

İstanbul Asya Yakası'nda DMA Tabanlı Fizikî Su Kayıpları Yönetimi ve Altyapı Sızıntı Endeksi Analizi

Mehmet Melih Koşucu ^{1,*}

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul.

Özet

Fizikî su kayıpları, genellikle su dağıtım şebekelerinde boru kırıkları ile boru bağlantı noktalarındaki ve depolama tesislerindeki sızıntılar nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu kayıpların yönetimi, yalnızca altyapının çalışma koşullarını iyileştirmek için değil, aynı zamanda ekonomik, çevresel ve toplumsal faydalar sağlamak için kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, İstanbul Asya Yakası'nda yer alan bir DMA'da (İzole Ölçüm Bölgesi) fizikî su kayıplarının analizi ve yönetiminin nasıl gerçekleştirildiği anlatılmaktadır. Su dağıtım şebekelerinde sıkça görülen fizikî kayıpların azaltılıp yönetilebilmesi için minimum gece debisi (MNF), sızıntı debisi ve Altyapı Sızıntı Endeksi (ILI) analizlerinden yararlanılmıştır. 2023 ve 2024 yıllarına ait SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) verileri kullanılarak elde edilen debi verileriyle, gece saatlerinde vuku bulan minimum debi değerleri analiz edilmiş ve su kayıplarının mertebesi tahmin edilmiştir. Aktif sızıntı kontrolünün (akustik dinleme ve boru onarımı) ardından DMA ortalama giriş basıncının 65 m'den 60 m seviyesine indirilmesi sayesinde, su kaybı oranının % 29.8'den % 18.9'a düşürülmesi sağlanmıştır. Ayrıca, ILI değeri, yapılan iyileştirme çalışmaları ile 8.7'den 5.6'ya indirilmiştir. Böylece DMA tabanlı su kaybı analizi ve yönetimi vesilesiyle, üzerinde çalışılan su dağıtım sisteminin daha verimli surette işletilebilmesi mümkün olmuştur. Bu çalışma kapsamında, özellikle büyükşehirlerde DMA tabanlı basınç ve debi izleme, aktif sızıntı kontrolü ve basınç yönetimi tekniklerinin sızıntıları azaltmada önemli birer araç olduğu vurgulanmaktadır. Ortaya konan bulgular, ülkemizde su kayıplarının azaltılmasına yönelik politikalara katkı sağlayabilecek sürdürülebilir su yönetimi için yol gösterici niteliktedir.

Anahtar Sözcükler

Su Kayıpları, DMA, Altyapı Sızıntı Endeksi, Su Dağıtım Şebekeleri, Aktif Sızıntı Kontrolü

DMA Based Physical Water Loss Management and Infrastructure Leakage Index Analysis in Asian Side of Istanbul

Abstract

Physical water losses are usually caused by pipe breaks in water distribution networks and leaks at pipe joints and storage facilities. Managing these losses is critical to not only improve the operating conditions of infrastructure, but also to deliver economic, environmental and societal benefits. This study presents how water losses were analysed and managed in a District Metered Area (DMA) located on the Asian side of Istanbul. Minimum night flow rate (MNF), leakage flow rate and infrastructure leakage index (ILI) analyses were used to reduce and manage the physical losses frequently seen in water distribution networks. For the years 2023 and 2024, flow data obtained from SCADA measurements were used to analyze the minimum flow values occurring at night and to estimate the level of water losses. By reducing the average inlet pressure of the DMA from 65 m to 60 m together with active leakage control (acoustic listening and pipe repair), the water loss rate was reduced from 29.8 % to 18.9 %. In addition, the infrastructure leakage index value was reduced from 8.7 to 5.6 with the improvement efforts. Thus, through DMA-based water loss analysis and management, it has been possible to operate the studied water distribution system more efficiently. In this study, it is emphasised that DMA-based pressure and flow monitoring, active leakage control and pressure management techniques are important tools to reduce water losses, especially in metropolitan areas. The findings are guiding for sustainable water management that can contribute to policies to reduce water losses in our country.

Keywords

Water Losses, DMA, Infrastructure Leakage Index, Water Distribution Systems, Active Leakage Control

1. Giriş

Dünyadaki nüfusun ve şehirleşmenin artışı, su kaynakları üzerindeki baskıyı giderek şiddetlendirmekte ve bu durum, su kayıplarının etkin surette yönetilmesini gerekli kılmaktadır (Şişman & Kızıloğlu, 2020). Zira metropollerin ve şehirlerin sürdürülebilirliği için su kayıplarının efektif şekilde yönetilmesi zaruridir (Kıran, 2018). Su dağıtım şebekelerinde su kayıplarının gerçekleşmesi hem arıtılmış hem de terfi ettirilmiş içme ve kullanma sularının kaybedilmesi anlamına gelmektedir (Koşucu vd., 2021).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (212) 2857062 Faks: +90 (212) 2856587
E-posta: kosucu@itu.edu.tr (Koşucu M.M.)

Gönderim Tarihi / Received : 14/11/2024
Kabul Tarihi / Accepted : 15/12/2024

Özellikle metropollerde, su kayıplarının etkili bir şekilde kontrol edilmesi, su arz güvenliğini sağlamak ve belediye hizmetlerini sürdürülebilir kılmak için kritik öneme sahiptir (Kızılöz & Şişman, 2021). Mesela Öztürk ve Altay (2015), bir metropol olan İstanbul'daki su kaybı yönetimi çalışmalarından bahsetmiş ve gelecek dönemde bu çalışmalara yoğunlaşarak devam edileceğinin planlandığını belirtmiştir.

Su dağıtım şebekelerinde su kayıpları, **idarî** ve **fizikî** olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır (Bozkurt vd., 2024). İdarî kayıplar, sayaç hataları, izinsiz tüketim ve faturalandırma hatalarından kaynaklanırken; fizikî kayıplar, suyun şebeke altyapısından fizikî olarak kaybolduğu durumları ifade eder. Bu kayıplar, genellikle su temin ve dağıtım hatlarında, servis bağlantılarında, vana arızalarında ve depolarda meydana gelen sızıntılar veya taşmalarla ortaya çıkar. Bir başka ifadeyle fizikî kayıplar, suyun kullanıcıya ulaşmadan sistem dışına çıkmasıdır. Bu kayıpların meydana gelmesi neticesinde hem ekonomik zararlar ortaya çıkmakta hem de su yönetiminde verimlilik sağlanamamaktadır (Fırat vd., 2021).

