



**SU KAYIP VE KAÇAKLARININ TESPİT VE ÖNLEME MALZEME
ÖZELLİKLERİNİN SIRALANMASI: BÜTÜNLEŞİK B-TODİM VE TOPSIS
YÖNTEMİ**

Yağmur ASLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2021

Yağmur ASLAN tarafından hazırlanan “SU KAYIP VE KAÇAKLARINI TESPİT VE ÖNLEME MALZEME ÖZELLİKLERİNİN SIRALANMASI: BÜTÜNLEŞİK B-TODİM VE TOPSIS YÖNTEMİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Kumru Didem ATALAY

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Başkent Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Ramazan ŞAHİN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 21/01/2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Cevriye GENCER

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Yağmur ASLAN

21/01/2021

SU KAYIP VE KAÇAKLARINI TESPİT VE ÖNLEME MALZEME ÖZELLİKLERİNİN SIRALANMASI: BÜTÜNLEŞİK B-TODİM VE TOPSİS YÖNTEMİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Yağmur ASLAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2021

ÖZET

Su, dünya üzerindeki bütün canlıların yaşam kaynağı olup, vazgeçilmez yapısına karşılık yeryüzünde sınırlı miktarda bulunmaktadır. Hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme, tarımsal gelişim ve bilinçsiz kullanım su tüketimini arttırmakta, doğal kaynakların olumsuz kullanımından kaynaklanan iklim değişikliği ve küresel ısınma su kaynaklarının azalmasına neden olmaktadır. Katlanarak artan su talebi ve azalan kaynaklar yeryüzünde mevcut olarak var olan suyun verimli kullanımını ve bütüncül su kaynakları yönetimini elzem kılmaktadır. Su dağıtım şebekelerindeki fiziksel su kayıp ve kaçakları, kullanılabilir özellikteki suların yok olmasındaki en temel nedendir. Su kayıp ve kaçaklarının azaltılması için başlıca adımlar tespit ve önlemedir. Bu çalışmada fiziksel su kayıp ve kaçaklarını tespit ve önlemede kullanılan malzemelerin en uygun şekilde seçimine yönelik bir uygulama yapılmıştır. Malzeme seçimleri ve satın alımlarında kullanılmak üzere, malzeme özellikleri önem sıralaması elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle, ÇKKV yöntemlerinden B-TODİM ile TOPSİS yöntemlerinin bütünleşik kullanımına dayalı yeni bir yaklaşım önerilmiştir. B-TODİM yöntemi ile malzeme özelliklerinin önem sırası elde edilmesinde kullanılacak olan kriter ağırlıkları belirlenmiş olup, elde edilen kriter ağırlıkları TOPSİS yönteminde kullanılarak malzeme özellikleri sıralanmıştır. Alternatif sıralama yapıları oluşturmak ve kıyaslama yapabilmek amacıyla önerilen yaklaşım Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütleri bazında uygulanmış olup her bir malzeme için iki ayrı malzeme özellikleri önem sıralaması önerilmiştir. Bu tez kapsamında, malzeme özelliği önem sıralaması için literatürde ilk defa farklı uzaklık ölçütlerine dayalı bütünleşik B-TODİM ve TOPSİS yöntemi kullanılmıştır.

Bilim Kodu : 90602

Anahtar Kelimeler : Su kayıp ve kaçakları, Bulanık Mantık, B-TODİM, TOPSİS, Uzaklık Ölçütleri

Sayfa Adedi : 85

Danışman : Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK

LISTING MATERIAL PROPERTIES TO DETECT AND PREVENT WATER LOSS
AND LEAKAGE: INTEGRATED F-TODIM AND TOPSIS METHODS

(M. Sc. Thesis)

Yağmur ASLAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2021

ABSTRACT

Water is the source of life for all living beings on earth, and it exists in limited quantities on earth despite its indispensable structure. Rapid population growth, urbanization and industrialization, agricultural development and unconscious use increase water consumption, and climate change and global warming caused by the negative use of natural resources cause water resources to decrease. The exponentially increasing water demand and decreasing resources make efficient use of water available on the earth and integrated water resources management essential. Physical water losses and leaks in water distribution networks are the main reason for the destruction of usable water. The main steps to reduce water loss and leakage are detection and prevention. In this study, an application was made for the most appropriate selection of materials used to detect and prevent physical water losses and leaks. It is aimed to obtain material properties order of importance to be used in material selection and purchasing. Therefore, a new approach based on the integrated use of B-TODIM and TOPSIS methods, one of the MCDM methods, has been proposed. The criterion weights to be used in obtaining the order of importance of the material properties were determined with the B-TODIM method, and the material properties were listed by using the obtained criterion weights in the TOPSIS method. In order to create alternative sorting structures and to make comparisons, the proposed approach was applied on the basis of Euclidean and Manhattan distance criteria, and two different material properties order of importance was proposed for each material. Within the scope of this thesis, for the first time in the literature, integrated B-TODIM and TOPSIS methods based on different distance criteria were used for material property importance ordering.

Science Code : 90602

Key Words : Water loss and lackage, Fuzzy Logic, F-TODIM, TOPSIS, Distance Measurements

Page Number : 85

Supervisor : Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bana hoşgörüsü ve tecrübeleriyle yol gösterip destek olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK'a, bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, ilgi ve alakasını esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Didem Kumru ATALAY'a, saygı ve teşekkürlerimi borç bilirim. Bu süreçte yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma ve tüm eğitim hayatım boyunca manevi destekleriyle yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. SUYA DAİR KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE.....	3
2.1. Bütüncül Su Yönetimi	4
2.2. Dünyada Su Kaynaklarının Mevcut Durumu	5
2.3. Dünyada Su Sorunu ve Yönetimi.....	6
2.4. Türkiye’de Su Yönetimi.....	7
2.4.1. Türkiye’de su kaynakları.....	7
2.4.2. Türkiye’de su yönetimi alanında yürütülen çalışmalar	9
2.4.3. Su yönetiminden sorumlu kurum ve kuruluşlar	10
3. SU KAYIP VE KAÇAKLARI	13
3.1. Su Kayıp ve Kaçak Sınıfları	14
3.2. Dünyada Su Kayıp ve Kaçakları	15
3.3. Türkiye’de Su Kayıp ve Kaçaklarının Durumu.....	17
3.4. Su Kayıp ve Kaçaklarının Nedenleri.....	19
3.5. Su Kayıp ve Kaçaklarının Yönetim ve Önlenmesi	21

	Sayfa
3.6. Türkiye’de Su Kayıp ve Kaçaklarına Yönelik Yapılan Çalışmalar	24
4. MATERYAL VE METOT	29
4.1. Materyal: Fiziki Su Kayıp ve Kaçak Yönetiminde Kullanılan Malzemeler	29
4.1.1. Debimetre	31
4.1.2. Basınç kontrol vanası (BKV)	32
4.1.3. Datalogger (veri kaydedici).....	33
4.1.4. Akustik dinleme mikrofonları	34
4.1.5. Korelatör	35
4.2. Metot: Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	36
4.2.1. Bulanık mantık	37
4.2.2. Bulanık TODIM	40
4.2.3. TOPSIS	45
4.3. Literatür Taraması	49
5. UYGULAMA	55
5.1. Uygulamanın Yöntemi	55
5.2. Problemin Çözüm Adımları.....	57
5.2.1. B- TODIM yönteminin uygulanması	57
5.2.2. TOPSIS yönteminin uygulanması	66
5.3. Uygulama Sonuçları	72
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Kriter ağırlıkları için kullanılan değişkenler.....	41
Çizelge 4.2. Alternatiflerin derecelendirilmesi için kullanılan değişkenler	42
Çizelge 4.3. TOPSIS değerlendirme skalası	45
Çizelge 5.1. Değerlendirme kriterleri	58
Çizelge 5.2. KV yargılarının ÜBS karşılıkları.....	58
Çizelge 5.3. Durulaştırılmış kriter ağırlıkları.....	58
Çizelge 5.4. B-TODIM alternatifleri	59
Çizelge 5.5. Bulanık karar matrisi	59
Çizelge 5.6. Toplam performans skorları	64
Çizelge 5.7. Öklid uzaklığı ile elde edilen kriter ağırlıkları	65
Çizelge 5.8. Manhattan uzaklığı ile elde edilen kriter ağırlıkları	65
Çizelge 5.9. TOPSIS başlangıç karar matrisi.....	66
Çizelge 5.10. Normalize edilmiş karar matrisi	68
Çizelge 5.11. Öklid uzaklığına ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi	68
Çizelge 5.12. Manhattan uzaklığı ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi	69
Çizelge 5.13. Pozitif ve negatif ideal noktaları.....	70
Çizelge 5.14. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar.....	70
Çizelge 5.15. İdeal çözüme olan göreceli uzaklıklar	71
Çizelge 5.16. Alternatif sıralamaları	72
Çizelge 5.17. Her bir malzeme için alternatif sıralamaları	73

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dünyada su kaynakları dağılımı	5
Şekil 2.2. Türkiye’de su kaynaklarının durumu.....	8
Şekil 3.1. 2010 yılı için bazı ülkelerdeki gelir getirmeyen su seviyeleri	16
Şekil 3.2. Türkiye’de iller bazında su kayıp kaçakları yüzdeleri.....	18
Şekil 3.3. İçme suyu sistemlerindeki fiziki su kayıplarının oluşum noktaları	20
Şekil 3.4 Su temin ve dağıtım sistemlerinde oluşan tipik su kayıpları	20
Şekil 3.5. Fiziki su kayıpları yönetim stratejisi bileşenleri	22
Şekil 3.6. Standart su dengesi tablosu.....	26
Şekil 4.1. Yamuk üyelik fonksiyonu.....	39
Şekil 4.2. Üçgensel üyelik fonksiyonu	40
Şekil 4.3. Başlangıç karar matrisi	45
Şekil 4.4. Önerilen bütünleşik bulanık ÇKKV yaklaşımı akış şeması	48

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Elektromanyetik debimetre.....	31
Resim 4.2. Basınç kontrol vanası.....	32
Resim 4.3. Datalogger.....	33
Resim 4.4. Akustik Dinleme Cihazı	34
Resim 4.5. Korelatör	35



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

km³

Kilometreküp

m³

Metreküp

mm

Milimetre

Kısaltmalar

Açıklamalar

AB

Avrupa Birliği

AHP

Analitik Hiyerarşi Prosesi

ALR

Algılama, lokasyon tespiti, onarım

B

Bulanık

BM

Birleşmiş Milletler

BNP

Eniyi bulanık olmayan performans değeri

BSKY

Bütünleşik su kaynakları yönetimi

COA

Alan merkezi

ÇKKV

Çok kriterli karar verme

DEMATEL

The decision making trial and evaluation laboratory

DMA

İzole alt bölge

ELECTRE

Elimination et choice in translating to reality

GRA

Grey relational analysis

KMO

Kullanım-mevcudiyet oranı

M.Ö.

Milattan önce

M.S.

Milattan sonra

PROC

Kriterlerde Öncelik Düzeni

PROMETHEE

The peference ranking organization method

SAW

Ağırlıklı toplam model

SCADA

Merkezi denetleme kontrol ve veri toplama sistemi

Kısaltmalar**Açıklamalar****SÇD**

Su çerçeve direktifi

SKA

Sürdürülebilir kalkınma amaçları

SMAA

Stokastik çok kriterli kabul edilebilirlik analizi

T.C.

Türkiye Cumhuriyeti

TE

Dönüşüm entropisi

TODIM

Tomada de decisao iterativa multicriterio

TOPSIS

Technique for order preference by similarity to ideal solution

ÜBS

Üçgen bulanık sayılar

VOI

Bilgi değeri

1. GİRİŞ

Su, yaşamımızın temel yapıtaşı olup, dünya üzerindeki canlılığın sürdürülebilirliği için vazgeçilmez bir doğal kaynaktır. Yeryüzünde sınırlı miktarda bulunan suyun tüketimi, nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme, tarımsal gelişim ve bilinçsiz kullanım nedeniyle gün geçtikçe artmaktadır. Doğal kaynakların aşırı, bilinçsiz ve yanlış kullanımından kaynaklanan iklim değişikliği ve küresel ısınma ise su kaynaklarının azalmasına sebep olmaktadır. Günümüzde, ülkemiz de dâhil pek çok ülke su stresi yaşayan ülke konumunda olup çok yakın gelecekte dünya nüfusunun yarısına yakınının su kıtlığı ile karşı karşıya kalacağı öngörülmektedir. Su kaynaklarının mevcut yapısına dair bu durum yeni kaynakları bulmaya çalışmaktan öte mevcut su kaynağının en verimli şekilde kullanımını elzem kılmaktadır.

Mevcut su kaynaklarının verimli kullanımı üzerindeki en büyük engellerden biri su dağıtım hatlarında meydana gelen su kayıp ve kaçaklarıdır. Su kayıp ve kaçaklar nedeniyle, kaynağından çekilerek evsel, sanayi ve tarımsal alanda kullanım için son kullanıcıya ulaştırılana kadar milyarca metreküp su yok olmaktadır. Dünya üzerinde gelişmiş ülkeler tarafından kabul edilebilir kayıp oranı en fazla %10 iken, ülkemizde bu oran %42 olup bazı şehirlerde %70'lere ulaşmaktadır. Yarı kurak iklim bölgesinde yer alıp su kaynakları sürekli olarak tükenen ve su stresi yaşayan bir ülke olarak su kayıp ve kaçaklarını enaza indirmek ulusal su yönetimi politikamızın başlıca amaçlarından biridir.

Su kayıp ve kaçaklarını azaltmak için öncelikli adım kayıp ve kaçakların zamanında tespiti ve önlenmesidir. Tespit ve önleme çalışmaları su şebeke hatları üzerinde kullanılan mekanik ve teknolojik ekipmanlarla yapılmaktadır. Doğru ekipmanların seçimi ve kullanımı su kayıp ve kaçaklarının önlenmesi, zamanında tespit edilip kontrol altında tutulması ve şebekelerin sürdürülebilirliği için büyük önem arz etmektedir.

Su dağıtım şebekelerinin kurulumu ve işletilmesi ülkemizde belediyeler ve su kanalizasyon idareleri tarafından yapılmaktadır. Şebeke hattında kullanılan malzemelerin seçimi ve satın alımına yönelik bir standardizasyon bulunmamakta olup, her idare kendi inisiyatifi dâhilinde seçim ve alım işlemlerini yürütmektedir. Malzeme seçiminde baz alınması gereken pek çok kriter bulunmakta olup, birbiriyle çelişen kriterler ve piyasada çok farklı kalitelere sahip malzemelerin olması idareler için seçim işlemini zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada, su kayıp ve kaçaklarını tespit ve önlemede kullanılan kritik malzemelerin malzeme özellikleri, çok kriterli karara verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılarak önem sırasına göre sıralanmıştır. Çalışmada, Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütlerine göre ÇKKV yaklaşımlarından Bulanık TODIM (Tomada de Decisao Iterativa Multicriterio) yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları elde edilmiş, bu ağırlıklar TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi içinde kriter ağırlıkları olarak kullanılarak her bir malzeme için iki ayrı malzeme özellikleri önem sıralaması elde edilmiştir. Su kayıp ve kaçaklarının tespit ve önlenmesinde kullanılan kritik malzemelerin ve malzeme özelliklerinin tespit edilmesi, malzeme seçim kriterlerinin belirlenmesi, karar matrislerinin oluşturulması Ankara Su Kanalizasyon İdaresi bünyesinde malzeme seçim ve alımı konusunda görev yapan yetkili karar vericiler ile yapılmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde suya dair kavramsal bir çerçeve içerisinde dünyanın ve ülkemizin mevcut su kaynaklarının durumu ve su yönetimi yaklaşımları incelenmiştir. Üçüncü bölümde su kayıp ve kaçaklarının yapısı, özellikleri, oluşum noktaları ve bu alanda yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Dördüncü bölümde su kayıp ve kaçaklarını tespit ve önlemede kullanılan kritik malzemeler ayrıntılı bir şekilde açıklanmış olup, kullanılan ÇKKV yaklaşımları olan B-TODIM ve TOPSIS yöntemlerinin işlem adımları anlatılmıştır. Beşinci bölümde malzeme özellikleri önem sıralamasına yönelik uygulama yapılmış olup, altıncı bölümde elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

2. SUYA DAİR KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE

Yaşam suda başladı. Varlığın, doğanın, insanlığın kaynağı ve can bulduğu yer olan su aynı zamanda yaşamın devamının temel gerekliliğidir. Bundan ötürü Evrenin herhangi bir noktasında yaşamın sürdürülebilmesi suyun ve yapı taşlarının varlığıyla eşdeğerdir.

Dünya canlılığın ortaya çıkışının 3,5 milyar yıl önce gerçekleştiği ve ilk canlı organizmaların su molekülleri sayesinde okyanuslarda olduğu düşünülmektedir (Hawking, 2013: 176, 177).

İnsan diğer canlılardan farklılaşarak, suyu yalnızca fizyolojik bir ihtiyaç olarak değil, aynı zamanda ekonomik, kültürel ve toplumsal olarak yaşamın bütün alanlarında çok yönlü biçimde kullanmaktadır. Su yönetiminin tarihi, suyun önemine koşut olarak, insanlık tarihi ile yaşıttır (Yerebakan, 1999: 14, 16). Başta akarsu ve göl gibi kaynaklardan el yardımıyla içilen su, zaman geçtikçe saklanmaya ve kontrol edilmeye başlanmış, bunun için ahşap ve toprak kaplar üretilmiştir. Çin’de elde edilen verilere göre, ilk toprak kapların Milattan önce (M.Ö.) 16.000 yılından itibaren yapıldığı anlaşılmaktadır (Morris, 2012 akt. Yeter, 2017).

Su, zirai sulamanın ilk örneği olarak yaklaşık 9 bin yıl önce suyun yönünün değiştirilmesi şeklinde kullanılmıştır. Bu yöntemin ilk olarak “Bereketli Hilal” adı verilen Mezopotamya ve Doğu Akdeniz’i içine alan bölgede uygulandığı düşünülmektedir. İnsanın su üzerindeki kontrolü kuyu, su seti, kemer ve kanal gibi çeşitli yöntemlerle sürmüş, barajlar yoluyla ilerlemiştir. Sulamalı tarım, depolanabilir ürünlerin yanı sıra, uygarlıkların, özel mülkiyetin doğuşu için de uygun ortam yaratmıştır. M.Ö. 5000 yıllarında Fırat ve Dicle nehirleri arasında bulunan geniş birikinti düzlüklerine yerleşmiş çiftçiler, Sümer uygarlığının temelini oluşturmuştur (Yeter, 2017).

Su çatışmalarının ve sorunlarının tarihi de insanın suyu kullanımı kadar eskidir. Birbirlerine yakın bölgelerde yerleşen uygarlıkların, aynı su kaynağından yararlanmak istemesi çatışmalara neden olmuştur. Dünyadaki en erken su savaşlarından biri, bugün Türkiye’de yer alan Van Gölü yakınlarına yerleşmiş iki Sümer şehir devleti arasında gerçekleşmiştir. 4500 yıl öncesinde meydana geldiği düşünülen bu savaş, Lagash ve Umma şehir devletleri arasında sulama için gerekli suyun paylaşımı sorunundan ortaya çıkmıştır (Öngür, 2008).

Tarım ve dolayısıyla su temelinde kurulmuş olan bu uygarlıklar ve daha pek çoğu, yaşanan iklim değişimi ve buna bağlı kuraklık sonucu yok olmuştur. Yüzlerce yıl süren kuraklık sonunda M.Ö. 2200'lerde Akad medeniyeti, 1200'lerde Anadolu'da hüküm süren Hititler, M.Ö. 1100'lerde Mısır ve Milken medeniyetleri tarih sahnesinden silinmiştir. Yakın zamanda dünyada büyük izler bırakan (Milattan Sonra (M.S.) 250-500 tarihleri arasında) Roma İmparatorluğu, iklimdeki devamlı değişmeden olumsuz etkilenmiş, çöküş sürecinde hızlanma yaşamıştır (Milliyet, 2012).

2.1. Bütüncül Su Yönetimi

Su yönetimi; su kaynaklarının en uygun kullanımını sağlayıp, kaynakları kontrol altına alan politikalar geliştirme, planlama, yatırım, kalite koruma, izleme, dağıtma, yaptırım, denetim ve koordinasyon faaliyetlerinin toplamıdır. Su kaynaklarının gelişimi ile ilgili politik ve teknik kararları, çevrenin korunmasını, su haklarını ve su dağıtımını düzenleyen kuralları, su fiyatlandırılmasına ilişkin düzenlemeleri, arazi kullanım ilkelerini ve kullanıcıların katılımı gibi faaliyetleri içermektedir (Çakmak vd., 2010).

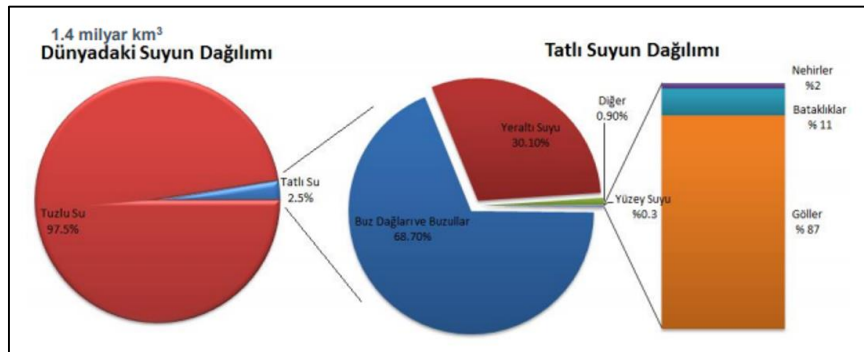
Su yönetimi, belirlenmiş su politikaları ve yönetmelikleri kapsamında yer altı, yüzey ve deniz suyu kaynakları üzerinde; içme suyu ve endüstriyel su yönetimini, kanalizasyon veya atık suların su arıtma yönetimini, su kaynaklarının yönetimini, taşkın koruma yönetimini, sulama yönetimini ve su tablasının yönetimi içerir. Su kaynaklarının ortaya çıkarılmasından, işletilmesine; suyun dağıtılmasından uzaklaştırılmasına kadar tüm alanlarda iyi bir örgütlenmeye gidilmesi en temel gerekliliklerin başındadır. Bu bağlamda su yönetiminin birincil çalışma alanlarından biri mevcut kaynağı en verimli şekilde kullanmak ve korumaktır (Soylu vd., 2006).

Süreç yaklaşımı ile ele alındığında su yönetimi, suyun; yeterli miktarda, istenilen kalitede, mevcut olduğu yerden istenilen yere, istenilen sürede, arz güvenliği sağlanarak iletilmesidir. Su yönetimini sürdürülebilir kılmak için; kaynakta, işletmede ve talepte kontrol, izleme ve denetim altına almak gerekmektedir. Risklerin minimize, faydanın maksimize edildiği, dinamik ve çok parametreliliğe sahip bir süreçtir. Yönetim enstrümanları olarak; yerel yönetimlerin yönerge/yönetmelikleri, merkezi yönetimin kanun/yönetmelikleri, küresel aktörlerin araçları kullanılmaktadır (Gündüz, 2017).

Bütünleşik Su Kaynakları Yönetimi (BSKY), “hayati öneme haiz ekosistemlerin sürdürülebilirliğinden ödün vermeden, eşitlik ilkesi esas alınarak, ekonomik ve sosyal refahın en üst düzeye çıkarılması için su, toprak ve ilgili kaynakların eşgüdüm içerisinde geliştirilmesi ve yönetiminin teşvik edilmesidir” (Global Water Partnership Technical Advisory Committee, 2000). BSKY kavramı su kaynaklarını ekonomik ve fiziksel yapılardan oluşan kurumsal araçlar ile geliştirirken ekosistemlere zarar verilmemesini, çevresel kalkınmanın sağlanmasını ve sürdürülebilir sosyo-ekonomik yapılar oluşturulmasını amaçlamaktadır. Kavramdaki “bütünleşik” terimi pek çok amaç arasındaki ilişkiye atıfta bulunmaktadır. Ancak bu hedefler birbiri ile çelişebilmekte ve çatışabilmektedir. Çelişen bu amaçların belli kriterler altında en uygun şekilde sağlanması etkin bir yönetim gerektirmektedir.

2.2. Dünyada Su Kaynaklarının Mevcut Durumu

Dünyadaki toplam su miktarı 1.4 milyar km^3 olup, bu suların % 97.5’i okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su, % 2.5’ i ise nehir ve göllerde tatlı su olarak yer almaktadır. Bu kadar az olan tatlı su kaynakları ise % 90 oranında yeraltında ve kutuplarda bulunmaktadır. Bu oranlar insanların kolaylıkla yararlanacağı tatlı su miktar ve oranının ne kadar az olduğunu ortaya koymaktadır. Dünyadaki mevcut su kaynaklarının dağılımı Şekil 2.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Dünyada su kaynakları dağılımı

Tatlı suyun

- %68.3'lük kısmını buzullar
- %31.4'lük kısmını yeraltı suları
- %0.3'lük kısmını da yüzey suları

kapsamaktadır. Yüzey sularının %87'si göller, %11'i bataklıklar ve %2'si ise nehirlerdir.

Yine tatlı suyun yeraltı ve yerüstündeki dağılımlarına bakıldığında;

- %77,6'sı kutuplarda,
- %10,9'u derin yer altı suyu katmanlarında.
- % 11'i yüzeye yakın yeraltı tabakalarında,
- % 0,3'ü göllerde,
- % 0,003'ü akarsularda,
- % 0,18'i zemin nemi halinde,
- % 0,035'i atmosferde bulunmaktadır.

Toplam su içerisinde kolay yollarla ulaşılabilir ve tüketilebilir tatlı suyun oranı % 0,3 olarak ortaya çıkmaktadır (Bulut, 2019).

2.3. Dünyada Su Sorunu ve Yönetimi

Su dünya üzerinde yenilenebilir ama sınırlı miktarda bulunan bir doğal kaynak olarak gelişen, büyüyen, endüstrileşen ve küreselleşen dünyanın ihtiyaçlarına cevap vermekte yetersiz kalmaktadır. Sanayi devrimi ile beraber gelişen sosyo-ekonomik yapılar ve hayat şartları sonucunda dünya nüfusu son iki yüz yıl içerisinde on katına çıkmış olup, son yüzyıl içerisinde 3 kat artış göstermiştir. 2030 yılına gelindiğinde dünya nüfusunun 8,5 milyara 2050 yılına gelindiğinde 12 milyara yaklaşması beklenmektedir. Artan nüfusla beraber suyun, miktar, kalite ve yönetim sorunları ortaya çıkmaktadır. Arazilerin amaç dışı kullanımı, aşınma ve bozulmaları suya erişimi daha da zorlaştırmaktadır (Kınacı, 2019).

Küresel olarak sulama alanları 1960'lardan bu yana 2 kat aratarak 300 milyon hektara ulaşmış olup son 30 yılda gıda üretimi %100'ün üstünde artmıştır. Bunun yanında evsel su kullanımı son 50 yılda % 600 artmıştır. Kişi başına düşen su miktarı 1950'den bu yana gelişmiş ülkelerde %50 oranında, gelişmekte olan ülkelerde ise %80 oranında azalmıştır. Dünya nüfusunun %40'ının yaşadığı 80 ülkede su sıkıntısı ile çekiliyor olup, 3 milyardan fazla insanın 2025 yılından itibaren su kıtlığı ile karşı karşıya kalacağı öngörülmektedir.

Bu yoğun talep artışına karşın su kaynakları hem süregelen bilinçsiz kullanım ve kayıplar hem de iklim değişikliği etkisiyle gün geçtikçe azalmaktadır. Su kaynakları üzerindeki baskı arttıkça, su kıtlığı, su stresi adı verilen problemler ortaya çıkmaktadır (Kınacı, 2019).

Ülkelerin kişi başına düşen yıllık yenilenebilir tatlı su kaynağı varlığı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Falkenmark göstergesi: m³/kişi/yıl):

- Su baskısı yok >1700,
- Su baskısının başlaması – Su Stresi 1700-1000,
- Yoğun su baskısı – Su kıtlığı 1000-500,
- Yoğun su problemi yaşanması – Mutlak Kıtlık <500

Bugün yüksek su stresi yaşayan ülkelerde iki milyardan fazla insan yaşarken, yaklaşık dört milyar insan her yıl enaz bir ay boyunca ciddi su kıtlığı ile karşı karşıyadır (Kınacı, 2019).

