



## İÇME SUYU DAĞITIM SİSTEMLERİNDE ÖNLENEBİLECEK EN UYGUN SIZINTI HACMİNİN VE ORANININ BELİRLENMESİ

<sup>1</sup>Salih YILMAZ , <sup>2</sup>Mahmut FIRAT 

<sup>1</sup>Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çankırı, TÜRKİYE

<sup>2</sup>İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, TÜRKİYE

<sup>1</sup>salihyilmaz@karatekin.edu.tr <sup>2</sup>mahmut.firat@inonu.edu.tr

Geliş/Received: 01.03.2022; Kabul/Accepted in Revised Form: 06.06.2022

**ÖZ:** İçme suyu dağıtım sistemlerinde meydana gelen arızalar sonucunda yıllık olarak önemli miktarda su kaybolmaktadır. Bu sızıntıların azaltılması ve yönetilmesi için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu çalışmada dağıtım sistemlerinde sızıntıların azaltılması için uygulanan temel yöntemler dikkate alınarak en uygun önlenebilir sızıntı hacminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için aktif sızıntı kontrolü, basınç yönetimi, şebeke rehabilitasyonu ve ekip yönetimi gibi temel yöntemler göz önünde bulundurulmuştur. Bu yöntemler için maliyetler ve potansiyel faydalar belirlenmiştir. Bu fayda maliyetler kullanılarak optimizasyon tabanlı bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model pilot izole bölgede uygulanmıştır. İzole bölgeden alınan veriler dikkate alınarak optimizasyon algoritması ile her bir yöntem için önlenebilir sızıntı hacimleri analiz edilmiştir. Bölgede başlangıçta toplam kayıp miktarı 3,68 l/s (%36,01) olarak hesaplanmıştır. Optimizasyon modeline göre bölgede en uygun kayıp miktarı 1,36 l/s (%13,27) olarak belirlenmiştir. Buna göre bölgede ekonomik olarak azaltılabilecek toplam kayıp miktarı 2,32 l/s olarak tespit edilmiştir. En fazla fayda 1,53 l/s ile basınç yönetiminden elde edilmektedir. Analiz sonuçlarına göre uygulanması gereken yöntemler ve bu yöntemlerden elde edilecek faydalar sıralanmıştır. Elde edilen sonuçların özellikle sahada teknik personel için önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İçme Suyu Dağıtım Sistemi, Sızıntı, Önlenebilir Sızıntı Hacmi, Ekonomik Analiz

### Determining the Most Appropriate Recoverable Leakage Volume and Rate in Water Distribution Systems

**ABSTRACT:** A significant amount of water is lost annually as a result of malfunctions in drinking water distribution systems. Various methods are applied to reduce and manage these leaks. In this study, it is aimed to determine the most appropriate preventable leakage volume by considering the basic methods applied to reduce leakages in distribution systems. For this, basic methods such as active leakage control, pressure management, network rehabilitation and team management have been considered. Costs and potential benefits have been identified for these methods. An optimization-based model was developed using these benefit costs. The developed model was applied in the pilot isolated region. Considering the data taken from the isolated area, the preventable leakage volumes for each method were analyzed with the optimization algorithm. The total loss amount in the current situation is calculated as 3.68 l/s (36.01%). The most appropriate loss amount in the region was determined as 1.36 l/s (13.27%) by the optimization model. The total amount of loss that can be economically reduced in the region has been determined as 2.32 l/s. It was seen that the most benefit will be obtained from pressure management with 1.53 l/s. According to the results of the analysis, the methods to be applied and the benefits to be obtained from

these methods are listed. It is thought that the results obtained will make important contributions especially to the technical personnel in the field.

**Keywords:** *Water Distribution System, Leakage, Preventable Leakage Volume, Economic Analysis*

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

İçme suyu dağıtım sistemleri en temel alt yapı sistemleridir. Bu sistemlerde çeşitli faktörlere bağlı olarak meydana gelen arızalar, işletme koşullarını bozmakta, maliyetleri arttırmakta, abone şikâyetlerinin artmasına ve hizmet kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Farley ve Trow, 2003; Lambert, 2002; Farley ve Liemberger, 2005). Sürdürülebilir kentsel su yönetiminde, arıza oranının ve sızıntı miktarının azaltılması, su ve enerji verimliliğinin sağlanması ve yatırım ve işletme maliyetinin azaltılması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle bu sızıntıların önlenmesi, kontrol altına alınması ve yönetilmesi için en uygun yöntemin belirlenmesi gerekir. Literatürde, sızıntı yönetiminde uygulanan temel yöntemler, izole bölgelerin oluşturulması (Alvisi ve diğ., 2019; Creaco ve Haidar, 2019; Liu ve Lansey, 2020), minimum gece debisi analizi (Amoatey ve diğ., 2018; Al-Washali ve diğ., 2019; Negharchi ve Shafaghat, 2020), sızıntı yerinin tespiti ve arıza onarım hızı ve kalitesinin iyileştirilmesi (AL-Washali ve diğ., 2018; Savic ve Kapelan, 2019), şebeke yenileme ve boru malzemesi yönetimi (Lakehal ve Laouacheria, 2017; Salehi ve diğ., 2017) şeklindedir. Bu yöntemler uygulanarak sızıntıların izlenmesi, tespit edilmesi, kontrol edilmesi ve yönetilmesi mümkün olmakla birlikte, yöntemlerin gereksinimleri, kısıtları, ilk kurulum ve işletme-bakım maliyetleri önemli seviyelere ulaşmaktadır. Bu nedenle, sistemin işletme bileşenlerinin dikkate alınması, su kayıp bileşenleri için ekonomik analizlerin yapılması ve fayda ve maliyet analiz modelinin tanımlanması, etkin, ve sürdürülebilir su kayıp yönetimi açısından oldukça önemlidir (Ezbakhe ve Foguet, 2019; Jensen ve Nair, 2019; Lopez ve diğ., 2019). Bilindiği üzere her bir sistemin karakteristiği, işletme ve çevresel özellikleri, su kayıp oranları farklılık göstereceğinden dolayı tüm sistemlerde su kayıplarının aynı seviyeye indirilmesi mümkün değildir. Bundan dolayı, sızıntı oranının azaltılması ve kabul edilebilir seviyeye indirilebilmesi için, sistemin mevcut koşulları, teknik ve personel alt yapısı göz önünde bulundurularak en uygun stratejinin belirlenmesi gerekir. Sızıntı oranının azaltılması için idareler tarafından birçok uygulama gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte, sızıntı yönetiminde genellikle belli hedefler tanımlanmakta ve buna ulaşmak için yüksek maliyet oluşturan yatırımlar yapılmaktadır. Fakat birçok durumda fayda maliyet analizi esas alınmadığı için yapılan yatırımlar ekonomik olmamaktadır. Su kayıp yönetiminde sistemin mevcut koşullarının göz önüne alınması, en uygun önleme stratejisinin seçilmesinde ekonomik analizlerin yapılarak ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanması gerekliliği literatürde yapılan çalışmalarda vurgulanmıştır (Wyatt ve Alshafey, 2012; Lim ve diğ., 2015; Haider ve diğ., 2019; Yılmaz ve diğ., 2021). Ayrıca, ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanmasında ve analizinde, matematiksel ve istatistiksel yöntemleri esas alan çeşitli yaklaşımların uygulandığı görülmektedir (Moslehi ve diğ., 2019; Ahopelto ve Vahala, 2020).

