlerinin bulanıklaştırılabilmesi için kullanılır (Şen, 2020). Fonksiyonların tanımlanması ile bulanıklaştırma işlemi yapılır.

Çizelge 5.26: Bulanık mantık tasarımında kullanılan değişkenler ve aralıkları.

Değişkenler	Değerlendirme	Üyelik Fonksiyonu Tipi	Değişken Aralığı
Bayes Olasılık	Son Derece Düşük	Üçgen	[0 0 2.5]
	Çok Düşük		[0 2.5 5]
	Orta		[2.5 5 7.5]
	Çok Yüksek		[5 7.5 10]
	Son Derece Yüksek		[7.5 10 10]
Maliyetler	Son Derece Düşük		[0 0 2.5]
	Çok Düşük		[0 2.5 5]
	Orta		[2.5 5 7.5]
	Çok Yüksek		[5 7.5 10]

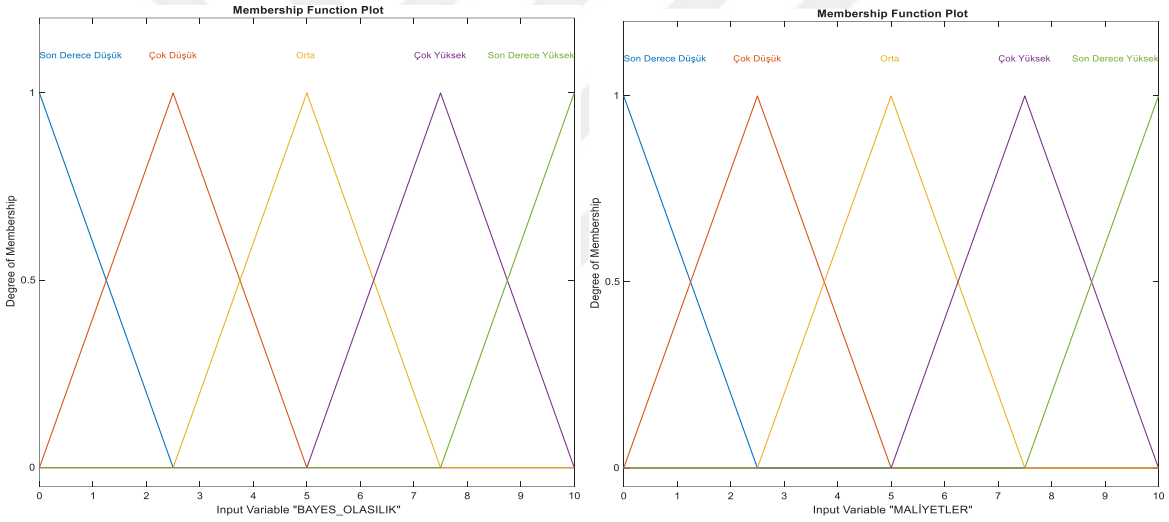
	Son Derece Yüksek		[7.5 10 10]
	Son Derece Düşük		[0 0 2.5]
	Çok Düşük		[0 2.5 5]
Su Enerji Gelir Kaybı	Orta		[2.5 5 7.5]
	Çok Yüksek		[5 7.5 10]
	Son Derece Yüksek		[7.5 10 10]
	Son Derece Düşük		[0 0 2.5]
	Çok Düşük		[0 2.5 5]
Sosyal Etki	Orta		[2.5 5 7.5]
	Çok Yüksek		[5 7.5 10]
	Son Derece Yüksek		[7.5 10 10]
	Son Derece Düşük		[0 0 0.83]
	Çok Düşük		[0.83 1.665 2.5]
	Orta Derece Düşük		[2.5 3.335 4.17]
Risk	Orta	Üçgen	[4.17 5 5.5]
	Orta Derece Yüksek		[5.83 6.665 7.5]
	Çok Yüksek		[7.5 8.335 9.17]
	Son Derece Yüksek		[9.17 9.585 10]

Şekil 5.32'de yer aldığı gibi giriş değişkenleri için üçgensel tip üyelik fonksiyonu (Triangular) kullanılmıştır. Tanımlanan dört giriş değişkeni için değişken aralığı 0 ile 10 arasında bir ölçekte derecelendirilmiştir. Matlab programında üyelik fonksiyonları ve değişken aralıkları Şekil 5.32'deki gibi tanımlanmıştır.



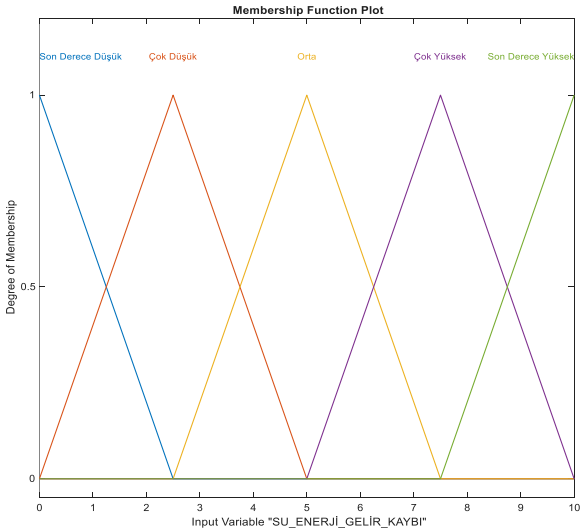
Şekil 5.32: Fuzzy Logic Designer değişkenlerin tanımlanması.

Modelde kullanılan "Bayes_Olasılık, Maliyetler, Su_Enerji_Gelir_Kaybı, Sosyal_Etki" giriş değişkenleri için belirlenen üyelik fonksiyonları Çizelge 5.26'da yer almaktadır. Düzenleyici değişkenlerin Son Derece Düşük (SDD), Çok Düşük (ÇD), Orta (O), Çok Yüksek (ÇY), ve Son Derece Yüksek (SDY) düzeylerini temsil eden üçgen üyelik fonksiyonlarını içermektedir. Üyelik fonksiyonları "SDD" için [0 0 5], "ÇD" için [0 2.5 5], "O" için [2.5 5 7.5], "ÇY" için [5 7.5 10], ve "SDY" için [7.5 10 10] aralığında tanımlanmıştır. "Risk" çıkış değişkeni; Son Derece Düşük (SDD), Çok Düşük (ÇD), Orta Derece Düşük (ODD), Orta (O), Orta Derece Yüksek (ODY), Çok Yüksek (ÇY), ve Son Derece Yüksek (SDY) düzeylerini temsil eden üçgen üyelik fonksiyonlarıyla oluşturulmuştur. Üyelik fonksiyonları Şekil 5.33'te, "SDD" için [0 0 0.83], "ÇD" için [0.83 1.665 2.5], "ODD" için [2.5 3.335 4.17], "O" için [4.17 5 5.5], "ODY" için [5.83 6.665 7.5], "ÇY" için [7.5 8.335 9.17] ve "SDY" için [9.17 9.585 10] aralığında tanımlanmıştır.

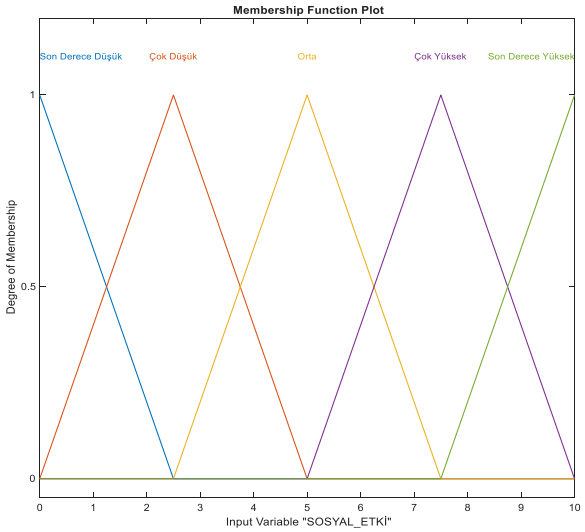


(a)

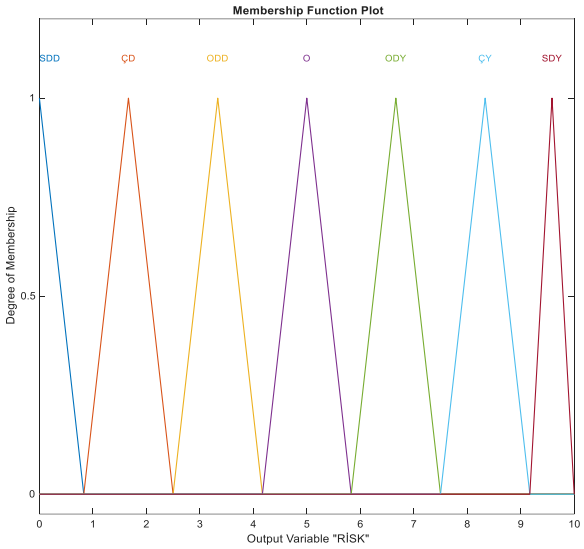
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 5.33: Bulanık mantık üyelik fonksiyonları: a) Bayes Olasılık b) Maliyetler c) Su Enerji Gelir Kaybı d) Sosyal Etki e) Risk

5.7.4 Kural tabanının tanımlanması

Bulanık mantıkta kural tabanı oluşturulması ve dilsel ifadeler kullanılması karmaşık problemleri çözülebilir hale getirir. Bileşenlerin riskinin hesaplanabilmesi için önemlerine göre ağırlıkları elde edilmelidir. Uzman görüşleri doğrultusunda olasılık, maliyet, su-enerji-gelir kaybı ve sosyal sonuçları için önem ağırlıkları sırasıyla 0.20, 0.30, 0.30 ve 0.20 olarak alınmıştır. Bulanık mantık modeline tanımlanan her 4 giriş değişkenine SDD, ÇD, O, ÇY, SDY olmak üzere 5 üyelik sınıfı tanımlandığı için üyelik sınıfları 5'in katları olacak şekilde devretmektedir. Sosyal etki için 5 üzeri 0, Su-Enerji,-Gelir Kaybı için 5 üzeri 1, Maliyetler için 5 üzeri 2 ve Bayes olasılık için 5 üzeri 3 olacak şekildedir. Yapılan çalışmada 4 adet giriş değişkeni ve 5 adet giriş değerlendirme sınıfı olması sebebiyle i^n adet (5^4) olacak şekilde 625 adet kural tanımlanmıştır. [(n=girdi sayısı=4), (i=değerlendirme sınıf sayısı=5)]. Tanımlanan kuralların bir kısmı Çizelge 5.27'de sunulmaktadır.