Fizikî su kayıplarının kontrol altına almak için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri, **İzole Ölçüm Bölgelerinin (DMA)** oluşturulmasıdır. DMA'ların teşkil edilmesiyle, su dağıtım şebekeleri daha küçük ve yönetilebilir birimlere ayrılır ve bu vesileyle her bir bölgeye giren akımın debisinin ve basıncının izlenebilmesi mümkün hale gelir. Böylece, fizikî su kayıplarının ve izinsiz tüketimin tespiti kolaylaşır ve sistemin performansı daha etkin bir şekilde kontrol edilebilir (Thornton vd., 2008; Özdemir, 2018; Durmuşçelebi vd., 2020). Buna ilaveten Bozkurt vd. (2022) tarafından belirtildiği üzere DMA'ların oluşturulması, su kayıplarının kaynağını belirleyebilmek ve arızalara uygun bir şekilde müdahale edebilmek için oldukça efektif bir stratejidir. Oluşturulan DMA'larda Minimum Gece Debisi (MNF) analizinin gerçekleştirilmesi, gece saatlerinde şebekede meydana gelen sızıntıları belirlemede etkili bir yöntem olarak öne çıkmakta ve su kaybının seviyesini hesaplayabilmek için bir ön tahmin imkanı sunmaktadır (Boztaş vd., 2019).

Su dağıtım şebekelerinin DMA haline getirilmesinin yanı sıra **basınç yönetiminin** gerçekleştirilmesi de su kayıplarının azaltılmasını sağlayan önemli bir faktördür (Vicente vd., 2016; Koşucu & Demirel, 2022, 2024). Pek çok araştırmacı, su dağıtım şebekelerinde yüksek basıncın arka plan sızıntılarını ve patlak oranını artırdığını, dolayısıyla basınç yönetimiyle bu kayıpların önemli ölçüde azaltılabileceğini vurgulamaktadır (Piller & van Zyl, 2014; Van Zyl, 2014; Schwaller & van Zyl, 2015). Denizli'de gerçekleştirilen bir çalışmada, Güngör vd. (2019), DMA girişlerine yerleştirilen basınç düşürücü vanalar (PRV) ile su kayıplarının etkin bir şekilde azaltıldığını göstermiştir. Bahsedilen çalışmada, SCADA sistemi ile entegre edilmiş veri yönetim araçları kullanılarak, DMA girişindeki akımın debisi ve basıncı gerçek zamanlı olarak izlenmiş ve şebekenin performansı artırılmıştır.

Su dağıtım şebekelerinde DMA'ların teşkil edilmesiyle sızıntı tespiti için **aktif sızıntı kontrolü** metodunun birlikte kullanılması, karmaşık şebekelerde efektif bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Kanakoudis ve Muhammetoğlu (2014) tarafından Türkiye (Antalya) ve Yunanistan'da (Kos) icra edilen çalışmada, DMA oluşturulması ile aktif sızıntı kontrolü ve basınç yönetiminin su kayıplarını azaltmada efektif sonuçlar verdiği ve bu tür uygulamaların su yönetimi çalışmalarına olumlu anlamda etki edebileceği belirtilmiştir. Buna ilaveten, IWA'nın (International Water Association – Uluslararası Su Teşkilatı) yayınladığı rehberde su dağıtım sistemlerinin DMA'lara ayrılarak yönetilmesinin, sızıntıların tespit edilmesi ve onarım önceliklerinin belirlenmesinde etkin bir metod olarak öne çıktığı belirtilmektedir (Morrison vd., 2007). Kızılöz (2021), İzmit'teki su dağıtım şebekelerinde teşkil edilmiş DMA'larda, aktif sızıntı kontrolü ve basınç yönetimi faaliyetlerinin gerçekleştirmiş ve 2014 yılında % 45.4 olan su kaybı oranını 2019 yılı itibarıyla % 29.5 seviyesine indirmeyi başarmıştır.

Su dağıtım sistemlerinde sızıntı miktarındaki değişimin izlenmesinde en önemli gösterge, **Altyapı Sızıntı Endeksi (ILI)**'dir (Winarni, 2009). ILI, fizikî kayıpların yönetiminde yaygın olarak kullanılan bir performans göstergesidir ve DMA'lara tatbik edildiğinde, sızıntıların daha etkin bir şekilde kontrol edilmesine yardımcı olur. Yılmaz vd. (2021), ILI parametresinin su dağıtım sistemleri için önemli bir gösterge olduğunu belirtmiştir. Fakat zikredilen araştırmacılar, bir su dağıtım şebekesinde aktif sızıntı kontrolü faaliyetinin ekonomik olup olmadığının belirlenebilmesi için tek başına ILI'nin yetersiz kalacağını vurgulamıştır.

Bu çalışmada İstanbul'un Asya Yakası'nda yer alan bir DMA'da su kayıplarını azaltmaya yönelik MNF, sızıntı debisi ve ILI analizleri gerçekleştirilmiş olup, bölgede icra edilen aktif sızıntı kontrolü ve basınç yönetimi faaliyetlerinin sağladığı faydalar ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar, DMA tabanlı gerçekleştirilen aktif sızıntı kontrolü ve basınç yönetimi faaliyetlerinin birlikte uygulanmasının su kayıplarını azalttığını göstermektedir. Ayrıca aktif sızıntı kontrolünün ve basınç yönetiminin tatbik edilmesinin ILI parametresi üzerindeki etkisinin bir metropol olan İstanbul'da incelenmesi bu çalışmanın özgün değeri olarak öne çıkmaktadır.

2. Çalışma Bölgesi

Su kaybı analizi ve yönetimi yapılan bölge olarak İstanbul'un Tuzla ilçesinin en doğusunda bulunan 801600482 no'lu DMA seçilmiştir (Şekil 1). Bu DMA'daki borular, toplam 34 km uzunluğa sahiptir ve düktil font malzemeden imal edilmiştir. Bölgede toplam 7060 aktif abone, ve 2011 bina bağlantısı bulunmaktadır. DMA'daki en yüksek kot 68 m, en düşük kot ise 16 m'dir. Toplam bina bağlantısı uzunluğu 21461 m'dir. Ömerli Barajı'ndan cazibeyle beslenen bölgenin giriş borusunun çapı 250 mm'dir. DMA'nın giriş basıncı 60-65 m aralığında, 68 m'deki kritik noktanın ise basıncı 30-40 m aralığında değerler almaktadır.



