

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BOLU İLİ KAMU ALANLARININ SU TÜKETİMLERİNDE GERİ
DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİNE GEÇİŞ SÜRECİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ**

Fatma Betül BAĞLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Şükran ŞEKER

Eş Danışman

Doç. Dr. Nezir AYDIN

Temmuz, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BOLU İLİ KAMU ALANLARININ SU TÜKETİMLERİNDE GERİ
DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİNE GEÇİŞ SÜRECİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ**

Fatma Betül BAĞLAN tarafından hazırlanan tez çalışması 06.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Şükran ŞEKER
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Doç. Dr. Nezir AYDIN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Şükran ŞEKER, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Esra İLBAHAR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL, Üye
İstanbul Esenyurt Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Şükran ŞEKER sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Bolu İli Kamu Alanlarının Su Tüketimlerinde Geri Dönüşüm Sistemlerine Geçiş Süreci İçin Bir Model Önerisi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Fatma Betül BAĞLAN





Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün 4385 ID numaralı projesi ile desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması sürecinde anlayışını, yardımlarını esirgemeyen, değerli bilgileri ve yönlendirmeleriyle çalışmama ışık tutan danışman hocalarım Sayın Doç. Dr. Şükran ŞEKER ve Sayın Doç. Dr. Nezir AYDIN'a ve hayatım boyunca her daim yanımda olan, benden desteklerini, anlayış ve sevgilerini eksik etmeyen sevgili aileme çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	4
1.3 Hipotez.....	5
2 ALTERNATİF SU KAYNAKLARI	6
2.1 Yağmur Suyu Hasadı.....	6
2.2 Gri Su Arıtma Sistemleri.....	10
2.3 İncelenen Çalışmalar	13
3 MATERYAL-METOD	24
3.1 Çok Kriterli Karar Verme	24
3.1.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi.....	28
3.1.2 İdeal Çözüme Benzerlikte Tercih Düzeni Tekniği (TOPSIS)	31
3.2 Bulanık Küme Teorisi.....	34
3.2.1 Sezgisel Bulanık Kümeler	35
3.2.2 Resim Bulanık Kümeler	35
3.3 Resim Bulanık AHP	37
3.4 Matematiksel Programlama.....	38
3.4.1 Doğrusal Programlama.....	40
3.4.2 Tam Sayılı Programlama.....	42
4 UYGULAMA	43

4.1 Resim Bulanık AHP	43
4.1.1 Kriterlerin Belirlenmesi ve Kriter Hiyerarşisinin Oluşturulması	43
4.1.2 Yöntem Adımlarının Uygulanması	46
4.2 TOPSIS	53
4.3 Matematiksel Programlama.....	56
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKÇA	62
A GAMS KOD	74
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	76



SİMGE LİSTESİ

V	Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi
Z	Amaç Fonksiyonu
w_j^{global}	Bulanık Küresel Ağırlıklar
k	Depo Birim Maliyeti
lcap	Depo Hacmi
j	Depo Sabit Maliyeti
t	Dönem
d	Günlük Su Talebi
w_j^{local}	Karar Verici Bazında Bulanık Ağırlıklar
W_j	Kriter Ağırlıkları
lmax	Maksimum Depo Hacmi
A-	Negatif İdeal Çözüm
Si-	Negatif İdeal Çözüme Uzaklık Değeri
w_j^{final}	Nihai Resmin Bulanık Ağırlıkları
A*	Pozitif İdeal Çözüm
Si*	Pozitif İdeal Çözüme Uzaklık Değeri
PFWG_w	Resim Bulanık Ağırlıklı Geometrik Operatör
n	Şebekeden Su Satın Alma Maliyeti
a(t)	t Dönemi Sonunda Depoda Bulunan Su Miktarı
p(t)	t Döneminde Depodan Kullanılan Su Miktarı
c(t)	t Döneminde Satın Alınan Sı Miktarı
TO	Tutarlılık Oranı
Ci*	Yakınlık İndeksi

KISALTMA LİSTESİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DP	Doğrusal Programlama
GSS	Gri Su Sistemleri
MP	Matematiksel Programlama
MIP	Mixed Integer Programming (Karma Tam Sayılı Programlama)
TOPSIS	İdeal Çözüme Benzerlikte Tercih Düzeni Tekniği
YSH	Yağmur Suyu Hasadı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Tipik bir sarnıç sistemi	10
Şekil 1.2 Tipik bir gri su arıtma sistemi.....	12
Şekil 3.1 Temel kriter ve alternatif hiyerarşisi yapısı.....	28



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Literatür özeti.....	23
Tablo 3.1 Saaty ölçeği.....	29
Tablo 3.2 Rastgelelik indeksi değerleri	31
Tablo 3.3 Saaty ölçeği ve resim bulanık sayılar	37
Tablo 4.1 Kriter ve alternatif hiyerarşisi	43
Tablo 4.2 Karar verici 1'e ait ana kriterlerin karşılaştırması	46
Tablo 4.3 Karar verici 1'e ait maliyet alt kriterlerinin karşılaştırması	46
Tablo 4.4 Karar verici 1'e ait kapasite alt kriterlerinin karşılaştırması	46
Tablo 4.5 Karar verici 1'e ait çevresel alt kriterlerinin karşılaştırması.....	47
Tablo 4.6 Karar verici 1'e ait sosyal alt kriterlerinin karşılaştırması.....	47
Tablo 4.7 Karar verici 2'ye ait ana kriterlerin karşılaştırması.....	47
Tablo 4.8 Karar verici 2'ye ait maliyet alt kriterlerinin karşılaştırması.....	47
Tablo 4.9 Karar verici 2'ye ait kapasite alt kriterlerinin karşılaştırması.....	47
Tablo 4.10 Karar verici 2'ye ait çevresel alt kriterlerinin karşılaştırması	48
Tablo 4.11 Karar verici 2'ye ait sosyal alt kriterlerinin karşılaştırması.....	48
Tablo 4.12 Karar verici 3'e ait ana kriterlerin karşılaştırması.....	48
Tablo 4.13 Karar verici 3'e ait maliyet alt kriterlerinin karşılaştırması	48
Tablo 3.14 Karar verici 3'e ait kapasite alt kriterlerinin karşılaştırması.....	48
Tablo 4.15 Karar verici 3'e ait çevresel alt kriterlerinin karşılaştırması.....	48
Tablo 4.16 Karar verici 3'e ait sosyal alt kriterlerinin karşılaştırması	49
Tablo 4.17 Karar verici 4'e ait ana kriterlerin karşılaştırması.....	49
Tablo 4.18 Karar verici 4'e ait maliyet alt kriterlerinin karşılaştırması	49
Tablo 4.19 Karar verici 4'e ait kapasite alt kriterlerinin karşılaştırması.....	49
Tablo 4.20 Karar verici 4'e ait çevresel alt kriterlerinin karşılaştırması.....	49

Tablo 4.21 Karar verici 4'e ait sosyal alt kriterlerinin karşılaştırması	50
Tablo 4.22 İkili karşılaştırma matrislerine ait tutarlılık oranları	50
Tablo 4.23 Alt kriterlerin (<i>wjlocal</i>) değerleri.....	51
Tablo 4.24 Alt kriterlerin (<i>wjglobal</i>) değerleri	52
Tablo 4.25 Alt kriterlerin (<i>wjfinal</i>) değerleri.....	53
Tablo 4.26 TOPSIS karar matrisi.....	54
Tablo 4.27 Normalize edilmiş karar matrisi	54
Tablo 4.28 Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi.....	55
Tablo 4.29 Pozitif ve negatif ideal çözüm noktaları.....	55
Tablo 4.30 Alternatiflerin ideal çözümlere göreceli yakınlıkları	56
Tablo 4.31 Matematiksel model göstergeler	57
Tablo 4.32 Matematiksel model parametreler.....	57
Tablo 4.33 Matematiksel model değişkenler.....	58
Tablo 4.34 Matematiksel model değişken değerleri.....	59

Bolu İli Kamu Alanlarının Su Tüketimlerinde Geri Dönüşüm Sistemlerine Geçiş Süreci İçin Bir Model Önerisi

Fatma Betül BAĞLAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Danışman: Doç. Dr. Şükran ŞEKER

Eş-Danışman: Doç. Dr. Nezir AYDIN

Günümüzde özellikle, önemli miktarlara ulaşan sulama suyu, wc rezervuar suyu vb. ihtiyaçlar için içilebilir kalitede sularının kullanılması, hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli bir kayıptır. Bu nedenle, çeşitli ülkelerde suların geri dönüşümü için yaygın olarak yağmur suyu hasadı ve gri su arıtma sistemleri kullanılmaktadır. Ülkemizde ise giderek su kıtlığı yaşanması ile birlikte suyun geri kazanımı da giderek önem kazanmaktadır. Ancak su fakiri olma riski taşıyan ülkeler arasında yer alan ülkemizde konu ile ilgili teorik çalışmalar ve uygulamalar yok denecek kadar azdır.

Bu çalışmada, küresel ısınma ile birlikte su kaynaklarının giderek hayati risk taşımaya başlaması nedeniyle ülkemiz su kaynaklarının korunması için etkili sistemler ele alınarak çözüm önerileri sunulmuştur. Örnek uygulama olarak Bolu ili kamu alanlarının lokasyon özellikleri ve sistem bileşenleri beraber ele alınarak bir model sunulmuştur. Ancak kamu alanlarının (hizmet binaları, okullar, park-bahçeler vb.) su tüketimlerinin tek seferde tümünde geri dönüşüm sistemlerine geçirilmesi optimum değildir. Bu nedenle çalışmanın ilk aşamasında Bolu’da en büyük tüketimin nerelerde olduğu, bu alanların yağış ve gri su toplama kapasiteleri, tüketimi karşılama yüzdeleri ve yatırım maliyetleri göz önüne

alınarak AHP ve TOPSİS entegreli resim bulanık kümeler kullanılarak lokasyonların önceliklendirilmesi yapılmıştır. İkinci aşamada ise seçilen lokasyonda sistemin depo boyutunun optimizasyonu için minimum maliyet ve maksimum verimin sağlanacağı bir karma tam sayılı programlama modeli kurulmuştur. Böylelikle, hem resmi/özel kurum ve kuruluşlar hem de halk için doğal döngülere olan farkındalığın artırılması, şebeke suyuna olan ihtiyacın azalması, yüksek verimlilikte bedelsiz suya sahip olmak, daha az enerji ve kimyasal kullanımı sağlamak ve doğal su kaynaklarının korunmasına yardımcı olmak amaçlanmıştır.

Lokasyon önceliklendirmesi sonucunda Bolu Belediye Binası seçilmiş ve kullanılması planlanan sistem Gri Su Arıtma Sistemi olarak tespit edilmiştir. Kurulacak depo boyutu ise 18 m³ olarak belirlenmiştir. Bu uygulama sonucunda ise planlama ufku olan 25 yılın sonunda 236.000 TL maddi tasarruf sağlanabileceği ve 132.000 m³ suyun geri dönüştürülüp yeniden kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gri su, lokasyon seçimi, depolama tankı boyutu, ÇKKV, optimizasyon.

A Model Proposal For The Transition To Recycling In Water Consumption Of Bolu Province Public Areas

Fatma Betül BAĞLAN

Department of Industrial Engineering

Industrial Engineering Program

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şükran ŞEKER

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nezir AYDIN

Today, especially irrigation water, WC reservoir water, etc., which reach significant amounts. The use of potable quality water for needs is a significant loss both environmentally and economically. Therefore, rainwater harvesting and gray water treatment systems are widely used for water recycling in various countries. In our country, with the increasing shortage of water, the recovery of water is becoming increasingly important. However, in our country, which is among the countries at risk of being water-poor, there are almost no theoretical studies and applications on the subject.

In this study, effective systems for the protection of our country's water resources are discussed and solutions are presented, since water resources are becoming increasingly life-threatening with global warming. As a sample application, a model is presented by considering the location characteristics and system components of the public areas of Bolu province together. However, it is not optimal to transfer the water consumption of public areas (service buildings, schools, parks-gardens, etc.) to recycling systems in all at once. For this reason, in the first stage of the study, the locations were prioritized by using AHP and TOPSIS integrated picture fuzzy sets, taking into account where the largest

consumption is in Bolu, the precipitation and gray water collection capacities of these areas, the percentage of consumption and investment costs. In the second stage, a mixed integer programming model was established in order to optimize the warehouse size of the system at the selected location, which will provide minimum cost and maximum efficiency. Thus, it is aimed to increase awareness of natural cycles for both public and private institutions and organizations, to reduce the need for mains water, to have free water with high efficiency, to use less energy and chemicals, and to help protect natural water resources.

As a result of the location prioritization, Bolu Municipality Building was selected and the system planned to be used was chosen as the Gray Water Treatment System. The size of the warehouse to be established is determined as 18 m³. As a result of this application, it has been determined that at the end of 25 years, which is the planning horizon, 236,000 TL can be saved and 132,000 m³ of water can be recycled and reused.

Keywords: Gray water, location selection, storage tank size, MCDM, optimization.

1.1 Literatür Özeti

Su yüzlerce yıldır uygarlıkların kaderinde belirleyici faktörlerden biri olmuştur ve canlı varlıkların yaşamlarını sürdürebilmeleri için en önemli gereksinimlerin başında gelmektedir. Sürekli bir döngü içerisinde olmasına rağmen yeryüzündeki su iklim değişikliği, çevre kirliliği, nüfus artışı gibi sebepler dolayısıyla döngüsünü tamamlayamadan tüketilmektedir. Geçmiş dönemlerde sonsuz olarak kabul edilen doğal su kaynakları, kentleşme ve sanayileşme gibi sebeplerle giderek azalmaya ve yok olmaya başlamıştır. Günümüzde de dünyanın karşı karşıya olduğu en büyük sorunlardan biri su kaynaklarıdır[1]. Gelecekte su yerine kullanılabilecek yapay bir maddenin bulunamayacağı öngörüsüne dayanarak suyun öneminin giderek daha fazla artacağı ve stratejik kıt bir kaynak olarak kabul göreceği düşünülmektedir[2]. Dünya yüzeyinin %71'i sularla kaplıdır. Ancak bu miktarın %1 den azı kullanılabilir durumdadır[3]. Su talebindeki sürekli artış ve sınırlı su kaynakları hali hazırda dünyanın birçok bölgesinde su kıtlığına yol açmıştır[4]. 2007 yılında yapmış oldukları çalışmada tüm dünya nüfusunun, yenilenebilir yüzey ve yeraltı su kaynaklarının %57'sini kullandığını belirten Konukçu vd. sadece nüfus artışı sebebiyle bu değerin 2025'de %70'i aşacağını öngermektedir[5]. Geçtiğimiz son yüzyılda ise dünya nüfусundaki artışın üç kat olduğu gözlemlenirken, su kaynaklarına olan talebin yedi kat arttığı görülmektedir[6]. Dolayısıyla su kaynaklarına olan talebin nüfus artışına oranla çok daha fazla olduğu görülmektedir. Buna ek olarak, iklim değişikliğine bağlı kuraklık günlerinin artması da birçok ülkede görülmektedir ve su kıtlığı küresel bir sorun haline gelmektedir[7]. Dünya nüfusunun beşte biri su sıkıntısı çeken ülkelerde yaşarken, öte yandan beşte biri de altyapı yetersizliği ve ekonomik sebeplerden dolayı temiz suya ulaşamamaktadır[6]. Tüm bunların yanı sıra tüketim seviyelerindeki artış ve gıdaya yönelik talebin artması da su kaynakları üzerine ek bir baskıda bulunmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında dünya çapında daha verimli ve sürdürülebilir su sistemleri geliştirmek gerektiği ortaya çıkmaktadır.

2020 yılı WWF verilerine göre ülkemizde kişi başına düşen günlük su miktarı 216 litre iken, kişi başına günlük su tüketimi sanal su da dikkate alındığında 5416 litreye kadar varmaktadır[8]. Sanayileşme, nüfus artışı, doğanın kirletilmesi, iklim değişikliği ve su tüketim alışkanlıklarının artışı gibi sebeplerle, kişi başına düşen su miktarının daha da azalması olağandır. Bu durum Türkiye'nin sanılanın aksine su zengini bir ülke olmadığı ve su kıtlığı çeken ülkeler kategorisine girdiğinin kanıtıdır. Türkiye'de son 20 yılda kuraklık koşullarında şiddetini ve sıklığını artırdığı da bilinmektedir[9]. Kuraklığın yanısıra değişen iklimde merkezi su altyapıları giderek yetersiz kaldığından, birçok şehir de sellerle karşı karşıya gelme tehlikesi yaşamaktadır. Su kaynaklarımızın gelecek nesillere yetebilmesi için onları koruyup kollamamız gerektiği çok nettir. Bir taraftan sürekli azalan kullanılabilir su kaynakları, diğer taraftan suya talebin süreklilik arz eden bir artış eğilimine girmesi, ülkemizin sahip olduğu su kaynaklarının tüm talepleri esas alan planlı, etkili ve sürdürülebilir kullanımını gerektirmektedir[10].

Sosyo-ekonomik koşullardaki hızlı değişim, nüfus artışı, çevre tahribatı, iklim değişikliği ve kentleşme, tüm yeni gelişmeler hem içilebilir hem de içilemez su talebini artırdığı için merkezi su tedarik sistemi üzerinde artan bir stres yaratmıştır[11]. Bu sebeple suya yönelik politikaların sürdürülebilirliği de tartışma konusu olmuştur. Dünyanın her ülkesinde uzmanlar, artan talebi sürdürülebilir bir şekilde yönetmek için alternatif kaynaklar ararken aynı zamanda mevcut alternatiflerin bir an önce uygulamaya geçirilmesi için de çalışmalar yürütmektedirler.

Tatlı su kaynaklarının miktarını artırmak teknik açıdan mümkün olmadığından mevcut kaynakların sürdürülebilir yönetimi için sistemler geliştirilmektedir. Mevcut alternatif sistemler arasında öne çıkanlar yağmur suyu hasadı ve gri su sistemleridir. Yağmur suyu hasadı, yağmur sularının yollar, çatılar, kaldırımlar ve otopark gibi açık alanlardan borularla toplanıp filtrelenerek depoya alınması sonrasında bu suların içme suyu kalitesi gerektirmeyen ihtiyaçlar için kullanılmasıdır. Foseptik atık içermeyen, duş ve lavabolardan gelen az kirli evsel atık sulara ise gri su denir. Gri su da geri kazanılarak; içme suyu kalitesinde olması gerekmeyen alanlarda kullanılabilir. Bu sistemler iklim değişikliği problemlerinde iklim değişikliğine uyum için önemli ve basit sistemlerlerdir. Bu sistemlerdeki potansiyel tasarrufun, talep ve su toplama alanına bağlı olarak bir hanenin içme suyu ihtiyacının yaklaşık % 30-60'ı civarında olduğu tespit edilmiştir[12]. Çünkü günlük hayatta tüketilen suyun %70'ini wc rezervuarları, bahçe sulama, araç ve

Çamaşır yıkama gibi işlemlerden oluşmaktadır[13]. Ghisi ve Ferreira(2007), bahsi geçen evsel işler için yağmur suyu ve gri su kullanılarak içme kalitesindeki sudan %39-43 oranında tasarruf sağlanabileceğini bildirmiştir[14].

Küresel kentleşme ve iklim değişikliği, dünya üzerinde daha verimli ve sürdürülebilir kentsel su sistemlerine geilmesininin acil bir ihtiyaç/zorunluluk olduğunu ortaya çıkarmaktadır[15]. Özellikle su fakiri kategorisindeki ülkeler açısından bakıldığında krizin boyutu her geçen gün artmaktadır. Günümüzde ise dünyadaki birçok ülkede yağmur suyu ve gri su sistemleri uygulanıyor olmasına rağmen yakın zamanda su sıkıntısı çekeceği kesin olan ülkeler arasında yer alan ülkemizde, bu konu ile ilgili gelişmeler yok denecek kadar azdır[14]. Bir taraftan sürekli azalan kullanılabilir su kaynakları, diğer taraftan suya olan talebin sürekli olarak artan bir artış eğilimine girmesi, ülkemizin sahip olduğu su kaynaklarının tüm talepleri esas alan planlı, etkili ve sürdürülebilir kullanımını gerektirmektedir[10].

Günümüzde su, gelişmekte olan ülkelerde dahi kritik bir konudur[16]. Çoğu su sıkıntısı çekmeyen gelişmiş –rneğin Almanya gibi- ülkelerde dahi yağmur suları toplanmaktadır ve bu sayede su kaynaklarının korunması ve su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi sağlanmaktadır[17]. Son yıllarda arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı ise Avrupa, Amerika Birleşik Devletleri ve in’de yılda %10 ile %29 arasında, Avustralya’da ise %41 oranlarında olup, günlük kullanılan su hacmi Kaliforniya ve Florida eyaletlerinde ve Meksika ve in gibi ülkelerde 1,5-1,7 milyon m³/gün gibi yüksek miktarlara ulaşmıştır[18]. Arap lkelerinde arıtılmış atıksuların yeniden kullanım miktarı yılda 1,2 milyar m³ olarak belirlenmiştir. Suriye, Suudi Arabistan ve Mısır arıtılmış atıksuları en çok kullanan ülkelerdir. Arıtılmış atıksuların endüstriyel amaçlı kullanımı ise Avrupa lkelerinde oldukça yaygındır. Lüksenburg, Danimarka ve İsveç %80’in üzerinde endüstriyel atıksuları yeniden kullanmaktadır[19]. Ayrıca bu sistemler Meksika, Tayland, in gibi ülkelerde ve Amerika’nın bazı eyaletlerinde devlet teşviği ile gerçekleştirilmektedir.

Yağmur suyu hasadı yalnızca su kaynaklarını korumaya ve maddi tasarruf sağlamaya değil aynı zamanda şehirlerde sel felaketlerinin etkilerini azaltmaya da yardımcı olmaktadır. Yağmur suyu toplama sistemleriyle yüzey akışının %75-95 civarında azaltılması mümkündür[20].

Gri su arıtma sistemleri ise yağmur suyu toplama sistemlerinin aksine, mevsim ve yağış rejimi değişikliklerine bağımlı olmadığı için süreklilik arz eden bir kaynaktır. Gri sular %75'lik bir pay ile hacimsel olarak evsel atıksuyun en yüksek yüzdesini oluşturur[21].

Evsel yağmur suyu toplama ve gri su arıtma sistemlerinin kullanımı, artan su talebini karşılamak için merkezi su tedariğinin baskısını almaya yardımcı olur ve teslimat sırasında yüksek sızıntı ve evsel kullanım için büyük arıtma maliyetleri gibi sorunları ortadan kaldırır[22].

Bahsi geçen sistemlerinin gereklilik arz etmesinin ve önemimin yanısıra ülkemiz için uygulanabilirlik açısından oldukça uygundur. Türkiye'nin her bölgesindeki iklim yağmur suyu hasadı sistemlerinin kurulması için elverişlidir. Öyleki en kurak bölgelerimizden biri olan Konya ilinde dahi yağmur suyu hasadı ile 4 kişilik bir ailenin yılın 10 ayı su ihtiyaçlarını karşılayabileceği üzerine yapılmış çalışmalar bulunmaktadır[23]. Gri su arıtma sistemleri ise konumun bir önemi olmaksızın her koşulda verim sağlamaya uygun sistemlerdir.

Dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta ise depolama tanklarının kapasitesinin belirlenmesidir. Depolama tankları sistem maliyetlerinin %30'undan fazlasını oluşturdıkları için sistemin en maliyetli ve en önemli elemanıdır[24]. Yıl içinde depolama tankının boşluklar bulundurması fazla maliyete sebep olacaktır, bunun yanısıra depo hacmi düşük olursa da yağışlı mevsimlerde taşmalar meydana gelecektir. Bu nedenle depolama tanklarının boyutunun optimizasyonu için bina durumuna ve bölgeye göre aksiyon alınması gerektiği bilinmektedir[16].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışma ile, küresel ısınma ile birlikte su kaynaklarının giderek hayati risk taşımaya başladığı bu dönemde ülkemizin su kaynaklarının korunması için etkili yöntemler ele alınmıştır. Böylelikle, hem resmi/özel kurum ve kuruluşlar hem de halk için doğal döngülere olan farkındalığın arttırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada geri dönüşüm sistemlerinin kullanımı ile yılın her ayında verim elde edebilecek iklim koşullarına sahip olması sebebi ile yıllık ortalama 549 mm yağışa ve yıllık ortalama 140 yağışlı güne sahip Bolu ili uygulama bölgesi olarak seçilmiştir. Kamu alanlarının seçilme sebebi ise toplumun bahsi geçen sistemlere karşı güvensiz oluşudur[25]. Kamu alanlarının bu sistemlere geçirilmesi halka örnek teşkil edecektir. İkinci sebep ise yağmur suyu toplama sisteminin,

geniş çatı alanları nedeniyle belediye binaları, okullar, hastaneler ve benzeri kamu tesisleri için çok uygun maliyetli bir çözüm olmasıdır[26]. Üçüncü bir sebep olarak da yağmur suyu toplama sistemlerinin sıkça kullanıldığı yerlerin wc rezervuarları ve bahçe sulaması olması gösterilebilir. Kamu binalarında suyun en çok kullanımı tuvaletlerde olduğu için bu yöntemler kullanıldığında şebeke suyundan daha çok tasarruf sağlanmaktadır[17]. Hem ekonomik hem çevresel hem de halkın bilinçlenmesi açısından kamu binalarında bu sistemlerin uygulanması ülkemiz için oldukça doğru bir adım olacaktır.

Bu çalışma ile kamu binalarında geri dönüşüm sistemlerine geçiş ile, şebeke suyuna olan ihtiyacın azalması, yüksek verimlilikte bedelsiz suya sahip olmak, daha az enerji ve kimyasal kullanımı sağlamak, doğal su kaynaklarının korunmasına yardımcı olmak ve yerinde arıtma yaparak kanalizasyona verilen yağmur suyu ve atık suların yüksek maliyetlerde arıtıldığı tesislerin hacmini düşürmek amaçlanmıştır. Bu amaçları gerçekleştirmek için, Bolu'da en büyük tüketimin nerelerde olduğu, bu alanların yağış ve gri su toplama kapasiteleri, tüketimi karşılama yüzdeleri ve yatırım maliyetleri göz önüne alınarak lokasyonların önceliklendirilmesi yapılarak ve seçilen lokasyon için sistemin depo boyutu belirlenerek maksimum verimin alınacağı bir model önerisi sunulmuştur.

1.3 Hipotez

Çalışmanın hipotezi, kamusal alanların nitel ve nicel faktörler beraber ele alınarak sistem verimi açısından değerlendirilmesi ile en verimli noktanın tespit edilebilmesi ve minimum maliyet ve maksimum verimin sağlanacağı depo boyutunun belirlenmesi ile optimum kurulumun gerçekleştirilmesidir.

2.1 Yağmur Suyu Hasadı

Aslında yeryüzündeki tüm su kaynakları yağmur suyudur. Yağmur suyu hasadı, yağmur sularının biriktirilip depolanmasına verilen isimdir. Farklı YSH uygulamalarını birbirinden ayıran tek nokta suyun nasıl yakalanıp depolandığıyla ilişkilidir. Yağmur suyu nehirlerden veya çatılardan toplanabilir ve birçok yerde toplanan sular derin bir çukura, akiferlere, süzölmüş bir hazneye yönlendirilir ve çığ veya sislerden ağlar veya diğer aletlerle toplanır[27]. Bu uygulamaları su hasadı, su çayırı, yağmur bahçesi, su tutma bahçesi, mikro biyolojik tutma alanı gibi farklı isimlerle anılabilmektedir[28].

Yağmur suyu hasadından hem mikro hem makro düzeyde birçok farklı alandan fayda sağlanabilmektedir. Dünya üzerindeki kurak bölgeler çeşitli endüstri ve tarım faaliyetleri için yağmur suyu hasadından yararlanmaktadır. Evsel kullanım içinde oldukça işlevsel olan YSH, bahçe sulama, WC rezervuarı, araç yıkama, çamaşır yıkama gibi temel içme suyu kalitesi gerektirmeyen ihtiyaçları karşılayabilmektedir. Bunların yanı sıra yeraltı suyu zenginleştirmesi, iç mekan ısıtma ve uygun arıtma ile beraber içme suyu gibi farklı amaçlar için de kullanımı mevcuttur.

Tarihçesi

Yağmur suyunun depolanması için sarnıçlardan faydalanmanın tarihi Neolitik Çağ'a kadar uzanmaktadır. M.Ö. 4000 yıllarının sonunda Toros Dağları'nda kurak arazi tarımında sarnıçların kullanılması su yönetimi tekniklerinin ortaya çıkmasını sağlayan önemli adımlardan biridir[29]. İsrail topraklarında da çok sayıda eski sarnıç bulunmaktadır. Yaklaşık 1.700 m³ kapasiteli, sert taşlarla oyulmuş ve sızıntıyı engellemek için kil kullanılan bu sarnıçlar tahminen M.Ö. 2500 yıllarına aittir[29].

M.Ö. 300'lü yıllarda ise Hindistan'da bulunan tarım topluluklarının tarım ve birçok alanda yağmur suyu hasadını kullandığı bilinmektedir[30]. M.S. 1011-1037 yılları arasında Hindistan'da içme ve sulama amacıyla yağmur sularının depolanması için 1.465.000.000 m³ kapasiteli ve 16 km uzunluğunda olan Viranam Rezervuarı inşa edilmiştir[31].

Yağmur suyu hasadı yöntemleri Roma İmparatorluğu'nda da oldukça yaygındı. Sarnıçlar ve su kemerleri sıklıkla kullanılmaktaydı[32]. Bunların yanı sıra çatılarda bulunan su depoları da M.Ö. 1. yüzyıldan beri kullanılmaktaydı[33]. İstanbul'da bulunan Yerebatan Sarnıcı'da Roma İmparatorluğu'nun YSH uygulamaları için iyi bir örnek teşkil etmektedir.

Atalarımız Selçuklu Devleti ve Osmanlı İmparatorluğu zamanında da sarnıçlar sıklıkla kullanılmıştır. Konya-Beyşehir'de bulunan Hoca Fakih Sarnıcı büyük boyutlu bir yapı olan Selçuklu eseridir[34]. Alanya Kalesi'nde oldukça çok sarnıç bulunmaktadır. Buradaki sarnıçları inceleyen İbrahim Hakkı Konyalı büyük sarnıçların Türk eseri olduğunu ve halk arasında Mecvedin Sarnıcı diye bilinen bir sarnıcın adını Karamanoğulları'ndan Mecdüddin Mahmud'dan almış olduğunu belirtmiştir[35]. Batı ve Güney Anadolu bölgelerinde özellikle Denizli, Aydın, Muğla ve Antalya çevresinde kümbet adıyla anılan ve Türk devrinde inşa edilmiş olduğu anlaşılan çok sayıda sarnıcın varlığı bilinmektedir[34]. İstanbul'da da şehrin su ihtiyacını karşılamak için bulunan çeşitli benzer su toplama havuzları vardır. Bunların içinde en önemlisi Kırkçeşme Suları tesislerinden olan ve Cebeciköy ile Küçükköy arasında yer alan Balıklı Havuz'dur[34]. Fâtih, Sultan Ahmed, Çinili ve Ayazma Camilerinin avlularında bu dönemden kalma yangın havuzları günümüze ulaşmıştır[34].

Görüldüğü üzere YSH yeni bir uygulama olmamakla beraber atalarımızdan kalan önemli miraslardan biri olarak değerlendirilebilir. Günümüz yağmur suyu hasadı uygulamalarında, tarihî yöntemler ile suyun etkin kullanımını sağlayan teknolojiler birleştirilerek yağmurun ve nemin dolaşımında kalması sağlanır[8].

Avantajları

- Şebeke suyuna olan ihtiyacı azaltır ve bu sayede yeraltı suyu seviyelerinin sürdürülmesine yardımcı olur,
- Yüksek verimlilikte bedelsiz suya ulaştırır,
- Daha az enerji ve kimyasal kullanımı sağlar,
- Doğal su kaynaklarının korunmasına yardımcı olur,
- Su basmasını engeller ve sel riskini azaltır,
- Kuraklıkla mücadele ederek toprak erozyonunu önler,

- Yerinde arıtma yaparak, kanalizasyona verilen yağmur sularının yüksek maliyetlerle arıtıldığı tesislerin hacmini düşürür,
- Mikro klimayı değiştirerek ortamı serinletir ve nemlendirir,
- İklim değişikliklerine çevresel sosyal ve ekonomik açıdan adaptasyonu sağlar,
- Bireysel kullanıcılar tarafından dahi finanse edilebilen yöntemler/çözümler içerir.

YSH Yöntemleri

Yağmursuyu toplama sistemleri, asgari beceriler ile kurulabilen sistemlerden gelişmiş düzen ve kurulum gerektiren otomatik sistemlere kadar çeşitlilik gösterebilir[27]. Arazi yapısına, konumuna ve ihtiyaca göre dünyanın birçok yerinde birçok YSH yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda listelenmektedir[8];

- Yağmur Deposu
- Malç(Toprağı örterek)
- Yağmur Bahçesi
- Yağmur Hendeği
- Yükseltilmiş Bitki Yatağı
- Tümsek Kültürü (Hügelkültür)
- Şehirlerde Geçirimli Yüzeyler Oluşturulması
- Kompost
- Eğimli Arazilere Özel YSH Uygulamaları

Bu yöntemlerden en sık kullanılanlar Yağmur Deposu, Malç ve Yağmur Bahçesi'dir.

➤ Yağmur Bahçesi

Sertleşerek su geçirgenliğini kaybetmiş olan topraklara, yağmur suyunun emdirilerek toprak altına taşınması için kullanılan bir yöntemdir. Uygulama adımları aşağıdaki gibidir[8];

- Toprakta boşluklu ve geçirgen bir yapı oluşturmak için toprak belirli bir miktar kazılır.
- Kazılan toprağın içi mıcır ile doldurulur.

- Üstüne gübreli ve kum karışımı bir toprak konulur.
- En çok su isteyen bitkiler bahçenin merkezinde, en az su isteyen bitkiler bahçenin kenarlarında yer alacak şekilde ekilir.

➤ **Malç**

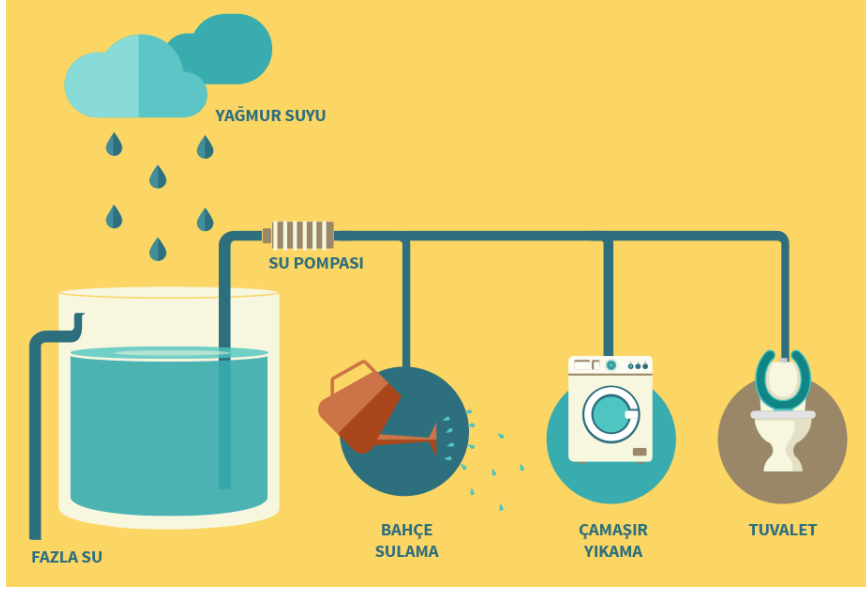
Ot, çim, saman, yaprak vb. organik maddelerle toprağın üzerinin örtülmesidir. Bu şekilde topraktaki ısı değişimi ve buharlaşma önlenerek toprağın nem seviyesi korunur. Ayrıca toprak canlılarının güneşten gelen zararlı etkilerden korunmasını da sağlar[8].

➤ **Yağmur Deposu**

Yağmur depoları, yağmurun yer üstüne ya da yer altına yerleştirilen hazne veya sarnıçlara depolanması şeklinde depolanmasıyla uygulanan bir YSH yöntemidir[8]. Bu şekilde depolanan su, gerekli alanlarda ihtiyaca göre kullanılmak üzere saklanmaktadır. Uygulama adımları aşağıdaki gibidir[8];

- Ev tipi yağmur suyu hasadı uygulamalarında genellikle çatılar, kimi durumlarda ise bahçeler kullanılmaktadır.
- Öncelikle yağmur suyunun akış yönü belirlenip bu akışı kontrol altına alacak bir oluk veya boru sistemi hazırlanır.
- Oluk sisteminin ucuna biriktirme işlemi için bir depolama mekanizması kurulur.
- Arıtma işleminin gerçekleşmesi için olukların bitiş noktasına depo önü filtreleri yerleştirilir.
- Depoda birikmiş olan sular basınçlı sistemler veya su motorlarıyla tahliye edilir ve kullanım alanlarına aktarılır.

Çatı çıkışlarından inen suyun borularla taşınarak bir depoya bağlanıyor olması sebebiyle aslında bu yöntem teknik bir işten ziyade daha çok sıhhi tesisat işidir. Sistemler talebi karşılayacak ideal ölçülerde olmalıdır. Çatı alanının, yeterli su akışını sağlayacak kadar büyük olması ve su depolama tankının yakalanan suyu içine alabilecek hacimde olması gerekmektedir.



Şekil 1.1 Tipik bir sarnıç sistemi [37]

Bu çalışmada bahsi geçen YSH yöntemi ise yağmur sularının başta bina çatıları olmak üzere, yollar, kaldırımlar ve otoparklar gibi açık alanlardan borularla toplanıp, filtrelenip depoya alındığı “Yağmu Deposu” yöntemidir.

2.2 Gri Su Arıtma Sistemleri

Yukarıda bulunan bölümlerde bahsi geçen su kıtlığı sorunuyla birlikte evsel atık suların bir kirletici olarak değil geri kazanım işlenleri sonucunda yeniden kullanılabilir bir kaynak olarak değerlendirilmesi gerektiği düşüncesi ortaya çıkmıştır. Bu olgu neticesinde, evsel atık suların kendi özelliklerine göre ayrılarak kaynağında uygun işlemlere tabii tutularak arıtılması fikri ortaya konmuştur[38].

Bu bağlamda foseptik atığı içermeyen, duş ve lavabolardan gelen az kirli evsel atık sulara “Gri Su” adı verilmektedir. Gri sular arıtılarak; bahçe sulama, rezervuar besleme, kaba temizlik işleri, araç yıkama gibi içme suyu kalitesi gerektirmeyen alanlarda kullanılabilir. Böylece suyun geri dönüşümü sağlanıp doğanın sürdürülebilirliğine katkıda bulunmaktadır.

Gri su, evsel atık suların WC atık suyu haricinde kalan kısmıdır ve organik maddeler açısından oldukça zengindir. Gri sular arıtılmadan kullanıldığı takdirde içerdiği kimyasalların bitkilere zarar verdiği bilinmektedir[38]. Ancak gerekli arıtmadan geçtikten sonra sulama suyu vb. amaçlarla kullanılabilir. Gri su dönüşümünden kazanılan

su, AB yönetmeliklerine göre hijyen şartlarını sağlamakta olup, yıkama suyu niteliğinde ve DIN 19650 standardına uygundur[39].

Gri suyun temel kaynakları arasında mutfak, banyo, lavabo, duş ve çamaşır/bulaşık makineleri bulunmaktadır. Gri su tanımının dışında kalan sular yani WC rezervuar suları ise “Siyah Su” olarak adlandırılmaktadır. Gri sular ise kendi içinde az kirli ve çok kirli gri sular olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Az kirli gri sular banyo, lavabo ve duşların kullanımı ile ortaya çıkan atık sular olmakla beraber, çok kirli gri sular ise mutfak ve çamaşır/bulaşık makinelerinin kullanımı sonucu ortaya çıkan atık sulardır[38]. Evsel atık suyun yaklaşık %75’i bahsi geçen gri sulardan oluşmaktadır ve hacimsel anlamda bakıldığında da evsel atık suların en büyük miktarını oluşturmaktadır[21].

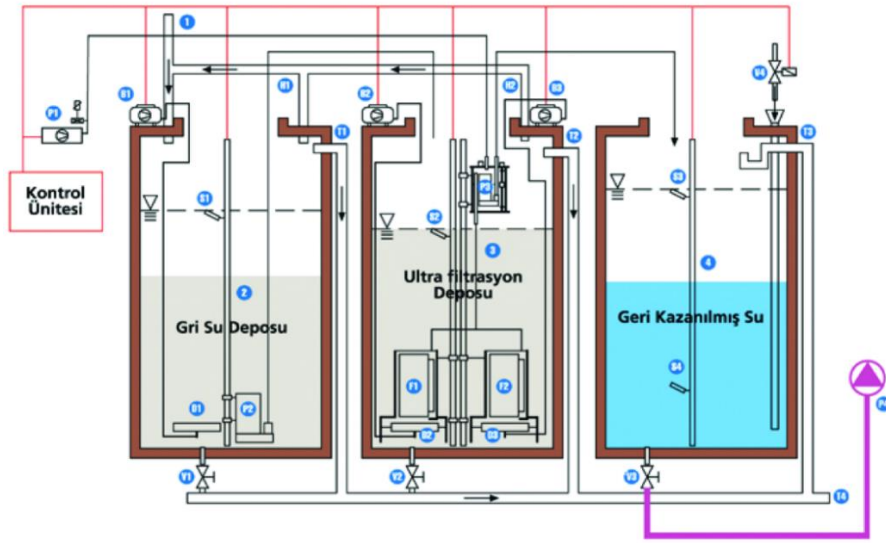
Avantajları

- İçilebilir kalitedeki şebeke suyunu kullanmak yerine, arıtılmış gri su kullanarak içme suyu tüketim miktarımızı azaltırız ve böylelikle doğal su kaynaklarımızın korunmasına yardımcı olmuş oluruz.
- Yerde arıtımı yapılan gri su sayesinde kanalizasyona gönderilen atık su miktarı azalacağından belediyeler tarafından yapılan yüksek fiyatlı arıtım sistemlerinin hacmi azalacaktır ve işletim maliyetleri düşecektir.
- İçilebilir kalitedeki suyun tüketim miktarı azaldığı için şebeke suyu dağıtım maliyetlerinde de azalma görülecektir.
- Bir konutta kullanılan suyun yaklaşık %75’i Gri Su’dan oluşmaktadır. Bu oranda bir suyun geri dönüştürülüp yeniden kullanılması önemli miktarda bir maddi tasarrufa da sebep olacaktır.
- Siyah, sarı ve kahverengi sulardan çok daha az miktarda azot içermektedir. Azot ise en kirletici etkiye sahip ve temizlenmesi en zor maddedir. Azot miktarı az olan gri sular arıtılması en hızlı ve kolay olan sulardır.
- Yetkili birimlerce kanıtlanmış seviyede hijyen şartlarına uygunluk göstermektedir.
- İşletim ve bakım için herhangi bir uzman personel gerektirmemektedir.
- Gürültü, görüntü vb. kirlilikler yaratmamaktadır.
- Şebeke suyundan %40’a varan tasarruflar sağladığı için son kullanıcıların fatura bedellerinin düşmesine yardımcı olur.

Gri su miktarı ise YSH gibi hava şartlarına bağlı değildir. Bunun yerine kullanıcıların yaşam şartları ile ilişkilidir. Kullanıcıların sosyal ve kültürel alışkanlıkları(günlük duş, diş fırçalama sayısı vb.), ekonomik imkanları, kullanıcı sayısına ile doğru orantılı olarak toplanabilen gri su miktarı da artış/azalış gösterebilmektedir[40].

Sistemlerin Çalışma Prensibi

Gri Su Arıtma Sistemleri membran canlandırma yöntemini baz alarak suyu üç aşamada arıtmaktadır. Sistem içerisinde kullanılan ekipmanlar Şekil 1.2'deki gibidir[41];



Şekil 1.2 Tipik bir gri su arıtma sistemi [41]

- **Kıl Tutucu Filtre**

Sisteme gelen suyun içindeki saç, kıl, tırnak gibi kaba maddeleri ayırmak için kullanılmaktadır.

- **Biyolojik Arıtma**

Kıl tutucu filtreden gelen su bir süre havalandırılarak oksijen zenginleştirilmesi yapılır. Suda bulunan oksijen miktarının artırılması ile aerobik bakterilerin yaşaması için uygun ortam sağlanmış olur.

- **Ultrafiltrasyon**

Membran teknolojisi sayesinde suda bulunan tüm bakteri ve patojenlerden kurtulunur.

- **Klor ile Dezenfektasyon**

Ultrafiltrasyondan geçen su temiz su deposuna alınır ve burada suyun daimi sterilizasyonu için pH kontrollü klorlama uygulanır. Bu haznedeki su artık tüketicilere gönderilmeye hazır durumdadır.

Filtrelerin barındırdığı teknoloji ve yüksek arıtma kapasitesi sayesinde bu sistemler çalışması sırasında hiçbir kimyasak temizliğe ya da dezenfektasyon ünitesine (klor dozlama, ozonlama vb.) ihtiyaç duymamaktadır. Sistemin kimyasal temizliği yalnızca yılda 1 kez ve bakım esnasında yapılmaktadır[39].

2.3 İncelenen Çalışmalar

Binalarda su kullanımını konu alan, ulusal ve uluslararası birçok çalışma incelenmiş olup içilebilir su kalitesi gerektirmeyen alanlarda kullanılan su miktarlarının çok yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. Buna karşın yıllık yağış miktarı 100-1200 mm arasında olan bölgelerde günlük su kullanımı 100 L ve orta yağışlı bir yıl için %80 üzerinde bir güvenilirlikte Yağmur Suyu Hasadı yapılması mümkündür[42]. Gri su sistemleri ise herhangi bir şarta bağlı olmaksızın verim alınması mümkün olan sistemlerdir. Sistemlerin en maliyetli elemanı olduğu bilinen depolama tanklarının hacminin hesaplanmasında ise Ripple, simülasyon, istatistiksel analiz gibi farklı birçok yöntem kullanılabildiği tespit edilmiştir.

Ghisi E. vd.(2005) Brezilya'da bulunan 195 şehirde yağmur suyu kullanarak içme suyundan edilebilecek tasarruf üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışma sırasında depo boyutlandırması için Neptün adlı bir bilgisayar programı kullanmışlardır. Ve tasarruf potansiyelinin bölgeye bağlı olarak %12 ile %79 arasında değişebileceğini bildirmişlerdir[43].

Kim K. vd.(2007) Kore'de bulunan çeşitli yağmur suyu hasadı tesislerinin hifdolojik değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir. %5,75'lik bir iskonto oranında fayda/maliyet oranının %20'nin altında kaldığını bulan Kim vd. bunun nedenini Kore'de su tedariğinin çok ucuz olması olarak göstermişlerdir. Depolama tankı kapasitesinin günlük hedeflenen yağmur suyu tüketim miktarının maksimum 10 katı olması gerektiği konusuna vurgu yapan Kim vd. çalışmada ele alınan tesislerde de boyutlandırmanın buna göre yapıldığını belirtmişlerdir. Buna ek olarak sistem kurulurken yalnızca ekonomik verimlilik gözetilecekse, sistemin yalnızca yağışlı mevsimlerde çalıştırılmasını önermişlerdir[44].

Guo Y. Vd.(2007) yağmur suyu depolama tanklarının boyutlandırma çalışmalarında kullanılabilecek matematiksel formüller geliştirmişlerdir[45].

