İÇME SUYU ŞEBEKELERİNDE KAYIP VE KAÇAKLARIN ZFT ALGORİTMASI İLE BELİRLENMESİ

NİHAN HÜLAGÜHANOĞLU

NİSAN 2023

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇME SUYU ŞEBEKELERİNDE KAYIP VE KAÇAKLARIN ZFT ALGORİTMASI İLE BELİRLENMESİ

NİHAN HÜLAGÜHANOĞLU

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
HİDROLİK VE SU KAYNAKLARI MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

NİSAN 2023

DİYARBAKIR

İÇME SUYU ŞEBEKELERİNDE KAYIP VE KAÇAKLARIN ZFT ALGORİTMASI İLE BELİRLENMESİ

Nihan HÜLAGÜHANOĞLU tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Ana Bilim Dalı'**nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ _____
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK _____
Danışman, **İnşaat Mühendisliği Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. İsmail YÜCEL**(*)** _____

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Z.Fuat TOPRAK **(**)** _____

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç.Dr. Nizamettin HAMİDİ _____

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 24 / 03/ 2023

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.
(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılayıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Nihan HÜLAGÜHANOĞLU

İmza: …….…….

TEŞEKKÜR

"İçme Suyu Şebekelerinde Kayıp ve Kaçakların ZFT Algoritması ile Belirlenmesi" konulu bu çalışma Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Hidrolik ve Su Kaynakları Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği, Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tez çalışmam süresince deneyimleri ile yol gösteren, her konuda yardımını esirgemeyen değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Z. Fuat Toprak'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bingöl Belediyesi İnşaat Teknikeri Deniz Güreş ve Gökhan Baltaş'a verileri temin etmemde yardımcı olmalarından dolayı teşekkür ederim.

Her konuda olduğu gibi eğitim hayatımda da beni yalnız bırakmayan ağabeyim Şihan Hülagühanoğlu ve annem Nevin Hülagühanoğlu'na sabır ve güvenlerinden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR v

İÇİNDEKİLER vi

TABLOLAR LİSTESİ vii

ŞEKİLLER LİSTESİ viii

ÖZET xi

ABSTRACT xii

1. GİRİŞ 1

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi 5

1.2 Tezin Amacı 6

2. LİTERATÜR ÖZETİ VE KRİTİĞİ 8

3. YÖNTEM: ZUMLAYICI FONKSİYON TEKNİĞİ (ZFT) 15

4. ZFT YÖNTEMİNİN BİNGÖL KENT MERKEZİNE UYGULANMASI 22

4.1 Çalışma Alanı ve Çalışmada Kullanılan Veriler 22

4.1.1 Çalışma alanı ve konumu 22

4.1.2 İklim ve su kaynakları 23

4.1.3 Çalışmada kullanılan veriler 28

4.2 Bulgular 30

4.3 Tartışma 33

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 44

KAYNAKLAR 46

ÖZGEÇMİŞ 50

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Başlıca sızıntı tespitleri 11
Tablo 2.1 (Devamı) Başlıca sızıntı tespitleri 12
Tablo 4.1 1961-2020 yıllarına ait aylık mevsim normalleri 23
Tablo 4.2 1961-2020 yıllarına ait yıllık mevsim normalleri 23
Tablo 4.3 Bingöl ilinin akarsuları 24
Tablo 4.4 Bingöl'deki mevcut rezervuarlar 25
Tablo 4.5 Bingöl'deki mevcut göletler 25
Tablo 4.6 İçme suyu ile ilgili fizibilite çalışması 26
Tablo 4.7 Metan, Mirzan, Devecik su kaynaklarından aylık üretilen su miktarları (m^3) 28
Tablo 4.8 Bingöl ilinde 15 mahalle için Ocak ayı nüfus verileri ve aylık su tüketim miktarları (m^3) 29
Tablo 4.9 Bingöl merkez mahalleleri için toplam üretim ve sarfiyat miktarları 30
Tablo 4.10 Bingöl kent merkezi kişi başına düşen yıllık su kaybı 30
Tablo 4.11 Ocak ayı verileri ile ZFT algoritması 32

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Su döngüsü 2
Şekil 1.2 2015-2100 yılları arası Dünya nüfusu trendleri 4
Şekil 1.3 SPI metodu ile 24 aylık Türkiye meteorolojik kuraklık haritası 5
Şekil 1.4 Bingöl kent merkezi 2020 yılı evlerde su kullanım türlerinin oranları 7
Şekil 3.1 A02 mahallesinin 2009-2011 yılları aylık su tüketimleri 19
Şekil 3.2 A01 mahallesinin 2009-2011 yılları aylık su tüketimleri 20
Şekil 4.1 Bingöl ilçe sınırları 22
Şekil 4.2 Bingöl ili 2020 yılı aylara göre ortalama yağmur miktarları 24
Şekil 4.3 Bingöl Belediyesi NETCAD programından bir tahliye konum detayı 27
Şekil 4.4 2020 yılında kaydedilen verilere göre A1 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları 33
Şekil 4.5 2020 yılında kaydedilen verilere göre A2 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları 34
Şekil 4.6 2020 yılında kaydedilen verilere göre A3 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları 34
Şekil 4.7 2020 yılında kaydedilen verilere göre A4 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları 35
Şekil 4.8 2020 yılında kaydedilen verilere göre A5 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları 35
Şekil 4.9 2020 yılında kaydedilen verilere göre A6 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları 36
Şekil 4.10 2020 yılında kaydedilen verilere göre B1 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları 36
Şekil 4.11 2020 yılında kaydedilen verilere göre B2 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları 37
Şekil 4.12 2020 yılında kaydedilen verilere göre B3 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları 37
Şekil 4.13 2020 yılında kaydedilen verilere göre C1 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları 38
Şekil 4.14 2020 yılında kaydedilen verilere göre C2 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları 38

Şekil 4.15 2020 yılında kaydedilen verilere göre C3 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları 39
Şekil 4.16 2020 yılında kaydedilen verilere göre C4 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları 39
Şekil 4.17 2020 yılında kaydedilen verilere göre D1 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları 40
Şekil 4.18 2020 yılında kaydedilen verilere göre D2 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları 40
Şekil 4.19 Model tarafından tahmin edilen su kayıp katsayıları histogramı 41
Şekil 5.1 ZFT algoritması ile gözlem sonuçlarının uyumu 42
Şekil 5.2 %20'lik hataların yanılma oranları 43

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
P_r	Çalışma alanı için yıllık su üretimi
C	Çalışma alanı için yıllık kayıtlı su tüketimi
L	Çalışma alanı için yıllık su kayıpları
l_c	Bölge için kişi başına yıllık su kayıpları
P	Bölgenin toplam nüfusu
L_i	Her alt bölge için yıllık su kayıpları
P_i	Alt bölgelerin nüfusu
c_{ij}	Her alt bölge için aylık su tüketim katsayısı
C_{ij}	Her alt bölge için aylık tüketim miktarı
l_{Sij}	Her alt bölge için aylık sistemsel su kayıpları katsayısı
l_{Iij}	Aylık yerel su kayıpları katsayısı
P_{ij}	Aylık su üretim katsayısı
L_{Tij}	Aylık toplam kayıplar
L_{Sij}	Aylık sistemsel kayıplar
L_{Iij}	Aylık yerel kayıplar
P_{rij}	Her alt bölge için üretilen su miktarı

Kısaltma	Açıklama
SCADA	Supervising Control and Data Acquisition
ZFT	Zoom Function Technique
DSİ	Devlet Su İşleri
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
WWF	World Wildlife Fund
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
CBS	Coğrafi bilgi sistemi
HES	Hidroelektrik santrali

ÖZET

İÇME SUYU ŞEBEKELERİNDE KAYIP VE KAÇAKLARIN ZFT ALGORİTMASI İLE BELİRLENMESİ

Hülagühanoğlu, Nihan
Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Danışman: Prof. Dr. Z. Fuat Toprak
Nisan 2023, 63 sayfa

İklim değişikliği, nüfus artışı, tarım, enerji ve diğer sektörlerde teknolojinin ilerlemesine bağlı olarak su ihtiyacının küresel boyutta çeşitlenerek artması gün geçtikçe kişi başına düşen su miktarının azalmasına neden olmaktadır. Aynı durumun Türkiye özeli için de geçerli olduğu açıktır. Nitekim nüfusun artmasına bağlı olarak Türkiye'nin de yakın vadede su fakiri bir ülke haline gelmesi kaçınılmazdır. Dolayısıyla gerek küresel ölçekte gerek Türkiye özelinde mevcut su potansiyelini korumak ve en iyi şekilde değerlendirmek gerekir. Bu bağlamda içme, kullanma, sanayi ve sulama suyu şebekelerindeki kayıp ve kaçakların mevzuat çerçevesinde en aza indirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bunu yapmak için de öncelikle kayıp ve kaçakların gerçekçi bir şekilde tespiti oldukça önemlidir. Güncel literatürde bu amaçla geliştirilmiş ve büyük çoğunluğu şebekelerdeki basınç değişimini esas alan bazı yöntemler bulunmaktadır. Bilindiği üzere su şebekelerindeki kayıp ve kaçaklar fiziki ve idari kayıplar olmak üzere iki sınıfta değerlendirilmektedir. Güncel literatürdeki iki tür kayıp türü ve toplam kayıplar için ayrı ayrı modeller önerilmektedir. Oldukça yeni olan ZFT Algoritması (Zoom Function Technique, Yakınlaştırıcı Fonksiyon Tekniği) her iki kaybı ayrı ayrı belirlemekte ve bunlara bağlı olarak toplam kayıp veya kaçakları tespit etmektedir. Bu çalışmada, Bingöl kent merkezi içme suyu şebekelerindeki kayıp ve kaçaklar ZFT algoritması ile mahalle bazında belirlenmesi amaçlanmıştır. ZFT algoritması ile kent ve mahalle nüfus verileri ve şebekeye gelen su ve kayıt altına alınmış su tüketim verilerine ihtiyaç vardır. Su verileri Bingöl Belediyesi'nden temin edilmiştir. Nüfus ile ilgili veriler TÜİK'in resmî web sayfasından elde edilmiştir. Sonuç olarak ZFT algoritması ile Bingöl kent merkezine bağlı 15 mahallenin fiziki, idari ve toplam içme suyu kayıp/kaçakları tespit edilmiştir. Tüketilen su verileri ile üretilen su verilerinin farkından ocak ayı kayıp su miktarının 186540.01 m^3 olduğu hesaplanmıştır. Bu kayıp %28.54 oranını vermektedir. Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından en fazla yüzde % 25 kayıp oranına ulaşılması gerektiği belirtilmiştir. Çalışılan mahallelerden 11 mahallede algoritma ile birebir uyum yakalanmıştır. Diğer 4 mahalle için ise beşte bir oranında sapma gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zoom Function Technique, ZFT, İçme Suyu Şebekelerinde Kayıp ve Kaçaklar, İçme Suyu Dağıtım Şebekeleri

ABSTRACT

DETERMINATION WATER LOSSES AND LEAKAGE IN WATER DISTRIBUTION NETWORKS USING ZFT ALGORATHM

Hülagühanoğlu, Nihan
Master of Science in Department of Civil Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Z. Fuat Toprak
April 2023, 63 pages

The global increase in water demand due to climate change, population growth, agriculture, energy and the improvement in technology in other sectors causes the amount of water per capita to decrease day by day. It is clear that the same situation applies to our country as well. As a matter of fact, it is inevitable that our country will become a water-poor country in the near term, depending on the increase in population. Therefore, it is necessary to protect the existing water potential both on a global scale and in our country and make the best use of it. In this context, it has become mandatory to minimize losses and leakages in drinking, utility, industrial and irrigation water networks within the framework of legislation. In order to do this, first of all, it is very important to determine the losses and leaks realistically. In the current literature, there are some methods developed for this purpose, most of which are based on the pressure change in the networks. As it is known, losses and leaks in water networks are evaluated in two classes as physical and administrative losses. Separate models are proposed for the two types of losses and total losses in the current literature. The fairly new ZFT Algorithm (Zoom Function Technique) determines both losses separately and detects total losses or leaks accordingly. In this study, it is aimed to determine the losses and leakages in the drinking water networks of Bingol city center on the basis of neighborhoods with the ZFT algorithm. With the ZFT algorithm, total city and neighborhood population data, water coming into the network and recorded water consumption data are needed. Water data were obtained from Bingol Municipality. Population data were obtained from the official website of TUIK. As a result, physical, administrative and total drinking water losses/leakages of 15 neighborhoods of Bingol city center were determined by ZFT algorithm. From the difference between the consumed water data and the produced water data, the amount of water lost in January was calculated as 186540.01m^3. This loss gives the rate of 28.54%. It has been stated by the Ministry of Forestry and Water Affairs that a maximum loss rate of 25% should be reached. Of the neighborhoods studied, 11 neighborhoods were matched with the algorithm. A one-fifth deviation was observed for the other 4 neighborhoods.

Keywords: Zoom Function Technique, ZFT, Loss and Leakage in Drinking Water Networks, Drinking Water Distribution Networks

1. GİRİŞ

Su yaşamın devamı için gerekli ve hayatî kaynak olmasının yanı sıra sosyal ve ekonomik yaşamın şekillenmesinde de etkili bir unsurdur. Mezopotamya, Mısır, Çin gibi uygarlıkların su kenarlarında kurulmasının bir tercih değil bir zorunluluk olduğunu söylemek mümkündür.

Eski uygarlıkların kalıntıları incelendiğinde; suyun kaynaktan alınıp temiz, güvenilir ve yeterli miktarda kullanıma sunulduğu ilk faaliyetlerin MÖ 4000-3000 yılları arasında olduğu tespit edilmiştir. Hindistan'daki yağmur suyu kanalları, Babil ile Mısır'ın su iletim ve taşıma amaçlı hendekleri bu dönemin ilk su mühendisliği faaliyetleri olarak görülmüştür (Erdin, 2001).

Teknolojik gelişmelerin yok denecek kadar az olduğu Neolitik Çağ'da suyun iletimi çok sınırlı kalmıştır. Bu yüzden de antik dönem topluluklarının yerleşim yeri seçmesinde su belirleyici bir unsur olmuştur. Mısır medeniyetinin Nil Nehri boyunca, Hint medeniyetinin İndus ve Ganj Nehirleri kenarında, Mezopotamya medeniyetlerinin Fırat-Dicle Nehirlerinin arasında, Çin medeniyetinin ise Sarı ve Gök ırmaklarının kenarında kurulmuş olması bu duruma örnek gösterilebilir. Uygarlıklar, içme suyu, tarım ve hayvancılık gibi yaşamsal faaliyetler için gerekli olan suya daha kolay erişebileceği bölgeleri yerleşim yeri olarak seçmişlerdir. Geçmiş dönemlerde var olan gelişmişlik seviyesi yüksek olan uygarlıkların genellikle suya yakın bölgelere yerleştiği tarihi kalıntılardan tespit edilmiştir (Şığva, 2015).

Petrol ve diğer enerji kaynakları da dâhil olmak üzere hayatımızı kolaylaştıran çoğu şeyin alternatifi bulunmaktadır. Ancak insan yaşamı için zorunlu olan su kaynaklarının bir alternatifi bulunmamaktadır. Dünya nüfusundaki hızlı artışın da etkisiyle kullanılabilecek su kaynakları azalmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak yakın bir gelecekte toplumların su kıtlığı ile karşı karşıya kalınacağı öngörülmektedir.

Artan nüfus ve küresel iklim değişikliğinin etkilerinden dolayı kişi başına düşen temiz su miktarında azalma meydana gelmiştir. Suya olan ihtiyaç sadece suyun günlük

tüketiminde değil tarım, enerji üretimi, sanayi, gibi yaşamın her alanında kendini hissettirmektedir.

Su; doğada katı, sıvı ve gaz şeklinde bulunmakta ve yeryüzü ile atmosfer arasında bir dönüşüm halindedir. Yağışlarla yeryüzüne inen suyun bir kısmı buharlaşarak tekrar atmosfere dönmekte, bir kısmı yeraltına sızarak akiferleri oluşturmaktadır. Canlı bünyesine alınan suyun geri kalan kısmı ise yüzeysel akış ile akarsuları beslemektedir. Akarsular ise göl ve denizlere dökülmektedir. Canlı bünyesine giren suyun bir kısmı ise terleme yolu ile (transprasyon) atmosfere taşınmaktadır. Sabit veya hareketli su kütleleri yer yüzeyinden buharlaşarak (evaporasyon) atmosfere ulaşmaktadır. Böylece doğal su döngüsü tamamlanır. Şekil 1.1'de bu doğal döngü temsili olarak verilmiştir.



Şekil 1.1 Su döngüsü (MGM, 2021)

Toplam yüzey alanının dörtte üçü su ile kaplı olmasına rağmen mevcut suyun 1400 milyon km^3 olup bu miktarın yalnızca %2.5'i (35 milyon km^3) kullanılabilir tatlı su kaynakları, geriye kalan %97.5'lik kısmını tuzlu su kaynakları oluşturmaktadır. Bu %2.5'lik tatlı su kaynaklarının %0.3'ü (105000 km^3) nehirler ve göllerde kullanılabilir durumdadır. Suyun geriye kalan kısmı kutuplarda, yüksek dağlarda buz kütleleri halinde ve yeraltında hapsolmuş durumdadır (Muluk vd., 2013).

Uluslararası toplantılarda su güvenliği konusu son yıllarda gündem olmaktadır. Açlık sınırında 900 milyon ve yetersiz beslenen 2 milyar insan varken, 1.5 milyar insanın da olması gerekenden daha fazla su tükettiğinden bahsedilmektedir. Su ile ilgili tutumun

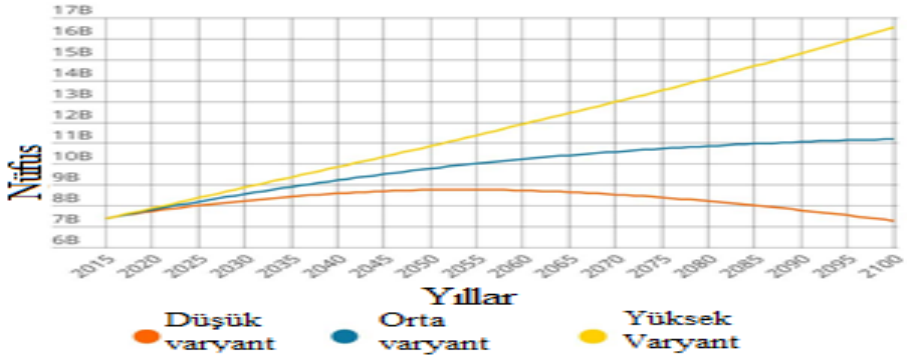
bu şekilde devam etmesi halinde gelecekte su sıkıntıları ve savaşlarının olacağı öngörülmektedir.