Şekil 1: Çalışma bölgesinin genel görünümü

2.1. Aktif Sızıntı Kontrolü

Aktif sızıntı kontrolü, DMA'ların teşkil edilmesi, minimum gece debisinin izlenmesi ve analizi, sızıntıların farkına varılması, sızıntıların konumlarının tespiti ve arızaların tamir edilmesi faaliyetlerinin tamamına verilen isimdir. Herhangi bir boruda arıza oluşması durumunda, arızanın olduğu DMA'nın giriş debisinde özellikle gece saatlerinde beklenenin üstünde artışlar görülmektedir. Dolayısıyla minimum gece debisinin oluşması beklenen zaman dilimindeki DMA giriş debisi incelenerek aktif sızıntı kontrolünün icra edilip edilmeyeceğine karar verilebilir. Böylece aktif sızıntı kontrolü faaliyeti vesilesiyle rapor edilmeyen sızıntılar tespit edilir ve bunlar daha sonra onarılarak minimum gece ve sızıntı debileri arızanın oluşmasından önceki seviyelere getirilir.

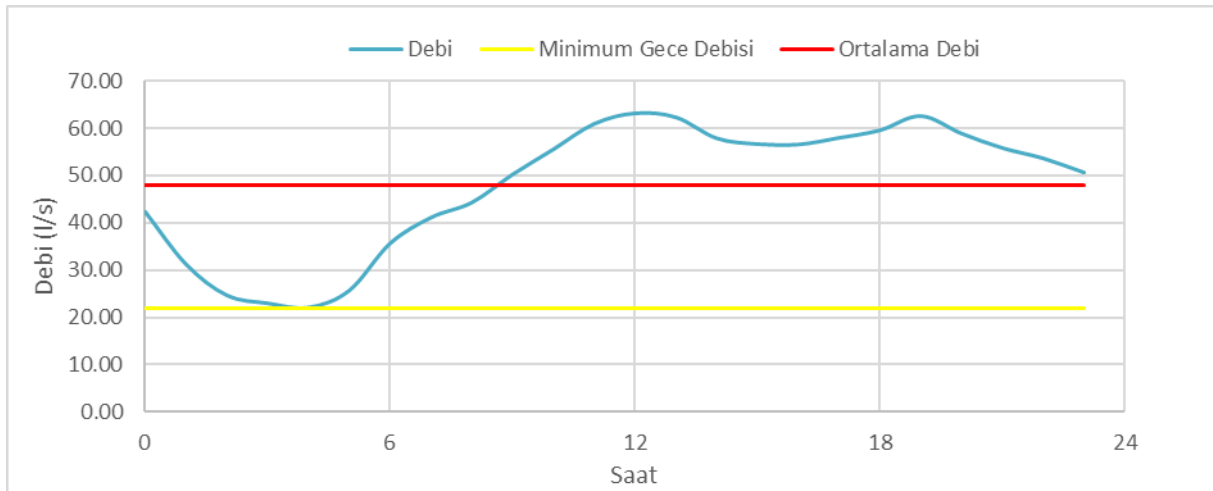
Çalışma bölgesinde bulunan 34 km'lik şebeke hattında 31.08.2023 ve 20.11.2023 tarihleri arasında akustik dinleme yoluyla arıza tespiti faaliyeti icra edilmiştir. Bu faaliyet sonucunda toplam 8 adet arıza tespit edilmiş ve tespit edilen arızalar 2023'ün Ekim ve Kasım aylarında onarılmıştır.

3. Materyal ve Metot

Çalışma bölgesinde efektif bir su kaybı analizi ve yönetiminin yapılabilmesi için bölgeye giren toplam debinin, tahmini sızıntı debisinin ve ILI değerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu kapsamda bölgede yapılan ölçümlerin ve bu ölçümler yoluyla gerçekleştirilen analizlerin zikredilmesi önem arz etmektedir.

3.1. Debi Verileri

Üzerinde çalışılan DMA'nın giriş borusunda düzenli debi ölçümü yapılmaktadır. Düzenli ölçülmüş debi zaman serisinin tamamına bakıldığında 01.09.2023 – 30.09.2023 tarihleri arasındaki DMA giriş debisini incelemenin uygun olacağı düşünülmüştür. Zira bu dönem, arızaların tamir edilmesinden hemen önceki döneme denk gelmektedir. Debi değerleri, ortalama günlük, ortalama minimum gece debisi ve genel ortalama debi halinde Şekil 2'de verilmiştir.



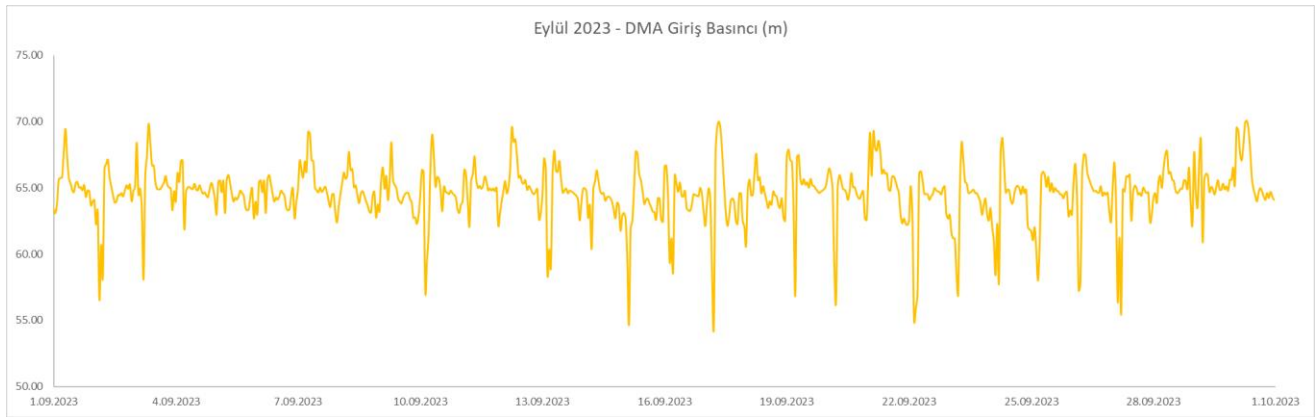
Şekil 2: 01.09.2023 – 30.09.2023 tarihleri arasındaki günlük ortalama debi

01.09.2023 – 30.09.2023 tarihleri arasında, DMA'ya verilen debinin ortalaması 48 l/s, ortalama minimum gece debisi (Q_{MGD}) 22 l/s, maksimum ortalama debi ise 63.2 l/s olarak hesaplanmıştır. Ortalama minimum gece debisi saat 04:00'da, ortalama maksimum debi ise saat 12:00'da görülmektedir.

