







SU KAYIP YÖNETİMİNDE İZOLE BÖLGE TASARIMI VE AKTİF KAÇAK KONTROLÜNÜN EKONOMİK ANALİZLERİ İÇİN HESAPLAMA ARACININ GELİŞTİRİLMESİ

¹Salih YILMAZ , ²Mahmut FIRAT , ³Özgür ÖZDEMİR , ⁴Abdullah ATEŞ 

¹Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi, Malatya, TÜRKİYE

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, TÜRKİYE

³Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi, Kayseri, TÜRKİYE

⁴İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, TÜRKİYE

¹salihyilmaz@maski.gov.tr ²mahmut.firat@inonu.edu.tr, ³ozgurozdemir@kaski.gov.tr,

⁴abdullah.ates@inonu.edu.tr

(Geliş/Received: 16.09.2020; Kabul/Accepted in Revised Form: 10.02.2021)

ÖZ: Dağıtım sistemlerinde meydana gelen sızıntıların önemli teknik, sosyal ve ekonomik etkileri olmaktadır. Bu etkilerin azaltılması için, uygunluk, uygulanabilirlik ve ekonomik ölçütler esas alınarak en uygun önleme yöntemlerinin seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, sürdürülebilir su kayıp yönetiminin sağlanması amacıyla, izole ölçüm bölgeleri ve aktif kaçak kontrolü yöntemleri için, ekonomik analiz yapısının oluşturulması ve bu analizlerin sistematik ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için hesaplama aracının geliştirilmesi amaçlanmıştır. İzole bölgeler için, gerekli bölge ve izolasyon vana sayısı, saha çalışmaları gibi bileşenlerin maliyet analizleri gerçekleştirilmektedir. Aktif kaçak kontrolü ekonomik analiz yapısında, sızıntı yerinin tespit edilmesi, onarılması ve izlenmesi faaliyetleri yer almaktadır. Bu analizlerin sistematik ve doğru bir şekilde yapılması için web tabanlı bir hesaplama aracı geliştirilmiştir. Bu hesaplama aracı ile pilot veri seti için analiz yapılmış ve sonuçlar tartışılmıştır. Geliştirilen bu ekonomik analiz modelinin ve hesaplama aracının sızıntı yönetiminin temel yöntemleri için ekonomik değerlendirme açısından referans oluşturacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Su kayıp yönetimi, İzole bölge, Aktif kaçak kontrolü, Ekonomik analiz, Hesaplama aracı

Development of Calculation Tools for Economic Analysis Active Leakage Control and District Metered Area Methods Applied in Water Loss Management

ABSTRACT: Leaks occurring in distribution systems have important technical, social and economic impacts. In order to reduce these impacts, the most appropriate prevention methods should be selected based on suitability, applicability and economic criteria. In this study, it is aimed to develop an economic analysis structure for isolated measurement zones and active leakage control methods in order to ensure sustainable water loss management and to develop a calculation tool to perform these analyzes systematically and accurately. Cost analysis of components such as required zone and number of isolation valves, field studies are performed for isolated zones. The economic analysis structure of the active leakage control includes the detection, repair and monitoring of the leak location. A web-based calculation tool has been developed to make these analyzes systematically and accurately. With this calculation tool, analysis was made for the pilot data set and the results were discussed. It is thought that this economic analysis model and calculation tool developed will constitute a reference for the basic methods of leakage management in terms of economic evaluation.

Key Words: Water loss management, District metered area, Active leakage control, Economic analysis, analysis tool

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dağıtım sistemlerinde yüzeye çıkmayan sızıntıların yönetilmesinde Aktif Kaçak Kontrolü (AKK) yaklaşımı kullanılmaktadır. AKK, sızıntının farkına varılması, yerinin tespiti, onarılması, izlenmesi ve kontrol edilmesi çalışmalarını kapsamaktadır. Bu yöntemin temelini ise Ölçülebilir izole Alt Bölge (ÖAB) tasarımı ve sahada uygulanması oluşturmaktadır. İzole bölgenin sınırları diğer şebekelerden izole edildiği için, sistemin izlenmesi, kontrol edilmesi, sızıntıların yönetilmesi ve önlenmesi büyük dağıtım sistemlerine göre daha avantajlı ve kolay olmaktadır. Literatürde AKK ve ÖAB yaklaşımlarının sızıntı yönetiminde uygulandığı görülmekte ve yöntemlerin uygulanmasında ekonomik değerlendirmelerin yapılması gerektiği vurgulanmaktadır (Lambert ve diğ., 1999; Puust ve diğ., 2010; Nazif ve diğ., 2010; Sarrate ve diğ., 2014; Candelieri ve diğ., 2015; Berardi ve diğ., 2016; Campbell ve diğ., 2016; Cabral ve diğ., 2019; Lipiwattanakarn ve diğ., 2019). Farley ve Liemberger (2005) geliştirmekte olan ülkelerin mevcut sistemlerinin, gelişmiş ülkelere nazaran teknolojik ve sistem olarak (fiziki özelliklerinin, arıza yoğunluklarının, arızaya üzerindeki etkili faktörlerin) daha zayıf olduğunu vurgulamış ve buna bağlı olarak gerekli kayıp azaltma yöntemlerinin sistemlere özel olarak geliştirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Xin ve diğ. (2014), sızıntıların tespit edilmesinde uygulanan yöntemleri incelemiş, avantajları, dezavantajları ve maliyetlerini değerlendirmiştir. Yer mikrofonlarının, denetim aralığının 200-500 m, doğruluk yüzdesinin düşük, verimliliğinin personel tecrübesine bağlı olduğu ve işletme maliyetinin düşük olduğu belirtilmiştir. Buna karşılık bölgesel kaydedici ve korelatör ekipmanlarının, tarama aralığının 2000 m'ye kadar olduğu, yüksek doğrulukla otomatik tespit edebildiği ve ekipmanların yüksek maliyetli olduğu ifade edilmiştir.

