

Araştırma Makalesi - Research Article

Kentsel Su Yönetiminde Basınç Kontrolü İçin Fayda Maliyet Analizi Hesaplama Aracının Geliştirilmesi

Development of Cost-Benefit Analysis Calculation Tool for Pressure Control in Urban Water Management

Salih Yılmaz¹, Mahmut Fırat^{2*}

Geliş / Received: 17/09/2021

Revize / Revised: 22/01/2022

Kabul / Accepted: 10/02/2022

ÖZ

Kentsel su yönetiminde arıza yoğunluğuna bağlı olarak işletme koşulları bozulmaktadır. Arızaların oluşmasında en önemli faktör sistemdeki yüksek basınç ve basınçtaki düzensizliktir. Bu nedenle yeni arıza oluşumunun azaltılması için basıncın kontrol altına alınması ve dalgalanmaların azaltılması gerekmektedir. Ancak basınç kontrolü oldukça kapsamlı saha çalışması gerektiren, maliyetli bir süreçtir. Bu nedenle basınç yönetimi uygulanmadan önce oluşacak maliyetler (ekipman, saha çalışmaları, kurulum) ve faydalar (sisteme kazandırılacak potansiyel su hacmi, arızadaki potansiyel azalmalar) analiz edilmelidir. Bu çalışmada bir izole bölgede basınç yönetimi uygulanması durumunda ortaya çıkan maliyetlerin ve faydaların analiz edilmesi için hesaplama aracının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla saha verilerine göre maliyet bileşenleri tanımlanmıştır. Ayrıca literatürde önerilen yaklaşımlar esas alınarak basınç kontrolüne bağlı olarak sızıntı ve arıza oranındaki azalmalar analiz edilmektedir. Bu fayda ve maliyet bileşenleri geliştirilen hesaplama aracına tanımlanmıştır. Geliştirilen bu hesaplama aracının özellikle uygulayıcılar için referans teşkil edeceği düşünülmektedir. Bu hesaplama aracında izole bölge çalışmaları için de fayda maliyet bileşenleri tanımlanmıştır.

Anahtar Kelimeler- Kentsel Su Yönetimi, Basınç Kontrolü, Fayda Maliyet Analizi, Hesaplama Aracı

ABSTRACT

Operating conditions deteriorate depending on the density of failures in urban water management. The most important factor in the occurrence of failures is the high pressure in the system and the fluctuation in the pressure. Therefore, it is necessary to control the pressure and reduce the fluctuations in order to reduce the occurrence of new faults. However, pressure control is a costly process that requires extensive fieldwork. Therefore, before applying pressure management, the costs (equipment, field works, and installation) and benefits (potential water volume to be added to the system, potential reductions in failure) should be considered. The aim of this study is to develop a calculation tool to analyse the costs and benefits of applying pressure management in an isolated zone. For this purpose, cost components were defined according to field data. In addition, based on the approaches suggested in the literature, reductions in leakage and failure rates due to pressure control are determined. These fault and cost components are defined in the developed calculation tool. It is thought that this developed calculation tool will be a reference especially for practitioners. In this calculation tool, cost-benefit components are also defined for isolated site studies.

Keywords- Urban Water Management, Pressure Control, Cost-Benefit Analysis, Calculation Tool

¹İletişim: salihymz@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-3206-1225>)

Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi, Malatya, Türkiye

^{2*}Sorumlu yazar iletişim: mahmut.firat@inonu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-8010-9289>)

İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

I. GİRİŞ

İçme suyu dağıtım sistemlerinde çevresel, fiziksel, hidrolik ve işletme faktörlerine bağlı olarak farklı seviyelerde arıza ve sızıntılar gözlenmektedir. Bu arızalar şebekenin işletme koşullarını bozmakta, maliyetlerin artmasına neden olmakta ve sistemin yönetilemez hale gelmesine neden olmaktadır. Dağıtım sistemlerinde bölgenin topoğrafik koşullarına ve deponun yerleşim durumuna göre sistem basıncı yüksek seviyelerde olmakta veya abonelerin tüketim karakteristiğine bağlı olarak gün içinde önemli dalgalanmalar gözlenmektedir. Şebekede gözlenen rapor edilen veya edilmeyen arızaların oluşmasında ve mevcut arızalarda, birim zamanda kaybolan sızıntı hacminin artmasında sistem işletme basıncının etkili olduğu birçok araştırmada vurgulanmıştır [1, 2]. Doğrudan ölçümlere dayanarak farklı çapta borular ve koşullar için kayıp oranı ve basınç arasındaki ilişkiyi tanımlayan Fixed and Varied Area Discharge (FAVAD) denklemi önerilmiştir [3]. Ayrıca, standart arıza frekansları ve arka plan sızıntıları için debi oranlarını hesaplayan bir yöntem olan Background and Bursts Estimates (BABE) yaklaşımı geliştirilmiştir [4]. BABE ve FAVAD yöntemleri birleştirilerek dağıtım sistemlerinde (ana hat, servis bağlantı ve özel mülkteki servis bağlantılarında) yıllık kaçınılmaz kayıpları (UARL) hesaplayan yöntem önerilmiştir [1,5]. Basıncın düzenlenmesi ve gece-gündüz basınç dalgalanmasının azaltılması için uygulanan basınç kontrol yönetimi, mevcut arızalarda sızıntı hacminin azalması, yeni arıza ve sızıntı oluşma riskinin azalması, işletme maliyetinin ve birim zamanda tüketilen su hacminin azalması ve borunun ekonomik ömrünün uzaması, şebeke yenilemenin ertelenmesine bağlı olarak ilk yatırım maliyetinin azalması gibi önemli katkılar sunmaktadır [6–8]. Basınç yönetiminin uygulanması ile fiziki kayıpların azalacağı ve buna bağlı olarak su üretim ve iletim maliyetlerinin doğrudan düşeceği vurgulanmıştır. Diğer taraftan basınç yönetiminin su tüketiminin azalmasındaki etkisinin oldukça düşük seviyede olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, basınç yönetiminin diğer önemli bir faydasının, arıza frekansının azalması ve buna bağlı olarak sızıntı hacminin azalması şeklinde olduğu ifade edilmiştir [9]. Benzer şekilde yapılan araştırmada, içme suyu dağıtım şebekelerinde basınç yönetiminin faydaları araştırılmış, basınç yönetimi yapılırken öncelikle şebekede basınç bölgelerinin oluşturulması gerektiği, ardından uygun basınç kırıcı vanaların seçilmesi gerektiği belirtilmiştir [10]. Literatürde yapılan diğer bir çalışmada, sızıntıların azaltılmasının tüm su idarelerin ortak hedefi olduğunu ve seçilecek stratejilerde ekonomik analizlerin yapılmış olması gerektiği ortaya konulmuştur [11]. Pilot bölgede basınç müdahalelerinin faydaları ve maliyetleri analiz edilmiş ve basınç yönetiminin en etkili kayıp azaltma yöntemi olduğunu fakat yapılacak çalışmalarda yine de ekonomik analiz yapılması gerektiği vurgulanmıştır [11].

Sızıntıların azaltılması için aktif basınç kontrolü uygulanmış ve ekonomik sonuçları incelenmiştir. Konvansiyonel basınç kırıcılar ile uzaktan gerçek zamanlı kontrol edilen basınç kırıcılar kullanılarak şebekede uygulanmış ve sonuçları araştırılmıştır. Sızıntı seviyesi ile bakım ve işletim maliyetlerinin düşük olduğu bölgelerde aktif basınç kontrolüne ihtiyaç duyulmadığı, karmaşık ve büyük sistemlerde uzaktan kontrollü basınç kırıcıların kullanılmasının uygun olduğu ortaya konulmuştur [12]. Diğer bir çalışmada, basınç yönetiminin su kayıp azaltma yöntemleri içerisindeki en iyi uygulamalardan biri olduğu ortaya konulmuştur. Basınç kırıcı vanalar kullanılarak oluşturulan izole bölgelerde kayıp oranlarının %37'e kadar azaltılabildiği görülmüştür. Bu nedenle su yönetiminde ilk olarak basınç yönetimi uygulamasının ekonomik faydalarının ve maliyetlerinin analiz edilmesi tavsiye edilmiştir [13]. Sızıntıların önlenmesi ve azaltılması amacıyla gerçek zamanlı basınç kontrol sistemi önerilmiş ve saha deneyleri sonucunda gerçek zamanlı basınç kontrolünün minimum gece debisinin azaltılmasında, basınç dalgalanmalarının en aza indirilmesinde ve basıncın düzenlenmesinde önemli kazanımların elde edildiğini vurgulanmıştır [14,15]. Su yönetiminde karar vericileri ilgi yatırımın gerçekleşmesine ikna etmek amacıyla, çalışma faydalarının önceden ortaya konulması gerektiği vurgulanmıştır. Diğer taraftan, basınç kontrol yönetiminin faydalarının yanı sıra, oda yapımı, cihaz ve ekipman seçimi-yerleştirilmesi ve verilerin izlenmesi için otomasyon sistemi gibi bileşenler önemli maliyetler oluşturmaktadır [16]. Bu nedenle bir sistemde basınç kontrol yönetimi uygulanmadan önce aşağıdaki soruların cevaplanması, ekonomik anlamda sistem verimliliği için oldukça önemlidir [17, 18]; (i) Basınç yönetimi gerekli mi? Uygulanabilir mi? Beklenen faydalar nelerdir? Teknik ve teknolojik alt yapı yeterli mi? (ii) Şebeke davranışı, abone su talep karakteristiği hakkında bilgi var mı? Olumsuz etkilenecek aboneler var mı? Hidrolik modelde simülasyon yapıldı mı? (iii) Maliyet bileşenleri, cihaz temin, kurulum, işçilik ve saha çalışmalarının maliyetleri belirlendi mi? Fayda maliyet analizi yapıldı mı?

Bu nedenle bu çalışmada içme suyu dağıtım sistemlerinde basınç kontrolü ve yönetimi uygulamaları için fayda maliyet analizi hesaplama aracı geliştirilmiştir. Bu hesaplama aracı izole bölgelerde basınç yönetimi uygulanmadan önce maliyetlerin hesaplanmasına ve potansiyel faydaların analiz edilmesine imkan tanımaktadır. Hesaplama aracının geliştirilmesinde literatürde önerilen yöntemler ve saha çalışmaları dikkate alınmıştır. Bunun için öncelikle maliyet oluşturan bileşenler belirlenmiş ve bunların sayısal hesaplamaları yapılmıştır. Daha sonra basınç yönetimi uygulanmasına bağlı olarak arıza ve sızıntıda meydana gelebilecek faydalar ortaya konulmuştur.