Su ayak izi konusunda çalışmaları bulunan Stephen Leahy, kitabında eski alışkanlıklarımıza neden dönmemiz gerektiği konusunda örneklendirmelerde bulunmaktadır. Leahy, yarım litre şişe suyunun su ayak izinin 5.5 litreye ulaştığını belirtmektedir. Bunun 0.5 litresi şişenin içindeki su, geri kalan 5 litrenin ise petrolden elde edilen plastik şişenin üretim sürecinde kullanıldığını ve plastik şişenin üretimi için kullanılan 5 litre su ile içtiğimiz yarım litre su aynı temiz su olduğunu ifade etmiştir. Farklı bir açıdan ifade edilirse aslında pet şişe ambalajlı 0.5 litre içme suyunun tüketiminde 5 litre su ziyan edilmektedir. Bu ifadelerden çıkarımla eskiden kullandığımız su mataraları ve sürahileri yeniden kullanıma geçirmemiz gerekebilir. Son yıllarda çokça kullanılan ıslak veya kâğıt mendiller yerine daha uzun süre kullanılabilir, yıkanabilir mendillerin kullanımının israfı azaltacağı düşünülmektedir. Benzer sebeplerle gelecekte kişisel kullanıma dayalı ürünlerin üretimi için gerekli su ve hammaddelerin yetersiz kalacağının bilincinde olarak hareket etmek gerekmektedir (Olğun, 2015).

Son 50 yılda yaklaşık üç Van Gölü büyüklüğünde 1.3 milyon hektar sulak alan kuraklık sebebi ile yok olmuştur. Tatlı suların en önemli kaynağı yağışlardır. Dünyanın ortalama yıllık yağış yüksekliği 1000 mm iken Türkiye'de ise yaklaşık 642 mm'dir. Tatlı su kaynaklarımızın %74'ü tarımda, %15'i evsel kullanımda ve %11'i de sanayide kullanılmaktadır. Bu ifadeler su kıtlığının oluşmasındaki nedenlerin sadece yağış miktarıyla ifade edilemeyeceğini bu durumun sosyokültürel ve sosyoekonomik gibi birçok etkene bağlı olduğunu göstermektedir (WWF, 2011).

Tatlı su kaynaklarındaki kirlenme nüfus artış oranının yükselmesinden dolayı dünyada hızla ilerlemekte ve bu nedenle temiz su potansiyeli de azalmaktadır. Bugün 7.9 milyar olan dünya nüfusunun yaklaşık beşte biri güvenli su kaynaklarına ulaşamamaktadır. 30 yıl içinde nüfus ve iklimsel sebeplerden dolayı 7 milyar insanın su sıkıntısı yaşayacağı öngörülmektedir. Şekil 1.2'de 2015-2100 yılları arasında dünya nüfus

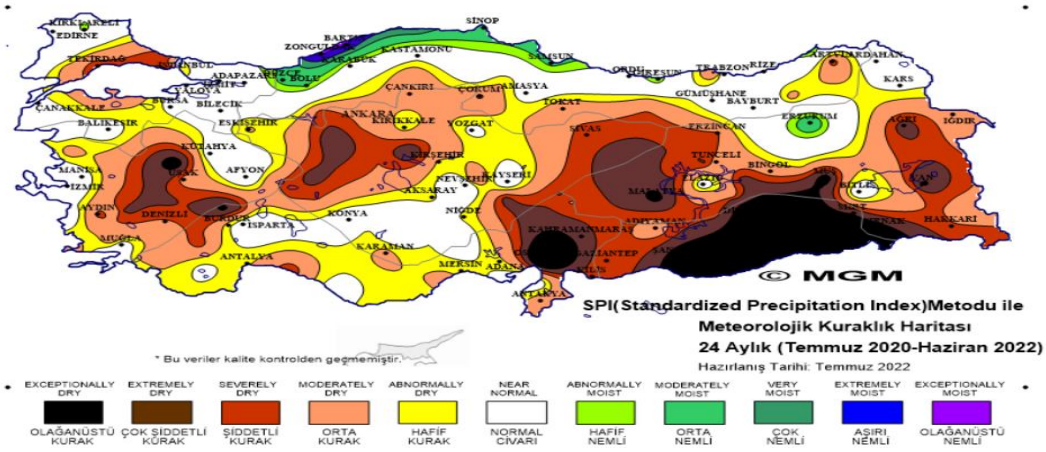
artışı/trendi verilmiştir. Grafikte de verildiği gibi eğer dramatik bir şekilde nüfus artışı devam ederse gün geçtikçe suya olan talep artacaktır.



Şekil 1.2 2015-2100 yılları arası Dünya nüfusu trendleri (United Nations, 2022)

Dünya ve Türkiye genelinde yakın bir gelecekte yaşanacak su kıtlığı/stresi, büyük illerden küçük kasabalara kadar toplumun büyük bir kesimini etkileyeceği tahmin edilmektedir. İklim değişikliği ve hızlı nüfus artışı gibi sebeplerden ötürü yakın gelecekte Türkiye'nin birçok ilinde su sıkıntısı yaşanacağı öngörülmektedir. Kullanılabilir suya erişim konusunda Bingöl kent merkezi de çeşitli sorunlar yaşamaktadır. Çalışma alanı olarak seçilen Bingöl kent merkezi ile ilgili çeşitli tespit ve gözlemlerde bulunulmuştur. Bu tespit ve gözlemler, ilgili kurumlardan alınan sayısal/istatistiki verilerle desteklenmiştir.

Nüfus artışı ve yeni yapılaşma alanlarının oluşması ile içme suyu temin ve dağıtımı, SCADA sistemi işlemleri, malzeme teminleri, oluşan su arızaları, endeks okuma işlemleri, tahakkuk işlemleri, depolama işlemleri, hizmet alımları doğrudan temin yöntemiyle Bingöl Belediyesi Su ve Kanalizasyon Müdürlüğü tarafından karşılanmaktadır. Kullanılan vana tipi klasik basınç düşürücü vana tipidir. Su kayıpları belli noktalarda debimetreler ile tespit edilmektedir. İçme suyu depo bakım ve onarımları, vana değişimleri gibi düzenli tekrar eden işlemler hassasiyetle yapılmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den temin edilen ve Şekil 1.3'te verilen harita Türkiye için Standart Yağış İndeksi yöntemi ile elde edilmiştir. Haritada da görüldüğü gibi özellikle sert karasal iklimin yaşandığı doğu ve güneydoğu bölgelerinde kuraklığın olağanüstü düzeyde olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 1.3 SPI metodu ile 24 aylık Türkiye meteorolojik kuraklık haritası (MGM, 2022)

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Artan nüfus ve küresel iklim değişikliği nedeniyle kişi başına düşen su miktarı her geçen gün azalmaktadır. Suya olan talebin önümüzdeki 30 yılda % 55 artış göstermesi beklenmektedir. Tüketilebilir su miktarı 107.3 milyar ton iken bu miktarın yaklaşık 39.3 milyar tonu kullanılmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının verilerine göre Türkiye'nin yüzölçümü 77.95 milyon hektardır. Türkiye'de tarıma sadece bu alanın yalnızca %36'sı ayrılmaktadır. Bahsedilen tarım alanlarının %92.2'si sulanabilmektedir. 8.5 milyon hektar sulanabilir alanın Hollanda, Belçika, Lübnan ve Lüksemburg gibi ülkelerden büyük alan olduğu görülmektedir.

Türkiye'de yıllık ortalama yağış yüksekliği yaklaşık 643 mm'dir. Bu yağış yüksekliği yıllık ortalama 501 milyar m^3'e karşılık gelmektedir. Bunun 274 milyar m^3'ü buharlaşma yoluyla atmosfere geri dönmektedir. 69 milyar m^3'lük kısmı yeraltı sularına karışmaktadır. 158 milyar m^3'lük kalan kısım ise akarsular vasıtasıyla denizlere ve göllere boşalmaktadır. 69 milyar m^3'lük yeraltı suyunun 28 milyar m^3'ü pınarlar ile tekrar yerüstü suyuna karışmaktadır. Komşu ülkelerden yılda ortalama 7 milyar m^3 su Türkiye'ye gelmektedir. Toplamda Türkiye'nin yerüstü suyu potansiyeli 193 milyar m^3 olmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 41 milyar m^3'lük su miktarı da hesaplanırsa, Türkiye'nin toplam yenilenebilir su potansiyeli 234 milyar m^3 olarak elde edilir. Ancak günümüzün teknik ve ekonomik şartları nedeniyle, çeşitli amaçlar

doğrultusunda tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli asıl potansiyelinden daha azdır. 98 milyar m^3'ü akarsulardan ve 14 milyar m^3'ü ise yeraltı suyundan olmak üzere Türkiye'nin tüketilebilir toplam su potansiyeli 112 milyar m^3 olarak hesaplanmaktadır (DSİ, 2012).

2020 yılı adrese dayalı nüfus sistemi sonuçlarına göre Türkiye nüfusu 83 milyon 614 bin 362'dir. TÜSİAD'ın "Türkiye'de Su Yönetimi, Sorunlar ve Öneriler" raporuna göre, Türkiye'de kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1500 – 1600 m^3'tür. Bu da Türkiye'yi yukarıdaki veriler ışığında su sıkıntısı çeken ülkeler kategorisine yerleştirmektedir. Bu durum Türkiye'nin "su zengini" değil, "su stresi yaşayan" bir ülke olduğu ve nüfus artışına bağlı olarak yakın gelecekte "su fakiri" olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla tüm sulama şebekelerinde maliyetine bakılmaksızın kayıp ve kaçak miktarının doğruya en yakın şekilde tespiti ve asgari düzeye indirilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu amaçla geliştirilen ve önerilen ZFT algoritmasının bir uygulaması, Bingöl kent merkezi içme suyu şebekesindeki kayıp ve kaçakların belirlenmesi amacıyla çalışmada uygulanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Ülkelerin su kayıplarını azaltmak amacıyla ekonomik faktörleri de göz önünde bulundurarak yerel su idarelerinin yapabilecekleri çalışmaları en üst seviyeye taşıma bilinciyle hareket etmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı; ZFT algoritması kullanılarak içme suyu şebekelerindeki fiziki ve idari kayıpların ayrı ayrı tespit edilmesidir. Su stresi yaşayan Türkiye ve benzeri ülkelerde şebekedeki kayıp ve kaçakların tespitiyle beraber su tasarrufu sağlamaya yönelik ilk adımlar atılmış olacaktır.

Yeni su kaynaklarının bulunması ve tüketiciye arıtılmış şekilde ulaştırılması zor süreçlerden oluşan ve yüksek bütçe gerektiren bir iştir. Bundan dolayı tüketici taleplerinin karşılanmasında yeni projelere vakit harcamak yerine mevcut su kayıp ve kaçaklarının azaltılması konusu önem arz etmektedir (Gökdereli, 2016).

Türkiye'de kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 2020 yılında 1346 m^3 olmuştur. Bu durumun bir sonucu olarak yapılan sınıflandırma kriterlerine göre Türkiye'nin su sıkıntısı çeken bir ülke olduğu görülmektedir. Türkiye nüfusunun 2030 yılında 100 milyona ulaşması halinde kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarının 1120 m^3'e gerilemesi söz konusu olacaktır. Türkiye 25 su havzasına sahip bir ülkedir. Fakat nüfus ülkeye orantılı dağılmadığı gibi su kaynakları da eşit dağılmamıştır. 2021 Nüfus ve Vatandaşlık İşleri Genel Müdürlüğü temmuz ayı verilerine göre Türkiye'nin toplam nüfusunun yüzde 30.5'i Marmara Bölgesi'nde yer alırken bölge sınırları içinde yer alan havzaların yıllık toplam su kaynağı toplam su kaynaklarımızın sadece yüzde 4'lük kısmını oluşturmaktadır. Evsel suyun, %35'i banyo, %30'u tuvalet, %20'si çamaşır ve bulaşık yıkama, %10'u yemek pişirme ve içme suyu, %5'i ise temizlik amacıyla tüketilmektedir. Çalışma dâhilindeki Bingöl kent merkezine ait 2020 yılı evsel su kullanım oranlarına ait veriler Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4 Bingöl kent merkezi 2020 yılı evlerde su kullanım türlerinin oranları (Bingöl Belediyesi, 2021)

Türkiye'de uzman personel eksikliği, şebeke izlenmesinin yönetilememesi, hatalı veya hassas olmayan su sayaçlarının kullanımı, kayıt dışı kullanımlar, şebeke bakım-onarım çalışmalarının yetersiz olması ve mevcut çalışmalarda da oluşan yeni sorunlar su kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca bahsedilen etkenler kullanılabilir suya ulaşımın önünde engel teşkil etmektedir. Bu sorunları gidermek için yeterli bütçe ayrılıp su kayıplarının minimum seviyeye indirilmesi için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Belirtilen sebepler dolayısıyla bu çalışmada ZFT algoritması kullanılmış ve Bingöl kent merkezinin içme suyu şebekesindeki kayıp ve kaçaklarının tespiti hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ VE KRİTİĞİ

Su kaynaklarını doğrudan etkileyen küresel iklim değişikliği nedeni ile dünyanın birçok yerinde su stresinin yaşanacağı belirtilmektedir (Toprak vd., 2013). Yazarlar, yiyecek ve içme suyunun teminindeki sıkıntıların ciddi boyutlara varacağını da eklemektedir. Ayrıca, su kaynakları çalışmalarında önceliğin içme/kullanma ve sulama suyu şebekelerindeki su kayıp ve kaçaklarının önlenmesine verilmesi ve bunun için de öncelikle söz konusu kayıp ve kaçakların doğru tespit edilmesi gerektiğine vurgu yapılmaktadır. Bu amaçla Toprak vd. (2013), ZFT algoritmasını önermektedir.

ZFT algoritması ilk olarak Toprak vd. (2013) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Toprak vd. (2013) iklimsel ve meteorolojik açıdan yarı kurak olan Türkiye, Güneydoğu Anadolu Bölgesini temsil etme özelliği ve büyükşehir statüsünde olması nedeniyle çalışma alanı olarak Diyarbakır kent merkezi seçilmiştir. Algoritma Diyarbakır kent merkezi, bağlı 4 merkez ilçe ve ilçelere bağlı 41 mahalleye uygulanmıştır. Algoritmanın doğruya çok yakın tahminlerde bulunduğu, fiziki ve idari kayıpları ayrı ayrı ve ikisini bir arada tahmin etmede başarılı olduğu görülmüştür. Bu nedenle algoritmanın Karakaya ve Toprak (2018) tarafından Türkiye genelinde 81 ilin kent merkezini kapsayan ikinci uygulaması verilmiştir. Bu iki çalışma, sonraki paragraflarda sonuçları ile birlikte irdelenmiş ve yöntemin detayları "YÖNTEM" başlığı altında bu çalışmada ayrıca verilmiştir.

Dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi Türkiye genelinde de içme suyu kayıp ve kaçakların oranı yüksektir. Türkiye geneli için bu oranın ortalama olarak %46 ve kentten kente değişmekle birlikte %71 düzeyinde olan kentlerin de olduğu ifade edilmektedir (Karakaya ve Toprak, 2018). Bu kayıp/kaçakların bir kısmı fiziki kayıp/kaçaklar olmasına karşın idari kayıp ve kaçakların da dikkate değer bir oranda yüksek olduğu bilinmektedir. Karakaya ve Toprak (2018) 81 ilin kent merkezlerinin içme suyu şebekelerindeki kayıp ve kaçakların belirlenmesi için ZFT algoritması kullanılmış ve her kent merkezi için hem fiziki hem de idari kayıplar belirlenmiştir. Ancak ulusal düzeyde güncel literatüre bakıldığında konu ile ilgili araştırmaların çoğunun kentlerin su ve kanalizasyon idareleri tarafından yapılan teknik çalışmaların birer raporu niteliğindedir. Ağırlıklı olarak ulusal literatürde yeni bir yöntem

(metodoloji) geliştirilememektedir. Bununla birlikte kayıp ve kaçakların tespitine yönelik bazı çalışmalar mevcuttur. Bu çabalar daha çok teknik cihaz ölçümleri ile yerinde fiziki kayıpların tespitine yöneliktir. Kullanılan teknik sistemler de ağırlıklı olarak ses dinleme ve kamera ile görüntüleme şeklindedir. Akdeniz (2021), Bektaş (2019), Ociepa vd. (2019), El-Zahab ve Zayed (2019) bunlardan bir kaçıdır. Örneğin Akdeniz (2021) sızıntıların yüzeye kolayca çıkmadığı ve bu nedenle tespitinin güç olduğu karstik bölgelerdeki fiziki kayıpların gürültü korelatörleri ile uzun süreli akustik dinleme ile belirlenebileceğini ifade etmektedir. Çalışma alanı olarak Antalya seçilmiş ve çalışma bölgesinde %52 seviyesinde kayıp olduğu araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. Şebekedeki fiziki kayıpları akustik yöntem ile tespit etmeye çalışan diğer bir araştırma da Bektaş, 2019 olup sensör ve yer mikrofonları kullanılarak 0.5-1 m hata ile sızıntı yeri tespiti yapılmıştır.

Benzer şekilde El-Zahab ve Zayed (2019) akustik yöntem kullanarak her aşamada farklı dinleme cihazları ile tespit hızını arttırmayı amaçlamışlardır. Ardından, sızıntı tespitinin kolaylaştırılması amacıyla sızıntının olabileceği bölge tanımlanmış ve tanımlanan bölgeye cihazlar yerleştirilerek esas kaynağına daha kolay şekilde ulaşılmasını sağlayan bir algoritma geliştirilmiştir. Bu amaçla da VOSviewer ve CiteNetExplorer adında bir görselleştirme yazılımı kullanmıştır.

Görüldüğü üzere yukarıda örnek olarak verilen her üç çalışma da sadece şebekelerdeki fiziki kayıp/kaçakların yerinde tespitine yönelik çalışmalardır. El-Zahab ve Zayed (2019) dışında özel bir yazılım geliştirilmemiş ve fiziki kayıp/kaçaklar sadece cihaz okumaları ve/veya dinlenmeleri ile teknik olarak belirlenmiştir.

Gerger ve Aslan (2019) fiziki kayıp/kaçakların belirlenmesine yönelik olarak Şanlıurfa kent merkezi için bir analiz yapmışlardır. Ancak analizin detaylarına yer verilmemiştir.

Araştırmacıların, içme suyu şebekelerinde kayıp/kaçakların tespitine yönelik sıkça kullandıkları bir diğer yöntem ise basınç analizi yöntemidir. Ociepa vd. (2019), Ociepa (2021) ve Prihtiadi vd. (2016) bu çalışmalardan bir kaçıdır. Bu çalışmalar da sadece fiziki kayıpların belirlenmesine yönelik çalışmalardır. Yukarıda belirtilen

çalışmalardan farklı olarak basınç değişiminden kayıp/kaçaklara ulaşmaya çalışmaktadır. Ancak basınç düşüşleri her zaman bir kaçağın olduğu anlamına gelmemektedir. Rutin dışı bir tüketim sonucu da şebekelerde basınç değişimleri yaşanabilmektedir. Ociepa vd. (2019) ayrıca karşılaştırma yapabilmek ve kayıp/kaçakların yerinin belirlenmesini kolaylaştırmak için jeofon, stetofon veya korelatör gibi özel kaçak tespit cihazları gibi donanımları da kullanmıştır. Prihtiadi vd. (2016) ise basınç profillerine dayalı olarak su dağıtımında sızıntı yerini belirlemek için basit bir yöntem belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, Radyan Kesişim Yöntemi kullanılmıştır. Bunun için de PVC boru hattı üzerine 15 *mm* çapında ve boru hattına 4 m boyunca yerleştirilen 12 adet basınç sensöründen oluşan basit bir su dağıtım sistemi kurulmuştur. Bu sistem üzerine yerleştirilen sensörler ile sızıntı noktalarının yüzde 3.67'lik sapma oranıyla tespit edildiğini belirtmişlerdir.