Fontanazza ve diğ. (2015) konutlarda kullanılan sayaçların bozulmalarına sebep olan faktörlerin araştırılması amacıyla, sayaç yaşı ile konutlardaki su depolarını dikkate alarak deneysel ve teorik analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmada, ayrıca, sayaç yaşı, sistem basıncı, kullanıcı davranışı gibi faktörlerin İdari kayıplar üzerinde etkili olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, idari kayıpların karmaşıklığının abonelerin su kullanımı ve İdarenin gelir kaybı üzerinde önemli etkileri olduğu belirtilmiştir. Ferrari ve Savic (2015) dağıtım sistemlerinde izole bölgelerin planlanması ve uygulanması için, izole bölgeden beklenen faydaların (sızıntının ve arızanın azaltılması, enerji ve su tüketiminin azaltılması ve verimliliği) ekonomik açıdan analiz edilmesi ve detaylı değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Çalışmada, izole bölge için performans analizi gerçekleştirilmiş ve basınca duyarlı talep azalması, arıza sıklığı ve sızıntı azaltma kapsamında önemli ekonomik faydalar sağladığı ifade edilmiştir. Ayrıca izole bölge yönteminden elde edilecek faydaların, izole bölge sayısına, izolasyonda kullanılan izolasyon vana sayısına bağlı olduğu ve bu nedenle de izole bölge sayısını belirlemek için detaylı analiz yapılması gerektiği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda su yönetiminde ÖAB için maliyetlerin ve faydaların analizinin yapılması ve ekonomik performans değerlendirme çerçevesinin oluşturulması, farklı ÖAB düzenleri için karşılaştırma yapılması ve farklı seçenekler arasında en iyi çözümün tanımlanması sağlanmıştır Benzer şekilde, di Nardo ve diğ. (2017), dağıtım sisteminde izole bölge planlanması ve tasarımının oldukça karmaşık yapıya sahip olduğu, hidrolik, ekonomik ve topolojik açıdan sistemin detaylı bir şekilde analiz edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu amaçla, planlanan izole bölgelerin sınırlarının ve hidrolik parametrelerin ölçümü için kullanılacak cihazların yerlerinin belirlenmesinde ekonomik ve enerji bileşenlerini dikkate alan bir algoritma geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda mümkün olan en az debimetreyi kullanan, su bütçesi hesaplamayı kolaylaştıran, hidrolik performansı koruyan ve işletme maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan bir algoritma önerilmiştir. Lipiwattanakarn ve diğ. (2019) sızıntıların önlenmesi ve azaltılmasının enerji ve sistem işletme maliyeti üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Uygulama alanında izole bölgede sızıntıların onarılmasından sonra izole bölge giriş debisinin % 9 azaldığını buna bağlı olarak sistem giriş enerjisinde ise % 8 azalma tespit edildiği, AKK uygulanmasıyla sistem verimliliğinin iyileştiği vurgulanmıştır.

Su kayıp önleme yöntemlerinin uygulanmasında, personel, teknik altyapı, veri ölçümü ve izlenmesi için cihaz ve izleme sistemleri, saha çalışmaları için cihaz gibi birçok bileşen maliyet ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, yöntemlerin uygunluğu, uygulanabilirliği, teknik alt yapının mevcut durumu, maliyetlerin ve faydaların hesaplanması ve fayda maliyet analiz modelinin oluşturulması gerekir. Bu çalışmada, sızıntı

yönetiminde uygulanan ÖAB ve AKK yöntemleri için, ekonomik analiz yapısının oluşturulması ve bu analizlerin sistematik ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için hesaplama aracının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Böylece, karar vericiler ve uygulayıcılar için, maliyet oluşturan tüm bileşenlerin dikkate alındığı ve analizlerin belirli bir standartta yapıldığı bir model ortaya konulmuş olacaktır.

SU KAYIPLARI VE EKONOMİK ETKİSİ (WATER LOSSES AND ECONOMIC IMPACTS)

Dağıtım sistemlerinde meydana gelen kayıplar, fiziki kayıplar ve idari kayıplar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Fiziki kayıplar; kaynaktan aboneye kadar tüm aşamalarda (iletim hattı, dağıtım sistemi, servis bağlantıları) oluşan sızıntıları içerirken, idari kayıplar; sayaç hatalarından ve kaçak kullanımlardan kaynaklanan kayıplardır (Lambert ve diğ., 1999; Lambert ve diğ., 2014; Farley ve diğ., 2008). Su kayıplarının en önemli bileşenini oluşturan fiziki kayıplar (Farley ve diğ., 2008), arıza bakım onarımların artması, işletme koşullarının bozulması, kesintili su iletimi gibi önemli teknik etkilere sahiptir. Ayrıca, fiziki kayıpların yüksek olduğu sistemlerde, onarım maliyetleri, sızıntıdan dolayı satılmayan suyun maliyeti, su üretim ve sistem işletme maliyetleri, sızıntı önleme yöntemlerinin uygulanmasında ekipman, personel, işletme ve bakım maliyetleri gibi önemli ekonomik etkiler meydana gelmektedir. Diğer taraftan, hizmet kalitesinin düşmesi, abone şikayetlerinin artması ve su kesintilerinin artması şeklinde sosyal olumsuz etkiler gözlenmektedir (May, 1994; Farley ve Trow, 2003; Lambert ve Lalonde, 2005; Pearson ve Trow, 2005). Su kayıplarının yönetilmesinde uygulanan en etkili yol olan AKK stratejisi, ÖAB tasarımı, debi ve basınç analizi, arıza onarım hızı ve kalitesinin iyileştirilmesi, abone yönetimi, sızıntı yeri tespiti için ekip oluşturma ve boru malzemesi yönetimi gibi yöntemleri içermektedir (Lambert ve Lalonde, 2005; Pearson ve Trow, 2005; Farley ve diğ., 2008; Islam ve Babel, 2013; Cabral ve diğ., 2019). Bu yöntemler birçok durumda zaman alıcı ve maliyetli olduğu için uygulanmadan önce, mevcut teknik, ekonomik, personel ve veri ölçümü açısından yeterli alt yapının olması gerekmektedir. Ayrıca, uygulanacak yöntemin uygun ve uygulanabilir olması, maliyet standardının tanımlanması ve analiz edilmesi, faydaların analiz edilmesi ve fayda/maliyet analizinin yapılması sürdürülebilir kayıp yönetimi açısından oldukça önemlidir. İlerleyen bölümlerde su kayıp yönetiminde uygulanan temel bileşenler için ekonomik analiz standardı ve esasları detaylandırılmış ve bu analizler için geliştirilen hesaplama aracı örneklendirilmiştir.