Böylece geliştirilen bu hesaplama aracında izole bir bölgede basınç yönetimi uygulanması durumunda ortaya çıkan maliyetler ve faydalar için saha verileri esas alınarak bileşenler tanımlanmıştır. Hesaplama aracında tanımlanan bu bileşenler esas alınarak herhangi bir izole bölgede basınç yönetimi için fayda ve maliyetler analiz edilmektedir. Hesaplama aracında veri girişi ekranında kullanıcı tarafından şebeke özellikleri sisteme girilerek maliyet analizi otomatik olarak yapılmaktadır. Geliştirilen bu hesaplama aracının belediyeler ve su idarelerindeki uygulayıcılar için referans oluşturacağı ve önemli kazanımlar sağlayacağı düşünülmektedir.

II. SU KAYIPLARI

Dağıtım sistemlerine verilen suyun belli bir kısmı yasal kayıtlı abonelere iletilmekte ve bunlar faturalandırılmış yasal kullanımları oluşturmaktadır. Ancak sistem giriş hacminin belli bir kısmı ise, şebeke ve elemanlarında meydana gelen arızalardan dolayı abonelere iletilmeden zemine sızmaktadır [19], [20]. Ayrıca, sistemde sayaç hatalarından ve kaçak kullanımlardan kaynaklanan kullanımlar sonucunda idari kayıplar gözlenmektedir. Son olarak sistemde park-bahçe ve cami gibi yasal ancak faturalandırılmayan kullanımlar da meydana gelmektedir. Özetle dağıtım sistemine verilen suyun belli bir kısmı gelir getiren suyu oluştururken (faturalandırılmış yasal kullanımlar), geri kalan kısmı ise (idari kayıplar, sızıntılar (fiziki kayıplar), faturalandırılmamış yasal kullanımlar) gelir getirmeyen su olarak ifade edilmektedir [2,19,20]. Ülkemizde 2014 yılında yayınlanan “Su kayıplarını Kontrolü ve Önleme Yönetmeliği” ile su idareleri ve belediyeler yıllık olarak kayıp oranlarını Uluslararası Su Birliği (IWA) tarafından önerilen standart su dengesini esas alarak raporlamakta ve yayınlamaktadır. Bu tabloda ana bileşenler kıyaslandığında genel olarak sızıntı hacmi ve oranı diğerlerine göre oldukça yüksek seviyededir. Sızıntı hacminin yüksek olması, arıza oranının yüksek olduğu ve buna bağlı olarak işletme maliyetinin fazla olduğu anlamı taşımaktadır. Özellikle su kaynağı sorunu yaşayan ve su üretiminde enerji kullanan idarelerde sızıntı hacminin fazla olması kaynak verimsizliğine neden olmaktadır. Bu sistemlerde talebin karşılanması için yeni kaynak arayışına gidilmekte, sisteme daha fazla su verilmekte ve enerji tüketimleri ve maliyetleri artmaktadır. Bu nedenle bu olumsuz etkilerin azaltılması için sistemin mevcut durumu, arıza ve sızıntı oranları ve bunları etkileyen faktörler göz önüne alınarak, uygulanabilirlik, ekonomik ve uygunluk ölçütlerine göre en uygun yöntemin uygulanması gerekir. Su kayıp yönetimi yöntemlerine karar verilirken, saha imalatları, ekipman maliyetleri, işçilik gibi maliyetler oluşturacağı için detaylı analiz yapılmalıdır.

Dağıtım sistemlerinde yeni sızıntıların oluşmasında şebeke özellikleri, işletme ve çevresel faktörler etkilidir [2]. Sızıntıların azaltılmasında bu faktörlerin kontrol altına alınması ve yönetilmesi oldukça önemlidir. Basıncın düzenlenmesi ve basınç dalgalanmasının azaltılması için uygulanan basınç kontrolünün mevcut arızalarda sızıntı hacminin ve yeni arıza oluşma riskinin azalması ve borunun ekonomik ömrünün uzaması gibi önemli katkılar sunmaktadır [5,12,21]. Doğrudan ölçümlere dayanarak farklı çapta borular ve koşullar için sızıntı ve basınç arasındaki ilişkiyi tanımlayan FAVAD yöntemini (Denklemler (1)) önerilmiştir [3]. Pratik uygulamalar için FAVAD teorisinde, basınç ve sızıntı arasındaki ilişki N_1 katsayısı ile tanımlanmıştır [3,22]. Basınç sızıntı ilişkisindeki denklem esas alınarak, arıza frekansındaki değişim basınç ve N_2 katsayısına göre ifade edilmiştir. Bu denklemde, N_1 'e benzer bir üs kullanılmakta ve yeni arızaları tahmin etmek için N_2 önerilmiştir [23].

