

DOI: [10.38027/ICCAUA2022TR0008](https://doi.org/10.38027/ICCAUA2022TR0008)

Analysis of Technical Indicators for Leak Performance in District Metered Areas with Active Leak Control

*Prof.Dr. Mahmut FIRAT¹, Dr. Salih YILMAZ² and Mustafa YILDIRIM³

İnönü University, Faculty of Engineering, Malatya, Turkey¹

Çankırı Karatekin University, Faculty of Engineering, Çankırı, Turkey²

Malatya Water and Sewerage Administration, Malatya³

E-mail¹: mahmut.firat@inonu.edu.trmailto:umitsirel@yahoo.com, E-mail²: salihyilmaz@karatekin.edu.tr, E-mail³: mustafayildirim@maski.gov.tr

Abstract

Active leak control method is applied to detect and prevent unreported leaks in distribution systems. These leaks are determined and repaired by applying this method. However, during the application of this method, the field works are carried out in the field and cost is incurred. For this reason, it is necessary to analyze the benefits obtained after applying this method. This benefit is basically the amount of leakage prevented by the application of this method. In this study, active leakage control was applied in isolated measurement zones in drinking water distribution systems and the gains were analyzed according to technical performance indicators. In this context, the province of Malatya was chosen as the application area of the central distribution system. In the application area, active leakage control has been applied in 4 isolated measurement zones. The total volume of leakage prevented at the beginning and end of the study was determined. Then, technical performance indicators were calculated for each isolated measurement zone. These indicators are basically leakage amount per unit network length, leakage amount per unit service connection. Thus, the benefits obtained in the considered time period were analyzed according to the physical properties of the system. With the help of these indicators, it provides an opportunity to evaluate whether the active leakage control implemented improves the leakage performance of the system or not. It is thought that the outputs obtained from this study will make important contributions especially for practitioners.

Keywords: Urban water management, leakage, isolated zone, performance indicator.

Aktif Kaçak Kontrolü Uygulanan İzole Ölçüm Bölgelerinde Sızıntı Performansı için Teknik Göstergelerin Analizi

Özet

Dağıtım sistemlerinde meydana gelen ve yüzeye çıkmayan sızıntıların belirlenmesi ve önlenmesi için aktif kaçak kontrolü yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemin uygulanması ile sızıntılar belirlenerek onarılmaktadır. Ancak bu yöntemin uygulanması sırasında sahada çalışmalar yapılmakta ve maliyet oluşmaktadır. Bu nedenle bu yöntemin uygulandıktan sonra elde edilen faydaların analiz edilmesi gerekir. Bu fayda temel olarak bu yöntemin uygulanması ile önlenen sızıntı miktarıdır. Bu çalışmada içme suyu dağıtım sistemlerinde izole ölçüm bölgelerinde aktif kaçak kontrolünün uygulanmış ve elde edilen kazanımlar teknik performans göstergelerine göre analiz edilmiştir. Bu kapsamda Malatya ili merkez dağıtım sistemi uygulama alanı olarak seçilmiştir. Uygulama alanında 4 adet izole ölçüm bölgesinde aktif kaçak kontrolü uygulanmıştır. Çalışmanın başlangıç ve sonu itibarıyla önlenen toplam sızıntı hacmi belirlenmiştir. Daha sonra her bir izole ölçüm bölgesi için teknik performans göstergeleri hesaplanmıştır. Bu göstergeler temel olarak, birim şebeke uzunluğu başına sızıntı miktarı, birim servis bağlantı başına sızıntı miktarı, şeklindedir. Böylece göz önüne alınan zaman aralığında elde edilen faydalar sistemin fiziksel özelliklerine göre analiz edilmiştir. Bu göstergeler yardımıyla uygulanan aktif kaçak kontrolünün sistemin sızıntı performansının iyileştirip iyileştirmediği kapsamında değerlendirme imkanı sunmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen çıktıların özellikle uygulayıcılar için önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel su yönetimi, sızıntı, izole bölge, performans göstergesi.