EKONOMİK ANALİZ MODELİNİN VE HESAPLAMA ARACININ GELİŞTİRİLMESİ (DEVELOPMENT OF ECONOMIC ANALYSIS MODEL AND CALCULATION TOOL)

Su kayıplarının önlenmesi amacıyla, izole bölgelerin oluşturulması, minimum gece debisi analizi, akustik yöntemlerle sızıntı yerinin belirlenmesi, basınç kontrolü, boru malzemesi yönetimi ve arıza onarım hız ve kalitesinin iyileştirilmesi gibi birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler, şebeke ve abone bilgileri, vana yerleri, servis bağlantı detayları, yeterli teknik ve teknolojik alt yapı, personel ve ekonomik gibi çok farklı gereksinimlere ihtiyaç duymaktadır. Ancak sistemin mevcut koşulları dikkate alınmadan bu yöntemlerin uygulanması ekonomik olmayan sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Sürdürülebilir su kayıp yönetimi için, su kayıplarının azaltılabileceği teknik ve ekonomik seviye belirlenmeli, bu seviyelere ulaşmak için sistemin mevcut durumuna uygun ve fayda/maliyet analizi ile uygulanabilirliği ortaya konulmuş en uygun yöntemler kullanılmalıdır. Bu kadar detaylı analizlerin yapılabilmesi için, tüm değişkenleri göz önünde bulunduran, fayda-maliyet standardını ortaya koyan, referans bilgi üreten ve sistematik ve doğru analiz gerçekleştiren hesaplama araçlarının kullanılması oldukça önemlidir. Bu çalışmada, su kayıp yöntemlerine ait sistematik maliyet analizleri için “su kayıp yönetimi ekonomik analiz hesaplama aracı” geliştirilmiştir. Bu hesaplama aracında birbiri ile bütünleşik çalışan modüller temel olarak; ÖAB maliyet analizi ve AKK maliyet analizi şeklindedir. Modüllerde yer alan ortak veriler “veri girişi ekranında” bir defa girilmekte (Şekil 1) ve tüm modül sayfalarına otomatik olarak aktarılmaktadır. Ayrıca, her bir modül için gerekli olan özel veriler ilgili modül sayfasında kullanıcı tarafından girilebilmektedir. 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.

Değişken Adı	Açıklama	Değer	Birim
Ölçülen Minimum Gece Debisi	MNF analiz #55 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	l/s
Ortalama Sistem Basıncı (P ilk)	MNF analiz #21 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	m
Şebeke Anahat Uzunluğu (Lm)	ILI analiz #9 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	km
Bölgede Kaydedilen Yıllık Şebeke Arıza Sayısı	PI analiz #34 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	adet
Fiziksel Kayıp Miktarı	Su dengesi hesaplanmış ise 'Fiziki Kayıplar (m3)' değeri alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	m3
Yıllık Kaçınılmayan Fiziki Kayıp Hacmi (UARL)	ILI analizinde hesaplanan UARL değeri alınmalıdır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	l/gün
Bölgede Kaydedilen Yıllık Abone Arıza Sayısı	PI analiz #35 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	adet
Birim Su Üretim Maliyeti	PI analiz #45 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	TL/m3
Bölgede kaydedilen Yıllık Toplam Rapor Edilen Arıza Sayısı	PI analiz #36 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	adet
Toplam Abone Sayısı	ILI analiz #4 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	adet
Faturalandırılmış Ölçülmüş Yasal Tüketim	Su dengesi hesaplanmış ise 'Faturalandırılmış Ölçülmüş Yasal Tüketim (m3)' değeri alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	m3
Suyun Birim m ³ için Satış Bedeli	PI analiz #56 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	TL / m ³

Şekil 1. Ekonomik analiz hesaplama aracı veri giriş ekranı

Figure 1. Economic analysis tool data entry

Ölçülen minimum gece debisi, izole bölge girişinde tüketimin en düşük olduğu gece saatlerinde (genelde gece 02:00-04:00 arasında) debimetreden okunan değeri temsil etmektedir. Bu saatte tüketim en düşük seviyede olduğu için sızıntıların farkına varılması daha kolay olmaktadır. Ortalama sistem basıncı, bölgede düzenli olarak ölçülen işletme basıncının ortalamasını ifade etmektedir. Şebeke ana hat uzunluğu, sistemin büyüklüğünü tanımlamada ve izole bölge büyüklüğü belirlemede kullanılan en temel verilerden birisi olarak gösterilir. Bu parametrenin doğru bir şekilde belirlenmesi için coğrafi bilgi sistemleri veri tabanının güncel olması esastır. Şebekede kaydedilen arıza sayısı, yüzeye çıkan ve çağrı merkezine bildirilen ve onarılan arızaları kapsamaktadır. Fiziki kayıp miktarı, bölgede standart su dengesi aracılığıyla belirlenen sızıntı hacmini ifade etmektedir. Yıllık kaçınılmaz fiziki kayıp hacmi, bir dağıtım sisteminde mevcut şebeke, servis bağlantı ve işletme basıncına göre teknik olarak meydana gelebilecek en düşük sızıntı miktarını göstermektedir. Bu parametre Uluslararası Su Birliği (IWA) tarafından önerilen denklemlerle belirlenmektedir. Servis bağlantı arıza sayısı, servis bağlantılarında meydana gelen yüzeye çıkan ve çağrı merkezine bildirilen ve onarılan arızaları kapsamaktadır. Birim su üretim maliyeti, bölgede yıllık olarak üretilen su hacmi için harcanan toplam miktarın su hacmine oranını göstermektedir. Bu parametre özellikle sistem işletme verimliliği ve fatura bedellerinin belirlenmesinde dikkate alınmaktadır. Bölgede kaydedilen servis bağlantı ve şebeke arıza sayılarının toplamı, bölgedeki toplam rapor edilen arıza sayısını vermektedir. Toplam abone sayısı, bölgede yasal olarak kayıtlı ve abone yönetim sisteminde güncel olarak abone sayılarının toplamını ifade etmektedir. Bu yasal kayıtlı aboneler tarafından tüketilen ve faturalandırılan hacim, yasal faturalandırılmış hacim olarak tanımlanır. Son olarak birim su satış bedeli, abonelerden birim m³ su tüketimi için alınan bedeli temsil etmektedir.

