

Rapor Edilmeyen Sızıntıların Yönetiminde Aktif Kaçak Kontrolünün Planlanması ve Sahada Uygulanması

Mahmut Fırat^{1,*}, Mustafa Yıldırım²

¹İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44250, Malatya.

²Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, 44200, Malatya.

Özet

Dağıtım sistemlerinde sızıntıların önemli bir kısmını yüzeye çıkmayan arızalar oluşturmaktadır. Bu çalışmada yüzeye çıkmayan arızaların yönetilmesi ve azaltılmasında aktif kaçak kontrolü metodolojisi önerilmiş ve sahada uygulanarak sonuçlar tartışılmıştır. Bu kapsamda Malatya ili merkez dağıtım sisteminde pilot uygulama gerçekleştirilmiştir. Bir idarede bu metodolojinin uygulanması ve sistemin işletmeye alınması için çeşitli veri tabanları geliştirilmiş ve yol haritaları önerilmiştir. Sahada yapılan çalışmalarda 3 pilot izole bölgede minimum gece debileri izlenmiş, potansiyel önlenabilir sızıntılar hesaplanmış ve akustik yöntemlerle yeri belirlenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda 3 pilot bölgede toplam 38 adet yüzeye çıkmayan sızıntı noktası belirlenmiş, onarılmış ve bunun sonucunda 3 bölgede toplamda 35 l/s debi sisteme kazandırılmıştır. Bu debinin azaltılmasıyla sırasıyla 3023 m³/gün, 90720 m³/ay ve 1088640 m³/yıl hacim sisteme kazandırılmıştır. Aktif kaçak kontrolünün uygulanması ile önemli oranda su verimliliği sağlanmıştır. Özellikle terfili sistemlerde bu hacimlerin önlenmesi ile enerji tüketimleri de azaltılmış olacaktır. Sonuç olarak bu çalışmadan elde edilen çıktıların özellikle uygulayıcılar için önemli referans oluşturacağı düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler

Dağıtım Sistemi, Aktif Kaçak Kontrolü, Sızıntı Yönetimi, İzole Bölge

Planning and Implementation of Active Leakage Control in the Management of Unreported Leakages

Abstract

A significant part of the leaks in distribution systems consist of the unreported failures. In this study, active leak control methodology is proposed in the management and reduction of non-surface failures and the results are discussed by applying it in the field. In this context, a pilot application was carried out in the central distribution system of Malatya province. Various databases have been developed and roadmaps have been proposed for the implementation of this methodology in an administration. During the field studies, minimum night flow rates were monitored in 3 pilot isolated areas, potential recoverable leaks were calculated and their location was determined by acoustic methods. As a result of these studies, a total of 38 unreported leak points were identified and repaired in 3 pilot regions, and as a result, a total of 35 l/s flow rate was saved to the system in 3 regions. By reducing this flow, 3023 m³/day, 90720 m³/month and 1088640 m³/year volumes were added to the system, respectively. The implementation of active leakage control has resulted in significant water efficiency. By preventing these volumes, especially in pumped systems, energy consumption will be reduced. As a result, it is thought that the outputs obtained from this study will constitute an important reference especially for practitioners.

Keywords

Distribution System, Active Leak Control, Leak Management, Isolated Zone

1. Giriş

İçme suyu dağıtım sistemlerinde sızıntıların önemli bir kısmı zemin yüzeyine çıkmamaktadır. Bu tür arızalar rapor edilemeyen arıza olarak ifade edilmektedir. Birçok idarede su kayıpları ile mücadelede sadece yüzeye çıkan arızaların onarılması faaliyetleri yapılmaktadır. Ancak sızıntıların önemli bir kısmının (% 85-90) yüzeye çıkmadığı göz önüne alınırsa bu arızalarla mücadele etmek oldukça önem arz etmektedir. Yüzeye çıkmayan arızaların fark edilmesi ve yerinin belirlenmesi için uygulanan metodoloji aktif kaçak kontrolü olarak ifade edilir. Bu yöntemde temel amaç yüzeye çıkmayan sızıntıların önlenmesi ve yönetilmesidir. Bu yöntemin uygulanmasında temel olarak izole bölgelerin tasarımı ve sahada uygulanması, minimum gece debisi analizinin yapılması ve potansiyel önlenabilir sızıntı miktarının belirlenmesi, akustik yöntemlerle sızıntı yerinin belirlenmesi ve sistemin sürekli izlenmesi gibi çalışmalar yapılmalıdır.

Literatür incelendiğinde dağıtım sistemlerinde yüzeye çıkmayan arızaların yönetilmesinde; izole ölçüm bölgesi (DMA) tasarımı ve uygulanması (Mutikanga vd. 2010; Eggimann vd. 2017; Azevedo vd. 2018; Gupta ve Kulat 2018), basınç kontrol yönetimi (Roshani ve Filion 2014; Lima vd. 2018; Jadhao ve Gupta 2018), minimum gece debisinin analiz edilmesi ve sızıntı yerinin belirlenmesi (Eugine 2017; Farah vd. 2017; Garcia vd. 2006; Jadhao ve Gupta 2018), hidrolik model ve bölgesel izleme sistemleri ile sızıntıların yönetilmesi gibi birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. DMA, şebeke ve elemanlarının izolasyon vanaları ile diğer bölgelerden izole edilmiş ve genelde bir veya 2 girişe sahip bölge olarak ifade edilir. DMA tanımlanan sistemlerde her bir DMA kendi içinde değerlendirilmekte ve su kayıp yönetimi DMA bazlı yapılmaktadır.

Al-Washali vd. (2018), yaptığı çalışma ile Ürdün Zarqa kentinde sızıntı oranını, sızıntı bileşenlerini ve sızıntı azaltma yöntemlerini incelemiştir. Yapılan çalışmalarda oluşturulan DMA bölgelerinde gece debisi analizleri yapılarak kaçak seviyeleri izlenmiştir. Dağıtım sistemlerinde sızıntıların azaltılması için uygulanan farklı yöntemler (basınç yönetimi, aktif sızıntı kontrolü vb.) sahada uygulandığı sırada birbirlerini etkilemekte ve buna bağlı olarak sızıntı azaltma potansiyellerinin fazla tahmin edilme riski ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bu yöntemlerin fayda ve maliyetlerinin ayrı ayrı değerlendirilmesinin doğru olmadığını savunmuşlardır. Lipiwattanakarn vd. (2019), sızıntılarla mücadelenin ve sızıntıların 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, denetleyici kontrol ve veri toplama bir kontrol sistemi (SCADA), abone yönetim sistemleri ve ölçülebilir alt bölgeler ile daha etkili bir su yönetim strateji ortaya konulabileceğini savunmuşlardır. SCADA sistemi, dağıtım sistemlerinde ölçülen hidrolik parametrelerin (sistem giriş debisi, depo seviye ve işletme basıncı) ve terfi istasyonlarının anlık olarak izlenmesini ve müdahale edilmesini sağlayan sistem olarak ifade edilebilir. Yılmaz vd. (2021) dağıtım sistemlerinde basınç yönetimi yaklaşımının altyapı kaçak indeksi üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Çalışma kapsamında basınç yönetimi için fayda maliyet analiz yapılmış ve basınç seviyesine göre sızıntının indirilebileceği en uygun seviye belirlenmiştir. Bu kapsamda optimizasyon tabanlı bir algoritma önerilmiştir. Firat vd. (2021a) su idarelerinin su kayıp yönetimi performansının analiz edilmesi ve izlenmesi için web tabanlı bir model geliştirmiştir. Geliştirilen model ile izole bölgelerde veya sistem genelinde uygulanan yöntemler için süreç göstergeleri analiz edilmektedir. Firat vd. (2021b) tarafından yapılan çalışmada dağıtım sistemlerinde sızıntıların yönetilmesinde uygulanan yöntemler için fayda maliyet analizi standardı tanımlanmış ve ekonomik kaçak seviyesi modeli önerilmiştir. Geliştirilen model ile bir dağıtım sisteminde sızıntıların önlenmesinde uygulanması gereken yöntemler önerilmekte ve sızıntıların azaltılabileceği en ekonomik seviye analiz edilmektedir.