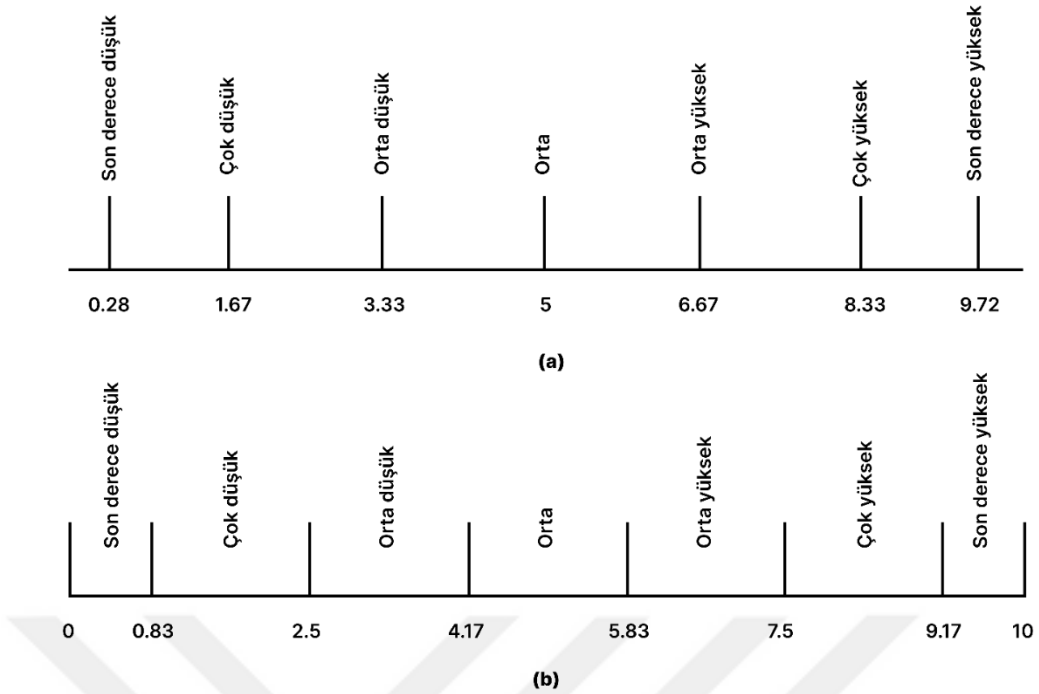
Çizelge 5.27: Bulanık mantık modeli tanımlanan kuralları.

No	Bayes Olasılık	Maliyetler (Yatırım, İşletme ve Bakım, Rehabilitasyon)	Su, Enerji, Gelir Kaybı	Sosyal Etki	RİSK	RİSK SINIFI
	0.2	**0.3**	**0.3**	**0.2**		
1	0.83	0.83	0.83	0.83	**0.83**	SDD
2	0.83	0.83	0.83	2.5	**1.16**	ÇD
3	0.83	0.83	0.83	5	**1.66**	ÇD
4	0.83	0.83	0.83	7.5	**2.16**	ÇD

5	0.83	0.83	0.83	9.17	**2.50**	ÇD
126	2.5	0.83	0.83	0.83	**1.16**	ÇD
127	2.5	0.83	0.83	2.5	**1.50**	ÇD
128	2.5	0.83	0.83	5	**2.00**	ÇD
129	2.5	0.83	0.83	7.5	**2.50**	ÇD
130	2.5	0.83	0.83	9.17	**2.83**	ODD
251	5	0.83	0.83	0.83	**1.66**	ÇD
252	5	0.83	0.83	2.5	**2.00**	ÇD
253	5	0.83	0.83	5	**2.50**	ÇD
254	5	0.83	0.83	7.5	**3.00**	ODD
255	5	0.83	0.83	9.17	**3.33**	ODD
376	7.5	0.83	0.83	0.83	**2.16**	ÇD
377	7.5	0.83	0.83	2.5	**2.50**	ÇD
378	7.5	0.83	0.83	5	**3.00**	ODD
379	7.5	0.83	0.83	7.5	**3.50**	ODD
380	7.5	0.83	0.83	9.17	**3.83**	ODD
501	9.17	0.83	0.83	0.83	**2.50**	ÇD
502	9.17	0.83	0.83	2.5	**2.83**	ODD
503	9.17	0.83	0.83	5	**3.33**	ODD
504	9.17	0.83	0.83	7.5	**3.83**	ODD
505	9.17	0.83	0.83	9.17	**4.17**	ODD
621	9.17	9.17	9.17	0.83	**7.50**	ODY
622	9.17	9.17	9.17	2.5	**7.84**	ÇY
623	9.17	9.17	9.17	5	**8.34**	ÇY
624	9.17	9.17	9.17	7.5	**8.84**	ÇY
625	9.17	9.17	9.17	9.17	**9.17**	ÇY

Çizelge 5.27'de elde edilen risk değerleri (Fares ve Zayed, 2010) tarafından önerilen 5.2'de yer alan denkleme göre hesaplanır. W_i, i. değerin ağırlığıdır ve F_i ise i. değerin bulanık sayısının eşdeğer net değerine karşılık gelen sayıdır. Eşdeğer net değeri Şekil 5.34 (a)'deki skalaya göre elde edilir. Hesaplanan risk değerlerinin sonuçlarının değerlendirilebilmesi için çıktıların 0-10 aralığındaki değerlerini ifade edecek şekilde Şekil 5.34 (b)'de yer alan değer aralığına karşılık gelen risk değerinin sınıfı belirlenir.

$$EA = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i \times F_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \tag{5.2}$$



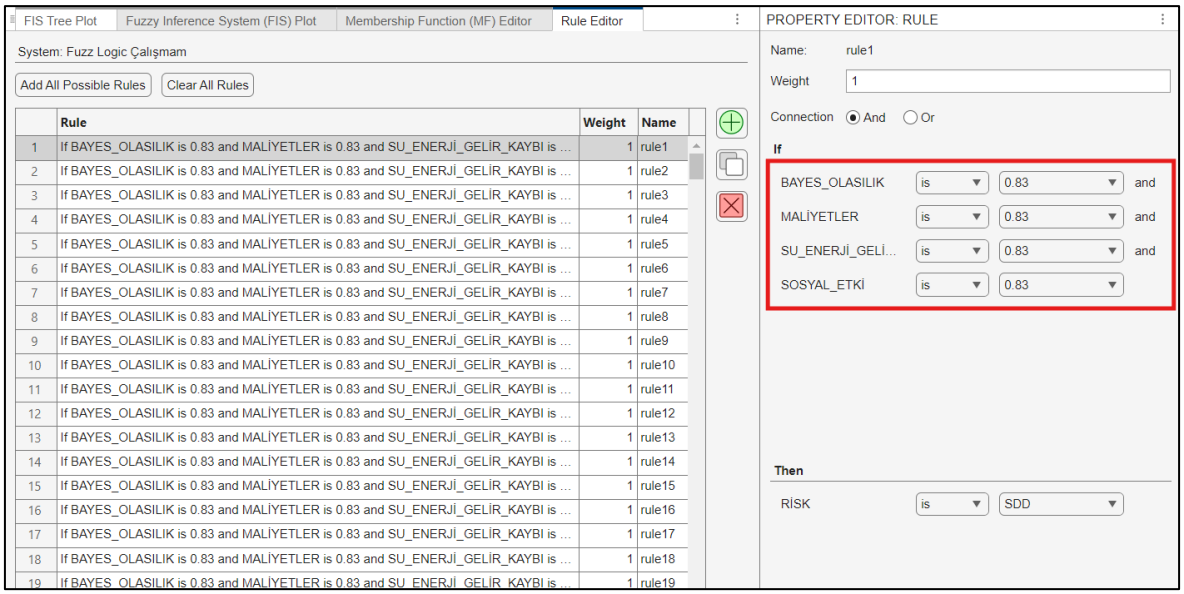
Şekil 5.34: a) Bulanık sayıların eşdeğer net değeri, b) Bulanık kural çıkarımı sonuçları nitel ölçeği (Tabesh ve diğ, 2018).

Çizelge 5.27'de yer alan 1 numaralı kuralın risk değeri hesaplaması Denklem 5.2 kullanılarak açıklanacak olursa:

$$EA_1 = \frac{[(0.83 \times 0.2) + (0.83 \times 0.3) + (0.83 \times 0.3) + (0.83 \times 0.2)]}{0.2 + 0.3 + 0.3 + 0.2} = 0.83$$

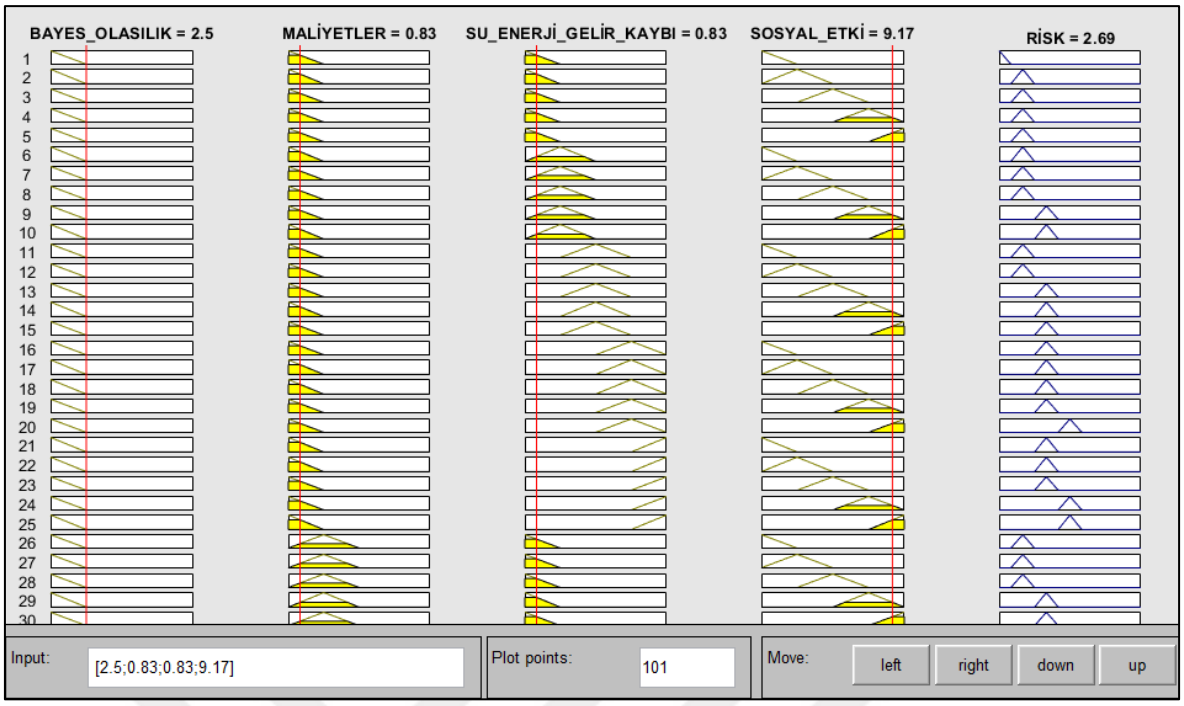
Kural 1'de elde edilen risk değeri Şekil 5.34 (b)'deki bulanık kural çıkarımı sonuçları nitel ölçeğine göre belirlenirse 0.83 değerine karşılık gelen risk sınıfı SDD olarak elde edilir.

Excelde oluşturulan 625 kural, Matlab programına Şekil 5.35'te yer aldığı gibi "Rule Editor" sekmesinden tek tek girilir. "Property Editor: Rule" penceresi altında oluşturulmak istenilen kuralların düzenlemesi sağlanabilmektedir.



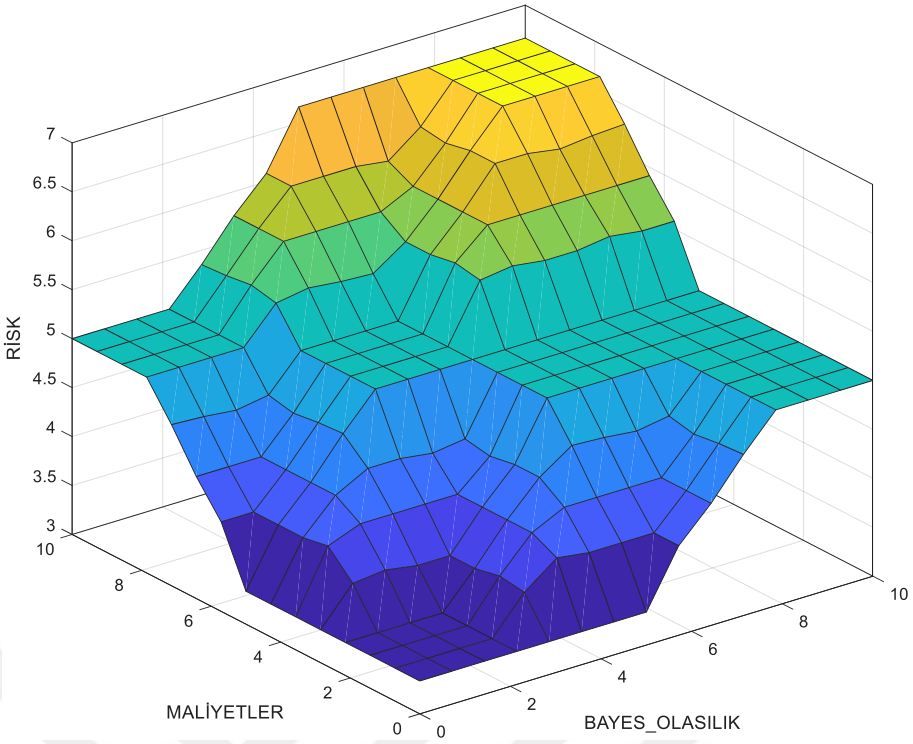
Şekil 5.35: Fuzzy Logic Designer Rule Editor ekranı.