İZOLE BÖLGE TASARIMI İÇİN EKONOMİK ANALİZ MODÜLÜ (ANALYSIS MODULE FOR DMA)

ÖAB, sınırları tanımlanmış, diğer bölgelerden ayrılmış ve bileşenleri kendi içinde değerlendirilen bir sistem olarak tanımlanır (Farley ve diğ., 2008). Bir ÖAB’de, abone sayısı, şebeke uzunluğu, servis bağlantı sayısı gibi sistem parametrelerinin sayısı daha az olduğu için büyük sistemlere göre daha kolay kontrol edilebilir ve yönetilebilir bir sistem sunulmaktadır. Ayrıca, minimum gece debisi analizi, sızıntı yönetimi, debi basınç analizi ve basınç yönetimi gibi yöntemlerin uygulanmasında önemli katkı sağlamaktadır (Fallis ve diğ., 2011; Gomes ve diğ., 2013). Ancak, bölgenin planlanması, saha imalatları, ekipman ve otomasyon sistem maliyeti, sıfır basınç testi, izolasyon vanalarının tespiti ve izole edilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) veri güncelleme maliyetleri oluşmaktadır. Bu maliyetlerin en aza indirilmesi için bölgenin çok küçük olmaması gerekirken, sistemin kontrol edilebilir olması açısından da büyük planlanmaması önemlidir. ÖAB tasarımında bu analizlerin sürdürülebilir ve sistematik yapılabilmesi için tüm bileşenlerin dikkate alınması, maliyetlerin doğru bir şekilde hesaplanması ve büyüklüğünün uygun seçilmesi gerekir. Bu çalışmada, ÖAB tasarım bileşenlerinin ekonomik analiz standardının tanımlanması, sistematik bir şekilde yapılması için “izole bölge ekonomik analiz hesaplama modülü” geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu modülde ÖAB bilgileri (sayı, uzunluk, vana bilgileri, debimetre ve saha çalışmaları) ve şebeke bilgileri Şekil 2’deki gibi sisteme tanımlanmaktadır. Şekilde verilen pilot veri seti geliştirilen modelin test edilmesi ve hesaplama aracının sonuçlarının sunulması amacıyla dikkate alınmıştır. Bu sistemde toplam şebeke uzunluğunun 60 km olduğu düşünülmüştür. Bu şebekede toplamda 4 izole bölge planlanmış (ortalama uzunluk 15 km olacak şekilde) ve buna göre maliyet analizi yapılmıştır. Bu pilot şebeke için ayrıca analizlerde kullanılmak ve değerlendirme yapmak amacıyla arıza, su üretim ve satış bedelleri için veriler üretilmiştir.

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

Şekil 2. ÖAB Ekonomik analiz modülünde şebeke ve ÖAB bilgilerinin tanımlanması

Figure 2. Defining network and DMA information in DMA Economic analysis module

Şekil 2’de, ortalama izole bölge (ÖAB) uzunluğu, izole bölgeler oluşturulurken literatürde önerilen standart değeri (15 km) temsil etmekte olup kullanıcı bu değeri değiştirebilmektedir. Gerekli minimum ÖAB sayısı, şebeke toplam uzunluğu (km) ve ortalama ÖAB uzunluğunun oranına göre elde edilmektedir. Eğer sistemde hali hazırda izole bölge var ise bu değer mevcut ÖAB sayısı olarak tanımlanmaktadır. Bölgedeki toplam şebeke uzunluğu esas alınarak bölge için ihtiyaç duyulan ÖAB sayısı hesaplanmaktadır. Belirlenmesi gereken sınır vana sayısı, her bir ÖAB için 4 vana olacak şekilde hesaplanan bir parametre olup, bölgenin diğer bölgelerden izole edilmesi için sahada kapatılması gereken izolasyon vana sayısını ifade etmektedir. İhtiyaç duyulan debimetre sayısı, giriş debi değişiminin ölçülmesi amacıyla her bir ÖAB

için 1 adet ihtiyaç olduğu kabul edilerek belirlenen bir parametredir. İhtiyaç duyulan sıfır basınç testi sayısı, sistemin izole edilip edilmediğinin sahada testini amaçlayan bu parametre her bir ÖAB için 2 olacak şekilde belirlenmektedir. İzleme, işletme ve alt yapı kurulumu, sistemde ölçülen debi ve basınç gibi işletme verilerinin izlenmesi ve analiz edilmesi amacıyla kullanılan sistemi ifade etmekte ve her bir ÖAB için 1 olacak şekilde planlanmaktadır.

Ekonomik analizde, sistem için izole bölge sayısını ve toplam ve birim bölge maliyetini hesaplamaktadır. Örnek veri setinde, 60 km hat uzunluğu için ÖAB oluşturma maliyetleri hesaplanmıştır. Literatürde, ortalama 15 km uzunluğunda ÖAB oluşturulabileceği ifade edilmiştir (Farley ve diğ., 2008). Bu kapsamda gerekli en az ÖAB sayısı hesaplanmış ve her ÖAB için 4 adet sınır vanası ve 1 adet debimetre imalatına, 2 adet sıfır basınç testi yapılmasına ve 1 adet izleme sistemine ihtiyaç olduğu varsayılmıştır. Ayrıca kullanıcılar mevcutta ÖAB olup olmadığını sisteme tanımlayabilmekte ve gerekli ÖAB sayısı bu kapsamda yeniden hesaplanmaktadır. Söz konusu imalatların toplam maliyetlerinin hesaplanabilmesi için öncelikle yapılacak işlemlerinin birim fiyatlarının tanımlanması gerekmektedir (Şekil.3). Bu maliyetler Kayseri KASKİ ve Malatya MASKİ sahalarında yapılan çalışmalar, analizler esas alınarak ve 2020 yılı birim fiyatları dikkate alınarak belirlenmiş ve sisteme tanımlanmıştır.