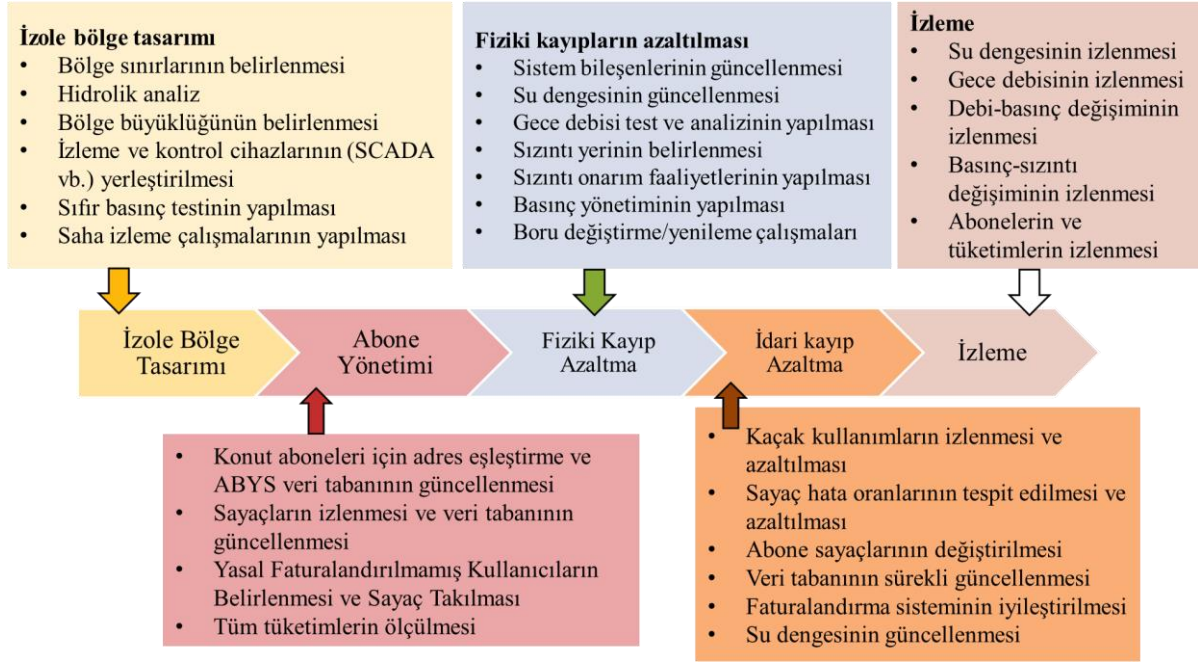
Bu çalışmada rapor edilmeyen sızıntıların farkına varılması, önlenmesi ve yönetilmesi için aktif kaçak kontrolü metodolojisi önerilmiş, gerçek saha problemlerine uygulanmış ve elde edilen kazanımlar sunulmuştur. Bu yöntemin uygulanmasında karşılan zorluklar, ortaya çıkan maliyetler ve bu yöntemin sağladığı faydalar kıyaslamalı olarak tartışılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen çıktıların özellikle uygulayıcılar için referans oluşturacağı düşünülmektedir.

2. Aktif Kaçak Kontrolü

Dağıtım sistemlerinde arızalar genel olarak yüzeye çıkan (rapor edilen), yüzeye çıkmayan (rapor edilmeyen) ve belirsiz sızıntılar şeklinde sınıflandırılmaktadır (Pearson 2019). Bu tür arızalarla aktif bir şekilde mücadele edilmesi su, enerji ve finansal verimliliğin sağlanması açısından oldukça önemlidir. Ancak ülkemizde birçok su idaresinde ve belediyede genelde sadece rapor edilen arızalarla mücadele politikası uygulanmakta ve yeterli görülmektedir. Ancak sızıntıların önemli bir kısmının (% 80-85 oranında) yüzeye çıkmadığı göz önüne alındığında yüzeye çıkan arızalarla mücadelede oldukça fazla önem arz etmektedir (Boztaş vd. 2019). Bu tür sızıntılarla mücadele genel olarak aktif kaçak kontrolü olarak ifade edilir (Farley vd. 2008; Yılmaz 2021). Aktif kaçak kontrolü metodolojisinde temel amaç, yüzeye çıkmayan şebeke ve/veya servis bağlantı arızalarının/sızıntılarının farkına varılması, önlenmesi sızıntı miktarının belirlenmesi, sızıntı yerinin tespit edilmesi ve yeni arıza oluşumuna anlık fark etmek için sistemin sürekli izlenmesini kapsamaktadır. Bu yöntemin uygulanması ile zemin yüzeyine çıkmayan ve görünmeyen önemli miktardaki sızıntının önlenmesi ve sisteme kazandırılması mümkün olmakta, su ve enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması sağlanmakta, sistemde abonelere sunulan hizmet kalitesi artmakta ve şebeke işletme koşulları iyileştirilmektedir.

Aktif kaçak kontrolü metodolojisinde bahsedilen faydaların elde edilmesi için sahada çalışmaların ve imalatların yapılması gerekir. Bu kapsamda temel olarak, izole bölgelerin planlanması ve sahada uygulanması, giriş debi ve basınç değişiminin düzenli ölçülmesi ve izlenmesi, minimum gece debisi analizinin yapılması ve önlenemez sızıntı miktarının belirlenmesi, akustik ve/veya bölgesel tespit ekipmanlarıyla sızıntı yerinin tespit edilmesi ve onarılması faaliyetleri gerçekleştirilmelidir. Bu nedenle bu çalışmada aktif kaçak kontrolü kapsamında geliştirilen ve uygulanması önerilen süreçler ve analizler Şekil 1'de gösterilmiştir. Aktif kaçak kontrolü tek seferlik bir uygulama olmayıp dinamik süreçleri içermektedir.

Şebeke özellikleri (yaş, uzunluk) ve abone bilgileri (sayı, türü, sayaç yaşı) sürekli değişmekte ve bu da potansiyel kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle Şekil 1’de önerilen faaliyetlerin sürekli ve sistematik bir şekilde uygulanması gerekmektedir.