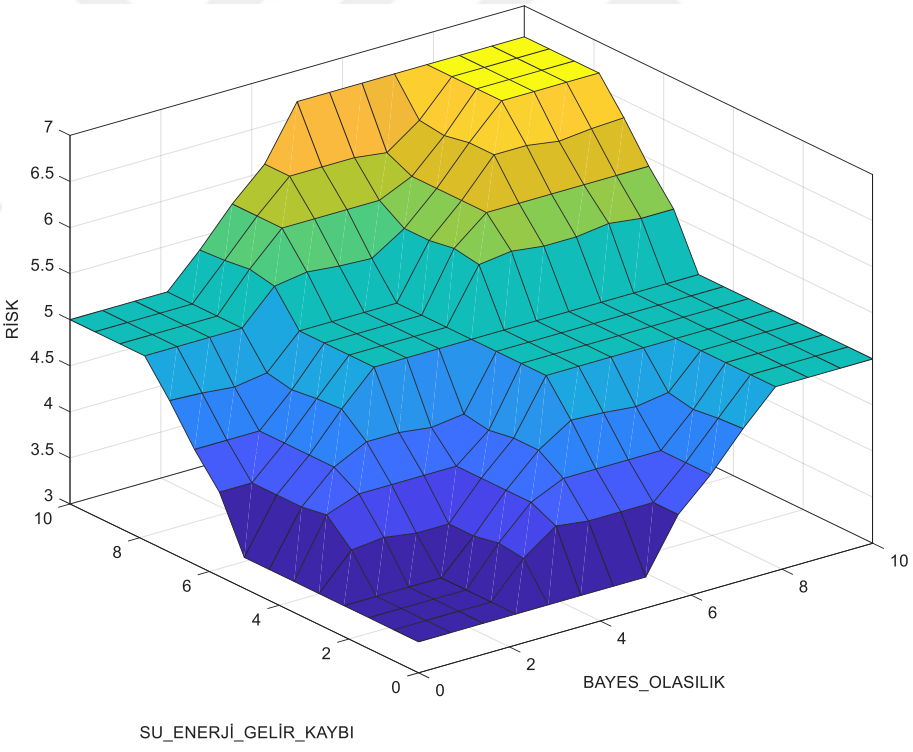
Tanımlanan her bir kural giriş değişkenlerine göre ilgili bileşenlerin değerlendirme düzeylerini ifade etmekte ve bulanık model üzerindeki etkisini göstermektedir. Kullanılan metodolojinin örnek bir uygulamasını göstermek amacıyla Çizelge 5.27'de yer alan 130 numaralı kural idari kayıp bileşenlerinden birinin gerçekleşme olasılığını çok düşük, maliyet ve su-enerji-gelir kaybı sonuçları son derece düşük, sosyal etki sonuçlarının son derece yüksek kabul edildiği nitel değerlerin sayısal karşılıkları Matlab programında kuralların çıkarım sistemine girildiğinde risk değeri Şekil 5.36'da belirtildiği gibi 2.69 olmak üzere Orta Derece Düşük (ODD) risk sınıfında elde edilmiştir. Yazılımın hesapladığı risk sınıfı ile excelde hesaplanan risk sınıfının uyuştuğu gözlemlenmektedir.

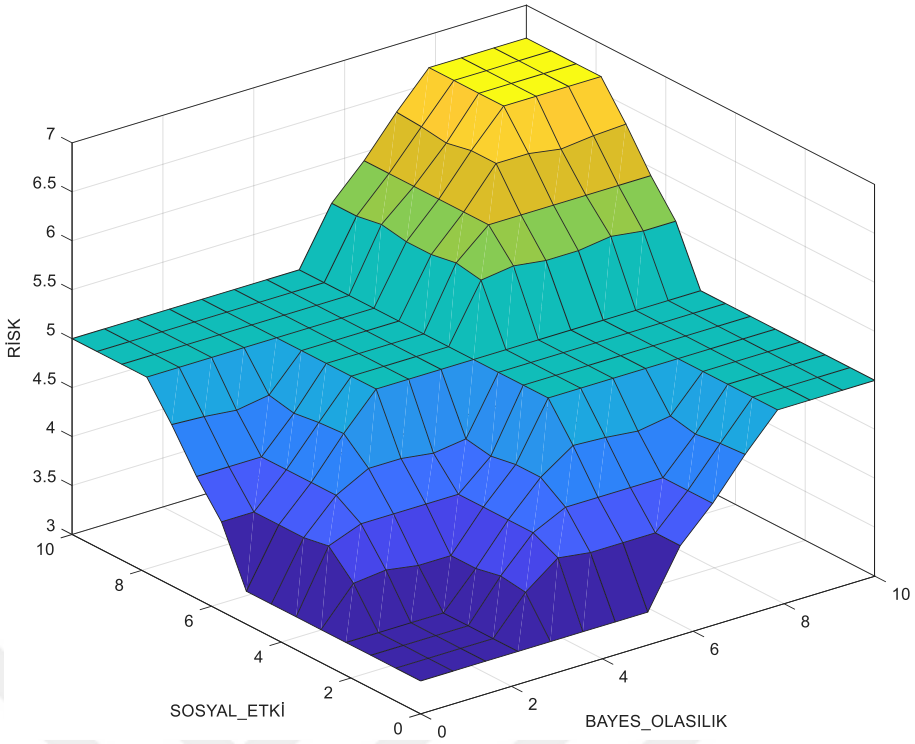


Şekil 5.36: İdari kayıp yönetim bileşenleri için risk değeri hesaplama örneği.

Kural tabanlarının oluşturulmasıyla birlikte giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki ilişki üç boyutlu yüzey gösterimi olan "Control Surface" seçeneği ile gözlenir. Çalışmanın bu bölümünde bulanık mantık temelli risk değerlendirme modelinde tanımlanan değişkenlerin etkileri yüzey gösterimleri ile analiz edilmiştir. Yüzey gösterimi giriş değişkenlerinin risk değişimini gözlemlemek için kullanılır. Grafik yüzeyindeki iki giriş değişkenin artışıyla birlikte çıkış değişkeni olan risk seviyesinin nasıl etkilendiği gözlemlenir. Değişkenlerin risk üzerindeki etkileri incelenirse; Olasılık-Maliyetler, Olasılık-Su Enerji Gelir Kaybı ve Olasılık-Sosyal Etki değişkenlerinin risk üzerinde etkileri Şekil 5.37'de; Maliyetler-Olasılık, Maliyetler-Su Enerji Gelir Kaybı ve Maliyetler-Sosyal Etki değişkenlerinin risk üzerinde etkileri Şekil 5.38'de; Su Enerji Gelir Kaybı-Olasılık, Su Enerji Gelir Kaybı-Maliyetler ve Su Enerji Gelir Kaybı-Sosyal Etki değişkenlerinin risk üzerinde etkileri Şekil 5.39'da ve Sosyal Etki-Olasılık, Sosyal Etki-Maliyetler ve Sosyal Etki-Su Enerji Gelir Kaybı değişkenlerinin risk üzerinde etkileri Şekil 5.40'ta sunulmuştur. Bu görseller karar vericilere hangi bileşenlerin risk üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğunu anlamada yardımcı olmaktadır.


RİSK
7
6.5
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
MALİYETLER
10
8
6
4
2
0
BAYES_OLASILIK
0
2
4
6
8
10


RİSK
7
6.5
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
SU_ENERJİ_GELİR_KAYBI
10
8
6
4
2
0
BAYES_OLASILIK
0
2
4
6
8
10



Şekil 5.37: Bulanık mantık modelinin kontrol yüzeyinde Olasılık-Maliyetler, Olasılık-Su Enerji Gelir Kaybı ve Olasılık-Sosyal Etki değişkenlerinin Risk değişkeni üzerinde etkileri.

Şekil 5.37'de Matlab Fuzzy Logic Designer'da oluşturulan bulanık mantık modeline ait 3B yüzey grafikleri yer almaktadır. Oluşturulan yüzey grafiklerinde x eksenindeki Bayes Olasılık ile y eksenindeki Maliyetler, Su-Enerji-Gelir Kaybı ve Sosyal Etki değişkenlerinin z eksenindeki riske göre etkileri gözlemlenmektedir. Grafik iki bağımsız değişkenin farklı kombinasyonlarının risk üzerindeki etkilerini görselleştirerek idari kayıp bileşenlerinin hangi durumlarda daha yüksek risk seviyesine ulaşabileceğini analiz etmeye imkân tanımaktadır. Grafikte z ekseninde yer alan risk yüzeyi doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir, bu durum bulanık mantık modelinin giriş değişkenlerini tek tek değerlendirmekle kalmayıp birbirleriyle olan etkileşimi de dikkate aldığını ifade etmektedir.

Bayes Olasılık ve Maliyetler giriş değişkenlerinin üç boyutlu yüzey grafiğinde; Bayes Olasılık ve Maliyetler değişkenlerinin seviyelerinin düşük olması durumunda risk değerinin en düşük seviyede olduğu, Bayes Olasılığın düşük Maliyetlerin yüksek olduğu durumda finansal risk etkisi nedeniyle risk değerinde bir artış gözlemlendiği, Bayes Olasılığı ve Maliyetlerin yüksek olduğu durumda ise risk değerinin maksimum seviyeye ulaştığı gözlemlenmektedir. Gerçekleşme olasılığı ve maliyetleri düşük olan bileşenler, risk değeri minimum seviyede kaldığı için su idaresine bir risk teşkil etmeyeceğini ortaya koymaktadır.