Abdulla F.A. vd.(2008) Ürdün'de bulunan 12 valilik için çatı yağmur suyu hasadı sistemlerini değerlendirmiştir. Çalışmada depo boyutlandırmasının nasıl yapıldığı üzerine bir bilgi bulunmamakla birlikte çatılara düşen tüm suların toplanması şartıyla içme suyu tasarrufunun %0,27 ile %19,7 arasında değiştiği sonucuna ulaşmışlardır[46].

Chiu Y.(2009) Kuzey Tayvan'da bulunan engebeli bir bölge için yağmur suyu hasadı deposu optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Optimum depo boyutunun konut tipine göre 5 ile 10 m³ arasında değişkenlik gösterdiği sonucuna varmışlardır. Depo boyutlandırması için ise matematiksel denklemler ve simülasyondan faydalanmışlardır[47].

Kantaroğlu Ö.(2009) yağmur suyu hasadı plan ve hesaplama prensipleri üzerine yapmış olduğu çalışmada İstanbul ilinde günlük 800 litre su kullanımının karşılanması gereken bir fabrika sisteminde 732 m²'lik bir çatı alanına ihtiyaç duyulacağını tespit etmiştir[48].

Kirshen P. vd.(2009) yağmur suyu hasadı sistemlerinin depolama, güvenilirlik ve verim hesaplamaları için genelleştirilmiş denklemler geliştirmişlerdir. Ve gerekli depolama kapasitesinin belirlenmesi için bölgeye özel modeller kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır[49].

Li Z. vd.(2010) İrlanda için gri su sistemlerinin ve yağmur suyu hasadının ev içi kullanımını değerlendirmişlerdir. Bahsi geçen sistemlerin kullanılması durumunda evsel suyun yaklaşık %94'ünün sağlanma potansiyeli olduğunu tespit etmişlerdir. Depolama tankının boyutlandırması için ise bölge fazla yağış alan bir bölge olması sebebiyle mümkün olan maksimum boyutlu depolama tanklarının kullanılması yönünde bir yol izlenmiştir ve temel matematiksel işlemlerle depo boyutlandırması yapılmıştır[22].

İncebel C.(2012) Ankara – Ostim Sanayi Bölgesinde yağmur suyu hasadı sistemlerinin kullanımının fizibilitesini yaparak bölgedeki işletmelerin ilgili sisteme geçişinde gerekli işlemleri yaparak projelendirme işlemlerini kolaylaştıran bir bilgisayar programı geliştirmiştir. İncebel, depo boyutlandırması için günlük maksimum yağış, kurak süre boyunca gelen su talebi ve bir yıldaki yağışlı gün sayısı gibi yöntemleri incemiş ancak yeterli olmadığını belirterek yeni bir hesaplama yöntemi geliştirmiştir[10].

Saghafian B.(2012) İran-Kazvin’de gerçekleştirdikleri vaka çalışması ile konutlarda yağmur suyu hasadını incelemişlerdir. Bölgenin yağış rejimi sebebi ile olabilecek minimum depo hacminin seçilmesi gerektiğini ve bu seçim yapılır ise makul seviyede tasarruf elde edilebileceğini belirtmişlerdir[16].

Campisano A. vd.(2012) Sicilya’da bulunan 17 nokta için yağmur suyu hasadında kullanılacak depolama tanklarının boyutlandırılması için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada boyutlandırma yöntemi olarak günlük su kütlesi dengesi yönteminden faydalanmıştır[50].

Campisano A. vd.(2013) Güney İtalya bölgesi için yağmur suyu depolama tanklarının performansını analiz etmişlerdir. Çalışmada boyutlandırma yöntemi olarak günlük su kütlesi dengesi yönteminden faydalanmışlardır. Geliştirdikleri metodoloji ile zaman zaman depolarda gerçekleşebilecek olan taşmaların değerlendirilmesi için kullanımı kolay regresif modeller sunmuşlardır[51].

Santos C. vd.(2013) yağmur suyu depolama tanklarının boyutlandırılmasında kullanılan farklı yöntemleri ve farklı verimlilik yüzdeleri üzerinde bir değerlendirme yapmışlardır. Değerlendirme sonucunda Ripple yöntemi ve %80 verimlilik kriteri altında tasarlanan modellerin en optimum sonuca ulaştırdığı kanısına varmışlardır[52].

Hashim H. vd.(2013) Malezya’da 200 evden oluşan bir bölge için bir yağmur suyu hasadı sistemi tasarlamışlardır. Ev başına ortalama 4 kişi ve ortalama günlük 160 m^3 su ihtiyacı olduğunu baz almışlardır. Çalışma sonucunda optimum çatı alanını 20 m^2 ve depolama tank boyutunu 160 m^3 olarak bulmuşlardır. Bu sonuçlara ulaşmak için simülasyon tabanlı programlamadan yararlanmışlardır. Önerilen modelin uygulamaya konulması durumunda ise %58’e varan bir tasarruf sağlanacağını belirtmişlerdir[53].

Ponce-Ortega J.M. vd.(2015) Meksika’da bulunan bir şehir için büyük ölçekte bir yağmur suyu hasadı sistemi üzerinde çalışmışlardır. Sistemin toplama, depolama ve dağıtım görevlerini belirlemek için çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir[54].

Berkтуğ A. vd.(2015) yağmur suyu hasadı depolama tanklarının boyutlandırılması üzerinde çalışmışlardır. Optimum depo boyutlandırmasının yapılabilmesi için doğrusal programlamadan (DP) faydalanan Berkтуğ vd. önerdikleri doğrusal programlama modelini Kuzey Kıbrıs’ta bir konut üzerinde test etmişler ve doğrulamışlardır[55].

Malinowski P.A. vd.(2015) gri su sistemleri ve yağmur suyu hasadının enerji tasarrufu potansiyeli üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu sistemlerin ülke çapındaki su hizmetlerinde önemli enerji ve maliyet tasarrufu sağlama potansiyeli olduğunu belirten Malinowski vd. bu tasarrufların hanehalkına indirgendiğinde düşük kaldığına dikkat çekmişlerdir. Bu sebeple halkın bahsi geçen sistemleri kullanmaları için politikalar ve teşvikler gerektiğini vurgulamışlardır[56].

Zhang S. vd.(2016) Çin-Şangay bölgesi için yağmur suyu hasadı sistemlerinin tasarımında kullanılabilecek bir günlük su dengesi modeli geliştirmişlerdir. Ortaya çıkardıkları formüllerin ve prosedürlerin bölgede bulunan mühendisler ve hükümet tarafından depo boyutlandırması için kolaylıkla kullanılabileceğini belirtmişlerdir[57].

Eren B. vd.(2016) Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nün yağmur suyu hasadı potansiyeli araştırmışlardır. Binalarda yağmur suyu kullanımının öneminin toplumun tüm bireylerine anlatılıp teşvik edilmesi gerektiği üzerine vurgu yapan Eren vd. araştırmaları sonucunda yeşil alanları haftada 2 kez sulanması halinde sulama suyu ihtiyacının %38,4'ünün karşılanabileceğini tespit etmiştir[13].

Roslan R. vd.(2016) Malezya'da bulunan otel ve hastane binalarında yağmur suyu hasadı sistemlerinin kullanılması üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada otel ve hastane binalarının kullanılma sebebi olarak yağmur suyu hasadı ile elde edilen suyun WC rezervuar suyu ve sulama suyu olarak kullanılması verilmiştir. Çalışma sonucunda depolama tankının boyutu arttıkça sistemden elde edilen suyun arttığı ancak sistemin geri ödeme süresinin de uzadığı tespit edilmiştir[58].

Özölçer H.İ.(2016) Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Merkez Kampüsü için yağmursuyu hasadı sistemlerinin analizini yapmıştır. Yıllık toplam su tüketimi 22,500 m³ ve maliyeti 194,000 TL olan kampüste uygulanacak olan yağmur suyu hasadı ile kampüsün düşük kaliteli su talebinin %70'nin karşılanabileceğini ve toplam maliyetin 828.000 TL olduğunu tespit etmiştir. Sistemin toplam tasarrufunun ise %50'den fazla olduğu sonucuna varmıştır. Depolama tankının boyutunun belirlenmesinde günlük su kütlesi dengesi yönteminden faydalanmıştır[59].

Soydan O. vd.(2016) Antalya Mustafa Uysal Parkı için gerçekleştirdikleri çalışmada yağmur suyu hasadı potansiyelini test etmişlerdir. Çalışma sonucunda yağmur sularının %20,81'inin kullanılabileceğini bulan Soydan vd. bu sonucun ekoloji ve su yönetimi

açısından büyük öneme sahip olduğunu vurgulamıştır. Çalışmada depo boyutu belirlenmemekle beraber maksimum talebi karşıladığı baz almışlardır[60].

Dala Ali A.R.(2016) Fatih Üniversitesi Ufuk Yurdu ve Burç Yurdu'nun yağmur suyu hasadı potansiyelini değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda Burç Yurdu için %87 verimlilik ve %14 tasarruf elde edileceği ve Ufuk Yurdunda %80 verimlilik ve %20 tasarruf elde edileceği görülmüştür. Öğrencilerin ve akademisyenlerin katılmış olduğu bir anket sonucunda ise araştırılan sistemin uygulamaya konması fikri niversite tarafından kabul görmüştür. Depolama tankının boyutunun belirlenmesinde ise Arz Tarafı Yaklaşımı kullanılmıştır[61].

Kulgod S.P. vd.(2016) Hindistan'ın yüksek noktalarında gri su sistemleri ve yağmur suyu hasadının kullanımını analiz etmişlerdir. Analiz sonucunda bahsi geçen sistemlerin kullanılması durumunda sistem veriminin %64 olacağını bulmuşlardır. Sistemin tasarlanması aşamalarında ise simülasyon uygulamaları gerçekleştirmişlerdir[62].

Sweeney J.F. vd.(2017) subtropikal bir bölgede müstakil bir ev için yağmur suyu hasadı sisteminin yaşam döngüsünü analiz etmişlerdir. Sistem ömrünü 50 yıl boyunca değerlendiren Sweeney vd. %45-48 olasılıkla hasat edilen yağmur suyu ile yıllık talebin %73'n karşılanabileceği sonucuna varmışlardır. Depo boyutunun belirlenmesinde ise haftalık ortalama su talebi baz alınmıştır[63].

Ghisi E ve Geraldı M.S.(2017) Berlin'deki yağış zaman serilerinin uzunluğunun yağmur suyu hasadı sistemleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Optimum yağmur suyu deposu kapasitesi ve ideal içme suyu tasarrufu potansiyelinin belirlenmesi için en az 10 yıllık zaman serilerinin incelenmesi gerektiği sonucuna varmışlardır[64].

Surakhi O.M. vd.(2017) Ürdün'n Amman şehri için bir çatı yağmur suyu hasadı rneği üzerinde çalışmışlardır. Depolama tankının hacminin belirlenmesi ve sistem kullanımının değerlendirilmesi için simülasyon modellerinden faydalanmışlardır[65].

Singh L.K. vd.(2017) Doğu Hindistan'da yer alan Damodar Nehri havzasının yağmur suyu hasadı potansiyelinin değerlendirilmesi için coğrafi bilgi sistemi (CBS) tabanlı çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden faydalanmışlardır. Bölge yüksek ve orta potansiyelli olarak 4 parçaya bölünmüş ve analizler 4 bölge üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda uygun sahalar ve barajlar için 33 alan tespit etmişlerdir[66].

Hidalgo V. vd.(2017) Meksika’da yağmur suyu hasadı sistemleri için en uygun depo boyutunun tasarlanması üzerine çalışmışlardır. Boyutlandırma için coğrafi bilgi sistemleri (CBS) destekli bir karar destek sistemi (KDS) geliştirmişler ve ortalama koşullar altında hane başına 46.500 litreye varan yıllık potansiyel su tasarrufu sağlanabileceği sonucuna varmışlardır[67].

Aybuga K. vd.(2017) Ankara ili için gri su sistemleri ve yağmur suyu hasadının potansiyeli üzerine bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Bahsi geçen sistemler için Ankara’daki iç tüketimin %70’inin karşılanabileceğini ve %40-46 arası bir su tasarrufu elde edilebileceğini tespit etmişlerdir[68].

Kutlu S. vd.(2017) Antalya-Alanya ilçesinde seçili otel ve konutlar için gri su potansiyellerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda oteller için %40, binalar için ise %51 verim elde edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır. Gri su sistemlerinin uygulanması durumunda yıllık toplam 30.230,76 m³ suyun yeniden kullanılabilceğini ve yılda ortalama 85.004,64 TL tutarında bir maddi tasarruf sağlanabileceğini tespit etmişlerdir[69].

Himat M.A.(2018) ülkemizde bulunan iller için yağmur suyu hasadı potansiyelini değerlendirmiştir. Himat depo boyutlandırması için Ripple metodu kullanmıştır. 20 çalışanı bulunan kamu/ticari binalarında WC rezervuar suyu olarak yağmur suyu hasadı kullanılması durumunda farklı illerde yıllık 320-1530 TL tasarruf elde edilebileceği ve bu sistemlerin amortisman süresinin 2-50 yıl arasında değişkenlik gösterdiği sonucuna varmıştır[17].

Kılıç M.Y. vd.(2018) Bursa’da bahçeli bir konut için örnek bir yağmur suyu hasadı sistemi oluşturmuşlardır. Depo boyutlandırması için maksimum yağışlı ayı baz almışlardır. Çalışma sonucunda kurulması önerilen sistem ile yıllık su ihtiyacının %47’sinin karşılanabildiğini belirtilmiştir. Sistemin amortisman süresini ise 10.3 yıl olarak tespit etmişlerdir[70].

Katip A.(2018) gri su sistemlerimin yeniden kullanım alanlarının değerlendirilmesi üzerine yaptığı çalışma sonucunda en uygun kullanımın WC temizliği olduğu sonucuna varmıştır. Toplumun sağlık vb. sebeplerle bahsi geçen sistemlere karşı güvensiz olduğuna da dikkat çeken Katip diğer ülkelere kıyasla bu konuda geride olduğumuzu ve sistemlerin uygulanması için devlet teşviği gerektiğini vurgulamıştır[19].

Yalçınalp E. vd.(2018) Trabzon-Ortahisar ilçesi için konutlarda gri su ve yeşil çatı sistemlerinin kullanılmasının ekonomik analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda gri su sistemlerinin yıllık toplam 6320 TL tasarruf sağlayacağı ve 4.4 yılda yatırım maliyetini tamamlayıp kara geçmeye başlayacağını tespit etmişlerdir. Yalçınalp vd. bu sistemlerin yazılı ve görsel medyada tanıtılarak toplumun bilinçlendirilmesi gerektiğini, konu ile ilgili bilimsel çalışmaların artması gerektiğini ve sistemlerin uygulanması için devlet teşviği gerektiğini de çalışmalarında vurgulamışlardır[71].

Sultana R. vd.(2019) Kaliforniya Eyalet Üniversitesinde bulunan yağmur suyu depolama tanklarının performansını analiz etmişlerdir. Analizlerinde 10 ie 100 L arasında değişen 10 farklı depo boyutunu dikkate almışlardır. En yağışlı mevsimde en büyük depo boyutu için bile güvenilirliğin %22,8 olduğunu tespit etmekle beraber yakalama verimliliği %25 olarak ölçülmüştür. Bölgede etkili bir yağmur suyu toplama sistemi kullanılabilmesi için daha geniş depo boyutlarının kullanılması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır[72].

Saplıoğlu K. vd.(2019) Isparta, Antalya ve Burdur illeri için optimum yağmur suyu hasadı depolama tankı kapasitesini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarında Ripple, minimum akış ve artık kütle eğrisi yöntemlerini kullanmışlar ve parçacık sürüsü optimizasyonundan faydalananarak geliştirmiş oldukları bilgisayar yazılımının sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda minimum akış yönteminde depolama tankı kapasitesinin fazla büyük olduğu, artık kütle eğrisi yönteminde ise fazla küçük olduğunu tespit etmişlerdir. Ripple yönteminin ise sonuçlarının benzerlik göstermesine karşın aylık tüketimlerin değişkenlik gösterdiği durumlarda parçacık sürüsü algoritmasına göre daha zor uygulandığı sonucuna varmışlardır[73].

Semaan M. vd.(2020) depolamayı optimizasyonun en önemli aşaması olarak tanımlamış ve depo tank boyutlandırmaları üzerine sistematik bir literatür taraması gerçekleştirmiştir. Depo boyutlandırmaya özel olarak odaklanıp geliştirilmiş hesaplama yöntemlerinin olduğunu belirten Semaan M. vd. bu yöntemlerin başlıcalarını su kütlesi dengesi, simülasyon tabanlı optimizasyon ve Ripple yöntemi olarak sıralamaktadır. Buna ek olarak depo boyutu belirlenirken maliyet, su talebini karşılama, toplama alanı, performans gibi farklı kriterlerin de optimize edildiği farklı çalışmalar olduğunu belirtmişlerdir[74].

Wang R. vd.(2020) New york City’de kentsel su altyapılarının ihtiyaçlarını azaltmak için yağmur suyu hasadının tasarımı ve finansmanına odaklanmışlardır. Binaların tümünde çatı üstü yağmur suyu hasadı yöntemi kullanılmasının su temini birimi başına kamu harcamalarını %85 oranında düşüreceğini ve çatı akışlarının aylık %56’sının kanalizasyona girişini engelleyeceğini tespit etmişlerdir. Depo boyutlandırması için ise istatistiksel analizlerden faydalanmışlardır[75].

Rahman A. vd.(2020) Avutralya-Werrington şehrinde 4 kişilik bir hanenin içme suyu ihtiyacını karşılayacak bir yağmur suyu hasadı sistemi önerisinde bulunmuşlardır. Önerilen sistemin çatı boyutuna bağlı olarak %90-97 güvenilirlik ile yıl boyunca talebi karşılayabileceği tespit edilmiştir. 100 m²’lik bir çatı alanı için 5 L’lik bir depolama tankının yeterli olacağını söyleyen Rahman vd. depo boyutunun belirlenmesinde günlük su kütlesi dengesi yönteminden faydalanmışlardır. Ek olarak sistemin geri ödeme süresi 1-6 yıl ve sistemin ömrü 25 yıl olarak bulmuşlardır[76].

Ahmed A. vd.(2020) muson bölgesinde bulunan 5 kişilik müstakil evler için 1-7 L’lik depolama tankı boyutu ve 10-200 m²’lik çatı alanı bulunan yağmur suyu hasadı sistemlerinin güvenilirliğini araştırmışlardır. Sonuçlara göre bölgede 5 L’lik bir depo ve 20 m² çatı alanı ile %100’e yakın güvenilirlikte bir sistem elde edilebileceği bulmuşlardır[77].

Can T. vd.(2020) 2017 yılında yürürlüğe girmiş olan “Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik” çerçevesinde kuraklık ve su ihtiyacının çok olduğu bölgelerde yapılan çalışmaların destekleneceğinin söylenmesine karşın yönetmelikte binalarda uygulanabilen yağmur suyu hasadı sistemleri ile ilgili bir açıklama bulunmadığını belirtmiştir. Ülkemizde yağmursuyu hasadı sistemlerinin kullanımının artması için ise ülkemizin iller bazında yağmur suyu hasadı potansiyellerinin tespit edilmesi gerektiğini, çatı alanları sebebi ile öncelikle kamu binalarında ve ticari binalarda uygulanacak projelere yoğunlaşılması gerektiğini, yeni inşa edilecek olan bireysel ve ticari konutlarda yağmur suyu hasadı sistemlerinin zorunlu hale getirilmesi gerektiğini ve finansal devlet teşvikleri sağlanması gerektiğini önermişlerdir[78].

Kajjar H. vd.(2020) kamu binalarının yağmur suyu hasadı potansiyeli üzerine yapmış oldukları çalışmada İzmir Katip Çelebi Üniversitesi için bir vaka çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda sistemin kurulum maliyetinin ortalama 2 yıl

olduğunu bulan Kajjar vd. bu sürenin hem kamu hem bireysel kullanıcılar için oldukça makul olduğunu dile getirmişlerdir. Çalışmada depo boyutu belirlememekle beraber maksimum talebi karşıladığı baz almışlardır[26].

Vanderweyen L. vd.(2020) Barbados adasında bir yağmur suyu hasadı sistemi kurulması durumunu incelemişlerdir. 50 yıllık bir sistem ömründe evsel yağmur suyu hasadı sisteminin ilk yatırım maliyetini 2.790.90 \$ olarak tespit etmişlerdir. Ülkenin sisteme ihtiyaç duyduğu fakat şuan için ülkede bu sistemin bireysel kullanıcılar tarafından finanse edilmesinin devlet teşviği olmaksızın hayata geçemeyeceği sonucuna varmışlardır. Depo boyutunun belirlenmesinde ise haftalık ortalama su talebi baz alınmıştır[79].

Cheshomi A. vd.(2020) İran'ın kuzeydoğusunda yer alan Meşhed Ovası havzasında yağmur suyu hasadı yapılacak bölgenin tespiti için coğrafi bilgi sistemi (CBS) tabanlı çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden faydalanmışlardır. Analiz sonucunda gölet/baraj vb. kurulabilecek 3 potansiyel bölge tespit etmişlerdir[80].

Nguyen X.C. vd.(2020) Vietnam'da bulunan dağlık alanlarda merkezi su tedarik sisteminin hafifletilmesi için yağmur suyu hasadı potansiyelini araştırmışlardır. Ancak bölgede aile başına düşen kişi sayısının çok , çatı alanlarının az olması ve uygun olmayan yağışlar sebebiyle yağmur suyu hasadının pratik olmayabileceği sonucuna varmışlardır. Depo boyutlandırması için ise ortalama girdileri baz almışlardır[81].

Kütük D. vd.(2020) çalışmalarında Adana'da bulunan 2 bloktan oluşan bir site için gri su sistemlerinin uygulanması durumunu incelemişlerdir. Günlük 36,7536 m³ gri suyun arıtılabileceği ve bu miktarın gerekli kullanım alanları için yeterli olduğunu tespit eden Kütük vd. artan suyun ise günlük olarak şebekeye gönderilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır. Bu sayede arıtma tesislerine giden kirli su yükü azaltılmış, içilebilir sudan tasarruf sağlanmış ve maddi kazanç sağlanmış olacağını belirtmişlerdir[82].

Köse B.(2021) İstanbul'da yapılan bir kentsel dönüşüm projesi için gri su sistemlerinin kullanımı üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda özellikle 160 dan fazla daireye sahip olan binalarda sistemin daha fizibil sonuçlar verdiğini ve en fizibil arıtma teknolojisinin ise NF sistemi olduğunu tespit etmişlerdir[83].

Hofman J. vd.(2021) Birleşik Krallıkta 30.000 m² çatı alanına sahip bir alan için depo boyutlandırması yapmışlar ve sistemin ekonomik analizini gerçekleştirmişlerdir. Boyutlandırma yöntemi olarak simülasyondan faydalanan Hofman vd. sistemin 400-600

m³ arası bir hacimde kullanılması gerektiği sonucuna varmışlardır. Sistemin geri ödeme süresini ise 600 m³ için 10-11 yıl olarak tahminlemişlerdir[84].

Leonard D. vd.(2021) Avustralya Greater Melbourne kentinde bulunan ve yağmur suyu hasadı sistemlerini kullanan 50 hanenin su tasarrufu üzerine inceleme yapmışlardır. İnceleme sonucunda başlangıçta hane başına yılda ortalama 4,600 L'nin üzerinde bir tasarruf sağlandığını ancak sonrasında mevsimsel değişimlerde dikkate alındığında yılda ortalama 9,700 L'den fazla tasarruf sağlandığı sonucuna ulaşmışlardır[85].

Dallman S. vd.(2021) Kaliforniya'daki Ballona Creek havsasında yağmur suyu hasadı üzerine bir fayda/maliyet analizi gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonucunda bahçe sulama suyu amaçlı kurulan sistemlerin diğer evsel sistemlere göre daha fazla net tasarruf sağladığı sonucuna ulaşmışlardır[86].