1. Giriş

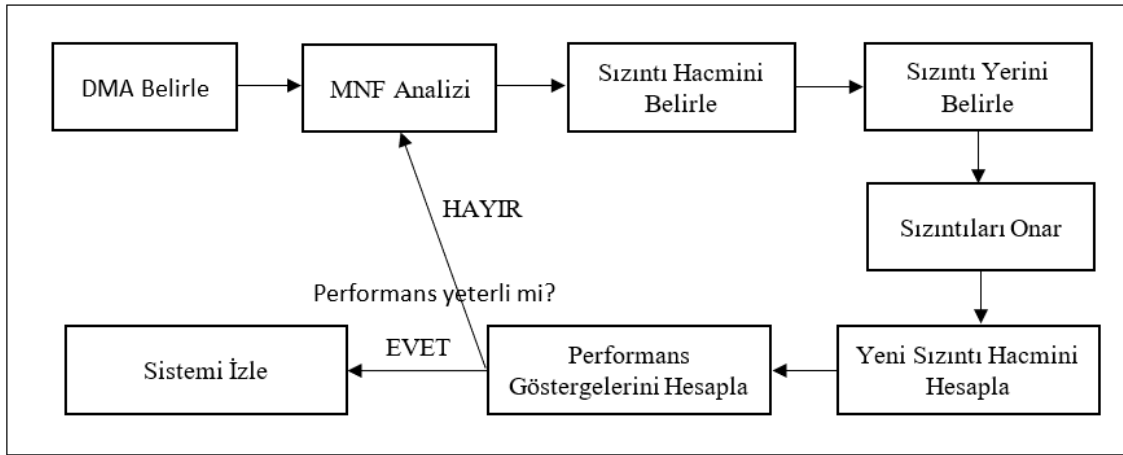
İçme suyu dağıtım sistemlerinde meydana gelen arızalar, işletme koşullarının bozulmasına, maliyetlerin artmasına ve hizmet kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle arızaların azaltılmasına bağlı olarak finansal, çevresel, işletme ve personel verimlilik sağlamak mümkün olacaktır. Dağıtım sistemlerinde sisteme verilen ancak ücreti alınamayan su, gelir getirmeyen su (GGs) olarak ifade edilir (Pearson, 2019). GGs temel olarak, şebekedeki sızıntılar, idari kayıplar ve yasal faturalandırılmamış kullanımlar (itfaiye, yangın hidrant kullanımı, ibadethane) gibi bileşenlerden oluşmaktadır (Farley vd., 2008). Sızıntılar, genel olarak dağıtım sisteminde ana hatlarda, servis bağlantılarında ve vanalarda gözlenmektedir. Bu sızıntılar belli bir kısmı yüzeye çıkarken (rapor edilen arızalar) önemli bir kısmı ise yüzeye çıkmamaktadır (rapor edilmeyen arızalar) (Boztaş vd., 2019). Bu sızıntıların azaltılması, önlenmesi ve yönetilmesi için, basınç kontrol yönetim sistemi (Creaco ve Walski, 2017; Muhammetoglu vd., 2018; Özdemir vd., 2021), aktif sızıntı kontrolü (Cabral vd., 2019; Lipiattanakarn vd., 2019; Durmuşçelebi vd., 2021), arıza oranının azaltılması, arıza yönetimi, şebeke yenileme ve boru

malzemesi yönetimi (Marchionni vd., 2016; Agathokleous ve Christodoulou, 2017), SCADA sistemi ile hidrolik bileşenlerin izlenmesi ve analizi (Güngör vd., 2019) gibi temel yöntemler uygulanmaktadır. 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 (Yılmaz, 2021). Bu nedenle, sistemin işletme bileşenlerini dikkate alınması, su kayıp bileşenleri için ekonomik analizlerin yapılması ve fayda-maliyet analiz modelinin tanımlanması, etkin ve sürdürülebilir su kayıp yönetimi açısından oldukça önemlidir (Ezbakhe ve Foguet 2019; Jensen ve Nair 2019; Lopez vd., 2019; Yılmaz vd., 2021). Zamenian vd. (2017), şebekede oluşan arızaların, önemli sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerinin olduğunu ve özellikle pompa ile beslenen sistemlerde enerji tüketimi ciddi oranda arttırdığını vurgulamıştır. Bu nedenle, boruların mevcut durumun değerlendirilmesi, arıza oranı tahmini yapılarak yenileme yapılacak bölgelerin önceliklendirilmesi için stratejik varlık yönetimi planlarının oluşturulması gerektiğini belirtmiştir.