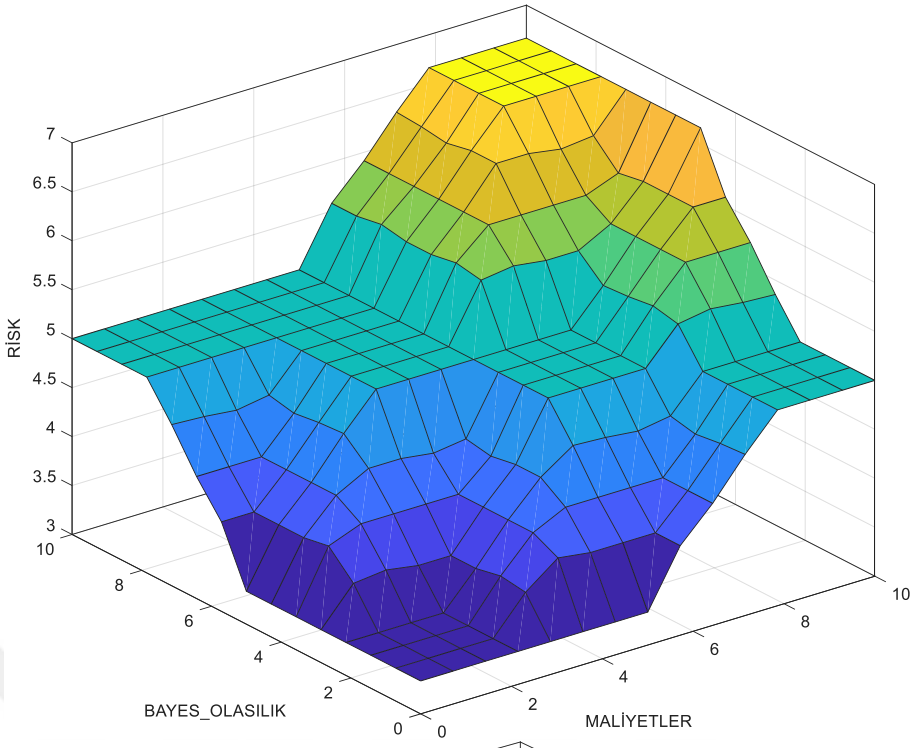
Düşük olasılıkla meydana gelebilecek ancak yüksek yatırım maliyetine sahip bileşenlerin su idaresi için bir risk oluşturabileceği sonucunu vermektedir. Dolayısıyla su idareleri yüksek seviyede yatırım maliyetine sahip bileşenlerin idareye finansal olarak bir risk yaratabileceğini göz önünde bulundurarak bileşenleri değerlendirmelidir. Bileşenlerin gerçekleşme olasılığı ve maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle risk seviyesi de en yüksek seviyeye çıkmaktadır. Bu bileşenler yatırım ve finansal kararlar açısından su idaresine kritik seviyede risk içerdiği göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.

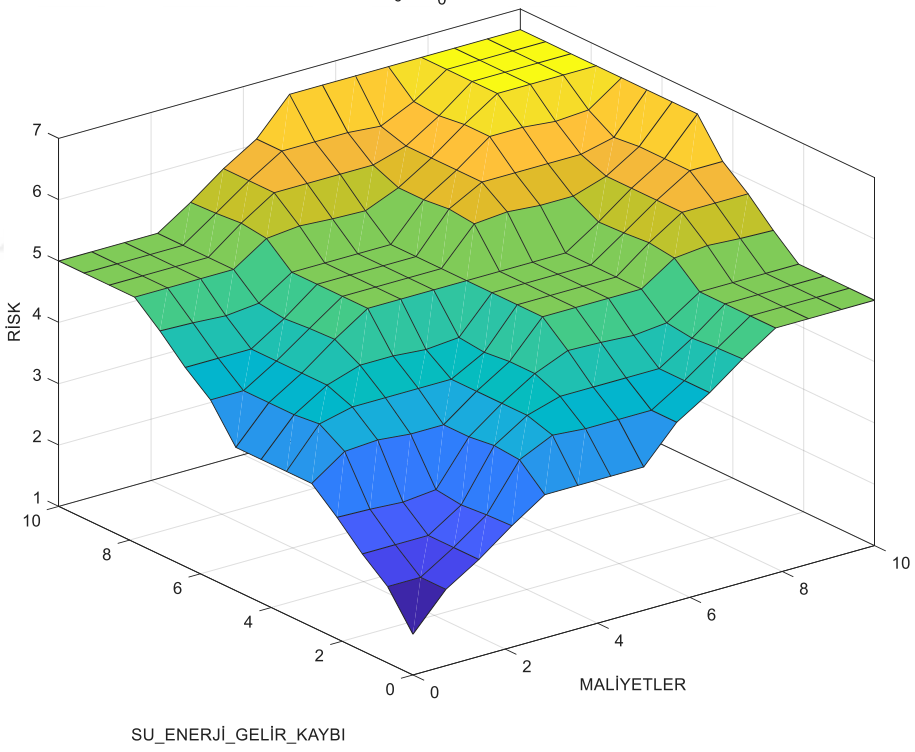
Bayes Olasılık ve Su Enerji Gelir Kaybı giriş değişkenlerinin üç boyutlu yüzey grafiğinde; Bayes Olasılık ve Su Enerji Gelir Kaybı değişkenlerinin düşük olması durumunda risk seviyesinin en düşük seviyelerde olduğu, Bayes Olasılığının düşük Su Enerji Gelir Kaybının yüksek olduğu durumda risk seviyesinin orta seviyelerde seyrettiği, Bayes Olasılık ve Su Enerji Gelir Kaybının yüksek olduğu durumda ise risk seviyesinin de en yüksek noktaya ulaştığı gözlemlenmektedir.

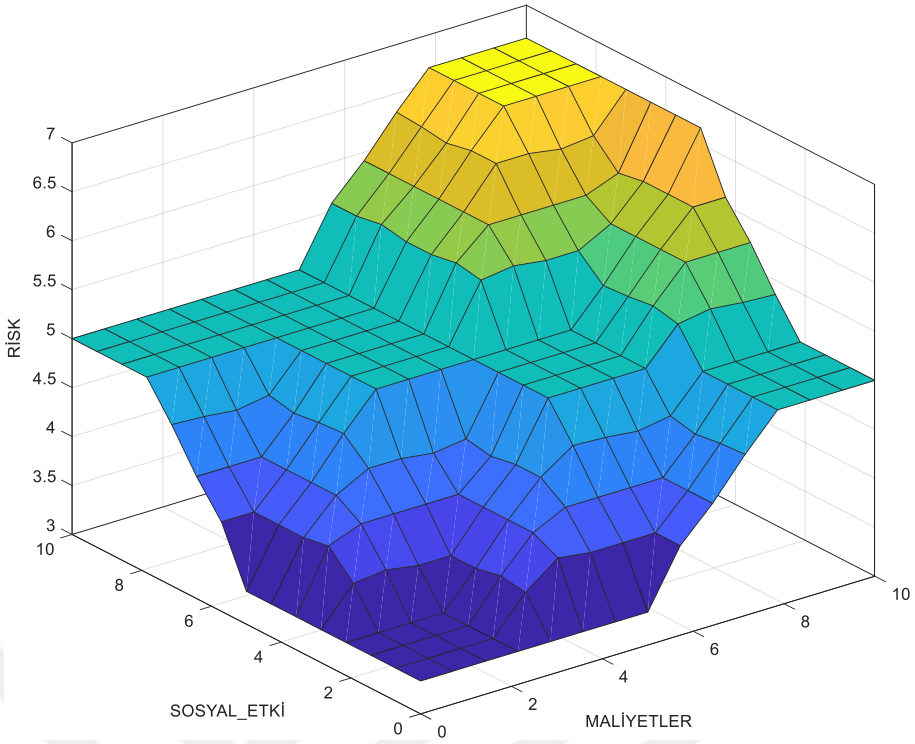
Bileşenin gerçekleşme olasılığının düşük ve gelir kayıplarının çok yüksek olmaması halinde risk seviyesi su idaresi için önemli bir risk oluşturmamaktadır. Düşük olasılıkla meydana gelebilecek ancak yüksek gelir kayıplarına neden olacak bileşenlerin su idaresi için bir risk oluşturabileceğini göstermektedir. Su idareleri yüksek gelir kaybına sahip olan bileşenlerinin daha yüksek risk seviyesine sahip olacağı sonucunu göz önünde bulundurarak bileşenleri değerlendirmeye tabi tutmalıdır.

Bayes Olasılık ve Sosyal Etki giriş değişkenlerinin üç boyutlu yüzey grafiğinde; Bayes Olasılık ve Sosyal Etki değişkenlerinin düşük olması durumunda risk seviyesinin (0-4) aralığında en düşük seviyelerde olduğu, Bayes Olasılığının düşük Sosyal Etkinin yüksek olduğu durumda risk seviyesinin (4.5-5) aralığında orta seviyelerde seyrettiği, Bayes Olasılık ve Sosyal Etkinin yüksek olduğu durumda ise risk seviyesinin de en yüksek seviyeye ulaştığı gözlemlenmektedir.

Bileşenin gerçekleşme olasılığı ve sosyal etkisinin düşük olması risk seviyesinin su idaresi için bir risk teşkil etmeyecek kadar düşük olduğunu ortaya koymaktadır. Bileşenin gerçekleşme olasılığının düşük olmasına rağmen sosyal etkisinin yüksek olması düşük ihtimalle gerçekleşebilecek bileşenlerin toplumda bir etki yaratabileceğinden kaynaklı su idaresi için bir risk teşkil edeceği sonucunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, su idareleri yüksek seviyede olan sosyal etki bileşenlerinin daha yüksek risk seviyesine sahip olacağı sonucunu göz önünde bulundurarak bileşenleri değerlendirmelidir.


RİSK
7
6.5
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
10
8
6
4
2
0
BAYES_OLASILIK
0
2
4
6
8
10
MALİYETLER