$$L_0/L_1 = (P_0/P_1)^{N_1} \quad (1)$$

$$B_0/B_1 = (P_0/P_1)^{N_2} \quad (2)$$

B_0 ve B_1 sırasıyla P_0 ve P_1 basınç seviyelerindeki arıza oranını ifade etmektedir. L_0 ve L_1 sırasıyla P_0 ve P_1 basınç seviyelerindeki sızıntıları temsil etmektedir, P_0 başlangıçta bölgedeki ortalama basıncı ve P_1 bölgede düzenlenmiş ortalama basıncı ifade etmektedir. Diğer taraftan N_1 katsayısı, sızıntı katsayısıdır (sabit alan sızıntıları için $N_1 = 0.5$, değişken alan sızıntıları için, $N_1 = 1.5$, büyük sistemlerde veya boru malzemesinin karışık olduğu şebekelerde $N_1 = 1.0$) [21]. Şekil 1’de verilen referans grafik FAVAD denkleminde göre farklı sızıntı katsayıları (N_1) için basınç değişimi ile sızıntı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Böylelikle farklı boru cinslerine sahip şebekede meydana gelen basınç değişimlerinin sızıntılar üzerindeki etkisi belirlenmektedir. Basınç-sızıntı analizi için öncelikle sistemin ağırlıklı ortalama gece basıncının ölçülmesi ve sistemde basınç değişim sınırlarının tanımlanması gerekir.

III. BASINÇ KONTROL YÖNETİMİNİN MALİYET ANALİZİ İÇİN HESAPLAMA ARACININ GELİŞTİRİLMESİ

Dağıtım sistemlerinde sızıntıların azaltılması ve yönetilmesi amacıyla, izole bölgelerin oluşturulması, arıza onarım hızı ve kalitesinin iyileştirilmesi, basınç kontrolü ve boru malzemesi yönetimi gibi birçok yöntemin önerildiği görülmektedir [2]. Bu yöntemlerin uygulanması durumuna göre sızıntı hacimlerinde azalma meydana gelmektedir. Ancak bu yöntemlerin planlama ve saha uygulamaları çeşitli gereksinimlere ihtiyaç duymakta ve farklı seviyelerde maliyetler oluşturmaktadır. Yeni arıza ve sızıntı oluşumunda önemli bir etkiye sahip olan işletme basıncı, bölgedeki su tüketim karakteristiği, tasarım ölçütleri ve arıza yoğunluğuna bağlı olarak farklı seviyelerde olmakta ve dalgalanmalara sahip olmaktadır. Bu tür dalgalanmaların azaltılması ve kontrol altına alınması için basınç kontrol yönetimi yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Ancak uzun vadeli su, enerji ve ekonomik verimliliğinin sağlanması ve sürdürülebilir bir yönetim planının tanımlanması için bu yöntemler uygulanmadan önce maliyet bileşenleri ve faydalar analiz edilmelidir. Bu analizlerin doğru ve sistematik yapılabilmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada içme suyu dağıtım sistemlerinde basınç kontrol yönetimi uygulamaları için fayda maliyet analizi gerçekleştirilen ve karar vericiler için referans bilgi üreten hesaplama aracı geliştirilmiştir. Bu hesaplama aracında saha çalışmaları ve uygulamaları (Kayseri KASKİ ve Malatya MASKİ saha uygulamaları) esas alınarak maliyet bileşenleri ve değerleri tanımlanmıştır. Sınırları tanımlanmış bir izole bölgede basınç kontrolünün uygulanması önemli avantajlar sağlamaktadır. Hesaplama aracında kullanıcılar tarafından öncelikli olarak temel verilerin girilmesi gerekmektedir (Şekil 1) [24]. Bu nedenle geliştirilen hesaplama aracında izole bölge oluşturma faaliyetleri için maliyet bileşenleri analiz edilmektedir. İzole bölge analizleri basınç yönetimi analizleri ile bütünleşik çalışmaktadır [24].

Değişken Adı	Açıklama	Değer	Birim
Ölçülen Minimum Gece Debisi	MNF analiz #55 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	l/s
Ortalama Sistem Basıncı (P ilk)	MNF analiz #21 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	m
Şebeke Anahat Uzunluğu (Lm)	ILI analiz #9 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	km
Bölgede Kaydedilen Yıllık Şebeke Arıza Sayısı	PI analiz #34 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	adet
Fiziksel Kayıp Miktarı	Su dengesi hesaplanmış ise 'Fiziki Kayıplar (m3)' değeri alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	m3
Yıllık Kaçınılmayan Fiziki Kayıp Hacmi (UARL)	ILI analizinde hesaplanan UARL değeri alınmalıdır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	l/gün
Bölgede Kaydedilen Yıllık Abone Arıza Sayısı	PI analiz #35 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	adet
Birim Su Üretim Maliyeti	PI analiz #45 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	TL/m3
Bölgede kaydedilen Yıllık Toplam Rapor Edilen Arıza Sayısı	PI analiz #36 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	adet
Toplam Abone Sayısı	ILI analiz #4 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	adet
Faturalandırılmış Ölçülmüş Yasal Tüketim	Su dengesi hesaplanmış ise 'Faturalandırılmış Ölçülmüş Yasal Tüketim (m3)' değeri alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	m3
Suyun Birim m3 için Satış Bedeli	PI analiz #56 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	TL / m3