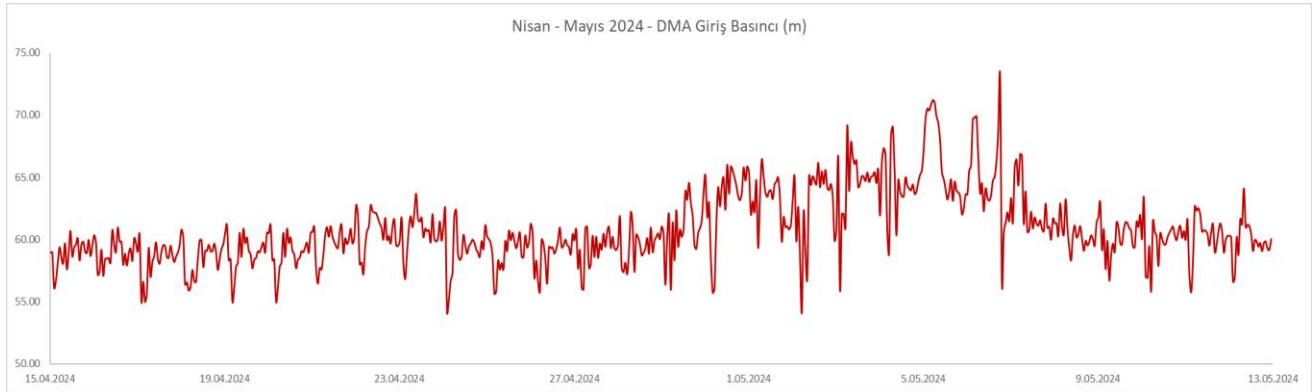
3.2. Basınç Yönetimi Uygulaması

Su dağıtım sistemlerinde basınç değeri ne kadar yüksek olursa sızıntılar da o nispette artmaktadır. Bu sebeple sızıntıları azaltmak veya bu sızıntıların önüne geçebilmek için su dağıtım sistemlerinde meydana gelen yüksek basınçları düşürmek gerekmektedir. Yüksek basınçları makul seviyelere düşürmenin en yaygın ve bilinen yolu basınç yönetimidir. Basınç yönetimi, basınç düşürücü vana (PRV) adlı bir cihazla gerçekleştirilmektedir ve bu cihaz genellikle DMA'ların giriş borularına monte edilmektedir.

Çalışma bölgesinde Şubat 2023 itibariyle basınç yönetimi faaliyetine başlanmıştır. PRV giriş basıncı 70-80 m seviyelerinde seyretmektedir. Bölgede uygulanan basınç yönetimi faaliyeti vesilesiyle ortalama PRV çıkış basıncı (DMA giriş basıncı) yaklaşık 65 m seviyesine düşürülmüştür. Şekil 3'te görüldüğü üzere Eylül 2023'te DMA giriş basıncının ortalaması 65 m seviyesindedir. 01.04.2024 tarihi itibariyle ise ortalama PRV çıkış basıncı yaklaşık 60 m seviyesine indirilmiştir. Şekil 4'te ise 15.04.2024 – 12.05.2024 tarihleri arasındaki DMA giriş basıncı değerleri görülmektedir.



Şekil 3: 01.09.2023 – 30.09.2023 tarihleri arasındaki PRV çıkış basıncı



Şekil 4: 15.04.2024 – 12.05.2024 tarihleri arasındaki PRV çıkış basıncı

3.3. Minimum Gece Debisi

Su kayıplarının en fazla ve su tüketiminin en düşük olduğu saatler gece saatleri olduğu için bu saatlerde sisteme giren debinin büyük kısmının su kaybına dönüşerek şebeke borularını terk ettiği bilinmektedir. Ayrıca sistem basıncı bu saatlerde yüksek olduğu için sızıntılar artmaktadır. Su tüketiminin ve dolayısıyla sisteme giren debinin en düşük olduğu saatteki debiye Minimum Gece Debisi denmektedir. Minimum Gece Debisi, gece saatinde borulardan dışarı sızan debi ile yine gece saatlerinde aboneler tarafından tüketilen debinin toplamıdır. Şebekede ölçülen minimum gece debisinin, gece sızıntı debisi ile muhtemel gece abone debisinin toplamına eşit olması beklenir. Bu sebeple minimum gece debisi (Q_{MGD}) analizi yaparken sistemin gece sızıntı debisini bulabilmek için (Q_{GSD}) muhtemel gece abone debisini (Q_{MGAD}) hesaplamak elzemdir. Gece sızıntı debisi (Q_{GSD}) şu şekilde hesaplanır (Denklemler (1)):

$$Q_{GSD} = Q_{MGD} - Q_{MGAD} \quad (1)$$

Gece sızıntı debisini hesaplayabilmek için öncelikle muhtemel gece abone debisinin değeri belirlenmelidir. Her bir abone tipinin gece tüketimi değeri farklıdır. Mesela mesken tipi abone tüketimi hesaplanırken nüfusun % 6'sının gece uyanık olduğu, ve uyanık olanların da kişi başı su tüketiminin 10 l/saat olduğu birçok çalışmada belirtilmiştir (Amoatey vd., 2014; AL-Washali vd., 2018; Negharchi & Shafaghhat, 2020). Mesken dışındaki abonelerin gece tüketimi değerleri de Tablo 1'de verilmiştir (Mckenzie, 1999):

Tablo 1: Mesken dışı ortalama gece tüketim değerleri

Grup	Abone Başına Ortalama Gece Tüketimi (l * abone ⁻¹ * h ⁻¹)
Market, İşyeri, Depo, Misafirhane, Garaj ve Çiftlikler	6.2
Otel, Okul, Kafe ve Lokantalar	12.6
Hastane, Fabrika, Umumi Tuvalet ve Şantiyeler	20.5
Huzurevleri, Küçük Madenler ve Taşocakları	60.6

3.4. Sızıntı Debisi Hesabı

Sızıntı debisiyle DMA ortalama basıncı (Average Zone Pressure = AZP) arasındaki ilişki AL-Washali vd. (2018) tarafından şu şekilde verilmiştir (Denklem 2):

$$Q_i / Q_{MGD} = \left(AZP_i / AZP_{MGD} \right)^N \quad (2)$$

Burada Q_i i no'lu saatteki sızıntı debisi, Q_{MGD} minimum gece debisinin vuku bulduğu saatteki sızıntı debisi, AZP_i i no'lu saatteki ortalama bölge basıncı ve AZP_{MGD} de minimum gece debisi saatindeki ortalama bölge basıncıdır. Denklem (3)'teki N değerinin demir borular için 0.5 alınabileceği bilinmektedir (McKenzie vd., 2003; Cassa vd., 2010). Dolayısıyla bu çalışmada N değeri 0.5 olarak alınmıştır.