Kentlerde nüfus artışına bağlı olarak su talebi artmakta ve sızıntıların önlenmesi ve kontrol altına alınması oldukça kritik bir noktaya gelmiştir. Bu nedenle idareler kayıp oranlarını düşürmek için çok fazla yatırımlar yapmaktadır. Su kayıplarının azaltılması için kullanılacak her yöntem bir maliyet doğuracağı gibi, şebekenin mevcut durum ve özelliklerine göre çeşitli faydalar da sağlayacaktır. Ancak su kayıp yönetiminde ve strateji geliştirmede en önemli bileşen ekonomik olarak ulaşabilecek sızıntı hedefinin tanımlanmasıdır. Bu hedef sistemin karakteristiğine, işletme-tüketim ve talep verilerine, su üretim maliyetine ve işletme faaliyetlerine bağlı olarak tanımlanmalıdır (Islam ve Babel, 2013).

İçme suyu dağıtım sisteminde kayıpların azaltılması için harcanan birim maliyetin, su üretim/satış maliyetine eşit olduğu nokta Ekonomik Kayıp Seviyesi (EKS) olarak tanımlanabilir (Firat et al., 2021). Dağıtım sistemlerinde su kayıplarının EKS değerinden daha düşük seviyeye azaltılması, faaliyetlerin maliyetinin elde edilecek faydalardan olması nedeniyle su idareleri için ekonomik olmayacaktır.

Su kayıpları belirli bir seviyeye indirildikten sonra, bu genelde EKS olmalı, eğer bölgede su sorunu yok ise su tasarrufu sağlamak için yapılan yatırımlar ekonomik olmayan sonuçlar ortaya çıkaracaktır. Bir

dağıtım sisteminde sızıntıların daha iyi yönetilmesi ve sistematik analiz edilmesi için izole ölçüm bölgeleri oluşturulmalı, giriş debisi ve basınç düzenli izlenmelidir (Molinos-Senante ve diğ., 2016).

Ülkemizde Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından 04 Ekim 2021 tarihinde "İçme Suyu Sistemlerinde Su Kayıplarının Azaltılmasına Yönelik İş Termin Planı Genelgesi" yayınlanmıştır. Bu genelgeye göre, Belediyeler tarafından, su kayıp oranlarını mevzuatın nihai hedefi olan %25 oranı ve altına indirmek üzere İş Termin Planı ve Detay Rapor hazırlanacaktır. İş termin planında, veri toplama sistemleri (Coğrafi bilgi sistemler (CBS), Merkezi Denetim ve Veri Sistemi (SCADA), Abone Yönetim Sistemi (ABYS), Arıza Yönetim Sistemi ve Çağrı Merkezi), fiziki kayıpların önlenmesi (izole ölçüm bölgelerinin ve basınç bölgelerinin tasarımı, Minimum Gece Debisi (MNF) analizi, sızıntı yerinin tespiti), idari kayıpların önlenmesi, altyapı sızıntı indeksi ve ekonomik kaçak seviye analizleri yer almaktadır. Yılmaz (2021) tarafından yapılan çalışmada içme suyu dağıtım sistemlerinde sürdürülebilir su yönetimi için ekonomik kaçak seviye modeli geliştirmiştir. Geliştirilen bu model yapay zeka optimizasyon algoritmasını temel almaktadır. Bu modelde içme suyu dağıtım sistemlerinde şebeke, abone ve kurum alt yapısı gibi birçok faktör dikkate alınarak analiz yapılmaktadır. Sızıntıların günlük izlenmesi, anında müdahale edilmesi ve onarılması faaliyetlerini izole ölçüm bölgeleri oluşturmadan yapmak mümkün değildir. Bu nedenle büyük dağıtım sistemlerinde bu tür analizler için öncelikle izole ölçüm bölgeleri oluşturulmalıdır. Ayrıca, su kayıplarını sıfıra indirmek ne ekonomik ne de teknik olarak mümkün olmadığı için önleme yöntemleri doğru bir şekilde analiz edilmeli ve öncelikli uygulanması gerekenler belirlenmelidir (Al-Washali ve diğ., 2020).

Sızıntı yönetiminde şebeke bileşenlerini (arıza ve sızıntı oranı, ekip sayısı, basınç limitleri, mevcut durum), önleme yöntemlerinin gereksinimlerini ve kısıtlarını ve bunların maliyet analizlerini dikkate alarak ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanması bir optimizasyon problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanmasında, arıza ve sızıntı üzerinde önemli etkiye sahip olan basıncın analiz edilmesi, sistem karakteristiğine göre en uygun basınç seviyesinin tanımlanması, arıza onarım hızının iyileştirilmesi için en uygun ekip sayısının tanımlanması, en önemli optimizasyon bileşenleridir. Bu nedenle, ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanması için, arıza ve sızıntı oluşumuna neden olan tüm faktörlerin dikkate alınması, etkisinin analiz edilmesi, maliyet bileşenlerinin tanımlanması, fayda maliyet analizinin yapılması ve optimizasyon tabanlı modelin geliştirilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı, bu çalışmada, sürdürülebilir su kayıp yönetiminde, sistem ve su kayıp bileşenleri, önleme yöntemlerinin gereksinimleri, kısıtları ve maliyet bileşenleri göz önünde bulundurularak, en uygun önlenebilir sızıntı hacminin ve oranının belirlenmesi ve bu orana ulaşmak için uygulanması gereken yöntemlerin tanımlanması amaçlanmıştır. Bunun için Yılmaz (2021) tarafından geliştirilen ekonomik kaçak seviye analiz modeli esas alınmıştır.