Dünyada bütünleşik su yönetimini sağlamak için; küresel örgütler (Birleşmiş Milletler (BM) ve organları, Dünya Bankası, Dünya Sağlık Örgütü), bölgesel örgütler ve hükümetler dışı uluslararası örgütler koordinasyon halinde çalışmaktadır. Bu doğrultuda, 25-27 Eylül 2015 tarihleri arasında BM Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi'nde; gezegenimizi korumak, yoksulluğu ortadan kaldırmak ve tüm insanlığın barış ve refah içinde yaşamalarını sağlamak için, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA), 193 üye ülke ile evrensel eylem çağrısı olarak kabul edilmiştir. Belirlenen 17 temel amacın ikisi direkt, altı tanesi dolaylı olarak su yönetimi ile ilgilidir (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2017).

2.4. Türkiye’de Su Yönetimi

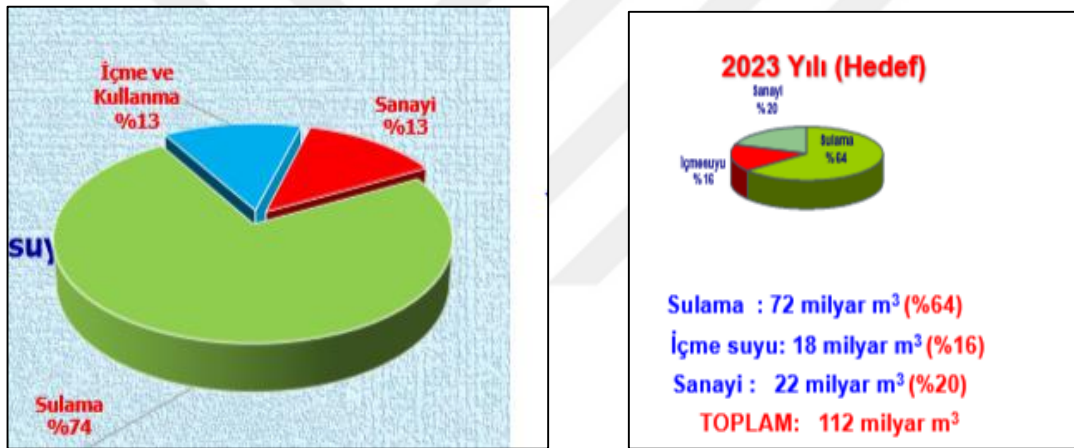
Türkiye’deki su yönetimi; su kaynaklarının mevcut durumu, kaynak yönetimi ve kullanımı alanında yapılan çalışmalar ve bu çalışmaları yürüten kurum ve kuruluşlar bazında incelenmiştir.

2.4.1. Türkiye’de su kaynakları

Türkiye, üç tarafı denizlerle çevrili olmasına rağmen, Falkenmark göstergesine göre “su stresli” bir ülke konumundadır. Türkiye, aşırı sıcaklıklara sahip olup “yarı kurak” bir bölge içerisinde yer almaktadır. Ülkenin su kaynakları ırmaklardan, doğal göllerden, yeraltı

sularından ve rezervuarlardan oluşmaktadır. Ülkede, en büyüğü Van Gölü olmak üzere 120’den fazla göl bulunmaktadır. Göllerin yanında, 700’den fazla da rezervuar yer almaktadır. Var olan rezervuarlar arasında en büyükleri Atatürk, Keban ve Karakaya olan barajlar bulunmaktadır (Hakyemez, 2019).

Yıllık düşen ortalama 643 mm yağış miktarı ile Türkiye, dünya ortalamasının oldukça gerisindedir. Günümüzde yıllık ortalama kullanılan 54 milyar m³ suyun; 40 milyar m³’ü (%74) sulama suyu, 7 milyar m³’ü (%13) sanayi, suyu, 7 milyar m³’ü (%13) içme-kullanma suyu gereksinimlerini karşılamada kullanılmaktadır. Su kullanımında 2004 ve 2016 yılları arasında yaklaşık %50 oranında artış gerçekleşmiştir (Demirbaş, 2019). Su kaynaklarının mevcut durumu ve 2023 yılı hedefleri Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Türkiye’de su kaynaklarının durumu (Kınacı, 2019)

2017 yılında TÜİK verilerine göre Türkiye’de kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı yaklaşık 1.400 m³ iken bu değerin 2023 yılı için 1.289 m³’e, 2030 yılı için yaklaşık 1.120 m³’e düşeceği öngörülmektedir (Demirbaş 2019).

Ülkemizin 25 nehir havzası bulunmaktadır. 2015 yılı verilerini kullanarak yapılan hesaplara göre, bu havzalardan 5 adedi “Mutlak Kıtlık” sorunu 4 adedi “Kıtlık” sorunu yaşayan nehir havzalarıdır. Ülke nüfusu aynı oranda artarsa bu havzaların da kısa sürede “Mutlak Kıtlık” seviyesine gelmeleri beklenmektedir. 25 havza içinden 7 tane havzanın “Su Stresi” durumunda olduğu gözükmemektedir (Hakyemez, 2019).

Ülkelere göre belediyeler bazında su kullanımı ve su mevcudiyeti hesaplamalarında Kullanım-Mevcudiyet Oranı (KMO) eşik değeri %40'tır. 2016 yılına ait Belediye Bazlı KMO'lar incelendiğinde Türkiye ortalamasının %64,9 olduğu görülmektedir. 46 belediye KMO'sunun Türkiye ortalamasından yüksek olması göze çarpan bir diğer noktadır. Kritik seviye olan %40'ın altında sadece 5 belediye bulunmaktadır. Bu belediyeler %25,1 ile Van, %32,2 ile Kilis, %32,8 ile Trabzon, %34,2 ile Batman ve %35,7 ile Mardin'dir (Hakyemez, 2019).

Türkiye'de bölgesel olarak yaşanan su kıtlığının iki temel sebebi bulunmaktadır. Bu sebepler arz ve talep tarafı olarak ikiye ayrılmaktadır. Arz tarafına bakıldığında, iklim özelliklerinden kaynaklanan, toprak erozyonu ve çölleşme, yağış ve buharlaşma nedenleri ön planda yer almaktadır. Talep tarafındaki sebepler arasında ise, bilinçsiz sulama yöntemleri, gerekli yatırım yapılmayan su şebekeleri ile altyapı tasarımlarından kaynaklanan su kayıp ve kaçakları, bölgesel olarak düşük gelir seviyeleri, su kullanımı yoğun sanayi işletmelerinin bölgesel kümelenmesi bulunmaktadır (Hakyemez, 2019).

2.4.2. Türkiye'de su yönetimi alanında yürütülen çalışmalar

Türkiye'nin su kaynakları politikası ve su yönetimi Lozan Barış Antlaşmasında yer alan; sulama, kanallar açılması, drenaj, su baskınları ve benzeri işleri içeren maddesi ve Cumhuriyetin kuruluşunun akabinde sınır aşan suların yönetimi üzerine kurulmuştur. Komşu ülkeler ile pek çok ortak nehir ve nehir havzasına sahip olan Türkiye bu kaynakların ortak kullanımı için pek çok anlaşma imzalamıştır.

Avrupa Birliği (AB) ile üyelik müzakerelerinin başladığı dönemden itibaren su yönetim politikası AB müktesebatına uyum odaklı şekillendirilmiş olup, Avrupa sularının ortak bir standartta göre korunmasına yönelik kapsamlı bir politika olarak Su Çerçeve Direktifi (SÇD), 2 Aralık 2000 tarihinde yürürlüğe girmiştir (Bulut, 2019). SÇD kapsamında, "kaynaklar idari veya politik sınırlara göre değil, doğal coğrafik ve hidrolojik esaslara göre belirlenecek "nehir havza bölgelerine ayrılarak yönetilecektir" yaklaşımına yönelik "havza bazlı su yönetimi" anlayışına geçilmiştir (Akkaya vd., 2006).

Havza bazlı yönetime uygun olarak; akarsu havzalarının karakteristikleri, toplumsal aktivitelerin ilgili havzadaki sular üzerindeki etkisi ve bunlarla ilgili durum tespiti, yasal

düzenlemelerin koyulan hedeflere ulaşmadaki etkinliği, yetersizliklerin veya boşlukların doldurulmasına yönelik önlemleri içeren havza yönetim planları hazırlanmıştır. Havzalarda su kullanımının ekonomik analizleri, modelleme ve simülasyonları yapılmıştır. Coğrafi bilgi sistemlerine entegre olacak şekilde Su Bilgi Sistemi oluşturma çalışmaları yürütülmüştür.

8. Beş Yıllık Kalkınma Planı (2001-2005), 9. Kalkınma Planı (2007-2013), 10. Kalkınma Planı (2014-2018) gibi hükümet programlarında Bütüncül Su Yönetimi doğrultusunda pek çok madde yer almaktadır. Bu üst planlara istinaden; tarımsal sulama, su kayıplarının azaltılması, yer altı sularının kullanımı, atık su yönetimi, su kirliliğinin azaltılması, su kalitesinin artırılması, bilinçli kullanım, gıda güvenliğinin sağlanması, altyapı kurulumu ve maliyetlerine yönelik yönetmelik ve tebliğler yayınlanmıştır (Bulut, 2019).

Gelişmiş ve bütüncül su yönetimini başarıyla uygulayan ülkelerde su ile ilgili çok daha üst kapsamlı çalışmalar yürütülmekte olup bunların başında su kanunları gelmektedir. Türkiye’de henüz su kanunu bulunmamakta olup, buna altyapı olacak şekilde hazırlanan Ulusal Su Planı 2019 yılında yürürlüğe girmiştir. 2019-2023 yıllarını kapsayan plan, Türkiye’nin su yönetimi ile ilgili mevcut ve gelecek politikalarının belirlenmesine, iyileştirilmesine ve geliştirilmesine yönelik olarak oluşturulmuştur. Plan, su kullanımı konusunda söz sahibi olan ve su alanında faaliyet göstermekte olan kamu kurum ve kuruluşları, özel sektör, sivil toplum kuruluşlarının temsilcileri gibi ulusal paydaşların katılımı ile meydana getirilmiştir (Ulusal Su Planı, 2019)

2.4.3. Su yönetiminden sorumlu kurum ve kuruluşlar

Türkiye’de su kaynaklarının yönetimi, kaynakların korunması ve çeşitli kullanım amaçlarına yönelik kullanıcıların ve tüketicilerin hizmetine sunulması devletin görevi olup, kamu hizmeti olarak bütün vatandaşlara sunulmaktadır. Türkiye’de mevcut su kaynaklarının korunması ve değerlendirmesi amacıyla etüt ve planlama, projelendirme ve uygulama, izleme kontrol ve denetim görevlerini yapan yerel yönetimler, bakanlıklar ile beraber bağlı ve ilgili birçok kurum ve kuruluş bulunmaktadır. Ayrıca su kullanımını olanaklı kılan hususlar, kaynak araştırma ve geliştirme, su temini, dağıtımı, arıtımı vs, hizmetler, koordinasyon yine farklı uzmanlık dalları gerektirmektedir. Genel olarak; suyun kaynağından alınması ve işlenmesinden Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, doğru kullanım planları hazırlanması ve yönetiminden Su Yönetimi Genel Müdürlüğü sorumludur. Denetim

ve korunmasından Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve alt kuruluşları, son kullanıcıya dağıtımından ve altyapı çalışmalarının yürütülmesinden ise belediyeler ve belediyelere bağlı olarak faaliyet gösteren Su Kanalizasyon İdareleri sorumlu olmaktadır.

Uluslararası ve ulusal bütün planlar, yönergeler ve direktiflerde su yönetiminde en önemli hususun: bütüncül yaklaşım ve planlayıcılar ile uygulayıcılar arasındaki koordinasyon olduğu belirtilse de, Türkiye’de işbirliği istenen düzeyin çok gerisindedir. Kurumsal yapıların etki alanları ve bağlı bulundukları üst idarelerin değişimi, kurumların kurulup-kapatılması, kısa süreler içerisinde meydana gelen yönetim kademesi değişimleri, personel sirkülasyonu, bütüncül su yönetimi uygulamalarını sekteye uğratmaktadır. Görev paylaşımlarının süreç bazlı yapılmaması, etki alanı paylaşımlarında meydana gelen sorunlar, kaynakların doğru dağıtılmaması, altyapı kurulumu ve sürdürülebilirliği için materyal ve malzeme seçimlerinin etkin yapılamaması ilerleme çabalarını zorlaştırmaktadır (Ulusal Su Planı, 2019).

3. SU KAYIP VE KAÇAKLARI

Dünyada ve ülkemizde su sorunu, iki ayrı tarafından çekilen bir ipe benzetilebilir. Bir tarafta nüfus artışı, sanayileşme ve tüketim alışkanlıkları değişimi ile suya olan ihtiyacın artması yer alırken; diğer tarafta iklim değişikliği, küresel ısınma ve su kirliliğinin kullanılabilir su miktarı düşüşüne neden olması bulunmaktadır. İklim değişikliği ve bilinçsiz tüketime bağlı olarak su seviyelerinde yaşanan ve ileride yaşanması öngörülen düşüşler, nüfusun artışına bağlı olarak katlanarak artan su talebi ile su kaynaklarının yeterince korunmamasından kaynaklı su kalitesindeki düşüş ile birleşmektedir. Yaşanan bu birleşim sürdürülebilir olmayan bir senaryonun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu durum, suyun her adımda ve düzeyde verimli kullanılmasını gerektirmekte olup, verimli kullanım muhtemel bir su kıtlığını önlemek ve kaynak yönetimi sağlamak için öncelik haline gelmektedir. Sürdürülebilirliğin tanımından yola çıkarak, yarınlarda kullanacak su bulabilmek için bugün elde var olan suyu en doğru ve en uygun şekilde kullanmak gerekmektedir (Durmuş, 2013: 4, 5).

Verimlilik kavramı su yönetiminin en temel unsurudur. Sorun çözme yaklaşımı bakış açısıyla bakıldığında problem her ne olursa olsun yapılması gereken şey yeni yollar aramadan önce mevcut verileri ve kaynakları verimli kullanmak üzere yöntemler geliştirmektir. Zira elde bulunan kaynağın sınırlı ve tükenebilir olduğu düşünüldüğünde verimli kullanım ve işletim öncelikli gereklilik olmaktadır.

Bu çalışmanın konusu olan su kayıp ve kaçaklarını azaltmak için su verimliliği sağlamanın arz ve talep tarafı olarak iki ayrı paydaş kolu bulunmaktadır. Talep tarafı perspektifinden bakıldığında suyun verimli kullanımı ile kentin su ihtiyacını karşılamak için çözüm daha fazla su kaynağına erişip daha fazla su arz etmek değil, mevcut arz edilen suyun daha verimli kullanımını sağlamaktır. Kullanılan toplam su miktarını teknolojik ve davranışsal değişikliklerle düşürmek mümkündür. Çünkü su kullanılarak yapılan iş ve işlemlerin birçoğu, daha az su kullanarak da verimli bir şekilde yapılabilir. Mevcut altyapı ile daha fazla hizmet sağlanmasına olanak sağlaması ve altyapı yatırımlarını azaltması bakımından maliyet etkin bir yöntem olarak talep yönetimi önem ve popülerlik kazanmaktadır (Durmuş, 2013: 4, 5).

Arz tarafı perspektifinden bakıldığında, yeni su kaynaklarını bulmak, kaynaktan alınan suların içilebilir su kalitesine ulaşması için arıtılmasını sağlamak ve bu işlem adımlarının ardından şebeke sistemleri ile yerleşim yerine ulaştırarak bu su kaynağını kullanıcıların ve tüketicilerin hizmetine sunmak, hem teknik hem de ekonomik açıdan maliyetli ve meşakkatli bir iştir. Altyapının daha etkin kullanımı, içme ve kullanma suyu taleplerinin karşılanmasına yönelik çözümlerin bulunmasında öncelikli alan olmaktadır. Bu durum mevcut hizmetlerin daha uzun ömürlü olmasını sağlamakta ve su kaynaklarının çevresel, ekonomik ve sosyal etkileri dikkate alarak sürdürülebilir bir biçimde yönetilmesine katkıda bulunmaktadır. Altyapının etkin kullanımında en önemli çalışma şebeke boyunca yaşanan su kayıp ve kaçaklarının önüne geçerek, kayıpları olabilecek en alt seviyeye indirmektir.

Bu bölümde, su kayıp ve kaçaklarının yapısı, dünyada ve Türkiye'deki mevcut durumu detaylı olarak incelenmiş olup su kayıp ve kaçaklarını önlemek için yürütülen çalışmalar belirtilmiştir.

3.1. Su Kayıp ve Kaçak Sınıfları

İçme suyu iletim hatlarındaki kayıplar; içme suyu hattına verilen su miktarı ile kullanıcıların izinli olarak tükettikleri su miktarı arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Su kayıpları iki ana kategoride sınıflandırılabilir (Silkin, 2014);

- 1) Fiziki veya gerçek su kayıpları
- 2) İdari veya görünen su kayıpları

Fiziki kayıplar; şebekelerden sızıntı şeklinde kaybolan ve kullanılmayan sudur. Fiziki su kayıpları iki ana sınıftan oluşmaktadır: (i) temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında oluşan kayıp ve kaçaklar, (ii) depolarda meydana gelen kaçak ve taşmalar. Fiziki kayıplar; boruların bağlantı noktalarında meydana gelen sızıntılar, borularda korozyon ve aşınma sebebiyle oluşan çatlaklar, müşteri bağlantılarından kaynaklanan sızıntılar ile depolama tanklarında meydana gelen kaçak veya taşmalara bağlı olarak gerçekleşir. Bu çalışma dâhilinde fiziki kayıp ve kaçakların tespiti ve önlenmesine yönelik kullanılan malzemeler üzerinde bir uygulama çalışması yapılacaktır.

İdari kayıplar; müşteri sayaçlarının hassasiyetinin yetersizliğinden ve kayıt dışı (hukuki olmayan) kullanımlardan kaynaklanır. Yasal olmayan bağlantılar yoluyla izinsiz su kullanımı ile su sayaçlarındaki ölçüm ve veri işleme hatalar (su sayaçlarındaki tüketim miktarlarının yanlış okunması, tüketim miktarlarının faturalara ve bilgisayar sistemlerine yanlış aktarılması vb.) idari kayıpları oluşturmaktadır (Muhammetoğlu, H. ve Muhammetoğlu A., 2017: 4).

Gelir Getirmeyen Su: Gelir getirmeyen su, toplam su kayıplarına ilave olarak faturalandırılmamış izinli su tüketimini içermektedir. Faturalandırılmamış izinli su tüketimi, izinli su tüketimi içinde yer almakta fakat gelir getirmemektedir. Bu tüketime; kamusal alanlardaki (yangın muslukları, parklar, ibadethaneler, vb.) su tüketimleri ile iletim ve dağıtım hatlarında bakım onarım amaçlı tahliye edilmesi gereken su hacimleri örnek olarak verilebilmektedir (Muhammetoğlu, H. ve Muhammetoğlu A., 2017: 4).

3.2. Dünyada Su Kayıp ve Kaçakları

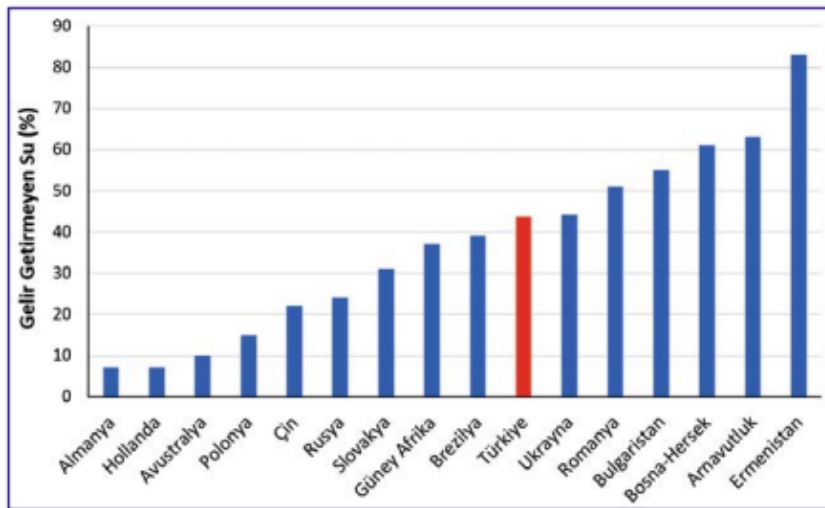
Dünya genelinde, yasal düzenlemeler ve hükümet destekleri, su verimliliği alanında kentsel ve endüstriyel ölçekli planlar ve programların yanı sıra, etiketleme ve belgelendirme, planlama, bilinçlendirme ve eğitim, tanıtım, kıyaslama ve ödüllendirme çalışmaları oldukça yaygındır. Su verimliliği başlığında birçok ülke, su kayıplarını ekonomik ya da kabul edilebilir değerlere düşürmek için stratejiler geliştirmiş veya geliştirmektedir. Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere başta olmak üzere Avrupa Birliği üye ülkeleri, Yeni Zelanda, Avustralya ve Singapur su verimliliği konusundaki verimli çalışmaları ile öne çıkmaktadır (Durmuş, 2013: 4, 5).

Toplam su kayıpları içindeki fiziki ve idari su kayıplarının payları, ülkelere göre büyük değişiklikler göstermektedir. Genel olarak, toplam kayıpların yaklaşık %60'ı fiziki su kayıplarından ve yaklaşık %40'ı da idari su kayıplarından oluşmaktadır (Çapar vd., 2018).

Fiziki ve idari su kayıp miktar ve oranlarının ülkelere göre dikkat çekici farklılıklar göstermesinin sebepleri arasında ülke gelişmişlik seviyelerinin temel belirleyici etken olduğu görülmektedir. İçme suyu şebekelerindeki su kayıplarının gelişmiş ülkelerde %10-20 arasında olduğu kabul edilmekte olup birçok ülke kendi performans göstergelerini en fazla %10 kayıp göstergesine sabitlemişlerdir. Bu oranların gelişmekte olan ülkelere ise

çok daha değişken ve büyük aralıklarda seyrettiği görülmektedir. Dünya Bankası'nın yayınlamış olduğu verilere göre günlük yaklaşık 45 milyon m³ su (yaklaşık olarak 200 milyon insanın su ihtiyacı) içme suyu şebekelerinde kaybolmaktadır (Dünya Bankası, 2016). Gelişmiş ülkeler için sızıntılar temel olarak su şebekelerinin ortalama yaşlarının fazla olmasından ve kullanım ömürlerinin dolmasından kaynaklanmaktadır. Malzemelerin ve ekipmanların ömürlerini tamamlanmış olması nedeniyle yıpranan şebekelerin sorunlu kısımları yenilense de sorunlar bir süre sonra yeniden ortaya çıkmaktadır (Çapar vd., 2018).

19. yüzyılın ikinci yarısında gelişmiş ülkelerde modern su temin sistemleri uygulanmaya ve altyapılar yenilenmeye başlamıştır. Yüksek maliyetler nedeniyle şebeke yenileme işlemi gerektiği sıklıkla yapılamamaktadır. Öte yandan, gelişmekte olan ülkelerde ağların ortalama yaşı daha düşüktür ve şebeke ağları hâlâ yayılma sürecindedir. Fakat şebeke ağlarının düşük yaşlarına rağmen tasarım ve işletilmelerinden kaynaklanan eksiklikler nedeniyle verimli kullanım sağlanamayabilmektedir. Gelişmiş ülkelerin nüfusu yaklaşık %95'i konut, bahçe ve arsalarına kadar ulaşan içme suyu hatlarına sahip iken; su geliştirmekte olan ülkelerde nüfusun yalnızca %50'sine ulaşabilmektedir (World Health Organization ve United Nations Children's Fund, 2010). Dünya genelinde 2010 yılında ülkeler arasında su kayıp kaçaklarının yüzdesi ve Türkiye'nin yeri Şekil 3.1' de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. 2010 yılı için bazı ülkelerdeki gelir getirmeyen su seviyeleri

Gelişmekte olan ülkelerin bazı şehirlerinde kayıp ve kaçaklarla ilgili yapılan çalışmalarda; şehirlerde şebekelerde meydana gelen sızıntıların, iletim hatları içerisinde mikrobiyolojik kirliliklerin oluşmasına da neden oldukları tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, sızıntı yapan ve

bozulan boru hatlarının, içme suyu hatlarındaki patojen saldırısı açısından büyük bir sorun ve tehdit oluğu görülmektedir (World Health Organization ve United Nations Children's Fund, 2010).

3.3. Türkiye’de Su Kayıp Kaçaklarının Durumu

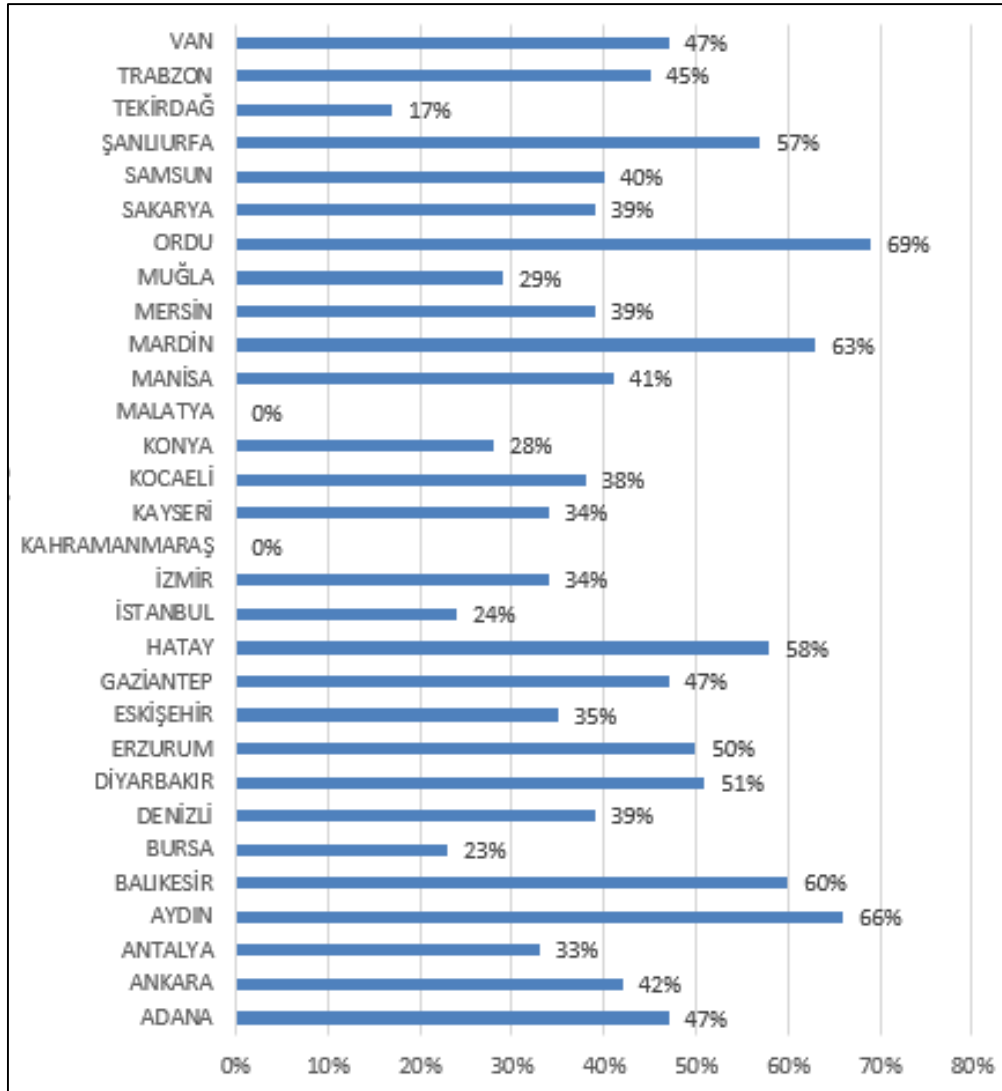
Nüfus artışı ve kentleşmeyle birlikte, içme suyunun arzı daha büyük bir sorun haline gelmektedir. Türkiye’de 2017 yılında nüfus 81 milyon iken kişi başı 1.383 m³ miktarında hesaplanan yıllık su kullanım miktarının, 2023 yılında ülke nüfusunun 87 milyon olacağı kabulüyle yaklaşık olarak 1.289 m³’e, 2030 yılında ise 1.120 m³’e düşeceği öngörülmektedir. Artan büyüme hızı ve su tüketim alışkanlıklarının değişimi gibi faktörlerin etkisinin su kaynakları üzerinde baskılar oluşturacağını tahmin etmek mümkündür. Ayrıca, bu tahminler mevcut su kaynaklarının 20 yıl sonrasına kadar hiç tahrip edilmeden aktarılması halinde söz konusu olabilecektir. Bu değerler, hali hazırda su stresi yaşayan bir ülke olmamızın yanında, su kıtlığına doğru hızlı bir şekilde ilerlediğimiz göstermektedir (Çapar vd., 2018).

