



# İçme suyu dağıtım sistemlerinde sızıntı yönetimi ve şebeke rehabilitasyonu için fayda maliyet analizi

## Benefit cost analysis for leakage management and network rehabilitation in distribution systems

Fatih Mehmet DURMUŞÇELEBİ<sup>1</sup>, Mahmut FIRAT<sup>2\*</sup>, Özgür ÖZDEMİR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Plan Proje Daire Başkanlığı, Kayseri, Türkiye.  
fcelebi@kaski.gov.tr

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye.  
mahmut.firat@inonu.edu.tr

<sup>3</sup>Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Plan Proje Daire Başkanlığı, Kayseri, Türkiye.  
ozgurozd@hotmail.com

Geliş Tarihi/Received: 29.01.2020  
Kabul Tarihi/Accepted: 30.11.2020

Düzeltilme Tarihi/Revision: 17.10.2020

doi: 10.5505/pajes.2020.29726  
Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

İçmesuyu dağıtım sistemlerinde su kayıplarının tespit edilmesi, azaltılması, önlenmesi ve kontrol edilmesi, kaynakların verimli bir şekilde kullanılması ve sürdürülebilir kentsel su yönetimi için oldukça önemlidir. Su kayıpları ile mücadelede uygulanacak yöntem ve izlenecek yola karar vermek için ekonomik analizin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, içmesuyu dağıtım sistemlerinde su kayıplarının azaltılmasında, sızıntı yönetimi aktiviteleri ve şebeke rehabilitasyonu için ekonomik analizin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Malatya ili merkez içmesuyu dağıtım sistemi uygulama alanı olarak seçilmiştir. Rehabilitasyon yapılmayan bölgelerde sızıntı yöntemi faaliyetleri için yapılan yatırımların geri dönüş süresi 3-4 ay hesaplanmıştır. Diğer taraftan rehabilitasyonu uygulanan bölgeler için yapılan bölgelerde ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına bağlı olarak geri dönüş süresi ortalama olarak 13-17 yıl arasında elde edilmiştir. Hesaplanan bu geri dönüş sürelerinden de anlaşılacağı üzere, şebeke rehabilitasyonu ilk yatırım maliyeti oldukça yüksek olan bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle bir dağıtım sisteminde su kayıplarının tespit edilmesi, azaltılması, önlenmesi ve kontrol edilmesinde fayda maliyet analizlerinin yapılmasının oldukça önemli görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** İçme suyu dağıtım sistemi, İzole bölge, Fayda maliyet analizi.

### Abstract

It is important to identify, reduce, prevent and control the water losses for sustainable urban water management and efficient use of resources in potable water distribution systems. Economic analysis should be made to decide on the method to be followed and the path to be followed in the struggle against water losses. In this study, in order to reduce water losses in water distribution systems, it is aimed to perform economic analysis for leakage management activities and network rehabilitation. For this purpose, Malatya province water distribution system was chosen as the application area. The return period of the investments for leakage management made in the regions without rehabilitation is calculated as 3-4 months. On the other hand, depending on the high initial investment cost in the rehabilitated areas, the return period of the investments was on average between 13-17 years. As it can be understood from these calculated return period of investments, network rehabilitation appears as a tool with high initial investment costs. For this reason, it is considered very important to make cost-benefit analysis in determining, reducing, preventing and controlling water losses in a distribution system.

**Keywords:** Water distribution system, Isolated region, Benefit cost analysis.

## 1 Giriş

Eski ve ekonomik ömrünü doldurmuş boru oranının fazla olduğu içme suyu dağıtım sistemlerinde rapor edilen ve/veya rapor edilmeyen arıza sayısı genel olarak yüksek seviyelerde olup bu da sistemin işletme maliyetini arttırmaktadır. Bu nedenle arızaya sebep olan temel faktörlerin belirlenmesi, bunların etkilerinin en aza indirilmesi oldukça önemlidir. Özellikle hat uzunluğunun ve/veya abone sayısının fazla olduğu büyük dağıtım sistemlerinde arıza oranının ve su kayıplarının azaltılması için sistemin genelinde eş zamanlı olarak su kayıp yönetimi stratejilerinin planlanması ve uygulanması zaman alıcı ve pahalı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle sistemin genelini aynı anda bütün olarak değerlendirmek ve göz önünde bulundurmak yerine daha küçük ve yönetilebilir sistemlere dönüştürmek daha kısa sürede sonuca ulaşmada önemli katkılar sunmaktadır [1]-[8]. Yapılan çalışmada, su

kayıplarının azaltılması, ölçülebilir ve yönetilebilir şebeke planlanması için farklı karar vericilerin görüşleri esas alınarak optimizasyon algoritması ile su şebeke sisteminin daha küçük bölgelere ayrılması amaçlanmıştır. Önerilen yöntemin özellikle, basınca bağlı analiz, su talebi ve boru değiştirme sayıları gibi işletme faktörlerini dikkate almasından dolayı önemli avantajları olduğu vurgulanmıştır [9]. Su kayıp kontrol stratejisi geliştirilmesinde en önemli bileşenin ekonomik olarak azaltılabilecek sızıntı seviyesinin belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada, ölçülebilir alt bölgelerde su kayıplarının azaltılmasında ekonomik bileşenler göz önünde bulundurulmuş ve şebeke sisteminde hidrolik ve işletme koşulları farklı sızıntı ve hidrolik yöntemlerle hesaplanmıştır [10]. Su şebeke sistemlerinde işletme kontrolü geliştirmek için kısmi alanlar oluşturulması amaçlanmış ve bunların avantajları ile dezavantajları incelenmiştir. Çalışmada, basınç sistemi, vana ve debimetre sistemlerinin uygun koşullarda çalıştırılması,

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

kaçak tespiti ile talebin ve onarım ihtiyacının azaltılması gibi sonuçlara ulaşılmış planlanmıştır. Çalışma sonunda 25.572 \$ yıllık net fayda elde edildiği belirtilmiştir [11]. Diğer taraftan su kayıplarının önlenmesi amacıyla uygulanan yöntemlerin önemli ilk yatırım maliyetleri oluşturmasından dolayı yöntem seçiminde ekonomik analizin yapılması gerektiği çeşitli araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır [1],[2],[4],[12],[13]. Su dağıtım şebekelerinde maliyetin analiz edilmesi gerektiği, sistemi tasarlarken yatırım ve işletme maliyetlerinin özellikle kritik zamanlarda daha fazla önem kazandığı vurgulanmıştır [14]. Artan tehditler nedeniyle gelecekte suyun stratejik bir kaynak olacağı vurgulanmıştır. Aşırı su kullanımı ve yüksek kayıp oranlarının sosyal, ekonomik, kültürel ve politik nedenleri bulunduğu ve kaynaktan musluğa suyun maliyetinin ele alınması gereken bir konu olması gerektiği belirtilmiştir [15]. Su dağıtım şebekelerinin halk sağlığı ve güvenliği üzerinde önemli etkileri olduğu ve boru hatlarının faydalı ömrüyle birlikte su dağıtım şebekelerinin bozulma oranlarının tahmini için doğru ve uygun maliyet modeli uygulanması gerekliliği belirtilmiştir [16]. Farklı özellikte varlığa sahip su sistemleri için referans maliyet fonksiyonlarının oluşturulması ve doğrulanması hedeflenmiştir. Bunu gerçekleştirmek için sisteme ait fiziksel ve hidrolik faktörler dikkate alınmıştır [17].