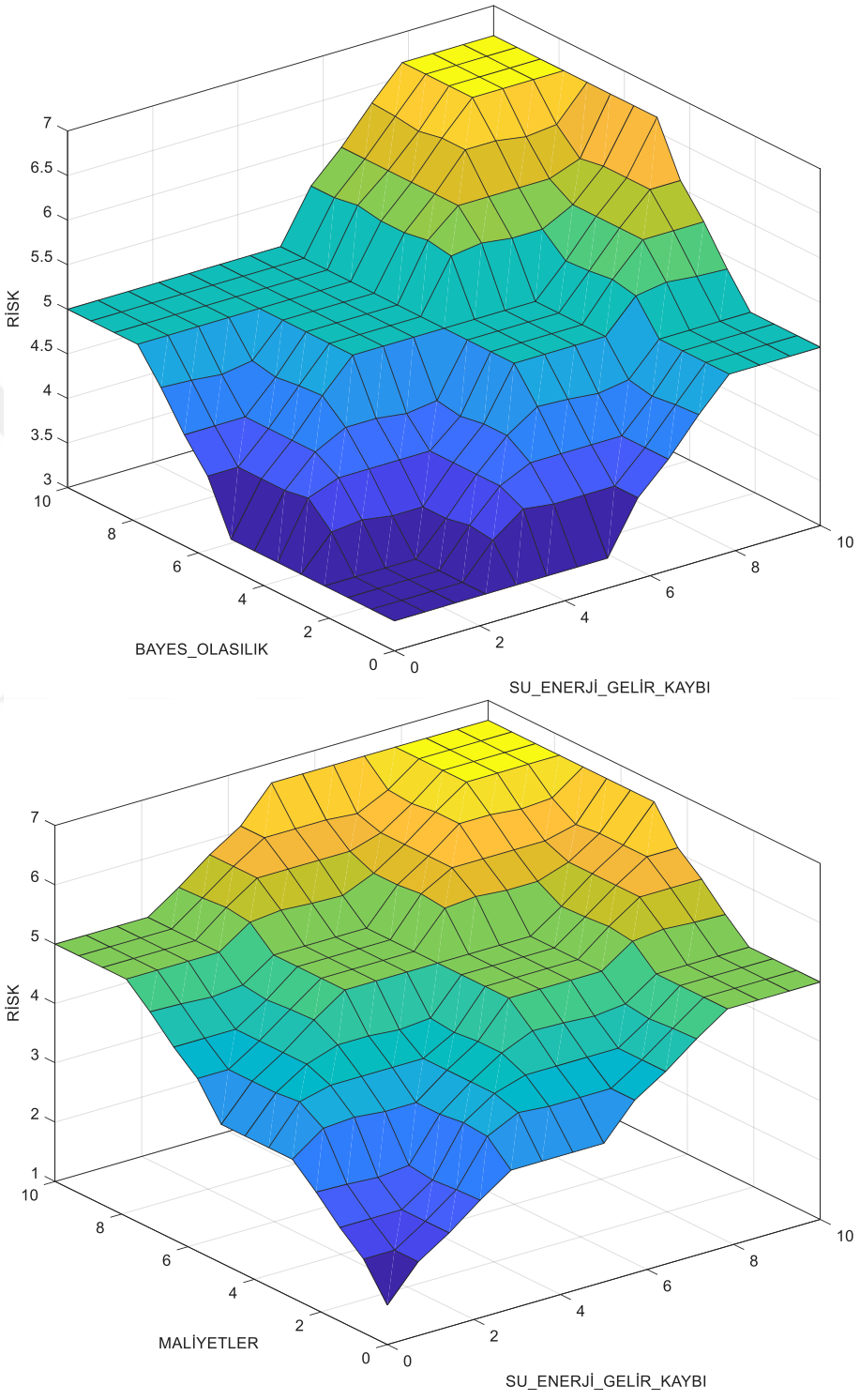

RİSK
7
6
5
4
3
2
1
10
8
6
4
2
0
SU_ENERJİ_GELİR_KAYBI
0
2
4
6
8
10
MALİYETLER

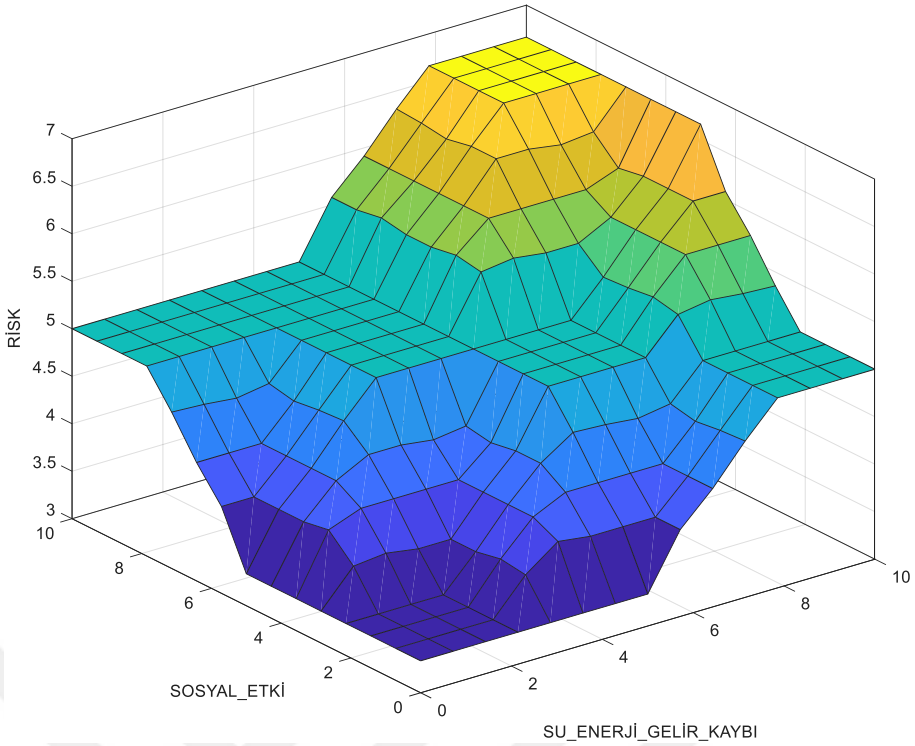


Şekil 5.38: Bulanık mantık modelinin kontrol yüzeyinde Maliyetler-Olasılık, Maliyetler-Su Enerji Gelir Kaybı ve Maliyetler-Sosyal Etki değişkenlerinin Risk değişkeni üzerinde etkileri.

Şekil 5.38'de yer alan yüzey grafiklerinde, x eksenindeki Maliyetler ile y eksenindeki Bayes Olasılık, Su-Enerji-Gelir Kaybı ve Sosyal Etki değişkenlerinin z eksenindeki riske göre etkileri gözlemlenmektedir. Maliyetler ve Bayes Olasılık giriş değişkenlerinin üç boyutlu yüzey grafiğinde; Maliyetler ve Bayes Olasılık değişkenlerinin seviyelerinin düşük olması durumunda risk değerinin en düşük seviyede olduğu, Bayes Olasılığın düşük Maliyetlerin yüksek olduğu durumda finansal risk etkisi nedeniyle risk değerinin yükseldiği, Bayes Olasılık ve Maliyetlerin birlikte yüksek olduğu durumda ise risk değerinin maksimum seviyeye ulaştığı gözlemlenmektedir. Maliyetler ve Su-Enerji-Gelir Kaybı giriş değişkenlerinin üç boyutlu yüzey grafiğinde; Maliyetler ve Su-Enerji-Gelir Kaybı değişkenlerinin sıfıra yakın olduğu bölgelerde risk değerinin en düşük seviyede olduğu, bir değişkenin düşük diğerinin daha yüksek olduğu durumlarda risk seviyesinin orta seviyelerde seyrettiği ve sert artışlar yerine kademeli daha yumuşak artış gösterdiği, Maliyetler ve Su-Enerji-Gelir Kaybının birlikte yüksek olduğu durumda ise risk değerinin maksimum seviyeye ulaştığı gözlemlenmektedir. Maliyetler ve Sosyal Etki giriş değişkenlerinin üç boyutlu yüzey grafiğinde; Maliyetler ve Sosyal Etki değişkenlerinin seviyelerinin düşük olması durumunda risk değerinin en düşük seviyede olduğu, Maliyetlerin düşük Sosyal

Etkinin yüksek olduğu durumda sosyal etki nedeniyle risk değerinde yükselme olduğu, Maliyetler ve Sosyal Etkinin birlikte yüksek olduğu durumda ise risk seviyesinin de yükseldiği ancak belirli bir noktadan sonra bu artışın doygunluğa ulaştığı gözlemlenmektedir.

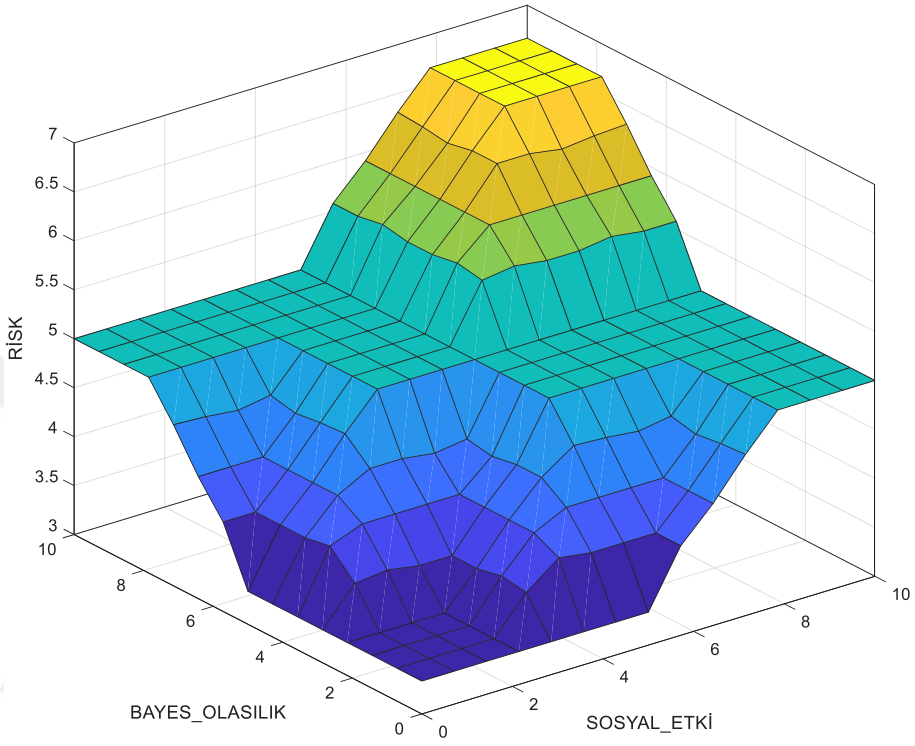


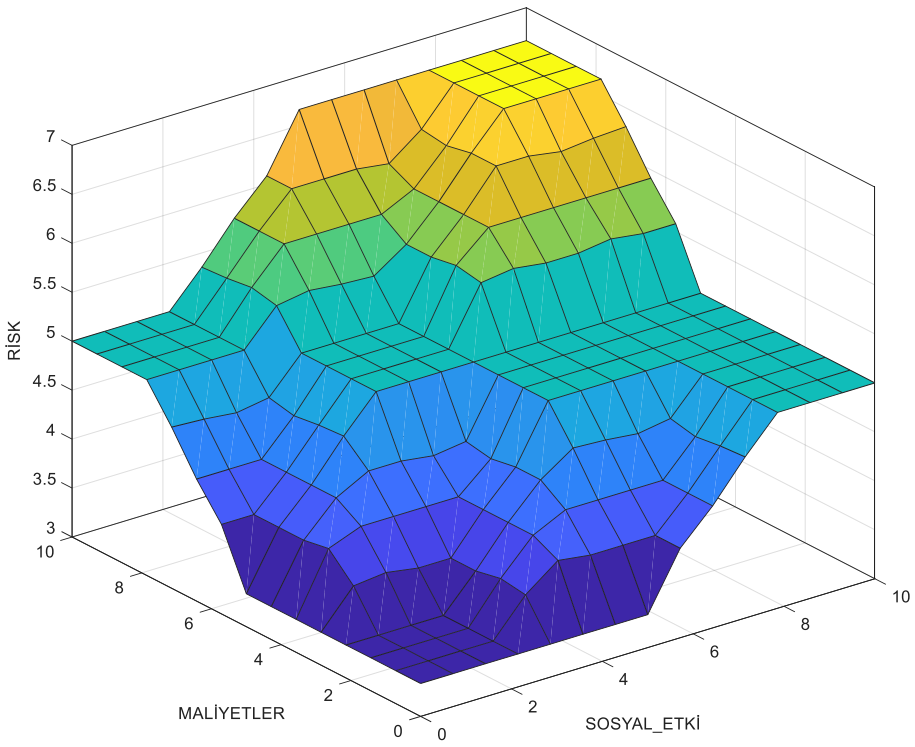


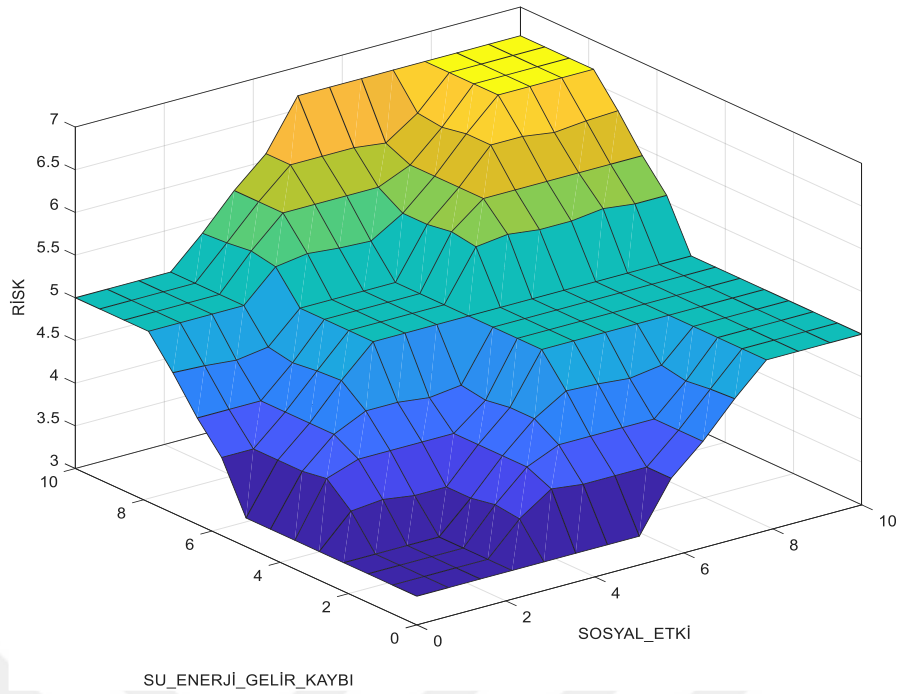
Şekil 5.39: Bulanık mantık modelinin kontrol yüzeyinde Su Enerji Gelir Kaybı-Olasılık, Su Enerji Gelir Kaybı-Maliyetler ve Su Enerji Gelir Kaybı-Sosyal Etki değişkenlerinin Risk değişkeni üzerinde etkileri.