3.5. Altyapı Sızıntı Endeksi

ILI, su dağıtım şebekelerinde sızıntıların seviyesini gösteren önemli bir endekstir (Muhammetoğlu & Muhammetoğlu, 2017). Bu endeks, mevcut yıllık fiziki su kayıplarının (CARL) kaçınılmaz yıllık fiziki su kayıplarına (UARL) bölünmesiyle elde edilir (Denklem 3):

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (3)$$

Burada UARL ve CARL parametrelerinin birimleri l/gün'dür. ILI ise boyutsuz bir niceliktir ve bu parametrenin değeri 1.0'a ne kadar yaklaşırsa şebekenin su kayıpları açısından yönetimi o kadar iyi gerçekleşiyor denebilir (Muhammetoğlu & Muhammetoğlu, 2017). UARL parametresi ise ampirik bir büyüklüktür ve Denklem (4)'teki şekilde hesaplanmaktadır (Muhammetoğlu & Muhammetoğlu, 2017):

$$UARL = (18 * L_m + 0.8 * N_c + 25 * L_p) * AZP \quad (4)$$

Burada L_m şebeke ana hat uzunluğu (km), N_c servis bağlantısı sayısı ve L_p de abone servis bağlantılarının toplam uzunluğudur (km). ILI parametresinin farklı değerleri için teknik performans kategorileri belirlenmiştir. Bunlar Tablo 2'de verilmiştir:

Tablo 2: ILI Teknik Performans Kategorileri (Muhammetoğlu & Muhammetoğlu, 2017)

Kategori	A	B	C	D
ILI	1 - 2	2 - 4	4 - 8	> 8

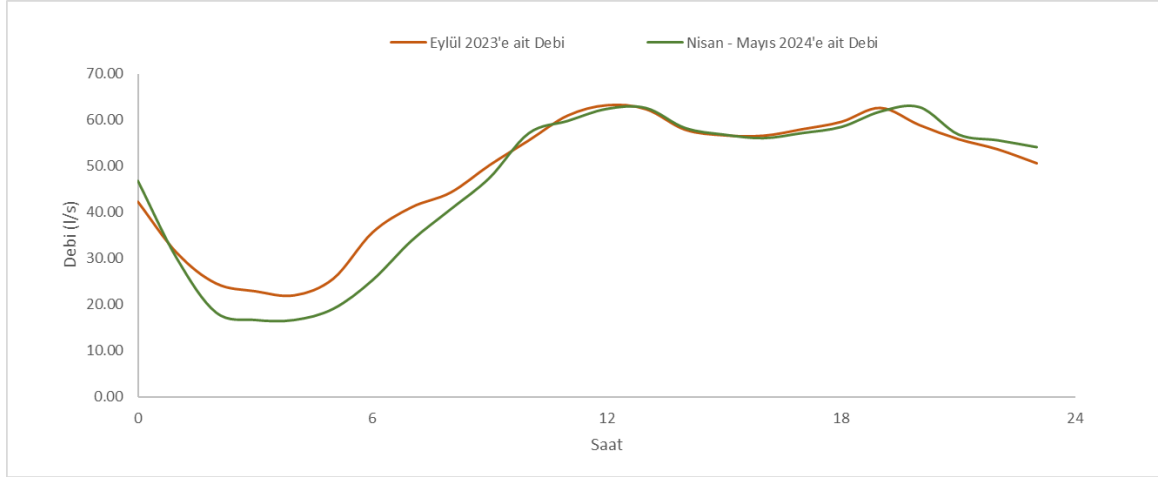
Burada **Kategori A**, şebeke durumunun iyi olduğunu, **Kategori B** durumun kötü sayılamayacağını ama iyileşme potansiyelinin bulunduğunu, **Kategori C** şebeke durumunun zayıf olduğunu ve bu zayıflığın iyiye götürülmesi gerektiğini ve **Kategori D** ise şebekenin kötü yönetildiğini ve kaynakların verimsiz kullanıldığını göstermektedir.

4. Uygulama ve Bulgular

Aktif sızıntı kontrolü faaliyetiyle 8 adet arızanın onarılması ve ortalama giriş basıncının 65 m'den 60 m'ye düşürülmesi neticesinde debi verilerinin, minimum gece debisindeki değişimin, şebeke sızıntı debisinin ve Altyapı Sızıntı Endeksi'nin incelenmesi önem arz etmektedir.

4.1. Debi Verilerinin Analizi

Arızaların tespit ve tamir edilmesinden ve sistem giriş basıncı ayarının 65 m'den 60 m'ye düşürülmesinden sonra ölçüm yapılmış tarihler arasında, sisteme verilen debinin ortalaması 46.43 l/s, ortalama minimum gece debisi (Q_{MGD}) 16.56 l/s, maksimum ortalama debi ise 62.82 l/s olarak hesaplanmıştır. DMA'nın ortalama debi değerleri grafik olarak Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5: Eylül 2023 ve Nisan-Mayıs 2024 tarihlerindeki günlük ortalama debi

Şekil 5'ten anlaşıldığına göre 8 adet arızanın onarımı ve sistem giriş basıncı ayarının düşürülmesinden sonra DMA giriş debisi değerlerinde bir düşüş olduğu görülmüştür. Öyle ki günlük ortalama debi 48 l/s'den 46.43 l/s'ye, ortalama minimum gece debisi de 22 l/s'den 16.56 l/s'ye düşmüştür. Bu düşüş neticesinde minimum gece debisinin ortalama debiye olan oranı % 36 olmuştur. Burada minimum gece debisindeki yaklaşık 5.44 l/s'lik azalış dikkat çekmektedir. Bu değer günde 470 m³'e tekabül etmektedir.

4.3. Minimum Gece Debisi Analizi

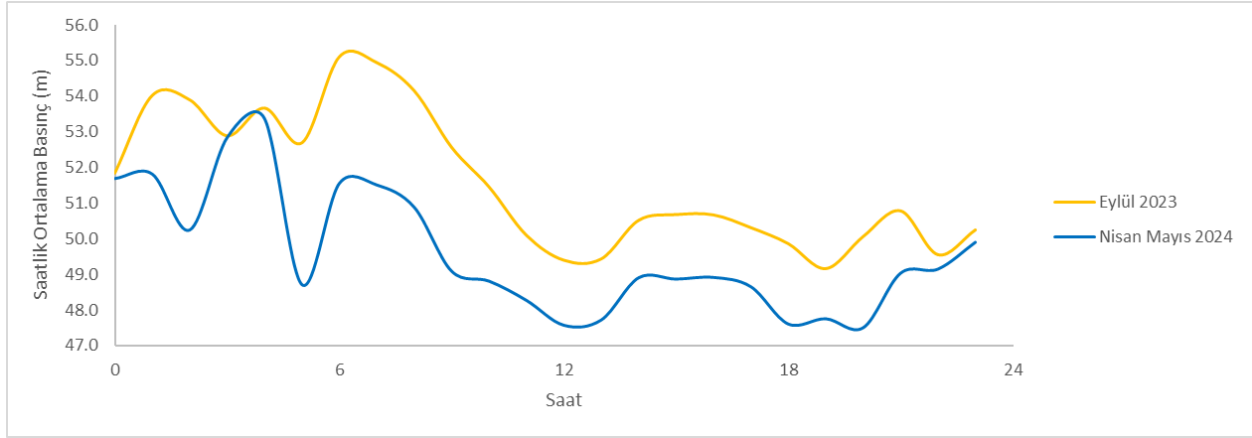
Eylül 2023'e ait fatura verilerinden anlaşıldığına göre bu DMA'da su tüketiminin yaklaşık % 84'ü mesken aboneleri tarafından gerçekleştirilmektedir. **Tablo 1** esas alınarak yapılan hesaplarda muhtemel gece abone debisi değerinin (Q_{MGAD}) 7.44 l/s olacağı öngörülmüştür.