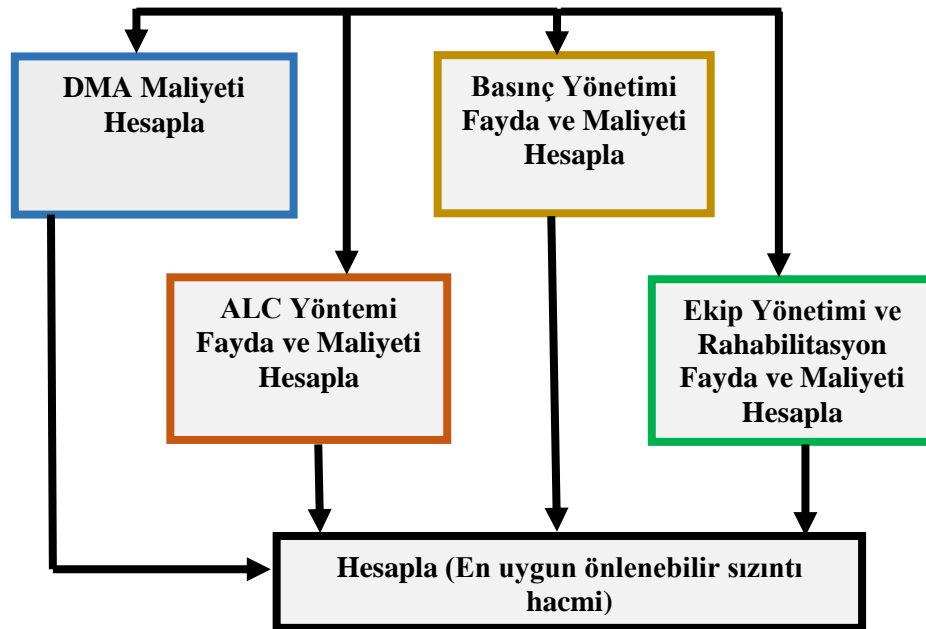
#### **SIZINTI YÖNETİM MODELİ (LEAKAGE MANAGEMENT MODEL)**

İçme suyu dağıtım sistemlerinde ekonomik olarak önlenebilecek sızıntı hacminin belirlenebilmesi için öncelikle su kayıplarını önleme yöntemleri iyi anlaşılmalı ve analiz edilmelidir. Fiziki kayıpların azaltılması için yapılan uygulamalar su kayıplarını azaltmanın yanı sıra çeşitli işletme ve uygulama maliyetleri de ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle kayıp azaltma çalışmaları yapılırken aynı zamanda seçilen ilgili yöntemler için ayrı ayrı fayda/maliyet analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, sızıntı azaltma yöntemlerinden biri olan izole bölge tasarımı, basınç kontrol yöntemi, aktif kaçak kontrolü, şebeke yenileme için boru malzemesi gibi 4 farklı maliyet hesabında etki eden yapı kullanılmıştır. Bu yapıların matematiksel temelleri Yılmaz (2021) tarafından yapılan çalışmada detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Yılmaz (2021) tarafından matematiksel temelleri ve algoritmik düzenleri verilen olan 4 adet maliyet hesabı terminolojisi dikkate alınmıştır (Şekil 1). İçme suyu kayıplarının azaltılması amacıyla kullanılan bu dört farklı yöntem birbirlerinden bağımsız değerlendirileceği gibi, sızıntılarla planlı bir mücadele kapsamında birlikte değerlendirilmesi daha doğru olacaktır. Kurulan algoritmalarda her bir yöntem için ortak değişkenler birlikte tanımlandığında sistemin ve kurulan algoritmaların ortak çözümleri de mümkün hale gelmektedir.

Bir izole bölgenin su kayıp yönetiminde kullanılabilmesi için yapılması gereken kontroller ve maliyet bileşenleri şu şekilde verilebilir, (i) giriş sayısına göre debimetre ve basınç ölçer ekipman, işçilik ve montaj maliyetleri, (ii) giriş debimetre odası, elektrik, veri transfer maliyetleri, (iii) izolasyon vana yerlerinin belirlenmesi ve saha imalatları maliyetleri, (iv) sıfır basınç testi maliyetleri, (v) sızıntı tespiti için, ekip, ekipman ve işletme maliyetleri (kullanılan ekipmana göre maliyetler değişmekte), (vi) tespit edilen arızaların bakım-onarım maliyetleri şeklindedir. Bu maliyetler, Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ) ve Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) hizmet alanındaki saha uygulamaları esas alınarak gerçek veriler üzerinden belirlenmiştir. Ayrıca, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları ve özel piyasa araştırmalarından da faydalanılmıştır. Böylece analiz yapılacak tüm bölgeler için kullanılabilir fiyatlar elde edilmiştir.

Basınç kontrol yönetiminde elde edilecek faydaların ve basınç yönetimi uygulamak için harcanacak tutarların analizlerinin detaylı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Şebekenin mevcut durumu çalışma yapılmadan önce analiz edilmeli, olası basınç yönetimi uygulamasının senaryoları belirlenmelidir. Bu kapsamda elde edilecek faydalar ve kurulum maliyetleri kıyaslanarak basınç kontrol yöntemi için ekonomik fayda maliyet analizi yapılmalıdır.