Şekil 5.39'da yer alan yüzey grafiklerinde, x eksenindeki Su-Enerji-Gelir Kaybı ile y eksenindeki Bayes Olasılık, Maliyetler ve Sosyal Etki değişkenlerinin z eksenindeki riske göre etkileri gözlemlenmektedir. Su, Enerji, Gelir Kaybı ve Bayes Olasılık giriş değişkenlerinin üç boyutlu yüzey grafiğinde; Su, Enerji, Gelir Kaybı ve Bayes Olasılık değişkenlerinin seviyelerinin düşük olması durumunda risk değerinin en düşük seviyede olduğu, bir değişkenin düşük diğerinin daha yüksek olduğu durumlarda risk seviyesinin belirli bir bölgeye (4.5-5) kadar yükseldiği daha sonra plato etkisi gösterdiği, Su, Enerji, Gelir Kaybı ve Maliyetlerin birlikte yüksek olduğu durumda ise finansal etki ve kayıplar nedeniyle risk değerinin maksimum seviyeye ulaştığı gözlemlenmektedir. Su, Enerji, Gelir Kaybı ve Maliyetler giriş değişkenlerinin üç boyutlu yüzey grafiğinde; Su, Enerji, Gelir Kaybı ve Maliyetler değişkenlerinin seviyelerinin düşük olması durumunda risk değerinin en düşük seviyede sıfıra yakın bir bölgede olduğu, Su, Enerji, Gelir Kaybı ve Maliyetler değişkenlerinin seviyelerinin yükselmesi durumunda risk seviyesinin de kademeli olarak yükseldiği, Su-Enerji-Gelir Kaybı ve Maliyetlerin birlikte yüksek olduğu durumda ise risk değerinin en yüksek seviyeye ulaştığı ve bu seviyede plato etkisi gösterdiği gözlemlenmektedir. Su, Enerji, Gelir Kaybı ve Sosyal Etki giriş değişkenlerinin üç boyutlu yüzey grafiğinde; Su, Enerji, Gelir Kaybı ve Sosyal Etki değişkenlerinin seviyelerinin düşük

olması durumunda risk değerinin en düşük seviyede olduğu, bir değişkenin düşük diğerinin daha yüksek olduğu durumlarda risk seviyesinin orta seviyelerde seyrettiği ve plato etkisi gösterdiği, Su, Enerji, Gelir Kaybı ve Sosyal Etki değişkenlerinin birlikte yüksek olduğu durumda ise risk seviyesinin de yükseldiği ve artışın doygunluğa ulaştığı gözlemlenmektedir.







Şekil 5.40: Bulanık mantık modelinin kontrol yüzeyinde Sosyal Etki-Olasılık, Sosyal Etki-Maliyetler ve Sosyal Etki-Su Enerji Gelir Kaybı değişkenlerinin Risk değişkeni üzerinde etkileri.

Şekil 5.40'ta yer alan yüzey grafiklerinde, x eksenindeki Sosyal Etki ile y eksenindeki Bayes Olasılık, Maliyetler ve Su-Enerji-Gelir Kaybı değişkenlerinin z eksenindeki riske göre etkileri gözlemlenmektedir. Sosyal Etki ve Bayes Olasılık giriş değişkenlerinin üç boyutlu yüzey grafiğinde; Sosyal Etki ve Bayes Olasılık değişkenlerinin seviyelerinin düşük olması durumunda risk değerinin de düşük seviyelerde seyrettiği, Sosyal Etki ve Bayes Olasılık değişkenlerinin seviyelerinin yükselmesi durumunda risk seviyesinin de kademeli olarak yükseldiği ve (4-5) aralığında plato etkisi gösterdiği, Sosyal Etki ve Bayes Olasılığın birlikte yüksek olduğu durumda risk seviyesinde de önemli bir artış olduğu gözlemlenmektedir. Sosyal Etki ve Maliyetler giriş değişkenlerinin üç boyutlu yüzey grafiğinde; Sosyal Etki ve Maliyetler değişkenlerinin sıfıra yakın olduğu bölgelerde risk değerinin en düşük seviyede olduğu, bir değişkenin düşük diğerinin daha yüksek olduğu durumlarda risk seviyesinin orta seviyelerde seyrettiği ve sert artışlar yerine kademeli daha yumuşak artış gösterdiği, Sosyal Etkinin orta Maliyetler değişkeninin maksimum olduğu noktadan itibaren risk seviyesinin de maksimum seviyeye ulaştığı gözlemlenmektedir. Sosyal Etki ve Su, Enerji, Gelir Kaybı giriş değişkenlerinin üç boyutlu yüzey grafiğinde; Sosyal Etki ve Su, Enerji, Gelir Kaybı giriş değişkenlerinin seviyelerinin düşük olması durumunda risk değerinin de düşük seviyelerde seyrettiği, Sosyal Etki ve Su, Enerji, Gelir Kaybı değişkenlerinin seviyelerinin yükselmesi durumunda risk seviyesinin de kademeli

olarak yükseldiği (4-5) aralığında plato etkisi gösterdiği, Sosyal Etkinin orta Su, Enerji, Gelir Kaybı değişkeninin maksimum olduğu noktadan itibaren risk seviyesinin de maksimum seviyeye ulaştığı gözlemlenmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Azalan su kaynaklarıyla beraber abonelerin artan su taleplerine karşılık yeni kaynak sağlama maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle su idareleri iletim ve dağıtım hatlarında meydana gelen yüksek miktardaki su kayıp oranlarını azaltılmayı ve su kaynaklarını daha verimli ve planlı bir şekilde kullanmayı amaçlamalıdır. Fiziksel ve idari su kayıpları su idarelerinin abonelerin su taleplerini karşılamasını zorlaştırmakla birlikte yüksek işletme, bakım ve onarım maliyetleri nedeniyle finansal sürdürülebilirliğini ciddi şekilde etkilemektedir. Su idareleri idari kayıplar sonucu faturalandırılamayan her bir metreküp su için gelir elde etme fırsatını da kaybetmektedir. İdarelerin yaşamış oldukları bu kayıpların yönetilebilmesi amacıyla bu çalışmada idari su kayıpları tüm yönleriyle incelenip İdari Kayıp Yönetimi, İdare Yönetim, Ekonomik Analiz, Su Dengesi Bileşenleri, Veri Yönetimi ve Performans İzleme başlıkları altında kategorize edilen 72 adet etkili bileşen belirlenmiştir.

Belirlenen bu bileşenlerin performansının incelenmesinde su idarelerinin idari kayıp yönetiminde bileşenler arasında karar verme süreçlerini kolaylaştırmak, sürdürülebilirliği ve ekonomik faydayı sağlamak amacıyla AHP, ANP ve TOPSIS olmak üzere çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılmıştır. İdari kayıp bileşenlerinin karar süreçlerinde karşılaştırılabilmesi ve aralarında önceliklendirilebilmesi için Ekonomik, Sosyal, Çevresel, İdari/Yönetim ve Sosyo Ekonomik kategorileri altında İlk Yatırım Maliyeti, İşletme Maliyeti, Gelir Artırımı, Gelir Kaybı Riski, Verimlilik, Yöntem Uygulanabilirliği, Sosyal Etki, Suyun Korunması, Ödeyebilirlik, Faydalı Ömür Süresi ve Sosyal Etki olmak üzere 10 adet değerlendirme kriteri belirlenmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, belirlenen kriterlerin AHP ve ANP yöntemleri ile genel ağırlıkları elde edilip birbirleri ile kıyaslanarak bileşenler arasında tercih yapılmasını kolaylaştırmak amacıyla TOPSIS yöntemi ile bileşenler pozitif ve negatif ideal çözümlere olan yakınlıklarına göre sıralanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, Bayes Ağları oluşturularak bileşenlerin gerçekleşme olasılıkları ve olasılıksal analiz ile idari kayıp bileşenleri arasındaki risk hesaplanmıştır. Çalışmada son aşamada, bayes olasılıkla elde edilen olasılık değerlerine göre belirlenen dilsel ifadeler kullanılarak idari kayıp bileşenlerinin gerçekleşmesi durumunda oluşturacağı riskleri sınıflandıran olasılığa dayalı risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir.

Kriterlerin AHP ve ANP yöntemleri ile ağırlıklandırılması sürecinde "Super Decisions" paket programı kullanılmıştır. Karar vericilerin yapmış oldukları

puanlandırmalara göre kriter ve kategorilerin birbirlerine göre üstünlükleri paket programla elde edilmiştir.

AHP yöntemi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde;

- Çevresel kategorinin 0.42734, Ekonomik kategorinin 0.23937, İdari-Yönetim kategorinin 0.17335 olarak en yüksek puanları aldığı, Sosyo-Ekonomik kategorinin 0.10437 ve Sosyal kategorinin 0.05558 olarak en düşük puanları aldığı görülmektedir.

Kategori ağırlıklarının elde edilmesi ile kategori içerisindeki kriterlerin ağırlıkları ikili karşılaştırma matrisleri aracılığıyla hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde;

- Kriterlerin önem ağırlıkları sırasıyla %43 Suyun Korunması (C5), %13 Verimlilik (C6), %11 İşletme Maliyeti (C3), %10 Ödeyebilirlik (C8), %6 İlk Yatırım Maliyeti (C2) ve Sosyal Etki (C4), %4 Gelir Artırımı (C1) ve Yöntem Uygulanabilirliği (C7), %2 Faydalı Ömür Süresi (C10), %1 Gelir Kaybı Riski (C9) olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlardan Çevresel ve ekonomik kategorilerine sahip kriterlerin sürdürülebilir bir idari kayıp yönetimi için etkin bir öneme sahip olduğu saptanmıştır.

ANP yöntemi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde;

- Çevresel kategorinin 0.37280, Ekonomik kategorinin 0.28039, İdari-Yönetim kategorinin 0.15597 olarak en yüksek puanları aldığı, Sosyo-Ekonomik kategorinin 0.12840 ve Sosyal kategorinin 0.06243 olarak en düşük puanları aldığı görülmektedir.

ANP yöntemi ile kategori ağırlıklarının belirlenmesiyle birlikte kategorilere bağlı olan kriter ağırlıkları incelendiğinde;

- Kriterlerin önem ağırlıkları sırasıyla %21 Ödeyebilirlik (C8), %18 Suyun Korunması (C5), %11 Gelir Artırımı (C1) ve Sosyal Etki (C4), %10 Yöntem Uygulanabilirliği (C7), %9 İşletme Maliyeti (C3), %7 Verimlilik (C6), %5 İlk Yatırım Maliyeti (C2) ve Gelir Kaybı Riski (C9), %3 Faydalı Ömür Süresi (C10) olarak elde edilmiştir.