Literatür araştırması sonucunda oluşturulan Tablo 2.1 incelendiğinde yağmur suyu hasadı ve gri su arıtma sistemleri üzerine yapılmış olan çalışmaların konut ve arazi olmak üzere iki gruba ayrıldığı görülmektedir. Arazi bazlı çalışmalarda en uygun bölgenin tespit edilmesi üzerine uygulamalar gerçekleştirilmiş olmasına karşın taranmış olan konut bazlı çalışmalarda böyle bir uygulamaya rastlanmamaktadır. İncelenen literatürde bulunan konut bazlı uygulamalar sebep göstermeksizin seçilmiş tekli konutlar üzerinde gerçekleştirilmiş uygulamalardır. Bu çalışmada ise Bolu ili kamu alanları uygulama bölgesi olarak seçilmekle beraber önceki bölümlerde tüm kamu alanlarının bahsi geçen sistemlere geçirilmesinin optimum olmayacağı açıklanmıştır. Bu sebeple bu çalışmada öncelikle alternatif kamu alanları arasında bir önceliklendirme yapılmıştır.

İkinci aşama olan depo boyutlandırma aşamasına geldiğimizde ise literatürde bulunan çalışmalarda sıklıkla Ripple yöntemi, Su Dengesi modeli, simülasyon ve temel matematiksel/istatistiksel hesaplamalardan yararlanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada ise depo optimizasyonu için en temel optimizasyon yöntemlerinden biri olmasına karşın konu ile ilgili incelenen literatürde yalnızca bir örneği olan matematiksel programlamadan faydalanılmıştır.

Tablo 2.1 Literatür özeti

Yazar(yıl)	Sistem		Konut/Arazi		Seçim var mı ? Varsa hangi yöntem?	Depo Boyutlandırma Yöntemi				
	YSH	GSS	Konut	Arazi		Ripple	Su Dengesi	Simülasyon	MP	Diğer
Ghisi E. vd. (2005)	✓		✓		Yok					✓
Abdulla F.A. vd. (2008)	✓		✓		Yok					✓
Chiu Y. (2009)	✓		✓		Yok			✓		
Li Z. vd. (2010)	✓	✓	✓		Yok					✓
İncebel C. (2012)	✓		✓		Yok					✓
Campisano A. vd. (2012)	✓		✓		Yok		✓			
Campisano A. vd. (2013)	✓		✓		Yok		✓			
Santos C. vd. (2013)	✓		✓		Yok	✓				
Hashin H. vd. (2013)	✓		✓		Yok			✓		
Berkтуğ A. vd. (2015)	✓		✓		Yok				✓	
Malinowski P.A. (2015)	✓	✓	✓		Yok					✓
Zhang S. vd. (2016)	✓		✓		Yok		✓			
Özölçer H.İ. (2016)	✓		✓		Yok		✓			
Soydan O. vd. (2016)	✓			✓	Yok					✓
Dala Ali A.R. (2016)	✓		✓		Yok					✓
Kulgod S.P. vd. (2016)	✓	✓	✓		Yok			✓		
Sweeney J.F. (2017)	✓		✓		Yok					✓
Surakhi O.M. vd. (2017)	✓		✓		Yok			✓		
Singh L.K. vd. (2017)	✓			✓	CBS tabanlı ÇKKV					
Kutlu S. vd. (2017)		✓	✓		Yok					
Himat M.A. (2018)	✓		✓		Yok	✓				
Kılıç M.Y. (2018)	✓		✓		Yok					✓
Katip A. (2018)		✓	✓		Yok					
Saplıoğlu K. vd. (2019)	✓		✓		Yok	✓				✓
Semaan M. vd. (2020)	✓		✓		Yok	✓	✓	✓		
Wang R. vd. (2020)	✓		✓		Yok					✓
Rahman A. vd. (2020)	✓		✓		Yok		✓			
Kajjar H. vd. (2020)	✓		✓		Yok					✓
Vanderweyen L. vd. (2020)	✓		✓		Yok					✓
Cheshomi A. vd. (2020)	✓			✓	CBS tabanlı ÇKKV					
Nyugen X.C. vd. (2020)	✓		✓		Yok					✓
Kütük D. vd. (2020)		✓	✓		Yok					
Hofman J. vd. (2021)	✓		✓		Yok			✓		

3.1 Çok Kriterli Karar Verme

Belli bir amaç doğrultusunda kişi veya kurumların karşılaştıkları alternatiflerden bir veya bir kaçını seçme süreci karar verme olarak tanımlanmaktadır. Karar verme günümüzde tamamen karmaşık bir hal almış durumdadır. Karar vericiler amaçları için en uygun seçeneği seçerken problemi etkileyebilecek her çeşit kriteri göz önünde bulundurmak zorundadır[87].

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) ise birden fazla ve aynı anda uygulanan kriterlere göre en iyi alternatifin seçilmesini sağlayan yöntemdir. Karar vericiler açısından ele alınacak olursa da çok fazla sayıda birbirinden bağımsız faktörün ne derecede etkili olduğunu dikkate alarak, probleme ve faktörlere en uygun kararın verilmesine ışık tutan yöntemlerdir[88].

ÇKKV yöntemleri, çok sayıda kritere göre alternatiflerin avantaj ve dezavantajlarını değerlendiren analitik yöntemlerdir. ÇKKV yöntemleri, karar verme sürecine destek olmak ve genellikle çelişen kriterlere göre farklı özelliklere sahip alternatifler kümesinden bir ya da daha fazla alternatifin seçimi veya bu alternatiflerin sıralanmasında kullanılmaktadır[89].

Günümüzde karar verme problemlerinin giderek artan bir karmaşık yapıya sahip olması sonucunda geliştirilen ve sayıları giderek artan ÇKKV yöntemleri; en iyi performansa sahip alternatifin seçimine veya ulaşılmak istenen amaç için performans skorlarının en iyiden en kötüye doğru sıralanması gereken sosyal, kültürel, finansal ve politik gibi birçok alanda ve pek çok kurumda kullanılabilmektedir.

ÇKKV yöntemlerinde izlenmesi gereken adımlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir[88]:

- Konu ile ilgili kriter ve alternatiflerin belirlenmesi,
- Kriterlerin nispi önem derecelerinin verilmesi,
- Her bir alternatifin tüm kriterler bazında değerlendirilmesi ve alternatiflerin sıralanması.

ÇKKV sürecinin uygulanmasında sıklıkla karşılaşılan kavramlar ise kısaca şu şekilde sıralanabilir[90]:

Amaçlar: Kriterlerin, karar vericilerin arzuları doğrultusunda yönlendirilmiş şeklidir.

Kriter ve Öznitelik: Bu iki kavram bazı farklar içermektedir ancak literatürde sıklıkla birbirlerinin yerine kullanılmaktadır. Aslında öz nitelikler kriterlerin temel alt gruplarıdır. Kriterler ise alternatiflerin temel özellikleri, kaliteleri veya verimlilik parametreleri olarak tanımlanırlar ve karar vericilerin değer yargılarına bağlı olarak tanımlanıp ölçümlenirler.

Alternatifler: Ana amaç olan kavramdır ve amaç alternatif tercihlerden birini seçmektir. Yani bir problemdeki tercih seçenekleridir. Bu alternatifler arasından amaca en uygun olanı uygulama sonunda seçilir.

Karar Matrisi: ÇKKV problemlerinde genellikle değişen alternatifler, olaylar ve bunların sonuçları bir matris biçiminde gösterilir. ÇKKV, çoklu ve genellikle biribiri ile çelişen kriterler olması durumunda alternatifler arasından seçim yapmayı içerir. Karar problemi matris olarak Denklem 3.1'deki gibi ifade edilir.

$$D = \begin{matrix} & K_1 & \dots & K_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.1)$$

Burada olası alternatifleri K_j , $j=1,\dots,n$ alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterleri ve a_{ij} 'ler A_i alternatifinin K_j kriteri bazında değerlendirilmesiyle oluşturulmuş puanlamayı gösterir[91].

Tarihçesine bakıldığında ise ÇKKV yöntemleri, 1940'lı yıllardan itibaren kullanılmaya başlansada özellikle 1960'lı yıllardan itibaren sistematik bir tabana oturtulup geliştirilmeye başlamıştır[92]. Günümüzde sıklıkla kullanılan ÇKKV yöntemleri ise AHP, ANP, TOPSIS, Electre, Multi Moora, Dematel, VIKOR, Copras, Aras, Promethee olarak örnek gösterilebilir ve daha da çeşitlendirilebilir.

Laarhoven V. ve Pedrycz W. (1983), AHP'yi üçgen bulanık sayılarla entegre etmiş[93]; Sadiq R. ve Tesfamariam S. (2009), AHP'yi sezgisel bulanık ortamda yürütmüş[94] ve

Abdullah L. ve Najib L. (2016), AHP'yi aralık değerli sezgisel bulanık kümelerle entegre etmiştir[95].

Liang W. vd. (2018), altın madenlerinin temiz üretim performanslarını değerlendirmek için resim bulanık ortamında ilk kez EDAS ve ELECTRE III yöntemlerini kullanmıştır. Kriter ağırlıklarını bulmak içinse SWARA ve resim bulanık ortalama kare sapma yaklaşımlarının bir kombinasyonunu kullanmıştır. Geliştirilen yöntemin avantajlarını ortaya çıkarmak için yapılan karşılaştırma analizi sonucunda yöntemin uygun ve etkili olduğu ve önemli referans değerlere sahip olduğu ortaya çıkmıştır[96].

Wang L. vd. (2018), inşaat projelerinin risk faktörlerini değerlendirmek ve sıralamak için resim bulanık ortamına Entropi ve VIKOR yöntemlerini entegre etmiştir[97].

Zhang X. vd. (2018), farklı karar verici gruplarının benzerliklerini ve ağırlıklarını ölçmek için iki resim bulanık toplama operatörü geliştirmiştir. Örnek uygulama olarak açık deniz rüzgar enerjisi istasyonu konumlarını değerlendirmek ve sıralamak için genişletilmiş bir resim bulanık TOPSIS yöntemi kullanmıştır[98].

Ju Y. vd. (2019), elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimi için yeni bir yaklaşım önermiştir. Bulanık bir Gri İlişkisel İzdüşüm yöntemi geliştirmiş ve kriter ağırlıklarının belirlenmesinde ise bulanık AHP yöntemi kullanmıştır[99].

Meksavang P. vd. (2019), resim bulanık bilgilerinin toplanmasında sıralı ağırlıklı mesafe operatörlerini kullanmış, sürdürülebilir tedarikçi değerlendirmesi ve seçimi için değiştirilmiş bir VIKOR tekniği geliştirmiştir[100].

Zhang S. vd. (2019), yeni bir resim bulanık EDAS yöntemi geliştirmiştir. Örnek uygulama olarak yeşil tedarikçi seçim problemini çözmek için geliştirilen yöntem kullanılmıştır[101].

Torun H. ve Gördebil M. (2020), Türkiye'de vatandaşların kamu hizmetlerinden memnuniyet düzeylerini değerlendirmek için resim bulanık TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Farklı bulanık küme uzantıları ile elde edilen sıralamaları karşılaştırmışlar ve bulanık belirsizliğin karar verme sürecine etkisini analiz etmiştir[102].

Peng J. vd. (2020), sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimiyle ilgili sorunları ele almak için bulanık resim entropisi ve gri korelasyon katsayısına dayalı entegre bir ÇKKV yöntemi önermiştir[103].

Wang L. vd. (2020), beş tip gezginin uygun otel seçici problemine çözüm bulmak için çevrimiçi incelemelere dayalı genişletilmiş bir bulanık resim TODIM yöntemi önermiştir[104].

Yue (2020), resim bulanık ortamda yeni bir normalizasyon izdüşüm ölçüsü geliştirmiştir. Örnek uygulama olarak yazılım güvenilirliği değerlendirmesi yapmış ve grup karar verme ortamında geliştirilmiş bir VIKOR yöntemi önermiştir[105].

Simic V. vd. (2021), ÇKKV problemlerini ele almak için bir resim bulanık CODAS yöntemi geliştirmiştir. Geliştirilen yöntem, Sırbistan'da yeni bir araç parçalama tesisi yeri bulmak için bir gerçek hayat vaka çalışmasına uygulamıştır. Önerilen yöntemin doğruluğu, sonuçların resim bulanık küme tabanlı diğer ÇKKV yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır[106].

Gündoğdu F.K. vd. (2021) Budapeşte'de ki toplu taşıma hizmet kalitesini değerlendirmiş ve bu değerlendirmede resim bulanık AHP yöntemi ve doğrusal atama modelinden faydalanmıştır[107].

Tian C. vd. (2021) karar vericilerden alınan bilgilerin belirsizliğini ölçmek için resim bulanık kümelerden yararlanmıştır. Bir resim bulanık küme tabanlı VIKOR yöntemi geliştirmiş ve bu yöntemi WET-PPP projelerinin sürdürülebilirlik değerlendirmesinde kullanmıştır[108].

Simic V. vd. (2021), ilk kez resim bulanık ortamı altında WASPAS yönteminin bir uzantısını sunmuştur. Sunulan yöntem Belgrad'da yapılan bir vaka çalışmasında son teslimat modunun seçilmesi probleminde kullanılmıştır[109].

Bulanık ÇKKV yöntemleri klasik kümenin barındırdığı kesinliğin aksine gerçek hayatta bir kümeye ait olma durumunun belirsizlik barındırmasını dikkate alarak, çok sayıda kritere göre alternatiflerin avantaj ve dezavantajlarını değerlendirme, en iyi performansa sahip alternatifi seçme veya bu alternatifleri sıralama gibi problemlerin çözümünde kullanılmaktadır.

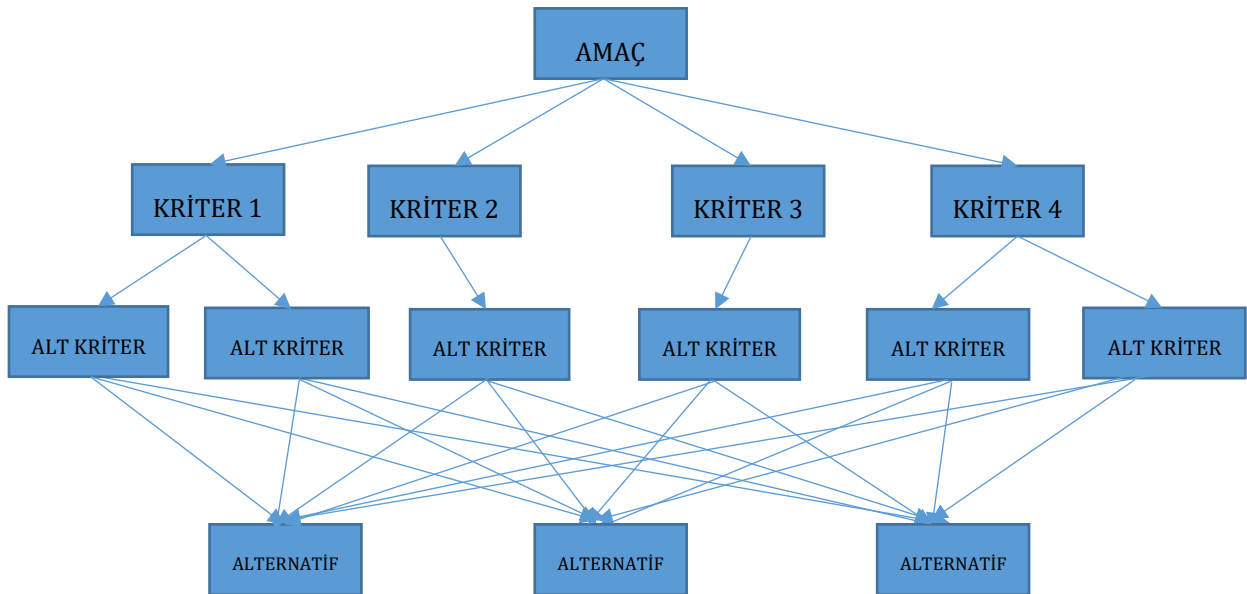
Bu çalışmada ise uzman görüşleri doğrultusunda kriter ağırlıklarının elde edilmesinde resim bulanık küme entegreli AHP yöntemi kullanılmış ve alternatif lokasyonların önceliklendirilmesi için TOPSIS yönteminden faydalanılmıştır.

3.1.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Thomas L. Saaty tarafından 1970'li yılların ortasında geliştirilen AHP, ölçme ve karar verme için kullanılan bir ÇKKV yöntemidir[110]. Bu yöntem en çok bilinen ve en çok kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biridir.

Günlük hayatta karşılaşılan karar verme problemleri sadece sayısal faktörlerden oluşmamaktadır, bunların yanısıra niteliksel faktörlerde bulundurmaktadır. Niteliksel faktör ile kararı etkilemesine rağmen niteliksel olarak ifade edilmesi mümkün olmayan imaj, tecrübe, önsezi gibi kavramlar, karar süreçlerinde değerlendirmeye alınmadığında çözüm için oluşturulan modellerin gerçeği temsil etme oranları ve sonuçların doğruluğu azalmaktadır[92]. AHP ise kriterleri değerlendirirken bu niteliksel faktörleri de dikkate alan bir ÇKKV tekniğidir.

AHP'de amaçlar, kriterler, alt kriterler ve alternatiflerden çok seviyeli hiyerarşik bir yapı kullanılmaktadır. Bu yapı üzerindeki ikili karşılaştırmalar sayesinde her bir karar kriterinin önem ağırlığı elde edilmekte ve her bir alternatifin her bir kriter karşısındaki performansı değerlendirilebilmektedir[111]. Karar vericilerin her seviyedeki n adet kriter veya alternatif için $n(n-1)/2$ tane ikili karşılaştırma yapması gerekmektedir. Temel hiyerarşi yapısı Şekil 3.1'deki gibi kurulmaktadır;



Şekil 3.1 Temel kriter-alternatif hiyerarşi yapısı

Birçok ÇKKV modelinin temelini oluşturan ve çoğu yöntemde kriter veya alternatiflerin önem derecelerinin belirlenmesi için kullanılan AHP yönteminin uygulama adımları aşağıdaki şekildedir[92]:

Adım 1: Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması

Kriterler arası karşılaştırma matrisi, köşegeni üzerindeki matris bileşenlerinin 1 değerini aldığı kare matris olarak oluşturulur ve genel denklem yapısı Denklem 3.2'deki gibidir;

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Karşılaştırma matrisi oluşturulurken literatürde sıklıkla kullanılan Saaty ölçeği Tablo 3.1'deki gibidir;

Tablo 3.1 Saaty ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Derecede Önem	İki faktör de eşit derecede öneme sahiptir.
3	Orta Derecede Önem	Tecrübe ve yargılara göre faktörlerden biri diğerine göre biraz daha önemlidir.
5	Kuvvetli Derecede Önemli	Faktörlerden biri diğerinden kuvvetle daha önemlidir.
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli	Faktörlerden biri diğerine göre yüksek derecede kuvvetle daha önemlidir.
9	Mutlak Derecede Önemli	Faktörlerden biri diğerine göre çok yüksek derecede önemlidir.
2,4,6,8	Ara Değerler	Yukarıdaki açıklamarda bulunan derecelerin ara değerleridir.

İkili karşılaştırmalar, karşılaştırma matrisinin tüm değerleri 1 olan köşegenin üstünde yada altında kalan kısmı için yapılabilir. Ve karşılıklı hücrelere çarpmaya göre tersleri yazılmalıdır. Örneğin 1x3 hücresinde 5 değeri varsa 3x1 hücresinde 1/5 değeri olmalıdır.

Adım 2: Normalize Edilmiş Karşılaştırma Matrisinin (N) Hesaplanması

Denklem 3.3 kullanılarak normalize edilmiş karşılaştırma matrisi hesaplanır. Karşılaştırma matrisinin her elemanı, kendi sütun toplamına bölünerek hücre değerleri elde edilir.

$$N_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (3.3)$$

Adım 3: Kriterlerin Görelî Değerlerinin (W_i) Hesaplanması

Normalize edilmiş karşılaştırma matrisinin her satırda satır ortalamaları Denklem 3.4 kullanılarak kriterlerin görelî değerleri hesaplanır.

$$W_i = \sum_{j=1}^n n_{ij} / n \quad (3.4)$$

Adım 4: Tutarlılık Oranlarının (TO) Hesaplanması

AHP sonuçlarının geçerli olabilmesi için A matrisinin tutarlı bir matris olması gerekmektedir. Bu tutarlılığı ölçmek için Saaty tarafından geliştirilmiş olan tutarlılık belirleme kuralı A matrisine uygulanmalıdır. Bu aşama için işlem adımları aşağıdaki gibidir;

Adım 4.1: Ağırlık Vektörünün Hesaplanması

Adım 3'de hesaplanmış olan görelî önem değerleri ile Adım 1'de oluşturulan karşılaştırma matrisinin ilgili sütununun çarpılık toplanması ile ağırlık vektörü hesaplanır.

Adım 4.2: Tutarlılık İndeksinin Hesaplanması

Tutarlılık indeksini hesaplamak için Denklem 3.5'den yararlanılır.

$$TI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3.5)$$

Buradaki λ_{max} değeri ağırlık vektörünün ilgili görelî önem değerlerine bölünerek elde edilen değerlerin ortalaması alınarak bulunur.

Adım 4.3: Rastgelelik İndeksinin Belirlenmesi

Karşılaştırma matrisindeli boyut sayısına bağlı olarak rastgelelik indeksi (RI) belirlenir. İndeks belirlenirken Tablo 3.2’de yer alan bilgiler kullanılır.

Tablo 3.2 Rastgelelik indeksi değerleri

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Adım 4.4: Tutarlılık Oranının (TO) Hesaplanması

Hesaplanan TI ve RI değerlerine bağlı olarak tutarlılık oranı (TO) Denklem 3.6 kullanılarak hesaplanır.

$$TO = TI / RI \quad (3.6)$$

Tutarlılık oranının 0’a eşit olması, tamamen tutarlı bir matris elde edildiğini gösterir. Ama uygulamalarda bunun tam olarak sağlanması mümkün değildir. Bu sebeple $TO < 0,1$ üst sınırına kadar alınan değerlere sahip karşılaştırma matrislerinin de tutarlı olduğu varsayılır. $TO > 0,1$ olduğunda ise tutarlı bir matris elde edilinceye dek Adım 1’de oluşturulan matriste bulunan değerler değiştirilerek matris güncellenmelidir.

3.1.2 İdeal Çözüme Benzerlikte Tercih Düzeni Tekniği (TOPSIS)

1981’de Hwang ve Yoon tarafından geliştirilen TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), pozitif ideal çözüme en kısa, negatif ideal çözüme en uzak mesafeye sahip alternatifleri seçmeye çalışan bir tekniktir[112]. Pozitif ideal çözüm, fayda kriterlerini en üst düzeye çıkararak maliyeti en aza indirir. Negatif ideal çözüm ise maliyet kriterlerini artırır. Kısacası TOPSIS ile alternatiflerden pozitif ideal çözüme yakın, negatif ideal çözüme uzak olan alternatif seçilmeye çalışılır[113,114].