Şekil 1. Şebeke Genel Maliyet Analizi İçin Akış Diyagramı (Yılmaz, 2021)

Figure 1. Flow Chart for Network Overhead Cost Analysis

Aktif kaçak kontrolü yönteminde, yöntemin fayda-maliyet analizinin ortaya konulması çok güçtür. Şebekelerin farklı fiziksel ve çevresel özelliklere sahip olmasına, akustik ekipmanları kullanan ve sızıntı yeri tespiti yapan ekiplerin saha tecrübesine ve cihazların ve malzemelerin kalitesine bağlı olarak yöntemin etkin faydaları bölgeden bölgeye değişim göstermektedir. Ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanabilmesi için aktif kaçak kontrolünde uygulanan yöntemin fayda/maliyetlerinin hesaplanması gerekmektedir. Böylelikle ekonomik olarak aktif kaçak yöntemiyle kurtarılacak su miktarı belirlenecektir. Bu kapsamda literatür çalışmaları ve saha tecrübeleri referans alınarak birim su kaybının azaltılması için bileşenler ve maliyetleri hesaplanmıştır. Şekil 1’de verilen dört farklı yöntem için fayda maliyet bileşenleri ve hesaplamaları Yılmaz (2021) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır.

Su kayıpları ile mücadele stratejisi için tüm teknik ve ekonomik değişkenler dikkate alınarak bir model önerilmelidir. Bu nedenle, önlenebilir sızıntı hacminin oluşturulması için algoritmik yapı ve bu denklemlerin matematiksel arka planı ve çözüm yöntemleri dikkate alınmıştır. Eşzamanlı çözümler için ortak değişken tanımlanmış ve bu değişkenlerin su kayıplarının etkisi matematiksel olarak ifade edilmiştir. Bununla birlikte problem, analitik olarak çözülebilen basit bir denklemin çok ötesinde bir

problemdir. Özellikle problemin çevresel etkilere maruz kalması, bazı durumlarda problem çözümlerinde sayısal değerlerin olmaması vb. nedenlerle önerilen önlenebilir sızıntı hacminin belirlenmesi modelini analitik olarak çözmek son derece zordur. Bundan dolayı farklı yöntemler için zıt etkileri olduğu değişkenler bu kapsamda belirlenip ve optimizasyon algoritmaları yardımıyla ekonomik olarak azaltılabilecek minimum su kaybı seviyesi hesaplanmıştır. Önerilen algoritmik yapı ile temel olarak altı değişken hesaplanır (Yılmaz, 2021); i Şebekede kalan faydalı ömür, ii- Birim izole ölçüm bölgesi (DMA) oluşturma maliyeti, iii- Basınç Yönetimi ile elde edilecek faydalı debi, iv- ALC Yöntemi ile elde edilecek faydalı / ekonomik debi v- ekip sayısı optimizasyonu, vi- Sayaç rehabilitasyonu ile elde edilecek faydalı / ekonomik debi.

Su kayıp yönetiminde su kayıplarını azaltmak için temel yöntemler uygulamadan önce, mevcut şebekenin ekonomik analizi gereklidir. Ekonomik ömrünü tamamlamış bir şebeke için su kayıp azaltma yöntemlerinden ve dolayısıyla ekonomik kaçak seviyesinden bahsetmek mümkün olmayacaktır. Bu nedenle, önerilen algoritma ile önce ağın kalan faydalı ömrü hesaplanır. Basınç ve aktif kaçak kontrolü yönetimi, su kayıplarıyla mücadelede kritik öneme sahiptir. Bu iki yöntemin uygulanabilmesi için öncelikle izole bölgenin tanımlanması gerekir. Ancak, izole bölgelerde uygulanabilen bu iki yöntem için, yöntemlerin temel maliyet bileşenlerinden biri olan DMA oluşturma maliyeti optimizasyon öncesinde hesaplanır. Önerilen bu algoritmada, tüm ortak değişkenler, ekonomik kaçak seviyesi hesaplamasının her seviyesinde tanımlanmış ve adlandırılmıştır. Böylelikle tüm su kaybı yöntemlerinin uygulanması sırasında ortak çözümler elde edilebilir. Önerilen algoritmada, "basınç değeri" ve "ekip sayısı" değişkenleri, her döngü için EKS değerini hesaplamak için optimize edilir ve nihayet ulaşılan en düşük önlenebilir sızıntı hacmi, sistemin ekonomik noktası olarak tanımlanır (Yılmaz, 2021).

## ANALİZLER (ANALYSIS)

İçme suyu dağıtım sistemlerinde en uygun önlenebilir sızıntı hacminin ve oranının belirlenmesi amacıyla pilot izole ölçüm bölgesinde analiz yapılmıştır. Öncelikle pilot izole bölgede (DMA1) 2021 yılına ait temel veriler temin edilmiş ve modele tanımlanmıştır (Çizelge 1). Bu veriler, analiz edilecek bölgenin temel özelliklerini temsil etmektedir. Bu kapsamda doldurulan tablo ile şebekenin hizmet verdiği nüfus, toplam şebeke uzunluğu, abone sayısı ve bağlantıların yanı sıra sistem giriş debisi ve tahakkuk miktarı, şebeke basıncı, sayaç bilgileri, yıllık arıza sayıları ve DMA özellikleri gibi şebekenin temel özellikleri ayrıca algoritmaya işlenmektedir (Çizelge 2). Ayrıca su üretim maliyeti, su satış fiyatı, ekip kurulum maliyeti gibi temel ekonomik bileşenler de sistemde tanımlanır (Çizelge 3). Bu şekilde, analiz için gerekli olan değişkenler algoritmaya tanımlanmış olacaktır.

**Çizelge 1.** Pilot İzole Ölçüm Bölgesi İçin Temel Şebeke Verileri (Yılmaz, 2021)

*Table 1. Basic Network Data for Pilot Isolated Measurement Area (Yılmaz, 2021)*

<b>Çalışma Alanı ile İlgili Genel Bilgiler</b>	<b>Birim</b>	<b>Değer</b>	<b>Temin Edilen Veri tabanı</b>
Hizmet Edilen Toplam Nüfus	kişi	5680	ABYS
Toplam Şebeke Uzunluğu	km	5	CBS
Toplam Abone Sayısı	adet	1420	ABYS
Toplam Ticari Abone Sayısı	adet	120	ABYS
Toplam Konut Abone Sayısı	adet	1300	ABYS
Toplam Abone Bağlantısı Sayısı	adet	529	CBS
Ortalama Abone Bağlantısı Uzunluğu	m	8	CBS
Sistemin Bölgesel Ortalama Gece Basıncı	m	60	SCADA
Minimum İşletme Basıncı	m	20	SCADA
Maksimum İşletme Basıncı	m	65	SCADA