Şekil 1. Ekonomik analiz hesaplama aracı veri giriş ekranı

Şekil 1'deki veri giriş ekranında girilmesi gereken en temel veri bölgedeki ortalama işletme basıncıdır. Bu parametrede doğrudan sahada ölçülen ve düzenli tutulan verileri içermektedir. Diğer girilmesi gereken değişken, şebeke ana hat uzunluğu olup izole bölgede coğrafi bilgi sistemler ile belirlenmektedir. İzole bölge tasarımında dikkate alınan en temel parametre olan hat uzunluğunun fazla olması, sistemin kontrolünü zorlaştırmaktadır. Bir dağıtım sisteminde arızaların belli bir kısmı yüzeye çıkar ve bunlar rapor edilen arızalar olarak ifade edilir. Bu arızaların yönetilmesi için uygulanan yöntem pasif kaçak kontrolü olarak adlandırılır. Bu arızaların belli bir kısmı şebeke ana hat ile bina arasındaki servis bağlantılarında (servis bağlantı arızaları) meydana gelirken, belli bir kısmı da şebeke ana hat üzerinde oluşmaktadır. İzole bölgedeki sızıntı hacmini ifade eden fiziki kayıp hacmi, standart su dengesine ve/veya minimum gece debisi analizine göre belirlenebilmektedir. Dağıtım sistemlerinde maliyet oluşturan en önemli bileşen su üretim maliyetidir. Terfi ve içme suyu arıtma tesislerinin olup olmamasına göre bu maliyetler değişmektedir. Bu maliyetlerin doğru belirlenmesi, sistemde su satış bedelinin doğru bir şekilde analiz edilmesi üzerinde etkilidir. Bir izole bölge veya dağıtım sisteminde mevcut arızalardan birim zamanda kaybolan su miktarının artmasında en önemli faktör sistemdeki yüksek basınç gösterilmektedir. Bu nedenle dağıtım sisteminde sızıntı oranının azaltılması için basınç kontrol yönetimi uygulanmaktadır. Ancak daha önceden de bahsedildiği gibi basınç yönetiminin uygulanabilmesi için izole bölgenin oluşturulması oldukça önemlidir. Bu nedenle önceki bölümde verilen izole bölge tasarımı ve ekonomik analizleri yapılan bir sistemde basınç yönetimi uygulanması durumunda ortaya çıkan maliyetlerin analizi için standart bir yapı oluşturulmuştur. Bu standart yapıda ekonomik analiz için gerekli olan veriler ve analiz bileşenleri tanımlanmıştır. Basınç yönetimi fayda maliyet analizi için hesaplama aracında geliştirilen veri giriş ekranı Şekil 2'de verilmektedir. Bu verilerin girilmesi için sistem tarafından ekonomik analiz yapılmaktadır. Veri giriş ekranı incelendiğinde, basınç yönetimi uygulanacak bölgede mevcut durumda ölçülen debi ve sistem işletme basıncı gibi temel veriler kullanıcı tarafından sisteme tanımlanmalıdır. Ayrıca, bölgede basınç yönetimi uygulanması durumunda oluşacak yeni basınç (minimum basınç değeri) sistem koşulları ve yönetmelik esas alınarak tanımlanır.

Referans Debinin Belirlenmesi	Açıklama	Değer	Birim
Basınç Yönetiminden Önce Ölçülen Debi	MNF analiz #55 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde "Veri Girişi" bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	82.00	l/s
Debi Değişiminin Hesaplanması	Açıklama	Değer	Birim
Ortalama Sistem Basıncı (P ilk)	MNF analiz #21 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde "Veri Girişi" bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	55.00	m
Yeni Sistem Basıncı (P son)	İller bankası yönetmeliğine göre nüfusu 50.000 kişiden fazla olan bölgeler için min. 30, az olan bölgeler için min. 20 mss alınabilir. Şebekenin durumuna göre kullanıcı veriyi girmelidir.	<input type="text" value="25"/>	m

Şekil 2. Basınç yönetimi için temel verilerin ve minimum basınç seviyesinin tanımlanması

Bilindiği üzere basınç ve sızıntı arasındaki ilişkinin tanımlanmasında en yaygın kullanılan denklem FAVAD yaklaşımıdır [3,25]. Bu yaklaşımda basınçtaki değişime bağlı olarak sızıntıda meydana gelen değişim analiz edilmektedir. Bu değişimin analizinde en önemli faktör "sızıntı üs katsayısı olarak ifade edilen N1 katsayısı" gösterilebilir. Bu katsayı boru malzeme türüne göre (sabit alan ve değişken alan sızıntıları) belirlenmektedir [5]. Geliştirilen bu hesaplama aracında N1 katsayısı bölgeye özel olarak hesaplanmaktadır. Bunu sağlamak için kullanıcı tarafından bölgedeki ağırlıklı boru cinsinin sisteme tanımlanması gerekir (Şekil 3). Boru malzeme tipinin seçimine bağlı olarak N1 katsayısı arka planda tanımlanan hesaplama şablonu ile otomatik olarak belirlenmektedir.

