

## İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Şebeke Yenileme için Ekonomik Analiz Hesaplama Modelinin Geliştirilmesi

Salih YILMAZ<sup>1</sup>, Mahmut FIRAT<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çankırı, Türkiye

<sup>2</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

<sup>1</sup> salihymz@gmail.com, <sup>2</sup> mahmut.firat@inonu.edu.tr

(Geliş/Received: 27/12/2021;

Kabul/Accepted: 11/02/2022)

**Öz:** İçme suyu dağıtım sistemlerinde meydana gelen arızaların ve sızıntıların azaltılması için çok farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler zaman alıcı ve maliyetlidir. Bu nedenle yöntem uygulanmadan önce maliyet bileşenleri tanımlanmalıdır. Şebeke yenileme faaliyeti, kentsel su yönetiminde uygulanan yöntemler arasında en fazla maliyet oluşturan yöntemdir. Bu nedenle bir dağıtım sisteminde şebeke yenilemeye karar vermeden önce, gerekliliğin ortaya konulması, maliyet bileşenlerinin belirlenmesi ve hesaplanması ve bu analizlerin belirli bir standart yapıda gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada içme suyu dağıtım sistemlerinde şebeke yenileme faaliyetleri için fayda maliyet bileşenlerini dikkate alan ve analiz gerçekleştiren bir hesaplama modeli geliştirilmiştir. Bu hesaplama aracında şebeke yenilemede maliyet oluşturan tüm bileşenler saha verileri esas alınarak tanımlanmıştır. Ayrıca mevcut şebeke koşullarında şebekedeki boru malzeme ve çap dağılımları ve arıza oranları dikkate alınarak faydalı ömür analizi için model tanımlanmıştır. Bu modelde yeni yapılacak şebekedeki boru malzeme ve çap dağılımı da dikkate alınmakta ve fayda maliyet analizi gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen bu hesaplama aracının özellikle belediye ve su idarelerinde karar vericiler ve teknik personel için referans teşkil edeceği düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** İçme Suyu Dağıtım Sistemi, Şebeke Yenileme, Faydalı Ömür, Fayda Maliyet Analizi

## Development of Economic Analysis Calculation Model for Network Renewal in Water Distribution Systems

**Abstract:** Various methods are applied to reduce failures and leaks in water distribution systems. These methods are in many cases time consuming and costly. Therefore, cost components should be defined before the method is applied. Network renewal activity is the most costly method among the methods applied in urban water management. Therefore, before deciding on the renewal of the network in a distribution system, it is very important to reveal the necessity, determine and calculate the cost components, and carry out these analyzes in a certain standard structure. In this study, a web-based calculation tool that takes into account cost-benefit components and performs analysis for network renewal activities in drinking water distribution systems has been developed. In this calculation tool, all components that create cost in network renewal are defined on the basis of field data. In addition, a model has been defined for the useful life analysis by considering the pipe material and diameter distributions and failure rates in the current network conditions. In this model, the pipe material and diameter distribution in the new network is also taken into account and a cost-benefit analysis is carried out. It is thought that this developed calculation tool will be a reference for decision makers and technical personnel, especially in municipalities and water administrations.

**Key words:** Water Distribution System, Network Renewal, Useful Life, Cost-Benefit Analysis

### 1. Giriş

Kentsel su yönetiminde su idarelerinin en temel görevi olan istenilen miktarda ve kalitede suyun zamanında abonelere iletilmesinde yaşanan en önemli sorun şebekede arıza sayısı ve sızıntı hacminin yüksek oranlara ulaşmasıdır. Sistemin uzun dönemli yönetim modelinin oluşturulması ve işletme güvenliğinin sağlanması için bu oranların en aza indirilmesi oldukça önemlidir. Ancak hiçbir dağıtım sisteminde, şebeke ve elemanlarının dinamik yapısından arıza oranı veya sızıntı hacminin sıfır yapılması mümkün değildir. Arıza oranının ve sızıntı hacminin azaltılması ve işletme maliyetinin düşürülmesi için, basınç yönetimi [1-4], izole bölge tasarımı ve gece debisi analizi [5-7], boru malzeme yönetimi ve şebeke yenileme [8-10] gibi çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler farklı gereksinimlere, maliyetlere, uygulama zorluklarına ve avantajlara sahip olabilmektedir. Sürdürülebilir bir şebeke yönetiminin sağlanması için yöntem seçilirken teknik, uygunluk, uygulanabilirlik ve ekonomik ölçütler göz önünde bulundurulmalıdır [11-14]. Bu yöntemler incelendiğinde boru malzeme yönetimi

\* Sorumlu yazar: [mahmut.firat@inonu.edu.tr](mailto:mahmut.firat@inonu.edu.tr). Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup> 0000-0002-3206-1225, <sup>2</sup> 0000-0002-8010-9289