Su kıtlığı tehdidi altında özellikle İstanbul, Ankara gibi büyük şehirlerde ortaya çıkan su yetersizliği, havzalar arasındaki su transferleri ile kapatılmaya çalışılmakta ve bu yöntem, su arzı güvenliğinin ve sürekliliğinin sağlanması için çözüm olarak kabul edilebilmekte ve uygulanmaktadır. Ancak, bu tür çözüm ve müdahaleler sürdürülebilir olmamanın yanında çok önemli ekolojik, ekonomik, ve sosyal problemlere yol açmaktadır (World Wide Fund and The Hong Kong and Shanghai Banking Corporation, 2014).

2015 yılı yıllık mali raporlarına göre ülkemizde büyükşehir belediyelerinin gelir getirmeyen su yüzdeleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir. En yüksek değerler %57 ile %69 arasında değişmekte olup bu değerler Ordu, Şanlıurfa, Hatay, Aydın ve Balıkesir illerinde görülmektedir. Tekirdağ, Bursa ve İstanbul ise %17 ile %24 arasındaki değerler ile gelir getirmeyen su yüzdelerinin en düşük olduğu illerdir. Tüm illerin gelir getirmeyen su yüzdesi ortalaması ise %42 olarak belirlenmiştir. Ülkemizdeki su kayıp ve kaçaklarının oranının gelişmiş ülkelere kıyasla oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Dünya Bankası, 2016).

Bu sıralama için dikkat gerektiren en önemli noktalardan biri il şebekelerinde oluşan kayıp ve kaçak oranının yanında kayıp ve kaçak su miktarlarıdır. İstanbul, İzmir, Ankara, Antalya,

Adana, Diyarbakır gibi nüfusu yüksek olan iller kayıp su miktarına göre yapılan sıralamalarda ilk sıralarda yer almaktadır. Ülkemizde büyükşehirlerde yapılacak kayıp ve kaçaklar ile mücadele sayesinde hem miktar hem de su birim fiyatlarının daha yüksek olması bakımından ekonomik açıdan büyük oranlarda tasarruf sağlanabilecektir. Bu önceliklendirme nüfusu fazla olan ve temiz su kaynakları baskı altında olan büyük şehirler için temel çözüm araçlarından bir tanesidir (Silkin, 2014).



Şekil 3.2. Türkiye’de iller bazında su kayıp kaçakları yüzdeleri (Dünya Bankası, 2016)

İçme ve kullanma suyu olarak 2014 yılında kaynağından çekilen 5,2 milyar m³ suyun %65’i, 2016 yılında ise çekilen 5,8 milyar m³ suyun %64’ü belediyeler ve su kanalizasyon idareleri tarafından faturalandırılmış ve abonelere dağıtılmıştır. Geriye kalan %36’lık kısım ise gelir getirmeyen su olarak hesaplanmaktadır. Bu oran yaklaşık 2 milyar m³ suya karşılık gelmekte olup 27 milyon kişinin bir yıllık su gereksinimine denk gelmektedir. Boşa harcanmış olan

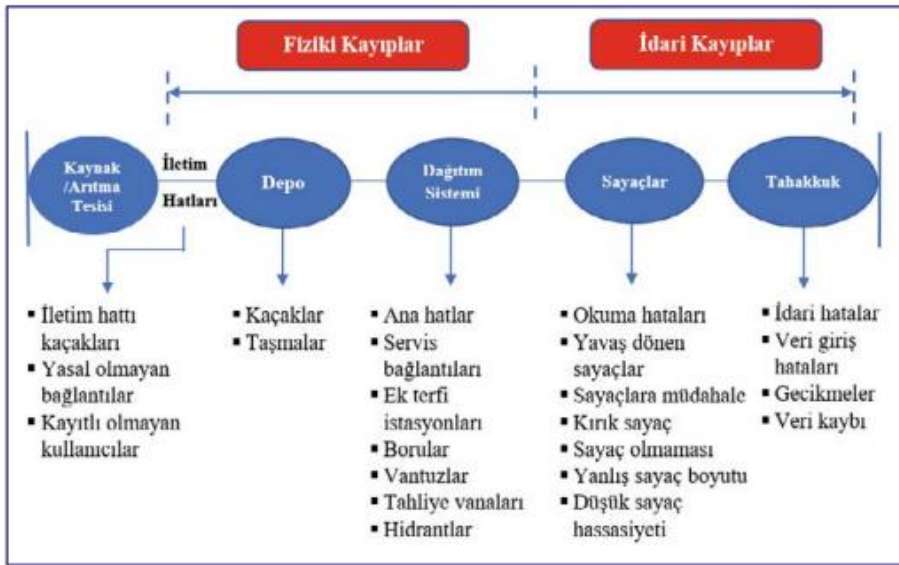
bu kaynak maliyetlerinin belediye kaynaklarına aktarılması durumunda; su arzı için altyapı yatırımlarına daha fazla kaynak aktarılabilir ve su kullanıcılarına daha uygun fiyatlı su kullanım imkânı sunulabilecektir (Çapar vd., 2018).

3.4.Su Kayıp Kaçaklarının Nedenleri

Su kayıpları, fiziki ve idari kayıplar olmak üzere iki ana başlığa ayrılmakta olup bu çalışma dâhilinde fiziksel kayıplar incelenmektedir. Fiziksel su kayıp ve kaçakları, su temin ve dağıtım sistemleri içinde pek çok noktada oluşabilmektedir (Şekil 3.3). Ülkemizde kayıpların %60 dan fazla bir bölümünü fiziksel kayıplar oluşturmaktadır. Fiziki su kayıplarının bileşenleri ikiye ayrılmaktadır:

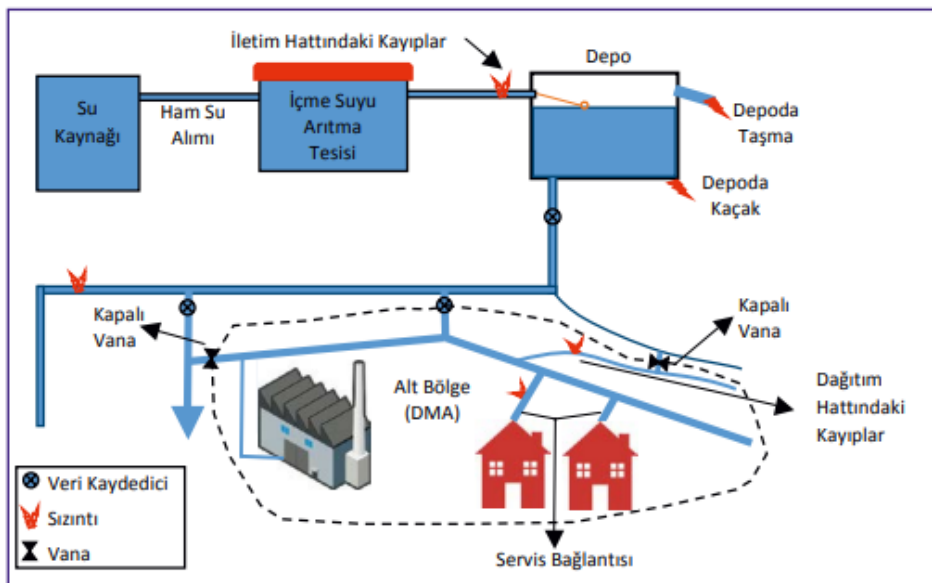
- Su temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında oluşan kayıp ve kaçaklar (abone sayacına kadar olan sızıntılar)
- Depolarda meydana gelen kaçak ve taşmalar

Fiziki kayıplar en çok servis bağlantılarında oluşmaktadır. Atık su toplama, doğal gaz bağlantıları, yol asfaltlama, elektrik ve telefon vb. bağlantılarına yönelik yapılan kazı vb. kentsel altyapı çalışmaları esnasında servis bağlantıları zarar görmekte ve borulardan sızıntılar oluşmaya başlamaktadır. Zarar gören ve tahrip olan servis bağlantı boruları, hem doğru şekilde tespit edilememekte hem de ilgili altyapı faaliyetini (kurulum, bakım, onarım) gerçekleştiren işletmeler tarafından istenilen ve olması gereken düzeyde tamir edilememektedir. Bunun sonucunda, iyi tamir edilemeyen şebeke ve servis bağlantılarında göreceli olarak düşük debili sızıntılar başlamakta ve bu sızıntılar artarak uzun yıllar süresince yüksek miktarlarda su kaybedilmesine neden olmaktadır. Çoğu zaman sızıntı suyu, bağlantı noktalarından yüzeye çıkmamakta ve yeraltına sızarak yok olmaktadır (World Bank Institute, 2010). İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde fiziki su kayıplarının oluşum noktaları Şekil 3.4’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. İçme suyu temin ve dağıtım sistemindeki fiziki su kayıplarının oluşum noktaları

Su temin ve dağıtım sistemlerinde yer alan ana hatlar ve depolardaki sızıntılar çoğu zaman görünür özellikte olmakta ve tespit edilmesi nispeten daha kolay olmakta ve onarımı hızlı bir şekilde yapılmaktadır. Fakat servis bağlantılarında meydana gelen sızıntıların tespiti daha zordur ve çok daha yüksek hacimde su kayıp ve kaçaklarının oluşmasına sebep olur. Özellikle jeolojik formasyon olarak karstik yapıdaki bölgelerde, sızıntılar yüzeye çıkmamakta ve yeraltına sızarak kaybolmaktadır. Bu durumlarda, sızıntıların yerinin tespit edilmesi oldukça zor olmaktadır.



Şekil 3.4 Su temin ve dağıtım sistemlerinde oluşan tipik su kayıpları

Su temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında oluşan kayıp ve kaçaklar : Su temin ve dağıtım hatlarındaki kayıp ve kaçaklar genellikle büyük hacimli olmakta ve yol vb. üst yapıya da zarar veren ciddi patlaklar olarak gözlenebilmektedir. Bu tür sızıntı ve patlaklar, fiziki su kayıplarının en sık rastlanılan türüdür ve aşağıdaki nedenlerden dolayı meydana gelmektedir (Muhammetoğlu, H. ve Muhammetoğlu A., 2017: 34, 35):

- Kalitesiz malzemeler
- Kalitesiz kurulum ve işçilik
- Kurulum öncesinde malzemelerin yanlış yönetimi ve yanlış dolgu
- Geçici basınç, değişken basınç ve yüksek basınç
- Aşınma, titreşim ve akış hacmi
- Soğuk hava gibi çevresel etmenler
- Diğer altyapı sistemlerinin inşa ve bakım-onarım çalışmaları esnasında oluşan fiziki hasarlar
- Planlanmış düzenli bakımın eksikliği

Depolarda meydana gelen kaçak ve taşmalar : Depo taşkınları genellikle tüketimin az olduğu gece saatlerinde meydana gelmekte olup, su idareleri tarafından geceleri düzenli olarak her depo için kontrol sağlanmalıdır. Depolarda meydana gelen taşmalar ölçülebilir yapıdadır. Depo kontrolleri doğrudan gözlemlerle veya depodaki su seviyesini otomatik olarak kaydeden veri depolayıcı cihazlarla sağlanabilmektedir. Fakat günümüzde su idarelerinin tamamında depolardaki su seviyesini gerçek zamanlı olarak ölçebilen cihazlar bulunmamakta ve idareye ait tüm depolardaki su seviyeleri tek bir kontrol odasından, örnek olarak Supervisory control and data acquisition (SCADA) merkezinden izlenememektedir (Muhammetoğlu, H. ve Muhammetoğlu A., 2017: 34, 35).

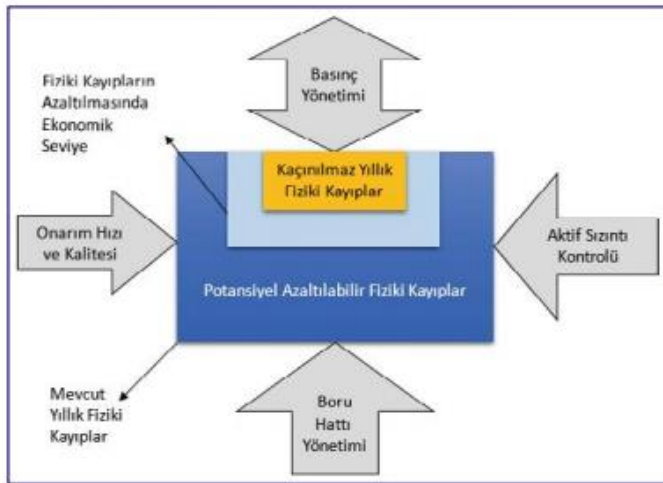
3.5. Su Kayıp Kaçaklarının Yönetim ve Önlenmesi

Dünya üzerindeki kullanılabilir yapıdaki su potansiyeli ile mevcut su tüketim verileri değerlendirildiğinde kıt su kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlayabilmek ve yüksek su kayıp ve kaçak oranlarını azaltmak ve kabul edilebilir düzeylere çekebilmek için altyapı yatırımları ile kontrol, izleme sistemlerine öncelikli ağırlık verilmesi gerektiği görülmektedir (Çapar vd., 2018).

Fiziki su kayıpları yönetim stratejisi içinde dört temel bileşen yer almakta ve Şekil 3.5’de gösterilmektedir;

1. Basınç yönetimi
2. Onarım hızı ve kalitesi
3. Aktif sızıntı kontrolü
4. Boru hattı yönetimi

Şekil 3.5’ de yer alan büyük mavi alan Potansiyel Azaltılabilir Fiziki Kayıplar olarak tanımlanmakta ve dağıtım şebekesi eskidikçe fiziki kayıplar artış göstermektedir. Fiziki kayıplardaki artış hızı, ancak fiziki su kayıpları yönetim stratejisinde yer alan dört temel bileşenin uygun şekilde birleşmesi ile sınırlandırılabilir (Muhammetoğlu, H. ve Muhammetoğlu A., 2017: 35, 36).



Şekil 3.5. Fiziki su kayıpları yönetim stratejisi bileşenleri

Basınç yönetimi: Su sızıntıları borulardaki küçük deliklerden oluşmakta olup, boru hattına verilen suyun basıncı ne kadar yüksekse bu deliklerdeki sızıntıların kuvveti ve miktarı o kadar fazla olmaktadır. İçme suyu dağıtım şebekesindeki fazla su basıncını azaltmak basınç yönetiminin temel amacıdır. Basınç yönetimi ile fiziki su kayıplarının azaltılmasının yanında boru, vana vb. şebeke elemanlarının kullanım süresinin uzatılması, boru patlaklarının oluşma sıklığının azaltılması gibi faydalar da elde edilmektedir. Basınç yönetimini gerçekleştirmenin ilk unsuru ölçümlerle basıncı tespit etmektir. Bunun için hidrolik modeller kullanılması gerekmektedir (Zyoud vd., 2016). İkinci olarak yüksek durumda olan basıncın

kontrol edilmesi gerekmektedir ve bunun için basınç düşürücü vana kullanılır. Çalışmanın uygulama bölümünde ele alınacak malzemelerden biri basınç kontrol vanasıdır.

Onarım hızı ve kalitesi: Herhangi bir sızıntı veya kaçak varlığının tespitiyle beraber, sızıntı veya kaçağa müdahale edilmeden geçen süre doğrudan fiziki kayıpların hacmini artırmaktadır. Su kayıplarını oluşturan sızıntıların aranması, belirlenmesi, yerinin tespit edilmesi ve onarımı üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar: Algılama (Awareness-A), Lokasyon tespiti (Location-L) ve Rehabilitasyon/Onarım (Repair-R) olmak üzere kısaca ALR olarak tanımlanmaktadır. Kayıp ve kaçak hacmini azaltmak için bu aşamaların mümkün olan en kısa sürede tamamlanması gerekir. Onarım kalitesi ise onarımın kalıcılığı açısından son derece önemlidir. (World Bank Institute, 2010). Algılama ve lokasyon tespitinde kullanılan malzemelerin (korelatör, akustik dinleme cihazı) etkin bir şekilde seçimi çalışmanın uygulama kısmında ele alınacaktır.

Boru hattı yönetimi: Boru hattı yönetimi; boru hattı için doğru malzeme seçimi, malzemelerin montajı, bakım onarımı, değişimi ile kazısız teknolojiler olmak üzere bütün yönetim adımlarını ve işletim unsurlarını içermektedir. Su kayıp ve kaçaklarının uzun vadeli ve ekonomik kontrolü açısından boru hattı yönetimi büyük önem arz etmektedir. Boru hatları üzerinde onarım, yenileme veya mevcut durumda bırakılmasına yönelik kararların alınabilmesi için bu kararların önceliklendirmesi çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Boru hatları yönetimindeki en temel işlem adımları; boru hatlarının mevcut yapı ve performansının belirlenmesi, gerekli verilerin toplanması, verilerin ihtiyaç duyulan anlamlı bilgilere dönüştürülmesi, ihtiyaçların önceliklendirilmesi ve entegre teknolojik sistemlerinin kurulmasıdır (Altyapı ve Kazısız Teknolojiler Derneği, 2018).

Aktif sızıntı kontrolü: Aktif sızıntı kontrolü, etkin ve uygun maliyetli su kayıp ve kaçakları yönetimi için hayati bir uygulamadır. Aktif sızıntı kontrolü ve ayrılmış kısmının devamlı olarak incelenebilmesi için şebeke birbirinden hidrolik olarak bağımsız izole alt bölgelere (District Metered Area [DMA]) ayrılmalıdır. DMA; şebeke projelendirme aşamasında birbirinden bağımsız olarak tasarlanan veya su dağıtım şebekesi üzerinde ilave vanalama ve/veya tapalama yoluyla ayrılan, alanlardır. DMA'lar her birinde ayrı ayrı ölçümlerin yapıldığı bir veya birkaç noktadan beslenen, belirli sayıda bina bağlantısını içeren, diğerlerinden fiziki olarak ayrılan ve birbirinden bağımsız çalışan her bir şebeke

bölümleridir (Baykan, 2017: 28, 32). Bu çalışma dahilinde DMA odalarında da kullanılan malzemelerin (debimetre, datalogger) seçimine yönelik uygulama yapılacaktır.

Akustik yöntemler : Sızıntıların belirlenmesi ve yer tespiti için en temel yöntem, basınç altındaki suyun borudan çıkışına ait seslerin ve gürültülerin dinlenmesidir. Tespit faaliyetinin etkinliği; sistem basıncı, sızıntının boyutu ve şekli, boru malzemesine ve çapına bağlıdır. Bu dinlemelerin gerçekleştirildiği malzemelerin (akustik dinleme cihazı) etkin bir şekilde seçimi çalışmanın uygulama kısmında ele alınacaktır.

3.6. Türkiye’de Su Kayıp Kaçaklarına Yönelik Yapılan Çalışmalar

Türkiye’de su yönetimi alanında karar ve uygulama yetkisi kamu kurumları nezdinde yapılmaktadır. Suyun üretimi, iletimi ve suyun korunmasına yönelik; tahsis, izleme, izin, denetim ve yaptırım yetkilendirmeleri farklı kurumlar bazında paylaştırılmıştır. Su kayıp kaçaklarının yönetiminde de politika geliştirme ve standartlar belirleme bakanlıklar ve üst idareler kararıyla gerçekleşirken, veri sağlama, planlama, planların uygulanması, tahsis, izleme adımları yerel ve mahalli idareler boyutunda yürütülmektedir.

Su stresi çeken ve önümüzdeki 20 yılda su kıtlığı yaşayan bir ülke statüsüne gerilemesi muhtemel olan Türkiye için yıllık ortalama %42 seviyelerinde bulunan su kayıp ve kaçaklarını azaltmak ve kontrol altına almanın gerekliliği kaçınılmazdır. Su yönetimi alanında ülke bazında çalışmaların yoğunlaşması 2000 yılında yürürlüğe giren AB Su Çerçeve Direktifi ile başlamış olsa da su kayıp kaçaklarıyla mücadelenin resmi olarak başlangıcı oldukça yakın bir döneme denk gelmektedir.

Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından, 2014 yılında “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği” yayınlanmıştır. Bu yönetmelik ile su kaynaklarının korunması ve verimliliğin artırılması doğrultusunda, içme ve kullanma suyunun etkin kullanılması ve israfının önlenmesi için içme ve kullanma suyu temin ve dağıtım sistemlerindeki su kayıp ve kaçaklarının kontrolüne ilişkin usul ve esaslar düzenlemiştir. 2015 yılında yayınlanan “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği”, içme ve kullanma suyu temin ve dağıtım sistemlerindeki su kayıp ve kaçaklarının kontrolü için alınması gereken tedbirleri belirlemektir. Tebliğ, su kayıp ve kaçaklarının önlenmesinde izlenecek adımları, içme ve

kullanma suyu temin ve dağıtım sistemi ile şebekelerde kullanılacak malzemelere ilişkin hususları, abonelik hizmetleri ve izinsiz su kullanımı bölümleri ve içme suyunun temininden dağıtımına kadar olan düzenlemeleri içermektedir (Bulut, 2019).

2030 SKA Küresel Gündem kapsamında, öncelikli hedeflerden biri olan “su ve sanitasyon” konusuna uyum ve uygulama hedefini de temel alarak Mayıs 2019’da “Ulusal Su Planı” yayınlanmıştır. 2019-2023 yıllarını kapsayan Ulusal Su Planı’nda ele alınan ana başlık olan “Su Verimliliği” altında su kayıp ve kaçaklarına yönelik darboğazlar, bu alandaki hedefler ve politikalar belirlenmiştir.

Ağustos 2019’ a gelindiğinde yayınlanan “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” ile;

- Büyükşehir ve il belediyeleri, su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %30, 2028 yılına kadar ise en fazla %25 düzeyine
- Diğer belediyeler, su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %35, 2028 yılına kadar en fazla %30, 2033 yılına kadar ise en fazla %25 düzeyine

indirmekle yükümlü hale gelmişlerdir.

Ölçemediğinizi yönetemezsiniz prensibiyle yola çıkıldığında bir sorunla mücadele etmenin ve doğru çözümler geliştirmenin ilk unsuru mevcut durumu tüm gerçekliği ile ortaya koymaktır. Ülkemizde su kayıp kaçaklarıyla mücadeledeki ilk problem veri alanında yaşanmaktadır. Yerel ve mahalli idarelerin su kayıp ve kaçak miktarlarını tespit edebilmek için Standart Su Dengesi Tablosu yerel idarelerce oluşturulmakta ve Su Yönetimi Genel Müdürlüğüne iletilmektedir. Fakat idareler tarafından veri girişlerinde gerekli hassasiyet sağlanamamakta olup bu nedenle güvenilir veri elde edilememektedir. Örnek Standart Su Dengesi Tablosu Şekil 3.6’da gösterilmektedir.

Sisteme Giren Su Miktarı	İzinli Tüketim	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi		Gelir Getiren Su Miktarı
		Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi		Gelir Getirmeyen Su Miktarı
	Su Kayıpları	İdari Kayıplar	İzinsiz Tüketim	
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları	
		Fiziki Kayıplar	Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar	

Şekil 3.6. Standart Su Dengesi tablosu (Muhammetoğlu H. ve Muhammetoğlu A., 2017: 67)

Kayıp ve kaçak yönetiminde kayıp su verilerinin tespitinin yanında bir diğer temel unsur mevcut altyapıyı ve bileşenlerini tanımaktır. Kayıp ve kaçakların tespiti ve onarımı için yer altının doğru şekilde haritalandırılıp kayıt altına alınması gerekmektedir. Bunun için ülke genelinde bütün altyapı bileşenlerinin, yer üstü ve yer altı kaynaklarının mevcut fotoğrafını çekmek için; harita, uydu ve standart verilerinin entegre edilip, verilerin anlamlı bilgilere dönüştürüldüğü Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanımına başlanmıştır. Havza bazlı coğrafi bilgi sistemi yapısıyla su alanında tüm şebeke altyapılarının bu sisteme aktarılması daha uzun yıllar alacaktır. Zira idareler bünyesinde kurumsal hafıza sağlamak büyük problem teşkil ettiği için tespit ve aktarım çalışmaları istenen hızda ilerleyememektedir.

İdare bazında bütüncül bir su yönetimi için pek çok belediye ve su kanal idaresi SCADA (Supervisory control and data acquisition) sistemlerini kurup kullanmaya başlamıştır. SCADA kapsamlı ve entegre bir veri tabanlı kontrol ve izleme sistemi (yazılımı) olup “Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama” sistemidir. SCADA, coğrafi olarak geniş bir alana yayılmış cihazların (trafo, kesici, pompa, vana v.b.), tesislerin (su şebekeleri, havaalanları, uzay istasyonları) bir merkezden bilgisayar ya da mobil cihazlar aracılığı ile denetlenmesini, izlenmesini ve bir mantık içerisinde işletilmesini sağlamaktadır. SCADA sistemleri ile datalogger gibi veri toplayıcı cihazlardan gelen veriler anlık olarak su kayıp ve kaçak oluşan veya oluşma ihtimali olan yerin noktasal tespiti sağlanabilmekte ve yine şebeke içi kazısız teknolojiler ile sızıntı ve kaçaklar oluşmadan önlenabilmektedir (Prowmes, 2019).

Aktif sızıntı kontrolü ve ayrılmış kısmının devamlı olarak incelenebilmesi için şebekeler birbirinden hidrolik olarak bağımsız olan izole alt bölgelere (DMA) ayrılmalıdır. Büyük şehirlerde DMA'lar oluşturulmuş ve oluşturulmaya devam etmektedir.

Ülkemizde su kayıp kaçaklarını meydana getiren ve bütün tedbir, öneri ve önlem mekanizmalarında belirtilen temel sorun kullanım ömrünü tamamlayan ve yetersiz durumda olan ekipmanlardır. Su kayıplarıyla mücadelede şebeke altyapılarının su kayıp kaçaklarını önleyecek ekipmanlarla tasarlanması elzemdir. Su kayıp ve kaçaklarını kontrol, tespit ve izleme için gerekli olan doğru malzemelerin seçimi için yukarıda belirtilmiş olan tebliğ, yönetmelik vb. dokümanlarda yönlendirmeler olmasına karşın yeterli olmamaktadır. Malzeme seçimi ve alımını gerçekleştiren idareler bazında malzeme temin standartları bulunmamaktadır.

Bu çalışmanın ilerleyen bölümünde su kayıp ve kaçaklarını tespit ve önlemek için kullanılacak malzemelerin doğru şekilde seçimi için ÇKKV yöntemleri ile malzeme özellikleri önem sıralaması uygulaması yapılmıştır. Çalışmanın idareler bazında malzeme seçim standartizasyonları ve teknik şartnameleri oluşturulmasına yönelik fayda sağlaması amaçlanmaktadır.

4. MATERYAL VE METOT

Su kayıp ve kaçaklarını önlemede kayıp ve kaçak tespiti ve şebeke hatlarında kullanılan malzeme seçiminin ne kadar önemli ve kritik bir unsur olduğu önceki bölümlerde ifade edilmiştir. Önlemenin ve düzeltmenin ilk adımı mevcut durumu en rasyonel şekilde tespit etmektir. Bu tespiti yapabilmek için de doğru ekipmanların seçimi elzemdir. Bu çalışma dahilinde su dağıtım şebekelerinde su kayıp ve kaçaklarını önlemek üzere kullanılan malzemeler içerisinde en kritik öneme ve etkiye sahip olanların malzeme özellikleri önem derecesine göre sıralanmaktadır. Bu sayede, malzeme alımı yapılırken pek çok özellik arasından en öncelikli olanlara dayalı olarak alım kararları verilebilmesi hedeflenmektedir. Tez kapsamında sıralama işlemi için ÇKKV yöntemlerinden Bulanık TODIM (B-TODIM) ve TOPSIS'in bütünleşik kullanımından oluşan bir yaklaşım önerilmekte olup uygulama çalışması yapılmıştır.