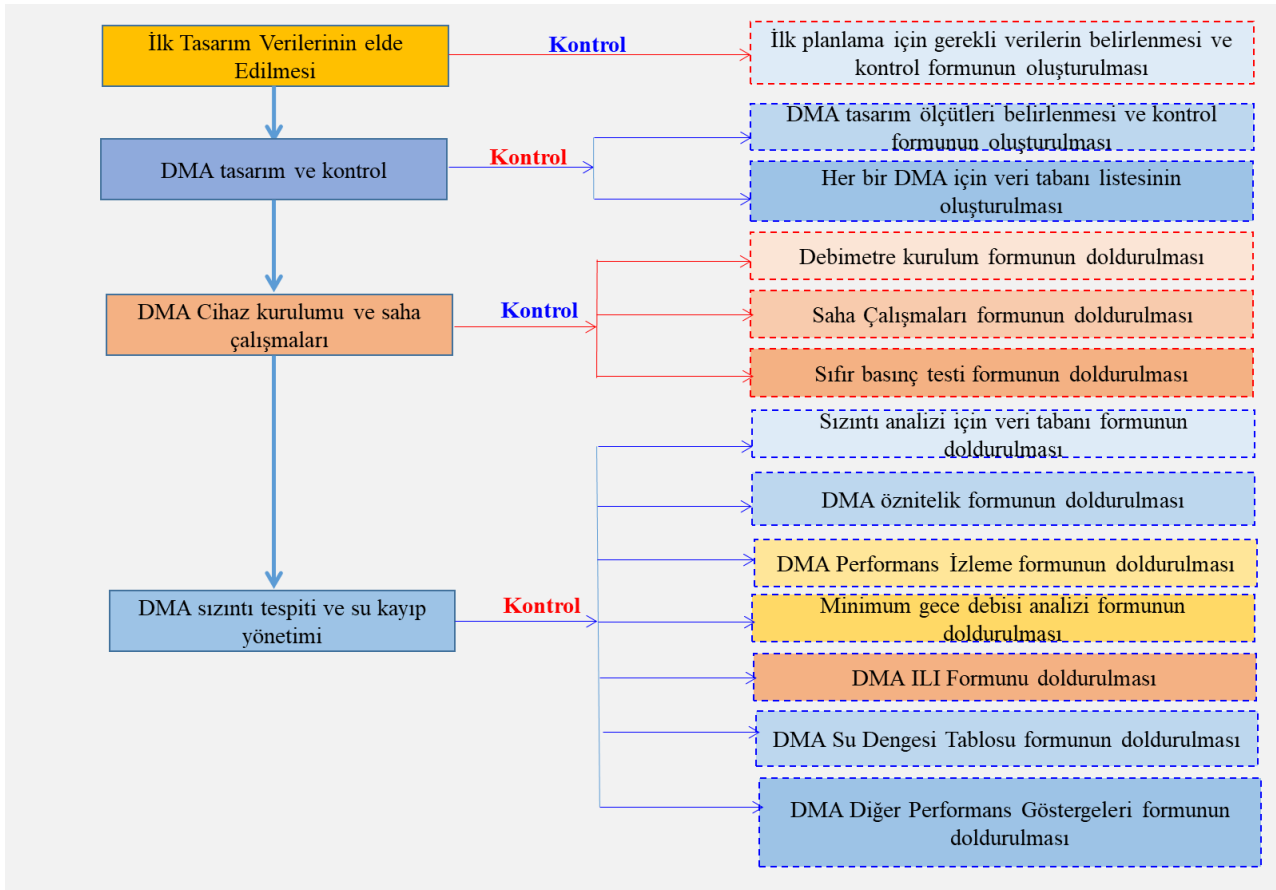
Şekil 1: Aktif kaçak kontrolü yöntemine göre sızıntı ve abone yönetimi süreçleri

İzole bölge tasarımı, aktif kaçak kontrolünün temelini oluşturmaktadır. Gece debisi analizinin yapılabilmesi, su bütçesinin doğru bir şekilde oluşturulabilmesi ve sızıntı yerinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi için öncelikle bölge sınırlarının belirlenmesi ve diğer bölgelerden izole edilmesi gerekir. İzole bölge tasarımında şebeke uzunluğu (genelde 4 km ile 30 km arasında, ortalama 15 km), servis bağlantı sayısı ve/veya abone sayısı (500 ile 3000 arasında), bölgedeki kot farkı, giriş nokta sayısı gibi parametreler dikkate alınır (Gomes vd. 2013). İzole bölgelerin çok fazla büyük planlanması ilk yatırım maliyetini düşürse de şebeke veya abone sayısı fazla olacağından sızıntı yönetimi zorlaşmaktadır. Diğer taraftan bölge küçük planlanırsa sızıntı yönetimi daha kolay olmakla birlikte ilk yatırım maliyeti (saha imalatları ve ekipman) ve işletme maliyeti artmaktadır. Bu nedenle maliyetler ve sızıntı yönetimi gibi faktörler esas alınarak en uygun bölge büyüklüğü belirlenmelidir.

Sınırları belirlenmiş bir izole bölgede yüzeye çıkmayan arızaların farkına varılmasında uygulanan en temel yaklaşım minimum gece debisi analizidir. Bir dağıtım sisteminde veya izole bölgede su dengesi yönteminde sadece toplam kayıplar aylık/yıllık olarak hesaplanmakta ve oranlar belirlenmektedir. Ancak bölgedeki sızıntıların yeri hakkında bilgi sunmamaktadır. Bu nedenle sızıntıların anlık olarak izlenmesi ve yerinin doğru ve hızlı bir şekilde belirlenmesi için daha etkin yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Minimum gece debisi yaklaşımında, gece tüketiminin en düşük olduğu saatlerde (genelde gece 02:00-04:00 arasında) giriş debisi ölçülmekte, gece yasal tüketimler ve belirsiz sızıntılar hesaplanarak giriş debisinden çıkarılmakta ve bölgede potansiyel önlenebilir sızıntı miktarı belirlenmektedir (Choi vd. 2015). Belirlenen bu sızıntı miktarı akustik yöntemlerle sahada belirlenebilecek ve sisteme kazandırılacak sızıntı miktarını temsil etmektedir.

Bu analizlerin yapılabilmesi için izole bölge girişinde giriş debisinin düzenli ölçülmesi, SCADA ile izlenmesi, bölge içindeki abone bilgilerinin (abone türü, sayısı, tüketim özellikleri) bilinmesi, şebeke veri tabanının güncel olması (şebeke uzunluğu, servis bağlantı sayısı, vana bilgileri) gerekmektedir. Ayrıca bu analizlerden beklenen faydanın elde edilmesi için kurumsal deneyim, personel bilgi ve yetenek düzeyi ve ekipman alt yapısının yeterli olması oldukça önemlidir.