Bu çalışma kapsamında;

- Mevcut şebeke koşulları korunarak oluşturulan izole bölgelerde sızıntı yönetimi faaliyetleri uygulanmış ve saha verileri esas alınarak fayda maliyet analizi gerçekleştirilmiştir,
- İzole bölgelerde şebeke rehabilitasyonu yapılmış ve saha verileri kullanılarak fayda maliyet analizi yapılmıştır. Her iki durum için, fayda ve maliyet bileşenleri belirlenmiş, ilk yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmış ve yapılan yatırımların geri dönüş süreleri analiz edilmiş ve verimlilik değerlendirilmiştir yapılmıştır.

## 2 Su kayıp yönetiminde izole ölçüm bölge yaklaşımı

İzole ölçüm bölgesi, diğer şebekelerden izole edilmiş, bir veya birden fazla girişi olan bir sistem olarak tanımlanabilir [1],[2]. Bu yaklaşımda, giriş debisi, şebeke hattı, aboneler, yasal faturalandırılan ve faturalandırılmayan tüketimler, rapor edilen ve edilmeyen sızıntılar, kaçak kullanımlar ve sayaç gibi bileşenler kendi içinde değerlendirilmektedir [19]. Sürdürülebilir kentsel su yönetimi için, sistemin izlenmesi, su kayıplarının tespiti, önlenmesi, kontrol altına alınması, müdahale edilmesi ve en uygun stratejisinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Ancak büyük şebekelerde, sistemin tamamı için bu analizleri gerçekleştirmek, zaman alıcı ve oldukça maliyetlidir. Literatürde fiziki kayıpların artmasında veya azaltılmasında, aktif kaçak kontrolü, boru malzeme yönetimi, basınç yönetimi ve onarım hızı ve kalitesi gibi dört bileşenin önemi vurgulanmıştır [1]. Bu 4 temel bileşenin ilk yatırım maliyetleri kıyaslandığında, sisteme ait tüm boru ve elemanlarının yenilenmesini kapsayan boru malzemesi yönetimi en fazla maliyet oluşturan bileşendir. Bu nedenle, su kayıp yönetiminde boru malzemesi yönetimi bileşeninin uygulanmasına karar vermek için detaylı analiz yapılmalıdır. Literatürde, büyük ve karmaşık sistemlerdeki sorunların en aza indirilmesi ve etkin bir su kayıp yönetim stratejisinin ortaya konulmasında izole bölge yönteminin arızalar ve sızıntılar ile mücadelede önemli faydalar sağladığı, su kayıplarının önlenmesi ve azaltılması için uygulanan diğer yöntemler için önemli katkılar sunduğu vurgulanmıştır [7],[9],[12],[18]. Ancak izole bölge tasarımı, oldukça detaylı planlama

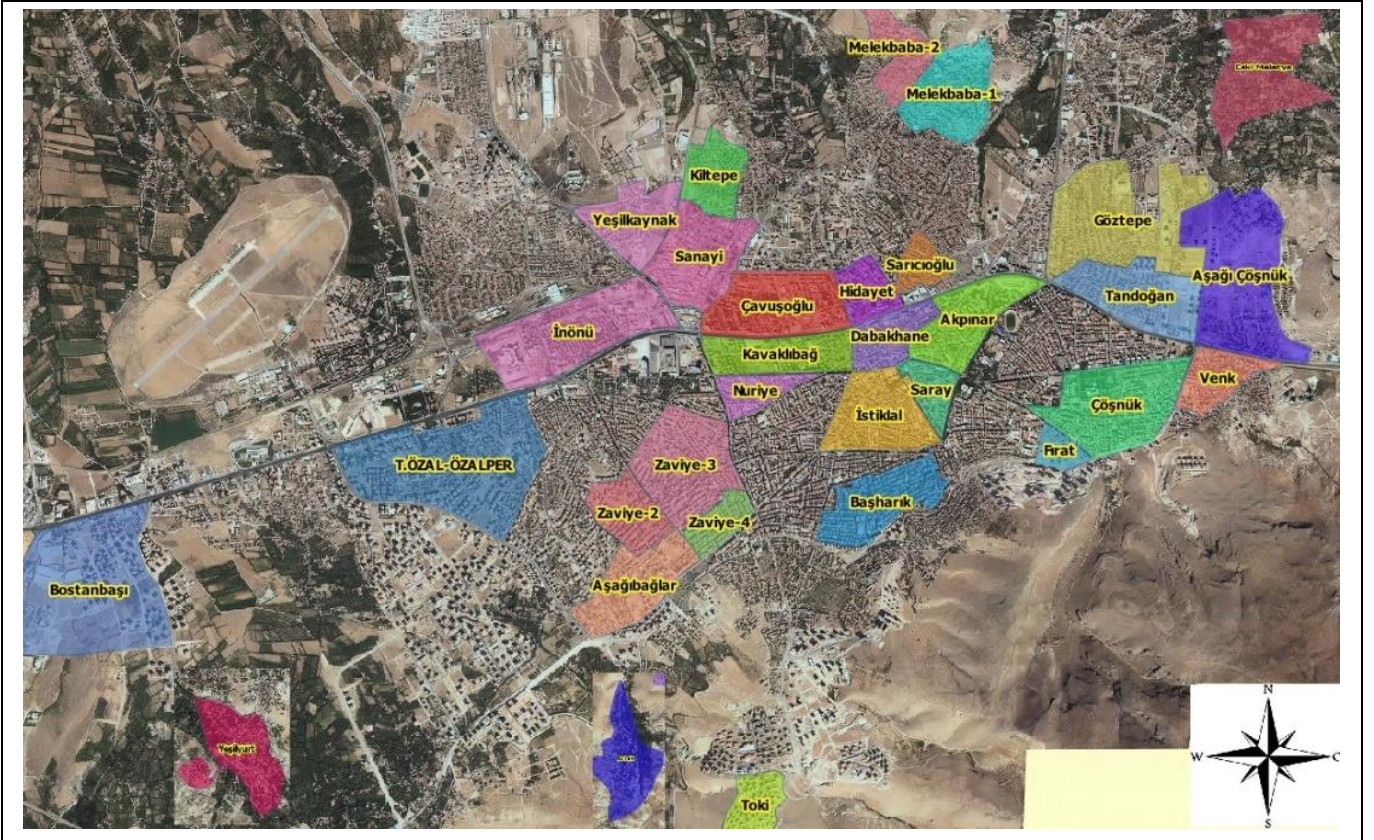
çalışmaları gerektirmekte ve saha imalatları İdare için yüksek maliyetler oluşturabilmektedir. Bu nedenle izole bölge tasarımında, hedefin belirlenmesi, gereklilik analizinin yapılması, teknik ve personel altyapısı durumlarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir [19]. İzole bölge sayısının ve büyüklüğünün belirlenmesinde, mevcut şebeke koşullarının, şebeke uzunluğunun, abone ve servis bağlantı sayısının ve en önemlisi ekonomik analizin göz önünde bulundurulması gerektiği ifade edilmiştir [20],[21]. Bu nedenle izole bölge planlanarak su kayıplarının azaltılması ve önlenmesi çalışmalarına karar vermek için aşağıdaki soruların cevabını araştırmak oldukça önemlidir [19]; Mevcut durum analizi yapıldı mı? Şebeke ve abone verileri mevcut mu? Su kayıp oranları belirlendi mi? Arıza ve sızıntılar biliniyor mu? Uygulanacak yöntemler hakkında bilgi, teknolojik ve personel altyapısı mevcut mu? Yöntemler sisteme uygulanabilir mi? Yatırım ve işletme maliyeti, beklenen fayda ve yatırımın dönüş süresi hesaplandı mı? Uygulamada, izole bölge yaklaşımı için genelde,