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

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

Şekil 3. ÖAB Ekonomik analiz modülünde maliyetlerin tanımlanması ve birim maliyetin hesaplanması

Figure 3. Defining costs and calculating unit cost in DMA Economic analysis module

Hesaplama aracı ile toplam uzunluğu 60 km olan bir şebekede etkili ve ekonomik bir su yönetimi sağlanabilmesi için 4 ÖAB oluşturulması gerektiği ve bu bölgeler için yaklaşık birim metre başına 6.93 TL maliyet ortaya çıkacağı hesaplanmıştır. İçmesuyu dağıtım sistemlerinde su kayıplarının azaltılması için yapılacak çalışmalarda gerek sistem giriş-çıkış debilerinin daha sağlıklı kontrol edilebilmesi gerekse uygulanan su kayıp azaltma yöntemlerinin izole bölgeler oluşturulmadan uygulanamayacak ve izlenemeyecek olması nedeniyle öncelikli olarak izole bölgeler oluşturulması gerekmektedir.

AKTİF KAÇAK KONTROLÜ İÇİN EKONOMİK ANALİZ MODÜLÜ (ANALYSIS MODULE FOR ALC)

Su kayıp yönetiminde bazı Su İdareleri, sadece rapor edilen arızaların onarımını kapsayan pasif kaçak kontrolünü yeterli görmektedir. Literatürde sızıntıların önemli bir kısmını rapor edilmeyen arızaların oluşturduğu ve bunların yönetilmesi için AKK yönteminin uygulanması gerektiği vurgulanmıştır (Lambert ve Lalonde, 2005; Pearson ve Trow, 2005; Farley ve diğ., 2008; Islam ve Babel, 2013). AKK'nin uygulanabilmesi için, teknik, teknolojik ve personel yapısının yeterli olması, yöntemin uygun ve

uygulanabilir olması, izole bölgenin tanımlanmış olması, maliyet bileşenlerinin hesaplanması gerekir. Bu nedenle bu çalışmada, bir Su İdaresinde AKK yönteminin uygulanmasıyla oluşan maliyetlerin hesaplanması için ekonomik analiz standardı tanımlanmış ve bu kadar detaylı analizlerin standart bir yapıda, saha verilerine göre tanımlanmış bileşenlere sahip ve hassas analiz imkanı sunan AKK analiz modülü geliştirilmiştir. Bu modülde ekonomik analiz için, şebeke uzunluğu, sızıntı miktarı, sistem basıncı, yıllık arıza sayısı, birim su üretim maliyeti, şebeke ve servis bağlantı arızası onarım maliyeti gibi veriler tanımlanmalıdır (Şekil.4).

Verilerin Girilmesi	Açıklama	Değer	Birim
Fiziksel Kayıp Miktarı	Su dengesi hesaplanmış ise 'Fiziki Kayıplar (m3)' değeri alınabilir. Birim m3/gün olmalıdır	6,000.00	m3/gün
Ortalama Sistem Basıncı	MNF analiz #21 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	40.00	m
UARL	(ILI analizinde hesaplanan UARL değeri alınmalıdır. Hesaplanmamış ise 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	3,250.00	l/gün
Bölgede Kaydedilen Yıllık Şebeke Arıza Sayısı	PI analiz #34 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	28.00	adet
Bölgede Kaydedilen Yıllık Abone Arıza Sayısı	PI analiz #35 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	52.00	adet
Şebeke Anahat Uzunluğu (Lm)	ILI analiz #9 verisi girilmişse ilgili değer (x1000) katı alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	60,000.00	m
Çalışma Süresi	Literatür çalışması ve uygulama tecrübesi ile hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 180	gün
Birim DMA Oluşturma Maliyeti	DMA Bölümünde hesaplanmış değer kullanılmaktadır.	(t)6.93	TL/m
Birim Su Üretim Maliyeti	PI analiz #45 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	(t)2.00	TL/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 (t) 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 (t) 1350	TL/adet

Şekil 4. AKK ekonomik analiz modülünde verilerin girilmesi ve maliyetlerin tanımlanması

Figure 4. Entering data and defining costs in ALC economic analysis module

Şekil 1'de tanımlanan parametrelerden farklı olarak analizlerde kullanılan, çalışma süresi parametresi, bölgede yüzeye çıkmayan sızıntıların farkına varılması, tespit edilmesi ve önlenmesi amacıyla yapılan çalışmaların ortalama süresini ifade etmektedir. Burada saha tecrübeleri ve literatür esas alınarak 180 gün tanımlanmış olup kullanıcının bu parametreyi değiştirmesi mümkün olmaktadır. Şebeke ve abone arızası onarım maliyeti parametreleri, yüzeye çıkan bir arıza için harcanan toplam maliyeti (işçilik, malzeme, kazı, dolgu ve yol kaplaması vb.) kapsamaktadır.

Ayrıca rapor edilmeyen arıza sayılarını hesaplamak için, rapor edilmeyen şebeke ve abone arızalarının birim kayıpları (Lambert ve diğ., 1999; Farley ve diğ., 2008) ve şebeke arızalarının toplam arızaya oranı tanımlanmıştır (Nicolini ve diğ., 2014; Aydoğdu ve Fırat, 2015; Boztaş, 2015) (Şekil 5). Rapor edilen arızalara ve kaçınılmaz kayıplara (UARL), AKK ile müdahale edilemediğinden dolayı, yıllık toplam kayıplardan rapor edilen sızıntılar ve UARL çıkartılarak müdahale edilebilir sızıntı hesaplanmaktadır (Şekil 5).