4.1. Materyal: Fiziki Su Kayıp ve Kaçak Yönetiminde Kullanılan Malzemeler

Su yönetimi; suyun üretimi, iletimi, suyun korunmasına yönelik; tahsisi, izlenmesi, izinleri, denetimleri, yaptırımları ve bakım onarımları olmak üzere pek çok aşamayı içinde barındırmaktadır. Suyun üretiminden, abonelerin musluklarına ulaşıncaya kadar kurulu olan şebeke altyapıları pek çok malzemeden meydana gelmektedir. Bu malzemeler;

- Borular
- Yardımcı Şebeke Elemanları
 - Vanalar
 - Vantuzlar
 - Pislik tutucular
 - Yangın hidrantları
 - Basınç kırıcı vanalar
 - Debimetreler
- Su Kayıplarının Kontrolünde Kullanılan Ekipmanlar
 - Veri Kaydedici (Datalogger)
 - Korelatörler
 - Akustik Dinleme Mikrofonları
 - Metal Dedektörler

- Basınç Kırıcı Vana Kontrolörü
- Elektromanyetik Dedektörler
- GPR Yeraltı radarı
- Servis Bağlantıları
- Alt Bölge Odaları – (DMA)
- Sayaçlar

şeklinde sınıflandırılmaktadır (Pilcher vd., 2009).

Su kayıp ve kaçaklarının yönetiminde de yukarıda bulunan malzemelerin her biri ayrı ayrı öneme sahiptir. Suyun kaynağından son noktaya ulaşmaya kadar taşıma kanalı olan borular, sızıntıların meydana gelmemesi ve yardımcı şebeke elemanlarının taşıyıcısı olarak temel malzeme kalemidir. Boruların taşıyıcısı olduğu yardımcı elemanlar, servis bağlantıları ve DMA odaları tasarımları kayıp ve kaçak yönetiminde seçimi, kurulumu ve takibi özenle yapılması gereken malzemelerdir (Pilcher vd., 2009).

Su kanalizasyon idareleri, belediyeler ve malzeme tedarikçisi firmalar ile yapılan görüşmeler sonucunda su kayıp ve kaçaklarının önlenmesinde tüm bu malzemelerin içinde kritik öneme sahip olan parçaların var olduğu belirlenmiştir. Bunlar; sağlamış olduğu verinin önemi, fayda/maliyet, kullanım sıklığı anlamında özellikle hassasiyetle seçilmesi gereken malzemelerdir ve:

- Mevcut durumun izlenmesi, kontrolü ve yönetimi
 - Debimetreler
 - Basınç kırıcı vanalar
- Kayıp kaçakların tespiti ve aktif sızıntı kontrolü
 - Veri Kaydedici (Datalogger)
 - Korelatörler
 - Akustik Dinleme Mikrofonları

olarak iki başlık altında sınıflandırılmış olup beş adet malzemeyi içermektedir.

Kritik öneme sahip olduğu tespit edilmiş olan bu beş adet malzemenin idareler tarafından doğru şekilde seçimi yapılmalıdır. Her bir malzemenin kendi içerisinde pek çok teknik

özellik bilgisi yer almakta olup, seçim yapılırken hangi özelliklerin öncelikli olarak dikkate alınması gerektiğine dair bir standart mevcut değildir. Bu çalışma dâhilinde seçilmiş olan bu beş adet malzemenin onlarca sayıda olan teknik özellikleri arasından belirlenen kriterlere göre öncelik verilmesi gereken on adet teknik özelliklerinin sıralamaları gerçekleştirilecektir. Her bir malzemeye ait olan on temel özellik karar vericiler tarafından belirlenmiştir. İlgili malzemelerin özellikleri ve kritik öneme sahip olma nedenleri aşağıda açıklanmaktadır.

4.1.1. Debimetre

Debimetreler, boru hatlarından geçen suyun akış debisini gerçek zamanlı olarak ölçmeye yarayan hassas ölçüm cihazlarıdır. Su dengesi oluşturmak ve su kayıplarını hesaplamak için: su kaynaklarının çıkış boru hattı üzerine kaynağa en yakın noktaya, DMA bölgelerinin girişlerine, isale hatlarına, depo giriş ve çıkışlarına, servis deposu giriş ve çıkış boru hatları üzerine, arıtma tesislerinin giriş ve çıkışlarına, terfi merkezleri çıkışlarına monte edilmektedirler. Birçok farklı metotla ölçüm yapabilen debimetrelerin en yaygın kullanılan çeşitleri elektromanyetik ve ultrasonik debimetrelerdir. Elektromanyetik debimetreler, debimetrenin boru hattı içerisinde ürettiği elektrik sinyallerinin sensörler tarafından algılanması ve sinyal değerlerine göre debi miktarı olarak tanımlanması esasına göre çalışmaktadır. Ultrasonik debimetreler ise aynı işlemi boru hattı içerisinde sonik sinyaller üreterek yapmaktadır.

Kayıp ve kaçak çalışmalarında, ölçüm hassasiyetleri, ortam şartlarından minimum etkilenme ve süreklilik gibi özellikleri dolayısı ile elektromanyetik debimetreler kullanılmaktadır (Baykan, 2017: 81). Elektromanyetik debimetre örneği Resim 4.1’de gösterilmektedir.



Resim 4.1. Elektromanyetik debimetre

Aktif sızıntı kontrolü, etkin ve uygun maliyetli su kayıp ve kaçak yönetimi için hayati bir uygulamadır. Debimetreler ile beraber SCADA sistemlerinin kullanılması şebekeden akan suyun debisini gerçek zamanlı olarak ölçmeyi sağlamaktadır. Bir su kaynağı girişinde veya depo çıkışında yer alan debimetre, entegre yazılımla beraber depo girişinde yaşanacak herhangi bir kesinti durumunda kritik öneme sahiptir. Debimetre, depoda bulunan anlık su miktarı ve depodan çıkan anlık su miktarına ait verilerden yola çıkarak depodaki mevcut suyun, depodan beslenen abonelere ne kadar süre yeteceğini analiz edilebilmekte ve kalan süreyi güncel şekilde hesaplanabilmektedir. Depo çıkışında bulunan debimetre sayesinde depodan belirli bir zaman aralığında çıkan su ile depodan beslenen abonelerden yine aynı zaman diliminde tahakkuk ettirilen su miktarının karşılaştırılması ile su kayıp ve kaçakları tespit edilebilmektedir. Debimetre, boru patlaklarına bağlı olarak şebekede hızla yükselen ve belirli limit değerleri aşan debi seviyesi için alarm vermekte ve böylece borularda oluşan patlaklar hızlı bir şekilde belirlenebilmektedir (Çelik vd., 2017).

4.1.2. Basınç kontrol vanası (BKV)

Su dağıtım şebekeleri boyunca hidrolik dengenin kurulması, sistem verimliliği ve güvenliği için oldukça önemlidir. Basınç kontrol vanaları, yüksek giriş basıncını, talep edilen sabit çıkış basıncına düşürerek bu dengenin kurulmasını ve verimin yükselmesini sağlayan vanalardır. Şebeke verimi üzerinde oldukça etkili olduğu gibi, su şebekelerinde en çok kullanılan ekipmanlardandır (Ayvaz, 2020). Basınç kontrol vanası örneği Resim 4.2.'de gösterilmektedir.



Resim 4.2. Basınç kontrol vanası

Basınç kırıncılar su dağıtım şebekelerinde besleme bölgelerinde ihtiyaç duyulan basıncın üzerinde meydana gelen yüksek basınçları azaltmak amacıyla kullanılmaktadırlar (Baykan, 2017: 87, 95). Basınç kontrol vanaları:

- Şehir şebeke hatlarında bina su saatleri öncesinde
- Daire girişinde bulunan su saatlerinin yanında
- Pompa ve hidrofor girişlerinde
- Yüksek basınçtan korunması gereken cihazların önünde
- Kombi ve termosifon girişlerinde

kullanılmaktadır.

Debimetre ve basınç kontrol vanaları ile terfi merkezlerinin sürekli izlenmesi, şebeke hatlarında meydana gelme ihtimali olan arızaların önüne geçilmesini, personel yönetimi ve malzeme tasarrufu sağlanmasını, kayıp ve kaçak su miktarlarının ciddi ölçüde düşürülmesini sağlamaktadır. Arızaların ve kayıp ve kaçakların en kısa zamanda tespiti ile en kısa zamanda müdahale edilmesi, hizmette kalite ve sürekliliğin sağlanması bakımından önem arz etmektedir (Baykan, 2017: 87, 95).

4.1.3. Datalogger (veri kaydedici)

Datalogger (veri kaydedici), seçilmiş verileri belirlenmiş zaman içinde kaydedip depolamak için kullanılan elektronik bir cihazdır. Önceden belirlenmiş aralıklarda gelen verileri kaydetmekte olup bu ölçüm aralığı milisaniye, dakika, hatta saatlere kadar çıkabilmektedir. Su seviyesi, basınç, nem, sıcaklık, güneşlenme değerleri, rüzgâr hız ve yönü ve birçok fiziksel veri ile çevresel koşulları kaydedebilmektedir. İzlenmek istenen alanların nasıl fiziksel koşullarda bulunduğunu, hangi durumlara maruz kaldıklarını maruziyet süresiyle birlikte bilme ve buna göre değerlendirme yapma tertibatına sahip cihazlardır (Rst Elektronik, 2020). Örnek Datalogger Resim 4.3’de gösterilmektedir.



Resim 4.3. Datalogger

Dataloggerlar belirlenen aralıklar içerisinde veri alma, toplama, kaydetme işlemlerinde sağlamış olduğu kolaylıklar sayesinde iş verimliliğinin artmasını sağlamaktadır. Dataloggerlar, genel olarak enerjinin kolayca götürülemediği uzak ve erişimi zor alanlarda kullanılmaktadır. Birçok farklı fiziksel veriyi anlık olarak izleyebilmenin yanında, kayıt altında tutarak raporlama ve verileri süreç sonrası analiz etme imkânı sunmakta ve analiz yazılımları ile sürekli veri takibinde sistem şartlarının izlenmesini sağlamaktadır (Ram,2020).

DMA odalarında çok kanallı dataloggerler kullanımı ile tüketimin ve basınç profilinin izlenmesi ve sızıntı seviyelerinin tespit edilmesi sağlanmaktadır (İçme Suyu Temin Ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, 2015).

Datalogger uygulama alanlarından bazıları; İlaç depoları, laboratuvar ortamları, hastaneler, soğuk hava depoları, endüstriyel ortamlar, toprak nem ölçümleri, gıda depoları, su derinliği, ph, iletkenlik, akış uygulamalarıdır (Ram Ölçü Kontrol Sistemleri, 2020).

4.1.4. Akustik dinleme mikrofonları

Akustik dinleme mikrofonları, yer altına gömülü basınçlı boru hatlarından sızan suların çıkardığı sesi algılayarak su sızıntı noktasını tespit etmeye yönelik çalışmakta olup sızıntıların yarattığı gürültüyü tespit etmek ve yükseltmek için kullanılmaktadır. Aldığı sesleri kontrol ünitesine gönderen yazılımları sayesinde hem görsel hem de işitsel olarak su kaçağının tespit edilmesini sağlamaktadır. Kaçak çalışmasında kullanılan sabit ses kaydedici sistem; mikrofon, el probu ve kulaklıklardan oluşmaktadır. Akustik dinleme cihazı ve ekipmanları Resim 4.4’de gösterilmektedir.



Resim 4.4. Akustik Dinleme Cihazı

Kaçak olduğu düşünülen bölgelerde farklı noktalara mikrofonlar koyularak dinleme yapılmakta, dijital göstergede yer alan değerler kontrol edilerek kaçakların yerleri tespit edilmeye çalışılmaktadır. Cihaz, kazı yapılmaksızın toprak altındaki kaçakların tespit edilebilme imkanı sunması açısından kaçak tespit çalışmalarında mutlaka bulunması gereken bir ekipmandır (Baykan, 2017: 115).

4.1.5. Korelatör

Korelatör, sızıntı yerlerini doğru şekilde tespit etmek amacı ile kullanılmaktadır. Her sızıntı yerinden boru üzerinden yayılan bir ses sinyali ve titreşim gelmektedir, bu da boruya monte edilmiş hidrantlara, armatürlere, vanalara veya sürgülere aktarılmaktadır. Titreşimler oldukça sessiz yapıda olup, korelatör bu ses seviyesini insan kulağının algılayabileceği frekanslara dönüştürmektedir. Bu sinyallerin süre farkından, malzeme, boru çapı ve ölçüm uzunluğunu dikkate alınarak tam sızıntı konumunu tespit etmektedir (Trotec, 2020). Korelatör ve ekipmanları Resim 4.5’de gösterilmektedir.



Resim 4.5. Korelatör

Korelatör, kızılötesi iletişim yapabilen sensör problardan oluşmaktadır. Korelatörlerin algılama sensörleri vanalara tutturularak ses kaydı yapması sağlanmaktadır. Korelatörün bağlı olduğu bilgisayar sistemi ve sensörler arasında kızılötesi veri paylaşımı yapıp, korelasyon yazılımının girdileri işlemesi ile tahmini kaçak yerini belirlenmektedir (Baykan, 2017: 116).

4.2. Metot: Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Karar, kelime anlamı olarak iki veya daha fazla alternatif arasından birinin seçilmesidir. Sosyal hayatta ve iş hayatında karar verme gün geçtikçe daha karmaşık bir hale gelmektedir. Karar vericilerin (KV) eniyi seçeneği tercih etmelerini belirsizlik ortamı oldukça

güçleştirmektedir. Alternatifler arasından eniyi seçimi yapabilmek için birden fazla kriter dikkate alınmalıdır (Avcı, 2019). Verilen kararlar, bulunan kaynakların eksik veya yetersiz olması durumunda en etkin kararlar olmayabilir. Kararların etkinliği, kararın istenen sonuç ve sonuçlara ulaşılabilmesi ile ölçülmektedir. Karar verme çalışmalarında belirli bir karar verme problemi için eniyi seçimin ne olduğu sorusu; normatif veya kuralcı bir yaklaşımla ele alınmaktadır (Yertutan, 2019).

Kaynakların karmaşık ve entegre hale gelmesi, ilişkilerin küresel boyut kazanması, yaşanan teknolojik gelişmeler ile organizasyonların karar verme süreçleri, belirsizliklerin arttığı ve öncesine nazaran daha karmaşık bir hale bürünmektedir. Karar vericilerin karar verme sürecinde tek bir kriter ya da tek bir amacı değil de, birden fazla kriter ve amacı eşanlı olarak değerlendirmeleri ve kararlarını verirken bu amaç doğrultusunda hareket etmeleri ÇKKV olarak nitelendirilir (Avcı, 2019).

ÇKKV yaklaşımlarının temel amaçlarından biri, KV'lere karar verme hakkında güvenli ve rahat hissetmeleri yönündeki bilgiyi organize ederek ve sentezleyerek karar sonrasında oluşabilecek pişmanlığı enaza indirmeye yardım etmektir. Var olan ÇKKV yöntemlerinde karar uzayı kesiklidir. Kesikli matematik yaklaşımları sayılabilir miktarda alternatif olduğunda kullanılmaktadır. Modellerde en uygun sonuç bulmak yerine değişik kriterlere göre en uygun karar alternatiflerinin sıralanması ve sıralanan bu alternatiflerden eniyisinin seçilmesi amaçlanmaktadır (Yertutan, 2019).

Karar verme işlemini problem yapısına taşıyan temel nokta seçimler üzerinde etkili olan çok sayıda kriterin var olmasıdır. İçerik özellikleri nedeniyle ikriterlerin amaç doğrultusunda düzenlenip ve değerlendirilmesi kolay bir şekilde yapılamamaktadır. Kriterlerin birbirleriyle çelişmesi karar probleminin karmaşıklığını arttırmakta olup bunun sonucunda hangi kriterin öncelikli olacağı sorusu oluşmakta veya kriterlerin birbirlerine olan yakınlığı hangi kriterin seçileceği problemini meydana getirmektedir (Başaran, 2019).

ÇKKV problem çözme sürecinin temel adımları;

- Problemin veya sorunun tanımlanması
- Amaç veya amaçların belirlenmesi
- Alternatiflerin saptanması

- Karar problemini etkileyen verilerin ve bilgilerin elde edilmesi
- Karar problemi modelinin kurulması
- Modelin çözülmesi
- Amaca ulaşmayı sağlayacak uygun alternatiflerin belirlenmesi
- Modelin tutarlılığının test edilmesi
- Sonuçlarının yorumlanması
- En uygun alternatifin seçilerek uygulamaya konulmasıdır

ÇKKV problemleri üç başlık altında toplanabilir (Erokutan, 2016).

Seçim Problemi: Çok sayıda ve birbiriyle kıyaslanması zor alternatiflerin, zor ve eşit ağırlıktaki bir kümeden seçilmesidir.

Sınıflama Problemi: KV'ler tarafından amaç doğrultusunda belirlenen kriterler esas alınarak, benzer özelliklere sahip alternatiflerin bir araya getirilerek sınıflandırılması ve gruplara ayrılmasıdır.

Sıralama Problemi: Alternatiflerin KV'lerin çeşitli nitel ve nicel ölçütler kullanılarak iyiden kötüye doğru sıralamasıdır.

4.2.1. Bulanık mantık

Literatürde problemlere çözüm sağlayabilmek için birçok matematiksel model vardır ve bu matematiksel modeller kesin sınırlara sahiptir. Fakat gerçek hayat kesin matematiksel modellerle açıklanabilmesi mümkün olmayan birçok belirsizliği içinde barındıran karmaşık bir yapıdır (M.F. Keskenler ve E.F. Keskenler, 2017). Karmaşıklık ve belirsizlik gibi kesin olmayan bilgi kaynakları genel olarak bulanık kaynaklar olarak isimlendirilmektedir. Bulanık modeller ise, bu tip bulanık kaynaklara dayanarak doğru ve tutarlı kararlar vermeyi sağlayan matematiksel modellere verilen isimdir (Aslan, 2009).

Bulanık mantık yaklaşımı ilk defa Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya atılmıştır. Zadeh (1965), gerçek dünya problemlerinin ne kadar detaylıca incelenirse çözümlerinin de bir o kadar bulanık hale geleceğini ifade etmiştir. Bulanık mantığın kullanıldığı modellerin başarılı sonuçlar ortaya çıkarmasının en önemli nedeni, bu mantığın insanın düşünce

yapısına uygun olmasıdır. Bulanık mantık, kişilerin davranışları ve performansları bakımından doğrusal olmayan yaklaşımlarda kullanılmak için son derece uygundur (Memik, 2017).

Bulanık mantıkta, klasik mantığın kullandığı iki seviyeli (0-1) işlemlerin yerine çok seviyeli işlemleri kullanılmaktadır. Bulanık mantık; sıcak soğuk, açık-kapalı, az-çok, yanlış-doğru, gibi kesin olan değişkenlerin yanında az kapalı, az açık, ılık, serin, kısmen doğru, kısmen yanlış gibi sözel ifade ve dile uygun değişkenleri de göz önüne almakta ve buna yönelik sonuçlar üretmektedir. Başka bir ifadeyle bulanık mantık, kesin biçimde 0 ve 1 olarak tanımlanan kesin ve kesikli bilgilerin yanı sıra 0.4, 0.85 gibi sürekli ara değerlerle de işlem yapmaya olanak tanımaktadır (Karakaşoğlu, 2008).

Bulanık küme teorisi

Bulanık küme kavramı; gündelik yaşamda netlik belirtmeyen durumlarda, mevcut olan tereddütler altında vaziyetlerin matematiksel modellemelerle anlatımıdır. Gündelik hayatta kişilerden birinin sıcak diye ifade ettiğine başka bir kişi soğuk olarak ifade edebilir, bu karar vericilere göre göreceli bir nosyondur. Bulanık küme teorisi tüm bu tür göreceli problemlerin çözümünde yardımcı olmaktadır ve bireylerin düşünce/fikirleri ve algılarındaki belirsizliklerle ilgilenmektedir. Bulanık küme teorisi alışlagelen matematiğin yetersiz kaldığı, temelinde belirsizlik ya da netlik barındıran karar verme problemlerine, netlik kazandırarak, çözümleme esnasında karşılaşılan problemleri yok eden metotlar sunar. (Menteş, 2010).

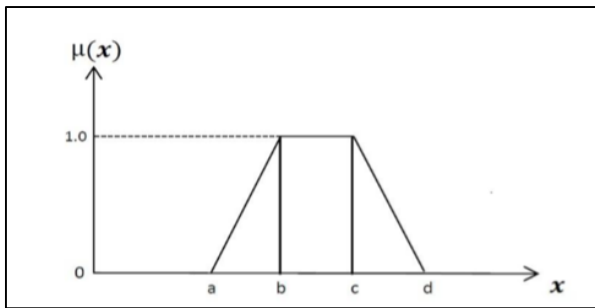
Bulanık kümeler dilsel değişkenliğin sayısal dille ifade edilmesine olanak sağlar. Küme yaklaşımı içerisinde Aristo mantığı kullanıldığı görülmekte olup bu mantık içerisinde tüm nesneler, belirlenmiş olan özellikleri karşılayanlar ya da karşılamayanlar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Geleneksel kümelerin üyeleri ikiye bölme kuralına göre belirlenir (Yılmaz, 2012). Fakat KV yaklaşım, düşünce ve tercihlerini soran gerçek yaşam problemlerinin çözümlenmesinde ikiye bölme kuralı eksik kalır. Zira karar vericilerin düşünce ve tercihlerini ifade ederken muğlak durumda kalması çok olağan bir durumdur. Bulanık küme teorisi, bu muğlak durumların çözüm aşaması için önermiştir (Sanayei vd., 2010).

Bulanık küme teorisinde , ‘‘nesne grubun üyesi ya da değildir’’ gibi kesinlik taşıyan ifadeler bulunmamaktadır. Bu ifadenin özündeki ana fikir, rastgele bir nesnenin belli dereceye kadar kümenin elemanı olabilmesi veya olamamasıdır. Bu tür kümede, 0 ve 1 sırayla en küçük ve en büyük üyelik derecelerini, geride kalan bütün ara değerler de kısmi üyelik derecesini göstermektedir (Sanayei vd., 2010).

Bulanık sayılar

Bulanık kümelerde sayının doğrusal olması, çözümü kolaylaştırması ve aritmetik işlemlerin karmaşıklaşmaması açısından tercih edilmektedir. Bu nedenle, özellikle gerçek uygulamalarda üçgensel ve yamuksal bulanık sayılar diğerlerinden daha sık kullanılmaktadır (Demircan, 2020). Buna göre; $\tilde{A}$ bir bulanık küme, $x \in \tilde{A}$ ve $\mu(x)$, x bulanık sayısının üyelik fonksiyonu olmak üzere $\mu(x)$, Eş. 4.1 formunda tanımlandığında x , yamuksal bulanık sayıdır. Yamuksal üyelik fonksiyonu Şekil 4.1’de gösterilmektedir.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (4.1)$$

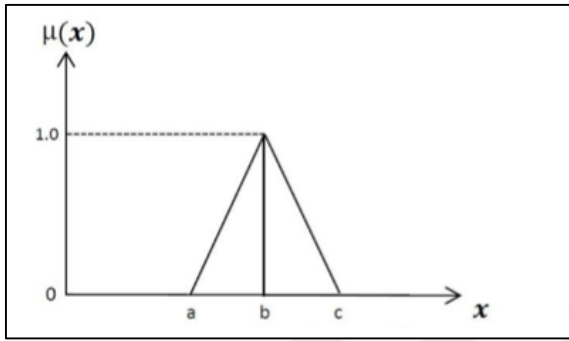


Şekil 4.1. Yamuk üyelik fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonu, değişkenlerin (a,b,c) üçgen bulanık sayılarla (ÜBS) tanımlandığı modellerde kullanılır ve ÇKKV ‘de en sık kullanılan yapıdır (Demircan, 2020). $\tilde{A}$ bir bulanık küme, $x \in \tilde{A}$ ve $\mu(x)$, x bulanık sayısının üyelik fonksiyonu olmak üzere $\mu(x)$ biçiminde tanımlandığında üçgen üyelik fonksiyonu Eş. 4.2 ve Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Aynı zamanda kesikli veriler üzerinde kullanılabilmesinden ve merkezde yoğunlaşarak

ortalamada en yüksek üyelik değerlerini almasından dolayı; bu çalışmada kullanılan veri yapısına en uygun fonksiyon olduğu için üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (4.2)$$



Şekil 4.2. Üçgensel üyelik fonksiyonu

4.2.2. Bulanık TODIM

TODIM, Gomes ve Lima (1992) tarafından literatüre kazandırılan, Portekizce’den temel alan ve Türkçe’ye “İteratif Çok Kriterli Karar Verme” şeklinde çevrilen (Tomada de Decisão Iterativa Multicritério-TODIM) bir ÇKKV tekniğidir. Davranışsal bir karar teorisi olan beklenti teorisi (prospect theory)’ne dayanan TODIM yönteminde, bir ÇKKV probleminde bulunan alternatifler arasında bir sıralama elde etmek amaçlanmaktadır. Riskli koşullar altında karar vermeye ilişkin bilimsel bir yöntem olan TODIM içerisinde değer fonksiyonunun biçimi beklenti teorisinin kazanç ve kayıp fonksiyonuyla benzerdir. Bu fonksiyon KV’lerin riskten kaçınma gibi davranışsal özelliklerini yansıtır ve alternatiflerin birbirlerine göre baskınlık derecelerini gösterir. (Khamseh ve Mahmoodi, 2014). Yöntem kullanılarak, problemdeki alternatifler arasında ele alınan kriterlere göre birbirleri üzerinde oluşturdukları baskınlık durumları incelenerek bir sıralama elde etmek amaçlanmaktadır (Üstüner, 2019).

TODIM yöntemi niceliksel verilerle birlikte dilsel değişkenlerle ifade edilen niteliksel verilerin kullanımına da olanak tanımaktadır. Belirsizliğin varlığı karar verme sürecinin

etkinliğini negatif olarak etkilediğinden bu dezavantajı azaltmak için bulanık mantık uygulanmalıdır. B-TODIM yöntemi, klasik TODIM'e bulanık kümelerin entegre edilerek oluşturulmaktadır. TODIM yöntemi içerisinde; her bir kriter bazında alternatiflerin birbiri üzerinde ikili kıyaslaması yapılır, sonrasında kazanç ve kayıplar elde edilir. Alternatiflerin her birinin kazanç ve kayıplarının toplamı o alternatifin baskınlık derecesini verir ve alternatifler bu baskınlık derecesine göre sıralanır. Bu çalışmada literatürde yer alan B-TODIM yöntemlerinden faydalanılmış olup, kullanılan yöntem adımları aşağıdaki şekilde belirtilmektedir (Zhang ve Fan, 2011; Tosun ve Akyüz 2015; Hsieh vd., 2004).