Önemli ÇKKV yöntemlerinden biri olan TOPSIS, alternatiflerin sıralanmasında ve karar vericilere bir çözüm önerisi sunulmasında etkili bir yöntemdir[115]. TOPSIS, sağlam bir mantık yapısına sahip olması, pozitif ve negatif ideal çözümleri beraber ele alması ve kolayca uygulanabilen bir hesaplama yapısı bulunması ile yaygın kullanım alanı olan bir yöntemdir[110]. Yöntemin uygulama adımları ise aşağıdaki gibidir;

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar matrisinin satırlarında $i=1,2,...,m$ alternatifler, sütunlarında ise $j=1,2,...,n$ kriterler bulunmaktadır. A matrisi karar verici tarafından oluşturulmuş olan veri matrisidir. Karar matrisi örneği aşağıdaki Denklem 3.7'deki gibidir;

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Adım 2: Normalleştirilmiş Puanların Hesaplanması

TOPSIS yönteminde normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması için vektör normalizasyonu kullanılmaktadır. Burada normalizasyon denklemi, karar matrisinde bulunan kriterlerin sınıfına göre değişiklik göstermektedir. Eğer kriter bir fayda kriteri ise aşağıdaki Denklem 3.8, bir malitet kriteri ise Denklem 3.9 normalizasyon için kullanılır. Bu denklemlerin uygulanmasından sonra maliyet kriteri sütunlarında yer alan değerlerde fayda kriteri gibi diğer adımlarda işleme alınır.

$$C_j \text{ fayda kriteri ise } r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (3.8)$$

$$C_j \text{ maliyet kriteri ise } r_{ij} = \frac{1/a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m 1/a_{kj}^2}} \quad (3.9)$$

Adım 3: Ağırlıklı Normalleştirilmiş Puanların Hesaplanması

Öncelikle değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri (W_i) belirlenir. Kriterlerin toplam ağırlıkları 1 olmalıdır. Sonrasında R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili değeri ile çarpılarak V matrisi oluşturulur. V matrisi aşağıdaki Denklem 3.10'da gösterilmektedir.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 \gamma_{11} & \cdots & w_n \gamma_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 \gamma_{m1} & \cdots & w_n \gamma_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Adım 4: Pozitif (A^+) ve Negatif (A^-) İdeal Çözümlerin Bulunması

İdeal çözüm kümesinin oluşturulabilmesi için V_{ij} matrisindeki ağırlıklandırılmış ölçütlerin yani kriter değerlerinin en büyükleri dikkate alınır. Pozitif ideal çözüm kümesinin bulunması için Denklem 3.11 kullanılmaktadır.

$$A^* = \{(max_i v_{ij} | j \in J), (min_i v_{ij} | j \in J')\} \quad (3.11)$$

$$A^* = v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*$$

Negatif ideal çözüm kümesi ise, V matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani kriter değerlerinin en küçükleri seçilerek elde edilir. Negatif ideal çözüm kümesinin bulunması için Denklem 3.12 kullanılmaktadır.

$$A^- = \{(min_i v_{ij} | j \in J), (max_i v_{ij} | j \in J')\} \quad (3.12)$$

$$A^- = v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-$$

Adım 5: Uzaklıkların Hesaplanması

TOPSIS yönteminde her bir alternatife ilişkin değerlerin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm setinden uzaklıklarının belirlenmesinde Öklid Uzaklık Yaklaşımı prensipleri kullanılmaktadır. Buradan elde edilen alternatiflere ait uzaklık değerleri ise pozitif ideal çözüm kümesine uzaklık (S_i^*) ve negatif ideal çözüm kümesine uzaklık (S_i^-) olarak adlandırılmaktadır.

Pozitif ideal çözüm kümesine uzaklık (S_i^*) değerinin hesaplanması için Denklem 3.13 kullanılmaktadır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (3.13)$$

Negatif ideal çözüm kümesine uzaklık (S_i^-) değerinin hesaplanması için Denklem 3.14 kullanılmaktadır.

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (3.14)$$

Adım 6: Yakınlık İndeksinin Hesaplanması

Her bir alternatif için ideal çözümlere göreceli yakınlığın (C_i^*) hesaplanmasında pozitif ve negatif ideal çözüm kümeleri dikkate alınarak yapılan hesaplamalar kullanılmaktadır. Yakınlık indeksi Denklem 3.15'de verildiği gibi negatif ideal çözüme uzaklık değerinin pozitif ideal çözüme uzaklık değeri ile negatif ideal çözüme uzaklık değerinin toplamına oranıdır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (3.15)$$

Burada C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_i^*=1$ ilgili alternatifin pozitif ideal çözüm noktasından bulunduğunu, $C_i^*=0$ ilgili alternatifin negatif ideal çözüm noktasında bulunduğunu gösterir.

3.2 Bulanık Küme Teorisi

Zadeh'in "From Circuit Theory to System Theory" başlıklı (1962) yazısı, bilim dünyasında yeni bir dönüm noktasına ve "Fuzzy Sets" (1965) başlıklı yazısı da "Bulanık Kümeler" kuramında bir başlangıca neden olmuştur[116]. Günümüze kadar bu konuda fazlasıyla ilerleme kaydedilmiş ve bulanık mantık, mühendislikten tıpa, askeriyeden ekonomiye birçok alanda çok geniş problemlerin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır.

Bir nesnenin bir kümeye üye olma veya olmama durumu klasik kümede bir kesinlik ile ifade edilir. Örneğin bir yemek pişmiş yada pişmemiş, bir çiçek açmış yada açmamış, bir kıyafet kirli yada temiz şeklinde ifade edilmektedir. Bu ifadeler için elemanlara 1 yada 0 değerleri verilerek kümeye üyelik durumları belirtilmektedir.

X evrensel küme, A bu evrensel kümede bir alt küme dersek X_A herhangi bir elemanın A kümesine ait oluşmadığını 1 veya 0 ile gösteren bir fonksiyondur. Klasik A kümesi ise aşağıdaki Denklem 3.16'daki gibi ifade edilebilmektedir:

$$X_A = X \rightarrow \{0,1\} \quad (3.16)$$

$$\forall x \in X, \quad X_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

Klasik kümenin barındırdığı bu kesinliğin aksine gerçek hayatta bir kümeye ait olma durumu bazı belirsizlikler barındırabilir. Yemekler orta pişmiş, çiçek biraz açmaya başlamış, kıyafetlerde giyilebilecek kadar az kirli olabilmektedir. Bu belirsizlikleri dikkate alan ve bir kümeye ait olma durumunu kademeli olarak ifade eden bulanık kime teorisinde ise bir elemanın üyeliği sonsuz aralığa bölümlenebilen bir veya birden fazla kümeye ait olma derecesi ile ifade edilmektedir[112].

X evrensel kümesindeki bir x elemanının aynı evrensel kümenin bir alt kümesi olan A bulanık kümesine üye olma derecesi Denklem 3.17'deki gibi gösterilmektedir [117]:

$$A = \{\langle x, \mu_A(x) \rangle | x \in X\} \quad (3.17)$$

Burada $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ üyelik derecesidir.

Bulanık kümeler somut örnek vermek gerekirse yukarıdaki yemek pişik pişmeme durumunda yemeğin pime ve pişmeme üyelik fonksiyonları ortaya çıkmaktadır. 0 dakikalık kaynama süresinin pişmemiş olarak, 100 dakikalık kaynama süresinin pişmiş olarak değerlendirildiğini düşünürsek, 67 dakikalık bir pişme süresi için bulanık kümede yemeğin pişme kümesine üyelik derecesi 0,67 ve pişmeme kümesine üyelik derecesi 0,33 olarak bulunmaktadır.

3.2.1 Sezgisel Bulanık Kümeler

Zadeh'in (1965) bulanık küme teorisinin bir uzantısı olarak Atanassov (1986) tarafından sezgisel bulanık küme geliştirilmiştir. Zadeh'e ilave olarak bulanık kümenin üye olmama fonksiyonu olduğu ve her ikisinin toplamının bir veya birden küçük olduğu fikrini çıkarmıştır. Üyelik ve üye olmama fonksiyonlarının 1'den küçük olma durumunda bu farkı tereddütlük derecesi olarak tanımlamıştır[118].

Tanım

X evrensel kümesindeki A sezgisel bulanık kümesi Denklem 3.18'deki gibi gösterilmektedir [119]:

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle | x \in X \} \quad (3.18)$$

Burada $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ ve $\nu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ sırasıyla üye olma ve üye olmama derecelerini göstermektedir ve Denklem 3.19 ile gösterilebilmektedir:

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (3.19)$$

Sezgisel bulanık kümelerin tereddütlük derecesi ise Denklem 3.20'deki gibi gösterilebilmektedir:

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) \quad (3.20)$$

$$0 \leq \pi_A(x) \leq 1$$

Tereddütlük derecesi $[\pi_A(x)]$, x hakkındaki bilginin kesinliğini göstermektedir ve ne kadar büyükse belirsizlik o kadar fazla kabul edilmektedir.

3.2.2 Resim Bulanık Kümeler

X evrensel kümesinde A resim bulanık kümesi Denklem 3.21'deki gibi gösterilmektedir:

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \eta_A(x), \gamma_A(x) \rangle | x \in X \} \quad (3.21)$$

Burada $\mu_A(x) \in (0,1)$ x'in A'daki pozitif üyelik derecesi olarak adlandırılır. $\eta_A(x) \in (0,1)$ x'in A'daki nötr üyelik derecesidir. Ve $\gamma_A(x) \in (0,1)$ x'in A'daki negatif üyelik derecesidir.

$$\mu_A(x), \eta_A(x), \gamma_A(x) \in [0,1], \quad \forall x \in X, \quad (3.22)$$

$$0 \leq \mu_A(x) + \eta_A(x) + \gamma_A(x) \leq 1, \quad \forall x \in X.$$

$\xi A(x)$ ise bir elemanı reddetme derecesi olarak tanımlanmaktadır ve Denklem 3.23'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\xi A(x) = 1 - (\mu_A(x) + \eta_A(x) + \gamma_A(x)), \quad \forall x \in X \quad (3.23)$$

Temel olarak resim bulanık kümeler dayalı modeller genellikle evet, çekimser, hayır ve ret gibi yanıt çeşidi içeren görüşlerin bulunduğu durumlarda kullanılır. Örneğin oy verme bu durumlara örnek gösterilebilir. Çünkü seçmenler lehte oy verebilir, çekimser kalabilir, aleyhte oy verebilir ve oy vermeyi reddedebilir.

Resim bulanık kümeler için tanımlanmış temel operatörler ise Denklem 3.24, 3.25, 3.26, 3.27'deki gibidir:

$$\widetilde{A}_p \oplus \widetilde{B}_p = \{\mu_{\widetilde{A}_p} + \mu_{\widetilde{B}_p} - \mu_{\widetilde{A}_p} \mu_{\widetilde{B}_p}, I_{\widetilde{A}_p} I_{\widetilde{B}_p}, v_{\widetilde{A}_p} v_{\widetilde{B}_p}\} \quad (3.24)$$

$$\widetilde{A}_p \otimes \widetilde{B}_p = \{\mu_{\widetilde{A}_p} \mu_{\widetilde{B}_p}, I_{\widetilde{A}_p} I_{\widetilde{B}_p}, v_{\widetilde{A}_p} + v_{\widetilde{B}_p} - v_{\widetilde{A}_p} v_{\widetilde{B}_p}\} \quad (3.25)$$

$$\lambda \cdot \widetilde{A}_p = \{(1 - (1 - \mu_{\widetilde{A}_p})^2), I_{\widetilde{A}_p}^\lambda, v_{\widetilde{A}_p}^\lambda\} \quad \lambda > 0 \quad (3.26)$$

$$\widetilde{A}_p^\lambda = \{\mu_{\widetilde{A}_p}^\lambda, I_{\widetilde{A}_p}^\lambda, (1 - (1 - v_{\widetilde{A}_p})^\lambda),\} \quad \lambda > 0 \quad (3.27)$$

Resim bulanık ağırlıklı geometrik operatörler (PFWG) ise Denklem 3.28 ve 3.29'daki gibi tanımlanmaktadır: ($w = (w_1, w_2, \dots, w_n) ; w_j \in [0,1] ; \sum_{j=1}^n w_j = 1$)

$$PFWG_w(\widetilde{A}_1, \dots, \widetilde{A}_n) = \left\{ \prod_{j=1}^n \mu_{\widetilde{A}_j}^{w_j}, \prod_{j=1}^n I_{\widetilde{A}_j}^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - v_{\widetilde{A}_j})^{w_j} \right\} \quad (3.28)$$

$$PFWA_w(\widetilde{A}_1, \dots, \widetilde{A}_n) = \left\{ 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{\widetilde{A}_j})^{w_j}, \prod_{j=1}^n I_{\widetilde{A}_j}^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n v_{\widetilde{A}_j}^{w_j} \right\} \quad (3.29)$$

Resim bulanık sayıları durulaştırmak ve sıralamak için ise Denklem 3.30, 3.31, 3.32, 3.33'deki puan ve doğruluk fonksiyonları kullanılabilir:

$$SC1 = Score_1(\widetilde{A}_p) = \frac{1}{2}(1 + 2\mu_{\widetilde{A}_p} - v_{\widetilde{A}_p} - \frac{I_{\widetilde{A}_p}}{2}) \quad (3.30)$$

$$SC2 = Score_2(\widetilde{A}_p) = (2\mu_{\widetilde{A}_p} - v_{\widetilde{A}_p} - \frac{I_{\widetilde{A}_p}}{2}) \quad (3.31)$$

$$SC3 = Score_3(\widetilde{A}_p) = (\mu_{\widetilde{A}_p} - v_{\widetilde{A}_p}) \quad (3.32)$$

$$Accuracy(\widetilde{A}_p) = \mu_{\widetilde{A}_p} + v_{\widetilde{A}_p} + I_{\widetilde{A}_p} \quad (3.33)$$

3.3 Resim Bulanık AHP

Resim bulanık AHP yönteminin uygulanmasında ise aşağıdaki adımlar izlenmektedir[120]:

Öncelikle ikili karşılaştırmalar için kullanılacak olan dilbilimsel terimler ve Saaty ölçeğini verelim[121]:

Tablo 3.3 Saaty ölçeği ve resim bulanık sayılar

Dilsel Terimler	Resim Bulanık Sayılar (μ, I, v)	Önem Yoğunluğu
Çok Yüksek Önem (ÇY)	(0.9 , 0.0 , 0.05)	7
Yüksek Önem (Y)	(0.75 , 0.05 , 0.1)	5
Biraz Yüksek Önem (BY)	(0.6 , 0.0 , 0.3)	3
Eşit Önem (E)	(0.5 , 0.1 , 0.4)	1
Biraz Düşük Önem (BD)	(0.3 , 0.0 , 0.6)	1/3
Düşük Önem (D)	(0.25 , 0.05 , 0.6)	1/5
Çok Düşük Önem (ÇD)	(0.1 , 0.0 , 0.85)	1/7

Adım 1: Bu aşamada en az 3 düzeyi olan hiyerarşik bir yapı oluşturulur. Seviye 1 ana hedefi gösterir. Seviye 2’de n adet kriterden oluşan bir kriter seti vardır [$C_j = \{C_1, \dots, C_n\}$]. Seviye 3 ise seviye 2’deki kriterlere bağlı olan alt kriterlerden oluşmaktadır. Seviye 4’de de m adet ($m \geq 2$) uygulanabilir alternatif seti [$X_i = \{x_1, \dots, x_n\}$] bulunur. Ayrıca s adetten oluşan karar verici seti de bu aşama da tanımlanmaktadır [$KV_k = \{KV_1, \dots, KV_s\}$].

Adım 2: Tablo 3.3'deki dilsel önem terimleri kullanılarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Dilsel terimler karşılık gelen resim bulanık sayılara dönüştürülür ve bu terimler Tablo 3.3'deki Saaty ölçeği ile de ilişkilendirilebilir. AHP prosedürünü izleyerek, her matrisin maksimum özdeğerine dayalı olarak belirli matrisin boyutunu yansıtan Rastgelelik İndeksi (RI) kullanılarak tüm ikili karşılaştırma matrislerinin Tutarlılık Oranları (TO) hesaplanır. CI, %10'dan azsa ikili karşılaştırma matrisleri tutarlı kabul edilir. TO>0.1 için iki seçenek mevcuttur. Ya bu yanıtlar filtrelenir ve hesaplamalarda dikkate alınmaz ya da karar vericilerden değerlendirmelerini bir kez daha gözden geçirmeleri istenir.

Adım 3: Bir karar verme probleminde birden fazla karar verici olabilir bunun için resim bulanık küme operatörleri kullanılarak karar vericilerin yargıları birleştirilmelidir. İlk olarak her bir kriter ve alt kriter için bir karar verici bazında bulanık ağırlıkları ($\widetilde{w}_j^{local}$) elde etmek için Denklem 3.28 kullanılarak farklı tipteki karar vericilerden alınan ikili karşılaştırma matrisleri toplanır. İkinci olarak, bulanık küresel ağırlıkların resmini ($\widetilde{w}_j^{global}$) elde etmek için tüm karar vericiler açısından her bir kriter ve alt kriter, farklı karar vericilerden alınan toplu ikili karşılaştırma matrisleri Denklem 3.28 kullanılarak entegre edilir.

Adım 4: Nihai resmin bulanık ağırlıklarını ($\widetilde{w}_j^{final}$) tahmin etmek için, birinci seviyedeki resmin bulanık küresel ağırlıkları Denklem 3.25 kullanılarak ilgili her bir alt kriterin global ağırlıkları ile çarpılır. Bu aşamanın sonunda nihai resim bulanık kriter ağırlıkları elde edilir. Analizin devamı için bu aşamada nihai resim bulanık kriter ağırlıkları Resim Bulanık AHP puan işlevlerinden biri ile kesin değerlerine dönüştürülür ve vektör normalizasyonu kullanılarak nihai ağırlıklar elde edilir.

3.4 Matematiksel Programlama

Matematiksel Programlama, II. Dünya Savaşında askeri uygulamalarda kullanılmak üzere geliştirilmiş bir tekniktir. Örneğin, geniş coğrafyalara dağılmış askerlerin barınma, yeme, içme gibi ihtiyaçlarının karşılanması, farklı cephelerde olacak asker sayısının belirlenmesi, havalanan bir savaş uçağının en kısa mesafeyi kat ederek belli hedefleri vurması için izlemesi gereken rotanın belirlenmesi[122].

Matematiksel programlamanın temelleri ilk olk olarak 1920'lerde Sovyet Rusya'da Leonid Kantoroviç tarafından atılmış ve II. Dünya Savaşı sırasında ABD'de George Dantzig tarafından simpleks algoritması geliştirilmiştir[123]. 1941'de Hitclock ulaştırma problemleri üzerine çalışmalar yürütmüş ve 1945'de Stigler minimum maliyet problemleri üzerinde çalışmıştır[122]. Bu tarihlerden sonar matematiksel programlama problemleri üzerine yapılan teorik ve pratik çalışmalar hız kazanmış ve ilerleyen teknoloji sayesinde büyük ölçekli problemler kolaylıkla çözülebilmeye başlamıştır. MATLAB, LINGO ve LINDO gibi paket programlar sayesinde günümüzde matematiksel programlama problemleri kısa zamanda çözülebilmektedir.

Optimizasyon problemlerinin çözümü ile ilgilenen matematiksel programlama aşağıdaki şekilde alt bölümlere ayrılarak incelenebilir;

- Doğrusal (Lineer) Programlama
- Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Programlama
- Tamsayılı Programlama
- Kuadratik Programlama
- Dinamik Programlama

Bütün programlama çeşitlerinde amaç, çeşitli endüstriyel problemlere optimal çözümün bulunmasıdır. Bu çalışmada ise Doğrusal Programlamadan faydalanılmıştır.

Ergülen A. (2004), bir firmadanın ulaşım politikasındaki dağıtım maliyetlerini minimize etmek için doğrusal programlamadan faydalanmıştır[124].

Napoles-Rivera F. vd. (2010), şehirlerde su yönetimi için sistematik bir optimizasyon aracı önermiştir. Entegrasyon ağlarının optimal tasarımı için matematiksel programlamadan faydalanmıştır[125].

Liu S. vd. (2011), su talebini karşılarken tuzdan arındırılmış su kullanmak için bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli sunmuştur. Tuzdan arındırılmış su, atık su ve geri kazanılmış su için iletim altyapısının yanı sıra, yıllık toplam sermaye ve işletme maliyetlerinin minimize edilmesiyle de ilgilenmiştir[126].

Bocanegra-Martinez A. vd. (2014), evsel kullanım için yağmur suyu toplama sistemleri tasarlamak için matematiksel programlamaya dayalı bir optimizasyon yaklaşımı önermiştir. Optimizasyon modeli, hasat edilen yağmur suyunun optimum şekilde

oturması, toplanması, depolanması ve dağıtılması için yağmur suyu toplama cihazlarının, boruların ve rezervuarların uygulanmasını açıklamaktadır[127].

Okoye C.O. vd. (2015), yağmur suyu hasadı ve depolaması için tek bir konut biriminin optimal depo boyutunu belirlemek için bir optimizasyon modeli önermiştir. Yağış profili, binanın çatı alanı, kişi başına su tüketimi ve konut sakinlerinin sayısı gibi sahaya özgü veriler dikkate alınarak, yağmur suyu depolama tankının boyutuna karar vermek için doğrusal programlamaya dayalı entegre bir optimizasyon modeli önermiştir[55].

Elmas G. (2021), bir araba terminalinde kapasite analizi probleminde tam sayılı doğrusal programlamadan faydalanmıştır[128].

Deste M. ve Karabulut M. (2021), bir tekstil işletmesinde üretim planlama probleminde doğrusal programlamadan faydalanmıştır[129].

Öztürk G. ve Aksoy H.K. (2021), tedarik zinciri optimizasyonu probleminde doğrusal fiziki programlamadan faydalanmıştır[130].

Akay vd. (2021), bir üretim işletmesinde uzaktan çalışma modeli oluşturma probleminde doğrusal programlamadan faydalanmıştır[131].

An J. vd. (2021), doğrusal programlamadan faydalanarak havayolu endüstrisinde sınırlı talep bilgisi altında rezervasyon limiti politikalarını optimize etmiştir[132].

Cosic A. vd. (2021), yenilenebilir enerji toplulukları için farklı elektrik tarife senaryoları, enerji depolama sistemleri vb. tümünün optimizasyonu için karma tamsayılı doğrusal programlamadan faydalanmıştır[133].

Görüldüğü üzere matematiksel programlama, en uygun üretim miktarının belirlenmesinden kar maksimizasyonuna, masraf minimizasyonundan nakliyat planlamasına kadar kısaca amacın rakamlarla ifade edilebildiği birçok alanda kullanılmıştır.

3.4.1 Doğrusal Programlama

Doğrusal Programlama, doğrusal karar modelleri ile ilgili kavram ve yöntemlerden oluşmaktadır. Doğrusal bir amaç fonksiyonunun, doğrusal eşitlik ve/veya eşitsizlik kısıtları altında optimal (en iyi) değerinin bulunmasını sağlar.

Temel Kavramlar

İncelenen probleme ilişkin temel 3 soru bulunmaktadır[122];

- i. Problemde belirlenmek istenilen nedir?
- ii. Problem hangi koşullar altında tanımlıdır?
- iii. Problem için en iyi çözüm nedir?

Bu üç sorunun yanıtı sırasıyla doğrusal programlamada kullanılan 3 temel kavramdır;

- i. Karar değişkenleri : Kurulan modelde değerinin hesaplanması istenen karar unsurlarıdır.
- ii. Kısıtlar : Kurulan modeldeki karar değişkenleri ya da karar değişkenleri ile parametreler arasındaki eşitlik yada eşitsizlik şeklinde kurulan zorunlu ilişkilerdir.
- iii. Amaç fonksiyonu : Optimum(en iyi) çözümün (maksimum ya da minimum) bulunmasını sağlayan doğrusal fonksiyondur.

Standart Model

Literatürde bulunan temel doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibidir;

$i = 1, 2, \dots, M$ = kısıt sayısı

$j = 1, 2, \dots, N$ = karar değişken sayısı

$x_j = x_1, x_2, \dots, x_n$ = karar değişkenleri

C_j = amaç fonksiyonu katsayıları

A_{ij} = i kısıtındaki j karar değişkeninin teknik katsayısı

B_i = i kısıtının sağ taraf değeri

Z = amaç fonksiyonu

$$\min Z = C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_jx_j \quad (\text{Amaç Fonksiyonu}) \quad (3.34)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N a_{ij}x_j \begin{bmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{bmatrix} B_i \quad (\text{Doğrusal Eşitlik ve/veya Eşitsizlik Kısıtları}) \quad (3.35)$$

$$x_j \geq 0 \quad (\text{Negatif Olmama Kısıtı}) \quad (3.36)$$

3.4.2 Tam Sayılı Programlama

Modelde kullanılan değişkenlerin bir ya da birden fazlasının tam sayılı olduğu doğrusal programlama yöntemidir. Doğrusal programlamanın bir uzantısı olup doğrusal programlamada meydana gelebilecek gerçekçi olmayan sonuçları ortadan kaldırmayı amaçlar.