Temel (2018) ise kentsel su / atık su sistemlerinin ve kaçak su yerlerinin belirlenmesinde yeraltı radarının önemine vurgu yapmaktadır.

Qahtani vd. (2020) konu ile ilgili ciddi bir araştırma yapmış ve şebeke borularında meydana gelen sızmaların tespitinde gerek klasik gerek modern hemen hemen tüm yöntemlere değinmiş ve karşılaştırmalı olarak avantaj ve dezavantajlarını belirlemiştir. Qahtani vd. (2020) şebeke borularındaki sızmaların belirlenmesi için ilk olarak çeşitli deneysel ve saha çalışmalarının sonuçları (Brones, 1972; Hunaidi vd., 1999) tarafından rapor edilmiştir. Yine yazarlara göre yerinde sızma tespitinde kullanılan en popüler yöntemler, akım doğrultusu indikatörleri, izleyici gaz, yeraltı radarları, yer duyarlılığı değişimi, infirar spektroskopy, mikrofonlar, kokulu veya radyoaktif izleyicilerdir. Yazarlar, önceleri araştırmacıların daha çok basit direkt tespit yöntemleri kullandığını ve bunların başında da ultrasonik yöntemlerin geldiğini eklemektedir. Bu tür araştırmacılar parametrik ve veri esaslı diğer yöntemleri kullanan diğer birçok araştırmacıyı örnek olarak vermektedir (Billmann ve Isermann, 1987; De Read, 1965; Freyermuth, 1991; Isermann, 1984; Isermann, 1985; Isermann ve Wang vd., 1993; Liou, 1994; Loparo vd., 1991; Siebert, 1981; Wilsky, 1976). Daha detaylı bilgi için Qahtani vd. (2020) incelenebilir. Araştırmacılar, anılan yöntemleri ve benzeri birçok yöntemi Ferrante vd. (2016) atıfla bir tablo halinde karşılaştırmalı olarak vermektedir

(Tablo 2.1). Burada veri esaslı bir model geliştiren Songur vd. (2016) dikkat çekmekte fayda görülmektedir. Araştırmacılar, yüzde 55 kayıp kaçak oranı ile bilinen Diyarbakır şehir merkezinde, 4.1 km uzunluğundaki şebeke üzerinde bulunan 152 abone sayısı verileri ile çalışmıştır. Alt ölçüm bölgeleri oluşturularak SCADA, coğrafi bilgi sistemi ve benzeri veriler kullanılarak geliştirilen veri esaslı hidrolik modelin sonuçlarını yeterli bilgiye sahip çalışanlara kalibre ettirilmiştir.

Tablo 2.1 Başlıca sızıntı tespitleri (Qahtani vd., 2020)

Metot	Avantajları	Sınırlılıkları
Akustik Prensip Borunun üzerindeki zemin yüzeyine yerleştirilen işitilebilir ses dönüştürücü ile en yüksek sızıntı sesinin bulunması	• En çok kullanılan metottur. • Doğruluğu kabul edilebilir. • Taşınması kolaydır.	• Operatör becerilerine bağlıdır. • Küçük sızıntılar için etkili değildir. • Arka plan gürültüsünden etkilenir. • Boru boyutuna malzemeye, yeraltı su seviyesine, sistem basıncına, frekans aralığına bağlıdır. • Kötü zemin sesi azaltır. • Boru konumu net bilinmelidir. • Sert yüzeyler için daha uygundur. • Derinlik 2m'den az olmamalıdır.
Korelasyonlu akustik Prensip Bir korelasyon programı, sızıntıyı boru hattı bilgileriyle sınırlayan iki konumda boruya monte edilmiş iki titreşim dönüştürücü sinyali kullanır.	• Doğruluğu başarılıdır. • Nispeten kabul edilebilir bir ücret. • Minimum operatör eğitimi gereklidir.	• Sızıntı, iki dinleme noktası arasında olmalıdır. • Doğruluk, boru boyutlarının ve malzemelerinin doğru girilmesine bağlıdır. • Plastik borular için uygun değildir. • İyi sensör teması önemlidir. • Doğruluk, kaçağın ölçüm noktalarına yakınlığına bağlıdır. • Sızıntıya yakın yerdeki boruya bazen ulaşım yoktur.
Kızılötesi termografi Prensip Kızılötesi radyasyon kullanarak su sızıntısının neden olduğu topraktaki sıcaklık farklarının yerini belirleme	• Temassız, tahribatsız tespit etme • Büyük inceleme için yeteneklidir. • Zeminden yüksek alanlarda % 100 kaplama sağlar. • Çevredeki boşlukları ve erozyonu bulmak için ek yeteneğin yanı sıra yeraltı sızıntılarını bulur. • Boru hatları	• Yüksek maliyet • Önemli operatör deneyimi gerektirir. • Tespit, toprak özelliklerine, sızıntı boyutuna ve boru gömme derinliğine bağlıdır. • Kötü koşullar tarafından uygulama sınırlanır.
Yere nüfuz eden radar Prensip Radyo spektrumunun elektromanyetik radyasyonunu kullanır ve yeraltı yapılarından yansıyan sinyalleri algılar. Sızan suyun oluşturduğu boşlukları veya sızan su ile toprağın doygunluğu nedeniyle boru derinliğindeki anormalleri tespit eder.	• Çeşitli ortamlarda kullanılabilir. • Nesneleri, malzemedeki değişiklikleri, boşlukları ve çatlakları algılayabilir. • 15 m derinliğe kadar kuru toprağın içine girebilir.	• Penetrasyon derinliği büyük ölçüde toprak türüne bağlıdır. • Tecrübeli bir operatöre ihtiyaç duyulur. • GPR denetimlerini etkili bir şekilde tasarlamak, yürütmek ve yorumlamak için önemli bir uzmanlık gerektirir.

Tablo 2.1 (Devamı): Başlıca sızıntı tespitleri (Qahtani vd., 2020)

		• GPR ekipmanı ve yazılımının maliyeti oldukça yüksektir. • Nispeten yüksek enerji tüketimi, 10 saatten uzun süren kapsamlı araştırmalar için büyük ağır piller gerekebilir.
Kimyasal (gaz izleyici ve florür testi) Prensip Borudaki bir izleyici sızıntıdan kaçar ve zemin yüzeyinde tespit edilir.	• Akışsız borunun izole edilmesini gerektiren acil durumlarda etkili bir yöntem olabilir.	• Çok pahalı. • Zaman kaybına yol açar. • Borunun net konumu bilinmelidir. • 2m'den daha az derinliklerle sınırlıdır.
Mekanik Prensip Sızıntı yakınında suyun yükselmesini sağlamak için borunun üzerindeki toprakta açılan bir dizi delik	• Düşük maliyetli • Akustik yöntemleri desteklemek için kullanılabilir.	• Borunun konumu kesin bilinmelidir. • Sızıntı boyutuna bağlıdır. • Dikkatli delme gerektirir. • Önemli fiziksel çaba gerektirir.
İç boru sensörü Prensip Sensör dahili olarak sızıntıları tespit etmek için borunun içinde hareket eder veya yüzer.	• Boru hatlarındaki çok küçük sızıntıları tespit edebilir. • Akışını bozmadan bir boru hattına eklenebilir ve boru hattından çıkarılabilir. • Boru malzemelerinden bağımsız olarak tek bir dağıtımla kilometrelerce boru hattındaki sızıntılar hakkında bilgi toplar.	• Pahalı • Sensörle iletişim kolay değildir. • Sensörün çalıştırılması zaman sınırlıdır. • İlave yapma ve yeniden düzenleme fırsatı gereklidir. • Boru dallanmasında sensör yolu üzerinde kontrol yoktur. • Kendiliğinden oluşan gürültü, sinyali etkileyebilir. • Hala geliştirme aşamasında olması.
Sahara sistemi (bağlı sensör) Göbek kablosuna bağlı bir baş sensör, zemin yüzeyinin üzerinde bir izleme aracı ile canlı bir boru hattı içinde hareket eder.	• Çıkarılması kolaydır. • Güç ve iletişim problemi oluşturmaz. • Muhtemel yukarı yönlü hareketlere elverişlidir. • 0.25 galon/saat kadar küçük sızıntıları tespit edebilir. • Kullanımı esnasında bir boru hattına yerleştirilebilir. • 2-3 adım içinde sızıntıların yerini tam olarak belirleyebilir. • Her tür boru için kesindir. • 10 m derinliğe kadar çalışır.	• Tel uzunluğu sınırlıdır. • Sadece su şebekesi için kullanılır ve küçük çaplar için uygun değildir. • Dağıtımı kolay değildir. • Boru dallandırmada yönetilemez.

Konuya ilişkin çalışmaların bir kısmı ise daha çok kayıp/kaçak/sızıntıların yönetimine, giderilmesine veya fayda/maliyet analizlerine yönelik çalışmalardır. Saldarriaga ve Salcedo (2015), Durmuşçelebi vd. (2020), Ociepa (2021), Gülaydın (2017), Karaca (2009), Körpe (2018), Muhammetoğlu vd. (2018) bunlardan bazılarıdır. Ancak Durmuşçelebi vd. (2020) dışında burada bu çalışmalar tezin amaç ve hedefleri doğrultusunda detayları ile tartışılmamıştır.

Durmuşçelebi vd. (2020) içme suyu dağıtım sistemlerinde sızıntı yönetimi ve şebeke rehabilitasyonu için fayda maliyet analiz yapılmaktadır. Araştırmacılar, rehabilitasyon yapılmayan bölgelerde sızıntı yöntemi faaliyetleri için yapılan yatırımların maddi olarak geri dönüş süresi rehabilitasyonu uygulanan bölgelere oranla yatırımın ilk maliyetinin yüksek olmasından dolayı daha az olduğu belirtmektedir. Bir dağıtım sisteminde su kayıplarının tespit edilmesi, azaltılması, önlenmesi ve kontrol edilmesinde fayda maliyet analizlerinin yapılmasının maddi açıdan önemi vurgulamaktadır. Ancak (Toprak vd., 2012; Songur vd., 2012) belirttiği gibi suyun hayati öneme sahip olması ve gün geçtikçe daha da önem arz etmesi nedeniyle olanaklar ölçüsünde hiçbir masraftan kaçınmadan kayıp ve kaçakların önlenmesi, dolayısıyla rehabilitasyonun yapılması gerektiğini belirtmiştir.

Dünya Ekonomik Forumu Risk Raporu'nda en önemli riskler arasında su stresinden bahsedilmiştir. Bununla ilgili ivedilikle atılması gereken adımların su kaynaklarının potansiyeli, tüketim ve yönetim şekli, dağıtım maliyet çalışmaları ile ilgili olduğu belirtilmiştir (Karakaya ve Toprak, 2018).

Dünya nüfusunun artışına bağlı olarak gelecekte tatlı su kaynaklarında yaşanacak sıkıntılar ve çözüm önerileri ele alınmaktadır. Çalışmada, tatlı su kaynaklarında yaşanacak sıkıntıların birçok nedene bağlı olduğu da belirtilmiştir. Bunlar;

- Nüfus artışı, kentleşme, hızlı sanayileşme, tarımın yaygınlaşması,
- İklim değişikliğine (küresel ısınma) bağlı olarak yaşanan gelişmeler,
- Yağışların rejimlerindeki değişimler olarak belirtilmektedir.

Yukarıda sıralanan nedenlere bağlı olarak yakın bir gelecekte tatlı su kaynakları ile ilgili küresel çapta büyük sorunların bugüne değin yaşandığı gibi ilerde de daha dramatik bir şekilde yaşanacağı kolayca tahmin edilebilir. Ülkemizde de bu riskin yüksek olduğu söylenebilir. Nitekim DSİ, ülkenin mevcut su durumunu kişi başına düşen su miktarına bakarak sınıflara ayırmıştır. DSİ'nin sınıflandırmasına göre, 1.000 m^3'ten düşük ise su fakiri, 2.000 m^3'ten düşük olursa su azlığı, 8.000 m^3'ten yüksek ise su zengini ülkedir şeklinde belirtmiştir (Karakaya ve Toprak, 2018). Türkiye'nin kişi başına düşen su miktarının 1.519 m^3 verisi ile su azlığı yaşayan konumunda olduğunu vurgulamıştır. Yerel yönetim çalışmalarında 2010-2016 yılları arasında içme suyu şebekelerindeki kayıp ve kaçakların %40 dolaylarında olduğu tespit edilmiştir (Karakaya ve Toprak, 2018). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), nüfus artışına bağlı olarak 2030 yılında Türkiye'nin kişi başına düşen kullanılabilir su miktarında ciddi bir azalmanın olacağını öngörmektedir. Büyükşehir belediye sayının artışına bağlı olarak Türkiye nüfusunun büyük bir kısmının su şebekesinin olduğu belediye sınırlarının içerisinde yaşadığı ve büyük şehirlerde su talebinin karşılanmasında zorlukların yaşandığı belirtilmiştir (Karakaya ve Toprak, 2018).

Tatlı su kaynaklarının geliştirilmesi, mevcut kaynakların etkili (efektif) kullanımı için çok sayıda çalışma mevcut olup bu çalışmalarda birçok öneri sunulmuştur. Mevcut su kaynaklarının etkili bir şekilde kullanımını sağlamanın ilk adımı su şebekelerindeki kayıp ve kaçakların minimize edilmesidir (asgariye indirilmesidir). Bunun da ilk adımı kayıp ve kaçakların doğruya en yakın şekilde tespit edilmesidir. Bu öneriler içerisinde uygulanabilirliği ile ZFT algoritması ön plana çıkmaktadır. Bu yöntem, farklı yerleşim birimlerinde de kullanılabilirliği, fiziki, idari ve toplam su kayıplarını ayrı ayrı belirleyebilmesi, gerçekçi sonuçlar vermesi, su şebekelerinin SCADA gibi paket programlarla birlikte çalışabilmesi, ayrıca pahalı yazılım veya bilgisayarlara ihtiyaç olmaması gibi faydaları sebebiyle tercih edilmiştir. Yukarıda da belirtildiği üzere ZFT henüz yeni bir çalışma olup sadece iki uygulaması mevcuttur. Bu çalışmanın ilki Toprak vd. (2013) Diyarbakır ve ilçelerine uygulanmış, ikincisi ise Karakaya ve Toprak (2018) tarafından Türkiye'de 81 ile uygulanmıştır. Bu çalışma ise yöntemin üçüncü uygulaması olup çalışma alanı olarak Bingöl kent merkezi seçilmiştir.

3. YÖNTEM: ZUMLAYICI FONKSİYON TEKNİĞİ (ZFT)

Çalışmada esas amaç su kayıplarının belirlenmesi ve günümüzde kullanılan somut diğer yöntemler ile karşılaştırılmasıdır. Orijinal adı "Zoom Function Technique" olan yöntem burada, "Zumlayıcı Fonksiyon Tekniği" şeklinde tercüme edilmiştir. Burada "zumlayıcı" ifadesi "yakınlaştırıcı" anlamında kullanılmıştır. Başka bir ifade ile yöntemin "Yakınlaştırıcı Fonksiyon Tekniği" olarak da tercüme edilebilirdi ancak "yakınlaştırıcı" kelimesinin burada kullanılmamasının nedeni birinci yazarın isminin baş harfleri ve orijinal adının kısaltması olan ZFT'nin tercüme adının kısaltmasının da aynı kalmasını sağlamaktır.

Yöntemin uygulanabilmesi için iki veri grubuna ihtiyaç vardır. Bunlardan birincisi kent merkezi geneline ait veriler olup bu veriler, yıllara göre toplam kent nüfusunu, kentin su dağıtım şebekesine verilen yıllık su miktarı (m^3/yıl) ve yine yıllara göre kayıt altına alınmış su tüketim miktarı (m^3/yıl) olmak üzere üç değişken içermektedir. Sisteme verilen (temin edilen) yıllık su miktarı ile kayıt altına alınmış yıllık su tüketim miktarının farkı toplam kayıp ve kaçakları vermektedir. Bu çalışmada kullanılan birinci grup veriler bir sonraki bölümde (Çalışma Alanı ve Çalışmada Kullanılan Veriler) Tablo 4.10, Tablo 4.11'de verilmiştir.

İkinci veri grubu ise ilçe, mahalle veya abone verileridir. Bu çalışma mahalle bazında yapıldığı için ilçe ve abone verileri ile çalışılmamıştır. Mahalle verileri ise yıllara göre nüfus ve yıllara göre kayıt altına alınmış aylık su tüketim miktarı (m^3/ay) değişkenlerini içermektedir. Bu veriler de bir sonraki bölümde Tablo 4.10 ve Tablo 4.11'de verilmiştir. İstenildiği takdirde aynı yöntem günlük verilerle ve abone bazlı olarak daha hassas bir şekilde çalışılabilme imkânını sağlamaktadır.

Toprak ve arkadaşları, "Determination of Losses in Water-Networks Using a New Mathematical Approach" isimli çalışmalarında su kayıplarını belirlemek için önerilen Zoom Function Technique (ZFT) algoritmasını aşağıdaki şekilde adım adım vermektedir (Toprak vd., 2013).

1. Belirlenen bir çalışma alanı için yıllık su kayıpları (L, m^3/yıl) hesaplanırken aşağıdaki denklem kullanılabilir:

$$L = P_r - C \quad (3.1)$$

Burada P_r, m^3cinsinden tüm şehir için yıllık su üretimini (temin edilen su, şebekeye verilen su), C ise tüm şehir için kayıt altına alınmış yıllık su tüketimini m^3 cinsinden ifade etmektedir.

2. Tüm şehir (ki burada Bingöl kent merkezidir) için kişi başına düşen yıllık su kayıpları l_c (m^3/kişi):

$$l_c = \frac{L}{P} \quad (3.2)$$

P, şehir toplam nüfusunu vermektedir.

3. Tüm çalışma alanı için hesaplanan kişi başına düşen yıllık su kayıp miktarları ile her alt bölgenin yıllık kayıpları şöyle hesaplanabilir:

$$L_i = l_c * P_i \quad (3.3)$$

L_i, her bir mahalle için yıllık su kayıplarını, P_i ise her bir mahalle nüfusunu ifade etmektedir.

i alt indisi, alt bölgeleri (mahalle) işaret etmektedir.

4. Her bir mahalle için aylık kayıt altına alınmış su tüketim boyutsuz katsayısı (c_{ij}) için o mahallenin aylık kayıt altına alınmış su tüketim miktarının (C_{ij}) aynı mahallenin tüm yıllık kayıt altına alınmış tüketim miktarına oranı ile hesaplanır.

$$c_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} C_{ij}} \quad (3.4)$$

j alt indisi, tüm yıl için seçilen ayı vermektedir.

5. Her bir mahalle için aylık toplam su kayıp katsayısı (l_{Tij}) şöyle hesaplanmaktadır:

$$l_{Tij} = \frac{L_i * c_{ij}}{C_{ij}} \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'te verilen L_i katsayısı olmaması durumunda tüm aylar için eşit veri alınmalıdır.