Lipiwattanakarn vd. (2019), sızıntılarla mücadelenin ve arızaların onarılmasının enerji ve sistem işletme maliyeti üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Uygulama alanında izole bölgede sızıntıların onarılmasından sonra izole bölge giriş debisinin % 9 azaldığını buna bağlı olarak sistem giriş enerjisinde % 8 azalma tespit edildiği, aktif kaçak kontrolü uygulanmasıyla sistem verimliliğinin iyileştiği vurgulanmıştır. Creaco vd. (2019), gerçek zamanlı kontrol ve otomasyon sistemleri ile su dağıtım sistemlerinin ve bileşenlerinin (sistem basıncı, depo seviye, pompa çalışma süresi ve enerji optimizasyonu, basınç kontrol vanaları vb.) izlenmesi ve kontrol edilmesinde önemli faydalar sağladığını vurgulamıştır. Güngör vd. (2019), yaptıkları çalışmada pilot bölgeler için uygulanan basınç yönetimi stratejisi ile sisteme daha az su verilerek önemli tasarruflar sağlanabileceğini göstermişlerdir. Ayrıca SCADA, abone yönetim sistemleri ve ölçülebilir alt bölgeler ile daha etkili bir su yönetim strateji ortaya konulabileceğini savunmuşlardır. Diğer taraftan, su kayıp önleme yöntemlerinin etkinliğinin test edilmesi ve verimliliğin izlenmesi için en uygun performans analizinin yapılması gerekir (Lambert vd., 1999; Liemberger vd., 2006). Performans değişiminin analiz edilmesinde uygulanabilir ve karşılaştırılabilir göstergeler kullanılarak çalışmanın başlangıcı ve sonundaki performanslarının analiz edilmesi gerekmektedir. Sızıntı yönetimi performansının izlenmesinde, sistem giriş hacminin yüzdesi, şebeke uzunluğu ve servis bağlantı sayısını esas alan göstergeler kullanılmaktadır. Fontana vd. (2018) sızıntıların önlenmesi ve azaltılması amacıyla gerçek zamanlı basınç kontrol sistemini önermiştir. Saha uygulama sonucunda gerçek zamanlı basınç kontrolünün minimum gece debisinin azaltılması, basınç dalgalanmalarının en aza indirilmesi ve basıncın düzenlenmesi kapsamında önemli kazanımların elde edildiğini vurgulamıştır. Moslehi vd. (2020) sıklıkla kullanılan kayıp azaltma yöntemlerinden biri olan basınç yönetiminin ekonomik faydalarını araştırmıştır. Çalışmada sabit çıkışlı basınç kırıcı, debi duyarlı ve zaman ayarlı basınç kırıcı vanalar (PRVs) karşılaştırılmış ve debi duyarlı PRVs ile sistemin yönetilmesinde en iyi sonuçların elde edildiği ortaya konulmuştur. Dağıtım sistemlerinde meydana gelen ve yüzeye çıkmayan sızıntıların belirlenmesi ve önlenmesi için aktif kaçak kontrolü yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemin uygulanması ile sızıntılar belirlenerek onarılmaktadır. Ancak bu yöntemin uygulanması sırasında sahada çalışmalar yapılmakta ve maliyet oluşmaktadır. Bu nedenle bu yöntemin uygulandıktan sonra elde edilen faydaların analiz edilmesi gerekir. Bu fayda temel olarak bu yöntemin uygulanması ile önlenen sızıntı miktarıdır. Bu çalışmada içme suyu dağıtım sistemlerinde izole ölçüm bölgelerinde aktif kaçak kontrolünün uygulanmış ve elde edilen kazanımlar teknik performans göstergelerine göre analiz edilmiştir. Bu kapsamda Malatya ili merkez dağıtım sistemi uygulama alanı olarak seçilmiştir. Uygulama alanında 4 adet izole ölçüm bölgesinde aktif kaçak kontrolü uygulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Izole ölçüm bölgesi (DMA), su kayıplarının azaltılması ve yönetilmesinde kullanılan, izolasyon vanalarıyla diğer şebeke elemanlarından ayrılan ve genelde 1 veya 2 girişe sahip alt bölgeler olarak tanımlanabilir (Pearson, 2019). Dağıtım sistemlerinde aktif sızıntı kontrolünün uygulanabilmesi ve beklenen faydaların elde edilmesi için DMA planlamak en temel adım olarak gösterilebilir (Morrison, Tooms ve Rogers, 2007; Farley vd., 2008; Mutikanga, Sharma ve Vairavamoorthy, 2013). DMA planlanan ve sahada uygulanan dağıtım sistemlerinde minimum gece debisi (MNF) analizi yapılmakta, potansiyel önlenabilir sızıntı belirlenmekte ve akustik yöntemlerle sızıntı yerleri tespit edilmektedir. Bu süreçlerin uygulanması ile özellikle yüzeye çıkmayan arızaların daha etkin yönetilmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışmada DMA planlanmış ve sahada uygulanmış dağıtım sistemlerinde performansın izlenmesi ve analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla literatürde sızıntıların izlenmesi ve değişimin analiz edilmesi kapsamında önerilen çeşitli performans göstergeleri belirlenmiştir. Süreç göstergeleri olarak da ifade edilen bu göstergeler kullanılarak yöntemin uygulandığı ilk durumdaki koşullara ve yöntemin uygulanmasından sonra oluşan koşullara göre analiz gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada izlenen metodoloji Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Sızıntı Yönetimi ve Performans Analizi için İzlenen Yol

Minimum gece debisi (MNF) analizinde önemli olan hususlardan biri, gece tüketimlerinin en doğru şekilde tespit edilebilmesidir. Bilindiği üzere bir dağıtım sisteminde su tüketimi gece saatlerinde (özellikle 02:00-04:00 arası) minimum seviyeye inmekte ve bu saatlerde sisteme fazla su girişi gözlenirse sızıntı veya kaçak kullanım ihtimali göz önüne alınmalıdır. Bu kapsamda öncelikle denklem (1) kullanılarak belirsiz sızıntılar hesaplanmaktadır. Daha sonra gece saatlerinde abone profiline bağlı olarak denklem (2) kullanılarak gece yasal tüketimler hesaplanmaktadır (Lambert vd., 1999).

$$Q_{sızıntı} = (C_1 * L_m + C_2 * N_c) * (0.028 * P - 0.347) \quad (1)$$

$$Q_{tüketim} = 500 + N_{konut} * 1.7 + N_{tic} * 8 \quad (2)$$

Bu denklemlerde, L_m ; şebeke uzunluğu (km), N_c ; Servis bağlantı sayısı, P ; gece debisi saatlerinde ortalama basıncı (m), C_1 ve C_2 sırasıyla boru ve özel bağlantı sızıntısı katsayısı, N_{konut} , konut abone sayısı, N_{tic} , ticari abone sayısını ifade etmektedir. Bölgede bu bileşenler hesaplandıktan sonra, MNF anındaki giriş debisinden gece yasal tüketimler ve belirsiz sızıntılar çıkarılarak potansiyel önlenebilir sızıntı hesaplanmaktadır.