ve şebeke yenileme çalışması genel olarak en fazla ilk yatırım maliyeti oluşturan yöntem olarak değerlendirilmektedir. Gonelas vd. [15], gelir getirmeyen su hacminin azaltılmasının tüm su idarelerin ortak hedefi olduğunu ve seçilecek stratejilerde ekonomik analizlerin yapılmış olması gerektiğini ortaya koymuştur. Ekonomik kaçak seviyesinin en temel bileşenin basınç yöntemi olduğunu savunmuşlar ve yaptıkları çalışma ile seçilen pilot bölgede basınç müdahalelerinin faydaları ve maliyetleri analiz edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda basınç yönetiminin en etkili kayıp azaltma yöntemi olduğunu fakat yapılacak çalışmalarda yine de ekonomik analiz yapılması gerektiğini savunmuşlardır. Francisque vd. [16], şebeke yöneticilerinin su şebekesi yenileme veya değiştirme stratejilerini önceliklendirmelerine yardımcı olmak için kullanıcı dostu bir yaşam döngüsü maliyeti analizine dayalı karar destek aracı sunmaktadır. Farklı malzeme ve boyutlardaki su şebekeleri için bozulma eğrileri, arıza yapma olasılıklarına göre geliştirilmiştir. Ferrari ve Savic [5], izole bölge tasarımı ve saha imalatları için, öncelikle bu yöntemin uygulanması sonucunda sızıntının ve arızanın azaltılması, enerji ve su tüketiminin azaltılması ve verimliliğinin finansal olarak analiz edilmesini önermiştir. Bu amaçla çalışmada, verimlilik analizi gerçekleştirilmiş ve arıza sıklığı ve sızıntı azaltma kapsamında önemli ekonomik faydalar sağladığı ifade edilmiştir. Zamenian vd. [17], dağıtım sistemlerinde meydana gelen şebeke arızalarının, önemli sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerinin olduğunu, önemli su kayıplarına neden olduğu ve özellikle pompa ile beslenen sistemlerde enerji tüketimi üzerinde önemli etkilerinin olduğunu vurgulamıştır. Bu nedenle, boruların hasar oluşturma potansiyelinin belirlenmesi, mevcut durumun değerlendirilmesi, arıza oranı tahmini yapılarak yenileme yapılacak bölgelerin önceliklendirilmesi için stratejik varlık yönetimi planlarının oluşturulması gerektiğini belirtmiştir. Haider vd. [18], yaptıkları çalışmada Suudi Arabistan'da yapılan çalışmalarını incelemiş ve genel olarak su kayıplarının azaltılması amacıyla uygulanan temel yöntemlerin (aktif kaçak kontrolü, basınç yönetimi ve boru-malzeme yönetimi) ekonomik analizlerini yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda aktif kaçak yöntemi ile altyapı kaçak indeksi (ILI) seviyesinin 20'den 7.28'e kadar düşürülebileceği ve diğer yöntemlerinde uygulanması ile ekonomik olarak %43'lük bir kayıp sisteme kazandırılabilceğini tespit etmişlerdir. Ayrıca yapılan çalışmada su satış fiyatlarının artırılması ile aktif kaçak kontrolü ile elde edilebilecek faydanın artırılabilceği de önerilmiştir. Moslehi vd. [19], yaptıkları çalışmada su kayıp azaltma çalışmalarının ciddi maliyetler oluşturması nedeniyle yapılacak çalışmalarda ekonomik analiz yapılması gerekliliğini savunmuşlardır. Aktif kaçak kontrolünü referans alarak yaptıkları çalışma ile İran'ın Mashhad şehrinde kısa dönemli ekonomik kaçak seviyesini 27 m<sup>3</sup>/bağlantı sayısı/yıl olarak tanımlamışlardır. Kısa dönemli ekonomik kaçak seviyesinin basınçtan ve şebeke koşullarından önemli ölçüde etkilendiği ve su idareleri tarafından uygulanacak su yönetim politikalarında bu verilerin kullanılması gerektiğini savunmuşlardır. Sharma vd. [20], su kaybının sifıra indirilmesinin teknik ve ekonomik olarak mümkün olmadığını, su kayıp bileşenlerinin doğru bir şekilde analiz edilerek kayıp azaltma politikası oluşturulması gerektiğini savunmuşlardır. Literatürde kabul görmüş yöntemler için yapılan analizlerde farklı yöntemler için aynı bölgelerde birbirinden farklı sonuçlar alındığını ve bu nedenle yapılacak çalışmalarda en az 2 yöntemin kullanılarak birbiriyle kıyaslamasının yapılması gerektiğini savunmuşlardır.

Literatürde yapılan çalışmalarda da vurgulandığı gibi, şebeke yenileme yönteminde boru malzemesinin tamamen değiştirilmesi arıza sayısının ve sızıntı hacminin azaltılmasında önemli avantaj sağlamaktadır. Ancak bu yöntemde sistemde boru ve ekipmanları değiştirildiği için idare açısından ekonomik olarak önemli yük oluşturmaktadır. Bu nedenle bir dağıtım sisteminde şebeke yenilemeye karar vermeden önce, gerekliliğin ortaya konulması, maliyet bileşenlerinin belirlenmesi ve hesaplanması ve bu analizlerin belirli bir standart yapıda gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir. Bundan dolayı bu çalışmada, içmesuyu dağıtım sistemlerinde şebeke yenileme yaklaşımı için maliyet bileşenlerinin belirlenmesi ve bunların sistematik bir şekilde analizi için hesaplama aracının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için şebeke yenilemede maliyet bileşenleri detaylı bir şekilde tanımlanmış, saha verilerine göre farklı tipteki boru malzemeleri için birim maliyetler oluşturulmuş ve hesaplama aracına tanımlanmıştır. Böylece bir dağıtım sisteminde şebeke yenileme faaliyetleri için ekonomik analizin sistematik ve doğru bir şekilde yapılması için referans oluşturacak bir hesaplama metodolojisi önerilmiştir.

## 2. Şebekede Arıza ve Sızıntı Yönetimi

İçmesuyu dağıtım sistemlerinde şebekenin fiziksel özellikleri (yaşı, mevcut durumu, büyüklüğü), işçilik ve malzeme kalitesi, boru malzeme türü, trafik yükü ve titreşim, zemin özellikleri, sistem işletme basıncı ve basınç dalgalanması gibi birçok faktör arıza oluşumunda etkilidir [21-22]. Bu arıza sayısının fazla olması, arıza onarım maliyetlerini (işçilik, kazı, dolgu, malzeme, yol kaplama vb.) arttıran en temel bileşendir. Literatürde yapılan çalışmalarda şebeke arızalarının, toplam arızalara oranının yaklaşık %38 olduğu hesaplanmıştır [23-25]. Dağıtım sistemlerinde teknik olarak en düşük sızıntı seviyesini ifade yıllık kaçınılmaz sızıntıların (UARL) hesaplanmasında IWA tarafından önerilen ve denklem (1)'de verilen denklem önerilmiştir. Bu denklemin geliştirilmesinde arıza sayısı, bir arızadaki birim sızıntı debisi, arıza onarım süresi gibi bazı kabuller yapılmıştır (Tablo 1) [26]. İyi yönetilen bir dağıtım sisteminde teknik olarak oluşabilecek en düşük arıza oranları tanımlanmıştır.

Tabloda görüldüğü gibi, iyi şebeke koşullarında teknik olarak oluşabilecek en düşük arıza sayıları, şebeke ana hatlarında 13 arıza /100 km/yıl ve servis bağlantılarında 3 arıza/1000 bağlantı/yıl şeklinde tanımlanmıştır. Bu arıza

oranları şebekedeki teknik olarak en düşük arıza oranını ifade etmekte olup her şebeke için ekonomik olmayabilir. Bu arıza sayıları esas alınarak dağıtım sistemlerindeki ana hat ve servis bağlantılarda ayrı ayrı olmak üzere mevcut arıza sayıları ile kıyaslanarak arıza indeksleri hesaplanmaktadır [26]. Bu arıza indekslerinin 1'e yakın olması sistemin iyi durumda olduğu şeklinde yorumlanmaktadır. Böylece arıza sayısı ve yönetimi açısından uygulayıcı ve karar vericiler için sistemin mevcut durumunun değerlendirilmesi ve planlama yapılması için referans bilgi elde edilecektir.