6. Her mahalle için aylık sistemsel su kayıpları katsayısı (l_{Sij}) aylara göre değişmemektedir. Yani her şehir için bir sabittir, değişmez. Su dağıtım şebekesinin su kayıp katsayısı şeklinde de ifade edilebilir.

$$l_{Sij} = \min l_{Tij}{}_{i=1}^{n} \quad (3.6)$$

7. Aylık ev içi su kayıp katsayısı (l_{Iij}) aşağıdaki fark işlemiyle bulunur. Mahalleden mahalleye değişirken, aydan aya değişmez.

$$l_{Iij} = l_{Tij} - l_{Sij} \quad (3.7)$$

8. Aylık su üretim katsayısı (P_{ij}) ise;

$$P_{ij} = \frac{L_i * c_{ij} + C_{ij}}{C_{ij}} \quad (3.8)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

9. Artık sistemsel ve ev içi su kayıplarına ulaşılır. Aylık toplam kayıplar, sistemsel ve ev içi su kayıpları sırasıyla aşağıdaki denklemler ile ifade edilmiştir.

$$L_{Tij} = l_{Tij} * C_{ij} \quad (3.9)$$

Burada L_{Tij} aylık toplam kayıpları m^3 cinsinden ifade etmektedir.

Aylık sistemsel kayıpları L_{Sij} (m^3) şöyle hesaplanmaktadır:

$$L_{Sij} = l_{Sij} * C_{ij} \quad (3.10)$$

Aylık ev içi su kayıpları hacimsel olarak her mahalle için;

$$L_{Iij} = l_{Iij} * C_{ij} = L_{Tij} - L_{Sij} \quad (3.11)$$

şeklinde hesaplanır.

10. Her bir mahalle için aylık üretilen su miktarları m^3 cinsinden şöyle hesaplanmaktadır:

$$P_r = P_{rij} * C_{ij} = L_{Sij} + L_{Iij} + C_{ij} \quad (3.12)$$

P_{rij}, her bir mahalle için üretilen su miktarını vermektedir.

Bir sonraki aşamada yerleşim birimi için kişi başına düşen yıllık su kayıpları belirlenir (Denklem 3.2). Kişi başına düşen yıllık su kaybı ifadesi yıllık su kaybının yerleşim birimi nüfusuna oranlanması ile hesaplanır. Elde edilen bu değer her bir alt bölgenin nüfusu ile çarpılarak her alt bölgenin yıllık su kayıpları elde edilir (Denklem 3.3).

Sonraki aşamada her alt bölge için aylık kaydedilen su tüketim katsayısı, o yerleşim biriminin aylık tüketim miktarının aynı alt bölgenin tüm yıllık tüketim miktarına oranı ile hesaplanır (Denklem 3.4). Her alt bölge için aylık toplam su kayıp katsayısı hesaplanır (Denklem 3.5). Aylık toplam kayıp katsayılarından minimum değer aylık sistemsel su kayıpları olarak seçilir (Denklem 3.6). Aylık sistemsel su kayıpları katsayısı aylara göre değişmemekte ve her yerleşim birimi için sabittir. Aylık yerel su

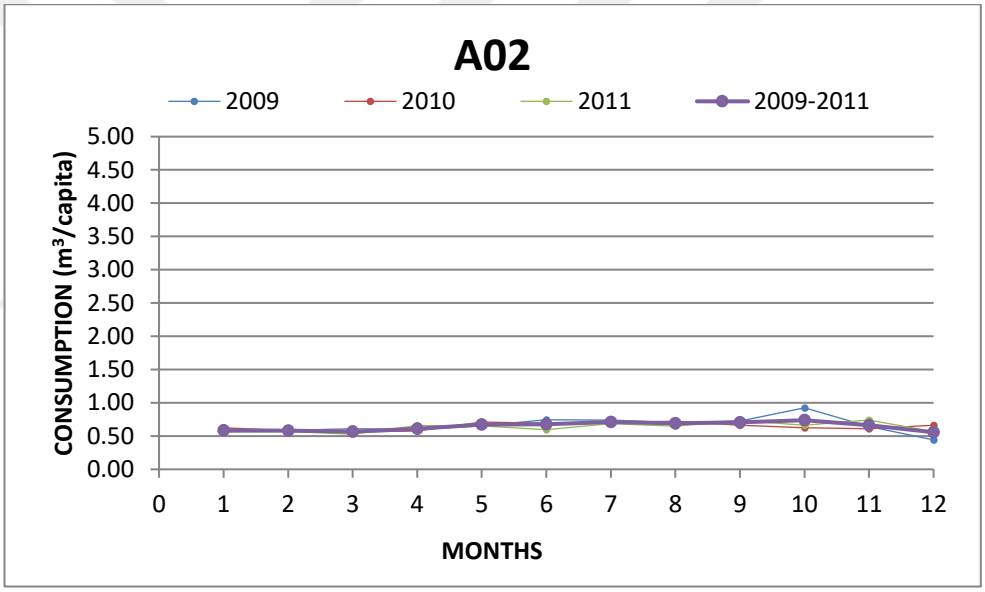
kayıpları katsayısı ise aylık toplam kayıp katsayısı ile seçilen sabit aylık sistemsel su kayıpları katsayısı arasındaki farktır (Denklem 3.7).

Son olarak aylık su üretim katsayısı; her alt bölge için yıllık su kayıpları, her alt bölge için aylık kaydedilen su tüketim katsayısı ve o yerleşim biriminin aylık tüketim miktarına ait verilerle belirlenmiştir (Denklem 3.8). Aylık toplam kayıplar (Denklem 3.9), sistemsel kayıplar (Denklem 3.10) ve yerel kayıplar olarak (Denklem 3.11) hesaplanır. Her alt bölge için aylık üretim miktarları da bu sayede hesaplanabilmektedir (Denklem 3.12).

Bu yöntemin ilk uygulaması Toprak vd. tarafından yapılmıştır. Yöntemin uygulanabilirliğini görmek ve sonuçlarını değerlendirmek için yöntemin ilk önerildiği ve mevcut çalışmaya yakınlığı sebebi ile burada Toprak vd. (2013) üzerinde ayrıca durulmuş ve detaylandırılmıştır. Çalışmada, çalışma alanı olarak Diyarbakır kent merkezi seçilmiştir. Çalışma alanı, yerleşim biriminin kuraklık etkisinde bir bölgede olması ve iklimsel/meteorolojik açıdan bölgeyi temsil yeteneğinin olması gibi nedenlerle seçilmiş ve su kayıplarının tespiti ve alınacak önlemler açısından yöntemin testi için tercih edilmiştir. Algoritma Diyarbakır kent merkezi, bağlı 4 merkez ilçe ve ilçelere bağlı 41 mahalleye uygulanmış ve ilgili kurumlardan alınan 3 yıllık verilerle gerçek kayıp miktarları elde edilmiştir. Sonuçların gerçek verilere yakın olduğu ve standart sapmasının büyük olmadığı görülmüştür.

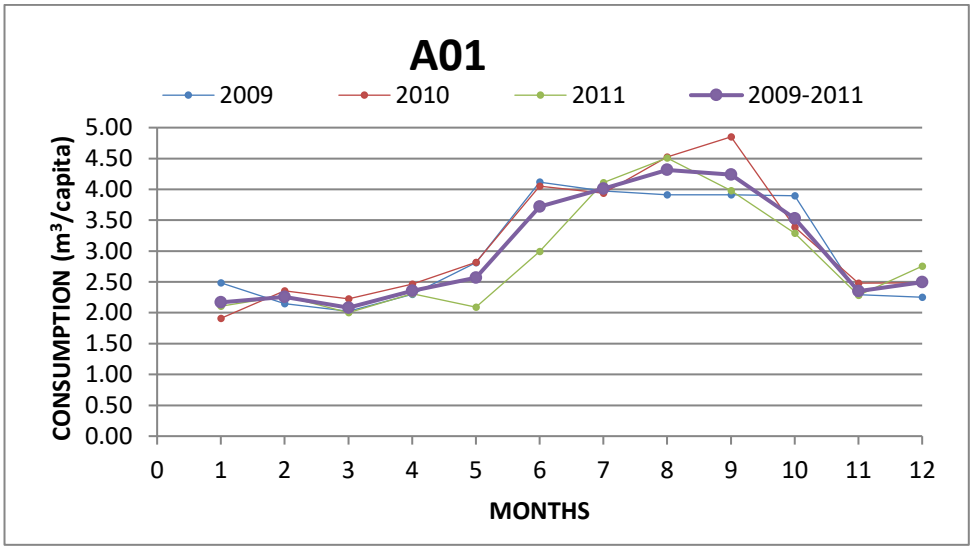
Yukarıda ifade edilen 41 mahalle için ayrı ayrı oluşturulan aylık su tüketim grafikleri elde edilmiştir. Böylece aylara göre minimum, maksimum su tüketimleri ile il bazlı tüketim tespit edilmiştir. Aylık su tüketim verilerinin yaz aylarında yükseldiği görülmektedir. Bu durum yaz dönemi için doğal karşılanmaktadır. Ancak maksimum tüketim eylül aylarında gözlenmiştir. Diğer aylarla karşılaştırıldığında bunun sebebinin eğitim öğretim döneminin ve yerel kültürde var olan kış temizliğinin başlangıcı olduğu kanısına varılmıştır. A02, A06, A08, C01, D05 şeklinde numaralandırılmış olan mahallelerde 2009 yılı aylık su tüketiminin durağan olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.1). Bu durum, mahallenin genelinde veya abone bazında müşterinin sabit miktarda su kullandığını göstermektedir.

Eylül ayındaki pik, geleneksel temizlik ve eğitim-öğretimin başlangıcı olarak değerlendirildiği için öğrencinin olmadığı veya geleneksel temizliğin yapılmadığı aile/abone/mahallelerde beklenmeyebilir. Ancak tek kişilik bir aile de olsa, ailede okula giden çocuklar olmasa da yazın su tüketiminin artması beklenen bir durumdur. Bu yüzden Toprak vd. (2013) model sonuçları, DİSKİ yetkililerinin yerinde tespit verilerinin yanı sıra bu grafiklerle de karşılaştırılmıştır. Zira eğer bir mahallenin veya bir abonenin su tüketimi aylık veya mevsimlik olarak değişmiyor ise bu durum, ya bir illegal kullanıma veya sayaçtaki olası bir arızaya yorumlanabilir. Bu yüzden bu çalışmada da tüm mahalleler için aylık tüketimler hem tablo halinde hem de görsel olarak ifade edilmiştir. Burada Toprak vd. (2013) alınan grafikler, Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.1 A02 mahallesinin 2009-2011 yılları aylık su tüketimleri (Toprak vd., 2013)

İster sayaç arızasından ister illegal kullanımdan kaynaklansın idari kayıplar açısından tüketiciler 5 sınıfa ayrılmıştır. Örneğin Toprak vd. (2013) göre kayıt altına alınmış su tüketiminde aylık veya mevsimlik değişimin en yüksek olduğu A01, A10 ve A11 no.lu mahallelerin A ilçesinin en iyi mahalleleri olduğu söylenebilir ve çalışmada 1. sınıf kullanıcılar olarak kabul edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 A01 mahallesinin 2009-2011 yılları aylık su tüketimleri (Toprak vd., 2013)

Toprak ve arkadaşları hazırladıkları bu grafiklerle ay bazlı olarak içme ve kullanma suyundaki kayıp ve kaçak oranlarını görsel olarak sunmuştur. A01 mahalle örneğindeki gibi tüketimin yaz aylarında ivme kazanarak Eylül ayında pik yapması anlamlıdır. Eylül ayı, eğitim-öğretim döneminin başlaması, kış hazırlıklarının yapılması, temizlik gibi su kullanımını artıracak faaliyetlerin olduğu bir aydır. Model ile ulaşılan yorumların algoritma ile uyumluluğu algoritmanın hassasiyetini gösterdiği söylenebilir.

Kurumlardan alınan veriler doğrultusunda 1-5 arasında bir sınıflandırma yapılarak elde edilen sonuçlar algoritma tablosunun w (gözlem) sütununa eklenmiştir. 10 mahalle için "1. sınıf", 17 mahalle için "2. sınıf", 9 mahalle için "3. sınıf", 3 mahalle için "4. sınıf" ve 2 mahalle için "5. sınıf kullanıcı" tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ayrıca bir histogram ile paylaşılmıştır.

ZFT algoritmasını/yöntemini kullanan bir diğer çalışma ise Toprak ve Karakaya, 2018'dir. Bu çalışmada yöntemin ikinci kez uygulanması nedeniyle burada üzerinde ayrıca durulmuştur. Yöntem ülkemizin 81 ilinin kent merkezlerine uygulanmıştır. Çalışmada, 2010 yılı için sınıf sınır değerleri 1.970'in 5'e oranı ile belirlenmiştir. İdari su kayıp katsayısı 0-0.394 olan kent merkezindeki kullanıcılar 1. sınıf, 0.394-0.788 katsayısı olanlar 2. sınıf, 0.788-1.182 katsayısı olanlar 3. sınıf, 1.182-1.576 katsayısı

olanlar 4. sınıf, 1.576-1.970 katsayısı olanlar 5. sınıf olarak nitelendirilmiştir. Kayıt altına alınmış tüketim ile üretilen su farkından kayıp miktarı 2.215.558.481 m^3/yıl olarak hesaplanmıştır. Ülke nüfus verisi 61.571.332 ile kişi başına düşen kayıp miktarı 35.98 m^3/kişi olarak hesaplanmıştır. Yıllık ortalama il bazlı su kayıpları, il nüfus oranları ve 35.98'in çarpılması ile hesaplanmıştır (Karakaya ve Toprak 2018). 49 yerleşim birimi için birinci sınıf kayıplar kategorisine ulaşılmıştır ve bu yerleşim birimleri ile ilgili fiziki kayıpların olmadığı belirtilmiştir. 2010 yılı için en iyi abonelerin Tunceli ilinde olduğu gözlenmiştir. Mevcut şebeke onarım çalışmaları nedeniyle hiçbir ilin sırası durağan çıkmamıştır.

4. ZFT YÖNTEMİNİN BİNGÖL KENT MERKEZİNE UYGULANMASI

4.1 Çalışma Alanı ve Çalışmada Kullanılan Veriler

4.1.1 Çalışma alanı ve konumu

Bingöl, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Bölümü'nde yer alan 38°27' ve 40°27' doğu boylamlarıyla 41°20' ve 39°54' kuzey enlemleri arasında bulunan bir ildir. İl merkezinin denizden yüksekliği ortalama 1159 m olup nüfusu 281768'dir. Yüzölçümü ise 8125 km^2'dir. 1500 metre ve daha fazla rakıma sahip dağlık alanların 3. Jeolojik zamanda tektonik hareketler sonucu meydana geldiği bilinmektedir. İlin %27.49'u orman, %10.09'u ağaçlandırılması gereken tarım arazisi, %50.21'i mera, %2.19'u çayır ve %2.85'i diğer alanlardan oluşmaktadır.

Bingöl'ün kuzeyinde Erzincan ve Erzurum, güneyinde Diyarbakır, doğusunda Muş, batısında Elâzığ ve Tunceli illeri bulunmaktadır. En büyük ilçesi güney bölgesine düşen Genç olup, Karlıova, Solhan, Adaklı, Kiğı, Yedisu ve Yayladere olmak üzere toplam 7 ilçesi bulunmaktadır (Şekil 4.1). Genç en düşük rakımlı ilçe iken Karlıova en yüksek rakıma sahiptir. 04 Şubat 2020 TÜİK verilerine göre Bingöl'de 68 mahalle ve 320 köy bulunmaktadır.



Şekil 4.1 Bingöl ilçe sınırları (DSİ, 2019)

4.1.2 İklim ve su kaynakları

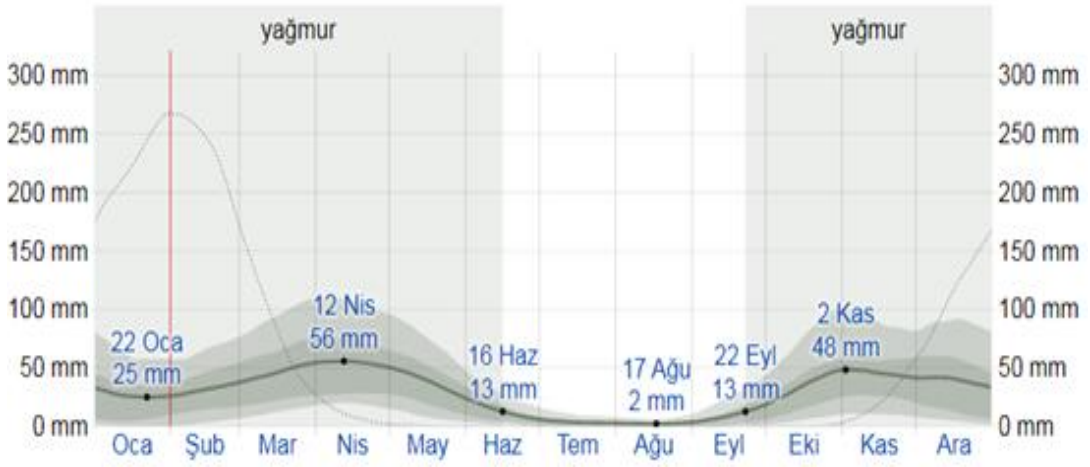
Bingöl'de yazların sıcak ve kurak, kışların uzun ve soğuk olduğu sert karasal iklim hüküm sürmektedir. İlkbahar ve sonbahar bol yağmurlu geçmektedir (Şekil 4.2). İl merkezinde yıllık sıcaklık ortalaması -6 °C ile 34 °C arasında değişmektedir. Bingöl'de 12 Haziran ile 20 Eylül arasında sıcak mevsim, 1 Aralık ile 12 Mart arasında soğuk mevsim yaşanmaktadır (Tablo 4.1 ve 4.2).

Tablo 4.1 1961-2020 yıllarına ait aylık mevsim normalleri (MGM, 2020)

Aylar	Ort. Sıcaklık (°C)	Ort. Maximum Sıcaklık (°C)	Ort. Minimum Sıcaklık (°C)	Ort. Güneşlenme Süresi (saat)	Ort. Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Top. Yağış Miktarı (mm)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
Ocak	-2.4	2.2	-5.9	3.3	11.1	138.7	13.3	-23.2
Şubat	-1.2	3.8	-5.0	4.4	10.9	130.0	16.2	-21.6
Mart	4.2	9.5	-0.1	4.9	13.5	129.7	22.3	-20.3
Nisan	10.7	16.6	5.7	5.5	15.3	118.0	30.3	-9.2
Mayıs	16.2	22.9	10.1	7.1	14.2	77.4	33.4	1.0
Haziran	22.0	29.4	14.7	9.1	5.9	20.9	38.0	3.5
Temmuz	26.6	34.5	19.0	9.4	2.1	7.2	42.0	8.8
Ağustos	26.4	34.7	18.7	9.0	1.5	4.3	41.3	7.8
Eylül	21.3	29.8	13.6	8.2	3.1	12.6	37.8	4.2
Ekim	14.2	21.6	8.3	6.1	8.5	66.0	32.1	-2.4
Kasım	6.7	12.6	2.2	4.5	9.3	106.8	25.5	-15.0
Aralık	0.6	5.1	-2.8	3.2	12.0	136.8	22.8	-25.1

Tablo 4.2 1961-2020 yıllarına ait yıllık mevsim normalleri (MGM, 2020)

Yıllık	Ort. Sıcaklık (°C)	Ort. Maximum Sıcaklık (°C)	Ort. Minimum Sıcaklık (°C)	Ort. Güneşlenme Süresi (saat)	Top. Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Top. Yağış Miktarı (mm)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
	12.1	18.6	6.5	6.2	107.4	948.4	42.0	-25.1



Şekil 4.2 Bingöl ili 2020 yılı aylara göre ortalama yağmur miktarları (Weather Spark, 2020)

Genişliği 70 metreye ulaşan ve Bingöl içindeki uzunluğu 96 km olan, doğu-batı hattında akan Murat Suyu; Fırat'ın en büyük koludur. Kaynağı Van Ala Dağ'dan ve Bingöl Dağları'ndan almaktadır. Peri Çayı, Göynük Çayı ve Çapakçur Çayı Murat Nehri'nin kollarıdır. Çok sayıda buzullar tarafından açılmış sirk göller vardır. Bunlar; Gölbahri, Kerkis Gölü, Zırlır Gölü, Sar Gölü, Kuş Gölü, Harem Gölü, Er Gölü, Kıllı Göl, Manastır Gölü, Belli Göl, Karlı Göl, Çili Göl ve İçme Gölü'dür. Bingöl il sınırları içinde yer alan akarsu ve yapay göller Tablo 4.3; Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da verilmiştir (DSİ, 2019). Tablo 4.7'de ise yeraltı suyu potansiyeli verilmiştir.