**Çizelge 2.** Pilot İzole Ölçüm Bölgesi İçin İşletme Verileri (Yılmaz, 2021)*Table 2. Operational Data for the Pilot Isolated Measurement Area (Yılmaz, 2021)*

Parametreler	Birim	Değer
Sistem Giriş Debisi	l/s	10,22
Tahakkuk Edilen Su Miktarı	l/s	6,54
Ortalama Birim Su Maliyeti (Üretim ve İşletme Giderleri Dahil)	TL/m <sup>3</sup>	2,91
Ortalama Birim Su Satış Fiyatı	TL/m <sup>3</sup>	3,40
DMA var ise Toplam DMA şebeke uzunluğu	m	5000
Yıllık Arıza Miktarı (Abone ve Şebeke Arızası Toplamı)	adet	40
Yıllık Abone Arızası Miktarı	adet	14
Yıllık Şebeke Arızası Miktarı	adet	26
Toplam Arıza Ekibi Sayısı	adet	4
Arıza Ekibi Kurulum Maliyeti	TL/ekip/ay	₺19.500,00
Ortalama Arıza Çözüm Süresi	saat/adet	8

**Çizelge 3.** Pilot İzole Ölçüm Bölgesi İçin Şebeke Yenileme Verileri (Yılmaz, 2021)*Table 3. Network Renewal Data for the Pilot Isolated Measurement Area (Yılmaz, 2021)*

Şebeke Yenileme ve Boru Malzemesi İle İlgili Bilgiler	Birim	Değer
Şebekenin Mevcut Ağırlıklı Boru Cinsi	-	Pik
Ø 150 mm Küçük Boru Uzunluklarının Yüzdesi	%	65
Ø 150 mm - 300 mm Arası Değişen Boru Uzunluğu Yüzdesi	%	35
Ø 300 mm - 500 mm Arası Değişen Boru Uzunluğu Yüzdesi	%	0
Ø 500 mm - 700 mm Arası Değişen Boru Uzunluğu Yüzdesi	%	0
Ø 700 mm Büyük Boru Uzunluklarının Yüzdesi	%	0
Ortalama Şebeke Yaşı	Yıl	12
Şebeke Yenilenmesi Durumunda Yeni Yapılacak Boru Cinsi	-	HDPE

Daha sonra, izole bölge yaklaşımı ile ilgili veriler Çizelge 4'te gösterildiği gibi girilmelidir. Yukarıda belirtilen verilerle, izole bölge oluşturma için temel maliyet bileşenleri tanımlanır ve ihtiyaç duyulan izole bölge sayısı belirlendikten sonra, toplam izole bölge oluşturma maliyeti hesaplanır.

**Çizelge 4.** İzole bölge Maliyetlerinin Tanımlanması (Yılmaz, 2021)*Table 4. Definition of Isolated Zone Costs (Yılmaz, 2021)*

Parametre	Birim	Maliyet
Debimetre Odası ve Mekanik Teçhizat	TL/Adet	70.000,00
Sınır Vanaların Tespiti ve Konulması	TL/Adet	1.850,00
Sıfır Basınç Testi Yapılması	TL/Adet	750,00
İzleme ve İşletme Giderleri	TL/Adet	25.000,00

Temel şebeke verilerinin algoritmaya tanımlanmasının ardından izole bölge için önlenebilir en uygun sızıntı hacmi belirlenmiştir. Bu kapsamda algoritma şebeke için optimum basınç seviyesini ve ekip sayısını optimize etmektedir. Ayrıca aktif kaçak yöntemiyle elde edilecek faydalı debi, sayaç rehabilitasyon ile elde edilecek faydalı debi ve şebeke kalan ömrü hesaplanır. Yapılan optimizasyon sonucunda 4 temel su kaybı azaltma yöntemi için ekonomik analizler yapılmış ve her yöntemin ekonomik faydaları m<sup>3</sup> / birim olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda optimizasyon sonucunda elde edilen değerler Çizelge 5'te gösterilmektedir.

**Çizelge 5.** İzole bölge için Optimizasyon Sonuçları*Table 5. Optimization Results for the isolated region*

Yöntem	Birim	Şebeke İlk Değeri	Optimizasyon Sonucu
Basınç	m	60	<b>28,55</b>
Ekip Sayısı	Adet	4	<b>4</b>

Sistem için hesaplanan en uygun değerlerde basıncın 60 m'den 28,55 m'ye düşürülmesi gerektiği ve örnek sistem için optimum ekip sayısının 4 olduğu hesaplanmıştır. Çizelgede verilen optimum basınç değeri optimizasyon tabanlı EKS modelinin çalıştırılması ile elde edilmiştir. Bu basınç değeri, dağıtım sisteminde sızıntıların azaltılması için uygulanan aktif sızıntı kontrolü ve basınç yönetiminin uygulanması durumunda en fazla faydanın elde edilebileceği seviyeyi ifade etmektedir. Bunun için detayları Yılmaz (2021) tarafından yapılan çalışmada verilen matematiksel altyapı temel alınmıştır. Hesaplanan optimum değerlere bağlı olarak şebekenin ilk ve optimum kayıp miktarları ve yüzdeleri Çizelge 6'da verilmektedir.