**Tablo 1.** Yıllık kaçınılmaz kayıp hacminin analizinde kullanılan parametreler [26].

Bileşenler	Belirsiz Sızıntılar	Rapor Edilen Arızalar	Rapor Edilmeyen Arızalar
Şebeke Hattı	20 litre/km/saat	12.4 arıza /100 km / yıl 12 m <sup>3</sup> /saat/arıza* Arıza süresi: 3 gün =864 m <sup>3</sup> /arıza	0.6 arıza / 100km / yıl 6 m <sup>3</sup> /saat/arıza* Arıza süresi: 50 gün =7200 m <sup>3</sup> /arıza
Servis bağlantı (ana boru-parsel sınırı arası)	1.25 litre/bağlantı/saat	2.25arıza / 1000 bağlantı / yıl 1.6 m <sup>3</sup> /saat/arıza* Arıza süresi: 8 gün =307 m <sup>3</sup> /arıza	0.75arıza / 1000 bağlantı / yıl 1.6 m <sup>3</sup> /saat/arıza* Arıza süresi: 100 gün =3840 m <sup>3</sup> /arıza
Özel mülkteki servis bağlantı (parsel sınırı-sayaç arası)	0.5 litre/bağlantı/saat (her 15 m uzunluk için)	1.5arıza / 1000 bağlantı / yıl 1.6 m <sup>3</sup> /saat/arıza* Arıza süresi: 9 gün =346 m <sup>3</sup> /arıza	0.5arıza / 1000 bağlantı / yıl 1.6 m <sup>3</sup> /saat/arıza* Arıza süresi: 101 gün =3878 m <sup>3</sup> /arıza

Tabloda verilen belirsiz sızıntılar, bir dağıtım sisteminde kılcal çatlaklarda meydana gelen ve düşük debiye sahip sızıntıları ifade etmektedir. Bu sızıntılar altındaki katsayılar uluslararası su birliği (IWA) tarafından iyi şebeke koşullarında oluşan birim sızıntılardır. Rapor edilen arızalar, zemine yüzeyine çıkmakta, birim sızıntı debileri yüksek ve zemin yüzeyinden görüldüğü gibi farkına varma ve onarım süreleri kısadır. Diğer taraftan rapor edilmeyen sızıntılar, zemin yüzeyine çıkmamakta, tespit edilmesi için aktif sızıntı kontrolü uygulanmakta ve fark edilme ve onarım süreleri uzun olmaktadır. Tablodan da görüldüğü gibi, rapor edilmeyen sızıntıların birim sızıntı debisi daha düşük olmasına rağmen fark edilme ve yerini tespit süreleri (arıza süresi) fazla olduğu için bir arızadan dolayı meydana gelen toplam kayıp daha fazla olmaktadır.

Şebekede arıza sayısının fazla olması durumunda işletme maliyetinin artmasının yanı sıra, işletme koşullarının bozulması, sürekli su kesintisinin yaşanması, abone şikayetlerinin artması ve lokal olarak değiştirilen boru oranı gibi bir çok olumsuzluk ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle arıza yoğunluklarının ve ekonomik etkilerinin izlenmesi ve mevcut koşullarda devam edilmesi veya şebeke yenilemeye karar verilmesi seçenekleri değerlendirilmelidir. Şebeke yenileme ilk yatırım maliyeti oldukça yüksek olduğu için detaylı analiz yapılması oldukça önemlidir.

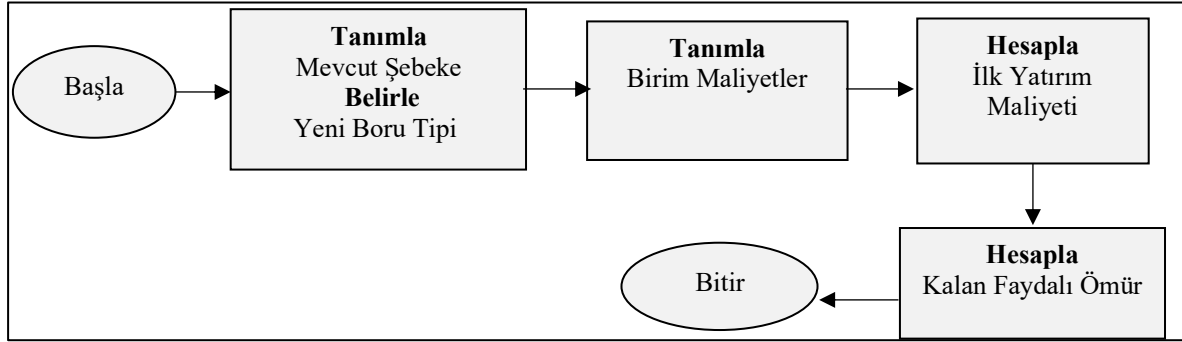
Dağıtım sistemlerinde su kayıplarının azaltılmasında, şebekede yer alan boru ve diğer bağlantı elemanlarının değiştirilmesini kapsayan ve genelde diğer aktif kaçak kontrolü yöntemlerine göre daha fazla maliyet oluşturan "şebeke yenileme" yöntemi birçok durumda öncelikli olarak tercih edilmektedir [27]. Ancak, dağıtım sisteminde, mevcut şebeke koşullarındaki arıza oranları, işletme, bakım ve onarım maliyetleri, yeni kaynak arama ve enerji maliyetleri göz önünde bulundurulmalı, şebeke yenileme durumunda ortaya çıkan ilk yatırım ve orta ve uzun dönemli işletme maliyetleri dikkate alınmalı lokal değiştirme ya da şebeke yenileme seçenekleri karşılaştırılmalıdır [27]. Literatürde yapılan çalışmalar genel olarak incelendiğinde şebekeler için faydalı ömür kavramının ön plana çıktığı görülmektedir. Bu kavram şebekelerin arıza onarımı, basınç yönetimi veya diğer temel yöntemlerle sızıntıların kontrol edilmesinin ekonomik olarak yönetilemediği durumlara odaklanmaktadır. Bir diğer deyişle şebekeyi işletmek amacıyla birim boru için harcanan maliyetin, borunun değiştirilmesi için harcanan maliyetten büyük olduğu durumlarda, şebeke için faydalı ömrünü tamamlamış şeklinde değerlendirme yapılabilir [27]. Faydalı ömrün belirlenmesinde izlenen önemli yöntemlerden biri Loganathan vd. [28] tarafından ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmada yıllık enflasyon oranı (R), yıllık arıza/boru onarım bedeli (C) ve şebekenin toplam yenileme maliyeti (F) değerleri kullanılarak arıza katsayısı (Brk) hesaplanmıştır.