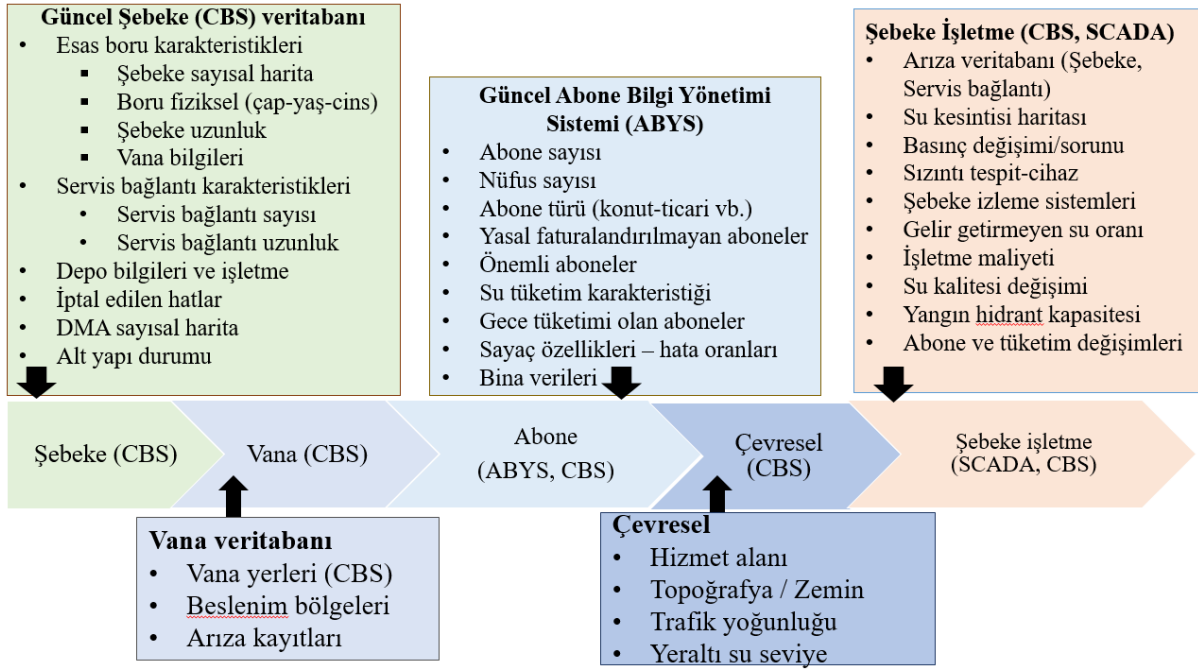
Bir su kanal idaresinde yukarıda bahsedilen faaliyetlerin doğru ve sistematik bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için yol haritasının oluşturulması gerekmektedir. Bu faaliyetler genelde birçok durumda karmaşık ve zaman alıcı süreçler içerdiği için her bir aşamada yapılması gereken çalışmalar iyi bir şekilde planlanmalıdır. Bu kapsamda bir su idaresinde aktif kaçak kontrolü için oluşturulan yol haritası, doldurulması için geliştirilen veriler ve uygulanması gereken süreçler Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: Aktif kaçak kontrolü için yol haritası

Şekilden de görüldüğü gibi, bir dağıtım sisteminde aktif kaçak kontrolü uygulamak için öncelikli olarak temel verilerin toplanması (şebeke, abone), en uygun tasarım ölçütlerinin belirlenmesi, veri tabanlarının oluşturulması ve ekipmanların yerleştirilmesi gibi çalışmaları içermektedir. Ayrıca izole bölgelerde sistemin işletmeye alınmasından önce sıfır basınç testinin yapılması ve SCADA entegrasyonu ile sisteme ait hidrolik parametrelerin izlenmesi gerekmektedir. İzole bölge işletmeye alındıktan sonra çeşitli yöntem ve göstergeler kullanılarak mevcut sızıntı oranlarının hesaplanmalı ve zaman içindeki değişimlerinin izlenmelidir. Bu kapsamda her bir izole bölge için standart su dengesi analizi (aylık/yıllık), minimum gece debisi analizi ve debi-basınç değişiminin izlenmesi (günlük), altyapı kaçak indeksi (ILI) hesaplanması (aylık/yıllık) ve diğer süreç göstergelerinin hesaplanması (yıllık) gerekmektedir.

Aktif kaçak kontrolü yaklaşımında şekilde verilen çalışmaların temelini “sahayı temsil eden ve sistematik bir şekilde ölçülen veriler” oluşturmaktadır. Bu nedenle gerek tasarımı ve planlama gerekse de işletme aşamasında her bir izole bölge için sürekli güncellenmesi gereken veri tabanları Şekil 3’te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, su kayıp yönetiminde kullanılan veri tabanları genel olarak, coğrafi bilgi sistemler (CBS), abone bilgi yönetim sistemi (ABYS), SCADA sistemleridir.



Şekil 3: Aktif kaçak kontrolü çalışmaları için gerekli olan veri tabanları

Şekil 3 incelendiğinde, aktif kaçak kontrolünün uygulanmasında en temel yönetim sistemleri CBS ve SCADA sistemleridir. Dağıtım sistemlerinde verilerin saklanması, izlenmesi, analiz edilmesi ve anlık olarak yönetilmesi için bu veri tabanları ve bilgi yönetim sistemleri önemli faydalar sunmaktadır. Ancak bu sistemlerden beklenen faydanın elde edilebilmesi için veri tabanlarının saha verilerine göre sürekli ve doğru bir şekilde güncellenmesi gerekmektedir. Güncel veri tabanlarının olması, minimum gece debisi analizinin ve sızıntı miktarının daha doğru yapılmasına ve sızıntı yerinin daha hızlı belirlenmesine imkan tanımaktadır.

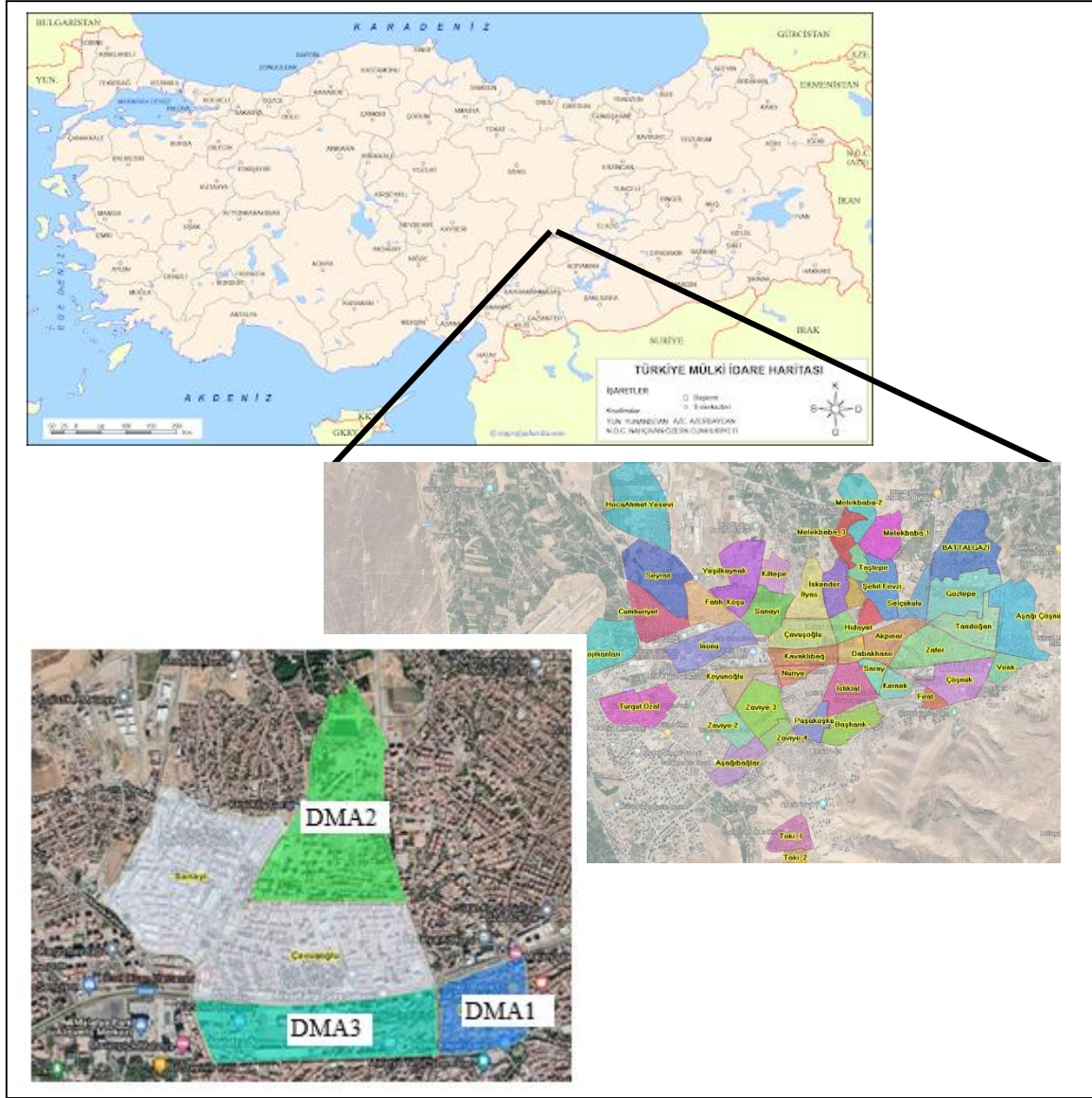
Ülkemizde bazı Su İdarelerinde aktif kaçak kontrolü yöntemi uygulanırken birçok idarede ise sadece rapor edilen arızalarla mücadele programı uygulanmaktadır. Aktif kaçak kontrolünün uygulanmamasındaki temel sebepler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kurum üst yönetiminin farkındalığının olmaması, gerekli önemi ve desteği vermemesi
- Teknik personelin farkındalığının eksik olması, yeterli bilgi ve tecrübenin olmaması
- Süreçlerin uygulanmasında yol haritasının olmaması
- Saha çalışmaları için yeterli ekip ve ekipman olmaması
- İzleme sistemlerinin olmaması veya yetersiz olması, kurulması için yeterli bütçenin olmaması
- Veri tabanlarının sahada güncellenmesi için planlama olmaması, sahayı temsil edecek verilerin olmaması
- Verilerin sahada güncellenmesi için farkındalık, bilgi, tecrübe ve yol haritasının olmaması
- Minimum gece debisi analizi için yeterli teknik, personel ve ekonomik altyapısının olmaması
- Sızıntı yerinin tespiti için personel ve ekipman altyapısının olmaması