Minimum gece debisi ile muhtemel gece abone debisi arasındaki farkın gece sızıntı debisini vereceği daha önceden belirtilmişti. Bu durumda Eylül 2023'e ait analiz sırasında 22.03 l/s (Q_{MGD}) ile 7.44 l/s (Q_{MGAD})'in farkı alınınca gece sızıntı debisinin (Q_{GSD}) 14.59 l/s olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Arızaların onarılmasından ve PRV çıkış basıncı ayarının 60 m'ye indirilmesinden sonraki muhtemel gece abone debisi (Q_{MGAD}) değerinin aynı kalacağı, yani bu değer 7.44 l/s olacağı öngörülmüştür. Minimum gece debisinin ise (Q_{MGD}) 22.03 l/s'den 16.56 l/s'ye düşmüş olması su kaybı miktarını azaltmıştır. Öyle ki yeni gece sızıntı debisi (Q_{GSD}), 9.12 l/s olmuştur.

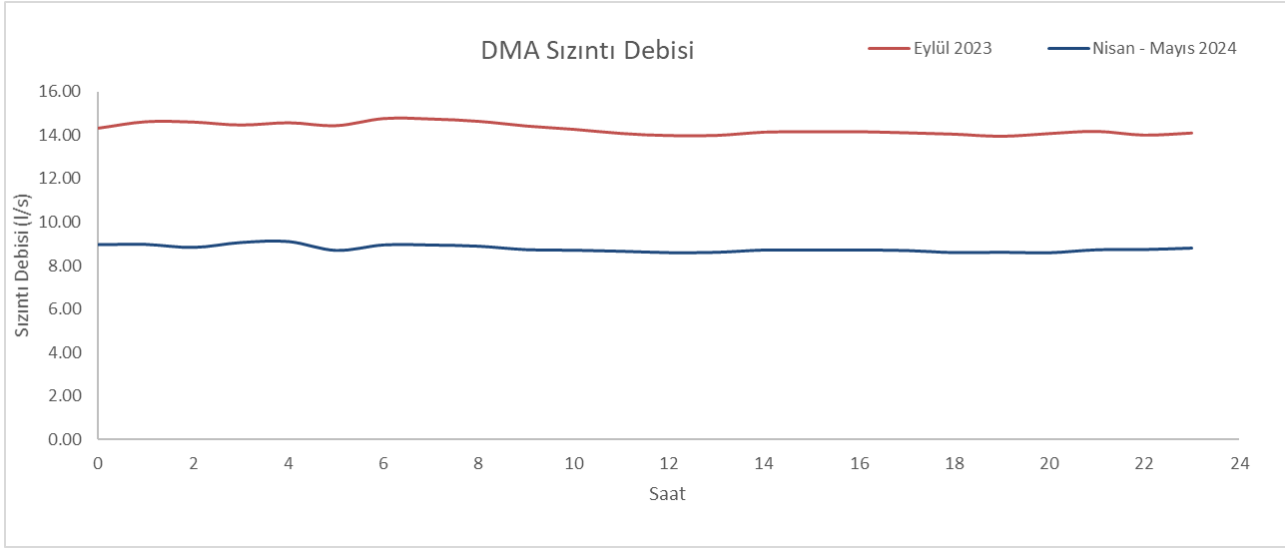
4.4. Sızıntı Debisi Analizi

Sızıntı debisinde 24 saat boyunca meydana gelen değişimin Denklem (2) ile hesaplandığı daha önce belirtilmişti. Denklem (2)'nin kullanılabilmesi için ortalama bölge basıncına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda Eylül 2023 ve Nisan – Mayıs 2024'te bu DMA'da ortaya çıkan ortalama bölge basıncı değerinin 24 saatlik değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Sızıntı debisi hesabında bu değerlerden istifade edilip Denklem (2) kullanılmıştır.



Şekil 6: DMA'daki ortalama bölge basıncı değerleri

Eylül 2023 ve Nisan-Mayıs 2024 dönemlerine ait saatlik sızıntı debileri hesaplandığında Şekil 7 ortaya çıkmıştır.



Şekil 7: Eylül 2023 ve Nisan-Mayıs 2024 tarihlerindeki saatlik DMA sızıntı debileri

Eylül 2023 için minimum gece debisi saatinde meydana gelen su sızıntısı 14.59 l/s olarak hesaplanmıştır. Minimum gece debisi saatinde meydana gelen ortalama bölge basıncı AZP_{MGD} , Eylül 2023'te 53.68 m ve Nisan – Mayıs 2024'te 53.38 m'dir. Bundan sonra geri kalan 23 saatin sızıntı debisi Denklem (2) ile hesaplanır. Hesaplanan 24 sızıntı debisinin toplamı günlük sızıntı debisini vermektedir ki, bu da 1235.3 m³/gün'dür. Günlük toplam sistem giriş debisi ise 4148.5 m³ olduğuna göre, bu analiz neticesinde elde edilen su kaybı oranı % 29.8 olmaktadır.

Nisan-Mayıs 2024'te ise minimum gece debisi saatinde meydana gelen su sızıntısı 9.12 l/s olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde 53.38 m olan AZP_{MGD} parametresinin kullanılmasıyla geri kalan 23 saatin sızıntı debisi Denklem (2) ile hesaplanır. Hesaplanan 24 sızıntı debisinin toplamı günlük sızıntı debisini vermektedir ki, bu da 759.8 m³/gün'dür. Günlük toplam sistem giriş debisinin yeni değeri ise 4011.6 m³ olarak hesaplandığından, bu analiz neticesinde elde edilen su kaybı oranı % 18.9 olmaktadır. Böylece 8 adet arızanın onarılması ve DMA giriş basıncının 65 m'den 60 m'ye düşürülmesiyle su kaybı oranının % 29.8'den % 18.9'a indirilmiş olduğu görülmektedir.