$$Brk_n = \frac{\ln(1+R)}{\ln\left(\frac{C_{n+1} + \frac{F_{n+1}}{R}}{F_n}\right)} \quad (1)$$

İlgili denklemle hesap yapılabilmesi için öncelikle şebekenin toplam yenileme maliyetinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesap yapılması için her çap ve boru cinsi için birim imalat maliyetleri hesaplanmıştır (Yılmaz, 2021). İlgili maliyetin hesaplanabilmesi için kullanıcıların yenileme sırasında kullanmayı planladıkları boru cinsi ile, mevcut şebekenin ortalama boru çaplarını bilgileri geliştirilen hesaplama aracına tanımlanmalıdır. Söz konusu maliyet kalemlerinin ilk fiyatlarının hesaplanmasının ardından denklem (1)'de belirtilen esaslar doğrultusunda her yıl için faiz oranları da dikkate alınarak yenileme maliyetleri, arıza maliyetleri ve su kayıp maliyetleri ayrı ayrı hesaplanır.

$$BRK_n > BRK_{n+1} \text{ ve } BRK_n > BRK_{n-1} \quad (2)$$

Yapılan hesapların (2) nolu denklemleri aynı anda sağladığı nokta şebekenin kalan faydalı ömrünü verecektir. Bir diğer deyişle grafiğin (Şekil 6) minimum noktasının yılı kestiği nokta kalan faydalı ömürdür (Yılmaz, 2021). Böylelikle mevcut şebeke durumu, yenileme şartları ve yıllık faiz oranları dikkate alınarak şebekelerin faydalı kalan ömrünün hesabı yapılmış olacaktır. Söz konusu pik noktası eğer hiç oluşmuyorsa yani;  $BRK_n > BRK_{n+1}$  ve  $BRK_n > BRK_{n-1}$  şartı hiç sağlanmıyorsa şebeke ekonomik ömrünü tamamlamış anlamına gelmektedir. Bu durumda mevcut şebeke hemen yenilenmelidir. Dağıtım sistemlerinde şebekede yer alan boru ve diğer bağlantı elemanlarının değiştirilmesini kapsayan “şebeke yenileme” yöntemi birçok durumda diğer su kayıp azaltma yöntemlerine göre daha maliyetli olmaktadır. Ancak şebekenin faydalı ömrünü tamamladığı anlaşıldığı durumlarda ilk olarak değerlendirilmesi gereken bir su kayıp azaltma yöntemi olmaktadır. Şebeke yenileme ve boru malzemesi için maliyet hesabı algoritması Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Şebeke yenileme ve malzeme yönetimi için maliyet analizi akış diyagramı [27].

### 3. Şebeke Yenileme Ekonomik Analizi için Hesaplama Aracının Geliştirilmesi

Su kayıp yönetimi için uygulanan yöntemler oldukça maliyetlidir. Bu nedenle, uzun dönemli uygulanabilir ve yönetilebilir bir strateji ortaya koymak için, yöntemlere ait tüm bileşenler dikkate alınmalı, faydalar ve maliyetler için standart yapı tanımlanmalı, sistematik ve sürdürülebilir analiz gerçekleştirilmelidir. Bunları sürekli yapabilmek için hesaplama aracı geliştirilmeli ve uygulanmalıdır. Bu nedenle bu çalışmada, su kayıp yöntemlerine ait sistematik maliyet analizleri için “şebeke yenileme yöntemi ve bileşenleri için ekonomik analiz hesaplama aracı” geliştirilmiştir. Bu hesaplama aracında veriler “veri giriş ekranında” girilmekte (Şekil 2) [27] ve tüm modül sayfalarına otomatik olarak aktarılmaktadır [27]. Bu hesaplama modeline [www.sukayipyonetimi.com](http://www.sukayipyonetimi.com) adresinden ulaşılabilir. Bu hesaplama modüllerinde değişkenlere ait birim maliyetler, Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi ve Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlükleri faaliyet alanında sahada yapılan çalışmalar esas alınmıştır. Bu çalışmalar ve analizler esas alınarak ve 2020 yılı birim fiyatları dikkate alınarak belirlenmiş ve sisteme tanımlanmıştır. Ancak bu birim fiyatların kullanıcı tarafından değiştirilmesi ve yeni değer girilmesi de mümkün olmaktadır.

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

Ŗekil 2. Ekonomik analiz hesaplama aracı veri giriŖ ekranı

İzole ölçüm bölgelerinde sızıntıların farkına varılmasında uygulanan en temel yaklaŖım minimum gece debisinin ölçülmesi ve izlenmesidir. Gece debisi, tüketimin en düşük olduğu gece saatlerinde (genelde 02:00-04:00 arası) ölçülmekte, gece yasal tüketimler hesaplanmakta, belirsiz sızıntılar Ŗebeke özelliğine göre analiz edilmekte ve buna göre bölgede potansiyel olarak önlenebilir sızıntılar belirlenmektedir. Bu analizler ve değerlendirmeler günlük olarak her bir bölgede yapılmalıdır. Bu nedenle bölgede sızıntı oranları hakkında daha doğru bir değerlendirme yapmak amacıyla minimum gece debisi de bir parametre olarak dikkate alınmaktadır.