- Mevcut şebeke koşullarında izolasyon vanaları ile sistemin diğer şebekelerden ayrılması,
- Şebekenin ve servis bağlantılarının tamamen değiştirilmesi ve bölge sınırlarının tanımlanması, şeklinde iki farklı yol izlenmekte ve önemli maliyet farklılıkları ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma kapsamında; mevcut şebeke koşulları korunarak oluşturulan ve şebeke rehabilitasyonu yapılarak planlanan izole bölgelerde sızıntı önleme faaliyetleri için ekonomik analiz gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla nüfusu 786.676 kişi ve yüzölçümü 12.412 km<sup>2</sup> olan Malatya ili uygulama alanı olarak seçilmiştir. Literatürde izole bölge tasarım için, çeşitli tasarım ölçütlerinin ve saha testlerinin önerildiği görülmüştür. İzole bölge büyüklüğünü ifade etmede hat uzunluğunun 4 km ile 30 km arasında alınabileceği ancak ortalama 15 km civarında olabileceği vurgulanmıştır. Ayrıca, servis bağlantı sayısının 500 ile 3000 arasında alınması önerilmiştir. Ayrıca, bölgenin izole edilip edilmediğinin testi için sahada sıfır basınç testinin yapılması gerektiği ifade edilmiştir [1],[19],[22]. Uygulama alanında izole bölge oluştururken literatürde verilen tasarım ölçütlerinin sınır değerleri referans alınarak planlanmıştır. İzole bölge planlamasında servis bağlantı ve abone sayısı, hat uzunluğu, topoğrafya sınır değerler içinde kalacak şekilde, 15 adedi mevcut şebekenin kapalı bir sistem haline getirilmesiyle oluşmuşken, 18 adedi ise mevcut şebekenin yenilenmesiyle oluşturulmuştur (Şekil 1), [19],[23]. Ayrıca MASKİ ekiplerince sahada yapılan sıfır basınç testi ile bölgelerin diğer bölgelerden izole edilip edilmediği test edilmiştir.

## 3 Su kayıp yönetimi için fayda maliyet analizi

Su kayıpları ile mücadelede birçok yöntem ve araç kullanılmakta olup maliyetleri oldukça farklılık göstermektedir. Bu nedenle sistemin mevcut koşulları, gereksinimleri, hedefler, ekonomik koşullar ve beklenen faydalar kapsamında oldukça detaylı analiz ve değerlendirme yapmak sistem verimliliği açısından önemlidir. Bu çalışmada su kayıplarının önlenmesi ve yönetilmesi amacıyla, 2 pilot bölgede mevcut şebeke koşullarında sızıntı yönetimi faaliyetleri için fayda maliyet analizi gerçekleştirilmiş ve 3 pilot bölgede şebeke rehabilitasyonu uygulanarak ortaya çıkan faydalar ve maliyetler analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında her iki koşul için ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyetleri ve beklenen faydalar göz önünde bulundurulmuştur.



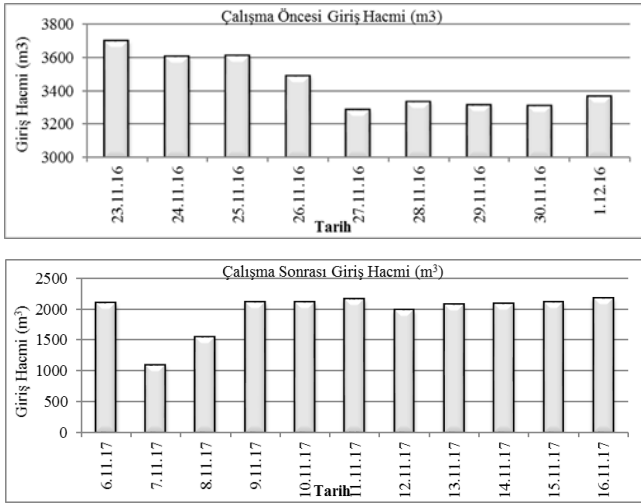
Şekil 1. Uygulama alanında izole bölgeler [19],[23].

Figure 1. The district metered areas in application areas [19],[23].

### 3.1 İzole bölgelerde sızıntı yönetimi faaliyetleri için fayda-maliyet analizi

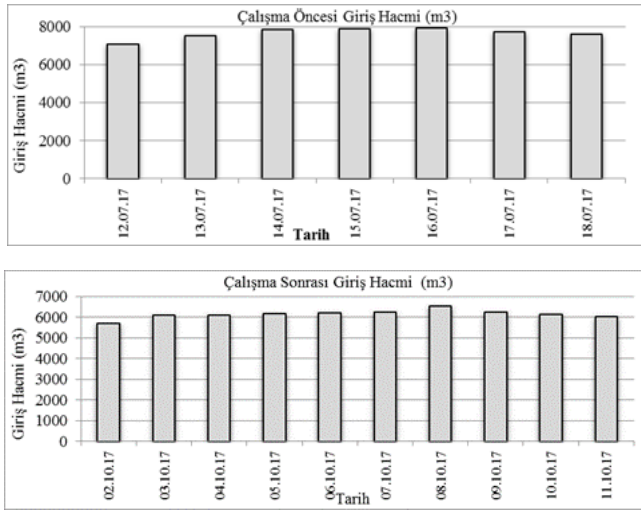
Dağıtım sisteminde izole bölge oluştururken öncelikle şebeke planı üzerinde bölge sınırları, izolasyon vana yerleri, giriş noktaları belirlenmiştir. Daha sonra, sahada izolasyon vanaları kapatılarak sistem izlenmiş, bölge içerisinde abone şikayetlerinin olup olmadığı değerlendirilmiştir. Bölgenin izolasyonunun test edilmesi için sahada sıfır basınç testi uygulanmış, bölge giriş kapatılarak kritik noktalarda basınç ölçülmüş, bu noktalarda basıncın sıfıra yakın bir değer alması durumunda sisteme herhangi bir su girişi olmadığına karar verilmiştir. Bu çalışmalar sahada MASKİ ekiplerince tüm izole bölgeler için gerçekleştirilmiştir. Şebeke rehabilitasyonu yapılmadan oluşturulan bölgelerde ilk yatırım maliyeti, şebeke rehabilitasyonuna göre oldukça düşüktür. Ancak mevcut şebeke koşullarında özellikle boru elemanlarının yerinin ve özellikle sınırda bulunan vana yerlerinin bilinmemesi durumunda izolasyonun sağlanamaması gibi önemli sorunlar ortaya çıkmakta ve maliyetler artmaktadır. Bu bölümde şebeke rehabilitasyonu yapılmayan ve diğer şebekelerden izole edilen 2 bölge (Dabakhane ve İstiklal) için değerlendirme yapılmıştır (Şekil 1). Dabakhane'de şebeke uzunluğu 5817 m, abone hat uzunluğu 3867 m, kullanıcı sayısı 3391 ve ortalama basınç 50.69 m'dir. Bölgede çalışma başlangıcında minimum gece debisi 38 l/s ve pik debi 51 l/s olarak ölçülmüştür. İstiklal bölgesinde, şebeke uzunluğu 12073 m, abone hat uzunluğu 8300 m, kullanıcı sayısı 4767, ortalama basınç 41 m'dir. İstiklal'de başlangıçta minimum gece debisi