1. Adım: kriter ağırlıklarının ve performans değerlerinin belirlenmesi

Karar verme sisteminde m sayıda alternatif $i = 1, 2 \dots m$ ve n sayıda değerlendirme kriteri $j = 1, 2 \dots n$ bulunur. A_i , i ' inci alternatifi; C_j , j ' inci kriteri ifade eder. Her bir kriter farklı önem derecesine sahiptir ve $w = (w_1, w_2 \dots w_n)$ ise $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ ve $0 \leq w_j \leq 1$ kısıtları altında bir ağırlık vektörüdür. Alternatifler her bir kritere göre performans değerine sahiptir ve $\tilde{x}_{ij}$, i ' inci alternatifin j ' inci kritere göre olan performans değerini gösterir ve $\tilde{x}_{ij}$ üçgen bulanık sayıdır. Niteliksel kriterlere göre performans değerlendirmesi ve kriter ağırlıklarının belirlenmesi için KV'ler tarafından dilsel değişkenler kullanılır. kriter ağırlıkları için kullanılan değişkenler ÜBS olarak Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Kriter ağırlıkları için kullanılan değişkenler

Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayılar
Çok Düşük Önemli (ÇD)	(0.00, 0.00, 0.25)
Düşük Önemli (D)	(0.00, 0.25, 0.50)
Orta Önemli (O)	(0.25, 0.50, 0.75)
Yüksek Önemli (Y)	(0.50, 0.75, 1.00)
Çok Yüksek Önemli (ÇY)	(0.75, 1.00, 1.00)

2. Adım: bulanık kriter ağırlıklarının durulaştırılması

Bulanık kriter ağırlıkları bulanıklıktan kurtarılarak, diğer bir deyişle durulaştırılarak eniyi bulanık olmayan performans değeri (Best Nonfuzzy Performance Values [BNP]) hesaplanır. Bu amaçla literatürde Alan merkezi metodu (Centre of area [COA]) olarak

yer alan metot kullanılmıştır. (l, m, u) ile ifade edilen bir ÜBS için BNP değeri Eş. 4.3 yardımı ile hesaplanır:

$$BNP = l_i + \frac{(m_i - l_i) + (u_i - l_i)}{3} \quad (4.3)$$

3. Adım: kazanç ve kayıp matrislerinin hesaplanması

Bir alternatifin diğer alternatif üzerindeki kazanç ve kaybı ikili kıyaslamalar yapılarak elde edilir. $\tilde{x}_{ij}$ ve $\tilde{x}_{kj}$ sırasıyla alternatif A_i ve A_k ' nin kriter C_j ' ye göre performans değerleri olsun, $k = 1, 2, \dots, m$. $\tilde{x}_{ij}$ ve $\tilde{x}_{kj}$ performans değerleri üçgen bulanık sayılarla ifade edilir, alternatiflerin derecelendirilmesi için kullanılan değişkenler Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Alternatiflerin derecelendirilmesi için kullanılan değişkenler

Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0.00, 0.00, 2.50)
Düşük (D)	(0.00, 2.50, 5.00)
Orta (O)	(2.50, 5.00, 7.50)
Yüksek (Y)	(5.00, 7.50, 10.00)
Çok Yüksek (ÇY)	(7.50, 10.00, 10.00)

Alternatiflerin aralarındaki uzaklık, uzaklık ölçütleri ile hesaplanır. Çalışma dâhilinde Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütlerine göre hesaplama yapılmış olup Öklid uzaklığı Eş. 4.4 ile, Manhattan uzaklığı Eş. 4.5 ile hesaplanır:

$$d(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{kj}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(\tilde{x}_{ij}^l - \tilde{x}_{kj}^l)^2 + (\tilde{x}_{ij}^m - \tilde{x}_{kj}^m)^2 + (\tilde{x}_{ij}^u - \tilde{x}_{kj}^u)^2]} \quad (4.4)$$

$$d(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{kj}) = \sum_{k=1}^n |\tilde{x}_{ij} - \tilde{x}_{kj}| \quad (4.5)$$

A_i 'nin A_k ' ye karşı C_j kriterine göre kazanç (G_{ik}^j) ve kaybı (L_{ik}^j) aşağıdaki ifadelerle gösterilir.

Fayda kriteri için:

$$G_{ik}^j = \begin{cases} d(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{ij}), & \tilde{x}_{ij} \geq \tilde{x}_{ij} \\ 0, & \tilde{x}_{ij} \leq \tilde{x}_{ij} \end{cases} \quad (4.6)$$

$$L_{ik}^j = \begin{cases} 0, & \tilde{x}_{ij} \geq \tilde{x}_{ij} \\ -d(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{ij}), & \tilde{x}_{ij} < \tilde{x}_{ij} \end{cases} \quad (4.7)$$

Maliyet kriteri için

$$G_{ik}^j = \begin{cases} 0, & \tilde{x}_{ij} \geq \tilde{x}_{ij} \\ d(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{ij}), & \tilde{x}_{ij} < \tilde{x}_{ij} \end{cases} \quad (4.8)$$

$$L_{ik}^j = \begin{cases} -d(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{ij}), & \tilde{x}_{ij} \geq \tilde{x}_{ij} \\ 0, & \tilde{x}_{ij} < \tilde{x}_{ij} \end{cases} \quad (4.9)$$

Bu eşitlikler kullanılarak kazanç matrisi $G_j = [G_{ik}^j]_{m \times m}$ ve kayıp matrisi $L_j = [L_{ik}^j]_{m \times m}$ her bir kriter için oluşturulur.

4. Adım: kısmi baskınlık derecesi matrislerinin hesaplanması

Alternatif çiftleri arasındaki performans farklarını aynı boyuta dönüştürmek amacıyla en yüksek önem ağırlığına sahip kriter referans kriter olarak belirlenir. C_r referans kriterini gösterirken, w_{jr} , C_j kriterinin C_r kriterine göre önem ağırlığını gösterir ve Eş. 4.10 ile hesaplanır.

$$w_{jr} = w_j / w_r \quad (4.10)$$

$$w_r = \max\{w_j\}, j=1,2,\dots,n$$

$\phi_{ik}^{j(+)}$ kazancın baskınlık derecesini, $\phi_{ik}^{j(-)}$ kaybın baskınlık derecesini simgeler. Matrisi oluşturmak için alternatif A_i ' nin A_k üzerindeki kriter C_j ' ye göre kazanç ve kayıp baskınlık derecesi aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır:

$$\phi_{ik}^{j(+)} = \sqrt{G_{ik} \frac{w_{jr}}{\sum_{j=1}^n w_{jr}}} \quad (4.11)$$

$$\phi_{ik}^{j(-)} = -\frac{1}{\theta} \sqrt{-L_{ik} \frac{\sum_{j=1}^n w_{jr}}{w_{jr}}} \quad (4.12)$$

θ parametresi kaybı hafifletme faktörüdür. Karşılaştırılan alternatiflerin söz konusu kriter bazında kısmi baskınlık derecesi ϕ_{ik}^j aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\phi_{ik}^j = \phi_{ik}^{j(+)} + \phi_{ik}^{j(-)} \quad (4.13)$$

Daha sonra $\mathcal{C}_j$ kriteri için $\phi_j = [\phi_{ik}^j]_{m \times m}$ kısmi baskınlık derecesi matrisi oluşturulur.

5. Adım: toplam baskınlık derecesi matrisinin oluşturulması

Alternatif i 'nin alternatif k üzerindeki toplam baskınlık derecesi δ_{ik} :

$$\delta_{ik} = \sum_{j=1}^n \phi_{ik}^j \quad (4.14)$$

Bu durumda $m \times m$ boyutunda Δ toplam baskınlık derecesi matrisi oluşur, $\Delta = [\delta_{ik}]_{m \times m}$.

6. Adım: alternatiflerin toplam performans skorlarının hesaplanması

Önceki adımda oluşan Δ matrisine dayanarak, alternatif A_i 'nin sonuç değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\xi(A_i) = \frac{\sum_{k=1}^m \delta_{ik} - \min_{i \in M} \left\{ \sum_{k=1}^m \delta_{ik} \right\}}{\max_{i \in M} \left\{ \sum_{k=1}^m \delta_{ik} \right\} - \min_{i \in M} \left\{ \sum_{k=1}^m \delta_{ik} \right\}} \quad (4.15)$$

7. Adım: toplam skora göre alternatiflerin sıralaması

$0 \leq \xi(A_i) \leq 1$ ve daha büyük $\xi(A_i)$ daha iyi alternatif demektir. Bu nedenle alternatifler azalan $\xi(A_i)$ değerine göre sıralanır.

4.2.3. TOPSIS

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilmiş olup, seçilen alternatifin pozitif ideal çözümden en kısa, negatif ideal çözümden ise en uzak mesafede olması prensibine dayanmaktadır. Bu yöntem, pozitif ideal çözüm kriterlerden elde edilen eniyi değerlerin, negatif ideal çözüm ise en kötü değerlerin bileşiminden oluşmaktadır (Kumar ve Singh 2013). TOPSIS yöntemi işlem adımları aşağıda verilmektedir (Kumar ve Singh, 2012; Yavuz ve Baki, 2019).

1. Adım: başlangıç karar matrisinin oluşturulması

m tane karar alternatifi ve n tane değerlendirme kriteri bulunan ÇKKV problemi için başlangıç karar matrisi $A_{ij} = [x_{ij}]_{m \times n}$ aşağıdaki şekilde oluşturulur.

$$X_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} \end{bmatrix}$$

Şekil 4.3. Başlangıç karar matrisi

Başlangıç karar matrisi oluşturulurken karar vericiler tarafından alternatiflerin kriterler bazında değerlendirmesinde kullanılan 1-9 skalasındaki önem dereceleri Çizelge 4.3. de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. TOPSIS değerlendirme skalası

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Düşük derecede önemli	Alternatif kriter bazında düşük derecede önemlidir
3	Orta derecede önemli	Alternatif kriter bazında orta derecede önemlidir
5	Kuvvetli derecede önemli	Alternatif kriter bazında kuvvetli derecede önemlidir
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Alternatif kriter bazında çok kuvvetli derecede önemlidir
9	Aşırı derecede önemli	Alternatif kriter bazında aşırı derecede önemlidir
2,4,6,8	Ara değerler	Alternatifin kriter bazında tercih değerleri birbirine çok yakın olduğunda kullanılır

2. Adım: başlangıç karar matrisinin normalize edilmesi (standart karar matrisi)

Normalizasyon işlemi Eş. 4.16 yardımıyla gerçekleştirilmektedir:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m x_{ik}^2}} \quad (4.16)$$

3. Adım: ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

Normalize karar matrisinin kriter ağırlıkları (w_j) ile çarpılması sonucunda ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi (V_{ij}) elde edilmektedir.

$$V_{ij} = r_{ij} \times w_j \quad (4.17)$$

4. Adım: pozitif ve negatif ideal referans noktalarının hesaplanması

Pozitif ideal referans noktası (V_j^+) ve negatif ideal referans noktası (V_j^-) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$V_j^+ = \{(\max V_{ij}, i \in I), (\min V_{ij}, i \in j)\} \quad (4.18)$$

$$V_j^- = \{(\min V_{ij}, i \in I), (\max V_{ij}, i \in j)\} \quad (4.19)$$

Bu eşitliklerde; I , fayda yönlü kriterleri; j ise maliyet yönlü kriterleri ifade etmektedir.

5. Adım: pozitif ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkların hesaplanması

Her bir karar noktasına ilişkin değerlendirme faktör değerinin ideal ve negatif ideal çözüm setinden sapmalarının bulunabilmesi için uzaklık yaklaşımlarından yararlanılmaktadır. Çalışma dahilinde Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütlerine göre alternatiflerin pozitif ideal (S_i^+) ve negatif ideal (S_i^-) çözüme olan uzaklıklarının hesaplanması Eş. 4.20-23 yardımıyla yapılmaktadır.

Öklid Uzaklığı

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.20)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.21)$$

Manhattan Uzaklığı

$$S_i^+ = |V_{ij} - V_j^+| \quad (4.22)$$

$$S_i^- = |V_{ij} - V_j^-| \quad (4.23)$$

6. Adım: ideal çözüme olan göreceli yakınlığın hesaplanması

Her bir karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığının (RC_i) hesaplanmasında pozitif ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklardan yararlanılır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. Alternatiflerin ideal çözüme göreli uzaklıkları (RC_i) aşağıdaki Eş. 4.24 ile hesaplanmakta olup, en yüksek RC_i değeri en ideal alternatifi temsil etmektedir.

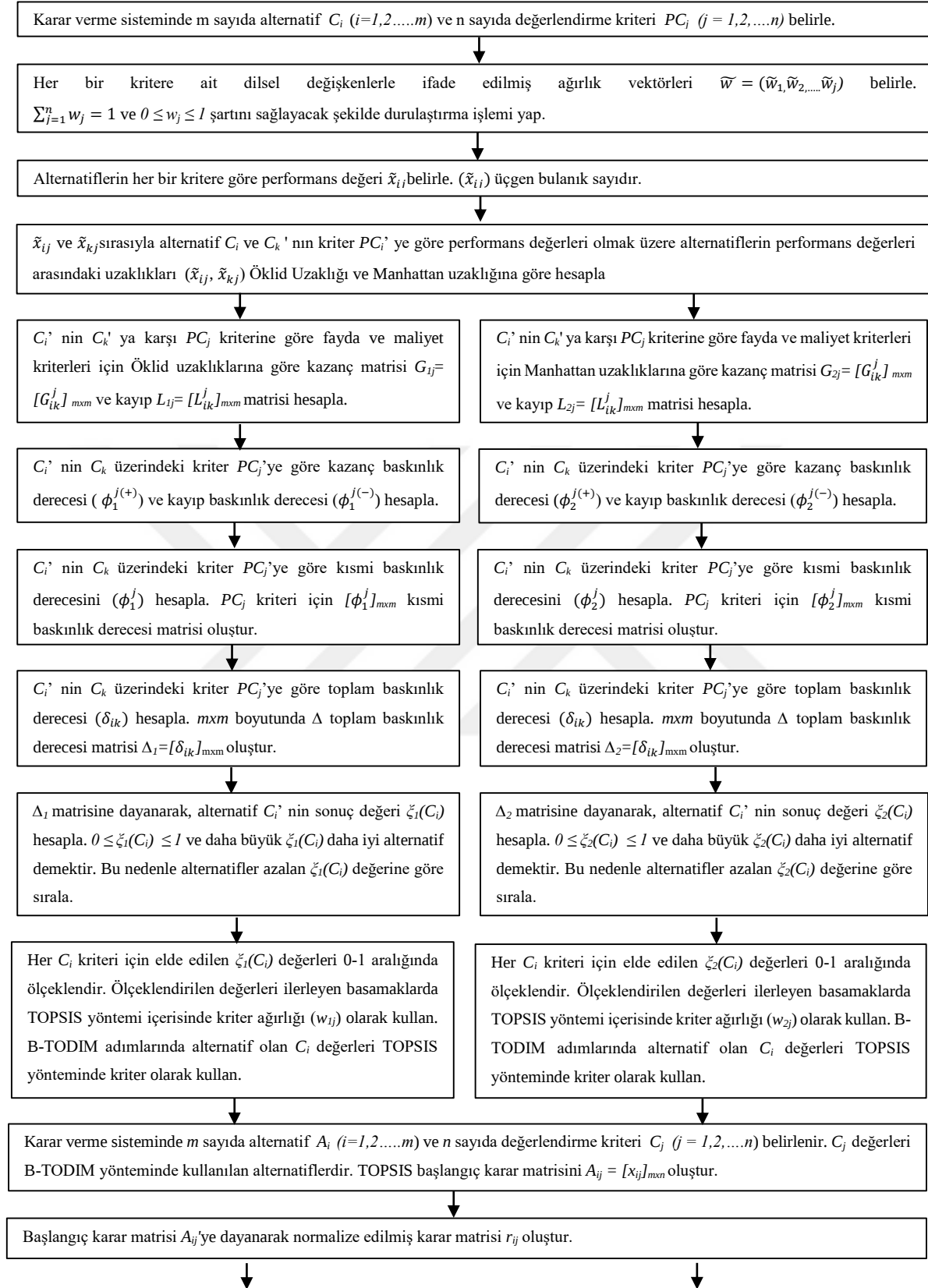
$$RC_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (4.24)$$

Bu adımda hesaplanan değeri RC_i^+ “0” ile “1” arasında bir değer almakla birlikte $RC_i^+ = 1$ karar alternatifinin pozitif ideal çözüme, $RC_i^+ = 0$ ise alternatifinin negatif ideal çözüme olan mutlak yakınlığını göstermektedir.

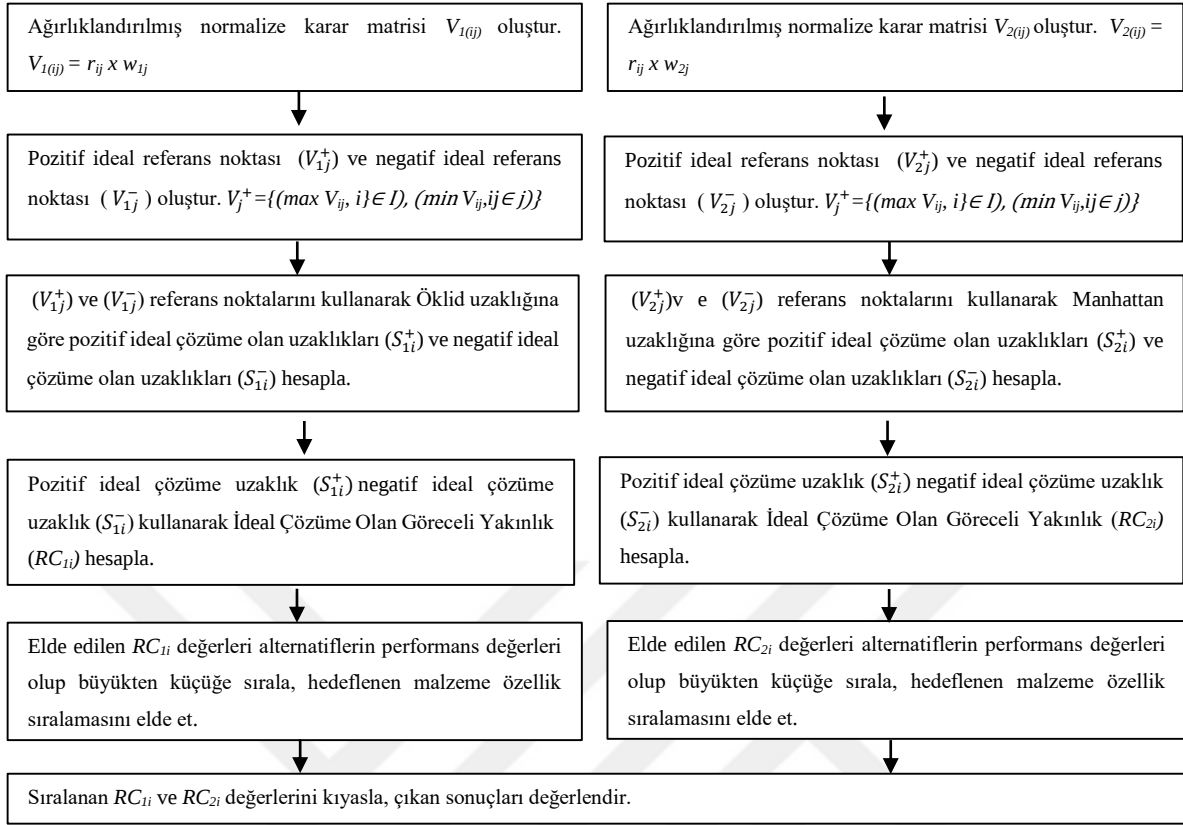
7. Adım: her bir alternatifin göreceli sıralamasının yapılması

TOPSIS yönteminde son olarak elde edilen RC_i değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak karar alternatiflerinin performansları değerlendirilir.

Bu çalışmada önerilen bütünleşik bulanık ÇKKV yaklaşımına ait akış şeması aşağıda yer alan Şekil 4.4’ de verilmektedir



Şekil 4.4. Önerilen bütünleşik bulanık ÇKKV yaklaşımı akış şeması



Şekil 4.4. Önerilen bütünleşik bulanık ÇKKV yaklaşımı akış şeması (devamı)

4.3. Literatür Taraması

Su insanlık ve tüm dünya için temel yaşam kaynağıdır ancak sınırlı bir kaynak olması nedeniyle doğru yönetimi büyük önem arz etmektedir. Su çağlar boyunca insanlar ve toplumlar arasında paylaşım sorunlarına neden olmuş, içinde bulunduğumuz son yüzyılda da her yönüyle doğru yönetim gerektirmiştir. Bilimsel ve teknolojik gelişmelerin su yönetimi alanına uygulanması özellikle 2000 yılı sonrasında daha da yoğunlaşmıştır. Bu bölümde literatürde su yönetimi ve su kayıp ve kaçaklarının önlenmesi alanlarında ÇKKV yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Hajkowicz ve Collins (2007), çalışmalarında bir literatür araştırması yapılmış ve 113 su yönetimi çalışması incelenmiştir. Yapılan çalışmaların sırasıyla en çok; su politikası ve tedarik planlaması, altyapı seçimi, proje değerlendirmesi, suyun tahsisi, havza yönetimi, su kalitesi, yer altı suları yönetimi, deniz ekosisteminin korunması başlığında olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan ÇKKV yöntemleri bazında en yaygın yöntemlerin sırasıyla; bulanık küme analizi, uzlaşma programlama, AHP (Analytic hierarchy process), eleme ve seçim

çeviri gerçekliği ELECTRE (Elimination et choice in translating to reality) ve tercih sıralaması ve zenginleştirme değerlendirmesi için organizasyon yöntemi PROMETHEE (The preference ranking organization method for enrichment evaluation) olduğu görülmüştür.

Silva vd. (2010), merkezi bir yönetim yokluğunda, su kaynakları yönetimine katılan herkesi teşvik etmek amacıyla Brezilya'daki havzaların yönetiminden sorumlu komiteyi desteklemek için bir araç sunmaktadır. PROMETHEE II yöntemi kullanılarak havzanın çevresel olarak toparlanması için bir dizi alternatif önerilmektedir. Her karar alıcı için alternatifler sıralanmakta ve daha sonra bireysel sıralamalar tüm grubun tercihlerini içeren küresel bir sıralamada birleştirilmektedir.

Bouchard vd. (2010), bir hidroelektrik santrali için içme suyu arıtma sisteminin seçimini, çok kriterli ve katılımcı bir karar analizi sürecinde ele almıştır. İlk adım olarak, problem kısıtlamalarına dayanarak üç su arıtma sistemi alternatifi belirlenmiştir. Paydaşlarla kriterler için ağırlık tanımları elde edilmiştir. ELECTRE II yöntemi, üç su arıtma sisteminin bir derecelendirmesini elde etmek için alternatif değerlendirmeleri toplamak için kullanılmıştır. Süreç, NF ve UV dezenfeksiyonunu birleştiren sistemin tüm farklı paydaş ağırlıkları için birinci sırada olduğunu ortaya koymuştur. Toplama parametrelerinin duyarlılık analizi ve değerlendirmeleri bu sonucu güçlendirmiştir. Bu çalışma, endüstriyel veya belediye su arıtma sistemleri üzerinde benzer analizler yapmak için yararlı bilgiler sağlamaktadır.

Mutikanga vd. (2011), su kaybı yönetimi için stratejik planlama aracı olarak çok kriterli karar analizi kullanmışlardır. Çalışmada, su kaybı yönetiminin stratejik planlaması için bütünlük bir ÇKKV çerçevesi sunulmaktadır. Kampala şehri için su kaybını azaltma seçeneklerinin önceliklendirilmesinde PROMETHEE II yöntemi uygulanmıştır. Seçici şebeke ve servis hatlarının değiştirilmesi ve basınç yönetimini öncelikler olarak birleştiren stratejik bir plan, karar vericilerin tercihlerine ve finansal-ekonomik, çevresel, halk sağlığı, teknik ve sosyal etkilerle karakterize edilen yedi değerlendirme kriterine dayanmaktadır. Sonuçlar en çok tercih edilen seçeneklerin su temini güvenilirliğini, halk sağlığını ve su koruma önlemlerini geliştiren seçenekler olduğunu göstermektedir.

Roobahani vd. (2012), kentsel su temini yönetimine ilişkin çalışmalarında yeni bir entegre ÇKKV yöntemi kullanarak PROMETHEE ve çok özellikli karar verme sürecini Kriterlerde Öncelik Düzeni (PROC) olarak adlandırılan kriter yöntemlerinde baskınlıkla

birleştirmektedir. Bu yaklaşımda, PPOC yöntemi Melbourne su temin sistemi vaka çalışmasına uygulanmıştır.

Fontana ve Morais (2013), sızıntıları olan su dağıtım şebekelerini rehabilite etmek için uygulanabilir alternatif seçmelerinde yardımcı olmak için karar vericilere bir öneri sunmaktadır. Kentsel su dağıtım şebekelerinin yaşlanan altyapısı ve bununla ilişkili su kaybı sorunu, kentsel alanlardaki en büyük altyapı sorunlarından biri olmuştur. Bu nedenle karar problemi, hangi bileşenlerin ekleneceğini veya geliştirileceğini seçmek ve uygulanan değişikliklerden kaynaklanan faydaları en üst düzeye çıkarmaktır. Çalışmada, PROMETHEE V yöntemi kullanılarak karar vericiye problem üzerinde belirlediği kriterlerden ve kısıtlamalardan ağır rehabilitasyonu için bir dizi uygun alternatif seçimi sağlanmıştır.

Figueira vd. (2014), Brezilya'daki birçok su tedarik sisteminin, yüksek su kayıpları endeksi ile ilgili ciddi sorunları olduğunu ve bunun finansal ve çevresel etkileri bulunduğunu ifade etmektedir. Çalışmada, grup karar vermeyi destekleyen şekilde sistemin su kayıplarının kritik bölgeleri için farklı bakış açılarını dikkate alan ve ağırlıklarındaki belirsizliği sadece sıralı bilgiler kullanarak ele alan bir yaklaşım önerilmektedir. Çalışma, bakım planının yönetilmesini ve yetersiz finansal kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. SMAA-TRI (Stokastik çok kriterli kabul edilebilirlik analizi) yöntemi, kayıpların yoğun olduğu bölgelere göre ağı sınıflandırarak yöneticilerin çabalarını en kritik bölgelere odaklayarak grup sıralama sorununu çözmek için kullanılmaktadır.

Carrico vd. (2014), bir su temin sistemi için eniyi enerji tasarruflu seçeneği belirlemek için çok kriterli karar analizinin uygulanmasını sunmaktadır. Vaka çalışmasında, Portekiz'deki Algarve bölgesinde iki su arıtma tesisinden kurulmuş iki ayrı hidroelektrik santral incelenmiştir. Analizin amacı, sistemin iki çalışma şeması ve farklı talepler için enerji verimliliğini karşılaştırmaktır. Su temini servisi için eniyi enerji tasarruflu seçeneği seçmek amacıyla iki ÇKKV yöntemini uygulamıştır. Kullanılan iki yöntem SAW (Ağırlıklı toplam model) ve ELECTRE III'tür. Çalışmada farklı enerji metrikleri hesaplanmıştır. Enerji tasarrufu sağlayan yöntemi tespit etmek eş zamanlı olarak santrallerde kullanılan suyun nasıl daha verimli kullanılacağına da yol gösterici nitelik oluşturmaktadır. Suyun verimli kullanımı, endüstriyel anlamda su kayıplarının azalması anlamına gelmektedir.

Trojan ve Morais (2015), su dağıtım şebekelerinin bakım alanında ortaya çıkan sorunlara ilişkin karar vermeyi desteklemeyi ve eş zamanlı olarak üç sorunu araştıran bir karar modeli önermektedir. Su dağıtım ağlarında, fiziksel ve ekonomik su kayıplarını kontrolü, şebeke bakım onarımı, kaynak tahsisi gibi birçok sorunun çözümünde karmaşık kararlar verilmesi gerekmektedir. Çalışmada; bir dağıtım sıralama yöntemine dayanarak bakım tekniklerini geliştirmek için su dağıtım şebekesi alanlarının bakım sınıfına (Düzeltilici, Önleyici ve Proaktif) göre sınıflandırılması yapılmıştır. İyileştirmeleri uygulamak için potansiyel olarak etkili olan bakım alternatiflerinin bireysel sıralanması gerçekleştirilmiştir. Sıralanan alanları iyileştirilmesi için küresel bir bakım alternatifi önerilmiştir. Bakım yönetimi karar modeli oluşturmak için ELECTRE II ve ELECTRE III olacak şekilde ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır.

Zyoud vd. (2016), gelişmekte olan ülkelerin su dağıtım sistemlerindeki su kayıplarını azaltmak için bir strateji çerçevesinde önerilen bir dizi seçenek arasındaki temel seçeneklerin belirlenmesini kapsayan bir çalışma ortaya koymaktadır. Önerilen yöntem, tercih sıralaması yaklaşımı içeren Bulanık Küme Teorisi ile AHP ve TOPSIS yöntemlerini birleştiren bir metodolojidir. Bu metodoloji, nitel verileri eşdeğer nicel önlemlere dönüştürme potansiyeline sahiptir. Bulanık AHP kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için kullanılırken, Bulanık TOPSIS karar vericilerin değerlendirme ve tercihlerine dayalı olarak genel hedefi karşılama potansiyeli açısından seçenek sıralamasına yardımcı olmak için kullanılmıştır. Sonuçlar, basınç yönetimi ve kontrol /izleme stratejisinin en üst sırada yer alan su kayıp yönetimi alanları olduğunu göstermektedir.