3. Aktif Kaçak kontrolü: Saha Uygulamaları

Önceki bölümde detaylı bir şekilde verilen aktif kaçak kontrolü yaklaşımı ve alt süreçleri için saha uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Malatya ili uygulama alanı olarak seçilmiştir. Malatya il merkezinde Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) Genel Müdürlüğü sahasında izole bölgeler planlanmış, pilot izole bölgelerde minimum gece debisi analizleri gerçekleştirilmiş ve sızıntı yerleri akustik yöntemlerle belirlenmiştir. Bu çalışmalar MASKİ Genel Müdürlüğü teknik personeli ile birlikte planlanarak saha personelleri ile uygulanması sağlanmıştır. Malatya il merkezi yaklaşım 2000 km şebeke uzunluğuna sahiptir. Bu kadar büyük ve karmaşık yapıya sahip dağıtım sisteminde sızıntıların sistematik ve doğru bir şekilde yapılması oldukça güç olmaktadır. Bu nedenle aktif kaçak kontrolü süreçlerinin uygulanması ile daha kısa sürede sızıntıların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için oluşturulan izole bölgeler Şekil 4'te gösterilmiştir (MASKİ 2021).

Uygulama alanında planlama yaparken ve çalışmalar gerçekleştirilirken Şekil 2'de verilen işlem adımları dikkate alınmıştır. Her bir işlem adımında gerekli tablolar doldurulmuş, veri tabanları oluşturulmuş ve güncellenmiştir.



Şekil 4: Aktif kaçak kontrolü için pilot izole bölgeler

Uygulama alanında izole bölgeler oluşturulduktan sonra bölgedeki güncel CBS ve SCADA veri tabanları esas alınarak öncelikle debi-basınç değişimleri izlenmiş, minimum gece debileri analiz edilmiş ve potansiyel olarak önlenebilir sızıntı miktarları belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1: Pilot izole bölgelere ait karakteristik bilgiler

Parametreler	DMA 1	DMA 2	DMA 3
Şebeke Uzunluğu (km)	5.91	11.00	7.59
Servis Bağlantı Sayısı (adet)	399	454	523
Abone Sayısı (adet)	3753	2248	3807
Çalışma Başlangıcı Ölçülen Giriş Debisi (l/s) (02:00-04:00arası)	29	44	39
Hesaplanan Gece Yasal Tüketim (l/s)	0.30	1.20	0.35
Hesaplanan Belirsiz Sızıntı (l/s)	0.23	0.44	0.30
Potansiyel Önlenebilir Sızıntı (l/s)	27.09	42.80	37.06

Tabloda yer alan şebeke uzunluğu, izole bölgedeki şebeke uzunluğunu ifade eder. Ayrıca, servis bağlantı sayısı, bölgedeki şebeke ana hata bağlı olan bina bağlantı sayısını ve abone sayısı ise bölgede hizmet verilen konut ve ticari abone sayılarının toplamı şeklinde açıklanabilir.

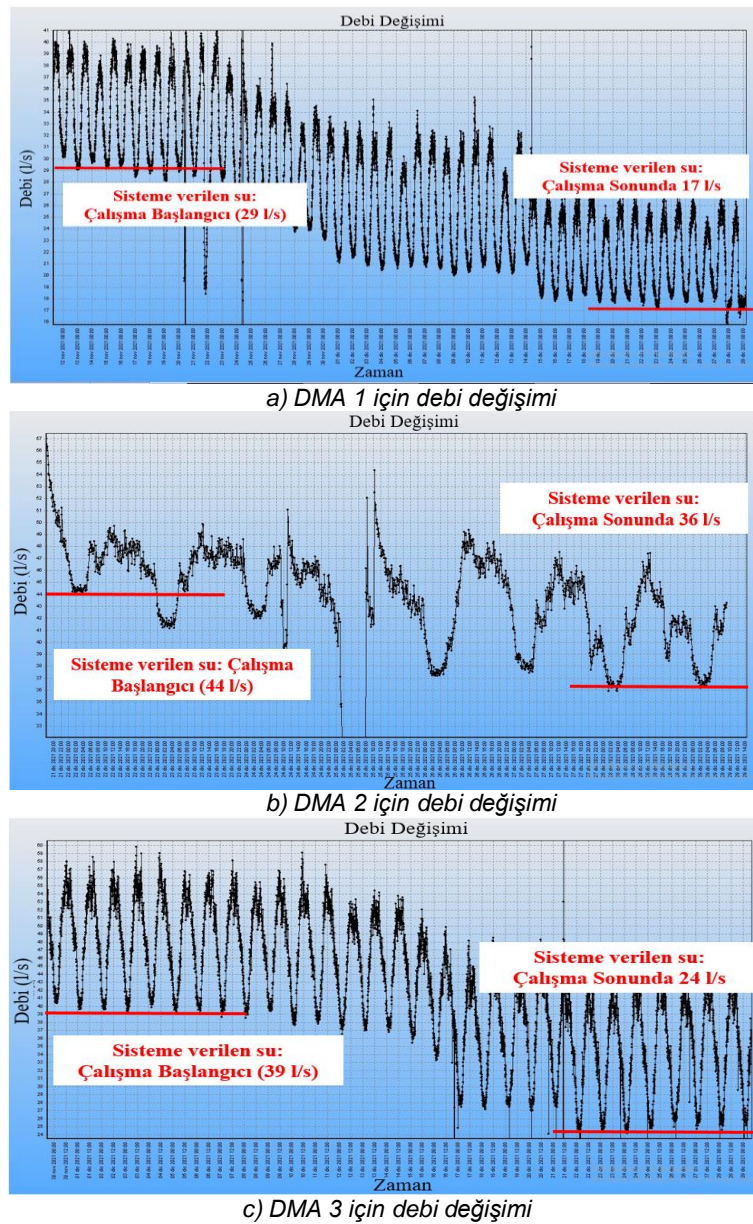
Minimum gece debisi (MNF) analizinde önemli olan hususlardan biri, gece tüketimlerinin en doğru şekilde tespit edilebilmesidir. Bilindiği üzere bir dağıtım sisteminde su tüketimi gece saatlerinde (özellikle 02:00-04:00 arası) minimum seviyeye inmekte ve bu saatlerde sisteme fazla su girişi gözlenirse 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.