DP modellerinde karar değişkenlerinin sıfıra eşit veya sıfırdan büyük olma koşulu aranırken, tam sayılı programlamada sıfıra eşit veya sıfırdan büyük bir tam sayı olma koşulu aranır. 3 farklı tipi mevcuttur;

1. Saf Tam Sayılı Programlama : Modelde bulunan tüm değişkenlerin tam sayı olması istenir.
2. Karma Tam Sayılı Programlama : Modelde bulunan karar değişkenlerinden bazılarının tam sayı olması yeterlidir.
3. 0-1 Tam Sayılı Programlama : Modelde bulunan tüm karar değişkenlerinin 0 veya 1 değerini alması istenir.

Çalışmanın bu bölümünde örnek uygulama olarak Bolu ili kamu alanlarının lokasyon özellikleri ve sistem bileşenleri beraber ele alınarak bir model sunulmuştur. Ancak kamu alanlarının (hizmet binaları, okullar, park-bahçeler vb.) su tüketimlerinin tek seferde tümünde geri dönüşüm sistemlerine geçirilmesi optimum olmayacağından 4.1 ve 4.2’de Bolu’da en büyük tüketimin nerelerde olduğu, bu alanların yağış ve gri su toplama kapasiteleri, tüketimi karşılama yüzdeleri ve yatırım maliyetleri göz önüne alınarak AHP ve TOPSİS entegreli resim bulanık kümeler kullanılarak lokasyonların önceliklendirilmesi yapılmıştır. 4.3’de ise seçilen lokasyonda sistemin depo boyutunun optimizasyonu için minimum maliyet ve maksimum verimin sağlanacağı bir karma tam sayılı programlama modeli kurulmuştur.

4.1 Resim Bulanık AHP

4.1.1 Kriterlerin Belirlenmesi ve Kriter Hiyerarşisinin Oluşturulması

İlk aşamada lokasyonların önceliklendirilmesinde kullanılacak kriterlerin belirlenmesi ve kriter hiyerarşisinin oluşturulması yer almaktadır. Uygulamanın bu aşamasında Bolu Belediye’sinde çalışan 4 karar verici bulunmaktadır. Yapılan literatür taraması doğrultusunda belirlenen kriterler ise Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Kriter ve alternatif hiyerarşisi

Lokasyon Seçimi	Maliyet (C ₁)	İlk Yatırım Maliyeti (C ₁₁)
		Yıllık Bakım/İşletim Maliyeti (C ₁₂)
		Yatırımın Geri Dönüş Süresi (C ₁₃)
	Kapasite (C ₂)	Tüketimi Karşılama Oranı (C ₂₁)
		Su Toplama Kapasitesi (C ₂₂)
		Gelecekteki İhtiyacı Karşılama Oranı (C ₂₃)

Tablo 4.1 Kriter ve alternatif hiyerarşisi (devamı)

	Çevresel (C₃)	Doğal Su Kaynaklarının Kullanımını Azaltma (C ₃₁)
		Atıksu Arıtma Tesislerinin İş Yükünü Azaltma (C ₃₂)
		Esneklik (C ₃₃)
	Sosyal (C₄)	Nüfus (C ₄₁)
		Faydalanılan Alan Çeşitliliği (C ₄₂)
		Katılım ve Halk Desteği (C ₄₃)

Her bir alt kritere ait açıklamalar ise aşağıdaki gibidir:

Maliyet

- İlk Yatırım Maliyeti: Tesisat maliyeti, sistemin boru hattı, çatı olukları(YSH yapılacaksa), su deposu vb. bileşenlerinin oluşturduğu maliyettir. Sistemler mevcut bir bina üzerine entegre edilecekse bu maliyet sıfırdan inşa edilecek bir binaya kurulacak sistemlere göre daha az tutmaktadır. Toplam maliyetin büyük bir kısmını ise su depolama tanklarının maliyeti oluşturmaktadır.
- Yıllık Bakım/İşletim Maliyeti: Sistemde bulunan depo ve filtrelerin düzenli aralıklarla temizlenmesinin oluşturduğu maliyettir. Özel işçilik gerektirmemesi sebebiyle yüksek bir maliyet oluşturmadığını söylemek mümkündür.
- Yatırımın Geri Dönüş Süresi: Tasarruf edilen sudan elde edilen maddi kazancın, sistemin yatırım maliyetini ne kadar sürede karşıladığıdır. Sistemlerin ortalama ürün ömrü 25 sene olarak bilinmektedir. Yatırımın geri dönüş süresi sonrasında sistemler sayesinde yalnızca doğaya katkı sağlanmış olunmayacak aynı zamanda maddi kazanç da elde edilmiş olacaktır.

Kapasite

- Tüketimi Karşılama Oranı: Toplanan suyun, içilebilir kalitede su gerektirmeyen alanlarda tüketilen suyun ne kadarını karşılayabildiğidir.
- Su Toplama Kapasitesi: Sistemin baz alınan süre içerisinde ne kadar kullanılabilir su toplayabildiğidir. Yağmur suyu hasadı sistemleri için çatı alanı, çatı eğimi gibi

etkenlere göre, gri su arıtma sistemleri için ise tüketilen gri su miktarına göre değişkenlik göstermektedir.

- Gelecekteki İhtiyacı Karşılama Oranı: Belirlenen dönem aralığında toplanan ürün ile bir sonraki dönemdeki talebi karşılama oranıdır.

Çevresel

- Doğal Su Kaynaklarının Kullanımını Azaltma: Kurulan sistemin toplama kapasitesi de denebilir. Sistem YSH ise çatı alanı ve yağış rejimi ile, gri su arıtma sistemi ise tüketilen su miktarı ile ilişkilidir. Çalışmanın önceki bölümünde de bahsedildiği üzere adı geçen sistemlerin kullanımı ile normalde 4 ay içerisinde tüketilen su miktarı ile 12 ay geçirebilme fırsatı bulunduğunu söylemek mümkündür.
- Atıksu Arıtma Tesislerinin İş Yükünü Azaltma: Çatı ve kaldırım gibi yağmur suyu toplama alanlarından akıp giden sular ve az kirli gri suları topladığımız lavabo vb. yerlerden akıp giden sular şehirlerin büyük arıtma tesislerine gitmektedir. Ancak şehir genelinde bu sistemlerin kullanımının yaygınlaşması ile yüksek kimyasal kullanımına sahip olan ve yüksek maliyetlerde arıtma yapan atıksu arıtma tesislerinin iş yükünde kayda değer bir azalma yaşanması da muhtemeldir. Çünkü YSH ile birçok yağmur suyu evlerimize, binalarımıza girip kullanıldıktan sonra ve gri su arıtımı ile de birçok az kirli su da ikinci kez kullanıldıktan sonra bu tesislere aktarılacaktır.
- Esneklik: Sistemlerin minimum maliyet ve çaba ile kısa süre içerisinde değişebilme ya da değişime uyum sağlayabilme yeteneğidir.

Sosyal

- Nüfus: Sistemlerin kurulum amaçlarından biri de doğal döngülere olan farkındalığı artırabilmek ve bu alternatif sistemlerin kullanımını yaygınlaştırmaktır. Bu sebeple sistemler ne kadar çok kişinin kullanımına açıksa o kadar yaygın etkisi olacaktır. Bu kriter ise sistemin kurulmasının planlandığı kurumda çalışan kişi ve hizmet edilen halkın yoğunluğunu ifade etmektedir.
- Faydalanılan Alan Çeşitliliği: Yağmur suyu hasadı ve gri su arıtma sistemlerinden elde edilen sular sifon suyu, bahçe yıkama, araç yıkama gibi içme suyu kalitesi gerektirmeyen çeşitli alanlarda kullanılabilir. Bu alanların çeşitliliği

sayesinde hem tüketim alanı genişlemiş hemde bahsi geçen alternatif sistemlerin daha çok kullanım örneği uygulamaya konulmuş olacaktır.

- Katılım ve Halk Desteği: Halkın projenin yapılmasına karşı gösterdiği tutumdur. Bu destek ne kadar fazla olursa sistemlerin kabul görmesi ve kullanımının yaygınlaşması da o kadar hızlı olacaktır.

4.1.2 Yöntem Adımlarının Uygulanması

KV₁, KV₂, KV₃ ve KV₄ değerlendiricileri eşit ağırlıklara sahiptir. Her bir değerlendirici için ana kriterlere ve alt kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.2 Karar verici 1'e ait ana kriterlerin karşılaştırması

KV ₁	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
C ₁	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.6, 0.0, 0.3	0.75, 0.05, 0.1
C ₂	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.75, 0.05, 0.1
C ₃	0.3, 0.0, 0.6	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.75, 0.05, 0.1
C ₄	0.25, 0.05, 0.6	0.25, 0.05, 0.6	0.25, 0.05, 0.6	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.3 Karar verici 1'e ait maliyet alt kriterlerinin karşılaştırması

C ₁ İçin	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃
C ₁₁	0.5, 0.1, 0.4	0.9, 0.0, 0.05	0.6, 0.0, 0.3
C ₁₂	0.1, 0.0, 0.85	0.5, 0.1, 0.4	0.25, 0.05, 0.6
C ₁₃	0.3, 0.0, 0.6	0.75, 0.05, 0.1	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.4 Karar verici 1'e ait kapasite alt kriterlerinin karşılaştırması

C ₂ İçin	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃
C ₂₁	0.5, 0.1, 0.4	0.6, 0.0, 0.3	0.6, 0.0, 0.3
C ₂₂	0.3, 0.0, 0.6	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4
C ₂₃	0.3, 0.0, 0.6	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.5 Karar verici 1'e ait çevresel alt kriterlerinin karşılaştırması

C₃ İçin	C₃₁	C₃₂	C₃₃
C₃₁	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.75, 0.05, 0.1
C₃₂	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.9, 0.0, 0.05
C₃₃	0.25, 0.05, 0.6	0.1, 0.0, 0.85	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.6 Karar verici 1'e ait sosyal alt kriterlerinin karşılaştırması

C₄ İçin	C₄₁	C₄₂	C₄₃
C₄₁	0.5, 0.1, 0.4	0.3, 0.0, 0.6	0.25, 0.05, 0.6
C₄₂	0.6, 0.0, 0.3	0.5, 0.1, 0.4	0.3, 0.0, 0.6
C₄₃	0.75, 0.05, 0.1	0.6, 0.0, 0.3	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.7 Karar verici 2'ye ait ana kriterlerin karşılaştırması

KV₂	C₁	C₂	C₃	C₄
C₁	0.5, 0.1, 0.4	0.9, 0.0, 0.05	0.6, 0.0, 0.3	0.75, 0.05, 0.1
C₂	0.1, 0.0, 0.85	0.5, 0.1, 0.4	0.3, 0.0, 0.6	0.5, 0.1, 0.4
C₃	0.3, 0.0, 0.6	0.6, 0.0, 0.3	0.5, 0.1, 0.4	0.6, 0.0, 0.3
C₄	0.25, 0.05, 0.6	0.5, 0.1, 0.4	0.3, 0.0, 0.6	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.8 Karar verici 2'ye ait maliyet alt kriterlerinin karşılaştırması

C₁ İçin	C₁₁	C₁₂	C₁₃
C₁₁	0.5, 0.1, 0.4	0.9, 0.0, 0.05	0.9, 0.0, 0.05
C₁₂	0.1, 0.0, 0.85	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4
C₁₃	0.1, 0.0, 0.85	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.9 Karar verici 2'ye ait kapasite alt kriterlerinin karşılaştırması

C₂ İçin	C₂₁	C₂₂	C₂₃
C₂₁	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.6, 0.0, 0.3
C₂₂	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.75, 0.05, 0.1
C₂₃	0.3, 0.0, 0.6	0.25, 0.05, 0.6	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.10 Karar verici 2'ye ait çevresel alt kriterlerinin karşılaştırması

C₃ İçin	C₃₁	C₃₂	C₃₃
C₃₁	0.5, 0.1, 0.4	0.75, 0.05, 0.1	0.6, 0.0, 0.3
C₃₂	0.25, 0.05, 0.6	0.5, 0.1, 0.4	0.3, 0.0, 0.6
C₃₃	0.3, 0.0, 0.6	0.6, 0.0, 0.3	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.11 Karar verici 2'ye ait sosyal alt kriterlerinin karşılaştırması

C₄ İçin	C₄₁	C₄₂	C₄₃
C₄₁	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4
C₄₂	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4
C₄₃	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.12 Karar verici 3'e ait ana kriterlerin karşılaştırması

KV₃	C₁	C₂	C₃	C₄
C₁	0.5, 0.1, 0.4	0.6, 0.0, 0.3	0.5, 0.1, 0.4	0.75, 0.05, 0.1
C₂	0.3, 0.0, 0.6	0.5, 0.1, 0.4	0.3, 0.0, 0.6	0.75, 0.05, 0.1
C₃	0.5, 0.1, 0.4	0.6, 0.0, 0.3	0.5, 0.1, 0.4	0.75, 0.05, 0.1
C₄	0.25, 0.05, 0.6	0.25, 0.05, 0.6	0.25, 0.05, 0.6	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.13 Karar verici 3'e ait maliyet alt kriterlerinin karşılaştırması

C₁ İçin	C₁₁	C₁₂	C₁₃
C₁₁	0.5, 0.1, 0.4	0.75, 0.05, 0.1	0.5, 0.1, 0.4
C₁₂	0.25, 0.05, 0.6	0.5, 0.1, 0.4	0.3, 0.0, 0.6
C₁₃	0.5, 0.1, 0.4	0.6, 0.0, 0.3	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 3.14 Karar verici 3'e ait kapasite alt kriterlerinin karşılaştırması

C₂ İçin	C₂₁	C₂₂	C₂₃
C₂₁	0.5, 0.1, 0.4	0.75, 0.05, 0.1	0.6, 0.0, 0.3
C₂₂	0.25, 0.05, 0.6	0.5, 0.1, 0.4	0.3, 0.0, 0.6
C₂₃	0.3, 0.0, 0.6	0.6, 0.0, 0.3	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.15 Karar verici 3'e ait çevresel alt kriterlerinin karşılaştırması

C₃ İçin	C₃₁	C₃₂	C₃₃
C₃₁	0.5, 0.1, 0.4	0.6, 0.0, 0.3	0.9, 0.0, 0.05
C₃₂	0.3, 0.0, 0.6	0.5, 0.1, 0.4	0.75, 0.05, 0.1
C₃₃	0.1, 0.0, 0.85	0.25, 0.05, 0.6	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.16 Karar verici 3'e ait sosyal alt kriterlerinin karşılaştırması

C₄ için	C₄₁	C₄₂	C₄₃
C₄₁	0.5, 0.1, 0.4	0.25, 0.05, 0.6	0.1, 0.0, 0.85
C₄₂	0.75, 0.05, 0.1	0.5, 0.1, 0.4	0.3, 0.0, 0.6
C₄₃	0.9, 0.0, 0.05	0.6, 0.0, 0.3	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.17 Karar verici 4'e ait ana kriterlerin karşılaştırması

KV₄	C₁	C₂	C₃	C₄
C₁	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.3, 0.0, 0.6	0.9, 0.0, 0.05
C₂	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.3, 0.0, 0.6	0.9, 0.0, 0.05
C₃	0.6, 0.0, 0.3	0.6, 0.0, 0.3	0.5, 0.1, 0.4	0.9, 0.0, 0.05
C₄	0.1, 0.0, 0.85	0.1, 0.0, 0.85	0.1, 0.0, 0.85	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.18 Karar verici 4'e ait maliyet alt kriterlerinin karşılaştırması

C₁ için	C₁₁	C₁₂	C₁₃
C₁₁	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.3, 0.0, 0.6
C₁₂	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.3, 0.0, 0.6
C₁₃	0.6, 0.0, 0.3	0.6, 0.0, 0.3	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.19 Karar verici 4'e ait kapasite alt kriterlerinin karşılaştırması

C₂ için	C₂₁	C₂₂	C₂₃
C₂₁	0.5, 0.1, 0.4	0.25, 0.05, 0.6	0.3, 0.0, 0.6
C₂₂	0.75, 0.05, 0.1	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4
C₂₃	0.6, 0.0, 0.3	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.20 Karar verici 4'e ait çevresel alt kriterlerinin karşılaştırması

C₃ için	C₃₁	C₃₂	C₃₃
C₃₁	0.5, 0.1, 0.4	0.9, 0.0, 0.05	0.6, 0.0, 0.3
C₃₂	0.1, 0.0, 0.85	0.5, 0.1, 0.4	0.25, 0.05, 0.6
C₃₃	0.3, 0.0, 0.6	0.75, 0.05, 0.1	0.5, 0.1, 0.4

Tablo 4.21 Karar verici 4'e ait sosyal alt kriterlerinin karşılaştırması

C₄ İçin	C₄₁	C₄₂	C₄₃
C₄₁	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.1, 0.0, 0.85
C₄₂	0.5, 0.1, 0.4	0.5, 0.1, 0.4	0.25, 0.05, 0.6
C₄₃	0.9, 0.0, 0.05	0.75, 0.05, 0.1	0.5, 0.1, 0.4

4.1.2.1 İkili Karşılaştırma Matrislerinin Tutarlılık Oranlarının Hesaplanması

3.1.1'de verilen AHP prosedürüne göre tüm matrislerin tutarlılık oranları hesaplanmıştır. İkili karşılaştırma matrislere ait tutarlılık oranları Tablo 4.22'de verilmiş olup, tüm değerler 0,10'dan küçük olduğu için tüm tablolar tutarlıdır.

Tablo 4.22 İkili karşılaştırma matrislerine ait tutarlılık oranları

KV₁	Ana Kriterler	0,058303	KV₂	Ana Kriterler	0,012413
	C ₁ İçin	0,062392		C ₁ İçin	0
	C ₂ İçin	0		C ₂ İçin	0,027743
	C ₃ İçin	0,012008		C ₃ İçin	0,036871
	C ₄ İçin	0,036871		C ₄ İçin	0
KV₃	Ana Kriterler	0,05993	KV₄	Ana Kriterler	0,057812
	C ₁ İçin	0,027743		C ₁ İçin	0
	C ₂ İçin	0,036871		C ₂ İçin	0,023956
	C ₃ İçin	0,062392		C ₃ İçin	0,062392
	C ₄ İçin	0,062392		C ₄ İçin	0,012032

4.1.2.2 İkili Karşılaştırma Matrislerinin ($\widetilde{w}_j^{local}$) Değerlerinin Bulunması

Denklem 3.28 kullanılarak tüm ikili karşılaştırma matrislerine ait ($\widetilde{w}_j^{local}$) ağırlıkları elde edilmiştir.

Tablo 4.23 Alt kriterlerin ($\widetilde{w}_j^{local}$) değerleri

KV₁		μ	I	V	KV₂		μ	I	V
	C₁	0,579146	0	0,309902		C₁	0,67082	0	0,225888
	C₂	0,553341	0,08409	0,335991		C₂	0,294283	0	0,616634
	C₃	0,487002	0	0,4		C₃	0,482057	0	0,414399
	C₄	0,297302	0,05946	0,557327		C₄	0,370041	0	0,510102
	C₁₁	0,646330407	0	0,263808		C₁₁	0,739863622	0	0,184921
	C₁₂	0,232079442	0	0,669807		C₁₂	0,292401774	0	0,622024
	C₁₃	0,482744692	0	0,4		C₁₃	0,292401774	0	0,622024
	C₂₁	0,564621617	0	0,33506		C₂₁	0,531329285	0	0,368364
	C₂₂	0,421716333	0	0,475852		C₂₂	0,572357121	0,07937	0,313171
	C₂₃	0,421716333	0	0,475852		C₂₃	0,334716475	0	0,542114
	C₃₁	0,572357121	0,07937	0,313171		C₃₁	0,6082202	0	0,276957
	C₃₂	0,6082202	0	0,300681		C₃₂	0,334716475	0	0,542114
	C₃₃	0,232079442	0	0,669807		C₃₃	0,448140475	0	0,448215
	C₄₁	0,334716475	0	0,542114		C₄₁	0,5	0,1	0,4
	C₄₂	0,448140475	0	0,448215		C₄₂	0,5	0,1	0,4
	C₄₃	0,6082202	0	0,276957		C₄₃	0,5	0,1	0,4
KV₃		M	I	V	KV₄		μ	I	V
	C₁	0,579146	0	0,309902		C₁	0,509713	0	0,391835
	C₂	0,428616	0	0,457839		C₂	0,509713	0	0,391835
	C₃	0,579146	0	0,309902		C₃	0,634423	0	0,273028
	C₄	0,297302	0,05946	0,557327		C₄	0,149535	0	0,787868
	C₁₁	0,572357121	0,07937	0,313171		C₁₁	0,421716333	0	0,475852
	C₁₂	0,334716475	0	0,542114		C₁₂	0,421716333	0	0,475852
	C₁₃	0,531329285	0	0,368364		C₁₃	0,564621617	0	0,33506

Tablo 4.24 Alt kriterlerin $(\widetilde{w}_j^{local})$ değerleri (devamı)

	C₂₁	0,6082202	0	0,276957		C₂₁	0,334716475	0	0,542114
	C₂₂	0,334716475	0	0,542114		C₂₂	0,572357121	0,07937	0,313171
	C₂₃	0,448140475	0	0,448215		C₂₃	0,531329285	0	0,368364
	C₃₁	0,646330407	0	0,263808		C₃₁	0,646330407	0	0,263808
	C₃₂	0,482744692	0	0,4		C₃₂	0,232079442	0	0,669807
	C₃₃	0,232079442	0	0,669807		C₃₃	0,482744692	0	0,4
	C₄₁	0,232079442	0	0,669807		C₄₁	0,292401774	0	0,622024
	C₄₂	0,482744692	0	0,4		C₄₂	0,396850263	0,07937	0,475852
	C₄₃	0,646330407	0	0,263808		C₄₃	0,696238325	0	0,19948

4.1.2.3 Kriterlerin $(\widetilde{w}_j^{global})$ Değerlerinin Bulunması

Denklem 3.28 kullanılarak 4 farklı karar vericiye ait ikili karşılaştırma matrislerindeki lokal ağırlıklar $(\widetilde{w}_j^{local})$ birleştirilerek global ağırlıklar $(\widetilde{w}_j^{global})$ elde edilmiştir.

Tablo 4.25 Alt kriterlerin $(\widetilde{w}_j^{global})$ değerleri

	μ	I	V				
C₁	0,581939	0	0,311884				
C₂	0,434298	0	0,46175				
C₃	0,541937	0	0,352044				
C₄	0,264452	0	0,622237		μ	I	V
C₁₁	0,582872	0	0,318253	C₃₁	0,617532	0	0,279725
C₁₂	0,312845	0	0,583983	C₃₂	0,388618	0	0,498134
C₁₃	0,453633	0	0,444459	C₃₃	0,32855	0	0,564123
C₂₁	0,497124	0	0,38935	C₄₁	0,326449	0	0,569686
C₂₂	0,463722	0	0,419935	C₄₂	0,455179	0	0,431956
C₂₃	0,428173	0	0,462211	C₄₃	0,60822	0	0,288918

4.1.2.4 Kriterlerin ($\widetilde{w}_j^{final}$) Değerlerinin Bulunması

Denklem 3.25 kullanılarak alt kriterlere ait global ağırlıklar ($\widetilde{w}_j^{global}$) ile ana kriterlere ait global ağırlıklar ($\widetilde{w}_j^{global}$) çarpılarak kriterlerin ($\widetilde{w}_j^{final}$) değerleri elde edilmiştir. Bu değer nihai resim bulanık kriter ağırlıklarını ifade etmektedir.