90 l/s ve pik debi ise 126 l/s olarak ölçülmüştür. Bilindiği üzere tüketimin en az olduğu gece saatlerinde 02:00-04:00 sa. arasında ölçülen debi, şebekedeki belirsiz sızıntıları (basınç ve şebeke fiziksel özelliklerine göre değişmekte), gece yasal tüketimleri (abone profili, gece tüketimli ticari abonelerin sayısına bağlı olarak) ve şebekede önlenemez sızıntı debisini içermektedir. Ancak, genellikle konut abone yoğunluklu bölgelerde minimum gece debisinin önemli bir kısmının önlenemez sızıntı debisi olduğu bilinmektedir. Buna göre bölgede su kayıpları açısından büyük problemlerin olduğu görülmektedir. Her iki bölgede aktif sızıntı kontrolü uygulanmış ve çalışma sonunda Dabakhane'de minimum gece debisi 18 l/s ve İstiklal'de 50 l/s seviyesine düşürülmüştür. Her iki bölge için çalışmanın başlangıcında ve sonunda giriş hacim değişimleri sırasıyla Şekil 2 ve 3'te verilmiştir. Dabakhane bölgesinde çalışma başlangıcında sisteme giren günlük ortalama hacim 3600 m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiş çalışma sonunda bölgeye giren su hacmi ortalama 2000 m<sup>3</sup> seviyelerine kadar düşürülmüştür. Buna göre bölgede günlük ortalama 1600 m<sup>3</sup> su tasarrufu sağlanmıştır. İstiklal bölgesine başlangıçta günlük ortalama 7500 m<sup>3</sup> su verilirken çalışma sonunda bölgeye günlük ortalama 6000 m<sup>3</sup> su verilmiş ve günlük 1500 m<sup>3</sup> su tasarrufu sağlanmıştır. Giriş hacmindeki azalma üzerinde en büyük etkinin sızıntı hacminin önlenmesi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, mevsimsel etkiden dolayı talep debisindeki azalmanın da bu hacim azalması üzerindeki etkisi söz konusu olmaktadır. Kentsel su yönetiminde temel prensip, kaliteli suyun vatandaşa zamanında iletilmesi şeklinde yazılabilir.



Şekil 2. Dabakhane bölgesi günlük giriş hacimleri [19],[23].

Figure 2. The Daily input volumes in Dabakhane [19], [23].



Şekil 3. İstiklal bölgesi günlük giriş hacimleri [19],[23].

Figure 3. The daily input volumes in İstiklal Region [19], [23].

Tablo 1. Bölgeler için arıza onarım maliyetleri (2017 yılı) [19].

Table 1. The costs of failure repair in regions (for year 2017) [19].

Maliyet Bileşenleri	Dabakhane	İstiklal
Kazı ve dolgu maliyeti (TL / Dolgu)		500
İş makinesi çalışma süresine bağlı maliyet (TL/Kazı)		217.60
Arıza onarımı için personel/saat maliyeti (TL/Kazı)		180.06
Asfalt / kaplama maliyeti (TL/Kazı)		500
Çalışma döneminde arıza onarım ve ekipman maliyeti (TL)	61952	85210
Çalışma döneminde tespit edilen/onarılan arıza sayısı (adet)	39	55
Toplam şebeke uzunluğu (m)	5817	12073
Birim boru uzunluğu için arıza onarım bedeli (TL/arıza/ uzunluk)	0.273	0.128
Sistemin izlenmesi için ölçüm cihaz maliyetleri (TL)	47836	58587
Birim boru uzunluğu için cihaz ilk yatırım bedeli (TL/km)	8.223	4.853
Birim hat uzunluğu başına düşen toplam maliyet (TL/km)	8.496	4.981
Fayda Bileşenleri		
Çalışma döneminde sisteme kazandırılan su hacmi (m <sup>3</sup> /gün)	1600	1500
Birim hat uzunluğu başına sisteme kazandırılan su (m <sup>3</sup> /gün/m)	0.275	0.124
Önlenen sızıntının parasal karşılığı (Fatura bedelinin % 15'i) (TL/m <sup>3</sup> )	0.447	
Birim uzunluk başına önlenen suyun bedeli (TL/m <sup>3</sup> /gün/m)	0.123	0.0554
Yapılan yatırımın dönüş süresi (ay) [24]	3-4	4-5

Diğer taraftan yatırımın gerçekleştirilmesi, vatandaşa zamanında hizmet götürülmesi için işletme maliyetinin en aza indirilmesi oldukça önemlidir. Şebeke rehabilitasyonu yapılmadan oluşturulan 2 bölgede ortaya çıkan maliyetler ve beklenen faydalar Tablo 1'de verilmiştir [19],[23].

Dabakhane ve İstiklal bölgelerinde arıza başına ortalama giderlere ve sızıntıları önlemek amacıyla yapılan çalışmalar için yapılan yatırımlara bakıldığında İdare için oldukça yüksek maliyet oluşturmaktadır. Bu nedenle sistem işletme maliyetinin düşürülmesi için arıza ve sızıntıya etki eden faktörlerin analiz edilmesi ve etkilerinin azaltılması oldukça önemlidir. Ayrıca, bölgelerde sisteme kazandırılan su miktarları ve birim hat uzunluğu başına elde edilen kazanımların su ve enerji verimliliğinin sağlanması açısından önem arz etmektedir. Bölgede 2017 fiyatlarına göre suyun fatura bedeli 2.98 TL/m<sup>3</sup> olup aboneler tarafından kullanılan suyun bedelini temsil etmektedir. Bu çalışmada önlenen fiziki kaybın parasal karşılığının hesabı için birim metre-küp bazında üretim bedeli dikkate alınmıştır. Sisteme su artırılmadan ve kendi cazibesi ile geldiği için suyun üretim bedeli terfili veya artırma gerektiren sisteme göre daha düşük olacaktır. Bu nedenle birim metre-küp sızıntının sisteme kazandırılması ile beklenen fayda fatura bedelinin %15'i (2.98\*0.15=0.447 TL/m<sup>3</sup>) alınmıştır. Buna göre birim hat uzunluğu başına tasarruf edilen suyun bedeli 0.123 TL/m<sup>3</sup>/gün/m hesaplanmıştır. Hesaplanan maliyet ve faydalara göre denklem (1) ile yatırımın dönüş süresi hesaplanmıştır [24].

$$Ds = \left[ C_{IYB} + C_{KB} + C_{SSB} + \sum_{i=1}^n V_i * \varepsilon_i * \frac{C_w}{(1+r')^{i-1}} \right] * \frac{(1+r')^n}{(1+r')^n - 1} \quad (1)$$

Burada, C<sub>IYB</sub>; ilk yatırım bedelini, C<sub>KB</sub>; kurulum bedelini, C<sub>SSB</sub>; satılmayan su bedelini, r'; ifadesi ise enflasyon oranının temsil etmektedir. Hesaplamada enflasyon oranı % 12 olarak alınmış ve Dabakhane bölgesi için yapılan yatırımların dönüş süresi 90-120 gün hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Dabakhane ve İstiklal bölgeleri için dönüş süreleri [9].

Table 2. The return periods in Dabakhane and İstiklal regions [19].