Performans analizinin yapılması, sistem için önemli olan bileşenlerin düzenli izlenmesi, zayıf yönlerin belirlenmesi ve iyileştirilmesi için en uygun yöntemin belirlenmesi, sistem işletme maliyetinin düşürülmesi ve abone memnuniyetinin artırılması açısından oldukça önemlidir. Ancak bu değerlendirmelerin ve analizlerin yapılabilmesi için sistem performansının en uygun, uygulanabilir, kıyaslanabilir, anlaşılır ve verisi ölçülebilir göstergelerle izlenmesi gerekir. Performans göstergeleri sisteminin Su İdarelerine uygulanması ile beklenen faydalar şunlardır;

- İdarenin performansının ana bileşenlerde analiz edilmesi, izlenmesi ve kıyaslanması,
- Karar vericiler için kurumun eksik ve güçlü yanlarının ortaya konulması,
- Dağıtım sisteminin hizmet kalitesinin artırılması ve GGS oranının en aza indirilmesi,
- Su ve enerji tüketimi, personel, ekipman, mali açıdan sistemin veriminin artırılması,
- Performansın iyileştirilmesi için yatırım planlamalarının/düzenlemelerin yapılması,
- Yapılan yatırımların/alınan kararların etkilerinin izlenmesi ve strateji geliştirilmesi

Bu kapsamda bir dağıtım sisteminde GGS ve alt bileşenlerini çeşitli parametrelere göre değerlendiren göstergeleri hesaplamaktadır;

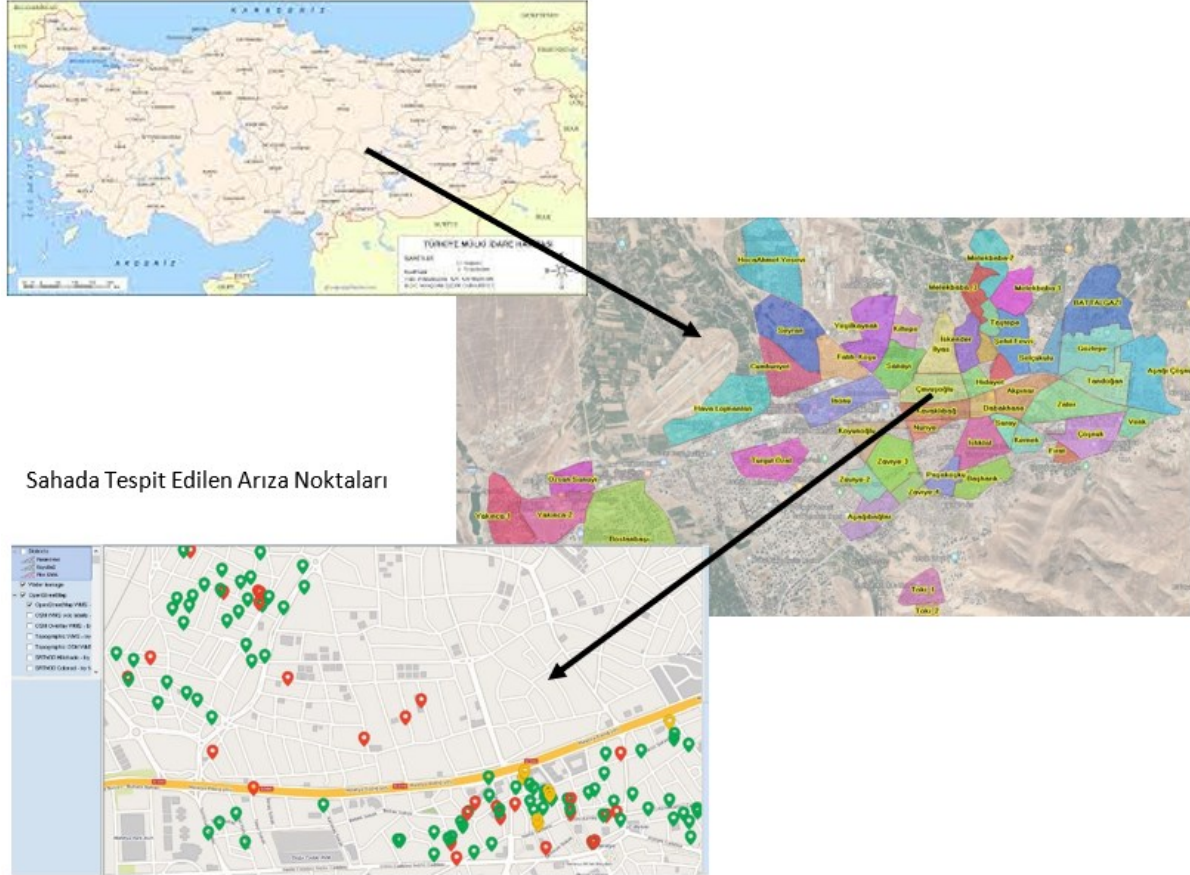
- Hacimsel ve SIV % si olarak GGS performansı
- Birim Servis Bağlantı sayısına göre Performans Göstergeleri
- Birim ana hat uzunluğuna göre Performans Göstergeleri
- Fiziki Kayıp Göstergeleri