Sistemdeki debi-basınç değişiminin izlenmesi için SCADA sistemine entegrasyon sağlanmış ve hidrolik parametrelere ait veriler anlık olarak alınmıştır (Şekil 5).



Şekil 5: İzole bölgelerde scada sisteminde izlenen debi değişimleri (MASKİ 2021)

Çalışma alanında DMA 2 için saha çalışmaları ve SCADA entegrasyonu diğer bölgelerden sonra gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle debi değişim verileri diğer bölgelere göre daha kısa süreli olarak temin edilmiştir. İzole bölgelerde sızıntı tespiti için MASKİ İçme suyu dairesi tarafından oluşturulan bir ekip (sızıntı tespiti için 2 kişi) ile sahada düzenli denetimler yapılmıştır. Denetimler insan hareketliliğinin en az olduğu gece saatlerinde her gün sistematik olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan denetimler yer mikrofonu ekipmanları kullanılarak tahmin edilen arıza noktaları işaretlenmiştir (Şekil 6).



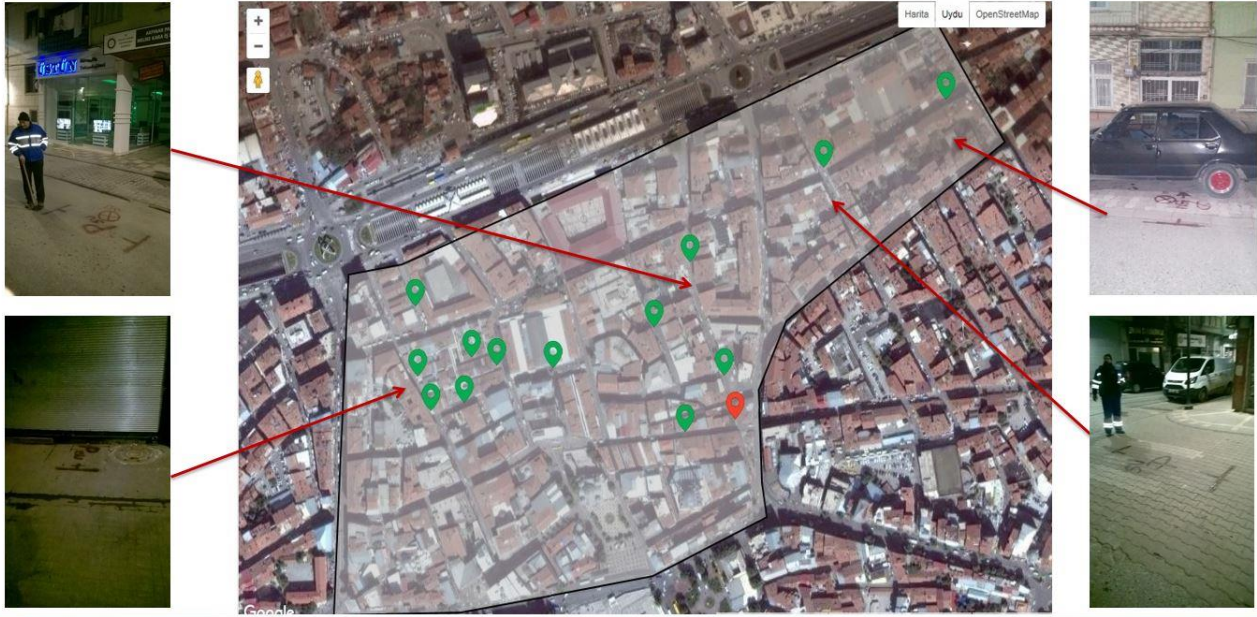
a) Yer mikrofonu



b) Çalışma alanı

Şekil 6: Yer mikrofonu ve çalışma alanı (MASKİ 2021)

İzole bölgelerde Maski tarafından kurulmuş olan sızıntı tespit ekipleri, insan ve trafik hareketinin ciddi oranlarda azaldığı ve ses dinleme kalitesinin de dış etmenlerden en az etkilendiği gece vakitlerinde saha taramalarını yapmaktadır. Tarama işlemleri öncelikle şebeke ana hat borusunun geçtiği güzergah biliniyorsa bu hat hizalanarak yapılmaktadır. Böylelikle öncelikli olarak tespit edilme ihtimali daha fazla olan şebeke arızalarının bulunması hedeflenmektedir. Şebeke ana hat taramalarının tamamlanmasının ardından ekipler abone hatlarında meydana gelmesi muhtemel arızaların tespit edilmesi amacıyla tarama yapılan sokak veya cadde üzerinde alternatif güzergahlarda da dinlemeler yapmaktadırlar. Bu kapsamda tespit edilen arıza noktaları Şekil 7’de sunulmuştur.



Şekil 7: Arıza tespit lokasyonları (MASKİ 2021)

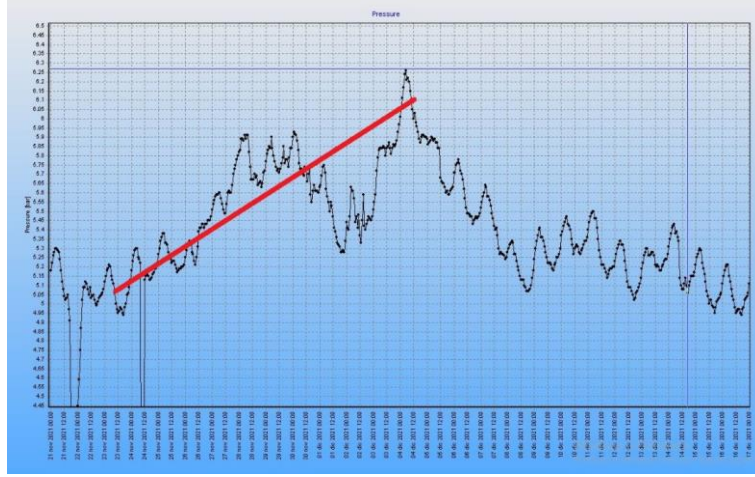
İzole bölgelerde aktif kaçak kontrolü faaliyetleri kapsamında bundan sonraki aşamada, Tablo 1’de verilen potansiyel önlenebilir sızıntıların yerinin sahada belirlenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bunun için yer mikrofoni ekipmanı kullanılarak MASKİ ekiplerince sahada sızıntı lokasyonları için denetimler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda DMA 1 için toplam 21 sızıntı noktası, DMA 2 için 2 sızıntı noktası ve DMA 3 için ise toplam 15 sızıntı noktası belirlenerek onarımları gerçekleştirilmiştir. Her bir izole bölgede sızıntılar onarıldıktan sonra minimum gece debilerindeki değişimler izlenmiştir (Şekil 5). Şekil incelendiğinde DMA 1’de başlangıçta 29 l/s olan debi değeri çalışma sonunda 17 l/s olarak ölçülmüş ve toplamda 12 l/s ‘lik debi sisteme kazandırılmıştır. Ayrıca, DMA 2 bölgesinde başlangıçta 44 l/s olan giriş debisi 36 l/s değerine indirilerek 8 l/s’lik debi sisteme kazandırılmıştır. Benzer şekilde DMA 3 için başlangıçta 39 l/s olan debi 24 l/s değerine düşürülerek 15 l/s kazanım sağlanmıştır. Bölgelerde sızıntı tespit ve onarımları ile elde edilen kazanımlar Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2: Pilot izole bölgelerde tespit edilen sızıntılar ve kazanımlar