Tablo 4.3 Bingöl ilinin akarsuları (DSİ, 2019)

Akarsu İsmi	**Toplam Uzunluğu (Km)**	**İl Sınırları İçindeki Uzunluğu (Km)**	**Debisi (m^3/sn)**	**Kolu Olduğu Akarsu**	**Kullanım Amacı**
Murat Nehri	1263	96	224.86	Fırat	Sulama+ Enerji
Peri Suyu	258	112	63.75	Fırat	Sulama+ Enerji
Göynük Çayı	95	95	31.18	Murat	Sulama
Gayt Çayı	60	60	5.00	Göynük	Sulama

Tablo 4.4 Bingöl'deki mevcut rezervuarlar (DSİ, 2019)

Barajın Adı	Bulunduğu İlçe	Amacı	Hizm. Giriş Yılı	Üzerinde Kurulduğu Akarsu	Yüzölçümü (km^2)	Maksimum Göl Hacmi	Faydası
Özlüce	Yayladere	Enerji	1998	Peri Suyu	25.80	$1075*10^6$	170 Mw
Gayt	Merkez	Sulama	1996	Gayt Çayı	6.40	$40.5*10^6$	4770 Ha
Gülbahar	Merkez	Sulama	2014	Koçan Çayı	1.38	$19.5*10^6$	1572 Ha
Kiğı	Kiğı	Enerji	2014	Peri Suyu	8.35	$507.55*10^6$	140 Mw

Tablo 4.5 Bingöl'deki mevcut göletler (DSİ, 2019)

Göletin Adı	Göl Hacmi (m^3)	Sulama Alanı (ha)	Çekilecek Su Miktarı (m^3/sn)	Kullanım Amacı
Karlıova Kale Göleti ve Sulaması	$11500*10^3$	1194	1.70	Sulama
Solhan Şimşirpınar Göleti ve Sulaması	$2140*10^3$	364	8.35-11.96	Sulama
Servi Göleti ve Sulaması	$1100*10^3$	245	2.06	Sulama
Bingöl Göltepe 15 Temmuz Şehitler Göleti	$1810*10^3$	382	5.60-8.30	Sulama
Bingöl Merkez Ilıcalar Göleti	$510*10^3$	136	3.8-5.03	Sulama
Bingöl Yamaç Göleti	$2790*10^3$	793	3.31-4.38	Sulama
Bingöl Genç Çaytepe Göleti İnşaatı	$700*10^3$	75	10.09	Sulama

Bingöl'ün içme ve kullanma suyu kaynak sularından karşılanmakta olup bu kaynaklar Metan, Mirzan ve Kürük (Devecik) suyudur. Günlük ortalama debi 320 lt/sn olup bunun %75'i Kürük, %15'i Metan, %10 ise Mirzan su kaynaklarından karşılanmaktadır. İl genelindeki evsel nitelikli atık sular Bingöl Belediyesi'ne ait Atık Su Arıtma Tesisinde arıtıldıktan sonra alıcı ortama (Göynük Çayına) verilmektedir. İlde içme suyu arıtım tesisi bulunmamaktadır. İldeki yer altı suyu rezervi 11.6 hm^3/yıl'dır (DSİ, 2019).

İçme ve kullanma suyuna olan ihtiyacın uzun süreli tedarik edilmesi amacıyla yeni kaynak arayışına gidilerek Karlıova İlçesi Kaynak ve Bahçe köylerinin bulunduğu alanda iki kaynak tespit edilmiştir. Konu ile ilgili Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne yapılan müracaatlar ile yapılacak proje çalışmaları sonucunda toplamda 285 lt/sn içme suyu temin edilebilecektir.

Kasman mevkiinde 20.000 tonluk su deposu yapılarak yüksek yapılarda abonelerin daha cazibeli ve kesintisiz suya ulaşması amacıyla fizibilite çalışmaları yapılmaktadır (Tablo 4.6).

Tablo 4.6 İçme suyu ile ilgili fizibilite çalışması (Bingöl Belediyesi, 2022)

İçme Suyu Yapım Giderleri			
İşin Adı	**Amacı**	**Tahmini Bedeli**	**2022**
20000 tonluk bir adet içme suyu deposu yapımı	Şehir içme sularında meydana gelen arızalarda daha uzun süreli kapasite artırımı daha hijyenik deponun olması	2.000.000 TL	Fizibilite çalışmaları tamamlanarak projelerin hazırlatılması

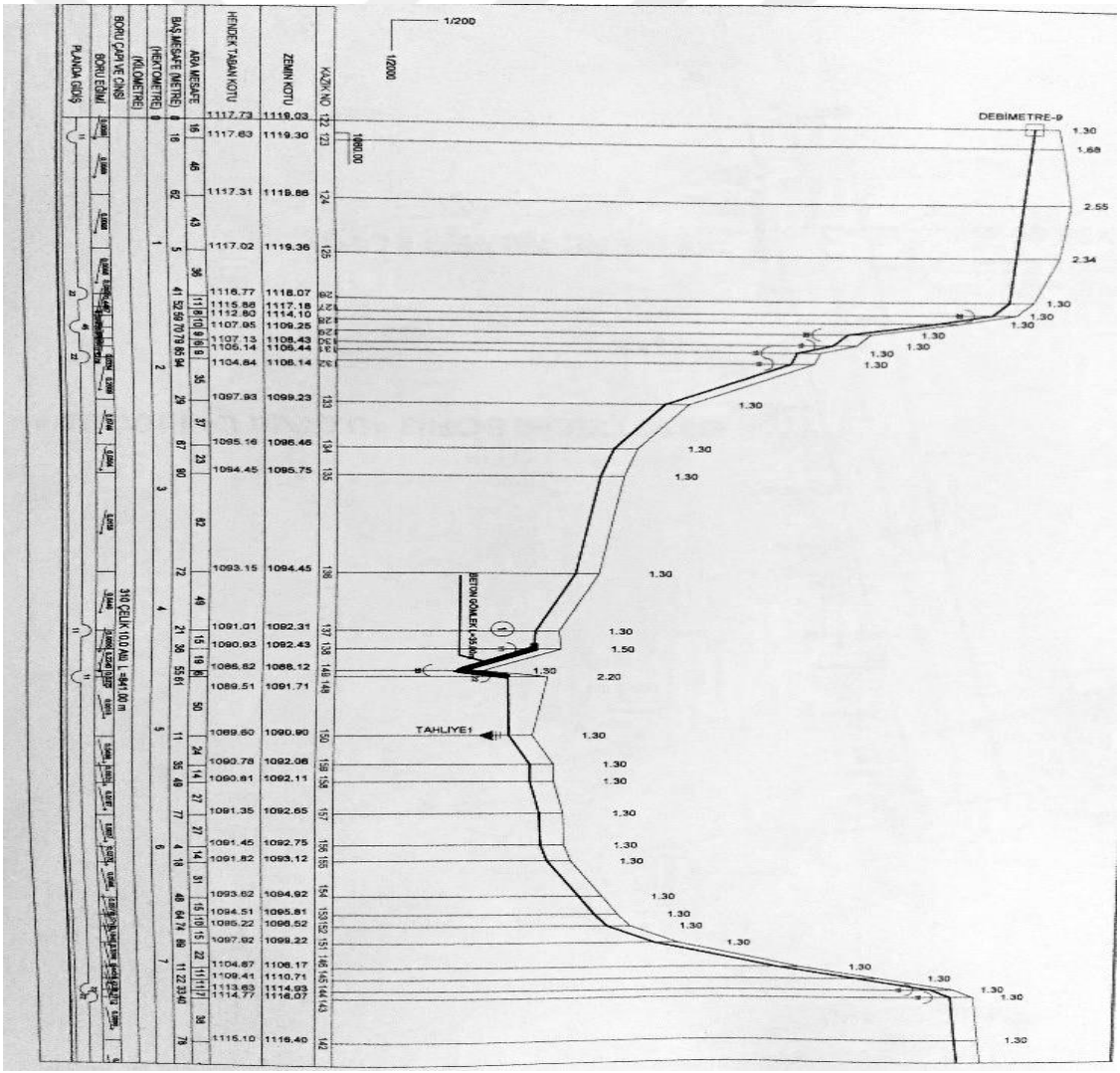
İçme suları dezenfeksiyon çalışmaları için 2020 yılı için düzenli periyotlarla 70000 kg civarında Sodyum Hipoklorit (Sıvı Klor) kullanılmıştır. İçme suyu şebekesinde SCADA kullanılmakta ancak SCADA ile klor takibi henüz yapılamamaktadır.

Su ve Kanalizasyon Müdürlüğü ve ortak sorumlulukları olan Fen İşleri, İşletme ve İştirakler, İmar ve Şehircilik, Mali Hizmetler Müdürlüğü gibi birimler koordineli çalışmaktadır.

Bingöl içme suyu hattını besleyen kaynaklardan Metan isale hattında oluşabilecek sıkıntıların giderilmesi için mevcut Q315'lik polietilen borular paraleline 1230 m Q315'lik çelik borular döşenmiştir. Çelik borularda bir arıza olması durumunda kullanılmak üzere polietilen borular aktif tutularak by-pass bağlantıları kurulmuştur. Metan hattında yaşanan su kesintilerini önlemek için 1.500 metrelik hat yenilenmiştir. İçmeler Mahallesi TOKİ hattında ise 5637 m 16 atü işletme basıncına sahip (boru et

kalınlığı 1.6 mm) Q250'lik polietilen içme suyu boruları döşenmiş ve yeni güzergâh belirlenip 8.500 metrelik içme suyu hattı oluşturulmuştur. Yeni inşa edilen ACİL112 ve İl Afet Müdürlüğü hizmet binalarının bulunduğu bölgede 3300 m 16 atü Q110'luk polietilen içme suyu hattı çekilmiştir. Saray Mahallesinde 640 metrelik Q90'lık polietilen boru döşenmiştir. 2021 yılında Çapakçur viyadüğü projesinde 1000 m Q300'lük çelik boru döşenmiştir.

Kürük kaynağı memba kısmında 10 tahliye odası, 1 maslak ve 5 vantuz odası, Metan ve Mirzan isale hattında 7 tahliye odası yapılmıştır. Şehir şebekesinde 15 vantuz, 3 manuel basınç kırıcı bulunmaktadır. Bingöl Belediyesi'ne ait tahliye konum detaylarını içeren ve NETCAD programından alınan bir örnek Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 Bingöl Belediyesi NETCAD programından bir tahliye konum detayı

4.1.3 Çalışmada kullanılan veriler

Su kayıp ve kaçaklarının önlenmesi için fiziki ve idari kayıplara ayrı ayrı ulaşmak önem teşkil etmektedir. Bingöl kent merkezine Metan İçme Suyu, Mirzan İçme Suyu, Devecik İçme Suyu olmak üzere 3 farklı kaynaktan su gelmektedir (Tablo 4.7).

Tablo 4.7 Metan, Mirzan, Devecik su kaynaklarından aylık üretilen su miktarları (m^3)

	Metan	**Mirzan**	**Devecik**
Ocak	61603.2	34819.2	557107.2
Şubat	55123.2	31104.0	535680.0
Mart	107136.0	34819.2	629424.0
Nisan	155520.0	36288.0	803520.0
Mayıs	160704.0	42854.4	822268.8
Haziran	142560.0	38880.0	776736.0
Temmuz	147312.0	40176.0	790128.0
Ağustos	117849.6	37497.6	691027.2
Eylül	95904.0	33696.0	653529.6
Ekim	88387.2	34819.2	621388.8
Kasım	77760.0	33696.0	607996.8
Aralık	74995.2	34819.2	570499.2
Toplam	1284854.4	433468.8	8059305.6

Bingöl merkez mahallelere gelen su kaynaklarından tüketiciye gönderilen aylık suyun miktarı belirlenmiştir. Çalışmaların daha spesifik olması için alt bölgeler oluşturulmuştur. Alt bölge abonelerinin tükettikleri su miktarları aylara göre belirlenmiştir (Tablo 4.8).

Alt bölgeler oluşturulurken etik değerlere saygılı olunması açısından yerleşim birimlerinin ismi açık verilmemiştir. Her alt bölge için Toprak vd. (2013)'te yaptıkları gibi birer kod verilmiştir.

Tablo 4.8 Bingöl ilinde 15 mahalle için Ocak ayı nüfus verileri ve aylık su tüketim miktarları (m^3)

	NÜFUS	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
A1	7662.00	24535,84	24179,62	23853,99	31094,02	25669,10	22170,86	28879,27	31745,13	28624,43	6669,88	49404,43	3774,21
A2	6637.00	23640,39	22070,75	23033,91	18020,55	16135,89	21908,73	22862,27	22909,53	23127,82	30268,79	24343,14	14909,26
A3	4031.00	10520,91	10763,12	10313,72	13192,12	12232,91	12690,95	17257,87	17430,93	14910,01	16464,10	14426,00	2971,24
A4	6979.00	19113,18	18138,32	18067,94	16319,17	21063,65	22576,14	25986,77	27073,50	24590,82	25825,28	22623,19	3341,42
A5	6516.00	32485,75	27414,40	30169,96	26050,52	19600,65	28471,81	39769,18	29043,17	16483,22	36046,84	35361,58	1892,95
A6	8458.00	23016,31	22787,25	23562,65	29846,42	25042,69	26172,49	28680,17	31627,77	29051,39	31018,75	31112,77	8398,21
B1	19824.00	64566,04	66122,35	69543,61	71658,80	72343,55	73421,63	74354,13	80786,12	82204,89	85081,03	59017,47	14058,20
B2	8604.00	27288,82	24957,66	28359,76	28561,49	28194,70	24756,74	28255,26	30353,75	27530,46	30373,27	20102,84	7640,63
B3	3987.00	5857,26	5150,70	5466,54	5985,33	5292,94	5440,70	5466,93	6966,85	5295,35	5595,82	5489,14	852,80
C1	11117.00	26179,29	22654,05	23212,13	24291,21	24024,55	24220,75	26971,76	30512,14	26670,33	30536,31	10014,41	4486,24
C2	15544.00	92672,02	80819,36	81254,79	80661,42	87666,10	89472,94	90306,90	86596,75	77293,11	80901,41	79917,14	65477,62
C3	5386.00	15198,63	14539,51	14342,78	17771,55	15283,81	14135,53	15283,32	18651,80	12609,18	15885,27	12221,66	9298,22
C4	3606.00	18257,15	14215,22	18058,86	13738,26	12301,77	15630,37	16092,25	18807,99	12871,71	14466,79	15104,91	13342,00
D1	5016.00	26193,79	21842,08	22570,05	18165,38	14184,13	20213,03	34394,54	26888,10	19392,12	32049,46	25938,65	3756,91
D2	14835.00	34464,21	36413,19	36960,63	32988,70	34162,61	34226,83	35394,03	29335,41	42465,91	43949,10	38960,05	8345,91
TOPLAM	128202.00	443989,59	412067,58	428771,32	428344,94	413199,05	435509,50	489954,65	488728,94	443120,75	485132,10	444037,38	162545,82

Böylece yıllık tüketim miktarı ve tüm kaynaklardan yıllık gelen su miktarları belirlenmiştir (Tablo 4.9).

Tablo 4.9 Bingöl merkez mahalleleri için toplam üretim ve sarfiyat miktarları

	Toplam Sarfiyat (m^3)	**Toplam Üretim (m^3)**
Ocak	443989.59	653529.60
Şubat	412067.58	621907.20
Mart	428771.32	771379.20
Nisan	428344.94	995328.00
Mayıs	413199.05	1025827.20
Haziran	435509.50	958176.00
Temmuz	489954.65	977616.00
Ağustos	488728.94	846374.40
Eylül	443120.75	783129.60
Ekim	485132.10	744595.20
Kasım	444037.38	719452.80
Aralık	162545.82	680313.60
Toplam	5075401.62	9777628.80

4.2 Bulgular

Bilindiği üzere "yıllık üretilen" ve "faturalandırılmış (kayıt altına alınmış) yıllık tüketim" arasındaki fark "yıllık kayıp su" ($L = P_r - C$) olarak nitelendirilmektedir. Yıllık kayıp su Türkiye İstatistik Kurumu'ndan alınan 2020 yılına ait nüfus verilerine oranlanarak 36.46 m^3 / kişi ($l_c = \frac{L}{P}$) şeklinde hesaplanmıştır (Tablo 4.10).

Tablo 4.10 Bingöl kent merkezi kişi başına düşen yıllık su kaybı

a	**b**	**c**	**d**	**e**	**f**
				Denklem 1	**Denklem 2**
				c - d	**e / b**
Yıl	**Nüfus**	**Üretilen Su Miktarı (m^3/yıl)**	**Tüketilen Su Miktarı (m^3/yıl)**	**Yıllık Su Kaybı (m^3/yıl)**	**Kişi Başına Düşen Yıllık Su Kaybı (m^3/yıl)**
2020	128954.00	9777628.80	5075401.62	4704227.18	36.46

Tablo 4.1'de bulunan "kişi başına düşen yıllık su kaybı" miktarı her alt bölge verisiyle çarpılarak "yıllık kayıp" ($L_i = l_c * P_i$) hesaplanmıştır. Her yerleşim birimi için "aylık tüketim" "yıllık tüketime" oranlanarak "aylık tüketim katsayısı" ($c_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} C_{ij}}$) hesaplanmıştır. "Aylık toplam kayıp katsayısı" ise "yıllık kayıp" miktarının "aylık tüketim katsayısı" ile çarpımının "aylık tüketim" miktarına oranı ile ($l_{Tij} = \frac{L_i * c_{ij}}{C_{ij}}$) hesaplanmıştır. Çalışma alanı sınırları içinden "aylık toplam kayıp katsayısı" en küçük değer olan 0.571 değeri "aylık sistemsel su kayıp katsayısı" olarak ($l_{Sij} = \min l_{Tij_{i=1}^{n}}$) seçilmiştir. Bu minimum değer "herkes en az bu kadar su tüketir" şeklinde yorumlanmıştır. "Toplam kayıp katsayısı" ile "sistemsel kayıp katsayısı" farkı ise "aylık yerel su kayıpları katsayısını" ($l_{Iij} = l_{Tij} - l_{Sij}$) yani idari su kayıp katsayısını vermektedir. "Aylık toplam kayıp katsayısı" en küçük olan alt bölgede idari su kaybının olmadığı anlamına gelmektedir. Başka bir ifade ile "toplam kayıp katsayısı" ile "sistemsel kayıp katsayısı" farkı bu alt bölge için sıfır olarak hesaplanmıştır. "Aylık toplam kayıp katsayısının" "aylık tüketime" oranı ile "aylık üretim katsayısı" ($P_{ij} = \frac{L_i * c_{ij} + C_{ij}}{C_{ij}}$) hesaplanmıştır. "Aylık toplam kayıp", "aylık tüketim" ile "aylık toplam kayıp katsayısının" çarpımı ile ($L_{Tij} = l_{Tij} * C_{ij}$) hesaplanırken "aylık sistemsel kayıp", "aylık tüketim" ile "aylık sistemsel su kayıpları katsayısının" çarpımı ile ($L_{Sij} = l_{Sij} * C_{ij}$) hesaplanmıştır. Bir sonraki adımda ise "aylık yerel kayıplar", "aylık tüketim" ile "aylık yerel su kayıpları katsayısı" çarpımı ile ($L_{Iij} = l_{Iij} * C_{ij} = L_{Tij} - L_{Sij}$) hacimsel olarak hesaplanmıştır (Toprak vd., 2013).