4.5. Altyapı Sızıntı Endeksi Analizi

İncelediğimiz şebekedeki toplam boru uzunluğu $L_m = 33.988$ km, toplam bağlantı sayısı $N_c = 2011$, ve toplam servis bağlantısı uzunluğu $L_p = 21.461$ km'dir. Ayrıca Şekil 6'daki AZP değerlerinin ortalaması Eylül 2023 için 51.6 m, Nisan – Mayıs 2024 için 49.6 m'dir. Daha önce de belirtildiği üzere, Eylül 2023'te 1235.3 m³/gün, Nisan – Mayıs 2024'te ise 759.8 m³/gün'dür. Bu değerler dikkate alındığında, $CARL_{önce}$, $CARL_{sonra}$, $UARL_{önce}$, $UARL_{sonra}$ ve ILI parametrelerinin değerleri:

$$CARL_{\text{önce}} = 1235.3 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$CARL_{\text{sonra}} = 759.8 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$UARL_{\text{önce}} = (18 * 33.988 + 0.8 * 2011 + 25 * 21.461) * 51.6 = 142231 \text{ l/gün} = 142.2 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$UARL_{\text{sonra}} = (18 * 33.988 + 0.8 * 2011 + 25 * 21.461) * 49.6 = 136757 \text{ l/gün} = 136.8 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$ILI_{\text{önce}} = \frac{CARL_{\text{önce}}}{UARL} = \frac{1235.3 \text{ m}^3/\text{gün}}{142.2 \text{ m}^3/\text{gün}} = 8.7$$

$$ILI_{\text{sonra}} = \frac{CARL_{\text{sonra}}}{UARL} = \frac{759.8 \text{ m}^3/\text{gün}}{136.8 \text{ m}^3/\text{gün}} = 5.6$$

olarak hesaplanır. ILI parametresinin Eylül 2023 itibariyle 8'den yüksek bir değer olarak **Kategori D**'de olduğu görülmektedir. Buna mukabil, 8 adet arızanın tamir edilmesi ve DMA giriş basıncı ayarının 5 m kadar düşürülmesiyle Nisan – Mayıs 2024'te ILI parametresi 4 ile 8 arasında bulunan 5.6 değerine sahip olmuştur. Bu da şebekenin son tahlilde **Kategori C**'de olduğunu göstermektedir. Arıza tamir ve şebeke giriş basınç ayarının düşürülmesiyle birlikte ILI parametresini 8.7'den 5.6'ya indirmek mümkün olmuştur.

Tablo 3'te Eylül 2023 ve Nisan – Mayıs 2024 tarihlerindeki DMA giriş basıncı, minimum gece debisi, minimum gece debisi saatindeki sızıntı debisi, toplam su kayıp oranı ve ILI değerleri verilmiştir. 2021 yılı itibariyle Türkiye'deki ortalama su kaybı oranının % 33.5 olduğu hesaba katılırsa mevcut DMA'daki su kaybı oranının Türkiye ortalamasının altında olduğu söylenebilir (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2023). Bu da DMA'nın su kaybı oranının Türkiye'deki pek çok büyükşehir, il ve ilçeden daha düşük olduğu anlamına gelmektedir. Nisan – Mayıs 2024 itibariyle su kaybı oranı, % 18.9 olarak İstanbul'un 2023 yılındaki genel su kaybı oranına eşit olmuştur (Öztürk vd., 2024).

Tablo 3: DMA'daki genel durum

Tarih	DMA Giriş Basıncı (m)	Min. Gece Debisi (l/s)	Q_{MGP} (l/s)	Su Kayıp Oranı (%)	ILI	ILI Kategorisi
Eylül 2023	65	22.03	14.59	29.8	8.7	D
Nisan - Mayıs 2024	60	16.56	9.12	18.9	5.6	C

5. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışma, İstanbul'un Asya Yakası'ndaki bir İzole Ölçüm Bölgesi'nde (DMA), fizikî su kayıplarının analiz edilmesi ve yönetimi için uygulanan yöntemlerin etkinliğini ortaya koymuştur. Günümüzde su kaynaklarının verimli şekilde yönetilmesi, özellikle büyükşehirlerde su dağıtım sistemlerinin performansının artırılmasını gerekli kılmaktadır. Bu çalışma kapsamında minimum gece debisi (MNF) analizi, aktif sızıntı kontrolü ve basınç yönetimi uygulamalarının fizikî su kayıplarının tespit ve azaltılmasında oynadığı rol incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, DMA'da fizikî su kayıplarının %29.8'den %18.9'a düşürüldüğünü ve Altyapı Sızıntı Endeksi'nin (ILI) 8.7'den 5.6 seviyesine indirildiğini göstermiştir. Bu azalma, 8 arızanın onarılması ve DMA giriş basıncının 65 m'den 60 m'ye düşürülmesiyle mümkün olmuştur. Su kaybı oranındaki %11'lik azalma, aktif sızıntı kontrolü ve basınç yönetimi uygulamalarının etkinliğini kanıtlamaktadır. Ayrıca, ILI kategorisinin D'den C'ye getirilmesi, DMA yönetiminin daha iyi hale gelmesinde önemli bir adım olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, daha düşük bir ILI seviyesine ulaşmanın elzem olduğu vurgulanmalıdır.

DMA tabanlı su kaybı yönetimi tekniklerinin, fizikî su kayıplarının azaltılmasında ne kadar etkili olduğu, bu çalışma vasıtasıyla gösterilmiştir. Bulgular, yalnızca lokal uygulamalar için değil, benzer su dağıtım sistemlerine sahip şehirler ve ülkeler için de yol gösterici bir nitelik taşımaktadır. Çalışmanın, su kayıplarını azaltma hedefli sürdürülebilir politikaların geliştirilmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazar, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'ne (İSKİ) ve İSKİ Asya Yakası Su Kayıpları ve Basınç Yönetimi Şube Müdürü İnş. Yük. Müh. Samet Kıran'a bu çalışmanın hazırlanmasında ve ortaya konmasında gösterdikleri destekten ötürü teşekkür etmektedir.