Değişken	Dabakhane	İstiklal
$r$	0.12	0.12
$C_{iyB}$	-49403.00 ₺	-60123.00 ₺
$C_{KB}$	0.00 ₺	0.00 ₺
$C_{SSB}$	-21,451.00 ₺	-20,075.00 ₺
$V_{Su}$	47990	44911
$W$	0.15	0.15
$TL_{Su}$	2.98 ₺	2.98 ₺
Dönüş Süresi	3-4 ay	4-5 ay

Görüldüğü gibi boru malzemesi değiştirilmeden oluşturulan izole bölgede yapılan yatırım 3-4 ay gibi kısa sürede amorti edilmektedir. Ayrıca sisteme kazandırılan su başka bölgelerin ihtiyacını karşılamada kullanılacağı için kaynakların verimli kullanılması açısından oldukça önemlidir. Uygulama alanında İstiklal bölgesi için yapılan yatırımların dönüş süresi 120-150 gün arasında hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre, dağıtım sistemlerinde izole ölçüm bölgelerinin oluşturulmasıyla önemle oranda sızıntıların önlenmesinin ve sistem işletme maliyetinin düşürülmesinin mümkün olduğu görülmektedir. İzole bölgelerin oluşturulmasıyla elde edilen kazanımlar sonucunda yapılan yatırımlar kısa sürede amorti edilmektedir. Böylece özellikle daha az yatırım yapılarak uygulanan aktif kaçak kontrolünün su kayıp yönetiminde önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

### 3.2 İzole bölgelerde şebeke rehabilitasyonu için fayda-maliyet analizi

Daha önceden de bahsedildiği gibi uygulamada şebeke ve elemanlarının değiştirilerek izole bölgeler oluşturulmakta ve sistem izlenmektedir. Ancak şebeke rehabilitasyonuna karar vermek veya bu yol izlenerek su kayıp yönetimi stratejisi geliştirmek oldukça maliyetli ve zaman alıcıdır. Bu nedenle, boru malzemesinin tamamen değiştirilmesine karar vermek için mevcut şebeke koşullarının iyi bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Bunun için, "boru malzemesi yönetimi" bileşeninin uygulanmasına karar vermek için şu başlıklar detaylı bir analiz edilmelidir;

- Mevcut boru elemanlarının fiziksel durumu, işletme sorunları, arıza oranları, türleri ve yerleri,
- Mevcut koşullarda su kayıp oranları, işletme maliyeti,
- Mevcut şebeke koşullarında su kayıp önleme yöntemlerinin uygulanmasında yaşanan sorunlar, yapılan yatırımlar ve elde edilen kazanımlar,
- Tüm bileşenler göz önüne alınarak maliyetler, beklenen faydalar.

Şebeke rehabilitasyonunda yatırımlardan maksimum fayda elde etmek için en kötü şebekeye sahip bölgelerin seçilmesi uygun olacaktır. Bu bölümde 3 pilot bölge için (Battalgazi, Zaviye, Firat) şebeke rehabilitasyonundan önceki ve sonraki işletme koşulları değerlendirilerek ekonomik analiz yapılmıştır. Pilot bölgelerde şebeke rehabilitasyonundan önce ve sonraki durumlar için şebeke bilgileri Tablo 3'te verilmiştir [19],[23].

Tabloya göre, pilot bölgelerde eski sistemde farklı zamanlarda döşenmiş farklı boru malzemesinin yer aldığı, özellikle Battalgazi bölgesinde eski sistemde boru oranının yüksek olduğu görülmektedir. Boru malzemesinin ve yaşının değişkenlik gösterdiği sistemlerde, borunun çevresel ve işletme

faktörleri gibi dış etkenlere karşı dayanımı azalmakta ve arıza riski artmaktadır. Ayrıca, eski sistemlerde borular farklı tarihler döşendiğinden bazı sokaklarda mükerrer hatlar oluşmakta ve hali hazırda hizmet vermektedir. Bu tür sistemlerde, boru ve vana elemanlarının koordinatlı olarak yerinin bilinmemesinden dolayı su kesintisinin mahalle bazlı uygulanması, sokakta birden fazla hat geçmesi durumunda kaçak kullanımının artması, su kayıplarının izlenmesi için uygulanan yöntemlerden beklenen faydanın elde edilememesi ve arıza onarımı için kazı yapılması gibi şebeke işletme ve yönetiminde önemli zorluklar ortaya çıkmakta ve işletme maliyeti artmaktadır. Şebeke sisteminde arıza oranı, işletme koşullarını ve maliyetini doğrudan etkilediği için dikkate alınması gereken bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Pilot bölgelerde eski şebeke koşullarında geçmişte gözlenen arıza kayıtları analiz edilmiştir (Tablo 4 ve 5) [19],[23]. Tabloda eski şebeke koşullarında Asbest Çimento Boru (AÇB), Poli Vinil Clorür (PVC), Polietilen (PE), PİK Döküm Boru (PİK), Polipropilen Random Co-polimer (PPRC) türündeki boruların kullanıldığı görülmektedir.

Malatya merkez dağıtım sisteminde 2006-2017 yılları arasında toplam 14305 şebeke arıza gözlenmiş olup yıllık arıza oranı ise 1.07 olarak hesaplanmıştır. Bu da şebeke yıllık olarak her bir kilometre hat için 1.07 arıza gözlendiğini ifade etmektedir. Benzer şekilde Malatya merkez için servis bağlantılarında toplam 17254 arıza meydana gelmiş ve 1.29 arıza oranı elde edilmiştir. Pilot izole bölgelerde benzer şekilde servis bağlantı arıza oranının şebeke arıza oranına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Literatürde servis bağlantılarındaki arızaların toplam arıza içindeki oranının yaklaşık olarak %60 seviyesinde olduğu vurgulanmıştır [25]. Yapılan çalışmada, 2006-2012 yılları arasındaki arıza kayıtları incelenmiş ve servis bağlantı arıza oranının %60 seviyesinde olduğu belirtilmiştir [26]. Yapılan çalışmada, 11 izole bölgede yüzeye çıkmayan ve sızıntı tespit cihazları belirlenen toplam sızıntıların yaklaşık % 78'nin servis bağlantısı arızalarının oluşturduğu tespit edilmiş ve bu oranın yüksek olmasında "Malzeme Kalitesi" ve "İşçilik Kalitesi" parametrelerinin etkili olduğu vurgulanmıştır [27]. Battalgazi bölgesinde arıza kaydı sadece 2016-2017 yılları arasında olup bu periyotta şebeke arıza oranı 17.3 ve servis bağlantı arıza oranı 13.67 olarak hesaplanmıştır. Bu oranların oldukça yüksek bir seviyede olduğu ve buna bağlı olarak işletme maliyetinin arttığı söylenebilir. Diğer taraftan diğer iki pilot bölgede şebeke ve servis bağlantı arıza oranının Malatya merkez dağıtım sistemindeki arıza ortalamasından daha fazla olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde de eski boru oranı yüksek seviyede olup malzeme ve işçilik kalitesi de bu oranların ortalamasının üstünde çıkmasında etkili olduğu söylenebilir.

Tablo 3. Pilot bölgelerde şebeke bilgileri [19].

Table 3. The network characteristics in pilot regions [19].

İzole Bölgeler	Şebeke Uzu. (m)	PVC (m)	AÇB (m)	ÇELİK (m)	DÜKTİL (m)	PİK (m)	PE (m)
Battalgazi Yeni	16972				16972		
Battalgazi Eski	20615	10347	10268				
Fırat Yeni	17750				17750		
Fırat Eski	33000	16709	7358	5069		3864	
Zaviye Yeni	19804				19804		
Zaviye Eski	33159	12848	6027	2677		11466	141

Tablo 4. Pilot bölgelerde gözlenmiş arıza oranları.

Table 4. The failure rates in pilot regions.