N1 Katsayısının Belirlenmesi	Açıklama	Değer	Birim
Şebeke Ağırlıklı Boru Cinsi	Kullanıcı analiz yaptığı şebekede ağırlıklı olarak kullanılan boru cinsini girecektir.	<input type="text" value="PVC"/>	
N1 Katsayısı	Girilen boru cinsine göre N1 katsayısı belirlenmektedir.	1.50	

Şekil 3. Basınç Yönetimi için şebeke ağırlıklı boru cinsinin girilmesi ve sızıntı katsayısının (N₁) hesabı

Yukarıda tanımlandığı şekilde hesaplama aracına veri girişinin yapılması sonucunda, seçilen basınç seviyesine göre basınç yönetiminin uygulanması durumunda oluşan yeni kayıp miktarları Şekil 4'teki gibi

hesaplanmaktadır. Böylece basınç seviyesine bağlı olarak oluşacak muhtemel sızıntı miktarları belirlenmiş olmaktadır.

Yeni Sistem Basıncı (P son)	İller bankası yönetmeliğine göre nüfusu 50.000 kişiden fazla olan bölgeler için min. 30, az olan bölgeler için min. 20 mss alınabilir. Şebekenin durumuna göre kullanıcı veriyi girmelidir.	<input type="text" value="25"/>	m
Basınç Yönetiminden Sonra Ölçülen Debi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	25.13	l/s
Fiziksel Kayıplardaki Azalma Yüzdesi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	69.35	%

Şekil 4. Basınç yönetiminde seçilen basınç seviyesine göre yeni kayıp miktarının hesabı

Bir dağıtım sistemindeki yüksek basınç veya basınçtaki değişim mevcut arızalardaki sızıntı miktarının üzerinde etkili olduğu kadar yeni arıza oluşumunda da etkili olmaktadır. Geliştirilen hesaplama aracında basınç seviyesine bağlı olarak oluşabilecek arızaların belirlenmesi için Şekil 5'te gösterilen hesaplama şablonu oluşturulmuştur.

S Katsayısının Belirlenmesi	Açıklama	Değer	Birim
Şebeke Anahat Uzunluğu (Lm)	IL analiz #9 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	81.00	km
Bölgede Kaydedilen Yıllık Şebeke Arıza Sayısı	PI analiz #34 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	14.00	adet
Referans Arıza Sayısının Belirlenmesi	Arıza sayısı Lambert (2009) çalışmasına göre her 100 km için 13 arızaya denk gelmektedir. Mevcut şebeke uzunluğuna göre yeni referans sayı hesaplanmaktadır.	10.53	adet
S Katsayısının Belirlenmesi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	0.40	
Arıza Değişiminin Hesaplanması	Açıklama	Değer	Birim
Arızadaki (Frekansındaki) Azalma	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	21.58	%
Yeni Yıllık Şebeke Arıza Sayısı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	11.00	adet

Şekil 5. Basınç yönetiminde seçilen basınç seviyesine göre basınç-arıza ilişkisinin tanımlanması

Bu şablonda kullanıcı tarafından şebeke bilgileri, mevcut arıza sayısı tanımlandıktan sonra, yeni basınç seviyesine göre arıza frekansındaki değişimler hesaplanmaktadır. Bu hesaplama için önceki bölümlerde tanımlanan ve FAVAD denkleminde elde edilen yaklaşım esas alınmıştır. Şekil 4'ten de görüldüğü gibi, basınç yönetiminin uygulanması ile arıza sayılarının ve değişimlerinin tahmini değerleri hesaplanmaktadır. Böylece bölgede basınç yönetiminin sağlayacağı fayda ortaya konulmuş olacaktır. Basınç yönetimi ve aktif kaçak kontrolü gibi yöntemlerin uygulanmasında izole bölge tasarımı en temel adım olarak gösterilebilir. İzole bölge, sınırları tanımlanmış, diğer bölgelerden ayrılmış ve bileşenleri kendi içinde değerlendirilen bir sistem olarak tanımlanır [2]. İzole bölgeler ve bileşenleri (şebeke uzunluğu, servis bağlantı sayısı ve abone sayısı) diğer sistemlerden izole edildiği gibi yönetilmesi ve işletilmesi daha kolay olmaktadır [26,27]. İzole bölge tasarımında (şebeke veri güncelleme, izolasyon vana yeri ve sayısı belirleme) ve saha uygulamalarında (sıfır basınç testi ve ekipmanların kurulumu) çeşitli maliyetler oluşmaktadır [24]. Bu bölümde izole ölçülebilir bölge planlama ve uygulamaları için maliyet bileşenleri saha verilerine göre belirlenmiş ve geliştirilen araca tanımlanmıştır (Şekil 6) [24].

Şebeke ve DMA Bilgilerinin Tanımlanması	Açıklama	Değer	Birim
Şebeke Anahat Uzunluğu (Lm)	ILI analiz #9 verisi girilmişse ilgili değer (x1000) katı alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	60,000.00	m
Ortalama DMA Uzunluğu	DMA tasarımında hat uzunluğunun ortalama olarak 15.000 m olabileceği vurgulanmıştır (Farley vd., 2008)	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 15000	m
Gerekli Minimum DMA Sayısı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	4.00	adet
Mevcut DMA Sayısı	Şebekede mevcut DMA olması durumunda girilecektir.	<input type="text" value="0"/>	adet
İhtiyaç olan DMA Sayısı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	4.00	adet
Belirlenmesi Gereken Sınır Vanası Sayısı	Her DMA için 4 adet sınır vanasına ihtiyaç duyulduğu varsayılmıştır.	16.00	adet /1 DMA
İhtiyaç Olan Debimetre Odası Sayısı	Her DMA için 1 adet ihtiyaç duyulduğu varsayılmıştır.	4.00	adet /1 DMA
İhtiyaç Olan Sıfır Basınç Testi Sayısı	Her DMA için 2 adet ihtiyaç duyulduğu varsayılmıştır.	8.00	adet /1 DMA
İzleme, İşletme ve Altyapı Kurulumu	Her DMA için 1 adet ihtiyaç duyulduğu varsayılmıştır.	4.00	adet /1 DMA