AHP ve ANP yöntemleri ile elde edilen kriter ağırlıkları incelendiğinde AHP yöntemine göre kriter ağırlıkları büyükten küçüğe doğru sırasıyla C5, C6, C3, C8, C2, C4, C7, C1, C10 ve C9 iken, ANP yöntemine göre ise C8, C5, C4, C1, C7, C3, C6, C2, C9 ve C10 şeklindedir. Her iki yöntemle belirlenen kriter ağırlıkları arasındaki farklılıklar AHP'de bir kategoride bulunan kriterin diğer kategorilerde bulunan kriterlerle olan ilişkisi dikkate alınmayarak hesaplama yapılmasından kaynaklanmaktadır. Sonuçlar, kategori bazında

incelendiğinde AHP ve ANP yöntemlerinde Çevresel, Ekonomik ve İdari-Yönetim kategorilerinin en etkili kategoriler olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında önceliklendirilmek istenen 72 adet idari kayıp bileşeninin TOPSIS yöntemi kullanılarak AHP ve ANP yöntemlerinden elde edilen kriter ağırlıklarına göre önem sıralaması yapılmıştır. 72 adet bileşen karar verici uzmanlar tarafından 10 adet kritere göre puanlandırılmış ve her uzman tarafından yapılan puanlandırmaların geometrik ortalamaları alınarak 72 satır ve 10 sütundan oluşan TOPSİS karar matrisi elde edilmiştir. Karar matrisi normalize edilerek ağırlıklandırılmıştır. Çalışmada iki farklı yöntem ile iki önem ağırlığı belirlendiği için AHP-TOPSİS ve ANP-TOPSİS olmak üzere iki ayrı sıralama elde edilmiştir. 72 adet bileşenin her iki ağırlıklandırma yöntemine göre TOPSIS öncelik sıralaması incelendiğinde ilk 5 sıradaki bileşenlerden D5, D13, D19, D35 olmak üzere 4 adetinin, ilk 25 sıradaki bileşenlerden ise 22 adetinin aynı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sıralamalarda bileşenlerin yakınlık puanlarında farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir.

İdari su kayıplarının var olması halinde su idarelerine Maliyetler, Su-Enerji-Gelir Kaybı ve Sosyal Etki açısından göz ardı edilemeyecek seviyede sonuçları olmaktadır. Bu kayıplara karşılık çalışmanın bu aşamasında Hugin Lite yazılımında Bayes ağları kullanılarak bileşenlerin gerçekleşme olasılıkları hesaplanmıştır. İdari kayıpları doğrudan etkilediği düşünülen 22 bileşen Veri Ölçüm ve Yönetimi, Sayaç Yönetimi, Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar ve Kaçak Kullanımlar ana başlıkları altında gruplandırılmıştır. Olasılık hesaplamaları sonucunda ana bileşenler arasında en büyük olasılığa %69.89 ile Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) ve Sayaç Yönetimi (MM) sahip olmuştur. Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM) ana bileşeni altında en yüksek olasılığa "Sistem Giriş Debisinin Düzenli Ölçülmemesi veya Hatalı Ölçülmesi (IMSI)" bileşeninin olduğu, Sayaç Yönetimi (MM) ana bileşeni altında en yüksek olasılığa "Ortalama Sayaç Yaşının Yüksek Olması (HAMA)" ve "Abone Sayaç Hatasından Kaynaklanan Kayıpların Yüksek Olması (HLME)" bileşenlerinin olduğu, Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU) ana bileşeni altında en yüksek olasılığa "Yasal Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanılmaların Fazla Olması (HUUL)" bileşeninin olduğu, Kaçak Kullanım (IU) ana bileşeni altında en yüksek olasılığa "Kaçak Kullanımdan Kaynaklı Kayıpların Fazla Olması (HLIU)" sahip olduğu belirlenmiştir.

Bayes Teoremi ile gerçekleşme olasılıkları hesaplanan bileşenlerin ağ yapısını nasıl etkilediğini görebilmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Hesaplanan Duyarlılık İndeksleri (DI) incelendiğinde yüksek öncelikten düşük önceliğe sahip parametreler sırasıyla İdari

Kayıplar (AL) için sırasıyla; %20 ile Kaçak Kullanım (IU), %19 ile Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU), %18 ile Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM), %13 ile Sayaç Yönetimi (MM) olarak elde edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, belirlenen bileşenlerin herhangi birinin ya da birkaçının aynı anda gerçekleşmesi halinde oluşabilecek riskleri değerlendirmek ve etkilerini tahmin edebilmek amacıyla MATLAB yazılımında Fuzzy Logic Toolbox ile bir risk modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan risk modelinde Bayes ağları ile hesaplanan olasılıklar dikkate alınarak bileşenlerin gerçekleşmesi durumunda Maliyetler, Su-Enerji-Gelir Kaybı ve Sosyal Etki açısından etkileri analiz edilmiştir. Olasılık, Maliyetler, Su-Enerji-Gelir Kaybı ve Sosyal Etki değişkenlerinin yüzey grafikleri ile bileşenler üzerinde etkileri incelenmiş ve risk seviyeleri analiz edilerek sınıfları belirlenmiştir. Özellikle Olasılık, Maliyetler ve Su-Enerji-Gelir Kaybı değişkenlerinin yüksek seviyede olduğu durumlarda risk seviyesinin de yükseldiği, düşük seyretmesi durumunda ise risk değerinin de düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak Maliyetler, Su-Enerji-Gelir Kaybı ve Sosyal Etki değişken seviyelerinin korunması riskin azalmasına yardımcı olurken bu değerlerin yüksek seviyede olması riskin artmasına yol açmaktadır. Yapılan bu çalışma su idarelerinin idari su kayıpları için strateji planlamalarına rehberlik ederek sürdürülebilir entegre su kayıp yönetim planlarını belirlemelerine yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

Akdeniz, T., & Muhammetoğlu, H. (2023). Türkiye'de Kentsel Su Dağıtım Şebekelerinde İdari Su Kayıplarının Değerlendirilmesi, *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik,* 24(1), 1-6.

Akkaptan, A. (2012). *Hayvancılıkta bulanık mantık tabanlı karar destek sistemi* [Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

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

Altaş, İ. H. (1999). Bulanık mantık: Bulanıklılık kavramı. *Enerji Elektrik Elektromekanik-3e*, (62), 80–85.

Aşchilean, I., Badea, G., Giurca, I., Naghiu, G. S., & Iloaie, F. G. (2017). Choosing the optimal technology to rehabilitate the pipes in water distribution systems using the AHP method. *Energy Procedia, 112*, 19–26. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1109

Aşchilean, I., & Giurca, I. (2018). Choosing a water distribution pipe rehabilitation solution using the analytical network process method. *Water (Switzerland), 10*(4), 484. https://doi.org/10.3390/w10040484

Bayazit, O. (2006). Use of analytic network process in vendor selection decisions. Benchmarking: An International Journal, 13(5), 566–579. https://doi.org/10.1108/14635770610690410

Bayes' theorem—Statistics and data science. *Theory and Practice*. (t.y.).Erişim:28 Ocak 2025, https://theoryandpractice.org/stats-ds-book/bayes_theorem.html

Baykal, N., & Beyan, T. (2004). *Bulanık mantık: İlke ve temelleri*. Bıçaklar Kitabevi.

Behzadian, M., Khanmohammadi Otaghsara, S., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications, 39*(17), 13051–13069. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056

Beker, B. A., & Kansal, M. L. (2022). Fuzzy logic-based integrated performance evaluation of a water distribution network. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, 71*. https://doi.org/10.2166/aqua.2022.004

Bingöl, O. (2006). Üç seviyeli evirici ile bir asenkron motorun bulanık mantık tabanlı vektör kontrolü. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10*(3), 452–459.

Bouchraki, F., Hamchaoui, S., & Berreksi, A. (2023). Planning methodology for effective implementation of the rehabilitation policy for drinking water networks. *Water Policy, 25*(7), 680–700. https://doi.org/10.2166/wp.2023.277

Bozkurt, C., Firat, M., Yılmaz, S. (2022). Sürdürülebilir idari kayıp yönetiminde abone sayaç yönetim bileşenleri için performans göstergeleri. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 34*(2), 601–607. https://doi.org/10.35234/fumbd.1102568

Canto Ríos, J., Santos-Tellez, R. U., Hansen Rodríguez, P., Antúnez Leyva, E., & Nava Martínez, V. (2014). Methodology for the identification of apparent losses in water distribution networks. *Procedia Engineering, 70*, 238–247. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.027

Chakrabarty, A., Mannan, S., & Cagin, T. (2016). Equipment failure. In *Multiscale modeling for process safety applications* (pp. 309–338). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396975-0.00007-3

Chen, C. T., Lin, C. T., & Huang, S. F. (2005). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 1–13.

Chen, C.-T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems, 114*(1), 1–9. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1

Chou, Y. C., Hsu, Y. Y., & Yen, H. Y. (2008). Human resources for science and technology: Analyzing competitiveness using the analytic hierarchy process. *Technology in Society, 30*(2), 141–153. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2007.12.007

Criminisi, A., Fontanazza, C. M., Freni, G., & La Loggia, G. (2009). Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply. *Water Science and Technology, 60*(9), 2373–2382. https://doi.org/10.2166/wst.2009.423

Dadone, P. (2001). *Design optimization of fuzzy logic systems* (Doctoral dissertation) Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg.

Dağdeviren, M., Erslan, E., Kurt, M., & Dizdar, E. N. (2005). T edarikçi seçimi problemine analitik ağ süreci ile alternatif bir yaklaşım. *Technology, 8*(1–2), 115–122.

Demirci, A. E. (2018). *An integrated approach based on ANP, DEMATEL and ELECTRE methodologies for personnel selection and an application in industry* (Yüksek lisans tezi), Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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.

Ecer, F., & Dündar, S. (2009). Analitik ağ süreci yöntemiyle cep telefonu seçimi. *İşletme Fakültesi Dergisi, 10*(2), 153–170.

Elmas, Ç. (2003). *Bulanık mantık denetleyiciler*. Seçkin Yayıncılık.

Eren, H., Bozkurt, C., & Firat, M. (2025). Determination of weights and priority ranking of leakage management components in water distribution systems using analytical hierarchy process, analytical network process and TOPSIS methods. *Iranian Journal of Science and Technology, 1*(1), 1–12. https://doi.org/10.1007/s40996-024-01706-0

Ersöz, F., Kabak, M., & Yılmaz, Z. (2011). Lisanüstü öğrenimde ders seçimine yönelik

bir model önerisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İİBF Dergisi, 13*(2), 227–249.

Ertuğrul, İ. (2006). Akademik performans değerlendirmede bulanık mantık yaklaşımı. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 20*(1), 155–176.

Fanner P, Thornton J, Liemberger R, S. R. (2007). Evaluating water loss and planning loss reduction strategies. AWWA Research Foundation; IWA Publishing.

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., 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 Berhad and USAID Malaysia.

González-Gómez, F., García-Rubio, M. A., & Guardiola, J. (2011). Why is non-revenue water so high in so many cities? *International Journal of Water Resources Development, 27*(2), 345–360. https://doi.org/10.1080/07900627.2010.548317

González-Mejía, A., Vance, L., Eason, T., & Cabezas, H. (2015). Recent developments in the application of Fisher information to sustainable environmental management. In *Assessing and measuring environmental impact and sustainability* (pp. 25–72). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799968-5.00002-6

Gülcan, B. (2012). B*ulanık Doğrusal Programlama ve Bir Bisküvi İşletmesinde Optimum Ürün Formülü Oluşturma* (Yüksek lisans tezi), Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karaman.

Güvenç, U., Sönmez, Y., & Biroğul, S. (2007). Bulanık mantık denetimli DA-DA çeviricileri için geliştirilen bir eğitim seti. *Politeknik Dergisi, 10*(4), 339–346.

Hassoun Nedjar, N., Djebbar, Y., & Djemili, L. (2023). pplication of the analytical hierarchy process for planning the rehabilitation of water distribution networks. *Arab Gulf Journal of Scientific Research, 41*(4), 518–538. https://doi.org/10.1108/AGJSR-07-2022-0110

Hwang, C.-L., & Yang, C. C. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications* (Vol. 186). Springer-Verlag.