İzole Bölgeler	Şebeke Arıza Sayısı	Servis bağlantı Arıza Sayısı	Şebeke arıza oranı (arıza sayısı/km/yıl)	Servis bağlantı arıza Oranı (arıza sayısı/km/yıl)
Battalgazi (2016-2017)	294	232	7.13	5.62
Fırat (2006-2017)	608	1156	1.84	3.50
Zaviye (2006-2017)	431	735	1.30	2.22
Merkez (2006-2017)	14305	17254	1.07	1.29

Tablo 5. Pilot bölgelerde boru türüne göre arıza sayıları.

Table 5. The number of failures for pipe types in pilot regions.

İzole Bölgeler	Şebeke hattı arızaları				Servis bağlantı arızaları		
	AÇB	PVC	ÇELİK	PİK	GALVANİZ	PE	PPRC
Battalgazi (2016-2017)	78	197	--	--	87	42	123
Fırat (2006-2017)	335	513	5	206	354	129	222
Zaviye (2006-2017)	141	325	5	222	227	97	149

Sonuç olarak tabloda verilen rakamlara göre arıza oranının yüksek olduğu bölgelerde mevcut şebeke koşullarında normal işletme faaliyetlerinin sürdürülmesi oldukça güç ve maliyetlidir. Bu tür sistemlerde mevcut koşullarda sadece arıza meydana gelen kısımda boru değiştirme politikasının uygulanması, ya da bölge bazlı tüm bileşenleri ile şebeke rehabilitasyonu gibi iki farklı seçenek ortaya çıkmakta ve karşılaştırmalı ekonomik analiz yapılarak karar vermek gerekmektedir. Pilot bölgelerde, eski şebeke koşullarında yukarıda verilen sorunların önemli bir kısmı gözlenmiş, arıza kayıtları dikkate alınarak şebeke rehabilitasyonu için değerlendirmeye alınmış ve rehabilitasyon programı uygulanmıştır. Rehabilitasyonu tamamlanan bölgelerde sistem performansının izlenmesi amacıyla "Altyapı Kaçak İndeksi (AKİ)" göstergesi hesaplanmıştır (Tablo 6). AKİ, yıllık fiziki kayıpların yıllık kaçınılmayan kayıplara oranı şeklinde hesaplanmaktadır [1]. Bilindiği gibi yenilenmiş sistemde dahi sızıntılar meydana gelmekte ve bu tür sızıntılar "kaçınılmayan kayıplar" olarak ifade edilmektedir [1]. Özellikle boruların taşınması ve istiflenmesi sırasında oluşan küçük çatlaklar, boru malzemesi yerleştirilirken yatak malzemesinin serilmesi sırasındaki kötü işçilikten dolayı bu tür kayıplar gözlenebilmektedir. İyi yönetilen bir sistemde, yıllık kaçınılmayan fiziki kayıp (YKFH) değeri, teknik olarak en düşük yıllık fiziki kayıp olarak ifade edilebilir [1].

$$YKH = (18 * L_m + 0.8 * N_c + 25 * L_p) * P \quad (2)$$

$L_m$ ; Ana hat uzunluğu (m),  $N_c$ ; Servis bağlantı sayısı,  $L_p$ ; Mülk sınırından müşteri sayacına kadar uzunluk (m),  $P$ ; ortalama basınç (m) olarak tanımlanabilir [1].

Hesaplanan AKİ değerlerine göre, tüm bölgeler "B sınıfı" olarak çıkmıştır. AKİ değerine göre rehabilitasyonu tamamlanan bölgelerin A sınıfında yer alması beklenebilir. Tablo 6'ya göre

rehabilitasyondan hizmete alınan sistemlerde arızalar gözlenmiş olup bu arızaların çeşitli dış faktörlerden kaynaklandığı söylenebilir. Bir bölgede şebeke değiştirilmiş olsa da işçilik ve boru malzemesi kalitesi, küçük sızıntıların oluşmasına ve sızıntı hacminin artmasına neden olabilir.

Tablo 6. Bölgelerin rehabilitasyon sonunda performansı [19].

Table 6. The performance of regions rehabilitated [19].

Parametre	Zaviye	Fırat	B. Gazi
Başlangıç / Bitiş tarihi	Nis.-May.		
Şebeke uzunluğu (km)	19.804	17.75	16.97
Bina bağlantı (km)	17.565	5.95	6.04
Toplam Servis Bağlantı Sayısı (adet)	3600	2605	1580
Bağlantı yoğunluğu	181.78	146.76	93.10
Ortalama sistem basıncı (m)	46	56	50
Sistem giriş hacmi (m <sup>3</sup> )	196.010	92.980	54.430
Faturalandırılmış Ölçülen Kullanım (m <sup>3</sup> )	155.050	62.490	40.330
Gelir Getirmeyen Su Miktarı (m <sup>3</sup> )	40.950	30.490	14.100
Faturalandırılmamış İzinli Tüketim (m <sup>3</sup> )	2.940	1.390	820
İdari Kayıplar (m <sup>3</sup> )	8.550	4.050	2.370
Günlük fiziki kayıplar (m <sup>3</sup> /gün)	982	894	363
YKFH (m <sup>3</sup> /gün)	169.2	138.5	86.0
AKİ ve Sınıfı	5.80 (B)	6.24 (B)	4.22 (B)

Şebeke yenileme çalışmalarında, genelde parsel içinde kalan boruların değiştirilmesi için vatandaş tarafından izin verilmediği ve bu noktalarda eski borular hizmet verdiği için arızalar gözlenmektedir. Şebeke rehabilitasyonundan önceki ve sonraki arıza oranları ile kıyaslandığında, arıza oranında önemli azalmanın olduğu görülmektedir. Şebeke rehabilitasyonu yapılarak oluşturulan bölgelerde işletme maliyet kalemleri önceki bölümde verilen bileşenleri içermektedir. Rehabilitasyonu tamamlanan bölgelerde gözlenen arıza kayıtları ve ilk yatırım maliyetleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablodan da görüldüğü üzere her üç bölgede arızaların onarılması kapsamında ortaya çıkan maliyetlerin önemli seviyededir. Arıza oranının yüksek olması sadece işletme ve bakım maliyetini arttırmamakta aynı zamana şebekenin ekonomik ömrünün kısa sürede dolmasına ve şebeke yenileme çalışmalarının öne çekilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle özellikle arıza üzerinde etkisi bilinen işletme basıncı ve çevresel faktörlerin etkilerinin azaltılması gerekmektedir. Tabloda her üç bölge için şebeke yenileme kapsamında yapılan yatırımların oldukça yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Arıza oranının kontrol altında tutulduğu sistemlerde şebeke yenilemelerinin ötelenmesi ile İdare açısından ekonomik olarak daha az yük oluşturması mümkün olacaktır. Şebeke yenilemede ortaya çıkan yüksek maliyetlerin yanı sıra inşaat sırasında oluşturduğu sosyal etkiler de (trafiğin ve ticari faaliyetlerin aksaması) söz konusudur.

Pilot bölgelerde rehabilitasyondan önce ve sonrası için sızan su maliyetleri hesaplanmıştır. Bu bölgelerden sadece Battalgazi bölgesinde rehabilitasyondan önce AKİ hesapları mevcut olup fiziki kayıplar buna göre doldurulmuştur. Diğer iki bölgede rehabilitasyondan önce AKİ değeri hesaplanmadığından dolayı bu bölgelerde fiziki kayıpların (sızıntı) hesaplanmasında rehabilitasyon öncesi ve sonrası arıza oranları göre katsayı hesaplanmış ve rehabilitasyon sonraki fiziki kayıplar bu katsayı ile çarpılarak önceki duruma ait fiziki kayıp değerleri bulunmuştur (Tablo 8).