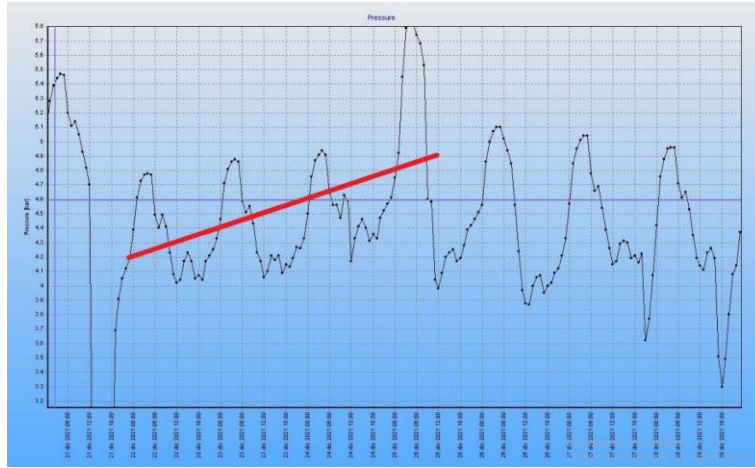
Parametreler	DMA 1	DMA 2	DMA 3
Çalışma Başlangıcı Ölçülen Giriş Debisi (l/s) (02:00-04:00arası)	29	44	39
Çalışma Sonunda Ölçülen Giriş Debisi (l/s) (02:00-04:00arası)	17	36	24
Giriş Debisindeki Azalma (l/s)	12	8	15
Çalışma Başlangıcı Potansiyel Önlenebilir Sızıntı (l/s)	27.09	42.80	37.06
Çalışma Sonunda Potansiyel Önlenebilir Sızıntı (l/s)	15	34	9
Sisteme Kazandırılan Hacim (m ³ /gün)	1050	691	1296
Sisteme Kazandırılan Hacim (m ³ /ay)	31000	20730	38880
Sisteme Kazandırılan Hacim (m ³ /yıl)	373 000	248 760	466 560
Her üç bölgedeki toplam kazanım (m ³ /gün)	3024		
Her üç bölgedeki toplam kazanım (m ³ /ay)	90720		
Her üç bölgedeki toplam kazanım (m ³ /yıl)	1 088 640		

Tablo 2’de verilen ve sahadan doğrudan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, pilot bölgelerde yüzeye çıkmayan arızaların oluşturduğu sızıntılar önemli oranlara ulaşmaktadır. Bölgelerde aktif kaçak kontrolünün uygulanmasıyla başlangıçta yüksek seviyede olan giriş debilerinde azalma olduğu görülmektedir. DMA 1 için çalışmalar sonucunda 12 l/s, DMA 2’de 8 l/s ve DMA 3’te ise 15 l/s giriş debisi azalmış ve toplamda 35 l/s daha az su sisteme verilmiştir. Bu debiler aktif kaçak kontrolü yönteminin uygulanmaması durumunda sızıntı yoluyla zemine karışmaya devam edecektir. Bu bölgelerde yapılan çalışmalar sonucunda günlük sisteme kazandırılan hacim 3023 m³/gün, şeklinde elde edilmiştir. Benzer şekilde aylık ve yıllık kazanımların toplamı ise sırasıyla 90720 m³/ay ve 1088640 m³/yıl şeklinde hesaplanmıştır. Aktif kaçak kontrolünün uygulanmasıyla bu sızıntılar sisteme kazandırılmış olmakta ve başka bölgelerde ihtiyacı karşılamak için kullanılmaktadır.

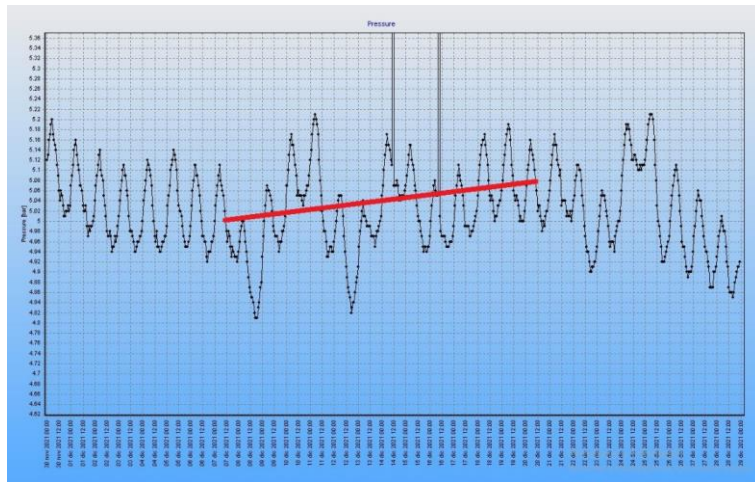
Çalışma yapılan bölgelerde tespit edilen arızaların sahada onarımlarının ardından bölgelerdeki basınç değişimleri de takip edilmiştir. İzole bölgelerde basınç yönetimi içme suyu depoları yardımıyla yapılmakta ve ilave bir basınç yönetim uygulaması (basınç kırıcı vanalar vb.) bulunmamaktadır. Bu nedenle sızıntıların onarımlarının ardından sistemdeki debinin artmasına bağlı olarak basınçlarda ilave artışlar gözlemlenmiştir (Şekil 8). Bu artışların kontrol edilmemesi halinde, şebekelerin de mevcut yaşları ve yıpranma payları göz önüne alındığında yeni arızalara neden olacağı aşikârdır. Bu nedenle aktif kaçak yönetimi yapılan bölgelerde ayrıca basınç yönetiminin uygulanması da gerekli olabilmektedir.



a) DMA 1 için basınç değişimi



b) DMA 2 için basınç değişimi



c) DMA 3 için basınç değişimi

Şekil 8: İzole bölgelerde scada sisteminde izlenen basınç değişimleri (MASKİ 2021)