Şekil 6. İzole bölge analiz modülünde şebeke ve ÖAB bilgilerinin tanımlanması

Şekil 6'da, izole bölge tasarımında dikkate alınan temel parametreler şebeke ana hat uzunluğu (ortalama olarak 15 km önerilmiştir), servis bağlantı sayısı (500-300 arasında) ve abone sayısı şeklindedir. Şebeke ana hat uzunluğu geliştirilen hesaplama aracında 15 km girilmiş olup kullanıcı çalıştığı bölgedeki uzunluğu girebilmekte ve değiştirebilmektedir. Uygulama alanında daha önceden planlanan izole bölge sahada uygulanıyorsa hesaplama aracına bölge sayısı girilmelidir. İzole bölgelerin oluşturulması ve diğer bölgelerle giriş/çıkışların kontrol altına alınmasında izolasyon vanaları önemli rol oynamaktadır (bu hesaplama aracında standart sayı 4 olarak belirlenmiş olup değiştirilebilir özelliğindedir). Maliyet oluşturan diğer önemli bir parametre ise bölgedeki ölçüm cihazlarıdır (debimetre ve basınçölçer sayısı 1 alınmış olup değiştirilebilir). Bölgenin tam olarak izole edilip edilmediğinin kontrolü için sahada test edilmesi gerekir. Bu amaçla uygulanan yöntem sıfır basınç testidir (bu hesaplama aracında her bir bölge için 2 adet test tanımlanmış olup değiştirilebilir). Tanımlanan bu maliyet bileşenleri dikkate alınarak toplam ve birim izole bölge oluşturma maliyetleri hesaplanmaktadır (Şekil 7) [24].

Maliyetlerin Tanımlanması	Açıklama	Değer	Birim
Sınır Vanası Maliyeti	Söz konusu fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları ve özel piyasa araştırmaları ile hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer ₺ 1850	TL / Adet
Debimetre Odası Maliyeti	Söz konusu fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları ve özel piyasa araştırmaları ile hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer ₺ 70000	TL / Adet
Sıfır Basınç Testi Maliyeti	Söz konusu fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları ve özel piyasa araştırmaları ile hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer ₺ 750	TL / Adet
İzleme, İşletme ve Altyapı Kurulum Maliyeti	Söz konusu fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları ve özel piyasa araştırmaları ile hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer ₺ 25000	TL / Adet

DMA Birim Maliyetin Hesaplanması	Açıklama	Değer	Birim
Maliyetler Toplamı	Belirlenen değerler doğrultusunda DMA kurulumu maliyeti toplamını vermektedir.	415,600.00	TL
Birim DMA Maliyeti	Birim metre başına bir bölge için DMA oluşturulması maliyeti vermektedir.	6.93	TL / m

Şekil 7. İzole bölge analiz modülünde maliyetlerin analizi

İçme suyu dağıtım sistemlerinde uygulanan yöntemlerin verimliliğinin (ekonomik) analiz edilmesi sürdürülebilir şebeke yönetimi için oldukça önemlidir. Görüldüğü gibi geliştirilen bu hesaplama aracında en temel sızıntı önleme yöntemlerinden biri olan basınç yönetimi uygulamaları için fayda maliyet bileşenleri analiz edilmektedir. Böylece bu yöntem uygulanmadan önce teknik personel ve karar vericiler için referans oluşturacak analizler ve raporlar oluşturmak mümkün olmaktadır.

IV. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, izole bölgede basınç kontrol yönetimi ve izole bölge tasarımı için fayda ve maliyet bileşenleri tanımlanarak web tabanlı hesaplama aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen hesaplama aracında basınç yönetiminin uygulanması durumunda arıza sayısı ve sızıntı hacimlerinde meydana gelen değişimler ve elde edilecek faydalar analiz edilebilmektedir. Bölgede şebekenin başlangıç koşullarındaki işletme ve fiziksel verileri dikkate alınarak muhtemel basınç yönetimine göre arıza ve sızıntı oranındaki muhtemel değişimler önceden tahmin edilmektedir. Böylece basınç yönetiminin uygulanması ile ortaya çıkan maliyetlerin, bu yöntemin uygulanması ile elde edilecek faydalarla kıyaslanması mümkün olmaktadır. Geliştirilen hesaplama aracında ayrıca, izole bölge tasarımı için maliyet analizini içeren modül geliştirilmiştir. Basınç yönetiminden beklenen faydanın elde edilmesi ve uygulanabilirliğinin sağlanması için izole bölge tasarımı oldukça önemlidir. Bu nedenle basınç yönetimi analizlerinde izole bölge tasarımı ve uygulama maliyetleri de göz önünde bulundurulmalıdır. İzole bölge tasarım maliyet analiz modülünde şebeke özelliklerine göre sistemde planlanması gereken izole bölge sayısı, izolasyon vana sayısı, sıfır basınç test sayısı hesaplanmaktadır. Ayrıca, birim hat uzunluğu başına izole bölge tasarım maliyetleri ve toplam maliyetler analiz edilmektedir. Geliştirilen bu hesaplama aracının basınç yönetimi uygulamaları için önemli katkılar sunacağı ve uygulayıcılar için referans teşkil edeceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