Ortalama sistem iŖletme basıncı, bölge giriŖinde ve/veya kritik noktalarda ölçülen ve izlenen basıncı temsil etmektedir. Bir dağıtım sisteminde yeni arıza oluŖumunda ve/veya mevcut arızalarda sızıntı hacminin artmasında sistem iŖletme basıncı doğrudan etkilidir. O nedenle analizlerde bu parametre dikkate alınmıŖtır. Ŗebeke ana hat uzunluğu, sistemin büyüklüğünü tanımlamada kullanılan en temel veriden biri olarak gösterilir. Ŗebeke hat uzunluğu arttıkça, potansiyel sızıntı nokta sayısı artmaktadır. Ayrıca Ŗebeke uzunluğuna bağlı olarak sızıntıların farkına varılması ve Ŗebekenin yönetilmesi daha zorlaŖacaktır. Bu nedenle Ŗebeke uzunluğu sistem iŖletmede en temel parametre olduğu için analizlerde kullanılmıŖtır. Ŗebekedeki arıza sayısı, rapor edilen ve arıza yönetim sisteminde tutulan ve onarılan arızaları kapsamaktadır. Fiziki kayıp miktarı, dağıtım sistemindeki sızıntılar olarak tanımlanabilir. Servis bağlantı arıza sayısı, servis bağlantılarında oluŖan rapor edilen ve arıza yönetim sisteminde tutulan ve onarılan arızaları kapsamaktadır. Toplam yüzeye çıkan arızalar, Ŗebeke ve servis bağlantılarında meydana gelen yüzeye çıkan arızaların toplamına eŖittir. Bir izole ölçüm bölgesinde iŖletme maliyetini arttıran, hizmet seviyesinin düşmesine neden olan, iŖletme koŖullarının bozulmasında en temel faktörler sistemdeki arıza sayıları ve sızıntılardır (fiziki kayıplar). Dağıtım sisteminin en temel iki parametresi Ŗebeke ana hat uzunluğu ve servis bağlantı sayısıdır. Bu iki temel bileŖende meydana gelen arıza sayıları, arıza onarım maliyetleri ve birim sızıntı debileri farklı olduğu için geliŖtirilen sistemde bunlara ait veriler ayrı ayrı dikkate alınmıŖtır. Diğer taraftan izole bölge sınırları içinde yer alan ve idaredeki abone yönetim sisteminde kayıtlı abonelerin sayısı toplam abone sayısı olarak ifade edilmiŖtir. Sisteme verilen suyun iletildiği ve gelirin elde edildiği bileŖen yasal abone tüketimleridir. Su bütçesi analizinin ve iŖletme gelirinin doğru bir Ŗekilde dikkate alınması için abone sayıları ve bu aboneler tarafından tüketilen yasal kullanımlar bir parametre olarak göz önünde bulundurulmuŖtur. Dağıtım sisteminde birim su satıŖ bedeli kurumun geliri üzerinde doğrudan etkilidir. Sistem verimliliğinin sağlanması ve yatırımların planlandığı gibi yapılabilmesi için parametrenin detay analizlerle belirlenmesi gerekir.

Fiziki kayıpların yönetilmesinde yaygın bir Ŗekilde uygulanan ve genel olarak en yüksek maliyet oluŖturduęu için en son Ŗeçenek olarak dikkate alınması sistem verimliliği açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, geliŖtirilen Ŗebeke yenileme için ekonomik

analiz modülünde şebeke yenilemeden önce şebeke bilgileri, arıza oranları ve diğer işletme bilgileri esas alınarak fayda ve maliyetlerin hesaplanması mümkün olmaktadır. Bu amaçla öncelikle Şekil 3'te verilen verilerin sisteme tanımlanması gerekmektedir.

Verilerin Girilmesi	Açıklama	Değer	Birim
Şebeke Anahat Uzunluğu (Lm)	ILI analiz #9 verisi girilmiŝe ilgili değerin (x1000) katı alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Giriŝi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	8,000.00	m
Birim Su Üretim Maliyeti	PI analiz #45 verisi girilmiŝe ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Giriŝi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	2.00	TL/m3
Bölgede Kaydedilen Yıllık Şebeke Arıza Sayısı	PI analiz #34 verisi girilmiŝe ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Giriŝi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	20.00	adet
Bölgede Kaydedilen Yıllık Abone Arıza Sayısı	PI analiz #35 verisi girilmiŝe ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Giriŝi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	30.00	adet
Fiziksel Kayıp Miktarı	Su dengesi hesaplanmış ise 'Fiziki Kayıplar (m3)' değeri alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Giriŝi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	60,000.00	m3
Şebeke Arızası Onarım 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
Abone Arızası Onarım 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 1350	TL/adet
Yıllık Enflasyon Oranı	Merkez Bankası tarafından yıllık olarak açıklanmaktadır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 0.1275	%

Şekil 3. Şebeke yenileme ekonomik analizi için temel işletme verilerinin tanımlanması.

Şekil 2'de verilen veri ekranında, su üretim ve arıza onarım maliyetleri yer almaktadır. Su üretim maliyeti, sistemin işletme maliyeti üzerinde etkili olan, kurumun en önemli giderini ifade eden ve su satış bedelinin belirlenmesinde dikkate alınması gereken en temel parametreden biridir. Bu maliyeti, sistemdeki pompa ve terfi maliyetleri, varsa su arıtma maliyeti ve varsa isale hattındaki ara terfi istasyonlardaki enerji maliyetlerini içermektedir. Diğer taraftan arıza onarım maliyeti, dağıtım sistemindeki bir arızanın onarılmasında harcanan maliyeti ifade eder. Bu maliyet, kazı, işçilik, malzeme, dolgu ve yol kaplama maliyeti gibi detayları içermektedir. Sistem verimliliği üzerinde doğrudan etkiye sahip olan bu iki bileŝen analizlerde girdi olarak dikkate alınmıştır.

Şekilden de görüldüğü sisteme ait temel verilerin yanı sıra birim arıza onarım maliyeti sisteme otomatik tanımlanmış durumdadır. Bu maliyet KASKİ ve MASKİ saha verileri esas alınarak belirlenmiş olup kullanıcı tarafından deęiŝtirilebilmektedir. Bu maliyetler şebeke arızası ve servis bağlantı arızası için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Geliştirilen modüde detay analizlerin yapılabilmesi için Şekil 4'te şebeke bilgilerinin ayrıca sisteme tanımlanması gerekir.