**Çizelge 6.** İzole bölge için en uygun kayıp oranları*Table 6. Optimal leakage rates for the isolated area*

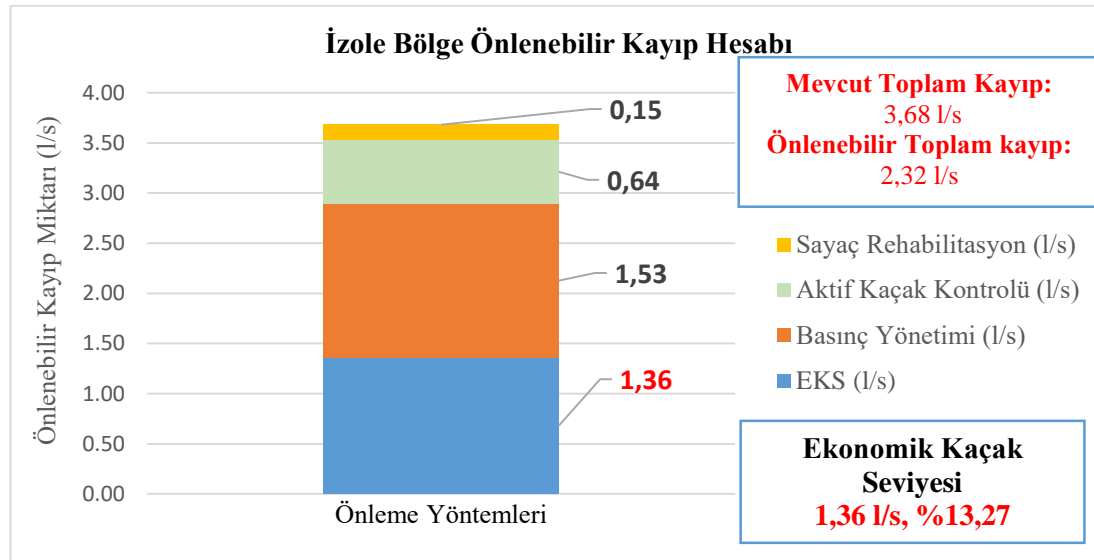
Bileşen	Birim	Şebeke İlk Değeri	Şebeke En Uygun Seviye
Kayıp Miktarı	l/s	3,68	<b>1,36</b>
Kayıp Oranı	%	36,01	<b>13,27</b>

Çizelgede verilen sızıntı miktarının ilk değeri DMA1'deki mevcut koşullarda hesaplanan değeri ifade etmektedir. Bu değer hesaplanmasında standart su dengesi tablosu esas alınmıştır. Bu değer hesaplanması için idarede abone bilgi yönetimi sistemi (ABYS) veri tabanından yasal abone tüketimleri, SCADA sisteminden sistem girişi hacmi, abone dairesinden kaçak kullanımlar ve sayaç hatalarından kaynaklanan kayıplar temin edilmiştir. Çizelgede önlenebilir sızıntı parametresi ise optimizasyon tabanlı EKS modeli tarafından şebeke özellikleri ve sistemin mevcut sızıntı oranı gibi değişkenleri dikkate alarak ekonomik olarak azaltılabilir seviyeyi temsil etmektedir. Yani bu bölgede sızıntılar bu seviyeye kadar ekonomik olarak azaltılabileceğini ifade etmektedir. Böylelikle sistem için ekonomik önlenebilir sızıntı seviyesi ve hacmi 1,36 l/s, yüzde olarak %13,27 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu sistemde optimum değere ulaşmak için gereken çalışmalarda belirlenmiştir. Bu kapsamda hesaplanan değerler Çizelge 7'de gösterilmektedir.

**Çizelge 7.** İzole bölge için önlenebilir sızıntı oranları*Table 7. Recoverable leakage rates for the isolated area*

Yöntem	Birim	Optimizasyon Sonucu
Basınç Yönetimi	l/s	1,53
Aktif Kaçak Yöntemi	l/s	0,64
Ekip Yönetimi	l/s	0,00
	<b>TOPLAM</b>	<b>2,17</b>

Çizelgeden de görüldüğü EKS analizi ile tanımlanan en uygun sızıntı seviyesine ulaşmak için uygulanması gereken yöntemler belirlenmiştir. Bu yöntemlerin uygulanmasına bağlı olarak azaltılabilecek sızıntı oranları da hesaplanmıştır. Çizelgede verilen bu değerler optimizasyon tabanlı EKS modeli çalıştırılarak elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde sistemin kayıp miktarı 3,53 l/s'den, kayıp azaltma yöntemleri ile 2,17 l/s sisteme kazandırılacağı görülmektedir. Ekip sayısı optimal seviyede olduğu için bu yöntemle sisteme ekonomik olarak getirilebilecek su bulunmamaktadır.



**Şekil 2.** Pilot Bölgede Analiz Sonuçları

*Figure 2. Analysis Results in the Pilot Region*

Bölgede başlangıçta (mevcut koşullarda) kayıp miktarı 3,68 l/s olarak hesaplanmıştır. Şekil 2 incelendiğinde, bölgede mevcut şebeke özellikleri dikkate alınarak ekonomik olarak azaltılabilecek kayıp miktarı 2,32 l/s olarak belirlenmiştir. Bu kayıp, sızıntıları ve sayaç hatalarından kaynaklanan idari kayıpları içermektedir. Bölgede ekonomik olarak azaltılabilecek sızıntı miktarı ise 2,17 l/s olarak hesaplanmıştır. Buna göre başlangıçta 3,68 l/s olan kayıp miktarı bölgede sayaç rehabilitasyonu, aktif kaçak kontrolü ve basınç yönetiminin uygulanmasına bağlı olarak ekonomik olarak en fazla 1,36 l/s seviyesine azaltılabilir. Bilindiği üzere bir bölgede kayıpları sıfır (0) seviyesine indirmek mümkün değildir ve en önemlisi ekonomik değildir. Bu nedenle bu bölgede ekonomik ölçütler dikkate alınarak kayıplar en azla 1,36 l/s seviyesine indirilebilir.