Llayaa-Ayza vd. (2018), borulu su tedariki için aynı anda sürekli ve aralıklı tedarik edilen sektörlere sahip olma olasılığını göz önünde bulundurarak, tedarikin çeşitli ağ yükseltme aşamalarında en uygun sektör seçimine dayalı kademeli bir geçiş süreci önermektedir. Sürecin sonunda her sektöre sürekli tedarik sağlanması hedeflenmektedir. Çalışmada AHP yöntemi kullanılarak; sektör seçimi, aralıklı sektörler için eşitliği garanti eden, en fazla sayıda kullanıcıya yarar sağlayan ve su şirketi işletme görevlerini kolaylaştıran niteliksel ve niceliksel kriterleri dikkate alınarak kriter ağırlıkları hesaplanmakta ve seçim işlemi yapılmaktadır.

Santana vd. (2019), Brezilya yarı kurak bölgesinde su kaynakları yönetimi ile ilgili bir vaka çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmanın amacı, Brezilya'daki su arzının iyileştirilmesi için

en uygun önlemleri belirlemektir. Araştırma beş adımdan oluşmakta olup: uzmanların seçimi, değişkenlerin kavranması, Delphi araştırmasının uygulanması, istatistiksel analizler ve sonuçların birleştirilmesi olmak üzere beş adımdan oluşmaktadır.

Zhu vd. (2019), belirsizlik altında sağlam su kaynakları yönetimi için uygulamaya yönelik stokastik bir ÇKKV çerçevesi önermektedir. Çatışma çözümü ve belirsizlik tahmini için, oyun teorisine dayanan bir ağırlık toplama yaklaşımı uygulanabilir ağırlık alanı ile birlikte geliştirilmiştir. SMAA teorisi ile gri ilişkisel analizi (GRA) birleştirerek yeni bir SMAA-GRA modeli önerilmektedir. Sonuçlar, çerçevenin su yöneticilerinin nihai kararların sağlamlığını incelemesine ve riskli bir su kaynağı kararının daha yüksek güvenilirlikle alınmasına izin verdiğini göstermektedir.

Fabbiano vd. (2020), su şebekelerindeki su sızıntılarını tespit etmek ve lokalizasyonu üzerine bir metodoloji önermektedir. Su dağıtım şebekelerindeki su kaçakları sorunu, ağır borularına uygun şekilde yerleştirilmiş akıllı sensörler kullanılarak gerçekleştirilen ağ altyapılarının sürekli izlenmesini gerektirir. Önerilen metodoloji, ağır borularının radyal titreşim durumunun ölçülmesine yöneliktir. Gelişmiş akış hipotezi altında akışın türbülansının boruların duvarlarına ilettiği radyal titreşim sinyalleri parametresinin değerlendirilmesine dayanarak bir tespit ve lokalizasyon yöntemi ve bir kayıp endeksi önerilmiştir. Önerilen Akıllı Su Şebekesinin yapısı yenilikçi kaçak tespit tekniklerinden başlayarak bir izleme prosedürü formüle etmiştir.

Khorshidi vd. (2020), su dağıtım şebekelerindeki sızıntı olaylarını tanımlamak için karma bir bilgi entropi yaklaşımına dayanan bir optimizasyon modeli önermektedir. Çalışmada, tüm karar alanını keşfetmek için bir optimizasyon modeli ile birlikte Bilgi Değeri (VOI) ve Dönüşüm Entropisi (TE) yöntemlerini kullanarak bilgi teorisi tabanlı bir yaklaşım önerilmektedir. VOI, akıllı örnekleme yoluyla mümkün olan tüm alan aramasına izin vermekte ve bu da sağlam çözümler sağlamaktadır. TE yedekli bilgileri en aza indirmekte ve sensörlerin uzamsal dağılımını en üst düzeye çıkarmaya yardımcı olmaktadır. Burada önerilen model, bir dizi Pareto-eniyi çözüm sunan çok amaçlı optimizasyon yaklaşımıdır. Eliminasyon ve Seçimde çeşitli ağırlıklandırma senaryoları verildiğinde eniyi uzlaşma çözümünü seçmek için ELECTRE ÇKKV modeli kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, bilgi entropi temelli şemanın karar alanını artırarak kaçak tespitinin hassasiyetini artırabildiğini ve hesaplama yükünü azaltabildiğini göstermektedir.

5. UYGULAMA: SU KAYIP VE KAÇAKLARINI TESPİT VE ÖNLEMEDE KULLANILAN MALZEME ÖZELLİKLERİNİN SIRALANMASI

Uygulamanın amacı, su kayıp ve kaçaklarını tespiti ve önlenmesi için kullanılan kritik malzemelerin en doğru ve uygun şekilde seçiminin ve satın alımının yapılmasına ÇKKV yöntemlerini kullanarak katkı sağlamaktır. Buna yönelik olarak karar vericiler tarafından kritik öneme sahip olarak tanımlanan (şebekelerde en yüksek miktarlarda kullanılan, kayıp ve kaçakların tespitinde ve önlenmesinde en etkili görevleri yapan) beş adet malzeme tespit edilmiştir. Bu kritik malzemelerin her birine ait en temel on özellik için çok boyutlu kriterler belirlenmiş ve belirlenen kriterlere göre önem sıralaması elde edilmiştir. Tez kapsamında, sıralama için B-TODIM ve TOPSIS yöntemlerinin bütünsel kullanımına dayalı yeni bir yaklaşım önerilmektedir.

Çalışma, Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi bünyesinde bu malzemelerin seçim ve temin işlemlerini gerçekleştiren karar vericiler ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlarla satınalma işlemlerinin bilimsel ve metodolojik yaklaşımlarla yapılması ve bu sayede su kayıp ve kaçaklarının azaltılması, güçlü ve uzun ömürlü şebeke altyapılarına sahip olunması hedeflenmektedir.

Bu bölümde uygulama yapılan sistem hakkında bilgi verildikten sonra uygulanan yöntem ve sonuçlar açıklanacaktır.

5.1. Uygulamanın Yöntemi

Uygulamada malzeme özellikleri önem sıralaması elde etmek için B-TODIM ve TOPSIS ÇKKV yöntemleri bir arada kullanılmıştır. B-TODIM yöntemi ile malzeme özellikleri seçiminde baz alınacak kriter ağırlıkları belirlenmiş, belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak TOPSIS yöntemi her bir malzeme için malzeme özellikleri önem sıralaması elde edilmiştir.

Tez kapsamında B-TODIM ilk defa kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Yöntemin uygulanmasında öncelikle karar vericiler ile birlikte malzeme özellikleri sıralamasında baz alınacak yedi adet kriter belirlenmiştir (Çizelge 5.4). Fakat kriterlerin

ağırlıklandırılması sayısal olarak KV'ler tarafından yapılamamıştır. Bu nedenle belirlenen kriterler birer alternatif gibi değerlendirilip sayısal ağırlık değerlerinin elde edilmesi için üç adet ön değerlendirme kriteri belirlenmiştir (Çizelge 5.1). Yedi adet asıl kriter, üç ön değerlendirme kriterine göre KV'ler tarafından dilsel değişkenlerle değerlendirilerek karar matrisleri oluşturulmuş ve B-TODIM yöntemi ile de alternatiflerin (asıl kriterler) performans skorları yani kriter ağırlıkları elde edilmiştir.

B-TODIM yöntemi, kriterlerin alternatiflere dönüştürülmesine, alternatifler arasında sıralama yapılmasına ve aynı zamanda 0-1 aralığında yüzdesel bir sonuç elde edilmesine olanak verdiği için kriter ağırlıklarının belirlenmesinde ÇKKV yöntemi olarak tercih edilmiştir. Aynı zamanda, kazanç ve kayıp kavramları aynı anda ifade edilebilmesi, referans kriterinin seçimi ve riskten kaçınma gibi karar vericinin davranışsal özelliklerini yansıtabilmekte olması yöntemin seçin unsurlarındandır.

TOPSIS yöntemi, KV'lerin her bir kriter için ikili kıyaslama matrislerine gerek duyulmadan tek bir karar matrisi oluşturarak işlemlere başlanmasına imkan vermesi nedeniyle seçilmiştir. Çalışmanın ileride KV'ler tarafından bir karar destek sistemine aktarılarak uygulanması durumunda bu iki yöntemin kullanımının KV'ler için kullanım avantaj sağlayabileceği öngörülmüştür. Aynı zamanda su kayıp kaçaklarını azaltma ve önlemenin yanı sıra malzeme özellikleri sıralaması amacıyla bu iki yöntemin bütünleşik olarak kullanılması ilk defa bu tez kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca metodolojik anlamda bir diğer farklı yaklaşım olarak, B-TODIM ve TOPSIS işlemleri iki ayrı uzaklık(benzerlik) ölçütü bazında yapılmıştır. Kullanılan iki ayrı yöntemin işlem adımlarında yer alan ve alternatifler arasındaki uzaklık hesaplamalarının yapıldığı aşamalarda Öklid uzaklık ve Manhattan uzaklık ölçütleri kullanılmış ve devam eden işlem adımları iki ayrı uzaklık ölçütüne göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. B-TODIM uygulaması sonucunda asıl kriterler için iki ayrı kriter ağırlık seti elde edilmiştir. Elde edilen iki ayrı kriter ağırlığı seti TOPSIS yöntemi uygulamasında kullanılarak, her bir malzemeye ait için iki ayrı malzeme özellikleri önem sıralaması elde edilmiştir. Tez kapsamında B-TODIM ve TOPSIS yöntemlerinin kullanılmasının bir amacı da matematiksel işlem adımları olarak uzaklık ölçütleri ile uzaklık hesabı yapılan adımlar içermeleri ve farklı uzaklık ölçütleri kullanılarak elde edilen sonuçların kıyaslanmasına imkan vermesidir.

Literatürde; Öklid uzaklığı, Kosinüs uzaklığı, Minkowski uzaklığı, Manhattan uzaklığı, Jaccard uzaklığı, Pearson uzaklığı, Chebyshev uzaklığı, Lorentzian uzaklığı gibi pek çok uzaklık (benzerlik) ölçütü yöntemi bulunmaktadır. Çalışma dâhilinde Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütlerinin kullanılıp kıyaslanmasının sebebi matematiksel yapı ve kartezyen koordinat sistemi yerleşimi olarak birbirine en yakın iki uzaklık ölçütü olmasıdır. Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütleri literatürde en çok kullanılan iki yöntem olmalarının yanı sıra birbirlerinin yerine en çok kullanılan iki yöntemdir. Birbirine oldukça yakın olan bu iki uzaklık yöntemi kullanılarak, iki ayrı yöntemle göre elde edilecek sonuçlar üzerindeki benzerlikler ve farklılıklar gözlemlenebilmiş ve KV'lere alternatif sıralamalar sunulabilmiştir.

Bu bütünleşik yöntem ve kıyaslama ile literatüre yeni bir yaklaşım kazandırma hedeflenmiş olup, genelde iki ayrı ÇKKV yönteminin kıyaslanması biçiminde yürütülen çalışmalardan farklı olarak iki ayrı uzaklık ölçütü kullanımının sonuçlar üzerinde yaratacağı farklılık gözlenmek istenmiştir.

5.2. Problemin Çözüm Adımları

Problem çözümünde kriter ağırlıklarını belirlemek için B-TODIM yöntemi, arkasından elde edilen kriter ağırlıkları ile malzeme özellikleri önem sıralaması için TOPSIS yöntemi uygulamaları yapılmıştır.

5.2.1. Bulanık TODIM yönteminin uygulanması

Burada çalışmanın dördüncü bölümünde anlatılan B-TODIM yönteminin çözüm aşamaları kullanılarak malzeme özellikleri sıralamasında kullanılan kriterlerin ağırlıkları iki ayrı uzaklık ölçütüne göre elde edilmiş ve sıralaması yapılmıştır.

1. Adım: kriter ağırlıklarının ve performans değerlerinin belirlenmesi

Yapılan uygulamada ilk olarak karar verici (KV)'ler ile beraber malzeme özellikleri değerlendirmesi için 7 adet kriter belirlenmiştir. Bu kriterler B-TODIM yöntemi içerisinde “alternatif” olarak kullanılacak olup bu şekilde isimlendirilmiştir. B-TODIM alternatiflerinin belirlenmesinin ardından bu alternatiflerin yüzdesel bir sıralamasının elde

edilmesi için üç adet değerlendirme kriteri belirlenmiştir. Belirlenen değerlendirme kriterleri Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Değerlendirme kriterleri

Kriterler	Kod	Açıklama
Etki	PC ₁	Asıl kriterin malzeme özellikleri üzerinde yarattığı etki
Önem	PC ₂	Asıl kriterin malzeme özellikleri ve malzeme seçimi üzerindeki önemi
Performans	PC ₃	Asıl kriterin doğru malzeme seçimi hedefine yönelik olarak sahip olduğu nitelik, hedefe ulaştırma yetkinliği

Karar vericilerin dilsel yargılarının ÜBS karşılıkları Çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.2. KV yargılarının ÜBS karşılıkları

Ön Kriterler	KV		
	Dilsel Değişkenler	Dilsel Değişkenlerin ÜBS Karşılıkları	
PC ₁	ÇY	(0,75	1,00 1,00)
PC ₂	ÇY	(0,75	1,00 1,00)
PC ₃	Y	(0,50	0,75 1,00)

2. Adım: bulanık kriter ağırlıklarının durulaştırılması

Durulaştırılmış kriter ağırlıkları Çizelge 5.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.3. Durulaştırılmış kriter ağırlıkları

Kriterler	Önem Ağırlığı	Önem Ağırlığı (0-1)
PC ₁	0,917	0,354
PC ₂	0,917	0,354
PC ₃	0,750	0,290

Örnek olarak, Etki kriterinin ağırlığı (0,917) aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$BNP_1 = 0,75 + \left[(1,00-0,75)+(1,00-0,75) \right] / 3 = 0,917$$

3. Adım: kazanç ve kayıp matrislerinin hesaplanması

Kazanç ve kayıp matrislerinin hesaplanması için KV'ler tarafından kriterlere göre alternatifler üzerinde bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Belirlenen B-TODIM alternatifleri Çizelge 5.4'de gösterilmektedir

Çizelge 5.4. B-TODIM alternatifleri

Bulanık Todım Alternatifleri	Kod
Maliyet	C ₁
Teknik Donanım	C ₂
Sürdürülebilirlik	C ₃
Güvenlik	C ₄
Kalite	C ₅
Entegrasyon / Kalibrasyon	C ₆
Ürün Geliştirme	C ₇

Oluşturulan bulanık karar matrisi Çizelge 5.5'de verilmektedir.

Çizelge 5.5. Bulanık karar matrisi

Bulanık Todım Alternatifleri	Kriterler		
	PC ₁	PC ₂	PC ₃
C ₁	Y	ÇY	D
C ₂	Y	O	Y
C ₃	Y	Y	Y
C ₄	O	O	O
C ₅	Y	Y	Y
C ₆	Y	Y	Y
C ₇	D	Y	D

Bu aşamadan sonra yapılan işlemlerin hepsi Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütüne göre ayrı ayrı hesaplanmış, iki ayrı alternatif sıralaması elde edilmiştir.

İlk olarak alternatifler için kazanç ve kayıp matrisleri Öklid uzaklığına göre ($G_{11}, G_{12}, G_{13}, L_{11}, L_{12}, L_{13}$) (4-9) numaralı eşitlikler yardımıyla hesaplanmış olup elde edilen matrisler aşağıda verilmektedir.

$$\begin{aligned}
G_{11} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 2,50 & 0,00 & 0,00 & 5,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 2,50 & 0,00 & 0,00 & 5,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 2,50 & 0,00 & 0,00 & 5,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 2,50 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 2,50 & 0,00 & 0,00 & 5,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 2,50 & 0,00 & 0,00 & 5,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} & L_{11} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -2,50 & -2,50 & -2,50 & -2,50 & -2,50 & -2,50 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -5,00 & -5,00 & -5,00 & -2,50 & -5,00 & -5,00 & 0,00 \end{bmatrix} \\
G_{12} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 4,33 & 2,04 & 4,33 & 2,04 & 2,04 & 2,04 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 2,50 & 0,00 & 2,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 2,50 & 0,00 & 2,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 2,50 & 0,00 & 2,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 2,50 & 0,00 & 2,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} & L_{12} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -4,33 & 0,00 & -2,50 & 0,00 & -2,50 & -2,50 & -2,50 \\ -2,04 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -4,33 & 0,00 & -2,50 & 0,00 & -2,50 & -2,50 & -2,50 \\ -2,04 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -2,04 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -2,04 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} \\
G_{13} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 5,00 & 0,00 & 0,00 & 2,50 & 0,00 & 0,00 & 5,00 \\ 5,00 & 0,00 & 0,00 & 2,50 & 0,00 & 0,00 & 5,00 \\ 2,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 2,50 \\ 5,00 & 0,00 & 0,00 & 2,50 & 0,00 & 0,00 & 5,00 \\ 5,00 & 0,00 & 0,00 & 2,50 & 0,00 & 0,00 & 5,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} & L_{13} &= \begin{bmatrix} 0,00 & -5,00 & -5,00 & -2,50 & -5,00 & -5,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & -2,50 & -2,50 & 0,00 & -2,50 & -2,50 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & -5,00 & -5,00 & -2,50 & -5,00 & -5,00 & 0,00 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Örneğin G_{11} matrisinin üçüncü satırı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. PC_1 kriteri fayda kriteri olduğu için Eş. 4.4'den yararlanılmıştır. Çizelge 5.5.'deki bulanık karar matrisine göre;

$$\tilde{x}_{31} = \tilde{x}_{11} = \tilde{x}_{21} = \tilde{x}_{51} = \tilde{x}_{61} \text{ Olduğundan } 0,$$

$$\tilde{x}_{31} \geq \tilde{x}_{41} \text{ Olduğundan};$$

$$d(\tilde{x}_{31}; \tilde{x}_{41}) = \sqrt{\frac{1}{3} + [(5,00-2,50)^2 + (7,50-5,00)^2 + (10,00-7,50)^2]} = 2,50$$

$$\tilde{x}_{31} \geq \tilde{x}_{71} \text{ Olduğundan};$$

$$d(\tilde{x}_{31}; \tilde{x}_{71}) = \sqrt{\frac{1}{3} + [(5,00-0,00)^2 + (7,50-2,50)^2 + (10,00-5,00)^2]} = 5,00$$

Alternatifler için kazanç ve kayıp matrisleri Manhattan uzaklığına göre $(G_{21}, G_{22}, G_{23}, L_{21}, L_{22}, L_{23})$ (5-9) numaralı eşitlikler yardımıyla hesaplanmış olup elde edilen matrisler aşağıda verilmektedir.

$$\begin{aligned}
G_{21} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 7,50 & 0,00 & 0,00 & 15,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 7,50 & 0,00 & 0,00 & 15,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 7,50 & 0,00 & 0,00 & 15,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 7,50 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 7,50 & 0,00 & 0,00 & 15,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 7,50 & 0,00 & 0,00 & 15,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} & L_{21} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -7,50 & -7,50 & -7,50 & -7,50 & -7,50 & -7,50 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -15,00 & -15,00 & -15,00 & -7,50 & -15,00 & -15,00 & 0,00 \end{bmatrix} \\
G_{22} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 12,50 & 5,00 & 12,50 & 5,00 & 5,00 & 5,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 7,50 & 0,00 & 7,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 7,50 & 0,00 & 7,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 7,50 & 0,00 & 7,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 7,50 & 0,00 & 7,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} & L_{22} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -12,50 & 0,00 & -7,50 & 0,00 & -7,50 & -7,50 & -7,50 \\ -5,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -12,50 & 0,00 & -7,50 & 0,00 & -7,50 & -7,50 & -7,50 \\ -5,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -5,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -5,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} \\
G_{23} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 15,00 & 0,00 & 0,00 & 7,50 & 0,00 & 0,00 & 15,00 \\ 15,00 & 0,00 & 0,00 & 7,50 & 0,00 & 0,00 & 15,00 \\ 7,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 7,50 \\ 15,00 & 0,00 & 0,00 & 7,50 & 0,00 & 0,00 & 15,00 \\ 15,00 & 0,00 & 0,00 & 7,50 & 0,00 & 0,00 & 15,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} & L_{23} &= \begin{bmatrix} 0,00 & -15,00 & -15,00 & -7,50 & -15,00 & -15,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & -7,50 & -7,50 & 0,00 & -7,50 & -7,50 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & -15,00 & -15,00 & -7,50 & -15,00 & -15,00 & 0,00 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Örneğin G_{21} matrisinin üçüncü satırı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. PC_1 kriteri fayda kriteri olduğu için Eş. 4.5'den yararlanılmıştır. Çizelge 5.5.'deki bulanık karar matrisine göre;

$$\tilde{x}_{31} = \tilde{x}_{11} = \tilde{x}_{21} = \tilde{x}_{51} = \tilde{x}_{61} \text{ Olduğundan } 0,$$

$$\tilde{x}_{31} \geq \tilde{x}_{41} \text{ Olduğundan};$$

$$d(\tilde{x}_{31}; \tilde{x}_{41}) = |(5,00 - 2,50) + (7,50 - 5,00) + (10,00 - 7,50)| = 7,50$$

$$\tilde{x}_{31} \geq \tilde{x}_{71} \text{ Olduğundan};$$

$$d(\tilde{x}_{31}; \tilde{x}_{71}) = |(5,00 - 0,00) + (7,50 - 2,50) + (10,00 - 5,00)| = 15,00$$

4. Adım: kısmi baskınlık derecesi matrislerinin hesaplanması

Kriterlere göre baskınlık derecesi matrisleri Eş. 4.11 ve 4.12 ile hesaplanmıştır. Üç kriterden en yüksek önem ağırlığına sahip olan PC_1 (Etki) ve PC_2 (önem) kriteri ($w=0,917$) referans kriteridir. Buna göre Öklid uzaklığı ile elde edilen kazanç matrisleri üzerinden Eş. 4.11 ile hesaplanan kısmi kazanç $\phi_k^{j(+)}$ baskınlık dereceleri ve Eş. 4.12 ile hesaplanan kısmi kayıp baskınlık dereceleri $\phi_k^{j(-)}$ aşağıda verilmektedir.

Örneğin, $\phi_1^{1(+)}$ kazanç matrisinin ikinci satırının dördüncü girdisi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. İlk olarak Eş. 4.10 ile;

$$w_{1r} = w_1/w_r = 0,917/0,917 = 1$$

$$w_{2r} = w_2/w_r = 0,917/0,917 = 1$$

$$w_{3r} = w_3/w_r = 0,750/0,917 = 0,82$$

Daha sonra Eş. 4.11 ile;

$$\phi_{1(24)}^{1(+)} = \sqrt{(2,50*1)/(1+1+0,82)} = 0,94$$

$\phi_1^{1(-)}$ kayıp matrisinin dördüncü satırının ilk girdisi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\phi_{1(41)}^{1(-)} = -1\sqrt{(-2,50)*(1+1+0,82)/1} = -2,66$$

Eş. 4.12'deki θ değeri 1 alınmıştır. Bu sayede toplam skor üzerinde kayıpların gerçek değerleriyle katkı yapması sağlanmıştır.

$$\begin{aligned} \phi_1^{1(+)} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 1,33 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 1,33 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 1,33 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,94 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 1,33 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 1,33 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} & \phi_1^{1(-)} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -2,66 & -2,66 & -2,66 & -2,66 & -2,66 & -2,66 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -3,75 & -3,75 & -3,75 & -2,66 & -3,75 & -3,75 & 0,00 \end{bmatrix} \\ \phi_1^{2(+)} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 1,24 & 0,85 & 1,24 & 0,85 & 0,85 & 0,85 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} & \phi_1^{2(-)} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -3,49 & 0,00 & -2,66 & 0,00 & -2,66 & -2,66 & -2,66 \\ -2,40 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -3,49 & 0,00 & -2,66 & 0,00 & -2,66 & -2,66 & -2,66 \\ -2,40 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -2,40 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -2,40 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} \\ \phi_1^{3(+)} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 1,21 & 0,00 & 0,00 & 0,85 & 0,00 & 0,00 & 1,21 \\ 1,21 & 0,00 & 0,00 & 0,85 & 0,00 & 0,00 & 1,21 \\ 0,85 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,85 \\ 1,21 & 0,00 & 0,00 & 0,85 & 0,00 & 0,00 & 1,21 \\ 1,21 & 0,00 & 0,00 & 0,85 & 0,00 & 0,00 & 1,21 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} & \phi_1^{3(-)} &= \begin{bmatrix} 0,00 & -4,15 & -4,15 & -2,50 & -4,15 & -4,15 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & -2,93 & -2,93 & 0,00 & -2,93 & -2,93 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & -4,15 & -4,15 & -2,50 & -4,15 & -4,15 & 0,00 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Manhattan uzaklığı ile elde edilen kazanç kayıp matrisleri üzerinden kısmi baskınlık kazanç kayıp matrisleri aynı hesaplama adımları izlenerek yapılmış olup elde edilen matrisler aşağıdaki verilmektedir.

$$\begin{aligned}
 \phi_2^{1(+)} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 1,63 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} & \phi_2^{1(-)} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -4,60 & -4,60 & -4,60 & -4,60 & -4,60 & -4,60 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -6,50 & -6,50 & -6,50 & -4,60 & -6,50 & -6,50 & 0,00 \end{bmatrix} \\
 \phi_2^{2(+)} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 2,11 & 1,33 & 2,11 & 1,33 & 1,33 & 1,33 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 1,63 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 1,63 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 1,63 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 1,63 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} & \phi_2^{2(-)} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -5,94 & 0,00 & -4,60 & 0,00 & -4,60 & -4,60 & -4,60 \\ -3,75 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -5,94 & 0,00 & -4,60 & 0,00 & -4,60 & -4,60 & -4,60 \\ -3,75 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -3,75 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -3,75 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} \\
 \phi_2^{3(+)} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 2,31 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 2,31 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 1,63 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 1,63 \\ 2,31 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 2,31 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} & \phi_2^{3(-)} &= \begin{bmatrix} 0,00 & -7,18 & -7,18 & -4,60 & -7,18 & -7,18 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & -5,08 & -5,08 & 0,00 & -5,08 & -5,08 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & -7,18 & -7,18 & -5,08 & -7,18 & -7,18 & 0,00 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Daha sonra, etki, önem ve performans kriterleri için Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütleri ile elde edilen kısmi baskınlık derecesi matrisleri üzerinden Eş. 4.13 ile baskınlık derecesi matrisleri hesaplanmıştır. Elde edilen matrisler aşağıda verilmektedir.