Rehabilitasyon Durumunda Yapılması Planlanan Boru Cinsi	Kullanıcı tarafından seçilecektir.	Düktül	
Mevcut Şebekenin Tanıtılması	Açıklama	Değer	Birim
Şebekede Ø150 mm'den Küçük Boru Yüzdesi	Kullanıcı tarafından girilmelidir.	20	%
Şebekede Ø150 - Ø300 mm Arası Boru Yüzdesi	Kullanıcı tarafından girilmelidir.	40	%
Şebekede Ø300 - Ø500 mm Arası Boru Yüzdesi	Kullanıcı tarafından girilmelidir.	10	%
Şebekede Ø500 - Ø700 mm Arası Boru Yüzdesi	Kullanıcı tarafından girilmelidir.	30	%
Şebekede Ø700mm'den Büyük Boru Yüzdesi	Kullanıcı tarafından girilmelidir.	0	%

**Şekil 4.** Şebeke yenileme ekonomik analizi için mevcut şebekenin tanıtılması.

Şekil 4 incelendiğinde, boru çapları gruplandırılmış ve kullanıcılar tarafından sistemdeki sınıflara denk gelen boru yüzdeleri girmeleri istenmektedir. Bilindiği üzere boru çapına bağlı olarak, arıza onarım maliyeti, şebeke yenileme maliyeti artmakta ve boru çapına bağlı olarak arıza sayılarında değişiklikler gözlenmektedir. Geliştirilen sistemde bu etkilerin dikkate alınması için boru çapları şekilde görüldüğü gibi gruplandırılmıştır.

Dağıtım sistemlerinde boru malzemesi türü, arıza sayısı, oranı, bakım-onarım maliyetleri, basına bağlı olarak birim sızıntı debisi ve şebeke yenileme maliyetleri üzerinde doğrudan etkilidir. Bu nedenle geliştirilen ekonomik analiz modelinde ve hesaplama aracında boru malzeme türü dikkate alınmıştır. Bu amaçla sistemde PVC, DÜKTİL, HDPE, Çelik boruların inşaat maliyetlerinin boru çapına göre değişimleri sırasıyla Şekil 5'teki gibi sisteme tanıtılmaktadır.

PVC Boru için İnşaat Maliyetleri	Açıklama	Değer	Birim
Şebekede Ø150 mm'den Küçük Boru İmalatı	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 110	TL/m
Şebekede Ø150 - Ø300 mm Arası Boru İmalatı	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 345	TL/m
Şebekede Ø300 - Ø500 mm Arası Boru İmalatı	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 600	TL/m
Şebekede Ø500 - Ø700 mm Arası Boru İmalatı	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 950	TL/m
Şebekede Ø700mm'den Büyük Boru İmalatı	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 1350	TL/m

İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Şebeke Yenileme için Ekonomik Analiz Hesaplama Modelinin Geliştirilmesi

Düktül Boru İçin İnşaat Maliyetleri	Açıklama	Değer	Birim
Şebekede Ø150 mm'den Küçük Boru İmalatı	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 250	TL/m
Şebekede Ø150 - Ø300 mm Arası Boru İmalatı	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 460	TL/m
Şebekede Ø300 - Ø500 mm Arası Boru İmalatı	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 810	TL/m
Şebekede Ø500 - Ø700 mm Arası Boru İmalatı	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 1200	TL/m
Şebekede Ø700mm'den Büyük Boru İmalatı	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 1750	TL/m

HDPE Boru İçin İnşaat Maliyetleri	Açıklama	Değer	Birim
Şebekede Ø150 mm'den Küçük Boru İmalatı	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 125	TL/m
Şebekede Ø150 - Ø300 mm Arası Boru İmalatı	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 360	TL/m
Şebekede Ø300 - Ø500 mm Arası Boru İmalatı	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 640	TL/m
Şebekede Ø500 - Ø700 mm Arası Boru İmalatı	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 950	TL/m
Şebekede Ø700mm'den Büyük Boru İmalatı	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 1400	TL/m



Çelik Boru için İnşaat Maliyetleri	Açıklama	Değer	Birim
Şebekede Ø150 mm'den Küçük Boru İmalatı	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 214	TL/m
Şebekede Ø150 - Ø300 mm Arası Boru İmalatı	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 420	TL/m
Şebekede Ø300 - Ø500 mm Arası Boru İmalatı	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 760	TL/m
Şebekede Ø500 - Ø700 mm Arası Boru İmalatı	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 1100	TL/m
Şebekede Ø700mm'den Büyük Boru İmalatı	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 1600	TL/m

Şekil 5. Farklı boru malzemeleri için şebeke yenileme durumunda boru döşeme maliyetleri.

Şekil 5 incelendiğinde, bölgede yeni imalat yapılması durumunda tercih edilecek boru malzeme türünün girilmesi gerekir. Ayrıca boru malzeme türüne göre hangi çapta boruların kullanılması gerektiği gibi en temel veriler istenmektedir. Boru malzeme türü ve boru çapı ilk yatırım maliyeti üzerinde doğrudan etkilidir. Boru malzeme türünü göre malzeme temin fiyatları değişmekte, taşıma ve sahada imalat maliyetleri doğrudan etkilenmektedir. Dolayısıyla yeni yapılacak imalatın maliyetinin tanımlanmasında ve veriminin analiz edilmesinde bu veriler oldukça önemlidir.

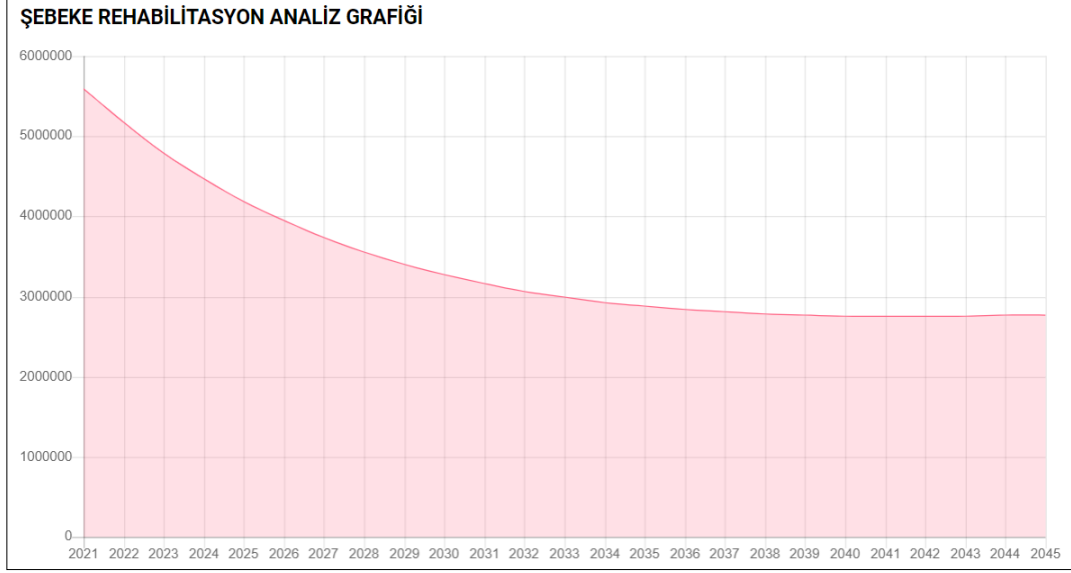
Söz konusu maliyetler boru fiyatları, boru ek parça fiyatları, kazı dolgu maliyetleri, işçilikler ve nakliyeler belirli standartlarda kabul edilerek 2020 yılı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı poz fiyatlarıyla hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar belirli kabulleri içerdiğinden kullanıcıların bulunduğu şehir özelinde yeni maliyetleri girebilmesine imkan tanıyacak şekilde tasarlanmıştır. Yukarıda tanımlanan birim maliyetler, boru tipine göre birim değişim maliyetleri ve şebeke bilgileri esas alınarak hesaplama aracı tarafından belirlenen ilk maliyetler Şekil 6'da gösterilmektedir. Ayrıca şebeke yenileme analiz sonuçları Şekil 7'de verilmektedir.