Karakaşoğlu, N. (2008). *Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ve uygulama* (Yüksek lisans tezi), Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.

Karal, Ö. (2004). *Java ortamında bulanık mantık kontrol: Kamyon yükleme-boşaltma uygulaması* (Yüksek lisans tezi), Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Karasneh, S., & Moqbel, S. (2024). Priority-based decision model for rehabilitation of water networks using FAHP. *Water Conservation & Management, 8*(1), 37–46. https://doi.org/10.26480/wcm.01.2024.37.46

Kasabov, N. K. (1998). *Foundations of neural networks, fuzzy systems and knowledge*

engineering. MIT Press.

Lai, Y. J., & Hwang, C. L. (1992). Fuzzy mathematical programming. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48753-8

Lambert, A. (2003). Assessing non-revenue water and its components: A practical approach. *Magazine of the International Water Association, 21,* 51-52.

Lambert, A., & Hirner, W. (2000). *Losses from water supply systems: Standard terminology and recommended performance measures*. International Water Association.

Liemberger, R., & Farley, M. (2004). Developing a non-revenue water reduction strategy Part 1: Investigating and assessing water losses. In *Proceedings of the IWA 4th World Water Congress and Exhibition*, Marrakech, Morocco, September 19–24, 1–10.

Lin, C. T., & Tsai, M. C. (2010). Location choice for direct foreign investment in new hospitals in China by using ANP and TOPSIS. Annals of Operations Research, 44, 375–390.

Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies, 7*(1), 1–13. https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2

McKenzie, R., & Seago, C. (2005). Assessment of real losses in potable water distribution systems: Some recent developments. *Water Science and Technology: Water Supply, 5*(1), 33–40. https://doi.org/10.2166/ws.2005.0005

Meade, L. M., & Sarkis, J. (1999). Analyzing organizational project alternatives for agile manufacturing processes: An analytical network approach. *International Journal of Production Research, 37*(2), 241–261. https://doi.org/10.1080/002075499191751

Mendel, J. M. (1995). Fuzzy logic systems for engineering: A tutorial. *Proceedings of the IEEE, 83*(3), 345–377. https://doi.org/10.1109/5.364485

Mokhtari, M., & Sarraf, A. R. A. (2023). Loss management strategies of drinking water in water distribution network of Isfahan City. *Water and Wastewater Journal, 34*(1), 96–109. https://doi.org/10.22093/wwj.2022.345439.3262

Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., & Vairavamoorthy, K. (2011a). Assessment of apparent losses in urban water systems. *Water and Environment Journal, 25*(3), 327–335. https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2010.00225.x

Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., & Vairavamoorthy, K. (2011b). Multi-criteria decision analysis: A strategic planning tool for water loss management. *Water Resources Management, 25*, 3945–3966. https://doi.org/10.1007/s11269-011-9896-9

Ncube, M., & Taigbenu, A. (2019). Assessment of apparent losses due to meter inaccuracies. *Water SA, 45*(2), 174–182.

Oğuzlar, A. (2007). Analitik hiyerarşi süreci ile müşteri şikayetlerinin analizi. *Akdeniz Üniversitesi İİBF Dergisi, 14*, 122–134.

Ödük, M. N. (2020). *Bulanık kontrol yöntemiyle sera otomasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Ömürbek, N., Demirci, N., & Akalin, P. (2013). A Analitik ağ süreci ve TOPSIS yöntemleri ile bilimdalı seçimi. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi, 5*(9), 118–140.

Özbek, A., & Eren, T. (2013). Analitik ağ süreci yaklaşımıyla üçüncü parti lojistik (3PL) firma seçimi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 27*(1), 1–13.

Özek, A., & Sinecen, M. (2004). Klima sistem kontrolünün bulanık mantık ile modellenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10*(3), 353–358.

Pagano, A., Giordano, R., & Vurro, M. (2021). A decision support system based on AHP for ranking strategies to manage emergencies on drinking water supply systems. *Water Resources Management, 35*(2), 613–628. https://doi.org/10.1007/s11269-020-02741-y

Pamukçu, B. (2004). *Analitik ağ süreci ve bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Papathanasiou, J., & Ploskas, N. (2018). TOPSIS. In J. Papathanasiou & N. Ploskas (Eds.), *Multiple Criteria Decision Aid* (Vol. 136, pp. 1–30). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91648-4_1

Pillay, A., & Wang, J. (2003). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering & System Safety, 79*(1), 69–85. https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00179-5

Prakoso, S. B., & Notodarmojo, S. (2018). Analysis of drinking water supply system improvement using fuzzy AHP (Case study: Subang local water company). *MATEC Web of Conferences, 147*, Article 04002.

Rimeika, M., & Albrektienn, R. (2014). Analysis of apparent water losses, case study. In *9th International Conference "Environmental Engineering"*. https://doi.org/10.3846/enviro.2014.090

Rizzo, A., Galea StJohn, S., & Riolo, S. (2007). Apparent water loss control: The way forward.Water 21(9), 45–47

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

Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.

Saaty, T. L. (1984). The analytic hierarchy process: Decision making in complex environments. In R. Avenhaus & R. K. Huber (Eds.), *Quantitative Assessment in Arms Control: Mathematical Modeling and Simulation in the Analysis of Arms Control Problems* (pp. 285–308). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2805-6_12

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process – What it is and how it is used.

Mathematical Modelling, 9(3–5), 161–176. https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8

Saaty, T. L. (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. RWS Publications.

Saaty, T. L. (1996). *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process*. RWS Publications.

Saaty, T. L. (1999). Fundamentals of the analytic network process. *Proceedings of the ISAHP 1999 Symposium*, 12–14.

Saaty, T. L. (2005). *Theory and applications of the analytic network process: Decision making with benefits, opportunities, costs, and risks*. RWS Publications

Saaty, T. L. (2006). The analytic network process. In *Decision making with the analytic network process* (pp. 1–26). Springer. https://doi.org/10.1007/0-387-33987-6_1

Saaty, T. L. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making: Why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A. Matemáticas, 102*(2), 251–318.

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2013). Criteria for evaluating group decision-making methods. In *Decision making with the analytic network process* (pp. 295–318). Springer.

Santos, J. M. R. C. A., & Fernandes, G. (2023). Prioritizing stakeholders to boost collaborative R&I projects benefits: An analytic network process approach. *Procedia Computer Science, 219*, 1660–1669. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.459

Sayın, O. (2005). *Çok ölçütlü bir karar problemi olan tayin yeri seçiminde analitik serim süreci kullanımı* (Yüksek lisans tezi), Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Seago, C. J., & McKenzie, R. S. (2007). An assessment of non-revenue water in South Africa. *Water Research Commission Report*.

Secundo, G., Magarielli, D., Esposito, E., & Passiante, G. (2017). **S**upporting decision-making in service supplier selection using a hybrid fuzzy extended AHP approach: A case study. *Business Process Management Journal, 23*(1), 196–222. https://doi.org/10.1108/BPMJ-01-2016-0013

Shapira, A., & Goldenberg, M. (2005). AHP-based equipment selection model for construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management, 131*(12), 1263–1273. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:12(1263)

Silva, J., & Pinto, S. F. (2011). Advanced control of switching power converters. In M. H. Rashid (Ed.), *Power electronics handbook* (3rd ed., pp. 1037–1114). Butterworth-Heinemann.

Sofiane, B., Dounia, M., Sabri, D., Tarek, K., & Yassine, D. (2023). tilizing a combined

Delphi-FAHP-TOPSIS technique to assess the effectiveness of the water supply service in Algeria. *Socio-Economic Planning Sciences, 90*, 101736. https://doi.org/10.1016/J.SEPS.2023.101736

Şekercioğlu, A. (1994). "Bulanık" kümeler. *Matematik Dünyası, 4*(3), 14–18.

Şen, Z. (2020). *Bulanık mantık ilkeleri ve modelleme*. Su Vakfı Yayınları.

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, M., Roozbahani, A., Roghani, B., Faghihi, N. R., & Heydarzadeh, R. (2018). 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, M., 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

Theodoridis, S. (2015). Probability and stochastic processes. In *Machine learning* (pp. 9–51). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801522-3.00002-1

Topaloğlu, F. (2024). Analytic network process (ANP) based decision support tool for nuclear power plant location and reactor type selection. *Nuclear Engineering and Technology*. https://doi.org/10.1016/j.net.2024.09.031

Tzeng, G. H., & Huang, J. J. (2011). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/b11032

Wang, Y.-M., & Elhag, T. M. S. (2006). Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert Systems with Applications, 31*(2), 309–319. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.09.040

Xin, K., Tao, T., Lu, Y., Xiong, X., & Li, F. (2014). Apparent losses analysis in district metered areas of water distribution systems. *Water Resources Management, 28*(3), 683–696. https://doi.org/10.1007/S11269-013-0508-8

Yen, J., & Langari, R. (1999). *Fuzzy logic: Intelligence, control, and information*. Prentice Hall.

Yılmaz, H., & Şahin, M. E. (2023). Bulanık mantık kavramına genel bir bakış. *Takvim-i Vekayi, 11*(1), Article 1.

Yılmaz, M., & Arslan, E. (2007). Geoit yüksekliğin ANFIS ile adım adım hesaplanması. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 1*(96), 31–38.

Yılmaz, S., Firat, M., Bozkurt, C., & Özdemır, Ö. (2021). Identification of the priority regions in the customer water meters replacement using the AHP and ELECTRE methods. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 39*(4), 331–342.

https://doi.org/10.14744/sigma.2021.00022

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control, 8*(3), 338–353. https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X

Zyoud, S. H., & Fuchs-Hanusch, D. (2019). Comparison of several decision-making techniques: A case of water losses management in developing countries. *Journal of Information and Knowledge Management, 18*(5), 1551–1578. https://doi.org/10.1142/S0219622019500275

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

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Furkan ACAR

ÖĞRENİM DURUMU:

Derece	Üniversite	Fakülte-Enstitü	Bölüm-Ana Bilim Dalı
Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi	Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi	İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	İnönü Üniversitesi	Fen Bilimleri Enstitüsü	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

Yıl	Kurum-Kuruluş	Pozisyon
2022-2023	Kuzeyrüzgarı Yapı Denetim Ltd. Şti.	İnşaat Mühendisi
2025-Devam	Teknik Tempo Uluslararası Müh. Müş. A.Ş.	İnşaat Mühendisi

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

Acar, F., Bozkurt, C., & Fırat, M. (2025). AHP Yöntemi ile Öncelikli İyileştirilmesi Gereken Sayaç Hatası Yönetim Bileşenlerinin Tespiti. Journal of Turkish Operations Management, 9(1), 119–129. https://doi.org/10.56554/jtom.1592688

Acar, F., Bozkurt, C., & Fırat, M. (2024). Importance And Evaluation Of Apparent Losses İn Urban Water Management. In Proceedings of the IX. International Health, Engineering and Sciences Congress (pp. 160–169). İzmir, Turkey.

Acar, F., Bozkurt, C., & Fırat, M. (2024). Evaluation Of Economic Analysis, Performance Monitoring, And Data Management Components For Apparent Loss Management İn Water Utilities Using AHP And Fuzzy AHP. In Proceedings of the IX. International Health, Engineering and Sciences Congress (pp. 143–159). İzmir, Turkey.

Acar, F., Bozkurt, C., & Fırat, M. (2024). Sayaç Hatalarından Kaynaklanan İdari Kayıp Bileşenlerinin AAS Yaklaşımı ile Önceliklendirilmesi. In Proceedings of the International Conference on Science, Engineering Management and Information Technology (pp. 337–344). Ankara, Turkey.