Tablo 1. Fiziki Kayıplar için Süreç Göstergeleri

Parametreler	Birim	Açıklama
Fiziki Kayıp Oranı	%	(Fiziki Kayıp Hacmi / Sistem Giriş Hacmi)*100
Birim Servis Bağlantı Başına Fiziki Kayıp Hacmi	litre / bağlantı /gün	(Fiziki Kayıp Hacmi / Servis Bağlantı Sayısı / Gün)
Birim Hat Uzunluğu Başına Fiziki Kayıp Hacmi	litre /km/gün	(Fiziki Kayıp Hacmi / Şebeke Ana Hat Uzunluğu (km) / Gün)

Birim Basınç Altında Servis Bağlantı Başına Fiziki Kayıp Hacmi	litre / bağlantı /gün/basınç(m)	(Fiziki Kayıp Hacmi / Servis Bağlantı Sayısı / Basınç (m))/ Gün)
Birim Basınç Altında Hat Uzunluğu (km) Başına Fiziki Kayıp Hacmi	litre /km /gün/basınç(m)	(Fiziki Kayıp Hacmi / Şebeke Ana Hat Uzunluğu (km) / Basınç (m))/ Gün)

Çalışma kapsamında bu analizlerin gerçekleştirilmesi için Malatya ili merkez dağıtım sisteminde pilot izole bölgelere ait veriler kullanılmıştır (Şekil 2). Bu veriler Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) Genel Müdürlüğü İçme Suyu Daire Başkanlığının sahada yaptığı çalışmalardan elde edilmiştir (Tablo 2) (MASKİ, 2022).



Şekil 2. Çalışma Alanı ve Arıza Bölgeleri

Tablo 2. Pilot İzole Bölgelere ait Karakteristik Bilgiler (MASKİ, 2021)

Parametreler	DMA 1	DMA 2	DMA 3
Şebeke Uzunluğu (km)	6.09	14.076	14.733
Servis Bağlantı Sayısı (adet)	401	682	522
Abone Sayısı (adet)	2161	1581	3397
Ortalama Basınç (m)	55	48	51
Çalışma Başlangıcı Ölçülen MNF	29	44	39
Çalışma Başlangıcı Hesaplanan Gece Yasal Tüketim (l/s)	4.10	2.0	3.89
Çalışma Başlangıcı Hesaplanan Toplam Sızıntı (l/s)	24.9	42	35.11
Çalışma Sonunda Ölçülen MNF	17	36	24
Çalışma Sonunda Hesaplanan Gece Yasal Tüketim (l/s)	4.10	2.0	3.89
Çalışma Sonunda Hesaplanan Toplam Sızıntı (l/s)	12.9	34	20.11

3. Bulgular

Su kayıp yönetiminde en önemli hususlardan birtanesi de performans izleme süreçlerinin sağlıklı bir şekilde yapılmasıdır. Su kayıplarının azaltılması için yapılacak saha çalışmalarının performanslarının ve elde edilen kazançların tespit edilmesi amacıyla performans göstergeleri hesaplamaları yapılmaktadır. Bu kapsamda Malatya ili merkez dağıtım sisteminde 3 adet izole ölçüm bölgesi (DMA) pilot bölge olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Bu kapsamda her bölge için çalışma öncesi ve sonrası olmak üzere; toplam sızıntı hacimleri, fiziki kayıp oranları, birim servis bağlantı başına fiziki kayıp hacimleri, birim hat uzunluğu başına fiziki kayıp hacimleri, birim basınç altında servis bağlantı başına fiziki kayıp hacimleri ve birim basınç altında hat uzunluğu (km) başına fiziki kayıp hacimleri hesaplanmıştır (Tablo 3). Söz konusu hesaplamalarda öncelikli olarak izole bölgelerin genel karakteristik özellikleri (uzunluk, abone sayısı, bağlantı sayısı ve basınç); abone yönetim sistemleri, coğrafi bilgi sistemleri ve SCADA sistemi yardımıyla tespit edilmiştir. Her bir izole bölge için giriş debilerinin de ölçülmesiyle beraber detayları daha önce verilmiş yöntemler yardımıyla minimum gece debileri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar ile her bir bölge için ayrıca gece yasal tüketimler ve tahmini sızıntı miktarları da tespit edilmiştir.