Tahmini İhbar Edilmeyen Arıza Sayılarının Tespiti	Açıklama	Değer	Birim
11 - Birim Şebeke Arızası Kaçak Miktarı	İhbar Edilen ve Edilmeyen Arızalardaki Kayıplar (Lambert vd., 1999; Farley vd., 2008) (m ³ /gün/basınç)	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 2.88	m ³ /gün/basınç
12 - Birim Abone Arızası Kaçak Miktarı	İhbar Edilen ve Edilmeyen Arızalardaki Kayıplar (Lambert vd., 1999; Farley vd., 2008) (m ³ /gün/basınç)	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 0.768	m ³ /gün/basınç
13 - Şebeke Arızası / Toplam Arıza Oranı	(Nicolini vd., 2014; Aydoğdu ve Firat, 2015; Boztaş, 2015).	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 38	%
14 - Abone Arızası / Toplam Arıza Oranı	(Nicolini vd., 2014; Aydoğdu ve Firat, 2015; Boztaş, 2015).	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 62	%
15 - Tahmini Şebeke Arızası Sayısı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	36.00	adet
16 - Tahmini Abone Arızası Sayısı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	59.00	adet

Müdahale Edilebilir Debinin Tesiti	Açıklama	Değer	Birim
17 - Arıza Kaynaklı Fiziki Kayıp Miktarı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	22.05	m ³
18 - Müdahale Edilebilir Debi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	2,727.95	m ³

Birim Tarama Maliyetinin Belirlenmesi	Açıklama	Değer	Birim
Birim Tarama Maliyeti	Uygulama örneklemeleri sonucunda elde edilen $y = 3E-09x^2 - 0.0002x + 6.2972$ Denklemi yardımıyla hesaplanmaktadır.	5.10	TL/m

Şekil 5. AKK analiz modülünde rapor edilmeyen arızaların tespiti ve birim maliyetlerin hesaplanması
Figure 5. Detection of failures not reported in ALC analysis module and calculation of unit costs

AKK yönteminde bir diğer önemli parametre ise arama kalitesi (denetim yapılan şebekede tespit edilen ve onarılan arıza oranı) gösterilebilir. Bu parametre üzerinde genellikle tarama yapan ekiplerin tecrübesi oldukça önemli olup bu parametre için ortaya konulan performans doğrultusunda sistemin verimi değişmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar ve farklı idarelerde yapılan saha çalışmaları/tecrübeleri doğrultusunda hesaplanmış olan arama kalitesi parametreleri hesaplama aracına tanımlanmıştır (Şekil 6).

Arama Kalitesinin Tanımlanması	Açıklama	Değer	Birim
1. Arama Sonucunda Bulunan Arıza Oranı	Literatürde yapılan çalışmalar ve MASK’de yapılan saha çalışmaları/tecrübeleri doğrultusunda hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 40	%
2. Arama Sonucunda Bulunan Arıza Oranı	Literatürde yapılan çalışmalar ve MASK’de yapılan saha çalışmaları/tecrübeleri doğrultusunda hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 25	%
3. Arama Sonucunda Bulunan Arıza Oranı	Literatürde yapılan çalışmalar ve MASK’de yapılan saha çalışmaları/tecrübeleri doğrultusunda hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 14	%
4. Arama Sonucunda Bulunan Arıza Oranı	Literatürde yapılan çalışmalar ve MASK’de yapılan saha çalışmaları/tecrübeleri doğrultusunda hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 9	%
5. Arama Sonucunda Bulunan Arıza Oranı	Literatürde yapılan çalışmalar ve MASK’de yapılan saha çalışmaları/tecrübeleri doğrultusunda hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 7	%
6. Arama Sonucunda Bulunan Arıza Oranı	Literatürde yapılan çalışmalar ve MASK’de yapılan saha çalışmaları/tecrübeleri doğrultusunda hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 5	%

Şekil 6. AKK Ekonomik analiz modülünde arama kalitesinin tanımlanması

Figure 6. Defining search quality in ALC Economic analysis module

Tüm değişkenlere ait maliyetlerin hesabından sonra birim maliyet hesabı yapılması için öncelikle her bir tarama döngüsü için toplam maliyet ve toplam fayda hesaplanmaktadır (Şekil 7). Böylelikle her bir dinleme periyodu için kurtarılan su miktarına karşılık harcanan tutar oranı hesaplanabilecektir. Su üretiminde suyun birim üretim maliyeti de hesaplama aracına tanımlandığından artık hangi dinleme periyodlarının ekonomik olduğu tespit edilebilecektir.

Dinleme Sonucunda Harcanan Tutarın Belirlenmesi	Açıklama	Değer	Birim
1. Arama Sonucunda Harcanan Tutar	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	364,500.00	TL
2. Arama Sonucunda Harcanan Tutar	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	342,562.50	TL
3. Arama Sonucunda Harcanan Tutar	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	326,475.00	TL
4. Arama Sonucunda Harcanan Tutar	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	319,162.50	TL
5. Arama Sonucunda Harcanan Tutar	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	316,237.50	TL
6. Arama Sonucunda Harcanan Tutar	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	313,312.50	TL

Dinleme Sonucunda Kurtarılan Su Miktarı	Açıklama	Değer	Birim
1. Arama Sonucunda Kurtarılan Su Miktarı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır. Ekonomik olarak aktif kaçak kontrolüyle müdahale edilebilir su kaybını ifade etmektedir.	196,412.40	m ³ /Çalışma Süresi
2. Arama Sonucunda Kurtarılan Su Miktarı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	122,757.75	m ³ /Çalışma Süresi
3. Arama Sonucunda Kurtarılan Su Miktarı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	68,744.34	m ³ /Çalışma Süresi
4. Arama Sonucunda Kurtarılan Su Miktarı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	44,192.79	m ³ /Çalışma Süresi
5. Arama Sonucunda Kurtarılan Su Miktarı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	34,372.17	m ³ /Çalışma Süresi
6. Arama Sonucunda Kurtarılan Su Miktarı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	24,551.55	m ³ /Çalışma Süresi