Tablo 8'de verilen sonuçlara bakıldığında, rehabilitasyondan önce her üç bölgede sızıntı oranlarının ve bunların maliyetlerinin yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Sızıntıların ekonomik etkilerinin yanı sıra kaynakların verimsiz kullanılması açısından da olumsuz etkileri söz konusudur. Diğer taraftan rehabilitasyondan sonra sızıntı oranlarının ve maliyetlerin ilk durumun %10'u seviyelerine düştüğü görülmektedir. Ancak, şebeke yenileme çalışmaları her ne kadar arıza oranı ve işletme maliyeti açısından olumlu etkisi olsa da İdare açısından önemli maliyet oluşturmaktadır. Bu nedenle şebeke yenileme çalışmalarından önce, aktif kaçak kontrolü yöntemlerinin öncelikle uygulanması yatırım maliyetlerinin düşürülmesi açısından önemlidir. Hesaplanan maliyet ve beklenen faydalar esas alınarak denklem (2) yardımıyla yapılan yatırımın dönüş süresi tespit edilmiştir (Tablo 9).

Tablo 7. Rehabilitasyonu yapılan bölgelerde eski ve yeni şebekede arıza oranları ve ilk yatırım maliyetleri [19].

Table 7. The new and old values of failure rates in rehabilitated regions and investment costs [19].

İzole Bölgeler	Hat uzunluğu (m) (eski-yeni)	Arıza oranı (eski) (arıza/km/yıl)	Arıza oranı (yeni) (arıza/km/yıl)	Proje Bedeli (TL)	Yatırım Maliyeti (TL/km)	
Battalgazi	20615	16972	12.75	1.97	7.938.333,00	467,786
Fırat	33000	17750	5.34	1.5	5.146.191,00	289,926
Zaviye	33159	19804	3.52	0.90	4.598.460,00	231,942

Tablo 8. Rehabilitasyonu yapılan bölgelerde sızan su maliyetleri [19].

Table 8. The amount of leakages in rehabilitated regions [19].

Bölgeler	Rehabilitasyon Öncesi		Rehabilitasyon Sonrası	
	Sızıntı (m <sup>3</sup> /gün)	Maliyet (TL/gün)	Sızıntı (m <sup>3</sup> /gün)	Maliyet (TL/gün)
Battalgazi	230.70	103.12	21.43	9.43
Fırat	207.55	92.77	54.05	24.16
Zaviye	225.24	100.68	49.60	22.17

Tablo 9. Rehabilitasyon yapılan bölgelerde dönüş süreleri [9].

Table 9. The return periods in rehabilitated regions [19].

.Değişken	Battalgazi	Fırat	Zaviye
$r$	0.12	0.12	0.12
$C_{IVB}$	-181,993.00 ₺	-231,989.00 ₺	-194,776.00 ₺
$C_{KB}$	0.00 ₺	0.00 ₺	0.00 ₺
$C_{SSB}$	-34,143.00 ₺	-38,271.00 ₺	-27,273.00 ₺
$V_{su}$	76383	85618	61013
$W$	0.15	0.15	0.15
$TL_{su}$	2.98 ₺	2.98 ₺	2.98 ₺
Dönüş Süresi	9-10 YIL	12-13 YIL	17-18 YIL

Battalgazi, Fırat ve Zaviye bölgelerinde yapılan yatırımların ortalama dönüş süresi sırasıyla, 9-10 yıl, 12-13 yıl ve 17-18 yıl arasında hesaplanmıştır. Hesaplanan bu geri dönüş sürelerinden de anlaşılacağı üzere, şebeke rehabilitasyonu ilk yatırım maliyeti oldukça yüksek olan bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle bir dağıtım sisteminde su kayıplarının tespit edilmesi, azaltılması, önlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla diğer yöntemlerin uygulanması öncelikli olmalı ve şebeke rehabilitasyonu seçeneği en son göz önünde bulundurulmalıdır. Uygulama alanında şebeke rehabilitasyonu yapılan bölgelerde geçmiş gözlenen arıza oranlarının oldukça yüksek olması, diğer yöntemlerin uygulanması ile istenen sonuçların elde edilememesi gibi nedenlerden dolayı İdare tarafından rehabilitasyon seçeneği değerlendirilmiştir.

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında;

- (i) Mevcut şebeke koşulları korunarak oluşturulan izole bölgelerde sızıntı yönetimi faaliyetleri uygulanmış ve saha verileri esas alınarak fayda maliyet analizi gerçekleştirilmiş,
- (ii) İzole bölgelerde şebeke rehabilitasyonu yapılmış ve saha verileri kullanılarak fayda maliyet analizi yapılmıştır.

Her iki durum için, fayda ve maliyet bileşenleri belirlenmiş, ilk yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmış ve yapılan yatırımların geri dönüş süreleri analiz edilmiş ve verimlilik değerlendirmesi yapılmıştır. İzole bölgelerde sızıntı yönetimi faaliyetlerinin uygulanması sonucunda sistem giriş hacminde önemli oranda azalma görülmüştür. Dabakhane ve İstiklal bölgelerinde çalışma başlangıç ve sonunda sırasıyla günlük ortalama 1600 m<sup>3</sup> ve 1500 m<sup>3</sup> su tasarrufu sağlanmıştır. Dabakhane ve İstiklal bölgelerinde birim hat uzunluğu başına düşen toplam maliyetlerin oldukça yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanan maliyet ve beklenen faydalar esas alınarak yapılan yatırımın dönüş süresi sırasıyla 90-120 gün ve 120-150 gün şeklinde hesaplanmıştır.

Görüldüğü gibi izole bölgelerde sızıntı yönetimi faaliyetlerinin uygulanmasıyla yapılan yatırımların 3-4 ay gibi kısa sürede amorti edilmektedir. Ayrıca sisteme kazandırılan su başka bölgelerin ihtiyacını karşılamada kullanılacağı için kaynakların verimli kullanılması açısından oldukça önemlidir.

Çalışmada ikinci olarak şebeke rehabilitasyonu yapılan 3 pilot bölge için fayda maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Battalgazi, Fırat ve Zaviye bölgeleri için ilk yatırım ve işletme maliyetleri, önlenen sızıntıdan beklenen faydalara göre yapılan yatırımların dönüş süresi sırasıyla, 9-10 yıl, 12-13 yıl ve 17-18 yıl hesaplanmıştır. Hesaplanan bu geri dönüş sürelerinden de anlaşılacağı üzere, şebeke rehabilitasyonu ilk yatırım maliyeti oldukça yüksek olan bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Şebeke rehabilitasyonu yapılan sistemlerde, uzaktan izleme ve kontrol sistemlerinden elde edilen fayda, sisteme ait tüm bileşenlerin koordinatlı olarak bilinmesi, su kayıp oranlarının düşük seviyede olmasında dolayı enerji, su ve personele verimliliğinin sağlanması, su kayıp yönetiminde diğer yöntemlerin uygulanması ile daha kısa sürede beklenen faydanın elde edilmesi gibi nedenlerden dolayı kentsel su yönetiminde uzun vadede önemli kazanımlar ve katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Sonuç olarak, bir dağıtım sisteminde su kayıplarının tespit edilmesi, azaltılması,

önlenmesi ve kontrol edilmesinde fayda maliyet analizi bileşenlerinin belirlenmesi ve analizinin gerçekleştirilmesinin oldukça önemli olduğu görülmektedir.