Tablo 3. Fiziki Kayıplar için Süreç Göstergeleri

Parametreler	Birim	DMA1	DMA2	DMA3
Çalışma Başlangıcı Toplam Sızıntı Hacmi	m ³ /gün	2151.36	3628.80	3033.50
Fiziki Kayıp Oranı	%	85.86%	95.45%	90.03%
Birim Servis Bağlantı Başına Fiziki Kayıp Hacmi	litre / bağlantı /gün	5364.99	5320.82	5811.31
Birim Hat Uzunluğu Başına Fiziki Kayıp Hacmi	litre /km/gün	353261.08	257800.51	205898.59
Birim Basınç Altında Servis Bağlantı Başına Fiziki Kayıp Hacmi	litre / bağlantı /gün/basınç(m)	97.55	110.85	113.95
Birim Basınç Altında Hat Uzunluğu (km) Başına Fiziki Kayıp Hacmi	litre /km /gün/basınç(m)	6422.93	5370.84	4037.23
Çalışma Sonunda Performans Göstergeleri				
Fiziki Kayıp Oranı	%	75.88%	94.44%	83.79%
Çalışma Sonunda Toplam Sızıntı Hacmi	m ³ /gün	1114.56	2937.6	1737.504
Birim Servis Bağlantı Başına Fiziki Kayıp Hacmi	litre / bağlantı /gün	2779.45	4307.33	3328.55
Birim Hat Uzunluğu Başına Fiziki Kayıp Hacmi	litre /km/gün	183014.78	208695.65	117932.80
Birim Basınç Altında Servis Bağlantı Başına Fiziki Kayıp Hacmi	litre / bağlantı /gün/basınç(m)	50.54	89.74	65.27
Birim Basınç Altında Hat Uzunluğu (km) Başına Fiziki Kayıp Hacmi	litre /km /gün/basınç(m)	3327.54	4347.83	2312.41

Çalışma yapılan izole bölgeler incelendiğinde fiziki kayıp oranlarının çok yüksek olduğu (sırasıyla %85, %95 ve %90) görülmektedir. Günlük toplam sızıntı hacimleri de incelendiğinde görülecektir ki söz konusu bölgeler de içme suyu sızıntı yönetiminin hayata geçirilmesi elzemdir. Bu bölgelerin mevcut şartlarda teknik ve ekonomik olarak işletilmesi idare için mümkün görülmemektedir. Bu nedenle izole bölgelerde çeşitli arıza tespit yöntemleri ile (aktif kaçak kontrolü, sızıntı dinleme metodu vs.) arızalar tespit edilmiş ve onarımları gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonrası giriş debileri tekrardan ölçülmüş ve bu kapsamda tahmini sızıntı miktarları yeniden hesaplanmıştır (Tablo 2 ve Tablo 3).

Yapılan çalışma sonucunda ilk performans değerlendirmesi fiziki kayıp oranları üzerinden yapılabilir. Ancak bilinmelidir ki sadece giriş hacminin değişmesine bağlı olarak değişen bu gösterge, performans izlemede tek başına yeterli bir etkiye sahip değildir ve tek başına kullanılması doğru bir performans izleme için yeterli olmayacaktır. Bölgeler incelendiğinde toplam sızıntı hacimlerinde ciddi oranlarda bir azalış gözlemlenmesine rağmen fiziki kayıp oranlarındaki azalış miktarları aynı oranda olmamıştır. Öyleki yapılan sızıntı azaltma çalışmalarından sonra DMA 1 için toplam sızıntı hacmi yaklaşık olarak %48 azaltılmış olmasına rağmen fiziki kayıp oranlarında sadece %10'luk bir azalma olduğu görülmektedir. Benzer yaklaşımlar diğer DMA bölgeleri içinde geçerlidir. Bu nedenle de performans izlemede fiziki kayıp oranı göstergesinin tek başına yeterli olmayacağı görülmektedir.

Bir diğer performans izleme parametresi olarak birim servis bağlantı başına fiziki kayıp hacmi ve birim hat uzunluğu başına fiziki kayıp hacmi kullanılmıştır. Buradaki temel gaye sızıntıların birimini boyutsuzlaştırarak farklı çalışma bölgelerinin durumlarının birbirleriyle ve kendi içerisinde kıyasının yapılmasına imkan sunulmasıdır. Bu kapsamda yapılan hesaplamalar sonucunda ilk durumda (sızıntı azaltma çalışması öncesi) birim servis bağlantı başına fiziki kayıp oranları sırasıyla 5364.99, 5320.82 ve 5811.31 litre/bağlantı/gün olarak hesaplanmıştır. Bu bölgeler birbirleriyle kıyaslandığında

benzer performanslarda oldukları görülmüştür. Yapılan kayıp azaltma çalışmaları sonrasında ise bu değerler yeniden hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda DMA bölgeleri için yeni değerler sırasıyla 2779.45, 4307.33 ve 3328.55 litre/bağlantı/gün şeklinde olmuştur. Yine birim hat uzunluğu başına fiziki kayıp hacimleri de ilk olarak 353261.08, 257800.51 ve 205898.59 litre /km/gün şeklinde hesaplanmış ardından yapılan çalışmalar ile birlikte 183014.78, 208695.65 ve 117932.80 litre /km/gün'e düşürülmüştür. İlgili performanslar incelendiğinde fiziki kayıp oranlarından farklı olarak değişimlerin fiziki kayıp hacimlerindeki değişimle orantılı oranda olduğu görülmektedir. Bu kapsamda DMA 1 için yaklaşık %50'e varan bir iyileştirme oranından söz edilebilmektedir.