$$\begin{aligned}
 \phi_{11} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 1,33 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 1,33 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 1,33 \\ -2,66 & -2,66 & -2,66 & -2,66 & -2,66 & -2,66 & 0,94 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 1,33 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 1,33 \\ -3,75 & -3,75 & -3,75 & -2,66 & -3,75 & -3,75 & 0,00 \end{bmatrix} & \phi_{21} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 1,63 \\ -4,60 & -4,60 & -4,60 & -2,97 & -4,60 & -4,60 & 2,31 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} \\
 \phi_{12} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 1,24 & 0,85 & 1,24 & 0,85 & 0,85 & 0,85 \\ -3,49 & 0,00 & -2,66 & 0,00 & -2,66 & -2,66 & -2,66 \\ -2,40 & 0,94 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -3,49 & 0,00 & -2,66 & 0,00 & -2,66 & -2,66 & -2,66 \\ -2,40 & 0,94 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -2,40 & 0,94 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -2,40 & 0,94 & 0,00 & 0,94 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} & \phi_{22} &= \begin{bmatrix} 0,00 & 2,11 & 1,33 & 2,11 & 1,33 & 1,33 & 1,33 \\ -5,94 & 0,00 & -4,60 & 0,00 & -4,60 & -4,60 & -4,60 \\ -3,75 & 1,63 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -5,94 & 0,00 & -4,60 & 0,00 & -4,60 & -4,60 & -4,60 \\ -3,75 & 1,63 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -3,75 & 1,63 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -3,75 & 1,63 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} \\
 \phi_{13} &= \begin{bmatrix} 0,00 & -4,15 & -4,15 & -2,50 & -4,15 & -4,15 & 0,00 \\ 1,21 & 0,00 & 0,00 & 0,85 & 0,00 & 0,00 & 1,21 \\ 1,21 & 0,00 & 0,00 & 0,85 & 0,00 & 0,00 & 1,21 \\ 0,85 & -2,93 & -2,93 & 0,00 & -2,93 & -2,93 & 0,85 \\ 1,21 & 0,00 & 0,00 & 0,85 & 0,00 & 0,00 & 1,21 \\ 1,21 & 0,00 & 0,00 & 0,85 & 0,00 & 0,00 & 1,21 \\ 0,00 & -4,15 & -4,15 & -2,50 & -4,15 & -4,15 & 0,00 \end{bmatrix} & \phi_{23} &= \begin{bmatrix} 0,00 & -7,18 & -7,18 & -4,60 & -7,18 & -7,18 & 0,00 \\ 2,31 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 2,31 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 1,63 & -5,08 & -5,08 & 0,00 & -5,08 & -5,08 & 1,63 \\ 2,31 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 2,31 & 0,00 & 0,00 & 1,63 & 0,00 & 0,00 & 2,31 \\ 0,00 & -7,18 & -7,18 & -5,08 & -7,18 & -7,18 & 0,00 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Örneğin, ϕ_{11} matrisinin dördüncü satırının ilk girdisi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\phi_{41}^{11} = \phi_{41}^{11(+)} + \phi_{41}^{11(-)} = 0,00 + (-2,66) = -2,66$$

5. Adım: toplam baskınlık derecesi matrisinin hesaplanması

Toplam baskınlık derecesi matrisi Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütleri ile elde edilen baskınlık matrisleri üzerinden $\Delta = [\delta_{ik}]_{m \times m}$ Eş. 4.14 ile hesaplanmıştır. Söz konusu matrisler aşağıda gösterilmiştir.

$$\Delta_1 = \begin{bmatrix} 0,00 & -2,91 & -3,30 & -0,32 & -3,30 & -3,30 & 2,18 \\ -2,29 & 0,00 & -2,66 & 1,79 & -2,66 & -2,66 & -0,12 \\ -1,19 & 0,94 & 0,00 & 2,74 & 0,00 & 0,00 & 2,54 \\ -5,30 & -5,59 & -8,24 & -2,66 & -8,24 & -8,24 & -0,86 \\ -1,19 & 0,94 & 0,00 & 2,74 & 0,00 & 0,00 & 2,54 \\ -1,19 & 0,94 & 0,00 & 2,74 & 0,00 & 0,00 & 2,54 \\ -6,15 & -6,96 & -7,90 & -4,21 & -7,90 & -7,90 & 0,00 \end{bmatrix} \quad \Delta_2 = \begin{bmatrix} 0,00 & -5,08 & -5,85 & -0,86 & -5,85 & -5,85 & 3,64 \\ -3,63 & 0,00 & -4,60 & 3,26 & -4,60 & -4,60 & 0,01 \\ -1,45 & 1,63 & 0,00 & 4,89 & 0,00 & 0,00 & 4,61 \\ -4,31 & -5,08 & -9,68 & 0,00 & -9,68 & -9,68 & -1,34 \\ -6,05 & -2,97 & -4,60 & 0,29 & -4,60 & -4,60 & 4,61 \\ -1,45 & 1,63 & 0,00 & 4,89 & 0,00 & 0,00 & 4,61 \\ -3,75 & -5,55 & -7,18 & -3,45 & -7,18 & -7,18 & 0,00 \end{bmatrix}$$

Örnek olarak, Δ_1 matrisinin ilk satırının ikinci girdisi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\delta_{12} = \phi_{12}^{11} + \phi_{12}^{12} + \phi_{12}^{13} = 0,00 + 1,24 + (-4,15) = -2,91$$

6. Adım: alternatiflerin toplam performans skorlarının hesaplanması

Toplam baskınlık derecesi (Δ_1 , Δ_2) matrisine göre alternatiflerin (asıl kriterlerin) toplam performans skorları Eş. 4.15 ile hesaplanmıştır. Buna göre elde edilen toplam performans skorları Çizelge 5.6' da verilmektedir.

Çizelge 5.6. Toplam performans skorları

ÖKLİT (ξ_1)

$\xi(C_1) = 0,650$
$\xi(C_2) = 0,700$
$\xi(C_3) = 1,000$
$\xi(C_4) = 0,040$
$\xi(C_5) = 1,000$
$\xi(C_6) = 1,000$
$\xi(C_7) = 0,000$

MANHATTAN (ξ_2)

$\xi(C_1) = 0,400$
$\xi(C_2) = 0,520$
$\xi(C_3) = 1,000$
$\xi(C_4) = 0,000$
$\xi(C_5) = 0,440$
$\xi(C_6) = 1,000$
$\xi(C_7) = 0,110$

Örnek olarak, Öklid uzaklığına göre elde edilen C_3 alternatifinin (asıl kriter) toplam skoru aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\xi(C_3) = \frac{((-1,19) + 0,94) + 0,00 + 2,74 + 0,00 + 0,00 + 2,54) - \min(-10,93; -8,58; 5,02; -39,13; 5,02; 5,02; -41,03))}{\max(-10,93; -8,58; 5,02; -39,13; 5,02; 5,02; -41,03) - \min(-10,93; -8,58; 5,02; -39,13; 5,02; 5,02; -41,03))}$$

$$= 1,000$$

7. Adım: toplam skora göre alternatiflerin sıralaması

Elde edilen toplam skora göre alternatiflerin performans sıralamaları ve TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin sıralanması için kullanılmak üzere iki ayrı uzaklık ölçütüne göre elde edilen kriter ağırlıkları da Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8’de yer almaktadır.

Çizelge 5.7. Öklid uzaklığı ile elde edilen kriter ağırlıkları

Öklid Uzaklığı İle Elde Edilen Kriter Ağırlıkları				
Kod	Asıl Kriterler (B-TODIM Alternatifleri)	Performans Sıralamaları	Kullanılacak Kriter Ağırlıkları	Kod
C ₃	Sürdürülebilirlik	1	0,227	W ₁₃
C ₅	Kalite	1	0,227	W ₁₅
C ₆	Entegrasyon / kalibrasyon	1	0,227	W ₁₆
C ₂	Teknik Donanım	0,7	0,16	W ₁₂
C ₁	Maliyet	0,65	0,148	W ₁₁
C ₄	Güvenlik	0,04	0,009	W ₁₄
C ₇	Ürün geliştirme	0	0,001	W ₁₇

Çizelge 5.8. Manhattan uzaklığı ile elde edilen kriter ağırlıkları

Manhattan Uzaklığı İle Elde Edilen Kriter Ağırlıkları				
Kod	Asıl Kriterler (B-TODIM Alternatifleri)	Performans Sıralamaları	Kullanılacak Kriter Ağırlıkları	Kod
C ₃	Sürdürülebilirlik	1	0,288	W ₂₃
C ₆	Entegrasyon/ kalibrasyon	1	0,288	W ₂₅
C ₂	Teknik Donanım	0,52	0,149	W ₂₆
C ₅	Kalite	0,44	0,127	W ₂₂
C ₁	Maliyet	0,4	0,115	W ₂₁
C ₇	Ürün geliştirme	0,11	0,031	W ₂₄
C ₄	Güvenlik	0	0,001	W ₂₇

5.2.2. TOPSIS yönteminin uygulanması

Uygulama kapsamında su kayıp kaçaklarını tespit etme ve önlemede kullanılan kritik malzemelerin verimli şekilde seçimine yönelik olarak bu malzemelere ait özelliklerin en doğru şekilde sıralanması amaçlanmaktadır. Bunun sonucunda malzeme seçimi doğru özellikler baz alınarak yapılabilecektir. Bu doğrultuda seçilmiş olan beş kritik malzemeye ait olan on temel özellik karar vericiler tarafından belirlenmiştir. B-TODIM uygulaması sonucunda Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütlerine göre elde edilen iki farklı kriter ağırlığı seti TOPSIS yönteminde kullanılarak her bir malzemeye ait olan on özelliğin Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütleri bazında sıralamaları elde edilmiştir.

1. Adım: başlangıç karar matrisinin oluşturulması

Karar vericiler tarafından su kayıp kaçaklarını tespit etme ve önlemede kullanılan beş kritik malzemeye ait olarak belirlenen on temel özellik, karar alternatifi olarak kullanılmıştır. Her bir malzeme yönelik; on tane karar alternatifi ve yedi tane değerlendirme kriteri bulunan ÇKKV problemi için başlangıç karar matrisleri aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur. Karar vericiler her bir malzeme özelliği için kriterler bazında 1-9 skalasında değerlendirme yapmıştır. Başlangıç karar matrisi (A_{ij}) Çizelge 5.9’da yer almaktadır.

Çizelge 5.9. TOPSIS başlangıç karar matrisi

	Kod	Alternatifler	Kriterler						
			Maliyet (C1)	Teknik Donanım (C2)	Sürdürülebilirlik (C3)	Güvenlik (C4)	Kalite (C5)	Entegrasyon/Kalibrasyon (C6)	Ürün Geliştirme (C7)
Debimetre Malzeme Özellikleri	A1 ₁	Ana Ünite	7	7	7	7	7	7	7
	A1 ₂	Montaj Parçaları (Kızak)	7	7	7	5	7	7	7
	A1 ₃	Montaj Parçaları (Sensörler)	7	7	7	5	7	7	7
	A1 ₄	Güç Desteği	9	7	5	3	3	5	5
	A1 ₅	Koruma Sınıfı	7	9	9	9	9	9	5
	A1 ₆	Sensör Materyali	7	7	7	3	7	7	5
	A1 ₇	Kayıt Süresi	5	7	9	3	7	5	5
	A1 ₈	Hassasiyet	7	9	9	3	9	7	9
	A1 ₉	Gösterge	3	5	5	3	3	3	3
	A1 ₁₀	Dirsek Mesafeleri	7	7	7	3	9	7	9

Çizelge 5.9. TOPSIS başlangıç karar matrisi (devamı)

Datalogger Malzeme Özellikleri	A2 ₁	Ana Ünite	7	7	7	7	7	7	7
	A2 ₂	Montaj Parçaları (Bağlantı Hortumu)	7	5	7	5	7	7	5
	A2 ₃	Veri İletim(aktarım) Tipi	3	5	5	3	5	5	5
	A2 ₄	Gövde Yapısı	5	7	9	7	5	9	5
	A2 ₅	Batarya Ömrü	7	7	7	3	7	7	7
	A2 ₆	Boyutlar	5	5	7	5	5	9	5
	A2 ₇	Sertifikalar	3	1	5	3	9	1	3
	A2 ₈	Hafıza	5	7	9	3	3	5	5
	A2 ₉	Konektör	5	5	5	7	7	7	7
	A2 ₁₀	Koruma Sınıfı	9	9	7	9	9	7	7
Basınç Kontrol Vanası Malzeme Özellikleri	A3 ₁	Basınç Sınıfı	5	5	5	9	3	5	5
	A3 ₂	Basınç Aralığı	5	7	5	7	5	5	3
	A3 ₃	Giriş Basıncı	5	7	3	5	5	3	3
	A3 ₄	Çıkış Basıncı	5	7	7	7	7	5	5
	A3 ₅	Gövde Malzemeleri	5	3	5	5	5	3	5
	A3 ₆	Markalama	3	3	7	1	1	7	1
	A3 ₇	Manometre Bağlantıları	3	3	5	3	3	3	1
	A3 ₈	KV Değeri	7	7	5	5	9	3	9
	A3 ₉	Yüzey İşleme	5	5	3	3	5	3	5
	A3 ₁₀	Çalışma Prensibi	9	9	9	9	9	5	9
Akustik Dinleme Cihazı Malzeme Özellikleri	A4 ₁	Ana Ünite	7	7	7	5	7	7	7
	A4 ₂	Kulaklık	7	9	9	5	9	9	7
	A4 ₃	Pompa - Prop	9	9	7	5	9	7	7
	A4 ₄	Ağırlık	5	5	9	7	5	9	5
	A4 ₅	Gürültü Eleme Sistemi	5	5	7	3	7	7	3
	A4 ₆	Parazit Filtresi	5	5	7	5	5	5	3
	A4 ₇	Koruma Derecesi	7	7	7	5	7	1	7
	A4 ₈	Batarya Tipi	7	5	7	3	7	7	7
	A4 ₉	Pil Seviye Kontrolü	5	5	5	5	5	7	5
	A4 ₁₀	Ekran	9	7	7	5	7	9	7
Korelatör Malzeme Özellikleri	A5 ₁	Ana Ünite	7	7	7	5	7	7	7
	A5 ₂	Sensörler	7	7	7	5	7	7	7
	A5 ₃	Eş Zamanlı Korelasyon Sayısı	5	5	5	3	7	5	3
	A5 ₄	Koruma Türü	5	5	7	7	5	3	5
	A5 ₅	Min. Çalışma Sıcaklığı [°C]	3	5	7	3	3	7	3
	A5 ₆	Batarya Tipi	7	5	7	5	3	5	5
	A5 ₇	Akustik Kaçak Yeri Tespiti	9	7	9	3	7	7	3
	A5 ₈	Batarya Tipi	5	7	7	5	5	7	5
	A5 ₉	Ağırlık	5	5	7	7	3	7	3
	A5 ₁₀	Otomatik Filtre Adaptasyonu	5	5	7	3	5	7	5

TOPSIS yöntemi uygulamasının kalan işlem adımları “Debimetre” malzemesi üzerinde yapılan işlemlerle devam ettirilmiştir.

2. Adım: başlangıç karar matrisinin normalize edilmesi (standart karar matrisi)

Normalizasyon işlemi başlangıç karar matrisi üzerinden Eş. 4.16 ile yapılır. Elde edilen r_{ij} matrisi Çizelge 5.10’da verilmektedir.

Çizelge 5.10. Normalize edilmiş karar matrisi

r_{ij}	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
A1 ₁	0,3271	0,3041	0,3018	0,4576	0,3112	0,3360	0,3424
A1 ₂	0,3271	0,3041	0,3018	0,3269	0,3112	0,3360	0,3424
A1 ₃	0,3271	0,3041	0,3018	0,3269	0,3112	0,3360	0,3424
A1 ₄	0,4205	0,3041	0,2156	0,1961	0,1334	0,2400	0,2446
A1 ₅	0,3271	0,3909	0,3880	0,5883	0,4001	0,4320	0,2446
A1 ₆	0,3271	0,3041	0,3018	0,1961	0,3112	0,3360	0,2446
A1 ₇	0,2336	0,3041	0,3880	0,1961	0,3112	0,2400	0,2446
A1 ₈	0,3271	0,3909	0,3880	0,1961	0,4001	0,3360	0,4402
A1 ₉	0,1402	0,2172	0,2156	0,1961	0,1334	0,1440	0,1467
A1 ₁₀	0,3271	0,3041	0,3018	0,1961	0,4001	0,3360	0,4402

Örneğin, A1₁ alternatifinin C₁ kriteri değerinin normalizasyon işlemi aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$r_{11} = \frac{7}{\sqrt{7^2 + 7^2 + 7^2 + 9^2 + 7^2 + 7^2 + 5^2 + 7^2 + 3^2 + 7^2}} = 0,3271$$

3. Adım: ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

Normalize karar matrisinin B-TODIM yöntemi ile Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütüne göre elde edilen iki ayrı kriter ağırlık seti (w_j) ile çarpımı sonucunda Eş. 4.17 ile ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi (V_{ij}) elde edilmiş olup Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12’de verilmektedir.

Çizelge 5.11. Öklid uzaklığı ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

w_{1j}	0,148	0,160	0,227	0,009	0,227	0,227	0,001
$V_{1(ij)}$	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
A1 ₁	0,0484	0,0487	0,0686	0,0043	0,0707	0,0764	0,0003
A1 ₂	0,0484	0,0487	0,0686	0,0031	0,0707	0,0764	0,0003
A1 ₃	0,0484	0,0487	0,0686	0,0031	0,0707	0,0764	0,0003
A1 ₄	0,0622	0,0487	0,0490	0,0018	0,0303	0,0545	0,0002
A1 ₅	0,0484	0,0626	0,0882	0,0055	0,0909	0,0982	0,0002
A1 ₆	0,0484	0,0487	0,0686	0,0018	0,0707	0,0764	0,0002
A1 ₇	0,0346	0,0487	0,0882	0,0018	0,0707	0,0545	0,0002
A1 ₈	0,0484	0,0626	0,0882	0,0018	0,0909	0,0764	0,0004
A1 ₉	0,0207	0,0348	0,0490	0,0018	0,0303	0,0327	0,0001
A1 ₁₀	0,0484	0,0487	0,0686	0,0018	0,0909	0,0764	0,0004

Örneğin, $A1_1$ alternatifinin C_1 kriteri için Öklid uzaklığına göre ağırlıklandırılmış normalize değeri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$V_{11} = 0,3271 \times 0,148 = 0,0484$$

Çizelge 5.12. Manhattan uzaklığı ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

w_{2j}	0,115	0,149	0,288	0,001	0,127	0,288	0,031
$V_{2(ij)}$	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
$A1_1$	0,0376	0,0454	0,0870	0,0005	0,0396	0,0968	0,0106
$A1_2$	0,0376	0,0454	0,0870	0,0003	0,0396	0,0968	0,0106
$A1_3$	0,0376	0,0454	0,0870	0,0003	0,0396	0,0968	0,0106
$A1_4$	0,0484	0,0454	0,0621	0,0002	0,0170	0,0692	0,0076
$A1_5$	0,0376	0,0583	0,1118	0,0006	0,0510	0,1245	0,0076
$A1_6$	0,0376	0,0454	0,0870	0,0002	0,0396	0,0968	0,0076
$A1_7$	0,0269	0,0454	0,1118	0,0002	0,0396	0,0692	0,0076
$A1_8$	0,0376	0,0583	0,1118	0,0002	0,0510	0,0968	0,0136
$A1_9$	0,0161	0,0324	0,0621	0,0002	0,0170	0,0415	0,0045
$A1_{10}$	0,0376	0,0454	0,0870	0,0002	0,0510	0,0968	0,0136

4. Adım: pozitif ve negatif ideal referans noktalarının hesaplanması

Pozitif ideal referans noktası (V_j^+) ve negatif ideal referans noktası (V_j^-) Eş. 4.18 ve 4.19 ile hesaplanmaktadır. Pozitif ideal çözüm setinin (V_j^+) oluşturulabilmesi için yukarıdaki matristeki ağırlıklandırılmış değerlendirme kriterinin yani sütun değerlerinin en büyüğü (ilgili değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise en küçüğü) seçilmiştir. Buna göre Teknik Donanım, Sürdürülebilirlik, Güvenlik, Kalite, Entegrasyon/Kalibrasyon, Ürün Geliştirme kriterleri için en büyük değerler, Maliyet için en küçük değer pozitif ideal değerler çözüm setini (V_j^+) oluşturmuştur.

Negatif ideal çözüm seti (V_j^-) ise, yukarıdaki matristeki ağırlıklandırılmış değerlendirme kriterlerinin yani sütun değerlerinin en küçüğü (ilgili değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise en büyüğü) seçilerek oluşturulmuştur. Buna göre Teknik Donanım, Sürdürülebilirlik, Güvenlik, Kalite, Entegrasyon/Kalibrasyon, Ürün Geliştirme kriterleri için en düşük değerler, Maliyet için en büyük değer negatif ideal değerler çözüm setini (V_j^-)

oluşturmuştur. Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütlerine göre elde edilen Pozitif ve negatif ideal noktaları Çizelge 5.13’de yer almaktadır.

Çizelge 5.13. Pozitif ve negatif ideal noktaları

Öklid Uzaklığı İçin Pozitif /Negatif İdeal Noktaları							
Kriterler	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
Ölçütler	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max
Pozitif İdeal	0,0207	0,0626	0,0882	0,0055	0,0909	0,0982	0,0004
Negatif İdeal	0,0622	0,0348	0,0490	0,0018	0,0303	0,0327	0,0001

Manhattan Uzaklık Yöntemi İçin Pozitif /Negatif İdeal Noktaları							
Kriterler	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
Ölçütler	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max
Pozitif İdeal	0,0161	0,0583	0,1118	0,0006	0,0510	0,1245	0,0136
Negatif İdeal	0,0484	0,0324	0,0621	0,0002	0,0170	0,0415	0,0045

5. Adım: pozitif ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkların hesaplanması

Bu adımda pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar her malzeme özelliği için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Öklid ve Manhattan uzaklık ölçülerine göre alternatiflerin pozitif ideal (S_i^+) ve negatif ideal (S_i^-) çözüme olan uzaklıklarının hesaplanması Eş. 4.20 – 4.23’ler ile yapılmaktadır. Pozitif ve negatif çözüme olan uzaklıkların baz alınan iki ayrı uzaklık ölçütüne göre elde edilen değerleri Çizelge 5.14’de verilmektedir.

Çizelge 5.14. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar

	Öklid Uzaklık		Manhattan Uzaklık	
	$S_1^{(+)}$	$S_1^{(-)}$	$S_2^{(+)}$	$S_2^{(-)}$
A1 ₁	0,0472	0,0657	0,1015	0,1329
A1 ₂	0,0473	0,0656	0,1016	0,1327
A1 ₃	0,0473	0,0656	0,1016	0,1327
A1 ₄	0,0951	0,0259	0,1907	0,0437
A1 ₅	0,0277	0,1023	0,0276	0,2068
A1 ₆	0,0473	0,0656	0,1048	0,1296
A1 ₇	0,0521	0,0679	0,0968	0,1375
A1 ₈	0,0354	0,0899	0,0496	0,1848
A1 ₉	0,1014	0,0415	0,2021	0,0322
A1 ₁₀	0,0428	0,0797	0,0874	0,1470

Örneğin, birinci alternatif için pozitif ideal çözüme uzaklığının değeri (S_{11}^+) Öklid uzaklığı kullanılarak hesaplanırken, birinci alternatifin normalize ağırlıklı karar matrisinin C_1 kriteri değerinden C_1 kriterine ait pozitif ideal noktası değeri çıkarılır ve karesi alınır. Bu işlem birinci alternatifin bütün kriterler değerleri için ilgili kritere göre tekrarlanır. Elde edilen yedi adet sonuç toplanır ve karekökü alınır. Bu işlem her bir alternatif için uygulandığında Öklid uzaklığına göre (S_1^+) değerleri elde edilir.

Birinci alternatif için negatif ideal çözüme uzaklığının değeri (S_{21}^-) Manhattan uzaklığı kullanılarak hesaplanırken, birinci alternatifin normalize ağırlıklı karar matrisinin C_1 kriteri değerinden C_1 kriterine ait negatif ideal noktası değeri çıkarılır ve mutlak değeri alınır. Bu işlem birinci alternatifin bütün kriterler değerleri için ilgili kritere göre tekrarlanır. Elde edilen yedi adet sonuç toplanır. Bu işlem her bir alternatif için uygulandığında Öklid uzaklığına göre (S_2^-) değerleri elde edilir.

6. Adım: ideal çözüme olan göreceli yakınlığın hesaplanması

Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar kullanılarak alternatiflerin ideal çözüme göreceli uzaklıkları (RC_i) aşağıdaki Eş. 4.24 ile yapılmaktadır. Öklit ve Manhattan uzaklık ölçütlerine göre elde edilen İdeal çözüme olan göreceleri uzaklıklar Çizelge 5.15’de yer almaktadır.

Çizelge 5.15. İdeal çözüme olan göreceli uzaklıklar

Kod	Debimetre Malzeme Özellikleri	Öklid Uzaklık RC_1	Manhattan Uzaklık RC_2
A1 ₁	Ana Ünite	0,5818	0,5670
A1 ₂	Montaj Parçaları (Kızak)	0,5814	0,5665
A1 ₃	Montaj Parçaları (Sensörler)	0,5814	0,5665
A1 ₄	Güç Desteği	0,2139	0,1863
A1 ₅	Koruma Sınıfı	0,7872	0,8824
A1 ₆	Sensör Materyali	0,5809	0,5530
A1 ₇	Kayıt Süresi	0,5658	0,5868
A1 ₈	Hassasiyet	0,7173	0,7885
A1 ₉	Gösterge	0,2904	0,1376
A1 ₁₀	Dirsek Mesafeleri	0,6505	0,6272

Örneğin, A1₁ alternatifine için Öklid uzaklığına göre elde edilen RC_{11} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$RC_{11} = \frac{0,0657}{0,0472 + 0,0657} = 0,5818$$

7. Adım: her bir alternatifin göreceli sıralamasının yapılması

İdeal çözüme olan göreceli uzaklıklar Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütlerine göre elde edilmiş (RCi), değerler büyükten küçüğe doğru sıralanmış olup, sıralamalar Çizelge 5.16’da gösterilmektedir.