İlk Maliyetlerin Hesabı	Açıklama	Değer	Birim
Şebeke Değişim Maliyeti	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmıştır. (TL/yıl)	5,400,000.00	TL
Arıza Onarım Yıllık Maliyeti	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmıştır. (TL/yıl)	77,500.00	TL/yıl
Su Kayıp Yıllık Maliyeti	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmıştır. (TL/yıl)	120,000.00	TL/yıl

Şekil 6. Hesaplama aracında belirlen ilk maliyetler.

Girilen değişkenler ve veriler doğrultusunda 3 farklı maliyet hesaplanmaktadır. Bu kapsamda; şebeke uzunluğunu, boru çaplarını ve planlanan şebekede ki boru cinsini esas alan "şebeke değişim maliyeti", yıllık arıza sayısını ve arıza onarım bedelini dikkate alan "arıza onarım yıllık bedeli" ve yıllık su kayıp miktarı ile su üretim/satış fiyatını dikkate alan "su kayıp yıllık maliyeti" hesaplanmaktadır. Şebeke değişim maliyeti bize ilk yatırım maliyetini vermekteyken, arıza onarım ve su kayıp yıllık maliyetleri ise şebekenin mevcut durumda oluşturduğu yıllık kayıp maliyetleri göstermektedir. Şebeke değişim maliyetinde önceki aşamalarda girilen boru malzeme türü, çapı ve uzunluk oranları doğrudan etkilemektedir. Arıza onarım maliyeti ise bölgede arıza sayısına, boru malzemesine ve arızanın yerine (servis bağlantı, şebeke ana hat üzerinde) göre değişmektedir. Diğer taraftan su kayıp maliyeti, dağıtım sisteminde meydana gelen arıza sayısı, arızaların ortalama çözüm süresi ve bir arızadaki ortalama birim sızıntı debisi (boru malzeme türü, çatlak tipi, sistem basıncı doğrudan etkilidir) gibi faktörlere göre belirlenmekte ve değişmektedir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda ilgili şebeke için kalan faydalı ömrün 20 yıl olduğu hesaplanmıştır. Bu şebekenin yaklaşık 20 yıl içerisinde değiştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu tarz şebekelerde, kayıp azaltma yöntemleri için şebeke değişimi yerine su kayıp azaltma yöntemlerinin uygulanması daha ekonomik olacaktır.



Şekil 7. Şebeke Yenileme analiz grafiği.

ŞEBEKE REHABİLİTASYON ANALİZİ		
Şebekeye Kalan Faydalı Ömür	Hesaplanan Değer	Yıl
Şebekeye Kalan Faydalı Ömür	2,751,309.303	20
<b>Bu şebekenin 20 yıllık ömrü kalmıştır</b>		

Şekil 8. Şebeke Yenileme sonuç sayfası.

Şekil 7 ve 8 incelendiğinde, şebekenin mevcut koşullarda hizmet vermesi durumunda sistem verimliliğinin sağlanacağı görülmektedir. Sistemdeki arızaların ve sızıntıların yönetilmesi ve verimliliğin sağlanması için daha az maliyet oluşturan aktif sızıntı kontrolü ve basınç yönetimi gibi yöntemler uygulanabilir. Bu aktif sızıntı kontrolünün uygulanması ile arızalar daha kısa sürede belirlenebilecek sızıntı oranı azaltılacaktır. Diğer taraftan basınç yönetimine uygulanmasına bağlı olarak borular daha az basınca ve basınç dalgalanmalarına maruz kalacak ve dolayısıyla hasar riski azalacaktır. Böylece daha az maliyetle sistem işletilecek ve ilk yatırım maliyetinin yüksek olduğu şebeke yenileme ötelenmiş olacaktır.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada içme suyu dağıtım sistemlerinde şebeke yenileme faaliyetleri için fayda maliyet bileşenlerini dikkate alan ve analiz gerçekleştiren bir hesaplama modeli geliştirilmiştir. Bu hesaplama modelinde saha verileri temel alınarak şebeke yenileme için maliyet oluşturan bileşenler ve bunların birim maliyetleri tanımlanmıştır. Ayrıca boru malzemesinin değiştirilmesi durumunda elde edilecek potansiyel faydalar göz önüne alınarak şebekenin ekonomik ömrünün hesaplanması da mümkün olmaktadır. Dağıtım sistemlerinde boru malzemesi türü, arıza sayısı, oranı, bakım-onarım maliyetleri, basına bağlı olarak birim sızıntı debisi ve şebeke yenileme maliyetleri üzerinde doğrudan etkilidir. Bu nedenle geliştirilen ekonomik analiz modelinde ve hesaplama aracında boru malzeme türü dikkate alınmıştır. Geliştirilen şebeke yenileme için ekonomik analiz modülünde şebeke yenilemeden önce şebeke bilgileri, arıza oranları ve diğer işletme bilgileri esas alınarak fayda ve maliyetlerin hesaplanması mümkün olmaktadır. Bu hesaplama modüllerinde değişkenlere ait birim maliyetler, Kayseri KASKİ ve Malatya MASKİ sahalarında yapılan çalışmalar, analizler esas alınarak ve 2020 yılı birim fiyatları dikkate alınarak belirlenmiş ve sisteme tanımlanmıştır. Ancak bu birim fiyatların kullanıcı tarafından değiştirilmesi ve yeni değer girilmesi de mümkün olmaktadır. Ülkemizde genel olarak şebeke yönetiminde en pahalı yaklaşım olan

şebeke yenileme faaliyetleri öncelikli olarak tercih edilmektedir. Bu da ilk yatırım maliyetinin artmasına ve sistemin ekonomik olarak verimsiz yönetilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada geliştirilen hesaplama aracının özellikle uygulayıcı ve karar vericiler için referans teşkil edeceği düşünülmektedir.