Tablo 4.26 Alt kriterlerin ($\widetilde{w}_j^{final}$) değerleri

Alt Kriter	W(j) Final			Score	W(j) FİNAL
	μ	I	V		
C ₁₁	0,339196	0	0,530879	0,573756	0,131192
C ₁₂	0,182056	0	0,713732	0,32519	0,074356
C ₁₃	0,263987	0	0,617723	0,455125	0,104066
C ₂₁	0,2159	0	0,671317	0,380242	0,086944
C ₂₂	0,201394	0	0,68778	0,357504	0,081745
C ₂₃	0,185955	0	0,710535	0,330687	0,075613
C ₃₁	0,334663	0	0,533293	0,568017	0,129879
C ₃₂	0,210607	0	0,674813	0,3732	0,085334
C ₃₃	0,178053	0	0,717571	0,319268	0,073002
C ₄₁	0,08633	0	0,837443	0,167609	0,038324
C ₄₂	0,120373	0	0,785414	0,227666	0,052057
C ₄₃	0,160845	0	0,73138	0,295155	0,067488

Esas kriter ağırlıklarını elde etmek için Resim Bulanık puan operatörleri kullanılarak nihai resim bulanık kriter ağırlıkları kesin değerlerine (score) dönüştürülmüştür. Kesin değerler üzerinde normalizasyon yapılarak esas kriter ağırlıkları ($\widetilde{w}_j^{FINAL}$) elde edilmiştir.

4.2 TOPSIS

Elde edilen seçim kriter ağırlıkları kullanılarak alternatif lokasyonların sıralanması için TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Karar vericilerin önerileri doğrultusunda Bolu Belediyesi Ek Binası(A₁), İtfaiye(A₂), Ressam Mehmet Yücetürk Sanat Merkezi(A₃), Atatürk Orman Parkı(A₄) ve Bolu Belediyesi(A₅) alternatif lokasyonlar olarak belirlenmiştir. Seçim kriterlerine ilişkin verilerin bir kısmı Bolu Belediyesi'nden temin edilmiş, bir kısmı ise piyasa araştırması sonucunda elde edilmiştir. Bu veriler ile gerekli hesaplamalar yapılarak Tablo 4.26'da bulunan karar matrisi elde edilmiştir. Karar matrisinin en alt satırında ise her bir kriterin önem derecesini gösteren ağırlık değerleri verilmiştir. İlk sütununda ise lokasyon için en verimli olduğu tespit edilen sistem verilmiştir.

Tablo 4.27 TOPSIS karar matrisi

Sistem		C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃
GSS	A ₁	15.000	700	1,063	0,75	2.520.000	0	2.520.000	2.520.000	2	3	4	2
YSH	A ₂	37.000	700	8,194	0,052	806.354	0	0	2519	3	1	4	5
GSS	A ₃	13.000	600	1,612	0,75	1.440.000	0	1.440.000	1.440.000	2	2	4	3
YSH	A ₄	280.000	1000	35,828	0,152	1.395.575	0,2025	0	4361	4	4	3	5
GSS	A ₅	24.000	900	0,627	0,75	6.840.000	0	6.840.000	6.840.000	2	5	2	2
	W _j	0,13	0,07	0,10	0,09	0,08	0,08	0,13	0,09	0,07	0,04	0,05	0,07

Elde edilen karar matrisi ilk olarak Denklem 3.8 ve 3.9 kullanılarak normalize edilmiştir. Burada C₁₁, C₁₂, C₁₃ kriterleri maliyet kriteri iken diğer kriterler fayda kriteri olarak değerlendirilmektedir. Normalizasyon işlemi sonrasında Tablo 4.27'deki normalize edilmiş karar matrisi elde edilmiştir.

Tablo 4.28 Normalize edilmiş karar matrisi

NORMALİZE	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃
A ₁	0,05278975	0,394405319	0,028878739	0,57298538	0,3314429	0
A ₂	0,13021471	0,394405319	0,222608077	0,03972699	0,1060557	0
A ₃	0,04575111	0,338061702	0,043793534	0,57298538	0,1893959	0
A ₄	0,9854086	0,56343617	0,973346617	0,11612504	0,1835529	1
A ₅	0,08446359	0,507092553	0,017033837	0,57298538	0,8996307	0
	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃
A ₁	0,33915111	0,33915103	0,32879797	0,40451992	0,51214752	0,24433889
A ₂	0	0,00033902	0,49319696	0,13483997	0,51214752	0,61084722
A ₃	0,19380063	0,19380059	0,32879797	0,26967994	0,51214752	0,36650833
A ₄	0	0,00058692	0,65759595	0,53935989	0,38411064	0,61084722
A ₅	0,92055301	0,9205528	0,32879797	0,67419986	0,25607376	0,24433889

Normalleştirilmiş karar matrisi, kriter ağırlıkları (W_j) ile çarpılarak kriterlere ait ağırlıklandırılmış karar matrisi (V) elde edilmiştir.

Tablo 4.29 Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

AĞR. NORM.	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃
A ₁	0,00686267	0,027608372	0,002887874	0,05156868	0,0265154	0
A ₂	0,01692791	0,027608372	0,022260808	0,00357543	0,0084845	0
A ₃	0,00594764	0,023664319	0,004379353	0,05156868	0,0151517	0
A ₄	0,12810312	0,039440532	0,097334662	0,01045125	0,0146842	0,08
A ₅	0,01098027	0,035496479	0,001703384	0,05156868	0,0719705	0
	C31	C32	C33	C41	C42	C43
A ₁	0,04408964	0,03052359	0,02301586	0,0161808	0,02560738	0,01710372
A ₂	0	3,0511E-05	0,03452379	0,0053936	0,02560738	0,04275931
A ₃	0,02519408	0,01744205	0,02301586	0,0107872	0,02560738	0,02565558
A ₄	0	5,2823E-05	0,04603172	0,0215744	0,01920553	0,04275931
A ₅	0,11967189	0,08284975	0,02301586	0,02696799	0,01280369	0,01710372

Ağırlıklı normalize matris, Denklem 3.11 ve 3.12 kullanılarak pozitif (A*) ve negatif (A-) ideal çözümler bulunmuştur.

Tablo 4.29 Pozitif ve negatif ideal çözüm noktaları

	C11	C12	C13	C21	C22	C23
A*	0,00594764	0,023664319	0,001703384	0,05156868	0,0719705	0,08
A-	0,12810312	0,039440532	0,097334662	0,00357543	0,0084845	0
	C31	C32	C33	C41	C42	C43
A*	0,11967189	0,08284975	0,04603172	0,02696799	0,02560738	0,04275931
A-	0	3,0511E-05	0,02301586	0,0053936	0,01280369	0,01710372

Her bir alternatife ilişkin değerlerin pozitif ideal (Si*) ve negatif ideal (Si-) çözüm setinden uzaklıkları Denklem 3.13 ve 3.14 kullanılarak belirlenmiştir. Son olarak her bir alternatifin ideal çözümlere göreceli yakınlığı (Ci*), Denklem 3.15 kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 4.30'daki gibi sıralanmıştır.

Tablo 4.30 Alternatiflerin ideal çözümlere göreceli yakınlıkları

	Si +	Si -	Ci*	Rank
A ₁	0,1350517	0,17187767	0,559990964	2
A ₂	0,1872721	0,13816869	0,42455864	4
A ₃	0,1546733	0,16541888	0,516785063	3
A ₄	0,2248006	0,089311	0,284328885	5
A ₅	0,0889787	0,22551791	0,717075914	1

4.1’de bulunan kriter ağırlıkları ile beraber burada yapılan TOPSIS uygulaması sonucunda Tablo 4.30’daki sıralama elde edilmiştir. Yapılan uygulama sonucunda en iyi alternatif A₅(Bolu Belediyesi) seçilirken bu alternatifi sırası ile A₁(Bolu Belediyesi Ek Binası), A₃(RMY Sanat Merkezi), A₂(İtfaiye) ve A₄(Atatürk Orman Parkı) alternatifleri takip etmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere alternatif sistemlerin kullanımı ile maksimum verim elde edilebilecek lokasyon 0,71 göreceli yakınlık derecesi ile Bolu Belediye Binası’dır. Bunun yanı sıra diğer 4 alternatifi göreceli yakınlık değerleri incelendiğinde bu lokasyonlardan da verim elde edilebileceği ancak A₅ alternatifi kadar yüksek bir değere sahip olmadıkları görülmektedir.

4.3 MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA

Yapılan TOPSIS uygulaması sonucunda seçilen Bolu Belediye binasına kurulması planlanan Gri Su Arıtma Sistemi için uygun depo boyutunun belirlenmesi adına çalışmanın bu bölümünde bir karma tamsayılı programlama modeli kurulmuştur. Karma tamsayılı programlamanın seçilme nedeni problemde değişkenlerin bazılarının tamsayı olması gerektiği koşulu bulunurken bazı değişkenler için bu koşulun var olmayışıdır. Kurulan modelin amacı minimum toplam maliyetle inşa edilebilecek optimum depolama tankı boyutunun belirlenmesidir. Kurulan model GAMS Studio 39 paket programı yardımı ile çözülmüştür.

Matematiksel model aşağıdaki gibidir;

Problem

Aşağıdaki kısıtlayıcılar altında en düşük maliyetli su deposunun hacminin belirlenmesi.

- 1) Günlük su talebi karşılanmalıdır.
- 2) Şebeke suyunun 0,75’i geri kullanılabilir.

- 3) Deponun boyutu izin verilen sınırlardan büyük olamaz.
- 4) Maliyet, deponun hacmi ve günlük su talep miktarı ile ilişkilidir.

Göstergeler

Kurulan modelde tek gösterge kullanılmıştır. Planlama dönemi gün cinsinden değerlendirilmiştir. Planlama dönemini gösteren “t” 6000 gün uzunluğundadır. Sistemin kullanım ömrü 25 yıl olup, yılda 12 ay ve ayda 20 gün aktif kullanım yapıldığı varsayılmıştır.

Tablo 4.31 Matematiksel model göstergeler

t	Dönem	25 yıl * 12 ay * ayda 20 gün = 6000 gün
----------	-------	---

Parametreler

Kurulan model için 5 parametre girilmiştir. “j” deponun boyutundan bağımsız olan sabit maliyettir. “k” deponun m³ başına artan birim maliyetidir. “l_{max}” kurulabilecek olan en büyük depo hacmidir. “n” ise şebekeden satın alınan suyun m³ maliyetidir. “j”, “k”, “l_{max}” ve “n” yapılan piyasa araştırması sonucunda tespit edilmiştir. “d(t)” ise sistemin kullanılacağı yerin günlük su talebidir. Bu çalışmada günlük su talebi yapılan analizler sonucunda elde edilen ortalama sabit bir sayı olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.32 Matematiksel model parametreler

j	Depo sabit maliyeti	10.000 TL
k	Depo birim maliyeti	3.000 TL
n	Şebekeden su satınalma maliyeti	2,5 TL
l_{max}	Maksimum depo hacmi	100 m ³
d(t)	Günlük su talebi	38 m ³

Değişkenler

Kurulan modele ilişkin değişkenler ise “l_{cap}”, “c(t)”, “a(t)” ve “p(t)” olarak belirlenmiştir. “l_{cap}” kurulacak olan deponun hacmini, “c(t)” t döneminde şebekeden satın alınacak su miktarını, “a(t)” t dönemi sonunda depoda kalan su miktarını ve “p(t)” t döneminde depodan kullanılan su miktarını temsil etmektedir.

Tablo 4.33 Matematiksel model değişkenler

lcap	Depo hacmi
c(t)	t döneminde satın alınan su miktarı
a(t)	t dönemin sonunda depoda bulunan su miktarı
p(t)	t döneminde depodan kullanılan su miktarı

Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonu depo maliyeti ve su satın alma maliyeti olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Depo maliyeti, depo hacminin depo birim maliyeti ile çarpımına depo sabit maliyetinin eklenmesiyle bulunmaktadır. Toplam su satın alma maliyeti ise planlama ufku boyunca satın alınan toplam su miktarının şebekeden su satın alma maliyeti ile çarpılması ile bulunmaktadır. Kurulan modelin amacı bu iki maliyetin toplamını minimum tutacak depo hacminin belirlenmesidir.

$$\min z = \underbrace{j + k \times lcap}_{\text{Depo maliyeti}} + \underbrace{\sum_t c(t) \times n}_{\text{Toplam su satın alma maliyeti}} \quad (4.1)$$

Kısıtlar

- Günlük su talebi karşılanabilmelidir.

$$p(t) + c(t) \geq d(t) \quad (4.2)$$

- Şebeke suyunun 0,75'i geri kullanılabilir. Şebeke suyunun 0,75'i geri kullanılabilir.

t dönemi sonunda depodaki su miktarı, bir önceki dönem sonunda depoda bulunan su miktarına o dönemde satın alınan şebeke suyunun %75'inin eklenmesinden o dönem depodan harcanan su miktarının düşülmesiyle elde edilir.

$$a(t) = a(t - 1) - p(t) + 0,75c(t) \quad (4.3)$$

- Deponun boyutu izin verilen sınırlardan büyük olamaz.

$$lcap \leq lmax \quad (4.4)$$

- Depoda bulunan su miktarı deponun kapasitesinden büyük olamaz.

$$a(t) \leq lcap \quad (4.5)$$

- t anında depodan kullanılan su miktarı, t anında depoda bulunan su miktarından fazla olamaz.

$$a(t - 1) + 0,75c(t) \leq p(t) \quad (4.6)$$

Geliştirilen karma tamsayılı programlama modeli için GAMS Studio 39 optimizasyon programı ve Intel(R) Core(TM) i7-7500U CPU @ 2.70GHz 2.90 GHz işlemci özelliklerine sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Kurulan model 0,242 saniyede optimal çözüme ulaşmıştır.

Tablo 4.34'te $c(t)$, $a(t)$ ve $p(t)$ değişkenlerinin sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.34 Matematiksel model değişken değerleri

Dönem	$c(t)$	$a(t)$	$p(t)$
1	24 m ³	3 m ³	15 m ³
2	20 m ³	3 m ³	18 m ³
3	24 m ³	3 m ³	15 m ³
4	20 m ³	3 m ³	18 m ³
5	24 m ³	3 m ³	15 m ³
6	20 m ³	3 m ³	18 m ³
7	24 m ³	3 m ³	15 m ³
8	20 m ³	3 m ³	18 m ³
....			
5999	24 m ³	3 m ³	15 m ³
6000	20 m ³	3 m ³	18 m ³

Tablo 4.34 incelendiğinde $a(t)$ her dönem sabit olarak 3 m³ çıkmıştır. Yani dönem sonunda depoda kalan su miktarı her dönem eşit seviyededir. $c(t)$ ve $p(t)$ 'nin ise sıralı olarak 2 farklı şekilde değer aldığı görülmektedir. $c(t)$ ve $p(t)$ toplamı her dönem sabittir. Bu toplamın her dönem sabit olması talebin birebir karşılandığını göstermektedir.

Modelin amaç fonksiyonu değeri (minimum toplam maliyet) 334.000 TL olarak bulunmuştur. Bu değeri veren optimum depolama tankı boyutu "lcap" ise 18 m³ olarak bulunmuştur.

Sürekli bir döngü içerisinde kendisini yenileyebilen bir kaynak olmasına rağmen, kaynakların bilinçsiz kullanımı, kentleşme ve nüfus artışı gibi sebeplerden dolayı su kıtlığı günümüz popüler sorunları arasında bulunmaktadır. Ülkemizin de giderek su fakiri olma yolunda ilerlediği bu dönemde su tasarrufu konusu önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada ekolojik, sosyolojik ve ekonomik açıdan faydalı olduğu kanıtlanmış olan Yağmur Suyu Hasadı ve Gri Su Arıtma Sistemleri incelenmiştir.

Hem resmi/özel kurum ve kuruluşlar hem de halk için doğal döngülere olan farkındalığın artırılması, şebeke suyuna olan ihtiyacın azalması, yüksek verimlilikte bedelsiz suya sahip olmak, daha az enerji ve kimyasal kullanımı sağlamak, doğal su kaynaklarının korunmasına yardımcı olmak ve yerinde arıtma yaparak kanalizasyona verilen yağmur suyu ve atık suların yüksek maliyetlerde arıtıldığı tesislerin işlem hacmini düşürmek amaçlanmıştır.

Çalışmanın öncelikli amaçlarından biri olan farkındalık artırma gereksinimi sebebi ile Bolu ili kamusal alanları uygulama bölgesi olarak seçilmiştir. Kamusal alanlarda ilgili sistemlerin kullanımın yaygınlaştırılmasının halka yönelik örnek teşkil edecek olması ile beraber zaman içerisinde “yeşil bina”ların artması ile su kıtlığı sorununun bir nebze de olsa önüne geçilebileceği öngörülmüştür.

Ancak tüm kamusal alanlarda tek seferde bilinçsizce Yağmur Suyu Hasadı veya Gri Su Arıtma Sistemlerinin kullanıma geçilmesi ekonomik açıdan optimum olmayacaktır. Bu sebeple literatür taraması sonucunda belirlenen seçim kriterleri dikkate alınarak çalışmanın ilk adımında kamusal alanlar arasında bir önceliklendirme yapılmıştır. Bu önceliklendirme için Bulanık Kümeler ve Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden faydalanılmıştır. Uygulama sonucunda 0,72 göreceli yakınlık derecesi ile Bolu Belediye Binası uygulama noktası olarak seçilmiş ve kullanılacak sistem Gri Su Arıtma Sistemi olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci adımında ise kurulacak sistemin depo boyutunun belirlenmesi için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Depo boyutu optimizasyonu sistemin ekonomik

faıdası açısından önem teşkil etmektedir. Gereğinden bk bir depo, yatırım maliyetini artırmakta ve oluşabilecek rmelerden dolayı sistem ömrünü azaltabilmektedir. Buna karşın gereğinden küçük bir depo ise taşma söz konusu olabileceğinden bakım maliyetini artırabilmektedir. Geliştirilen model sonucunda optimum depo boyutu 18m³ olarak bulunmuştur.

Çalışmada nerilen sistemlerin kullanım ömrü ortalama 25 yıldır. Önerilen modelin sonuçlarına göre 18 m³lk bir depoya sahip bir Gri Su Arıtma Sistemi kurulduğu taktirde 25 yılın sonunda minimum toplam su tüketim maliyetinin 334.000 TL olacağı tespit edilmiştir. Buna karşılık mevcut durum dikkate alındığında 25 yıl boyunca yalnızca şebekeden su kullanmanın toplam maliyeti ise 570.000 TL olmaktadır. Bu sonuç dikkate alındığında sistemin kurulumu ekonomik açıdan elverişli olmaktadır. Ekolojik açıdan bakıldığında ise bahsi geçen sistemlerin kullanımının gereği zaten aşıkardır.

Çalışma sonucunda Bolu Belediye Binasında Gri Su Arıtma Sistemlerinin kullanılması ile planlama ufku olan 25 yılın sonunda 236.000 TL maddi tasarruf sağlanabileceği ve 132.000 m³ suyun geri dönüştürülüp yeniden kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle konuyla ilgili farkındalık artırılmaya çalışılmıştır. Bu sebeple kullanılan metodoloji ve geliştirilen model kullanılarak farklı bölgelerde de Yağmur Suyu Hasadı ve Gri Su Arıtma Sistemlerinin kullanıma ilişkin analizler yapılabilir. Yapılacak analizlerde bu çalışmadan farklı olarak aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir;

- Yer seçimi yapılırken sabit lokasyonları değerlendirmek yerine CBS'den (Coğrafi Bilgi Sistemleri) yararlanılabilir.
- Günlük su talebi sabit varsayılmak yerine, talep tahmin yöntemlerinden faydalanarak modele bir veri seti girilebilir.
- t zamanı kesikli olarak değerlendirilmek yerine model sürekli bir analiz yapacak şekilde güncellenebilir.

- [1] Yousefi M., Ghoochani M., Mahvi A.H., 2018, "Health Risk Assessment To Fluoride In Drinking Water Of Rural Residents Living In The Poldasht City Northwest Of Iran", *Ecotoxicol Environment Safety*, 148, 426-430.
- [2] Mengü G., Akkuzu E., 2008, "Küresel Su Krizi ve Su Hasadı Teknikleri", *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(2), 75-85.
- [3] Uzunoğlu H., Boran G., 2009, "Dünya Su Forumunun Ardından", *İzmir Ticaret Odası AR-GE Bülten Sektörel*, 11.
- [4] Stoeglehner G., Edwards P., Daniels P., Narodoslowsky M., 2011, "The Water Supply Footprint (WSF): A Strategic Planning Tool For Sustainable Regional And Local Water Supplies", *J. Clean. Prod.*, 19(15), 1677-1686.
- [5] Konukçu F., İstanbulluoğlu A., Kocaman G., 2007, "Küresel Su Krizi, Geleceği Ve Alınacak Önlemler: Yenilenemeyen Su Kaynaklarının Opsiyonu", *TİKDEK İSTANBUL*, 436.
- [6] Öktem A.U., Akdoy A., 2014, "Türkiye'nin Su Riskleri Raporu", WWF-Türkiye, Erişim Adresi: <https://www.wwf.org.tr/?4180>
- [7] Awange J., Hu K., Khaki M., 2019, "The Newly Merged Satellite Remotely Sensed, Gauge And Reanalysis-Based Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation: Evaluation Over Australia And Africa", *Sci. Total Environ*, 670, 448-465.
- [8] WWF-Türkiye, 2020, "Yağmur Suyu Hasadı", Erişim Adresi: https://www.wwf.org.tr/basin_bultenleri/raporlar/?10340/Su-Dongusunu-Iylestirmek-Icn-Yagmur-Suyu-Hasadi
- [9] Örs G., Safi S., Ünlükara A., Yürekli K., 2011, "Su Hasadı Teknikleri Yapıları ve Etkileri", *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 67-70.
- [10] İncebel C., 2012, "Alternatif Su Kaynaklarının Endüstriyel Kullanıma Kazandırılması İçin Çatı Yağmur Hasadı", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- [11] Alim M.A., Rahman A., Tao Z., Samali B., Khan M.M., Shirin S., 2020, "Suitability Of Roof Harvested Rainwater For Potential Potable Water Production: A Scoping Review", *J. Clean. Prod*, 248.

- [12] Herrmann T., Schmida U., 2000, "Rainwater Utilisation In Germany: Efficiency, Dimensioning, Hydraulic and Environmental Aspects", *Urban Water*, 1(4), 307-316.
- [13] Eren B., Aygün A., Likos S., Damar A.İ., 2016, "Yağmur Suyu Hasadı: Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüs Örneği", In 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science.
- [14] Eren B., Aygün A., Likos S., Damar A. İ., 2016, "Yağmursuyu Hasadı: Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü Potansiyelinin Değerlendirilmesi", *International Journal of Engineering and Technology Research*, 1(1), 1-5.
- [15] Nations U., 2019, "World Urbanization Prospects: the 2018 Revision", United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York.
- [16] Rashidi Mehrabadi M.H., Saghafian B., Sadeghian M.S., 2012, "Rainwater Harvesting In Residential Buildings For Meeting Non-Potable Water Demand In Developing Countries: A Case Study In Qazvin, Iran", *World Environmental and Water Resources Congress*, 495-502.
- [17] Himat M.A., 2018, "Çatılardan Yağmur Suyu Hasat Potansiyelinin İl Bazında Değerlendirilmesi", *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- [18] Aziz F., Farissi M., 2014, "Reuse of Treated Wastewater in Agriculture: Solving Water Deficit Problems in Arid Areas", *Annals of West University of Timişoara ser. Biology*, 17(2), 95-110.
- [19] Katip A., 2018, "Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanım Alanlarının Değerlendirilmesi", *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 541-557.
- [20] Kellagher R., Maneiro F.E., 2005, "Rainfall Collection And Use In Developments; Benefits For Yield And Stormwater Control", *WAND Briefing Note 19*, UK.
- [21] Karahan A., 2011, "Gri Suyun Değerlendirilmesi", *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 1155- 1164.
- [22] Li Z., Boyle F., Reynolds A., 2010, "Rainwater Harvesting And Greywater Treatment Systems For Domestic Application In Ireland", *Desalination*, 260, 1-8.
- [23] Doğangönül Ö., Doğangönül C., 2006, "Küçük ve Orta Ölçekli Yağmur suyu Kullanımı", *Teknik Yayınevi*, Ankara-Türkiye.
- [24] Gurung T.R., Sharma A., Shivanita U., 2012, "Economics of Scale Analysis of Communal Rainwater Tanks", *Urban Water Security Research Alliance*.