Çizelge 5.16. Alternatiflerin sıralanması

Öklid Uzaklığı			Manhattan Uzaklığı		
Kod	Malzeme Özelliği	Sıralama Değeri	Kod	Malzeme Özelliği	Sıralama Değeri
A1 ₅	Koruma Sınıfı	0,7872	A1 ₅	Koruma Sınıfı	0,8824
A1 ₈	Hassasiyet	0,7173	A1 ₈	Hassasiyet	0,7885
A1 ₁₀	Dirsek Mesafeleri	0,6505	A1 ₁₀	Dirsek Mesafeleri	0,6272
A1 ₁	Ana Ünite	0,5818	A1 ₇	Kayıt Süresi	0,5868
A1 ₂	Montaj Parçaları (Kızak)	0,5814	A1 ₁	Ana Ünite	0,567
A1 ₃	Montaj Parçaları (Sensörler)	0,5814	A1 ₂	Montaj Parçaları (Kızak)	0,5665
A1 ₆	Sensör Materyali	0,5809	A1 ₃	Montaj Parçaları (Sensörler)	0,5665
A1 ₇	Kayıt Süresi	0,5658	A1 ₆	Sensör Materyali	0,553
A1 ₉	Gösterge	0,2904	A1 ₄	Güç Desteği	0,1863
A1 ₄	Güç Desteği	0,2139	A1 ₉	Gösterge	0,1376

5.3. Uygulama Sonuçları

Bu çalışmada su kayıp ve kaçaklarını tespit ve önlemede kullanılan beş adet kritik malzemenin malzeme özellikleri önem sıralaması ÇKKV yöntemlerinden B-TODIM ve TOPSIS yöntemlerini kullanılarak elde edilmiştir. Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütlerine göre elde edilen alternatif sıralamalar Çizelge 5.17’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.17. Her bir malzeme için alternatif sıralamaları

DEBİMETRE			
Öklid Uzaklığı	Sıralama Değeri	Manhattan Uzaklığı	Sıralama Değeri
Koruma Sınıfı	0,7872	Koruma Sınıfı	0,8824
Hassasiyet	0,7173	Hassasiyet	0,7885
Dirsek Mesafeleri	0,6505	Dirsek Mesafeleri	0,6272
Ana Ünite	0,5818	Kayıt Süresi	0,5868
Montaj Parçaları (Kızak)	0,5814	Ana Ünite	0,5670
Montaj Parçaları (Sensörler)	0,5814	Montaj Parçaları (Kızak)	0,5665
Sensör Materyali	0,5809	Montaj Parçaları (Sensörler)	0,5665
Kayıt Süresi	0,5658	Sensör Materyali	0,553
Gösterge	0,2904	Güç Desteği	0,1863
Güç Desteği	0,2139	Gösterge	0,1376
DATALOGGER			
Öklid Uzaklığı	Sıralama Değeri	Manhattan Uzaklığı	Sıralama Değeri
Gövde Yapısı	0,6985	Gövde Yapısı	0,8165
Koruma Sınıfı	0,6702	Koruma Sınıfı	0,7013
Ana Ünite	0,6497	Boyutlar	0,6784
Batarya Ömrü	0,6493	Ana Ünite	0,651
Boyutlar	0,6261	Batarya Ömrü	0,6502
Montaj Parçaları (Bağlantı Hortumu)	0,5990	Hafıza	0,5974
Konektör	0,5871	Montaj Parçaları (Bağlantı Hortumu)	0,5885
Hafıza	0,5079	Konektör	0,5542
Veri İletim(aktarım) Tipi	0,4825	Veri İletim(aktarım) Tipi	0,4539
Sertifika	0,4113	Sertifika	0,2430
BASINÇ KONTROL VANASI			
Öklid Uzaklığı	Sıralama Değeri	Manhattan Uzaklığı	Sıralama Değeri
Çalışma Prensibi	0,6962	Çalışma Prensibi	0,7593
Çıkış Basıncı	0,6661	Çıkış Basıncı	0,6325
KV Değeri	0,5472	Markalama	0,5532
Basınç Aralığı	0,4969	Basınç Aralığı	0,4851
Markalama	0,4578	KV Değeri	0,4386
Giriş Basıncı	0,3779	Basınç Sınıfı	0,4079
Basınç Sınıfı	0,3736	Gövde Malzemeleri	0,2793
Gövde Malzemeleri	0,3729	Giriş Basıncı	0,2673
Yüzey İşleme	0,3475	Manometre Bağlantıları	0,2551
Manometre Bağlantıları	0,3375	Yüzey İşleme	0,2309

Çizelge 5.17. Her bir malzeme için alternatif sıralamaları (devamı)

AKUSTİK DİNLEME CİHAZI			
Öklid Uzaklığı	Sıralama Değeri	Manhattan Uzaklığı	Sıralama Değeri
Kulaklık	0,8824	Kulaklık	0,9531
Pompa - Prop	0,6741	Ağırlık	0,7623
Ekran	0,6697	Pompa - Prop	0,6892
Ağırlık	0,6447	Ekran	0,687
Ana Ünite	0,6320	Ana Ünite	0,6237
Gürültü Eleme Sistemi	0,6075	Gürültü Eleme Sistemi	0,5796
Batarya Tipi	0,5832	Batarya Tipi	0,5613
Pil Seviye Kontrolü	0,4934	Pil Seviye Kontrolü	0,4362
Parazit Filtresi	0,4351	Parazit Filtresi	0,4205
Koruma Derecesi	0,2873	Koruma Derecesi	0,2948
KORELATÖR			
Öklid Uzaklığı	Sıralama Değeri	Manhattan Uzaklığı	Sıralama Değeri
Ana Ünite	0,6715	Akustik Kaçak Yeri Tespiti	0,7761
Sensörler	0,6715	Ana Ünite	0,7485
Batarya Tipi	0,6442	Sensörler	0,7485
Akustik Kaçak Yeri Tespiti	0,638	Batarya Tipi	0,7148
Otomatik Filtre Adaptasyonu	0,6126	Otomatik Filtre Adaptasyonu	0,6336
Eş Zamanlı Korelasyon Sayısı	0,5558	Min. Çalışma Sıcaklığı [°C]	0,5999
Min. Çalışma Sıcaklığı [°C]	0,5358	Ağırlık	0,5406
Ağırlık	0,4902	Eş Zamanlı Korelasyon Sayısı	0,4135
Koruma Türü	0,4286	Pil Tipi	0,3554
Pil Tipi	0,3269	Koruma Türü	0,3465

Sıralama sonucunda özellik sıralamaları ve sıralama değerleri (Öklid uzaklığı sıralama değeri; Manhattan uzaklığı sıralama değeri) elde edilmiştir. Her bir malzeme özelliği için iki ayrı uzaklık ölçütüne göre elde edilen sıralama değerleri farklılaşmıştır. Debimetre malzemesi için Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütlerine göre ilk üç sıralama aynı çıkmış olup, “Koruma Sınıfı (0,7872; 0,8824)”, “Hassasiyet (0,7173; 0,7885)”, “Dirsek Mesafesi (0,6505; 0,6272)” olarak sıralanmıştır. “Güç Desteği (0,2139; 0,1863)” ve “Gösterge (0,2904; 0,1376)” özellikleri son iki sırada bulunmuş fakat öncelikleri farklı olmuştur. Datalogger malzemesinde, iki ayrı sıralamanın da ilk iki sırasında yer alan “Gövde Yapısı (0,6985; 0,8165)”, “Koruma Sınıfı (0,6702; 0,7013)” ve son iki sırasında yer alan özellikler “Veri iletim tipi (0,4825; 0,4539)”, “Sertifikalar (0,4113; 0,2430)” aynıdır. Basınç kontrol vanası malzemesi için iki ayrı sıralama sonucunun ilk iki sırasında yer alan özellikler

“Çalışma Prensibi (0,6962; 0,7593)” ve “Çıkış Basıncı (0,6661; 0,6325)” aynıdır. “Yüzey işleme (0,3475; 0,2309)” ve “Manometre bağlantıları (0,3375; 0,2551)” özellikleri son iki sırada yer alıp öncelikleri farklılaşmıştır.

Akustik dinleme cihazında iki sıralama sonucuna göre de ilk sırada yer alan özellik “Kulaklık (0,8824; 0,9531)” olup ikinci sırada yer alan özellik Öklid uzaklığı sıralamasında “Pompa-Prob (0,6741; 0,6892), Manhattan uzaklık sıralamasında “Ağırlık (0,6447; 0,7623)” özellikleri olmuştur. Son iki sırada yer alan özellikler “Parazit filtresi (0,4351; 0,4205)” ve “Koruma derecesi (0,2873; 0,2848)” iki sıralama sonucu için de aynıdır. Korelatör malzemesi için ilk iki sırada yer alan özellikler farklılaşmakta olup, Öklid uzaklığı sıralamasında “ Ana ünite (0,6715; 0,7485)”, “Sensörler (0,6715; 0,7485)” olarak sıralanmış olup, Manhattan uzaklık sıralamasında “Akustik kaçak yeri tespiti (0, 6380; 0,7761)”, “ Ana ünite (0,6715; 0,7485)” olarak sıralanmıştır. Son iki sırada yer alan özellikler “Koruma türü (0,4286; 0,3465)” ve “Pil tipi (0,3269; 0,3554)” olup, öncelikleri farklılaşmıştır.

Sonuçlar iki ayrı uzaklık ölçütü bazında değerlendirildiğinde her bir malzeme için malzeme özellik sıralamalarında bazı sıralama farklılıkları görülmektedir. Bu sıralama farklılıkları birbirinden tamamen farklı iki ayrı sonuç niteliğinde olmamaktadır (bir ölçüte göre ilk sırada olurken diğer ölçüte göre son sıralarda olan bir özellik bulunmamaktadır). Örneğin iki ayrı uzaklık yöntemine göre elde edilen sonuçlarda; debimetre, datalogger ve basınç kontrol vanası malzemeleri için ilk iki sırada, akustik dinleme cihazı için ilk sırada yer alan malzeme özelliklerinin aynı olduğu gözlenmektedir. Sıralamalarda ilk beş özellikler kendi içlerinde yer değiştirmiş olup, son iki sırada yer alan özelliklerin tüm malzemelerde aynıdır.

Tüm malzeme özellikleri sıralama değerleri, karşılaştırılan iki uzaklığa göre farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütlerinin koordinat düzlemi üzerindeki yapısından kaynaklanmaktadır. Kartezyen koordinat düzleminde iki mesafe arasındaki uzaklık Öklid uzaklığı ile hesaplanırken 2 doğru arasındaki doğrusal uzaklık alınmakta olup, bu doğru 360 derece hareket edebilen (dairesel), sınırları olmayan bir yapıdadır. Manhattan uzaklığı ise koordinat eksenleri üzerindeki noktalar arasındaki doğru parçasının izdüşümlerinin uzunluklarının toplamıdır. Uzaklık hesabı için ilerleyen doğru parçası belirlenen sınırlar üzerinden ilerleyebilmektedir. Öklid uzaklığı aykırı değerlere Manhattan uzaklığından daha duyarlıdır.

Elde edilen alternatif sıralamalar KV'lere sunulmuş olup, sıralamalarda büyük farklılıklar bulunmadığını fakat tercih yapılması gerekirse; Debimetre, Akustik dinleme cihazı ve Korelatör malzemeleri için Manhattan uzaklığı ile, Datalogger ve Basınç kontrol vanası malzemeleri için Öklid uzaklığı ile elde edilen sıralama sonuçlarını daha uygun bulduklarını belirtmişlerdir.

İki ayrı uzaklık ölçütüne göre elde edilen sıralama sonuçlarının birbiriyle tamamen aynı olmaması ve de aşırı farklılıklar göstermemesi KV'lerin karar süreçlerinde alternatifli seçimler yapabilmelerine olanak tanımaktadır. Karar vericiler tarafından oluşturulan başlangıç karar matrisleri (Çizelge 5.9) ve elde edilen sonuçlar (Çizelge 5.17) ile birlikte değerlendirildiğinde, malzeme özellikleri sıralamalarının KV yargıları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Su kaynakları, nüfus artışı, iklim değişikliği, tüketim alışkanlığı gibi pek çok sebeplerden bütün dünyada büyük baskı altındadır. Türkiye bu baskının en yoğun hissedildiği su stresi çeken ülkelerden biri konumunda olup, yakın gelecekte su kıtlığı yaşama ihtimali öngörülmektedir. Karşı karşıya kalınan bu tablo su yönetiminde su kaynaklarının verimli kullanımını elzem ve öncelikli hedef durumuna getirmektedir. Su kaynaklarının verimli kullanımına yönelik olarak talep tarafında yasal düzenlemelerle bilinçli kullanım bilincini geliştirmek ve arz tarafında da teknoloji temelli şebeke altyapıları geliştirerek su kayıp ve kaçaklarını en aza indirmek en temel adımlardan olmaktadır.

Su kayıp ve kaçaklarını azaltmak için öncelikli olarak kaybedilen su miktarının tespiti, bütüncül olarak da önleme sistemlerinin kurulması ve işletilmesi gerekmektedir. Tespit ve önleme için kullanılan mekanik ve teknolojik ekipmanlar yer almakta olup bu ekipmanların en uygun şekilde seçimi büyük önem arz etmektedir. Su kayıp ve kaçaklarını tespit ve önlemede kullanılan malzemelerin seçim ve satın alımlarını gerçekleştiren idareler, seçim kriterleri ve yöntemleri konusunda standart bir yaklaşım bulunmasından dolayı problem yaşamaktadır. Bu durum kritik malzemelerin seçimi ve alımı konusunda uygun olmayan toplu alımlar yapılmasına, su kayıp ve kaçaklarının zamanında tespit edilememesi ve önlenememesine, su şebekelerinin ömrünün kısalmasında neden olmaktadır.

Yapılan bu çalışma ile kritik malzemelerin seçimine ilk defa malzeme özellikleri sıralaması detayında yaklaşılmıştır. Sıralama için Öklid ve Manhattan uzaklık ölçütlerine dayalı olarak ÇKKV yaklaşımlarından B-TODIM ve TOPSIS yöntemlerinin bütünleşik kullanımından oluşan yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Malzeme seçim ve alım kararlarında dikkate alınan ana kriter genel olarak maliyet olup, bu yaklaşım genişletilmiş ve çok boyutlu kriterler belirlenmiştir. Kriterler, su şebekelerinin her açıdan sürdürülebilirliğini sağlayabilmek (malzeme kalitesi, malzemenin bakım, onarım, montaj gereksinimleri, malzemeyi kullanan insan kaynağının ergonomik kullanımı) için detaylı bir yaklaşımla oluşturulmuştur. B-TODIM yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiş, sonrasında bu ağırlıklar TOPSIS yöntemi içerisinde kullanılarak malzeme özelliği önem sıralamaları elde edilmiştir. Metodolojik yaklaşımlar kullanılarak karar mekanizmasının yerleşmiş kalıplar yerine bilimsel bir temele oturtulması amaçlanmıştır.

İki ayrı uzaklık ölçütüne dayalı olarak elde edilen sıralama sonuçları baz alınan beş malzeme için de farklı iki ayrı sıralama ortaya koymuştur. Sıralamalar değerlendirildiğinde birebir aynı sonuçlar elde edilmemesinin yanında birbirinden büyük farklılıklar göstermeyen sonuçların ortaya çıkması karar vericilere alternatif sıralama yapıları kullanma imkanı vermektedir. Aynı zamanda elde edilen sonuçlarla beraber kullanılan uzaklık ölçütlerinin birbirine olan yakınlığı sonuçlar üzerinde gözlenebilmiştir.

Uygulama sonucunda elde edilen sıralama değerleri karar vericiler tarafından değerlendirildiğinde, malzeme özellikleri sıralaması yapılmış olan beş adet malzemenin üçü için Manhattan uzaklığı ile elde edilen sıralama, ikisi için Öklid uzaklığı ile elde edilen sıralamanın daha uygun olduğu belirtilmiştir. Bu doğrultuda literatürde TODIM ve TOPSIS yöntemlerinde uzaklık hesaplamaları için Öklid uzaklığı kullanılmasına karşın farklı bir uzaklık hesaplama yönteminin daha uygun sonuçlar verebileceği ortaya konmuştur.

Önerilen yeni bütünleşik yaklaşım, karar vericiler tarafından çalışma yapılan su yönetimi alanında farklı malzemeler üzerinde de uygulanabilecek niteliktedir. Yaklaşım geliştirilerek karar destek sistemlerine entegre edilebilir. Çalışmanın idareler bazında malzeme seçim standartizasyonları ve teknik şartnameleri oluşturulmasına yönelik fayda sağlaması amaçlanmaktadır. Bununla beraber önerilen yeni yaklaşım farklı problemler üzerinde kriter ağırlıkları belirleme ve sıralama yapma amacıyla kullanılabilir. Yöntemin sıralama için kullanılan ÇKKV yöntemi farklılaştırılıp alternatif sonuçlar elde edilebilir. Aynı zamanda B-TODIM yöntemi dâhilinde kullanılan uzaklık ölçütleri problem yapısına göre farklılaştırılarak alternatif sonuçlar elde edilip kıyaslanabilir.

KAYNAKLAR

- Akkaya, C., Efeoğlu, A., Yeşil, N. (2006). Avrupa Birliği su çerçeve direktifi ve Türkiye’de uygulanabilirliği. *1. TMMOB Su Politikaları Kongresi*. Ankara, 195-204.
- Aslan, E. (2009). *Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi Yardımıyla Tedarikçi Seçimi Ve Üretim Sektöründe Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 39.
- Avcı, M.C. (2019). *Çok kriterli karar verme yöntemleriyle enerji sektöründe faaliyet gösteren firmalarda performans analizi*, Yüksek Lisans tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 60-62.
- Başaran, S. (2019). *Bulanık TODIM Yöntemiyle Tedarikçi Seçimi: Gıda Sektöründe Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Rize.
- Bouchard, C., Abi-Zeyd, N., Beauchamp, N., Lamontagne, L. Desrosiers, J. and Rodriguez, M. (2010). Multicriteria decision analysis for the selection of a small drinking water treatment system. *Journal of Water Supply: Research and Technology*, 59 (4), 230-242.
- Bulut, M. (2019). *AB Su Çerçeve Direktifi’nin Türkiye’de Su Kaynakları Yönetimine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı, 7-8.
- Carriço, N.J.G., Gonçalves, F.V., Covas, D.I.C., Almeida, M. and Alegre, H. (2014). Multi-criteria Analysis for the Selection of the Best Energy Efficient Option in Urban Water Systems. *Procedia Engineering*, 70, 292-301.
- Çakmak, B., Evsahibioğlu, N., Aküzüm, T. (2010). Su yönetimi, su kullanım stratejileri ve siniraşan sular. *Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi*, Ankara, 119-134.
- Çapar, G., Dilcan, Ç., Korkmaz, A., İritiş, Ö., Karaaslan, Y., Selek, B. (2018). İçme Suyu Şebekelerinde Görülen Su Kayıplarının Dünyada Ve Ülkemizdeki Durumu. *T.C. Bilim, Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı Anahtar Dergisi*, 6, Ankara, 10-18.
- Çelik, A., Kocaman, H., İnce, H.C. (2016). *Sakarya SASKİ Genel Müdürlüğü SCADA ve CBS entegrasyonu*. Dünya CBS Günü 2016 Sempozyumunda sunuldu, İstanbul.
- Demirbaş S. (2019, Ekim). *Suyun Etkin Kullanımında Arazi Toplulaştırma ve Tarla İçeri Geliştirme Hizmetlerinin Katkısı*. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 5. Su Kayıp Kaçakları Türkiye Forumunda sunuldu, Ankara.
- Demircan, L. (2020). *Performans Değerlendirme İçin Yetkinlik Analizi Ve Bütünleşik Bulanık Bir Çok Kriterli Karar Verme Model Önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya, 21-23.

- Dünya Bankası. (2016). Türkiye Cumhuriyeti: sürdürülebilir kentsel su temini ve sanitasyonu raporu. *The World Bank*. Washington.
- Erokutan, B. (2016). *Mavi Yakalı Personel Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanılması Ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bilecik, 42-43.
- Fabbiano, L., Vacca, G. and Dinardo, G. (2020). Smart water grid: A smart methodology to detect leaks in water distribution networks. *Measurement*, 151, 1-7.
- Figueira, J., Morais, D. C. and Almeida, A. (2014). A sorting model for group decision making: a case study of water losses in Brazil. *Group Decis Negot*, 23, 937-960.
- Fontana, M. and Morais, D. C. (2013). Using Promethee V to select alternatives so as to rehabilitate water supply network with detected leaks. *Water Resources Management*, 27, 4021-4037.
- Gündüz, O. (2017). *Sürdürülebilir su yönetimi* [Powerpoint Ders Notları]. Erişim adresi <https://docplayer.biz.tr/44293680-Surdurulebilir-su-yonetimi.html>.
- Global Water Partnership. (2000). *Integrated water resources management*. Danimarka: Global Water Partnership, Technical Advisory Committee Background Papers No:4, 67.
- Hajkowicz, S. and Collins K. (2007). Review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water Resources Management*, 21, 1553-1566.
- Hakyemez, C. (2019). Su: Yeni Elmas. Türkiye Sınai Kalkınma Bankası-Tematik Bakış Araştırma Raporu, *İstanbul*.
- Hawking, S. W. (2013). *Ceviz Kabuğundaki Evren*. (Çev. Kemal Çömlekçi). İstanbul: Alfa Basım Yayım Dağıtım. (Eserin orijinali 2001'de yayımlandı), 176-177.
- Hsieh, T., Lu, S. and Tzeng, G. (2004). Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings. *International Journal of Project Management*, 22, 573-584.
- Hwang, C.L. and Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. *Springer-Verlag*, 186.
- İçme Suyu Temin Ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği. (2015). T.C. Resmi Gazete, 16.07.2015.
- İnternet: Basınç Düşürücü Vana. (b.t.). *Ayvaz*. URL: <https://www.ayvaz.com/urunler/165-Basinc-Dusurucu-Vana.html>, Son Erişim Tarihi: 04.07.2020.
- İnternet: Datalogger nedir?. (b.t.). *Ram Ölçü ve Kontrol Sistemleri*. URL: <https://www.ram-limited.com/tr/1351/datalogger-nedir>, Son Erişim Tarihi : 07.07.2020.

- İnternet: Datalogger nedir?. (b.t.). *RST Elektronik*. <https://www.ram-limited.com/tr/1351/datalogger-nedir>, Son Erişim Tarihi: 17.07.2020.
- İnternet: İmparatorlukları Kuraklık Çökertti. (2012). *Milliyet*. URL: <http://www.milliyet.com.tr/impatorluklari-kuraklik-cokertti-gundem1578293/>, Son Erişim Tarihi: 25.06.2020.
- İnternet: Kazısız Teknolojiler. (2018). *Altyapı ve Kazısız Teknolojiler Derneği*. <https://www.akated.com/kazisiz-teknolojiler/teknoloji-turleri/>, Son Erişim Tarihi : 13.06.2020.
- İnternet: Korelatör. (b.t.). *Trotec*. <https://tr.trotec.com/ueruenler-ve-hizmetler/oelcuem-cihazlari/kacak-yeri-tespiti/korelatoerler/ld20hc/>, Son Erişim Tarihi: 12.08.2020.
- İnternet: Scada Sistemi Nedir?. (2019). *Prowmes*. <http://www.prowmes.com/blog/scada-sistemi-nedir/>, Son Erişim Tarihi:12.08.2020.
- İstanbul Su Kanalizasyon İdaresi (İSKİ). (2017). *Su yönetimi kapsamında içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde su kayıp kaçaklarının kontrolü*. İstanbul: İSKİ. Orhan Baykan.
- İstanbul Ticaret Odası. (1999). *Türkiye’de içme suyu sektörü, sorunlar ve çözüm önerileri*. İstanbul Ticaret Odası Yayınları (No:1999-56). Metin Yerebakan, 14- 16.
- Karakaşoğlu, N. (2008). *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli, 57.
- Keskenler, M. F. ve Keskenler, E. F. (2017). Bulanık mantığın tarihi gelişimi. *Takvim-i Vekayi Dergisi*, 5(1):1-10.
- Khamseh, A.A. and Mahmoodi, M. (2014). A new fuzzy TOPSIS-TODIM hybrid method for green supplier selection using fuzzy time function. *Advances in Fuzzy Systems*, 3, 1-10.
- Khorshidi, M., Nikoo, M., Taravatrooy, N., Sadegh, M., Al-ward, M. and Al-rawas, G. (2020). Pressure sensor placement in water distribution networks for leak detection using a hybrid information-entropy approach. *Information Sciences*, 516, 56-71.
- Kınacı, C. (2017). Su Yönetiminde Temel Kavramlar ve Bileşenler [Powerpoint Ders Notları]. Erişim adresi http://cdn.istanbul.edu.tr/statics/subilimleri.istanbul.edu.tr/statics/subilimleri.istanbul.edu.tr/wpcontent/uploads/2017/09/SU_BILIMLERI_FA_K_ACILIS_DERSI_22.09.2017.pdf
- Kumar, P. and Singh, R.H. (2013). Hybrid methodology for measuring the utilization of advanced manufacturing technologies using AHP and TOPSIS. *Benchmarking: An International Journal*, 20(2), 169-185.
- Kumar, P. and Singh, R. K. (2012). A fuzzy AHP and TOPSIS methodology to evaluate 3pl in a supply Chain. *Journal of Modelling in Management*, 7(3), 287-303.

- Llayaa-Ayza, A., Martins, C., Campbell, E. and Izquierdo, J. (2018). Gradual transition from intermittent to continuous water supply based on multi-criteria optimization for network sector selection. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 330, 1016-1029.
- Memik, B. F. (2017). *Personel Performans Değerlendirme Süreci İçin Bulanık Ortamda Bütünleşik Bir Model Önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, 55-56.
- Menteş, A., (2010). *Açık Deniz Yapıları Bağlama Sistemlerinin Dizaynında Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Uygulanması*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 18-20.
- Mutikanga, H., Sharma, S. and Vairavamoorthy, K. (2011). Multi-criteria Decision Analysis: A Strategic Planning Tool for Water Loss Management. *Water Resources Management*, 25, 3947–3969.
- Öngür, T. (2009). Su savaşları kimin savaşı?. *Türkiye Mühendis ve Mimarlar Odası Birliği Haber Bülteni* (2009/4). 70-74.
- Pilcher, R., Toprak, S., Koç, C., Angelis, K., Dikbaş, F., Fırat, M.,.... ve.Dizdar, A. (2009). *Su kayıpları nasıl önlenir? Su kayıplarını azaltma teknikleri ve uygulamalarına yönelik rehber kitap* (Birinci baskı). Türkiye: Efil Yayınevi Yayınları.
- Roobahani, A.and Banafsheh, Z. (2012). PROMETHEE with precedence order in the criteria (ppoc) as a new group decision making aid: an application in urban water supply management. *Water Resources Management*, 26, 3581–3599.
- Sanayei, A., Mousavi, S.F. and Yazdankhah, A. (2010). Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 24-30.
- Santana, R., Bezerra, S., Santos, S., Cautinho, A., Coelho, I. and Pessoa, R. (2019). Assessing alternatives for meeting water demand: A case study of water resource management in the Brazilian Semiarid region. *Utilities Policy*, 61, 1-9.
- Silkin, H. (2014). *İklim Değişikliğine Uyum Özelinde Bazı Uygulamaların Türkiye Açısından Değerlendirilmesi*, Uzmanlık Tezi, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Silva, V., Morais, D. and Almeida, A. (2010). A Multicriteria Group Decision Model to Support Watershed Committees in Brazil. *Water Resourge Management*, 24, 4075–4091.
- Soylu, N., Suiçmez B., Baran A., Alemdaroğlu E., Gözar M., Ünal S. (2006). Türkiye su kaynakları ve sulama hizmetleri yapılanması. 1. *TMMOB Su Politikaları Kongresi*, Ankara, 331-348.

- T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü. (2013). *Su verimliliği*. T.C. Bilim, Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü (Yayın No: 720). Ankara: Özlem Durmuş, 4-5.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2017), Sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında Türkiye'nin mevcut durum analizi projesi, *Mevcut Durum Analizi Raporu*, 7.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2017). *İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü El Kitabı*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara: Habib Muhammedoğlu ve Ayşe Muhammedoğlu.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2019). Ulusal Su Planı. *T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı*. Ankara.
- Tosun, Ö. ve Akyüz, G. (2014). A Fuzzy TODIM Approach for the Supplier Selection Problem. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 8 (2), 317-329.
- Trojan, F. and Morais, D. C. (2015). Maintenance Management Decision Model for Reduction of Losses in Water Distribution Networks. *Water Resourge Management*, 29, 3459–3479.
- Uğurelli, A. (2011). *Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi Ve Direktifin Türkiye’de Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Osman Paşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat, 108.
- Üstüner, E. (2019). *Uluslararası Düzeyde Fabrika Kuruluş Yeri Seçimine Yönelik Bir Yaklaşım*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 56.
- World Bank Institute. (2010). The Manager’s Non-Revenue Water Handbook For Africa, A Guide To Understanding Water Losses. *USAID, World Bank Institute*. Washington, 49-50.
- World Health Organization (WHO) and United Nations Children’s Fund (UNICEF). (2010). *Progress on sanitation and drinking-water: 2010 update*. Genova: World Health Organization.
- World Wide Fund (WWF)-Turkey and The Hong Kong and Shanghai Banking Corporation (HSBC). (2014). *Türkiye’nin su riskleri raporu*. İstanbul: WWF-Türkiye, 15-16.
- Yavuz, N. ve Baki, B. (2019). The ranking of the patent values with multi criteria decision-making methods: an application in automotive sector. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 9 (17), 27-52.
- Yeter, M. (2017). *Türkiye’de Suyun Durumu Ve Türkiye’nin Su Yönetimi*. Yüksek Lisans Tezi, Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 3-7.

- Yertutan, D.İ. (2019). *Sürdürülebilir Konut Satın Alımının Çok Kriterli Karar Verme Metotlarıyla Değerlendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 12-13.
- Yılmaz, E., (2012). Bulanık AHP-VIKOR Bütünleşik Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi, *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 34 (2), 331-354.
- Zhang, X. and Fan, Z. (2011). A method for linguistic multiple attribute decision making based on TODIM. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 2011 International Conference on Management and Service Science*, 1-4.
- Zhu, F., Zhong, P., Cao, Q., Chen, J., Sun, Y. and Fu, J. (2019). A stochastic multi-criteria decision making framework for robust water resources management under uncertainty. *Journal of Hydrology*, 576, 287-298.
- Zyoud, S. H., , Kaufmann L.G., Shaheen, H., Samhan, S. and Hanusch, D.F. (2016). A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS. *Expert Systems With Applications*, 61, 86-105.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ASLAN, Yağmur
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 20.02.1991, Adıyaman
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (506) 449 48 45
e-mail : yagmuraslan@outlook.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2021
Lisans	İstanbul Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2013
Lise	Adıyaman Fen Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	Devlet Malzeme Ofisi G.M.	M. Satınalma Uzmanı
2014-2015	Arkas Holding	Bütçe Planlama Uzm. Y.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Aslan Y., Altıparmak F., Atalay K. D. (2020, Nisan). Çok kriterli karar verme yöntemleriyle b2b bilişim/yazılım firmaları için dijital pazarlama kanalı seçimi, *Karadeniz 3. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi*, Ordu.

Hobiler

Seyahat, Kitap kulüpleri, Yüzme, Resim



GAZİ GELECEKTİR..