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

KAYNAKLAR

- [1] Lambert, A. O. & Mckenzie, R. (2001). Econoleak: Economic model for leakage management for water suppliers in South Africa. *African Water Res. Comm.*, 169, 02.
- [2] 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. Washington DC, Development Alternatives Inc (DAI), USA.
- [3] May, J. (1994). Pressure dependent leakage. *World Water and Environmental Engineering*.
- [4] Lambert, A.O. & Morrison, J.A.E (1996). Recent developments in application of 'Bursts and Background Estimates' concepts for leakage management. *J. Int. Water Environ. Manag.*, 100–104.
- [5] Lambert, A.O., Brown, T.G., Takizawa, M. & Weimer, D. (1999). A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *J. Water Supply Res. Technol. - AQUA*, 48(6), 227–237.
- [6] Fanner, P., Thornton, J., Liemberger, R. & Sturm, R. (2007). Evaluating water loss and planning loss reduction strategies. *Awwa Research Foundation*.
- [7] Fanner, P. & Lambert, A.O. (2009). Calculating SRELL with pressure management, active leakage control and leak run-time options, with confidence limits. *Proc., WaterLoss 2009, IWA Int. Conf., IWA Publ.*, 373–380.
- [8] Vicente, D.J., Garrote, L., Sánchez, R. & Santillán, D. (2016). Pressure management in water distribution systems: Current status, proposals, and future trends. *J. Water Resour. Plan. Manag.*, 142(2), 1–13.
- [9] Gomes, R., Marques, A.S. & Sousa, J. (2011). Estimation of the benefits yielded by pressure management in water distribution systems. *Urban Water J.*, 8(2), 65–77.
- [10] Thornton, J. (2011). Pressure Management Cases From Around the World.
- [11] Kanakoudis, V. & Gonelas, K. (2016). Non-revenue water reduction through pressure management in Kozani's water distribution network: from theory to practice. *Desalin. Water Treat.* 57(25), 11436–11446.
- [12] Creaco, E. & Walski, T. (2017). Economic analysis of pressure control for leakage and pipe burst reduction.

J. Water Resour. Plan. Manag.,143(12).

- [13] Samir, N., Kansoh, R., Elbarki, W. & Fleifle, A. (2017). Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. *Alexandria Eng. J.*, 56(4), 601–612.
- [14] 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. *J. Water Resour. Plan. Manag.*, 144(3), 1–12.
- [15] Moslehi, I., Jalili-Ghazizadeh, M. & Yousefi-Khoshqalb, E. (2020). Developing a framework for leakage target setting in water distribution networks from an economic perspective. *Struct. Infrastruct. Eng.* 1–17.
- [16] Charalambous, B. & Kanellopoulou, S. (2010). Applied Pressure Management Techniques to Reduce and Control Leakage. *Proc. IWA Int. Spec. Conf. Water Loss* 1–12.
- [17] Kanakoudis, V. & Gonelas, K. (2015). Estimating the Economic Leakage Level in a water distribution system. *Water Resour. Manag. a Chang. World Challenges Oppor.*, 1–7.
- [18] AL-Washali, T., Sharma, S. & Kennedy, M. (2016). methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review. *Water Resour. Manag.*, 30(14), 4985–5001.
- [19] Lambert, A. & Hirner, W. (2000). Losses from water supply systems: Standard terminology and recommended performance measures, blue pages, IWA.
- [20] Pearson, D. & Trow, S.W. (2005). Calculating the Economic Levels of Leakage. *Leakage 2005 Conf. Proc.*,1–16.
- [21] Lambert, A. & Thornton, J. (2012). Pressure : Bursts Relationships : Influence of Pipe Materials , Validation of Scheme Results , and Implications of Extended Asset Life. *Water Loss 2012*, 2–11.
- [22] Lambert, A. & Lalonde, A. (2005). Using practical predictions of Economic Intervention Frequency to calculate Short-run Economic Leakage Level, with or without Pressure Management. *Leakage Conf. Proceeding*,1–12.
- [23] Thornton, J. & Lambert, A. (2005). Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships. *IWA Spec. Conf.*, 1–10.
- [24] Yılmaz, Y. (2021). Su Kayıp Yönetiminde Ekonomik Kaçak Seviyesinin Optimizasyon Algoritmalarıyla Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi.
- [25] Lambert, A., Charalambous, B., Fantozzi, M., Kovac, J., Rizzo, A. & Galea, S. (2014). 14 Years Experience of using IWA Best Practice Water Balance and Water Loss Performance Indicators in Europe. *Proc. WaterLoss Conf.* 1–31.
- [26] Fallis, P. (2011). Guidelines for Water Loss Reduction, 236.
- [27] Gomes, R., Marques, A.S.A. & Sousa, J. (2013). District Metered Areas Design Under Different Decision Makers' Options: Cost Analysis. *Water Resour. Manag.*,27(13), 4527–4543.