#### 5 Conclusions

In This Study;

- (i) Leakage management activities were applied in district metered areas created by preserving existing network conditions, and cost-benefit analysis was performed based on field data,
- (ii) Network rehabilitation was performed in isolated areas and cost-benefit analysis was made using field data.

For both cases, the benefit and cost components were determined, the initial investment and operating costs were calculated, the return periods of the investments made were analyzed and the efficiency assessment was made. As a result of the implementation of leakage management activities in district metered areas, a significant decrease was observed in the system input volume. In the Dabakhane and İstiklal regions, an average of 1600 m<sup>3</sup> and 1500 m<sup>3</sup> of water per day was saved, respectively, at the beginning and end of the work. It has been determined that the total costs per unit line length in Dabakhane and İstiklal regions are quite high. The return period of the investment made on the basis of the calculated cost and expected benefits was calculated as 90-120 days and 120-150 days, respectively. As can be seen, investments made with the implementation of leakage management activities in isolated areas are amortized in a short period of 3-4 months. In addition, since the water supplied to the system will be used to serve the needs of other regions, it is very important for the efficient use of resources. Secondly in the study, cost-benefit analysis has been performed for 3 pilot regions where network rehabilitation was performed. For Battalgazi, Fırat and Zaviye regions, the initial investment and operating costs and the return period of the investments made according to the expected benefits from the leakage were calculated, respectively, 9-10 years, 12-13 years and 17-18 years. As can be understood from these calculated return times, network rehabilitation emerges as a tool with a very high initial investment cost. It is thought that the following important gains and contributions will provide in the long term in urban water management in systems with network rehabilitation.

- i. The benefit obtained from remote monitoring and control systems,
- ii. Knowing all the components of the system in a coordinated manner,
- iii. Ensuring the efficiency of energy, water and personnel due to low water loss rates,
- iv. Applying other methods more obtaining the expected benefit in a short time. As a result, it is seen that it is very important to determine and analyze the cost-benefit analysis components in detecting, reducing, preventing and controlling water losses in a distribution system.

#### 6 Teşekkür

Bu çalışma, Fatih Mehmet DURMUŞÇELEBİ' tarafından tamamlanan Lisansüstü tezinden üretilmiştir. Yazarlar, desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi BAP Birimine (İÜBAP 2016/136, FOA-2018-626) ve MASKİ Genel Müdürlüğüne teşekkür etmektedir.



## 7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Fatih Mehmet DURMUŞÇELEBİ verilerin temin edilmesi, literatür taraması başlıklarında; Mahmut FIRAT, fikrin oluşturulması, analizlerin gerçekleştirilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi başlıklarında; Özgür ÖZDEMİR çalışmanın yazım denetim, içerik açısından kontrol edilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi başlıkların katkı sunmuşlardır.

## 8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izin alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## 9 Kaynaklar

- [1] Farley M, Wyeth G, Ghazali ZBM, Istandar A, Singh S. *The Manager's Non-Revenue Water Handbook. A Guide to Understanding Water Losses*. USA, Ranhill Utility Bernard and United States Agency for International Development (USAID), 2008.
- [2] Simbeye I. *Managing Non-Revenue Water: Non-Revenue Water Sourcebook for Trainers*. Germany, WAVE Capacity Building International, 2010.
- [3] Wu ZY, Sage P, Turtle D. "Pressure-Dependent leak detection model and its application to a district water system". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(1), 116-128, 2010.
- [4] Gomes, R., Marques, A.S., Sousa, J. "Decision support system to divide a large network into suitable District Metered Areas." *Water Science & Technology*, 65(9), 1667-1675, 2012.
- [5] Ferrari G, Savic D. "Economic performance of DMAs in water distribution systems". *Procedia Engineering*, 119, 189-195, 2015.
- [6] Gilbert D, Abraham E, Montalvo I, Piller O. "Iterative multistage method for a large water network sectorization into DMAs under multiple design objectives". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000835](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000835)
- [7] Laucelli DB, Simone A, Berardi L, Giustolisi O. "Optimal design of district metering areas for the reduction of leakages". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000768](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000768)
- [8] Hajibandeh E, Nazif S. "Pressure zoning approach for leak detection in water distribution systems based on a multi objective ant colony optimization". *Water Resources Management*, 32, 2287-2300, 2018.
- [9] Gomes R, Sousa J, Sa Marques A. "Influence of future water demand patterns on the district metered areas design and benefits yielded by pressure management". *Procedia Engineering*, 70, 744-752, 2014
- [10] Islam MS, Babel MS. "Economic analysis of leakage in the bangkok water distribution system". *American Society of Civil Engineers*, 139, 209-216, 2013.
- [11] Campbell E, Izquierdo J, Montalvo I, Garcia RP. "A novel water supply network sectorization methodology based on a complete economic analysis, including uncertainties". *Water*, 8, 179-198, 2016.
- [12] Fallis P, Hübschen K, Oertle E, Ziegler D, Kingel P, Baader J, Trujillo R, Laures C. *Guidelines for Water Loss Reduction: A Focus on Pressure Management*. Germany, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2011.
- [13] Tricarico C, Gargano R, Kapelan Z, Savic D, Marinis G D. "Economic level of reliability for the rehabilitation of hydraulic networks". *Civil Engineering and Environmental Systems*, 23, 191-207, 2006.
- [14] Suribabu CR, Neelakantan TR. "Sizing of water distribution pipes based on performance measure and breakage-epairreplacement economics". *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 18, 241-251, 2012.
- [15] Cabrera E, Pardo MA, Arregui FJ. "Tap water costs and service sustainability, a close relationship". *Water Resources Management*, 27, 239-253, 2013.
- [16] Zangenehmadar Z, Moselhi O. "Assessment of remaining useful life of pipelines using different artificial neural networks models". *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 2016. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000886](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000886)
- [17] Marchionni V, Cabral M, Amado C, Covas D. "Estimating water supply infrastructure cost using regression techniques". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2016. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000627](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000627)
- [18] Karathanasi I, Papageorgakopoulos C. "Development of a leakage control system at the water supply network of the city of Patras". *Procedia Engineering*, 162, 553-558, 2016.
- [19] Durmuşçelebi FM. Su Kayıplarının Önlenmesi için İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinin Rehabilitasyonu ve Fayda Maliyet Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye, 2018.
- [20] Morrison J, Tooms S, Rogers D. *District Metered Areas: Guidance Notes*. 1<sup>th</sup> ed. England, IWA Publishing, 2007.
- [21] Farley M, Trow S. *Losses in Water Distribution Networks: A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*. England, IWA Publishing, 2003.
- [22] Durmuşçelebi FM, Özdemir Ö, Firat M. "District metered areas for water loss management in distribution systems". *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 38(1), 149-170, 2020.
- [23] MASKİ. "Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü Yıllık Faaliyet Raporu". Malatya, Türkiye, 1, 2018.
- [24] Arregui F, Cabrera Jr E, Cobacho R. *Integrated Water Meter Management*. England, IWA Publishing, 2006.
- [25] Nicolini M, Giacomello C, Scarsini M, Mion M. "Numerical modeling and leakage reduction in the water distribution system of Udine". *Procedia Engineering*, 70, 1241-1250, 2014.
- [26] Aydogdu M, Firat M. "Estimation of failure rate in water distribution network using fuzzy clustering and LS-SVM Methods". *Water Resources Management*, 29, 1575-1590, 2015.
- [27] Boztaş F. İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Servis Bağlantılarında Meydana Gelen Sızıntıların Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye, 2017.