Performans değerlendirmede kullanılan bir diğer temel unsurdur birim basınç altında servis bağlantı başına veya şebeke uzunluğu başına fiziki kayıp hacminin yorumlanmasıdır. Kayıp hacimlerinin basınçla doğrudan etkili olduğu bilindiğinden (Lambert ve Lalonde, 2005) basınç biriminin de boyutsuzlaştırılması bölgelerdeki kayıp performanslarının birbirleriyle kıyaslanmasında önemli bir avantaj sunmaktadır. Bu kapsamda kayıp azaltma çalışmaları öncesinde bölgeler incelendiğinde birim basınç altında servis bağlantı başına fiziki kayıp hacimleri sırasıyla 97.55, 110.85 ve 113.95 litre/bağlantı/gün/basınç(m) şeklinde hesaplanmıştır. Söz konusu veriler ile birim servis bağlantı başına fiziki kayıp hacimleri kıyaslandığında görülecektir ki; birim servis bağlantı başına fiziki kayıp hacmi DMA1 bölgesinde DMA2 bölgesine göre daha fazla olmasına rağmen (DMA1:5364.99 ve DMA2: 5320.82), kıyaslamaya basınç faktörü dahil olduğunda DMA2 bölgesinin daha kötü bir performansa (DMA1: 97.55 ve DMA2:110.85) sahiptir. Bu nedenle iki farklı bölgenin birbirleriyle kıyaslaması yapılacaksa basınç faktöründe dikkate alınmalıdır.

4.Tartışma ve Sonuç

Su kayıp yönetiminde en önemli hususlardan birtanesi de performans izleme süreçlerinin sağlıklı bir şekilde yapılmasıdır. Bu çalışmada içme suyu dağıtım sistemlerinde izole ölçüm bölgelerinde aktif kaçak kontrolünün uygulanmış ve elde edilen kazanımlar teknik performans göstergelerine göre analiz edilmiştir. Bu kapsamda Malatya ili merkez dağıtım sistemi uygulama alanı olarak seçilmiştir. Uygulama alanında 4 adet izole ölçüm bölgesinde aktif kaçak kontrolü uygulanmıştır. Çalışmanın başlangıç ve sonu itibarıyla önlenen toplam sızıntı hacmi belirlenmiştir. Daha sonra her bir izole ölçüm bölgesi için teknik performans göstergeleri hesaplanmıştır. Bu kapsamda her bölge için çalışma öncesi ve sonrası olmak üzere; toplam sızıntı hacimleri, fiziki kayıp oranları, birim servis bağlantı başına fiziki kayıp hacimleri, birim hat uzunluğu başına fiziki kayıp hacimleri, birim basınç altında servis bağlantı başına fiziki kayıp hacimleri ve birim basınç altında hat uzunluğu (km) başına fiziki kayıp hacimleri hesaplanmıştır. Bu kapsamda fiziki kayıp oranları göstergesi değerlendirilmiştir. Giriş hacminin değişmesine bağlı olarak değişen bu gösterge, performans izlemede tek başına yeterli bir etkiye sahip değildir ve tek başına kullanılması doğru bir performans izleme için yeterli olmayacaktır. Bölgeler incelendiğinde toplam sızıntı hacimlerinde ciddi oranlarda bir azalış gözlemlenmesine rağmen fiziki kayıp oranlarındaki azalış miktarları aynı oranda olmamıştır. Öyleki yapılan sızıntı azaltma çalışmalarından sonra DMA 1 için toplam sızıntı hacmi yaklaşık olarak %48 azaltılmış olmasına rağmen fiziki kayıp oranlarında sadece %10'luk bir azalma olduğu görülmektedir. Benzer yaklaşımlar diğer DMA bölgeleri içinde geçerlidir. Bu nedenle de performans izlemede fiziki kayıp oranı göstergesinin tek başına yeterli olmayacağı görülmektedir. Benzer şekilde birim servis bağlantı başına fiziki kayıp hacmi ve birim hat uzunluğu başına fiziki kayıp hacmi göstergeleri kullanılmıştır. Buradaki temel gaye sızıntıların birimini boyutsuzlaştırarak farklı çalışma bölgelerinin durumlarının birbirleriyle ve kendi içerisinde kıyasının yapılmasına imkan sunulmasıdır. İlgili performanslar incelendiğinde fiziki kayıp oranlarından farklı olarak değişimlerin fiziki kayıp hacimlerindeki değişimle orantılı oranda olduğu görülmektedir. Bu kapsamda DMA 1 için yaklaşık %50'e varan bir iyileştirme oranından söz edilebilmektedir. Ayrıca performans değerlendirmede kullanılan bir diğer temel unsurdur birim basınç altında servis bağlantı başına veya şebeke uzunluğu başına fiziki kayıp hacminin yorumlanmasıdır. Kayıp hacimlerinin basınçla doğrudan etkili olduğu bilindiğinden (Lambert ve Lalonde, 2005) basınç biriminin de boyutsuzlaştırılması bölgelerdeki kayıp performanslarının birbirleriyle kıyaslanmasında önemli bir avantaj sunmaktadır. Sonuç olarak sızıntıların yönetilmesinde önemli faydalar sağlayan aktif kaçak kontrolü yaklaşımının sahada oluşturduğu maliyetlerin de göz önüne alınması gerektiği ve yapılan çalışmalar sonucunda performanslarının da düzenli bir şekilde incelenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Buna göre elde edilecek sonuçlarda bölgeler için ayrı ayrı performans kriterleri belirlenmeli ve yapılacak çalışmalarda öncelikler bu kıstasa göre yapılmalıdır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların özellikle sahada uygulayıcı ve karar vericiler için önemli bilgiler sunduğu düşünülmektedir.