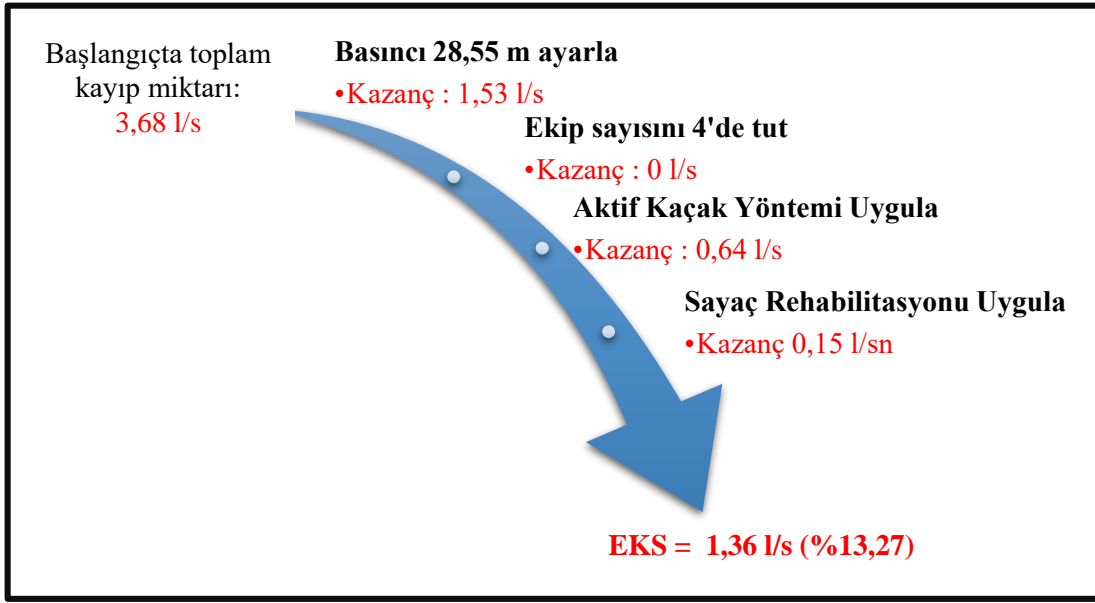
Çalışma sonucunda kayıp azaltma çalışmalarında ilgili su idaresinin izleyeceği yol şu şekildedir (Şekil 3);

Adım 1: Bölgenin ortalama basıncı 60 m'den 28,55m'ye düşürülmelidir. (1,53 l/s su sisteme ilave edilecektir)

Adım 2: Aktif sızıntı yöntemi ile sisteme 0,64 l/s su ilave edilene kadar çalışma yapılabilir. Bu miktarın üzerindeki suyu sisteme getirmek artık ekonomik olmayacağından bu değer üst limit olarak alınmalıdır.

Adım 3: Alandaki arıza ekip sayısı korunmalıdır.





Şekil 3. Ekonomik önlenebilir sızıntı oranları  
Figure 3. Economically recoverable leak rates

Şekil 3 incelendiğinde optimizasyon EKS modeli ile belirlenen en uygun seviyeye (%13,27 veya 1,36 l/s) ulaşmak için uygulanması gereken yöntemler sıralanmıştır. Buna göre bölgede en fazla faydanın basınç yönetiminin uygulanması ile elde edilecektir. Bölgede optimizasyon algoritması ile belirlenen en uygun basınç seviyesi (28,55 m) için ekonomik olarak azaltılabilecek kayıp 1,53 l/s olarak elde edilmiştir. Diğer taraftan idarede mevcut koşullarda sızıntıların yönetilmesi için ekip sayısının yeterli olduğu ve ekip sayısının daha fazla artırılmasının ekonomik olmayacağı görülmüştür. Buna göre idarede ekip sayısı mevcut sayıda (4) ile sabit tutulması durumunda bile ekonomik olarak azaltılabilecek kayıp değeri 0 belirlenmiştir. Ayrıca bölgede aktif kaçak kontrolünün uygulanması önerilmiş bu yöntem ile ekonomik olarak azaltılabilecek kayıp miktarı 0,64 l/s olarak tespit edilmiştir. Son olarak optimizasyon modeli idari kayıpların azaltılması için sayaç rehabilitasyonu yönetiminin uygulanmasını önermiştir. Bu yöntemin uygulanmasına bağlı olarak bölgede 0,15 l/s'lik kayıp ekonomik olarak azaltılabilir. Bu sonuçlara göre bölgede kayıpların ekonomik olarak azaltılabileceği seviye tanımlanmış ve bu seviyeye ulaşmak için uygulanması gereken yöntemler optimizasyon modeli ile belirlenmiştir.

Haider ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada EKS analiz yapısı önerilmiş ve ALC yönteminin uygulanması durumu için test yapılmıştır. Çalışmada, EKS analiz sonuçlarına göre ALC yönteminin uygulanmasına bağlı olarak su kayıp oranının %43 oranında ve alt yapı sızıntı indeksinin 20'den 7,28'e ekonomik olarak azaltılabileceği ifade edilmiştir. Benzer şekilde Moslehi ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada EKS analizi için önerilen metodoloji saha verilerine göre test edilmiş ve EKS değerini birim servis bağlantı başına kayıp oranı şeklinde hesaplamıştır. Şebekenin özelliğine göre ALC ve basınç yönetiminin uygulanmasına bağlı olarak EKS değeri 27 m<sup>3</sup>/bağlantı/yıl olarak belirlenmiştir. Literatürdeki çalışmalardan da görüldüğü gibi bir sistemde EKS değeri şebekenin mevcut özelliklerine bağlı olarak sisteme analiz edilmekte ve her bir sistem özgün bir şekilde belirlenmektedir. Ayrıca EKS değerine ulaşmak için uygulanması gereken yöntemlerin yine şebeke koşullarına uygun olarak önerilmektedir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, izole bölgede sızıntıların en ekonomik bir şekilde yönetilmesi için yol haritası sunulmuştur. Bu yol haritası esas alınarak uygulanması gereken yöntemler ve bunlardan elde edilecek potansiyel faydalar sıralanmaktadır. Bu çalışmada önerilen yaklaşımın özellikle sahada karar vericiler için referans oluşturacağı düşünülmektedir.

## SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada, sürdürülebilir içme suyu dağıtım sisteminin bileşenlerini, gereksinimlerini ve maliyet bileşenlerini dikkate alarak en uygun basınç seviyesini ve ekip sayısını belirlemek ve önlenebilir sızıntı hacmini tanımlamak için optimizasyona dayalı yeni bir model geliştirilmiştir. İlk olarak, optimum önlenebilir sızıntı hacmini hesaplamak için kayıpları ve maliyetleri etkileyen tüm değişkenler ve yapılar belirlenmiştir. Daha sonra bu bileşenlerin hesaplanması için gerekli altyapı oluşturulmuş ve tüm ortak değişkenlerin aynı anda çalışması sağlanmıştır. Elde edilen tüm yapılar Matlab ortamına aktarılmış ve EKS analizinde kullanılan tüm sistem ve yönlendirme kısıtlamalarını dikkate alabilen, Matlab ortamında uzman bir sistem olarak hareket eden algoritmik bir yapı geliştirilmiştir. Uzman sistem sonucunda, EKS değerinin hesaplanmasında şebeke basıncının ve arıza ekip sayısının optimize edilmesi gerektiği bilindiğinden, bu iki değer, hesaplama karmaşıklığı az olan ve önerilen uzman sistemle aynı anda çalışabilen gelişmiş bir optimizasyon algoritması tarafından optimize edilmiştir. Önerilen yapıların gerçek zamanlı çalışabilirliğini göstermek için KASKİ veri tabanından elde edilen veriler, ilgili uzman sisteme ve algoritmik yapıya uygulanmıştır. Sistem için hesaplanan optimal değerlerde basıncın 60 m'den 28,55m'ye düşürülmesi gerektiği hesaplanmış ve örnek sistem için ekip sayısı 4 olarak hesaplanmıştır. Böylece sistem için EKS hacim olarak 1,56 l/s ve yüzde olarak %13,27 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, önerilen yeni uzman sistem ve optimizasyon algoritması, su dağıtım sistemleri için önlenebilir sızıntı hacmini hesaplamak için sistemde yapılması gerekenleri kolayca belirleyebilir ve idareye önerilerde bulunabilmektedir. Her ölçekte su kayıp yönetiminin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi önerilen algoritmalar ile mümkün olmaktadır.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, (İÜ-BAP FDK-2020-2053) tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Ahopelto, S., & Vahala, R. 2020. "Cost-Benefit Analysis of Leakage Reduction Methods in Water Supply Networks". *Water*, 12 (1), 195.
- AL-Washali, T., Sharma, S., Lupoja, R., AL-Nozaily, F., Haidera, M., & Kennedy, M. 2020. "Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply". *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 104515.
- Alvisi, S., Luciani, C., & Franchini, M. 2019. "Using water consumption smart metering for water loss assessment in a DMA: a case study". *Urban Water Journal.*, 18 (1), 77–83.
- Creaco, E. & Haidar, H. 2019. "Multiobjective Optimization of Control Valve Installation and DMA Creation for Reducing Leakage in Water Distribution Networks". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145 (10).
- Amoatey, P., Minke, R., & Steinmetz, H. 2018. "Leakage estimation in developing country water networks based on water balance, minimum night flow and component analysis methods". *Water Practice and Technology*, 13, 96–105.
- Al-Washali, T., Sharma, S., Al-Nozaily, F., Haidera, M., & Kennedy, M. 2019. "Modelling the leakage rate and reduction using minimum night flow analysis in an intermittent supply system". *Water*, 11 (48).
- Ezbakhe, F. ve Foguet, A. 2019. "Embracing data uncertainty in water decision-making: an application to evaluate water supply and sewerage in Spain". *Water Supply*, 19 (3), 778–788.
- Farley, M. & Trow, S. 2003. "Losses in Distribution Networks". *In: An examination of the benefits of leak detection*. ISBN 1 900222 11 6.
- Farley, M. & Lemberger, R. 2005. "Developing a non-revenue water reduction strategy: planning and implementing the strategy." *Water Science and Technology: Water Supply.*, 15 (1), 41–50.
- Haider, H., Al-Salamah, I.S., Ghazaw, Y.M., Abdel-Maguid, R.H., Shafiquzzaman, M., & Ghumman, A.R. 2019. "Framework to establish economic level of leakage for intermittent water supplies in arid

- environments". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145 (2), 1–12.
- Islam, M.S. ve Babel, M.S. 2013. "Economic analysis of leakage in the Bangkok water distribution system. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139 (2), 209–216.
- Jensen, O. & Nair, S. (2019). "Integrated Urban Water Management and Water Security: A Comparison of Singapore and Hong Kong". *Water*, 11 (4), 785.
- Lakehal, A. & Laouacheria, F. 2017. "Reliability based rehabilitation of water distribution networks by means of Bayesian networks." *Journal of Water and Land Development*, 34 (1), 163–172.
- Lambert, A.O. (2002). "International report: water losses management and techniques." *Water Science and Technology: Water Supply*, 2 (4), 1–20.
- Lim, E., Savic, D., & Kapelan, Z. 2015. "Development of a leakage target setting approach for South Korea based on Economic Level of Leakage". *Procedia Engineering*, 119 (1), 120–129.
- Liu, J. & Lansley, K.E. 2020. "Multiphase DMA Design Methodology Based on Graph Theory and Many-Objective Optimization". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146 (8).
- Molinos-Senante, M., Mocholí-Arce, M., & Sala-Garrido, R. 2016. "Estimating the environmental and resource costs of leakage in water distribution systems: A shadow price approach". *Science of the Total Environment*, 568, 180–188.
- Moslehi, I., Jalili Ghazizadeh, M.R., & Yousefie Khoshghalb, E. 2019. "Economic analysis of pressure management in water distribution networks". *Journal of Water and Wastewater*, 31 (2), 100–117.
- Negharchi, S. & Shafaghat, R. 2020. "Leakage estimation in water networks based on the BABE and MNF analyses: a case study in Gavankola village, Iran". *Water Supply*, 1.
- Salehi, S., Ghazizadeh, J., ve Tabesh, M. 2017. "A comprehensive criteria-based multi-attribute decision-making model for rehabilitation of water distribution systems". *Journal Structure and Infrastructure Engineering*, 14 (6), 743–765.
- Lopez, S.T., Barrionuevo, M., & Labajos, B. 2019. "Water accounts in decision-making processes of urban water management: Benefits, limitations and implications in a real implementation". *Sustainable Cities and Society*, 50.
- Wyatt, A.S. & Alshafey, M. 2012. "Non-revenue water: financial model for optimal management in developing countries". *Water Science & Technology: Water Supply*, 12 (4), 451–463.
- Yılmaz, S. (2021). Su Kayıp Yönetiminde Ekonomik Kaçak Seviyesinin Optimizasyon Algoritmalarıyla Belirlenmesi. Doktora Tezi. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, S., Fırat, M., Özdemir, Ö., Ateş, A. 2021. "Su Kayıp Yönetiminde İzole Bölge Tasarımı ve Aktif Kaçak Kontrolünün Ekonomik Analizleri İçin Hesaplama Aracının Geliştirilmesi". *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 9(2): 467-478.