"Aylık yerel su kayıp katsayı" değerleri kullanılarak minimum değer 0 (C2 mahallesi), maksimum değer ise 1.742 (B3 mahallesi) arasında bir sınıflandırma oluşturulmuştur. 0-0.3484 arasındaki aylık yerel su kayıp katsayısı değerleri için 1. sınıf kullanıcı nitelendirilmesi yapılmıştır. 0.3484-0.6968 arasındaki değerler için 2. sınıf, 0.6968-1.0452 arasındaki değerleri için 3. sınıf, 1.0452-1.3936 arasındaki değerler için 4. sınıf, 1.3936-1.742 arasındaki değerler için 5. sınıf kullanıcı şeklinde değerlendirilmiştir.

Tablo 4.11 Ocak ayı verileri ile ZFT algoritması

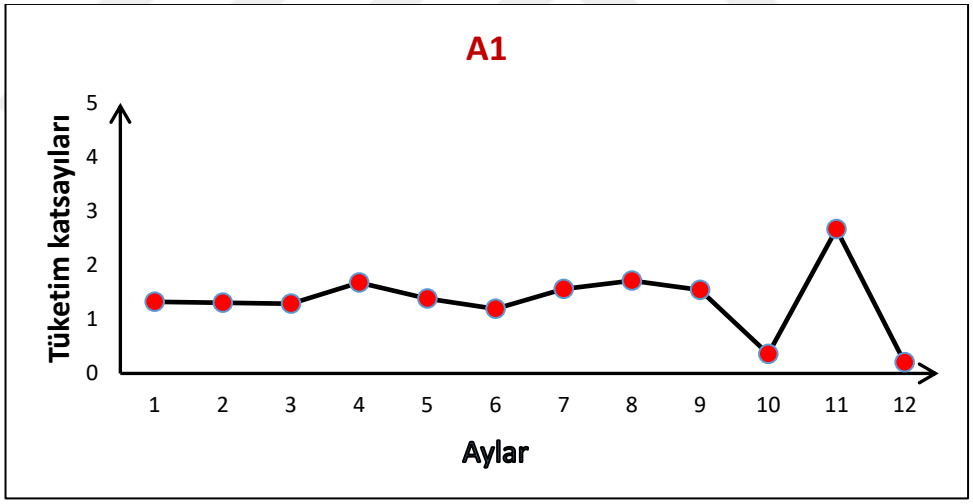
i	*j*	*k*	*l*	*m*	*n*	*o*	*p*	*q*	*r*	*s*	*t*	*u*	*v*	*w*	*x*
			Denklem3	***Denklem 4***	***Denklem 5***	***Denklem 6***	***Denklem 7***	***Denklem 8***	***Denklem 9***	***Denklem 10***	***Denklem 11***	***Denklem 12***	**KARAR**		
			f*j		(l*m)/k	min(n)	n-o	(l*m+k)/k	n*k	o*k	p*k	q*k			
ALAN	**NÜFUS**	**AYLIK TÜKETİM**	**YILLIK KAYIP**	**AYLIK TÜKETİM KATSAYISI**	**AYLIK TOPLAM KAYIP KATSAYISI**	**AYLIK SİSTEMSEL SU KAYIPLARI KATSAYISI**	**AYLIK YEREL SU KAYIPLARI KATSAYISI**	**AYLIK ÜRETİM KATSAYISI**	**AYLIK TOPLAM KAYIPLAR**	**AYLIK SİSTEMSEL KAYIPLAR**	**AYLIK YEREL KAYIPLAR**	**AYLIK ÜRETİM**	**MODEL TAHMİN**	**GÖZLEM**	**MODEL ONAYI**
A1	7662	24536	279390	0,082	0,929	0,571	0,358	1,929	22805	14010	8795	47340	2	2	✓
A2	6637	23640	242014	0,090	0,919	0,571	0,348	1,919	21735	13499	8236	45375	1	1	✓
A3	4031	10521	146988	0,069	0,960	0,571	0,389	1,960	10096	6007	4089	20617	2	2	✓
A4	6979	19113	254485	0,078	1,040	0,571	0,469	2,040	19876	10914	8962	38989	2	2	✓
A5	6516	32486	237602	0,101	0,736	0,571	0,165	1,736	23912	18549	5363	56398	1	1	✓
A6	8458	23016	308416	0,074	0,994	0,571	0,423	1,994	22875	13142	9733	45892	2	2	✓
B1	19824	64566	722870	0,079	0,889	0,571	0,318	1,889	57397	36867	20530	121963	1	2	x
B2	8604	27289	313739	0,089	1,024	0,571	0,453	2,024	27945	15582	12363	55234	2	3	x
B3	3987	5857	145383	0,093	2,313	0,571	1,742	3,313	13547	3344	10202	19404	5	5	✓
C1	11117	26179	405374	0,096	1,481	0,571	0,910	2,481	38764	14948	23815	64943	3	3	✓
C2	15544	92672	566802	0,093	0,571	0,571	0	1,571	52895	52895	0	145567	1	2	✓
C3	5386	15199	196397	0,087	1,121	0,571	0,550	2,121	17035	8678	8357	32234	2	3	x
C4	3606	18257	131491	0,100	0,719	0,571	0,148	1,719	13126	10425	2702	31384	1	1	✓
D1	5016	26194	182905	0,099	0,689	0,571	0,118	1,689	18039	14957	3082	44233	1	1	✓
D2	14835	34464	540949	0,085	1,327	0,571	0,756	2,327	45732	19679	26053	80196	3	3	✓

4.3 Tartışma

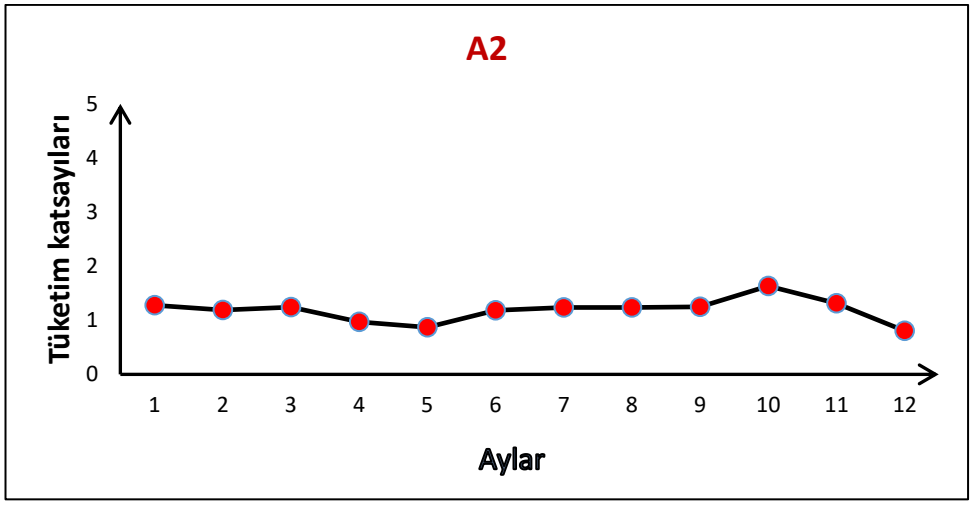
Bingöl Belediyesi Su ve Kanalizasyon Müdürlüğü'nden teknik personellerle bir toplantı düzenlenmiştir. Deneyim ve gözlemlerin dikkate alınarak su kaçak tespitlerinin en çok yapıldığı mahalleler için tespit sayısına göre bir sınıflandırma yapılması istenmiştir.

Algoritma sonuçları ile uzman personel tahminleri kıyaslanarak algoritmanın güvenilirliği araştırılmıştır. Veriler kullanılarak elde edilen ZFT algoritması Tablo 4.11'de verilmiştir.

A1-A2-A3-A4-A5-A6 mahallelerinin aylara göre kayıt altına alınmış tüketimleri Şekil 4.4- Şekil 4.9'da verilmiştir. B1-B2-B3 mahalleleri Şekil 4.10-Şekil 4.12; C1-C2-C3-C4 mahalleleri Şekil 4.13-Şekil 4.16; D1-D2 mahallelerinin kayıt altına alınmış aylık tüketimleri ise Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de verilmiştir.

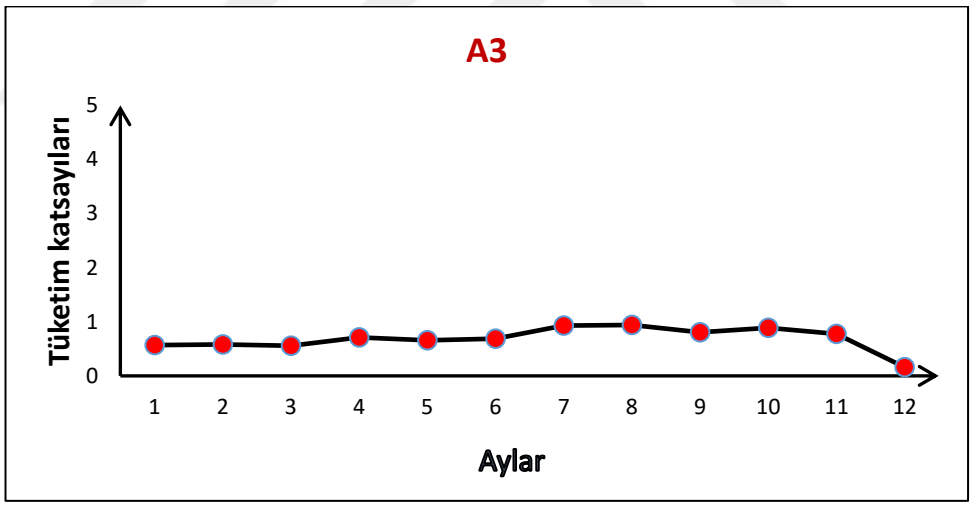


Şekil 4.4 2020 yılında kaydedilen verilere göre A1 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları

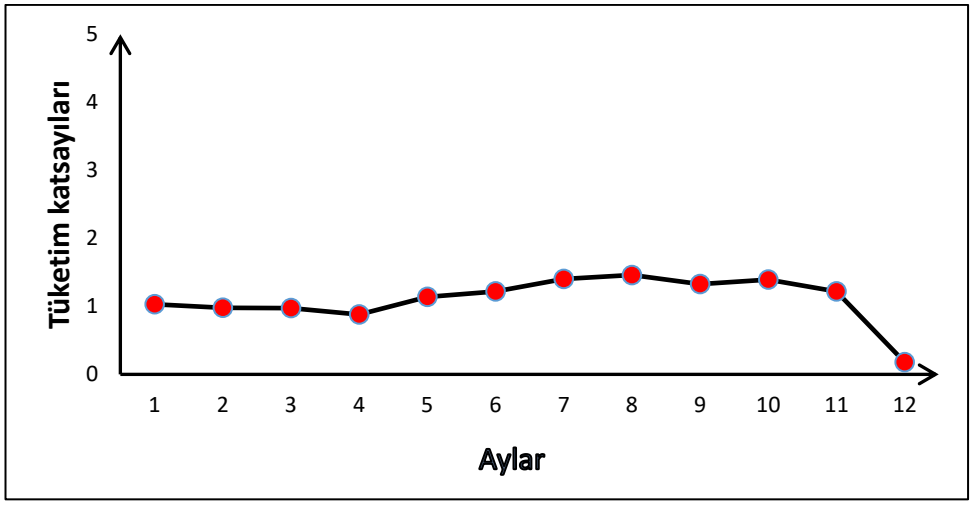


Şekil 4.5 2020 yılında kaydedilen verilere göre A2 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları

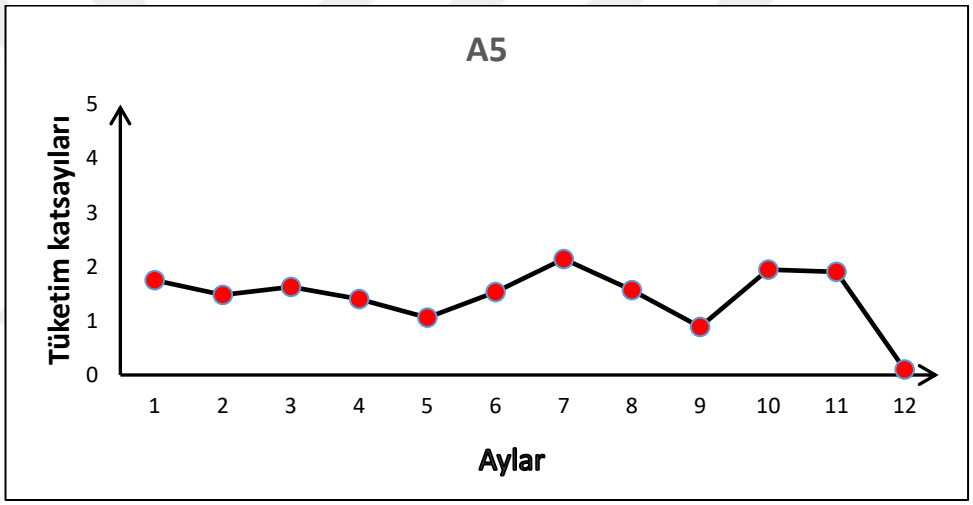
A2 mahallesi ile ilgili değişkenin son yıllarda hava sıcaklıklarının Ekim ayında mevsim normallerinin üstünde olması sebebiyle ciddi su tüketimi sağlayan etkenlerden biri olan temizliğin standart tarihten sarkmış olmasına bağlanmıştır.



Şekil 4.6 2020 yılında kaydedilen verilere göre A3 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları

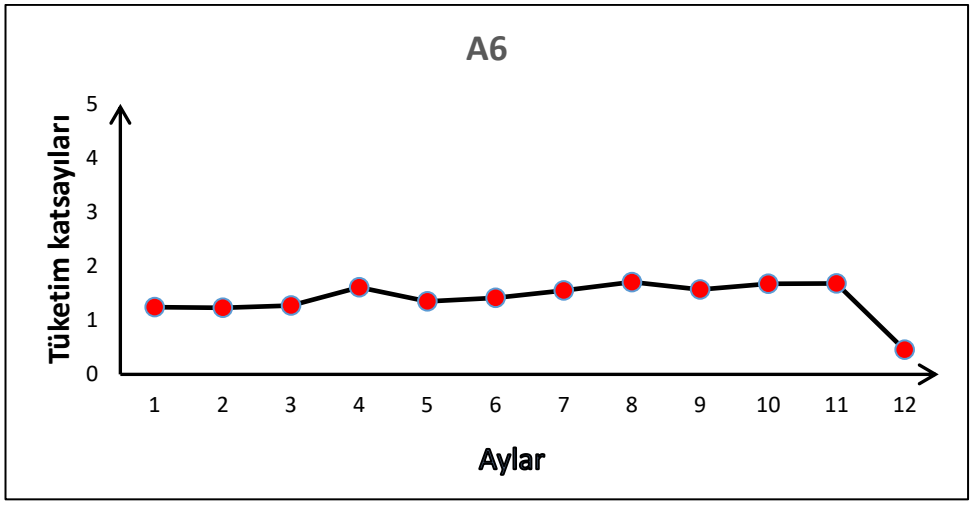


Şekil 4.7 2020 yılında kaydedilen verilere göre A4 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları



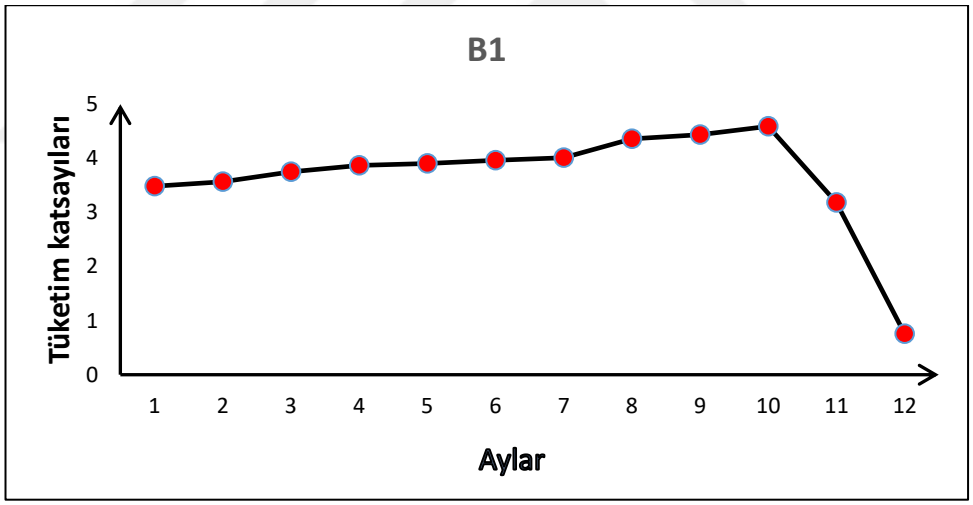
Şekil 4.8 2020 yılında kaydedilen verilere göre A5 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları

A5 mahallesinde işyeri ağırlıklı tüketicilerden oluşmaktadır. Bundan dolayı da kaçakların yok denilecek kadar az olduğu belirtilmiştir.



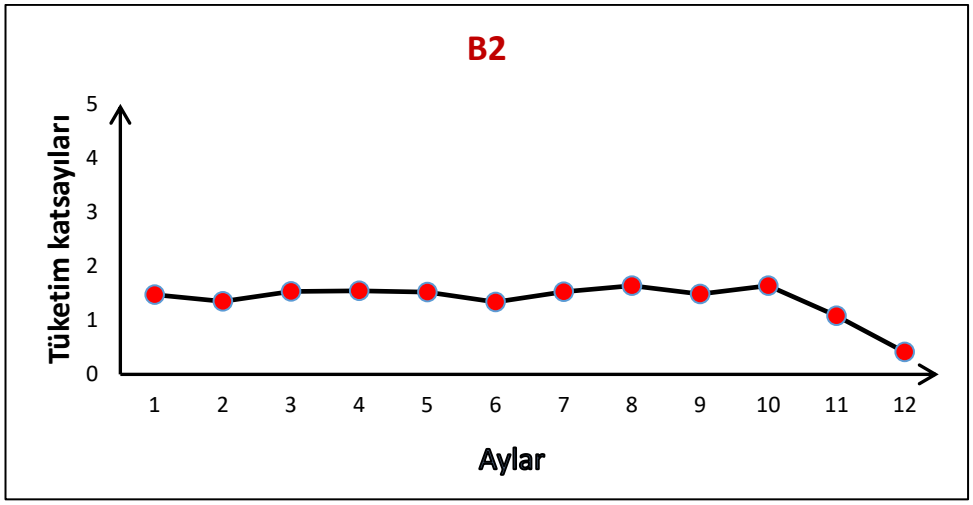
Şekil 4.9 2020 yılında kaydedilen verilere göre A6 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları

A3, A4, A6 mahalleleri genellikle bahçeli ve müstakil evlerden oluşmaktadır. Bu malelerde kaçak tespitleri nadir yaşanmaktadır. Genel olarak il yapısına benzer şekilde 10. ayda yükselişler gözlemlenmektedir.