Kaynakça

- Agathokleous, A., & Christodoulou, S. (2017). Component-holistic condition assessment of water distribution networks. *Journal of Water Supply: Research and Technology*—, 64:7, 509–519.
- Amen, M. A. (2021). The Assessment of Cities Physical Complexity through Urban Energy Consumption. *Civil Engineering and Architecture*, 9(7), 2517–2527. doi:10.13189/cea.2021.090735

- 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>
- Cabral, M., Loureiro, D., Almeida, M., & Covas, D. (2019). Estimation of costs for monitoring urban water and wastewater networks. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 68:2, 87–97.
- Creaco, E., Campisano, A., Fontana, N., Marini, G., Page, P. R., & Walski, T. (2019). Real time control of water distribution networks: A state-of-the-art review. *Water Research*, 161, 517–530.
- Creaco, Enrico, & Walski, T. (2017). Economic analysis of pressure control for leakage and pipe burst reduction. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(12). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000846](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000846)
- Durmuşçelebi, F. M., & Firat, M. (2020). İçmesuyu dağıtım sistemlerinde sızıntı yönetimi ve şebeke rehabilitasyonu için fayda maliyet analizi. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, X, 1–9. <https://doi.org/10.5505/pajes.2020.29726>
- Ezbakhe, F., & 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., Wyeth, G., Ghazali, Z. B. M., Istandar, A., & Singh, S. (2008). *The Manager's Non-Revenue Water Handbook. A Guide to Understanding Water Losses*.
- Fontana, N., Giugni, M., Glielmo, L., Marini, G., & Zollo, R. (2018). Real-time control of pressure for leakage reduction in water distribution network: Field experiments. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(3), 1–12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000887](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000887)
- 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), 1–8. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000367](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000367)
- Jensen, O., & Nair, S. (2019). Integrated Urban Water Management and Water Security: A Comparison of Singapore and Hong Kong. *Water*, 11(4), 785.
- Lambert, a O., & Lalonde, a. (2005). Using practical predictions of Economic Intervention Frequency to calculate Short-run Economic Leakage Level, with or without Pressure Management. *Leakage Conference Proceeding, Ili*, 1–12.
- Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M., & Weimer, D. (1999). A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 48(6), 227–237. <https://doi.org/10.2166/aqua.1999.0025>
- Liemberger, R., Kingdom, B., & Marin, P. (2006). The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries. *The World Bank, Water Supply & Sanitation Sector Board, PPIAF*, 8, 1–40.
- Lipiwattanakarn, S., Kaewsang, S., Pornprommin, A., & Wongwiset, T. (2019). Real benefits of leak repair and increasing the number of inlets to energy. *Water Science & Technology*, 14:3, 714–725.
- 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.
- Marchionni, V., Cabral, M., Amado, C., & Covas, D. (2016). Estimating water supply infrastructure cost using regression techniques. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(4). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000627](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000627)
- Morrison, J., Tooms, S., & Rogers, D. (2007). District Metered Areas: Guidance notes. In *In IWA Water Loss Task Force; IWA Publishing: London, UK*.
- Moslehi, I., Jalili-Ghazizadeh, M., & Yousefi-Khoshqalb, E. (2020). Developing a framework for leakage target setting in water distribution networks from an economic perspective. *Structure and Infrastructure Engineering*, 0(0), 1–17. <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1777568>
- Muhammetoglu, A., Nursen, C., Karadirek, I. E., & Muhammetoglu, H. (2018). Evaluation of performance and environmental benefits of a full-scale pump as turbine system in Antalya water distribution network. *Water Science & Technology: Water Supply*, 18.1, 130–142.
- Mutikanga, H. M., Sharma, S. K., & Vairavamoorthy, K. (2013). Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(2), 166–174.
- Özdemir, Ö., Firat, M., Yılmaz, S., & Usluer, M. (2021). Analysis of the effect of pressure control on leakages in distribution systems by favad equation and field applications. *Water Practice and Technology*, 16(2), 320–332. <https://doi.org/10.2166/wpt.2021.024>
- Pearson, D., & Trow, S. W. (2005). Calculating the Economic Levels of Leakage. *Leakage 2005 Conference Proceedings*, 1–16. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Calculating+Economic+Levels+of+Leakage#1>
- Pearson, David. (2019). Standard Definitions for Water Losses. In *Standard Definitions for Water Losses*. <https://doi.org/10.2166/9781789060881>

- Yilmaz, 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), 04021046. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ps.1949-1204.0000583](https://doi.org/10.1061/(asce)ps.1949-1204.0000583)
- Zamenian, H., Mannering, F. L., Abraham, D. M., & Iseley, T. (2017). Modeling the Frequency of Water Main Breaks in Water Distribution Systems: Random-Parameters Negative-Binomial Approach. *Journal of Infrastructure Systems*, 23(2: 04016035).