Şekil 7. AKK ekonomik analiz modülünde harcanan tutarların ve tasarruf edilen su miktarının hesabı

Figure 7. Calculation of the amount spent and the amount of water saved in the ALC economic analysis module

Şebekeler için birim su üretim maliyetleri AKK yöntemi için çok kritik bir rol üstlenmektedir. Suyun kaynaktan iletim hatlarına terfili iletim taşınması veya arıtma yapılması ihtiyacı gibi ciddi maliyet kalemleri doğurduğu düşünüldüğünde su üretim maliyetleri farklı olacaktır. Örnek veri seti incelendiğinde 1. Arama döngüsünde suyun birim miktarının kurtarılması için 1.83 TL harcandığı görülmektedir. Düşünüldüğünde suyun üretim maliyetinin 1.83 TL'nin altında olduğu bir bölge için bu şartlar altında AKK yöntemini uygulamanın ekonomik olmadığı ortaya çıkacaktır. Aynı şekilde su birim üretim maliyetinin 5 TL olduğu bir bölge düşünülürse toplam 3. arama turundan elde edilecek suyun bile ekonomik sınırlar içerisinde olacağı görülecektir. Bölge için suyun birim maliyeti 2 TL tanımlandığı için sadece 1. arama döngüsünün uygulanması gerektiği ve bu çalışmaların sonucunda ekonomik olarak yaklaşık 1091 m³/gün (12.62 l/s) suyun sisteme kazandırılacağı hesaplanmıştır (Şekil 8).

Birim Maliyet Hesabı	Açıklama	Değer	Birim
1. Arama Sonucunda Birim Maliyet	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	1.86	TL/m ³
2. Arama Sonucunda Birim Maliyet	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	2.79	TL/m ³
3. Arama Sonucunda Birim Maliyet	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	4.75	TL/m ³
4. Arama Sonucunda Birim Maliyet	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	7.22	TL/m ³
5. Arama Sonucunda Birim Maliyet	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	9.20	TL/m ³
6. Arama Sonucunda Birim Maliyet	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	12.76	TL/m ³
Aktif Kaçak Kontrolü Sonucunda Elde Edilen Fayda	Açıklama	Değer	Birim
Toplam Aktif Kaçak Kontrolü Faydası	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır. Ekonomik olarak aktif kaçak kontrolüyle müdahale edilebilir su kaybını ifade etmektedir.	1,091.18	m ³ /gün

Şekil 8. AKK ekonomik analiz modülünde birim maliyetlerin hesabı

Figure 8. Calculation of unit costs in ALC economic analysis module

Bu hesaplama aracı ile toplam 60 km uzunluğa sahip bir şebeke için uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplama aracı ile toplam 60 km uzunluğa sahip bir şebeke için uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu şebekede etkili su kayıp yönetimi için ortalama 15 km uzunluğa sahip 4 izole bölgenin planlanması gerektiği belirlenmiştir. Bu bölgeler için yapılan ekonomik analizler sonucunda toplam maliyet 415 600 TL ve birim izole bölge oluşturma maliyeti 6.93 TL/m şeklinde hesaplanmıştır. Ayrıca AKK çalışmalarının yapılması durumunda saha verileri esas alınarak, şebeke ve servis bağlantı arıza onarım maliyetleri sırasıyla 1850 TL/arıza ve 1350 TL/arıza olarak belirlenmiştir. Yüze çıkmayan arızaların tespit ve yerini belirleme maliyetleri analiz edilmiş ve birim tarama maliyeti 5.10 TL/m olarak hesaplanmıştır. Son olarak AKK ile 1091,18 m³/gün su tasarrufu sağlanabileceği ortaya konulmuştur. Görüldüğü gibi, geliştirilen ekonomik analiz modelinde izole bölge oluşturmada ve AKK yönteminin uygulanmasında harcanan toplam ve birim maliyetlerin (TL/m) hesaplanması ve bu yöntemlerden elde edilen faydaların analiz edilmesi mümkün olmaktadır. Pilot şebeke için yapılan analizde, izole bölge tasarımı ve AKK yönteminin uygulanması ile toplamda hat uzunluğu başına 12.03 TL/m maliyet ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalar sonucunda sistemde tasarruf edilecek su miktarı, su üretim maliyeti ve su satış bedelleri göz önüne alındığında, su üretim maliyetinin 1.83 TL'nin altında olduğu bir bölge için aktif kaçak kontrolünün uygulamanın ekonomik olmadığı ancak su üretim maliyetinin 5 TL olduğu bir bölge düşünülürse toplam 3. arama turundan elde edilecek suyun bile ekonomik sınırlar içerisinde olacağı görülmektedir. Sonuç olarak geliştirilen bu hesaplama aracının özellikle, izole bölge oluşturma, AKK planlama, sızıntı yerinin tespiti ve ekip yönetimi bileşenleri ekonomik değerlendirme imkanı sunması, maliyet ve fayda bileşenlerini belli bir sistematığe göre hesaplaması açısından karar vericiler ve teknik personeller için referans oluşturma potansiyelinin oldukça yüksek olduğu düşünülmektedir.