## Teşekkür

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

## Kaynaklar

- [1] Candelieri A, Soldi D, Archetti F. Cost-effective sensors placement and leak localization – the Neptun pilot of the ICeWater Project. *J. Water Supply Res. Technol* 2015; 64(5): 567–582.
- [2] Berardi L, Laucelli DB, Simone A, Mazzolani G, Giustolisi O. Active Leakage Control with WDNNetXL, *Procedia Eng* 2016; 154: 62–70.
- [3] Cabral M, Loureiro D, Almeida M, Covas D. Estimation of costs for monitoring urban water and wastewater networks. *J. Water Supply Res. Technol. - AQUA* 2019; 68(2): 87–97.
- [4] Lipiwattanakarn S, Kaewsang S, Pornprommin A, Wongwiset T. Real benefits of leak repair and increasing the number of inlets to energy. *Water Sci* 2019; 14(3): 714–725.
- [5] Ferrari G, Savic D. Economic performance of DMAs in water distribution systems. *Procedia Eng* 2015; 119(1): 189–195.
- [6] Campbell E, Izquierdo J, Montalvo I, Pérez-García R. A novel water supply network sectorization methodology based on a complete economic analysis, including uncertainties. *Water (Switzerland)* 2016; 8(5):179.
- [7] di Nardo A, di Natale M, Giudicianni C, Santonastaso GF, Tzatchkov V, Varela JMR. Economic and energy criteria for district meter areas design of water distribution networks. *Water (Switzerland)* 2017; 9(7): 1–13.
- [8] Rogers D, Calvo B. “Defining the rehabilitation needs of water networks. *Procedia Eng* 2015; 119(1): 182–188.
- [9] Marchionni V, Cabral M, Amado C, Covas D. Estimating water supply infrastructure cost using regression techniques. *J. Water Resour. Plan. Manag* 2016; 142(4): doi: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000627.
- [10] Agathokleous A, Christodoulou S. Component-holistic condition assessment of water distribution networks. *J. Water Supply Res. Technol* 2017; 64(7): 509–519.
- [11] Mutikanga HM, Sharma SK, Vairavamoorthy K. Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems. *J. Water Resour. Plan. Manag* 2013; 139(2): 166–174.
- [12] Ezbakhe F, Foguet A. Embracing data uncertainty in water decision-making: an application to evaluate water supply and sewerage in Spain. *Water Supply* 2019; 19(3): 778–788.
- [13] Jensen O, Nair S. Integrated Urban Water Management and Water Security: A Comparison of Singapore and Hong Kong. *Water* 2019; 11(4): 785.
- [14] Lopez ST, Barrionuevo M, Labajos B. Water accounts in decision-making processes of urban water management: Benefits, limitations and implications in a real implementation. *Sustain. Cities Soc* 2019; 50: 101676.
- [15] Kanakoudis V, Gonelas K. Non-revenue water reduction through pressure management in Kozani’s water distribution network: from theory to practice. *Desalin. Water Treat* 2016; 57(25): 11436–11446.
- [16] Francisque A, Tesfamariam S, Kabir G, Haider H, Reeder A, Sadiq R. Water mains renewal planning framework for small to medium sized water utilities: a life cycle cost analysis approach. *Urban Water Journal* 2017; 14(5): 493–501
- [17] Zamenian H, Mannering FL, Abraham DM, Iseley T. Modeling the Frequency of Water Main Breaks in Water Distribution Systems: Random-Parameters Negative-Binomial Approach. *J. Infrastruct. Syst* 2017; 23(2): 04016035.
- [18] Haider H, Al-Salamah S, Ghazaw YM, Abdel-Maguid RH, Shafiquzzaman M, Ghumman AR. Framework to establish economic level of leakage for intermittent water supplies in arid environments. *J. Water Resour. Plan. Manag* 2019; 145(2): 1–12.
- [19] Moslehi I, Ghazizadeh MRJ, Khoshghalb EY. Economic analysis of pressure management in water distribution networks. *J. Water Wastewater* 2019; 31(2): 100–117.
- [20] AL-Washali T, Sharma S, Lupoja R, AL-Nozaily F, Haidera M, Kennedy M. Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply. *Resour. Conserv. Recycl* 2020; 152: 104515.
- [21] Lambert AO, Hirner W. Losses from water supply systems: Standard terminology and recommended performance measures. Blue pages, IWA, 2000.
- [22] Farley M, Wyeth G, Ghazali ZBM, Istandar A, Singh S. The Manager’s Non-Revenue Water Handbook. A Guide to Understanding Water Losses. 2008.
- [23] Nicolini M, Giacomello C, Scarsini M, Mion M. Numerical modeling and leakage reduction in the water distribution system of Udine. *Procedia Eng* 2014; 70: 1241–1250.
- [24] Aydogdu M, Firat M. Estimation of Failure Rate in Water Distribution Network Using Fuzzy Clustering and LS-SVM Methods. *Water Resour. Manag* 2015; 29(5): 1575–1590.
- [25] Boztaş F, Özdemir Ö, Durmuşçelebi FM, Firat M. Analyzing the effect of the unreported leakages in service connections of water distribution networks on non-revenue water. *Int. J. Environ. Sci. Tech* 2019; 16(8): 4393–4406.

- [26] Lambert AO, Brown TG, Takizawa M, Weimer D. A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *J. Water Supply Res. Technol. - AQUA* 1999; 48(6), 227–237.
- [27] Yılmaz S. Su Kayıp Yönetiminde Ekonomik Kaçak Seviyesinin Optimizasyon Algoritmalarıyla Belirlenmesi. İnönü Üniversitesi, 2021.
- [28] Loganathan GV, Park S, Sherali HD. 2002. Threshold break rate for pipeline replacement in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management* 2002; 128(4)4: 271–279.