- [25] Anderson J., Baggett S., Jeffrey P., Mcpherson L., Marks J., Rosenblum E., 2008, "Public Acceptance of Water Reuse, In: Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs", IWA Publishing, London-UK.
- [26] Hajjar H., Kılınç İ. K., Ülker E., 2020, "Rainwater Harvesting Potential in Public Buildings: A Case Study in Katip Celebi University", Tr. Doğa ve Fen Derg., 9,167-172.
- [27] Wikipedia, "Yağmur Suyu Hasadı", Erişim Adresi:
https://tr.wikipedia.org/wiki/Ya%C4%9Fmur_suyu_hasad%C4%B1
- [28] Şimşek İ., 2020, "Temiz Suyun Aktif Kullanımını Sağlayan Yağmur Bahçeleri". PeyzaX.
- [29] Mays L., Antoniou G., Angelakis A., 2013, "History of water cisterns: Legacies and lessons", Water. 5(4), 1916-1940.
- [30] "Rain water Harvesting", Tamil Nadu State Government-India, 2012.
- [31] "Believes in past, lives in future",The Hindu-India, 2010.
- [32] Kamash Z., 2010, "Archaeologies of Water in the Roman Near East", Gorgias Press
- [33] "Water Supply Systems: Cisterns, Reservoirs, Aqueducts | Roman Building Technology and Architecture, University of California Santa Barbara", 2019, Arch Serve.
- [34] [Url4] Bozkurt N., Çobanoğlu A.V., Karakaya E., "Sarnıç", Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi, Erişim Adresi: <https://islamansiklopedisi.org.tr/sarnic>
- [35] Konyalı İ.H., 1946, "Alanya(Alaiyye)", Ayaydın Basımevi.
- [36] Kılıç B., 2020, "Yağmur Suyu Hasadı Nedir", PlumeMag, Erişim Adresi:
<https://www.plumemag.com/yagmur-suyu-hasadi-nedir/>
- [37] Tema Vakfı, "Yağmur Hasadı", Erişim Adresi:
<https://sutema.org/gelecegin-suyu/yagmur-hasadi.20.aspx>
- [38] Kütük D., Yüceer S.N., 2020, "Binalarda Gri Su Arıtılması", Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 39(7).
- [39] Rotatek, "Gri Su Arıtma Sistemleri", Erişim Adresi:
<https://www.rotatek.com.tr/gri-su-aritim-sistemleri.html>
- [40] Aktif Çevre ve Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, "Gri Su geri Kazanım Sistemleri", Erişim Adresi: <http://www.aktifcevre.com.tr/urunlerdetay/gri-su-geri-kazanim>

- [41] Eurosan, "Gri Su Aritma Sistemleri", Erişim Adresi:
<https://eurosan.com.tr/gri-su-aritma-sistemleri/>
- [42] Gould J., Nissen-Petersen E., 1999, "Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply: Design, Construction and Implementation", Intermediate Technology Publications, London-UK.
- [43] Ghisi E., Bressan D.L., Martini M., 2007, "Rainwater Tank Capacity And Potential For Potable Water Savings By Using Rainwater In The Residential Sector Of Southeastern Brazil", Building and Environment, 42, 1654-1666.
- [44] Kim K., Yoo C., 2009, "Hydrological Modeling and Evaluation of Rainwater Harvesting Facilities: Case Study on Several Rainwater Harvesting Facilities in Korea", JOURNAL OF HYDROLOGIC ENGINEERING, 14(6), 545-561.
- [45] Guo Y., Baetz B.W., 2007, "Sizing of Rainwater Storage Units for Green Building Applications", JOURNAL OF HYDROLOGIC ENGINEERING, 12(2), 197-205.
- [46] Abdulla F.A., Al-Shareef A.W., 2009, "Roof Rainwater Harvesting Systems For Household Water Supply In Jordan", Desalination, 243, 195-207.
- [47] Chiu Y., Liaw C., Chen L., 2009, "Optimizing Rainwater Harvesting Systems As An Innovative Approach To Saving Energy In Hilly Communities", Renewable Energy, 34, 492-498.
- [48] Kantaroğlu Ö., 2009, "Yağmur Suyu Hasadı Plan Ve Hesaplama Prensipleri", IX. ULUSAL TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ, 1147-1151.
- [49] Hanson L.S., Vogel R.M., Kirshen P., Shanahan P., 2009, "Generalized Storage-Reliability-Yield Equations For Rainwater Harvesting Systems", World Environmental and Water Resources Congress, 1172-1181.
- [50] Campisano A., Modica C., 2012, "Optimal Sizing Of Storage Tanks For Domestic Rainwater Harvesting In Sicily", Resources, Conservation and Recycling, 63, 9-16.
- [51] Campisano A., Cutore P., Modica C., 2013, "Performance Of Domestic Rainwater Harvesting Systems At Regional Scale", World Environmental and Water Resources Congress, 280-289.
- [52] Santos C., Taveira-Pinto F., 2013, "Analysis Of Different Criteria To Size Rainwater Storage Tanks Using Detailed Methods", Resources, Conservation and Recycling, 71, 1-6.

- [53] Hashim H., Hudzori A., Yusop Z., Ho W.S., 2013, "Simulation Based Programming For Optimization Of Large-Scale Rainwater Harvesting System: Malaysia Case Study", *Resources, Conservation and Recycling*, 80, 1-9.
- [54] Rojas-Torres M.G., Napoles-Rivera F., Ponce-Ortega J.M., Serna-Gonzalez M., Guillen-Gosalbez G., Jimenez-Esteller L., 2015, "Multiobjective Optimization for Designing and Operating More Sustainable Water Management Systems for a City in Mexico", *AIChE Journal*, 2428-2446.
- [55] Okoye C.O., Solyalı O., Akıntuğ B., 2015, "Optimal Sizing Of Storage Tanks In Domestic Rainwater Harvesting Systems: A Linear Programming Approach", *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 131-140.
- [56] Malinowski P.A, Stilwell A.S., Wu J.S., Schwarz P.M., 2015, "Energy-Water Nexus: Potential Energy Savings and Implications for Sustainable Integrated Water Management in Urban Areas from Rainwater Harvesting and Gray-Water Reuse", *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 141(12).
- [57] Zhang S., Jing X., 2016, "Hydrologic Design and Economic Benefit Analysis of Rainwater Harvesting Systems in Shanghai, China", *International Low Impact Development Conference China*, 381-389.
- [58] Nasif M.S., Kumar G.A., Roslan R., 2016, "An Effective Optimization of Rainwater Harvesting System in Hotel and Hospital Buildings", *Malaysia*.
- [59] Özölçer İ.H., 2016, "Rainwater Harvesting Analysis for Bülent Ecevit University Central Campus", *Karaelmas Fen ve Müh. Derg.*, 6(1), 22-34.
- [60] Soydan O., Benliay A., 2016, "Rainwater Harvesting for Urban Ecology: Mustafa Uysal Park Case", *Toprak Su Dergisi*, 5(1), 47-54.
- [61] Dala Ali A.R., 2016, "Rooftop Rainwater Harvesting As An Additional Water Supply Source: Case Study The Büyükçekmece Campus, Fatih University", *FATİH UNIVERSITY*.
- [62] Kumar K.R., Kulgod S.P., 2016, "Simulation and Analysis of Energy Harvesting from Grey water and Rain water in High rises", *ICEETS 2016*, 856-861.
- [63] Sweeney J.F., Pate M.B., 2017, "Lifecycle Analysis of a Single-Family Residential Rainwater Harvesting System in a Subtropical, Metropolitan Environment", *J. Sustainable Water Built Environ.*, 3(4).

- [64] Geraldi M.S., Ghisi E., 2017, "Influence Of The Length Of Rainfall Time Series On Rainwater Harvesting Systems: A Case Study In Berlin", *Resources, Conservation & Recycling*, 125, 169-180.
- [65] Surakhi O.M., Sharieh A.S., 2017, "Rooftop Rainwater Harvesting System in Amman City", *IT-DREPS Conference*, Amman, Jordan, 6-8.
- [66] Singh L.K., Jha M.K., Chowdary V.M., 2017, "Multi-Criteria Analysis And GIS Modeling For Identifying Prospective Water Harvesting And Artificial Recharge Sites For Sustainable Water Supply", *Journal of Cleaner Production*, 142, 1436-1456.
- [67] Fonseca C.R., Hidalgo V., Diaz-Delgado C., Vilchis-Frances A., Gallego I., 2017, "Design Of Optimal Tank Size For Rainwater Harvesting Systems Through Use Of A Web Application And Geo-Referenced Rainfall Patterns", *Journal of Cleaner Production*, 145, 323-335.
- [68] Aybuga K., Işıldar Y., 2017, "Ankara İçin Yağmur Suyu Hasadı ve Gri Suyun Yeniden Kullanım Potansiyelini Değerlendirme", *Sigma Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 209-216.
- [69] Kutlu S., Şentürk İ., Büyükgüngör H., 2017, "Alanya İlçesinde Seçilen Pilot Bölge İçin Gri Su Potansiyelinin Belirlenmesi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 580-589.
- [70] Kılıç M.Y., Abuş M.N., 2018, "Bahçeli Bir Konut Örneğinde Yağmur Suyu Hasadı", *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi (UTYHBD)*, 4(2), 209 – 215.
- [71] Yalçınalp E., Öztürk A., Bayrak D., 2018, "Konut Ölçeğinde Gri Su ve Yeşil Çatı Sistemlerinin Ekonomik Etkileri", *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(1), 71-80.
- [72] Sultana R., Baconawa M., 2019, "Performance Analysis of Rainwater Tanks at California State University Long Beach", *World Environmental and Water Resources Congress*, 7-13.
- [73] Saphioğlu K., Küçükerdem T.S., Şenel F.A., 2019, "Determining Rainwater Harvesting Storage Capacity with Particle Swarm Optimization", *Water Resource Management*, 33, 4749-4766.
- [74] Semaan M., Day S.D., Garvin M., Ramakrishnan N., Pearce A., 2020, "Optimal Sizing Of Rainwater Harvesting Systems For Domestic Water Usages: A Systematic Literature Review", *Resources, Conservation & Recycling*.

- [75] Dijk S.V., Lounsbury A.W., Hoekstra A.Y., Wang R., 2020, "Strategic Design And Finance Of Rainwater Harvesting To Cost-Effectively Meet Large-Scale Urban Water Infrastructure Needs", *Water Research*, 184.
- [76] Alim M.A., Rahman A., Tao Z., Samali B., Khan M.M., Shirin S., 2020, "Feasibility Analysis Of A Small-Scale Rainwater Harvesting System For Drinking Water Production At Werrington, New South Wales, Australia", *Journal of Cleaner Production*, 270.
- [77] Amos C.C., Ahmed A., Rahman A., 2020, "Sustainability In Water Provision In Rural Communities: The Feasibility Of A Village Scale Rainwater Harvesting Scheme", *Water Resources Management*, 34, 4633–4647.
- [78] Üstün G.E., Can T., Küçük G., 2020, "Binalarda Yağmur Suyu Hasadı", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1593-1610.
- [79] Vanderweyen L., Zhang X.Y., Zasmolin V., 2020, "Emergency Rainwater Harvesting, Water Storage, and Distribution System for an Affordable Housing Development in Barbados", *McGill Science Undergraduate Research Journal*, 58-65.
- [80] Toosi A.S., Tousi E.G., Ghassemi S.A., Cheshomi A., Alaghmand S., 2020, "A Multi-Criteria Decision Analysis Approach Towards Efficient Rainwater Harvesting", *Journal of Hydrology*, 582.
- [81] Nguyen X.C., Nguyen T.T.H., Bui X.T., Tran X.V., Tran T.C.P., Hoang N.T.H., La D.D., Chang S.W., Ngo H.H., Nguyen D.D., 2020, "Status Of Water Use And Potential Of Rainwater Harvesting For Replacing Centralized Supply System In Remote Mountainous Areas: A Case Study", *Environmental Science and Pollution Research*.
- [82] Kütük D., Yüceer S.N., 2020, "Binalarda Gri Su Arıtılması", *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 39(7).
- [83] Mutlu-Köse B., 2021, "Çok Katlı Binalarda Gri Suyun Yerinde Arıtılması ile Yeniden Kullanılmasının Fizibilitesi: İstanbul'da Bir Kentsel Dönüşüm Projesi Örneği", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(67), 81-91.
- [84] Kim J.E., Teh E.X., Humphrey D., Hofman J., 2021, "Optimal Storage Sizing For Indoor Arena Rainwater Harvesting: Hydraulic Simulation And Economic Assessment", *Journal of Environmental Management*, 280.
- [85] Leonard D., Trinidad S.G., 2021, "Effect of Rainwater Harvesting on Residential Water Use: Empirical Case Study", *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 147(4).

- [86] Dallman S., Chaudhry A.M., Muleta M.K., Lee J., 2021, "Is Rainwater Harvesting Worthwhile? A Benefit–Cost Analysis", *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 147(4).
- [87] Ersöz F., Kabak M., 2010, "Savunma Sanayi Uygulamalarında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Literatür Araştırması", *Savunma Bilimleri Dergisi*, 9(1), 97-125.
- [88] Arslankaya S., Göraltay K., 2019, "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinde Güncel Yaklaşımlar", IKSAD Yayınevi.
- [89] Özden Ü.H., Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Ders Notları, İstanbul Ticaret Üniversitesi.
- [90] Menteş A., 2000, "Manevra ve Sevk Sistemi Seçiminde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme", İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [91] Karakaşoğlu N., 2008, "Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama", Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [92] Kaya İ., Karaşan A., 2020, "Çok Kriterli Karar Verme", Umuttepe Yayınları.
- [93] Laarhoven V., Pedrycz W., 1983, "A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory", *Fuzzy Sets and Systems*, 11(1-3), 229-241.
- [94] Sadiq R., Tesfamariam S., 2009, "Environmental decision-making under uncertainty using intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process (IF-AHP)", *Stoch Env. Res. Risk. Assesm.*, 23, 75-91.
- [95] Abdullah L., Najib L., 2016, "A new preference scale MCDM method based on interval-valued intuitionistic fuzzy sets and the analytic hierarchy process", *Soft Compt.*, 20, 511-523.
- [96] Liang W., Zhao G., Luo S., 2018, "An Integrated EDAS-ELECTRE Method With Picture Fuzzy Information for Cleaner Production Evaluation in Gold Mines", *IEEE Access*, 6, 65747-65759.
- [97] Wang L., Zhang H., Wang J., Li L., 2018, "Picture fuzzy normalized projection-based VIKOR method for the risk evaluation of construction project", *Applied Soft Computing*, 64, 216-226.
- [98] Zhang X., Wang X., Yu S., Wang J., Wang T., 2018, "Location selection of offshore wind power station by consensus decision framework using picture fuzzy modelling", *Journal of Cleaner Production*, 202, 980-992.
- [99] Ju Y., Ju D., Gonzales E.D.R.S., Giannakis M., Wang A., 2019, "Study of site selection of electric vehicle charging station based on extended GRP method under picture fuzzy environment", *Computers & Industrial Engineering*, 135, 1271-1285.

- [100] Meksevang P., Shi H., Lin S.M., Liu H.C., 2019, " An Extended Picture Fuzzy VIKOR Approach for Sustainable Supplier Management and Its Application in the Beef Industry", *Symmetry*, 11(4), 468.
- [101] Zhang S., Wei G., Gao H., Wei C., Wei Y., 2019, "EDAS method for multiple criteria group decision making with picture fuzzy information and its application to green suppliers selections", *Technological and Economic Development of Economy* , 25 (6), 1123-1138.
- [102] Torun H., Gördebil M., 2020, ""Genişletilmiş Bulanık Kümelerle TOPSIS Yöntemine Dayalı Çok Kriterli Karar Verme" İçinde: Kahraman C., Çebi S., Çevik Onar S., Öztaysı B., Tolga A., Sarı İ., "Büyük Veri Analitiği ve Karar Vermede Akıllı ve Bulanık Teknikler"", *INFUS, Akıllı Sistemlerde ve Hesaplamada Gelişmeler*, 1029.
- [103] Peng J., Tian C., Zhang W., Zhang S., Wang J., 2020, "An integrated multi-criteria decision-making framework for sustainable supplier selection under picture fuzzy environment", *Technological and Economic Development of Economy* , 26 (3), 573-598.
- [104] Wang L., Wang X., Peng J., Wang J., 2020, "The differences in hotel selection among various types of travellers: A comparative analysis with a useful bounded rationality behavioural decision support model", *Tourism Management*, 76.
- [105] Yue C., 2020, "Picture fuzzy normalized projection and extended VIKOR approach to software reliability assessment", *Applied Soft Computing*, 88.
- [106] Simic V., Karagöz S., Deveci M., Aydın N., 2021, "Picture fuzzy extension of the CODAS method for multi-criteria vehicle shredding facility location", *Expert Systems with Applications*, 175.
- [107] Gündoğdu F.K., Duleba S., Moslem S., Aydın S., 2021, "Evaluating public transport service quality using picture fuzzy analytic hierarchy process and linear assignment model", *Applied Soft Computing*, 100.
- [108] Tian C., Peng J., Zhang S., Wang J., Goh M., 2021, "A sustainability evaluation framework for WET-PPP projects based on a picture fuzzy similarity-based VIKOR method", *Journal of Cleaner Production*, 289.
- [109] Simic V., Lazarevic D., Dobrodolac M., 2021, "Picture Fuzzy WASPAS Method for Selecting Last-Mile Delivery Mode: A Case Study of Belgrade", *Euro. Transp. Research Rev.*, 13(43).

- [110] Karaman B., Çerçioğlu H., 2015, "0-1 Hedef Programlama Destekli Bütünleşik AHP-VIKOR Yöntemi: Hastane Yatırımı Projeleri Seçimi", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(4), 567-576.
- [111] Triantaphyllou E., Mann S.H., 1995, "Using the Analytic Hierarchy Process for Decision Making in Engineering Applications: Some Challenges", Inter'l Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice, 2(1), 35-44.
- [112] Pınar A., 2020, "Q Seviyeli Bulanık Küme Temelli Tedarikçi Performans Değerlendirmesi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [113] Chen S.J., Hwang C.L., 1992, "Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods. In Fuzzy multi attribute decision making, lecture notes in economics and mathematical system series", 375, Springer-Verlag, New York.
- [114] Yoon K.P., Hwang C.L., 1995, "Multiple Atribute Decision Making: An Introduction", Sage Publications, 104.
- [115] Opricovic S., Tzeng G.H., 2004, "Compromise Solution by MCDM Methods: A Survey and Consolidated Approach", RAND Memorandum, RM-4823-ARPA.
- [116] Karadoğan A., Başçetin A., Kahriman A., Görgün S., 2001, "Bulanık Küme Teorisinin Yeraltı Üretim Yöntemi Seçiminde Kullanılabilirliği", Türkiye 17. Modern Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, 95-102.
- [117] Zadeh L.A., 1965, "Fuzzy Sets", Information Control, 8(3), 338-353.
- [118] Atanassov K., 1999, "Intuitionistic Fuzzy Sets", Studies in Fuzzy and Soft Computing, 35.
- [119] Atanassov K., 1986, "Intuitionistic Fuzzy Sets", Fuzzy Sets and Systems, 20(1), 87-96.
- [120] Gündoğdu F.K., Duleba S., Moslem S., Aydın S., 2021, "Evaluating Public Transport Service Quality Using Picture Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Linear Assignment Model", Applied Soft Computing Journal, 100.
- [121] Meksavang P., Shi H., Lin S.M., Liu H.C., 2019, "An Extended Picture Fuzzy VIKOR Approach for Sustainable Supplier Management and Its Application in the Beef Industry", Symmetry, 11(4), 468.
- [122] Ankara Üniversitesi, "Doğrusal Programlama Ders Notları", Erişim Adresi: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/142219/mod_resource/content/0/1.DP%20ye%20Giris.pdf

- [123] Vikipedi Özgür Ansiklopedi, “Doğrusal Programlama”, Erişim Adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Do%C4%9Frusal_programlama
- [124] Ergülen A., 2004, “ÜRÜNLERİN DAĞITIM PROBLEMLERİNDE TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ: TÜRK FİRMASI ÖRNEĞİ”, Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi , 6(1), 23-46.
- [125] Nápoles-Rivera F., Ponce-Ortega J.M., El-Halwagi M.M., Jiménez-Gutiérrez A., 2010, “Global optimization of mass and property integration networks with in-plant property interceptors”, Chemical Engineering Science, 65(15), 4363-4377 .
- [126] Liu S., Konstantopoulou F., Gikas P., Papageorgiou L.G., 2011, “A mixed integer optimisation approach for integrated water resources management”, Computers & Chemical Engineering, 35(5), 858-875.
- [127] Bocanegra-Martínez A., Ponce-Ortega J.M., Nápoles-Rivera F., Serna-González M., Castro-Montoya A.J., El-Halwagi M.M., 2014, “Optimal design of rainwater collecting systems for domestic use into a residential development”, Resources, Conservation and Recycling, 84, 44-56.
- [128] Elmas G., 2021, “Tam Sayılı Doğrusal Programlama ile Araba Terminallerinde Kapasite Analizi: Bir ArabaTerminalinde Uygulama”, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , 23, 322-329.
- [129] Deste M. & Karabulut M., 2021, “DOĞRUSAL PROGRAMLAMA TEKNİĞİYLE ÜRETİM PLANLAMA YAKLAŞIMI VE TEKSTİL SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA”, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 26(3), 247-258.
- [130] Öztürk G. & Aksoy H.K., 2021, "Doğrusal Fiziki Programlama Yaklaşımı ile Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Optimizasyonu", İstatistik ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, 2(2), 14-28.
- [131] Akay M. & Kundakcı N., 2021, “ÇKKV ve Tamsayılı Programlama Yöntemleri ile Bir İşletmesinde Uzaktan Çalışma Modelinin Üretimulması”, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi, 24(2), 548-568.
- [132] An J., Mikhaylov A., Jung S., 2021, “A Linear Programming approach for robust network revenue management in the airline industry”, Journal of Air Transport Management, 91.

- [133] Cosic A., Stadler M., Mansoor M., Zellinger M., 2021, "Mixed-integer linear programming based optimization strategies for renewable energy communities", *Energy*, 237.



```
t donem /1*6000/;
scalar j depo sabit maliyeti /10000/;
scalar k depo birim maliyeti /3000/;
scalar lmax maksimum depo boyutu /100/;
scalar n su satinalma maliyeti /2.5/;
scalar d gunluk su talebi /38/;
variables lcap depo hacmi
c(t) t doneminde satin alinan su
a(t) t doneminde depoda bulunan su
p(t) t doneminde depodan kullanılan su
z amac fonksiyonu;
integer variables lcap, c(t), a(t), p(t);
equations
amacf
k1
k2
k21
k3
k4
k41
k5
```

```

k51;

amacf.. z=e+j+(k*lcap)+(sum((t),c(t))*n);

k1(t).. p(t)+c(t)=g=d;

k2(t)$(ord(t) ge 2).. a(t)=e=a(t-1)-p(t)+0.75*c(t);

k21.. a('1')=e=-p('1')+0.75*c('1');

k3.. lcap=l=lmax;

k4(t)$(ord(t) ge 2).. a(t-1)+0.75*c(t)=l=lcap;

k41.. 0.75*c('1')=l=lcap;

k5(t)$(ord(t) ge 2).. p(t)=l=a(t-1)+0.75*c(t);

k51.. p('1')=l=0.75*c('1');

model TEZ /all/;

solve TEZ using MIP minimizing z;

display lcap,l, z,l, a,l, c,l, p,l;

```

Konferans Bildirileri

1. Bağlan F.B., Şeker Ş., Aydın N., 2021, “Bolu İli Kamu Alanlarının Su Tüketimlerinde Geri Dönüşüm Sistemlerine Geçiş Süreci İçin Bir Model Önerisi”, 8. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi.