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, sürdürülebilir su kayıp yönetimi için, ÖAB ve AKK yöntemleri için, ekonomik analiz yapısının oluşturulması ve bu analizlerin sistematik ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için hesaplama aracının geliştirilmesi amaçlanmıştır. ÖAB planlaması ve sahada uygulanması İdare için önemli maliyet oluşturduğu için, maliyet oluşturan bileşenlerin tanımlanması, fayda ve maliyet analiz standardının tanımlanması ve detaylı ekonomik analizin yapılması için standart bir yapı oluşturulmuştur. Diğer taraftan, rapor edilmeyen sızıntıların yönetilmesinde uygulana AKK yöntemi, çeşitli araç, ekipman ve personel alt yapısına ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, bir bölgede AKK yöntemi uygulanmadan önce, arama ve denetim, sızıntı onarımı vb. faaliyetler için fayda ve maliyet bileşenleri oluşturulmuş ve hesaplama yapısının tanımlanmıştır. Su kayıp yönetiminde en çok tercih edilen ve uygulanan bu süreçler için bu kadar detaylı analizlerin belli bir standart ve sistematikte yapılması için web tabanlı ekonomik analiz hesaplama aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen hesaplama aracı ÖAB tasarımı ve uygulanması için ekonomik analiz modülü ve AKK ekonomik analiz modülünden oluşmaktadır. Sonuç olarak birbiri ile entegre çalışan bu modüllerin özellikle, su kayıp yönetimi temel yöntemleri için detaylı maliyet analizinin hesaplanması ve fayda maliyet analizinin gerçekleştirilmesi açısından referans oluşturacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Salih YILMAZ tarafından yapılan Doktora tezinden üretilmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (FOA-2018-626, FDK 2020-2053) teşekkür etmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Berardi, L., Laucelli, D.B., Simone, A., Mazzolani, G., Giustolisi, O., 2016, "Active Leakage Control with WDNNetXL", *Procedia Engineering*, Cilt 154, ss. 62–70.
- Boztaş, F., 2017, "İçme Suyu Dağıtım Sistemlerinde Bina (Servis) Bağlantılarında Meydana Gelen Arızaların Analizi ve Su Kayıplarına Etkisi", İnönü Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. 104s.
- Candelieri, A., Soldi, D. and Archetti, F., 2015, "Cost-effective sensors placement and leak localization – the Neptun pilot of the ICeWater Project", *Journal of Water Supply: Research and Technology*, Cilt 64, Sayı 5, ss. 567–582.
- Cabral, M., Loureiro, D., Almedia, M.do., Covas, D., 2019, "Estimation of costs for monitoring urban water and wastewater networks", *Journal of Water Supply: Research and Techn.*, Cilt 68, Sayı 2, ss.87–97.
- Campbell, E., Izquierdo, J., Montalvo, I., Perez-Garcia, R., 2016, "A novel water supply network sectorization methodology based on a complete economic analysis, including uncertainties", *Water (Switzerland)*, Cilt 8, Sayı 5, 179.
- di Nardo, A., di Natale, M., Giudicianni, C., 2017, "Economic and energy criteria for district meter areas design of water distribution networks", *Water (Switzerland)*, Cilt 9, ss. 1–13.
- Aydogdu, M., Firat, M., 2015, "Estimation of Failure Rate in Water Distribution Network Using Fuzzy Clustering and LS-SVM Methods", *Water Resources Management*, Cilt 29, ss. 1575-1590.
- Gomes, R., Marques, A. S. A. and Sousa, J., 2013, "District Metered Areas Design Under Different Decision Makers' Options: Cost Analysis", *Water Resources Management*, Cilt 27, Sayı 13, ss. 4527–4543.
- Fallis, P., Hübschen, K., Oertlé, E., 2011, "Guidelines for Water Loss Reduction".ss 236
- Farley, M., Trow, S., 2003, "Losses in Distribution Networks. In: An examination of the benefits of leak detection". ISBN 1 900222 11 6
- Farley, M., Liemberger, R., 2005, "Developing a non-revenue water reduction strategy: planning and implementing the strategy", *Water Science and Technology: Water Supply*, Cilt 15, ss. 41–50
- Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z.B.M., 2008, "The Manager's Non-Revenue Water Handbook. A Guide to Understanding Water Losses"

- Ferrari, G., Savic, D., 2015, "Economic performance of DMAs in water distribution systems", *Procedia Eng* Cilt 119, ss. 189–195.
- Islam, M.S., Babel, M.S., 2013, "Economic analysis of leakage in the Bangkok water distribution system", *Journal of Water Resources Planning Management*, Cilt 139, ss. 209–216.
- Lambert, A., Lalonde, A., 2005, "Using practical predictions of Economic Intervention Frequency to calculate Short-run Economic Leakage Level , with or without Pressure Management". *Leakage Conf Proceeding*, ss. 1–12
- Lambert, A., Charalambous, B., Fantozzi, M., 2014, "14 Years Experience of using IWA Best Practice Water Balance and Water Loss Performance Indicators in Europe", *Proceedings of the WaterLoss Conference*.
- Lambert, A.O., Brown, T.G., Takizawa, M., Weimer, D., 1999, "A review of performance indicators for real losses from water supply systems", *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, Cilt 48, ss. 227–237.
- Lipiwattanakarn, S., Kaewsang, S., Pornprommin, A., Wongwiset, T., 2019, "Real benefits of leak repair and increasing the number of inlets to energy", *Water Sci, Cilt 14*, Sayı 3, ss. 714–725
- May, J., 1994, "Pressure dependent leakage. In": *World Water and Environmental Engineering*
- Nazif, S., Karamouz, M., Tabesh, M., Moridi, A., 2010, "Pressure management model for urban water distribution networks", *Water Resources Management*, Cilt 24, Sayı 3, ss. 437–458. doi: 10.1007/s11269-009-9454-x.
- Nicolini, M., Giacomello, C., Scarsini, M., and Mion, M., 2014, "Numerical modeling and leakage reduction in the water distribution system of Udine", *Procedia Engineering*, Cilt 70, ss. 1241-1250.
- Pearson, D., Trow, S.W., 2005, "Calculating the Economic Levels of Leakage", *Leakage 2005 Conf Proc*, ss. 1–16
- Puust, R., Kapelan, Z., Savic D., Koppel, T., 2010, "A review of methods for leakage management in pipe networks", *Urban Water Journal*, Cilt 7, ss. 25–45.
- Sarrate, R., Blase, J., Nejjari, F., Quevedo, J., 2014, "Sensor placement for leak detection and location in water distribution networks", *Water Science & Technology: Water Supply*, Cilt 14, Sayı 5, ss. 795–803.
- Xin, K. Tao, T. Lu, Y., 2014, "Apparent Losses Analysis in District Metered Areas of Water Distribution Systems". *Water Resources Management*, Cilt 28, ss. 683–696.