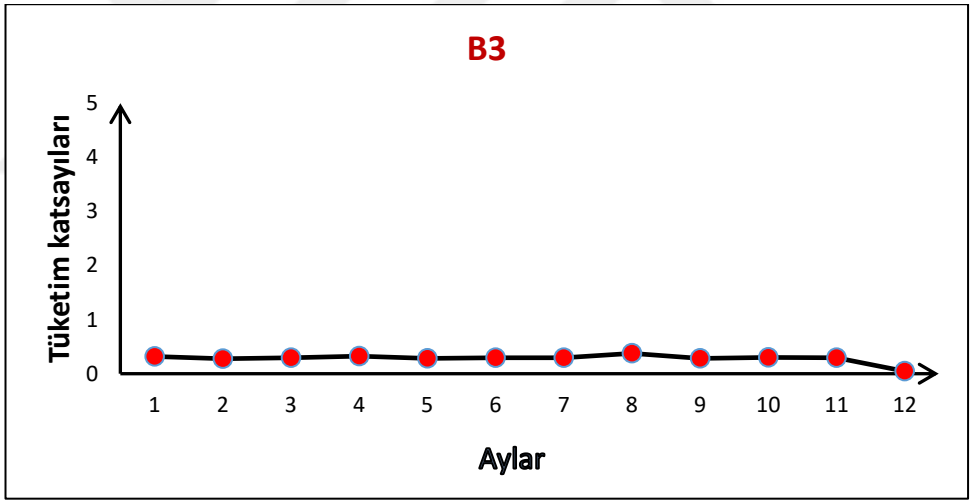
Şekil 4.10 2020 yılında kaydedilen verilere göre B1 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları

B1 mahallesi sosyoekonomik açıdan diğer mahallelere göre daha üst seviyedeki bir mahalle olarak nitelendirilebilir. Şehrin geneline benzer bir şekilde 10. ayda yükselmeler gözlenmektedir.



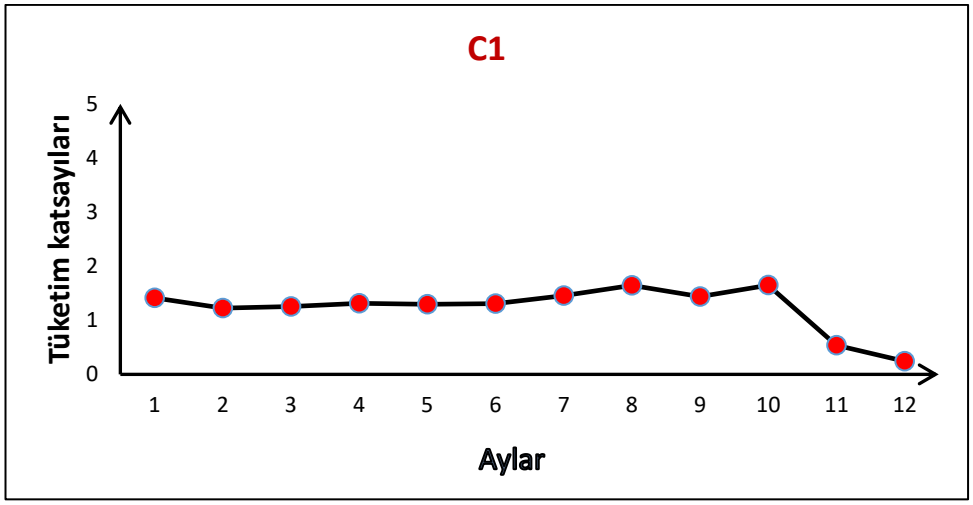
Şekil 4.11 2020 yılında kaydedilen verilere göre B2 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları

B2 mahallesi hayvancılık ile uğraşan tüketicilerden oluşmaktadır. Aynı zamanda nadir de olsa kaçak tespitlerinin yaşandığı bir mahalledir.



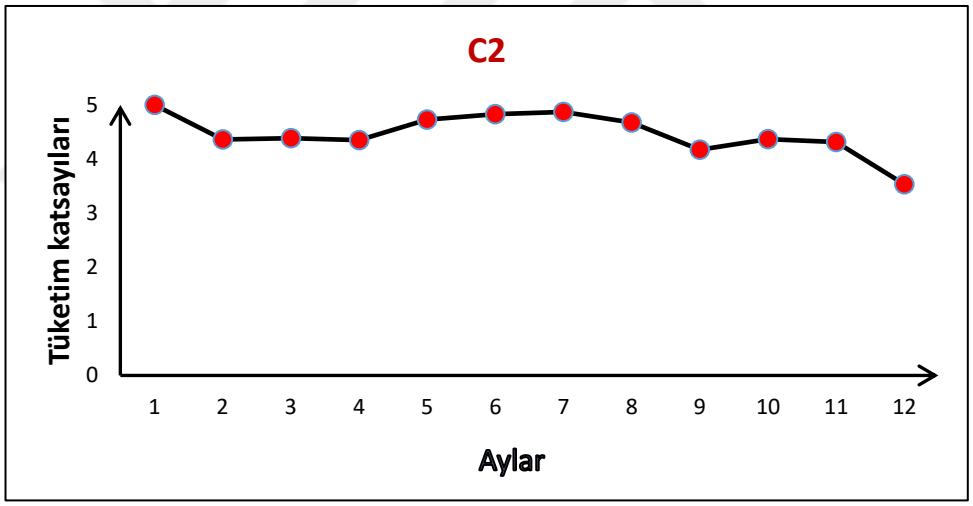
Şekil 4.12 2020 yılında kaydedilen verilere göre B3 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları

B3 mahallesi, bahçe sulamalarında büyük oranda kaçak kullanımının olduğu ciddi sayıdaki tutanak ile tespit edilmiştir.



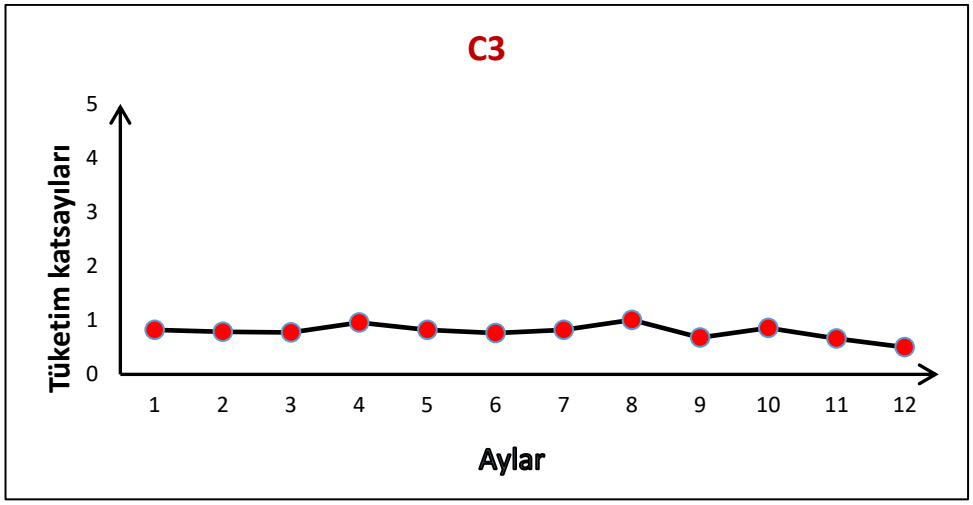
Şekil 4.13 2020 yılında kaydedilen verilere göre C1 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları

Ahır hayvancılığının yapıldığı mahalelerden biri olan C1 mahallesinde ciddi oranda kaçak tespit edilmiştir.



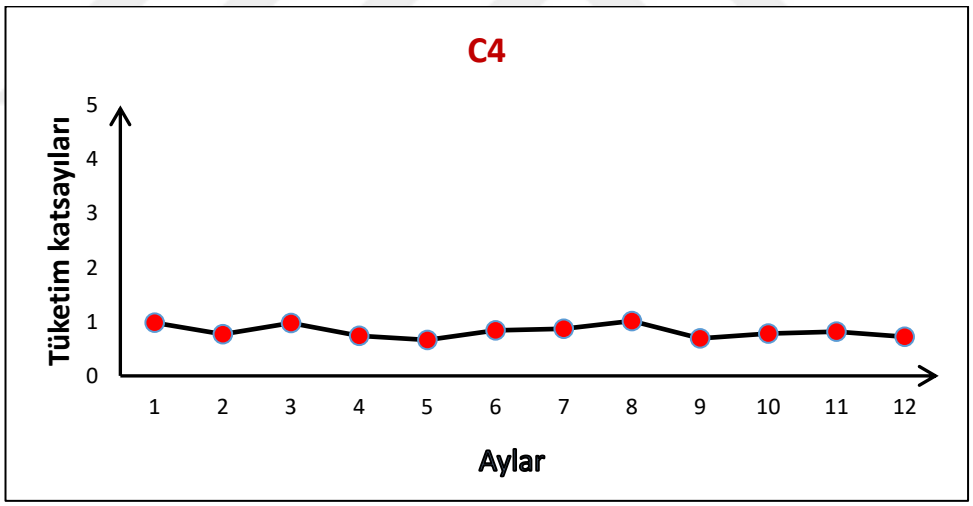
Şekil 4.14 2020 yılında kaydedilen verilere göre C2 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları

C2 mahallesi yeni yerleşim yerlerinden biridir. Nüfus oranı diğer mahallelere göre daha yüksek olduğu için yüksek bazlı tüketim yakalandığı düşünülmektedir. Bu mahallede olan su kayıplarının fiziki kayıplar olduğu söylenebilmektedir.



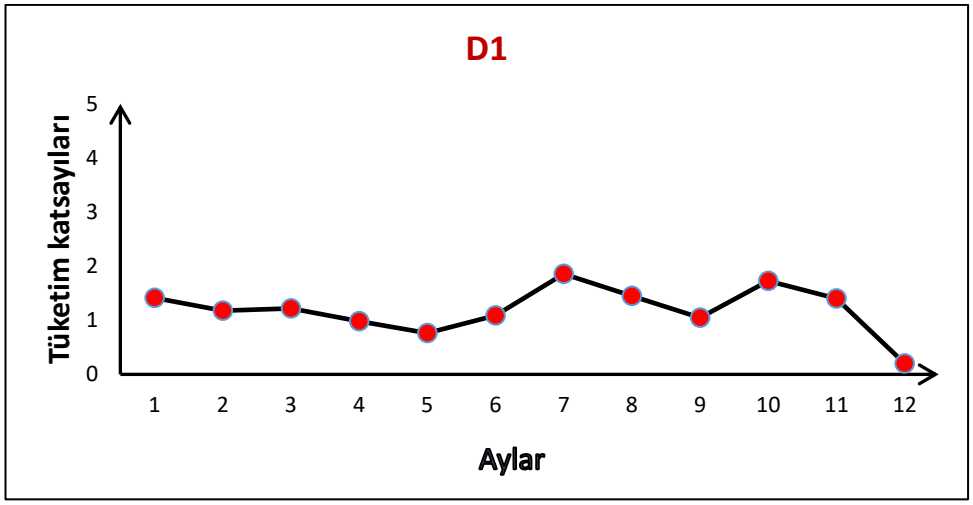
Şekil 4.15 2020 yılında kaydedilen verilere göre C3 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları

C3 mahallesi, bahçeli/müstakil ev sahibi tüketicilerin olduğu ve ahır hayvancılığının yapıldığı bir mahalledir. Hayvancılığın yapıldığı bu ahırlarda ve bahçe sulamalarında ciddi oranda kaçak tespitleri yaşanmaktadır.



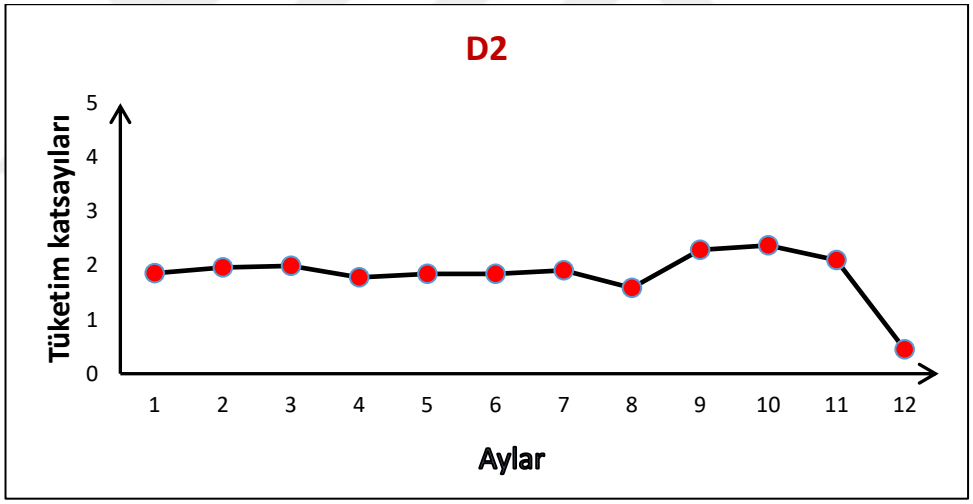
Şekil 4.16 2020 yılında kaydedilen verilere göre C4 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları

C4 mahallesi resmi kurum ve işyerlerinin yoğun olduğu bir mahalledir. Çok nadir de olsa kaçak tespitleri yaşanmaktadır.



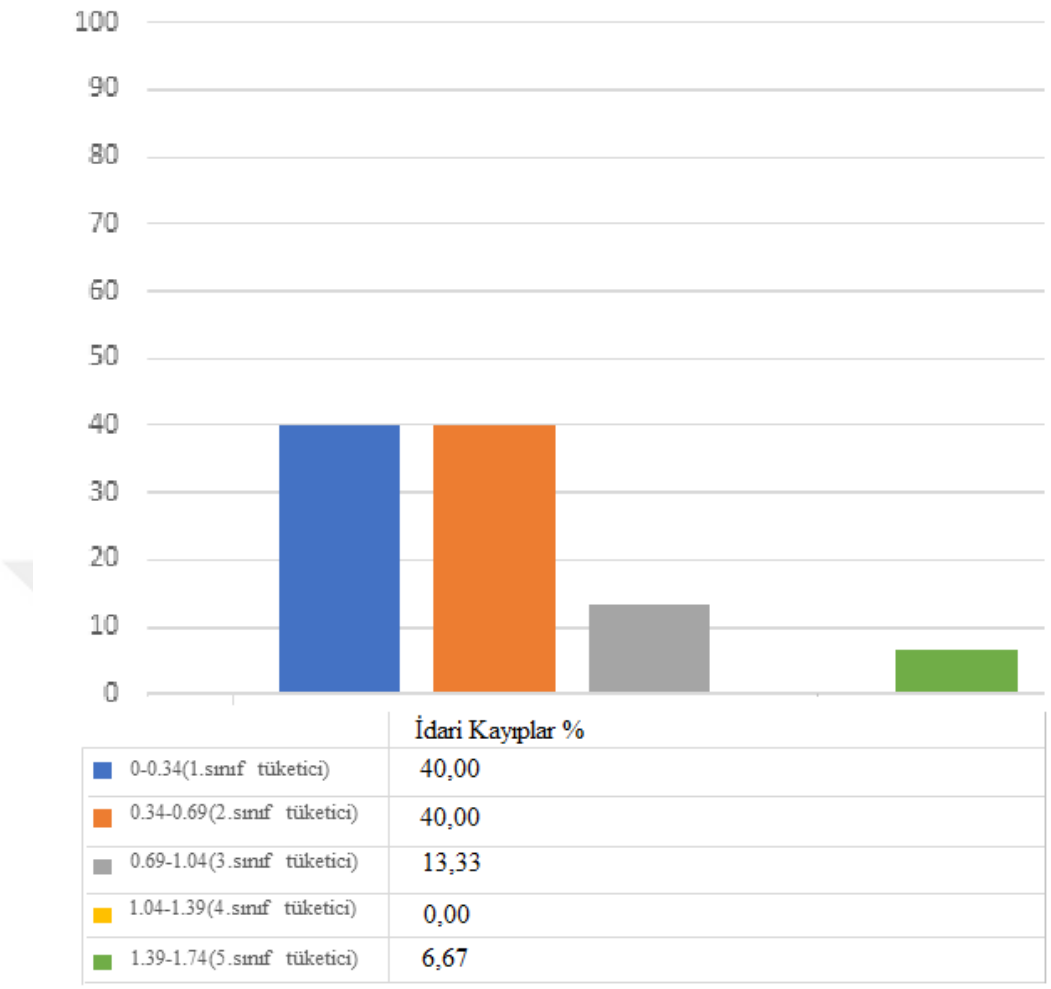
Şekil 4.17 2020 yılında kaydedilen verilere göre D1 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları

Genelde kamu görevlilerin oturduğu D1 mahallesinde kaçak tespitleri nadir görülmektedir.



Şekil 4.18 2020 yılında kaydedilen verilere göre D2 alt bölgesi için aylık su tüketim katsayıları

D2 mahallesi yine ahır hayvancılığının çok olduğu mahallelerden biridir. Ayrıca bahçeli-müstakil ev sayısının çok fazla olduğu bir mahalledir. Bahçe sulamalarında kaçak kullanımlar tespit edilmiştir. Su kullanımında il ile benzer şekilde 10. ayda yükselme gözlemlenmiştir.

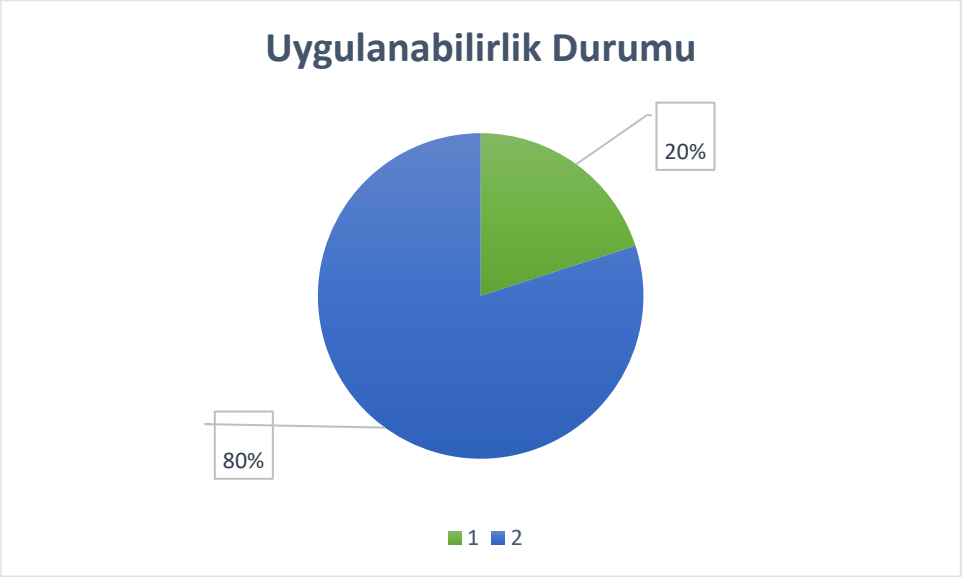


Şekil 4.19 Model tarafından tahmin edilen su kayıp katsayıları histogramı

Model sonuçlarına göre 6 mahalle 1. sınıf, 6 mahalle 2. sınıf, 2 mahalle 3. sınıf ve 1 mahalle 5. sınıf kullanıcı olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar Şekil 4.19'da verilen histogram ile görsel olarak ifade edilmiştir.