Ülkemizde projelendirmelerde günlük kişi tüketimin yaklaşık 150 litre/kişi/gün alındığı göz önüne alınırsa sisteme kazandırılan bu sızıntı hacmi yaklaşık 20 000 kişinin günlük ihtiyacını karşılayabilecektir. Sahadan elde edilen verilere göre aktif kaçak kontrolü yüzeye çıkmayan arızaların fark edilmesi, miktarının belirlenmesi, yerinin tespit edilmesi ve onarılması faaliyetlerinin önemli kazanımlar sağladığı tespit edilmiştir. Ancak önceki bölümlerde de verildiği gibi aktif kaçak kontrolü zaman alıcı ve maliyetli süreçler içerdiği için idarelerde yeterli deneyimin olması, personel-bilgi-tecrübe ve teknik altyapının yeterli olması ve süreçler için yol haritasının olması gibi temel koşulların sağlanması gerekir. Ayrıca, saha ölçümlerinin doğru ve sistematik yapılmalı, veri tabanları güncel olmalı ve izleme sistemleri (CBS, SCADA) uygulanabilir durumda olmalıdır. Bu çalışmada sunulan bilgilerin, veri tabanların, yol haritalarının, sahadan elde edilen sonuçların ve kazanımların teknik personeller ve uygulayıcılar için önemli referans oluşturacağı düşünülmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada içme suyu dağıtım sistemlerinde meydana gelen yüzeye çıkmayan arızaların yönetilmesi ve azaltılmasında aktif kaçak kontrolü metodolojisi önerilmiş ve sahada uygulanarak sonuçlar tartışılmıştır. Bu kapsamda aktif kaçak kontrolünün sahada uygulanabilir bir yapıda olması için yol haritası oluşturulmuştur. Daha sonra her bir adımda doldurulması gereken veriler belirlenmiştir. Ayrıca bir idarede bu metodolojinin uygulanması ve sistemin işletmeye alınması için çeşitli veri tabanları geliştirilmiş ve önerilmiştir. Daha sonra Malatya merkez dağıtım sistemi için pilot bölgelerde uygulama gerçekleştirilmiştir. Sahada yapılan çalışmalarda 3 pilot izole bölgede minimum gece debileri izlenmiş, potansiyel önenebilir sızıntılar hesaplanmış ve akustik yöntemlerle yeri belirlenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda 3 pilot bölgede toplam 38 adet yüzeye çıkmayan sızıntı noktası belirlenmiş ve onarılmıştır. Bunun sonucunda 3 bölgede toplamda 35 l/s gibi önemli bir oranda daha az debi sisteme verilmiştir. Yani 3 bölgede toplamda 35 l/s 'lik debi sisteme kazandırılmıştır. Bu orandaki debinin azaltılmasıyla günlük, aylık ve yıllık sisteme kazandırılan hacimler sırasıyla 3023 m³/gün, 90720 m³/ay ve 1088640 m³/yıl şeklinde elde edilmiştir. Böylece aktif kaçak kontrolünün uygulanması önemli oranda su verimliliği sağlanmaktadır. Özellikle terfil sistemlerde bu kadar büyük hacimlerin önlenmesi ile enerji tüketimleri de azaltılmış olacaktır. Sonuç olarak bu çalışmadan elde edilen çıktıların özellikle uygulayıcılar için önemli referans oluşturacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (İÜ BAP-FBA 2021-2457) tarafından desteklenmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür etmektedir. Ayrıca veri ve teknik desteklerinden dolayı Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) Genel Müdürlüğüne 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), 48, doi: 10.3390/w11010048.
- Azevedo B.B., Saurin T.A., (2018), *Losses in Water Distribution Systems: A Complexity Theory Perspective*. Water Resources Management, 32, 2919–2936.
- Boztaş F., Ödemir Ö., Durmuşçelebi F.M., Fırat 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, 4393–4406.
- 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.
- Choi T., Mijin H., Jinkeun K., Jayong K., (2015), *Efficient Minimum Night Flow Analysis Using Bayesian Inference*, Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, 64(1), 10-18..
- Eggimann S., Lena M., Omar W., Mariane Y.S., Dorothee S., Matthew M.D.V., Philipp B., Max M., (2017), *The Potential of Knowing More: A Review of Data-Driven Urban Water Management*, Environmental Science and Technology, 51(5), 2538–2553.
- Eugene M., (2017), *Predictive Leakage Estimation Using the Cumulative Minimum Night Flow Approach*, American Journal of Water Resources, 5(1), 1-4, doi: 10.12691/ajwr-5-1-1.
- Farley M.G., Wyeth Z.B.M., Ghazali A., Sigh S., (2008), *The Manager's Non-Revenue Water Handbook. A Guide to Understanding Water Losses*, Ranhill Utilities Bernhad and USAID, Malaysia, ss.98.
- Farah, E., Isam S., (2017), *Leakage Detection Using Smart Water System: Combination of Water Balance and Automated Minimum Night Flow*, Water Resources Management, 31, 4821–4833.
- Fırat M., Orhan C., Yılmaz S., (2021a), *Su İdarelerinin Su Kayıp Yönetim Performansının Analizi ve Temel Performans Göstergesi Hesaplama Aracının Geliştirilmesi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(1), 75-88.
- Fırat M., Yılmaz S., Ateş A., Özdemir Ö., (2021b), *Determination of Economic Leakage Level with Optimization Algorithm in Water Distribution Systems*, Water Economics and Policy, 7(3), 2150014, doi: 10.1142/S2382624X21500144.
- García V.J., Cabrera E., Enrique Cabrera J. (2006), *The Minimum Night Flow Method Revisited*, In 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, ASCE, Cincinnati, Ohio, USA, ss.1-18, doi: 10.1061/40941(247)35.
- Gomes R., Alfeu S.A., Joaquim S., (2013), *District Metered Areas Design Under Different Decision Makers' Options: Cost Analysis*, Water Resources Management, 27(13), 4527–4543.

- Gupta A., Kulat K.D., (2018), *A Selective Literature Review on Leak Management Techniques for Water Distribution System*, Water Resources Management, 32 (10), 3247–3269.
- Güngör M., Yazar U., Cantürk Ü., Fırat, 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, doi: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000367.
- Jadhao R.D., Gupta R., (2018), *Calibration of Water Distribution Network of the Ramnagar Zone in Nagpur City Using Online Pressure and Flow Data*, Applied Water Science, 8, 29, doi: 10.1007/s13201-018-0672-3.
- 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.
- Lima, G.M., Brentan, B.M., Luvizotto Jr., E., (2018), *Optimal Design of Water Supply Networks Using an Energy Recovery Approach*, Renewable Energy, 117, 404-413.
- 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.
- MASKİ, (2021), *İçme suyu dairesi yıllık işletme raporu*, Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Malatya.
- Mutikanga H., Sharma S., Vairavamoorthy K., Cabrera E., (2010), *Using Performance Indicators as a Water Loss Management Tool in Developing Countries*, Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua, 59(8), 471-481.
- Pearson D., (2019), *Standard Definitions for Water Losses: A Compendium of Terms and Acronyms and Their Associated Definition in Common use in the Field of Water Loss Management*, IWA Publishing, London, UK, ss.80.
- Roshani E., Filion Y., (2014), *WDS Leakage Management through Pressure Control and Pipes Rehabilitation Using an Optimization Approach*, Procedia Engineering, 89, 21–28.
- Yılmaz S., Fırat M., Ateş A., Özdemir Ö., (2021), *Analysis of Economic Leakage Level and Infrastructure Leakage Index Indicator by Applying Active Leakage Control*, ASCE's Journal of Pipeline Systems - Engineering and Practice, 12(4), 04021046, doi: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000583.