Kaynaklar

AL-Washali, T., Sharma, S., AL-Nozaily, F., Haidera, M., & Kennedy, M. (2018). Modelling the leakage rate and reduction using minimum night flow analysis in an intermittent supply system. *Water*, 11(1), Article 48. <https://doi.org/10.3390/w11010048>

- Amoatey, P. K., Minke, R., & Steinmetz, H. (2014). Leakage estimation in water networks based on two categories of night-time users: a case study of a developing country network. *Water Supply*, 14(2), 329–336. <https://doi.org/10.2166/ws.2013.201>
- Bozkurt, C., Firat, M., & Ateş, A. (2024). Su ve kanalizasyon idareleri için mevcut durum analizi ile uygun performans göstergelerinin web tabanlı hesaplama aracı ile değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 10(1), 167–178.
- Bozkurt, C., Firat, M., Ateş, A., Yılmaz, S., & Özdemir, Ö. (2022). Strategic water loss management: Current status and new model for future perspectives. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 40(2), 310–322.
- Boztaş, F., Özdemir, Durmuşçelebi, F. M., & Firat, M. (2019). Analyzing the effect of the unreported leakages in service connections of water distribution networks on non-revenue water. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(8), 4393–4406. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2085-0>
- Cassa, A. M., van Zyl, J. E., & Laubscher, R. F. (2010). A numerical investigation into the effect of pressure on holes and cracks in water supply pipes. *Urban Water Journal*, 7(2), 109–120. <https://doi.org/10.1080/15730620903447613>
- Durmuşçelebi, F. M., Özdemir, Ö., & Firat, M. (2020). District metered areas for water loss management in distribution systems. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 38(1), 149–170.
- Firat, M., Orhan, C., Yılmaz, S., & Özdemir, Ö. (2021). Su idarelerinin su kayıp yönetim performansının analizi ve temel performans gösterge hesaplama aracının geliştirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 75–88. <https://doi.org/10.21324/dacd.784488>
- Güngör, M., Yazar, U., Cantürk, Ü., & Firat, M. (2019). Increasing performance of water distribution network by using pressure management and database integration. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 10(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ps.1949-1204.0000367](https://doi.org/10.1061/(asce)ps.1949-1204.0000367)
- Kanakoudis, V., & Muhammetoglu, H. (2014). Urban water pipe networks management towards non-revenue water reduction: Two case studies from Greece and Turkey. *Clean - Soil, Air, Water*, 42(7), 880–892.
- Kıran, S. (2018). *Mevcut içme suyu dağıtım şebekesinin hidrolik model yardımıyla yönetimi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Kızılöz, B. (2021). İçme suyu dağıtım sistemlerinde su kayıplarının azaltılması: Kocaeli örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 213–225.
- Kızılöz, B., & Şişman, E. (2021). Gelir getirmeyen su oranı tahmin modelleri. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 276–283. <https://doi.org/10.28948/ngmuh.789694>
- Koşucu, M. M., & Demirel, M. C. (2022). Smart pressure management extension for EPANET: source code enhancement with a dynamic pressure reducing valve model. *Journal of Hydroinformatics*, 24(3), 642–658. <https://doi.org/10.2166/hydro.2022.172>
- Koşucu, M. M., & Demirel, M. C. (2024). Cost efficiency assessment of four pressure management methods in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 150(3). <https://doi.org/10.1061/jwrmd5.wreng-5984>
- Koşucu, M. M., Sarı, Ö., Demirel, M. C., Kıran, S., Yılmaz, A., Aybakan, A., Albay, E., & Kırca, V. Ş. Ö. (2021). Gerçek zamanlı basınç yönetimiyle su dağıtım şebekesinde su kaybının azaltılması. *Teknik Dergi*, 32(1), 10541–10564.
- Mckenzie, R. (1999). *Development of a standardised approach to evaluate burst and background losses in water distribution systems in South Africa* (WRC Report No TT 109/99). Water Research Commission.
- McKenzie, R. S., Wegelin, W. A., & Meyer, N. (2003). *Water demand management cookbook*. Rand Water.
- Morrison, J., Tooms, S., & Rogers, D. (2007). *DMA Management Guidance Notes*. International Water Association.
- Muhammetoğlu, H., & Muhammetoğlu, A. (2017). *İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü El Kitabı*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- Negharchi, S. M., & Shafaghat, R. (2020). Leakage estimation in water networks based on the BABE and MNF analyses: a case study in Gavankola village, Iran. *Water Supply*, 20(6), 2296–2310. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.137>
- Özdemir, Ö. (2018). Water leakage management by district metered areas at water distribution networks. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(4), Article 182. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6559-9>
- Öztürk, İ., & Altay, D. A. (2015, 1–4 Aralık). *Water and Wastewater Management in Istanbul* [Bildiri Sunumu]. UNESCO HQ International Conference on Water, Megacities and Global Change, Paris, Fransa.
- Öztürk, İ., Koşucu, M. M., & Deneri, E. Z. (2024). Su Kayıp ve İsrafının Boyutları: İklim Kaynaklı Potansiyel Risk ve Tehditler. In K. Şahin & İ. Erol (Eds.), *Gıda, Su Kaybı ve İsrafı* (ss. 39–72). Türkiye Bilimler Akademisi.
- Piller, O., & van Zyl, J. E. (2014). Modeling control valves in water distribution systems using a continuous state formulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 140(11), Article 04014052. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000920](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000920)
- Schwaller, J., & van Zyl, J. E. (2015). Modeling the pressure-leakage response of water distribution systems based on individual leak behavior. *Journal of Hydraulic Engineering*, 141(5), 1–8. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000984](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000984)
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2023). *Değişen İklim Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı*. https://suverimliliği.gov.tr/wp-content/uploads/2023/09/SU-VERIMLILIGI-STRATEJI-BELGESI-ve-EYLEM-PLANI_dikev_260923.pdf
- Şişman, E., & Kızılöz, B. (2020). Trend-risk model for predicting non-revenue water: An application in Turkey. *Utilities Policy*, 67, Article 101137. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101137>
- Thornton, J., Sturm, R., & Kunkel, G. (2008). *Water Loss Control* (2nd edition). McGraw-Hill.
- Van Zyl, J. E. (2014). Theoretical modeling of pressure and leakage in water distribution systems. *Procedia Engineering*, 89, 273–277. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.187>
- Vicente, D. J., Garrote, L., Sánchez, R., & Santillán, D. (2016). Pressure management in water distribution systems: current status, proposals, and future trends. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(2), Article 04015061. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000589](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000589)
- Winarni, W. (2009). Infrastructure leakage index (ILI) as water losses indicator note from the editor. *Civil Engineering Dimension*, 11(2), 126–134.
- Yılmaz, S., Firat, M., Ateş, A., & Özdemir, Ö. (2021). Analysis of economic leakage level and infrastructure leakage index indicator by applying active leakage control. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 12(4). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ps.1949-1204.0000583](https://doi.org/10.1061/(asce)ps.1949-1204.0000583)