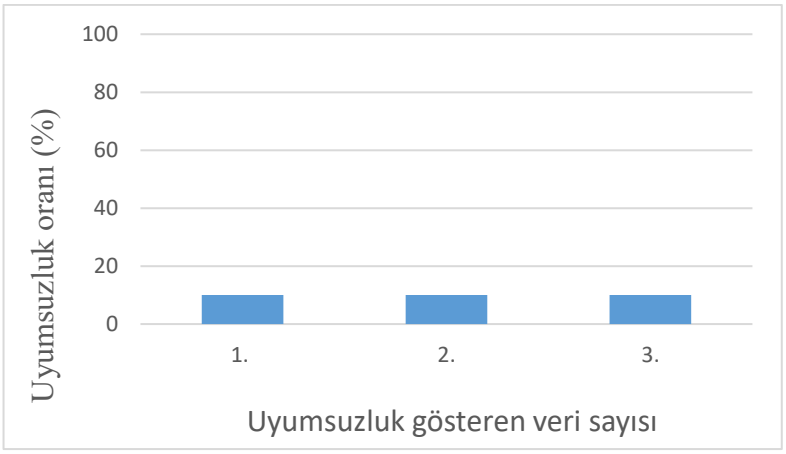
Herhangi bir yerleşim birimi için su dağıtım şebekelerindeki su kayıpları tespiti için oluşturulan bu algoritmanın başarılı sonuçlar verdiği söylenebilir. Kullanım kolaylığı anlamında alternatif çalışmalara göre tercih edilmesi gereken bir yöntemdir. Genelleştirilebilir ve SCADA programı ile adapte edilebilir olması algoritmanın diğer avantajlarıdır (Toprak vd., 2013).

ZFT algoritması çalışmasında ulaşılan model tahmini ile Bingöl Belediyesi teknik personel görüşleri kıyaslandığında paralel bir sonuç gözlenmiştir. Sonuçların benzer olması durumunda model onayına olumlu (✓) farklı olması durumunda ise olumsuz (X) kodlaması yapılmıştır. Yaklaşık olarak %80 oranlarında bir uyum yakalanmıştır (Şekil 5.1). %20'lik hataların yanılma oranları Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 4.20 ZFT algoritması ile gözlem sonuçlarının uyumu

Çalışmada yüzdesel olarak yaklaşık sonuçlara rastlanırken farklılıkların ise çoğunda ardışık algoritma sonuçları olduğu gözlenmiştir. ZFT algoritması ile aylık yerel su kayıp katsayıları sınıflandırılmıştır. B1 mahallesi için modelin tahmini "1. sınıf kullanıcı" iken uzman kişiler "2. sınıf kullanıcı" olarak nitelendirilmiştir. İki tahmin arasındaki fark oldukça düşüktür. B2 mahallesi için model "2. sınıf kullanıcı" tahmininde bulunurken uzman personellerle yapılan tahmin "3. sınıf kullanıcı" şeklinde olmuştur. Benzer şekilde C3 mahallesinde model "2. sınıf kullanıcı" iken uzman personellerle yapılan tahmin "3. sınıf kullanıcı" şeklinde belirtilmiştir. Bu sonuçlar ZFT algoritmasının içme suyu kayıp ve kaçakları tespitinde güvenilirliğini göstermektedir.



Şekil 4.21 %20'lik hataların yanılma oranları

Su kayıp ve kaçaklarının azaltılması önceliğiyle kayıpların fiziki ve idari kayıplar alt başlığında sınıflandırması hassasiyetine ZFT algoritması ile ulaşılmıştır.

ZFT; kullanımı kolay, ekonomik, genelleştirilmeye açık ve SCADA'ya entegre edilebilir bir algoritmadır. Genelden özele herhangi bir yerleşim birimi için uygulanabilir olması da önem teşkil etmektedir (Toprak vd., 2013).

Sonuç olarak ZFT yönteminin içme suyu şebekelerindeki kayıp ve kaçakların tespit edilmesinde, bu kayıpların idari ve fiziki kayıplar olarak ayrılmasında ve kayıplar açısından yerleşim birimlerinin sınıflandırılmasında başarılı olduğu görülmüştür. Ayrıca algoritmanın fiziki ve matematik temeli olması kara kutu yöntemlerden farklı olarak genelleştirilebilir bir yöntem olarak kabul edilebilir (Karakaya ve Toprak, 2018).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünya çapında giderek büyük bir soruna dönüşen su ihtiyacı, toplumun farklı kesimleri tarafından tartışılmaktadır. Gün geçtikçe global düzeyde nüfusun artacağı, teknolojik gelişme ve refah düzeyine bağlı olarak su ihtiyacının da çeşitlenerek artacağı, küresel iklim değişikliğinin gerek nicelik gerek nitelik açıdan en fazla su kaynaklarının üzerinde olumsuz etkisinin olduğu bilinen birer gerçektir. Buna karşın su kaynakları sınırlı kalmaktadır. Mevcut kaynaklarda ise tarımsal faaliyetler başta olmak üzere kentleşme, sanayileşme gibi birçok insan faaliyeti neticesinde kirlilik riski mevcuttur. Bu nedenle tartışmalar daha çok mevcut kaynakların nasıl korunacağı ve en etkin şekilde nasıl kullanılabileceği üzerinde yoğunlaşmaktadır. Su kaynaklarının etkin kullanımın en önemli yolu ve bu yolun ilk adımı da gerek içme ve kullanma gerek sulama suyu şebekelerindeki kayıp ve kaçakların mümkünse tamamen değilse kısmen önlenmesidir.

Dolayısıyla güncel literatürde bu konu ile ilgili birçok farklı yaklaşım ve öneri mevcuttur. Kayıp ve kaçakların önlenmesinin de ilk adımı bunların doğru veya doğruya en yakın şekilde tespit edilmesidir. Nitekim bu amaçla da literatüre her geçen gün yeni yaklaşım ve öneriler eklenmektedir. Bu çalışmada, kayıp ve kaçakların tespitine yönelik olarak geliştirilen ZFT metodolojisi Bingöl Kent merkezi içme ve kullanma suyu şebekesine uygulanmış ve sonuçları paylaşılmıştır. Daha önce Diyarbakır kent merkezine (mahalle bazında) ve Türkiye geneline (81 ilin kent merkezi bazında) uygulanmış olan yöntemin oldukça gerçekçi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmada verilen Bingöl kent merkezi uygulaması ile yöntemin kayıp ve kaçakların tespitindeki başarısı bir daha test ve tespit edilmiştir.

Model sonuçları, idarenin kayıtları ve gözlem sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Buna göre 15 mahallenin 12 tanesi için model sonuçları gözlem sonuçları ile birebir uyuştuğu, sadece üç mahalle için modelin yanıldığı (%20) görülmüştür. B1 mahallesi için model 1. sınıf kullanıcı tahminini yapmışken idari kayıtlar ve gözlemler bu mahallenin 2. sınıf kullanıcı olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde B2 ve C3 mahalleleri için model 2. sınıf kullanıcı tahmininde bulunmuş ve fakat idari kayıt ve

gözlemler 3.sınıf kullanıcı olarak bu mahalleyi göstermiştir. Yöntemin ilk uygulama sonuçlarına göre model Diyarbakır kent merkezi için 41 mahallenin sadece ikisinde yanıldığı görülmüştür. İkinci uygulamasında ise 81 ilin kent merkezi idarelerinin kayıt ve gözlemlerine ulaşılamadığı için bu tespit yapılamamıştır.

Ancak yöntemin bu ikinci uygulamasının sonuçlarına göre üç yıl boyunca Tunceli kent merkezi en iyi kullanıcılar açısında ilk üç sıraya girdiği tespit edilmiştir. Yapılan araştırma neticesinde o yıllarda bu kent merkezinde suyun halka ücretsiz olarak dağıtıldığı tespit edilmiştir. Bu durum, idari kayıplar açısından bu kent merkezinin en iyi kullanıcı olmasının nedeni olarak yorumlanmış ve yöntemin idari kayıplarının tahmininde başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Algoritmanın, içme suyu idarelerinin halihazırda kullanmış oldukları şebeke kontrol programlarına adapte edilebileceği özelliği de dikkate alınırsa tüm kent merkezlerine güvenle uygulanabileceği söylenebilir ve bu amaçla önerilebilir. İkinci uygulamasında yöntem illerin kent merkezlerine, ilk ve bu son uygulanmasında ise mahallelere uygulanmıştır. Ancak yöntemin doğrudan abone esaslı olarak da uygulanabilir olması yöntemin diğer bir avantajı olarak ifade edilebilir.

KAYNAKLAR

Akdeniz, T. (2021). Karstik Bölgelerde Bulunan İçme Suyu Şebekelerinde Fiziki Su Kayıplarının Gürültü Korelatörleri ve Basınç Optimizasyonu ile Yönetimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21* (1) , 113-121. DOI: 10.35414/akufemubid.834812

Bektaş, E. (2019). *;Su Dağıtım Şebekelerinde Fiziki Kayıpların Akustik Yöntemle Deneysel Olarak İncelenmesi.*(Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya.

Billmann, L. and Isermann R.(1987). Leak detection methods for pipelines. *Automatica 23(3),* 381-385. https://doi.org/10.1016/0005-1098(87)90011-2

Bingöl Bölgesinde Ortalama Aylık Yağmur Miktarı. Weather Spark. https://cutt.ly/dZKicPe. (Erişim tarihi:5 Nisan 2022).

Bingöl Belediyesi, (2021).Su Tüketimini Azaltmak İçin Bazı Önlemler. Bingöl Belediyesi. https://cutt.ly/07gxVhC. (Erişim tarihi:5 Nisan 2022).

Bobat, A. (2016). *Reasons and results of water shortage in Turkey:The case study of Kocaeli,* Kocaeli Üniversitesi.

Brones HH. and Schaffhaussen, H. (1972). European methods of leak detection and location. *Pipeline Ind,* 50–66.

De Raad, J. A. (1965). Comparison between ultrasonic and magnetic flux pigs for pipeline inspection:with exemples of ultrasonic pigs. *Pipes & pipelines international, 32(1).*

Durmuşçelebi, F. M., Fırat M., Özdemir Ö. (2021). Benefit Cost Analysis for Leakage Management and Network Rehabilitation in Distribution Systems. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi, 27(6), 660-668, .*
DOI*:* 10.5505/pajes.2020.29726

El-Zahab, S. and Zayed, T. (2019). Leak detection in water distribution networks: an introductory overview. *Smart Water* 4:5 https://doi.org/10.1186/s40713-019-0017-x

Erdin, H.E., (2001). *Şehir Planlamada Su ve Kanalizasyon Sistemleri Proje Eşiklerinin Değerlendirilmesi*.(Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Ferrante, Marco, Capponi C., Collins R., Edwards J., Brunone B., and Meniconi S. (2016).Numerical transient analysis of random leakage in time and frequency domains. *Civil Engineering and Environmental Systems 33*(1), 70-84. https://doi.org/10.1080/10286608.2016.1138941

Gerger, R. and Aslan, A. (2019). Şanlıurfa İli İçin İçme Suyu Kayıp ve Kaçaklarının Tespiti. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4 (2) , 26-35. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/humder/issue/47643/512085

Gökdereli, B. (2016). *Su Kayıplarının Önlenmesi*, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, İstanbul.

Gülaydın, O. (2017). *İçme Suyu Dağıtım Şebekelerinde Ekonomik Su Kayıpları Seviyesinin Belirlenmesi: Antalya Kaleiçi Örneği* .(Yüksek Lisans Tezi). Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

Hunaidi, O. and Wing T. C. (1999). Acoustical characteristics of leak signals in plastic water distribution pipes. *Applied Acoustics 58(3),* 235-254.

Isermann, R.(1984). Process fault detection based on modeling and estimation methods—A survey. A*utomatica 20(4),* 387-404.https://doi.org/10.1016/0005-1098(84)90098-0

Isermann, R. (1985). Process fault diagnosis with parameter estimation methods. *IFAC Proceedings Volumes 18*(11), 51-60. https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)60110-1

Isermann, R., and B. Freyermuth.(1991) Process Fault Diagnosis Based on Process Model Knowledge: Part I—Principles for Fault Diagnosis With Parameter Estimation. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 113(4),* 620-626. https://doi.org/10.1115/1.2896466

Karaca, Z. (2009). *İçme suyu Şebeke Sistemlerinde Su Kayıp ve Kaçakların Tespiti.* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Karakaya D.ve Toprak Z.F. (2018), İçme Suyu Şebekelerindeki Su Kayıplarının ZFT Algoritması Kullanılarak Sınıflandırılması, *Su Kaynakları,* 3, (2) 22–30.

Kılıç, G., Temel A., Torun Y. (2018). Yeraltı Radarı Yardımıyla Kentsel Su /Atık Su Sistemlerinin ve Kaçak Su Yerlerinin Belirlenmesi. *International Symposium on Urban Water and Wastewater Management,* Denizli.

Körpe, M. (2018). *Konya İçme Suyu Şebekesinde Su Kayıplarının Tespiti ve Değerlendirilmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Leahy S., (2014). *Your Water Footprint: The Shocking Facts About How Much Water We Use to Make Everyday Products,* Firefly Books.

Liou JCP. (1994). Leak detection: A transient flow simulation approach. *In Proc. Of the energy-sources technology conference*, New Orleans, LA, USA.

Loparo K.A., Buchner B.,Vasudeva K.S. (1991).Leak detection in an experimental heat exchanger process: a multiple model approach. *IEEE Transactions on automatic control 36(2),* 167-177.

MGM, (2020). İllere Ait Mevsim Normalleri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. https://cutt.ly/PZKuMLq. (Erişim tarihi:15 Nisan 2022).

MGM, (2021). Su Döngüsü- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. https://cutt.ly/eZKpyXC. (Erişim tarihi:14 Nisan 2022).

MGM, (2022). Kuraklık Analizi. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. https://cutt.ly/gZKrxyC. (Erişim tarihi:14 Nisan 2022).

Muhammetoğlu, A. (2017). *Antalya 1. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Çalıştayı ve Eğitimi*. Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Malatya

Muhammetoğlu, A., Muhammetoğlu, H., Adıgüzel A., İritaş, Ö., Karaaslan Y. (2018). Management of Water Losses in Water Supply and Distribution Networks in Turkey . *Turkish Journal of Water Science and Management*, 2 (1) , 58-75. DOI: 10.31807/tjwsm.354298

Muluk, Ç. B., Kurt, B. Turak, A., Türker, A., Çalışkan, M. A., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G., Zeydanlı, U. (2013). *Türkiye'de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif.* İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği - Doğa Koruma Merkezi.

Ociepa, E. (2021). Analysis and assessment of water losses reduction effectiveness using examples of selected water distribution systems. *Desalination and Water Treatment, 211,* 196-209.

Ociepa E, Mrowiecve, M., Deska, I. Analysis of Water Losses and Assessment of Initiatives Aimed at Their Reduction in Selected Water Supply Systems. *Water*. 2019; 11(5):1037. https://doi.org/10.3390/w11051037

Olğun S. Ö. (2015). *Su Yönetimi Bülteni*, 2(6). T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, İstanbul.

Özdağlar, D., Benzeden E. Kahraman M. (2006). Kompleks Su Dağıtım Şebekelerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu. *İMO Teknik Dergisi*, s. 3851–3867.

Prihtiadi H. vd., A SİmpIe Method to Determine Leakage Location in Water Distribution Based on Pressure Profiles, *AIP Conference Proceedings 1719,030045* (2016). https://doi.org/10.1063/1.4943740

Qahtani, T. Yaakob, M. S., Yidris, N., Süleyman, Ş., Ahmed, K. A. (2020). A Review on Water Leakage Detection Method in the Water Distribution Network. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*. 68. 152-163.

Saldarriaga, J. and Salcedo, C., (2015). Determination of Optimal Location and Settings of Pressure Reducing Valves in Water Distribution Networks for Minimizing Water Losses, *13th Computer Control for Water Industry Conference,*, Bogotá, Colombia

Siebert, H. (1981). A simple method for detecting and locating small leaks in gas pipelines. *Process Automation, 2,* 90-95.

Songur, M. (2016). *İçme Suyu Şebekelerindeki Fiziksel Kayıpları Önlemeye Yönelik Diyarbakır İçin Örnek Bir Model Geliştirilmesi*. (Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Şığva, A.,(2015). *Doğu/Güneydoğu Anadolu'da Kentleşme Sürecinde Mezopotamya-Anadolu Arasındaki Ticari İlişkilerin Rolü*. (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.

Toprak, Z.F., Songur, M., Hamidi, N., Gulsever, H. (2013). Determination of Losses in Water-Networks Using a New Mathematical Approach, *3rd International Water Congress and Exhibition,* Bursa.

Turkey Water Report (2012), DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.

Türkiye'de Su Yönetimi Sorunlar ve Önerileriler, (2008), TÜSİAD.

Wang, G., Dong, D., Diş, C. (1993). Leak detection for transport pipelines based on autoregressive modeling. *IEEE Transactions on Instrumentation and measurement, 42(1),* 68-71.

Wilsky, A. S. (1976). A Survey of design methods for failure detection Systems. *Automatica 1(2),* 601–611. https://doi.org/10.1016/0005-1098(76)90041-8

World Population Prospects (2022). United Nations. https://cutt.ly/aZKe666. (Erişim tarihi:4 Mayıs 2022).

WWF, (2011). Türkiye Su Zengini Bir Ülke mi?.WWF Türkiye. https://cutt.ly/hZKeAEg. (Erişim tarihi:4 Mayıs 2022).

Hunaidi, O. and Wing T. C. (1999). Acoustical characteristics of leak signals in plastic water distribution pipes. *Applied Acoustics 58(3),* 235-254.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad	Hülagühanoğlu, Nihan
Web sayfası (Research Gate, Academia, vs.)	

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi	2022
Lisans	Bingöl Üniversitesi	2016
Lise	Bingöl Anadolu Lisesi	2004

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
----	---	----

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1.---
2.---
3.---
4.---

Özel İlgiler

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Nihan Hülagühanoğlu		
Öğrenci No	19806019		
Ana Bilim Dalı	İnşaat Mühendisliği		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Z. Fuat Toprak		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	İçme Suyu Şebekelerinde Kayıp ve Kaçakların ZFT Algoritması ile Belirlenmesi		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Öncesi		
Sayfa Sayısı	63		
Raporlama Tarihi	05.01.2023		
Benzerlik Oranı (%)	21		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 63 sayfalık kısmına ilişkin, 05.01.2023 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 21 olarak tespit edilmiştir.
Uygulanan filtrelemeler:

☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç

☐Kaynaklar hariç

☐Alıntılar dâhil

☒Diğer (Her şey dahil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aş(ma)maktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir,
gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Nihan Hülagühanoğlu
Tarih: 07/04/2023
İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Prof. Dr. Z. Fuat Toprak Tarih:07/04/2023	İmza:
Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. Dr. Z. Fuat Toprak Tarih:07/04/2023	İmza: