

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU KAYIP YÖNETİMİNDE EKONOMİK KAÇAK SEVİYESİNİN
OPTİMİZASYON ALGORİTMALARIYLA BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

Salih YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

MAYIS/2021

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU KAYIP YÖNETİMİNDE EKONOMİK KAÇAK SEVİYESİNİN
OPTİMİZASYON ALGORİTMALARIYLA BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

Salih YILMAZ
(36173621009)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

Eş Danışman: Doç. Dr. Özgür ÖZDEMİR

MAYIS/2021

TEŞEKKÜR

Bu araştırma sürecinde değerli bilgi ve tecrübeleriyle desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Mahmut FIRAT' a sonsuz teőekkürlerimi ve saygılarımı arz ederim.

Doktora süreci boyunca ihtiyacım olan bilgi ve veri birikimini paylaşan, yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Genel Müdür Doç. Dr. Özgür ÖZDEMİR ve Dr. Abdullah ATEŞ'e;

Veri paylaşımında gösterdikleri ilgi ve alaka için; Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (KASKİ) ve Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (MASKİ) personellerine;

Ayrıca eğitim-öğretim hayatım boyunca bana her konuda destek veren çok kıymetli Ailem'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, İÜ-BAP FDK 2020-2053 numaralı projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Prof. Dr. Mahmut FIRAT'ın danışmanlığında doktora tezi olarak hazırladığım “**Su Kayıp Yönetiminde Ekonomik Kaçak Seviyesinin Optimizasyon Algoritmalarıyla Belirlenmesi**” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün yapıtların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Salih YILMAZ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
ONUR SÖZÜ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
1.1 İdari Kayıp Önleme Faaliyetleri için Ekonomik Değerlendirme.....	9
1.2 Arıza Yönetimi ve Şebeke İşletme Faaliyetleri için Ekonomik Değerlendirme...	11
1.3 Su Kayıp Yönetiminde DMA Yaklaşımı ve Ekonomik Değerlendirme	13
1.4 Aktif Kaçak Kontrol Yöntemi ve Ekonomik Değerlendirme	15
1.5 Su Kayıp Yönetiminde Basınç Yönetimi için Ekonomik Değerlendirme	18
1.6 Şebeke Yenileme ve Boru Malzeme Yönetimi için Ekonomik Değerlendirme ...	21
1.7 Su Kayıp Yönetiminde Otomasyon Sistemleri için Ekonomik Değerlendirme ...	23
1.8 Su Kayıp Yönetiminde Ekonomik Kaçak Seviyesi	25
3. EKONOMİK KAÇAK SEVİYESİ TEORİSİ VE PROBLEMİN TANIMLANMASI	29
4. MATERYAL VE YÖNTEM	41
4.1 Gelir Getirmeyen Su ve Bileşenleri	41
4.1.1 Fiziki kayıplar.....	42
4.1.2 İdari kayıplar.....	46
4.2 Ekonomik Kaçak Seviye Bileşenleri için Fayda ve Maliyet Standartları.....	47
4.2.1 Ölçülebilir alt bölge (DMA) oluşturulması maliyet analizi	49
4.2.2 Basınç kontrol yönetimi için fayda maliyet analizi	53
4.2.3 Aktif kaçak kontrolü için fayda maliyet analizi	57
4.2.4 Abone sayaç yönetimi için fayda maliyet analizi.....	63
4.2.5 Şebeke yenileme ve boru malzemesi için fayda maliyet analizi	64
4.3 Ekonomik Kaçak Seviyesi Tespiti İçin Algoritmanın Kurulması	67
4.3.1 DMA tasarımı ve uygulanması için maliyet algoritmasının tanımlanması ...	69
4.3.2 Basınç yönetimi için fayda maliyet algoritmasının tanımlanması.....	73
4.3.3 Aktif kaçak yöntemi için fayda maliyet algoritmasının tanımlanması.....	76
4.3.4 Abone sayaç yönetimi için fayda maliyet algoritmasının tanımlanması.....	85
4.3.5 Şebeke yenileme ve boru malzemesi için fayda maliyet algoritmasının tanımlanması	87
4.4 Optimizasyon Yöntemleri İle Ekonomik Kaçak Seviyesinin Belirlenmesi.....	91
4.4.1 Yapay zeki optimizasyonlar ile ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi ..	92
4.4.2 Sınırlı bütçe ile ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi	96
5. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ	102
6. ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER	107
6.1 Saha Verileri Kullanılarak Basınç Yönetiminin Altyapı Kaçak Endeksi (ILI) Üzerindeki Etkisinin Analizi	107
6.1.1 Giriş ve problem tanımlama	107
6.1.2 Basınç yönetimi gerçek saha uygulamaları	110

6.1.3	FAVAD denkleminin diğer bölgelere uygulanması.....	116
6.1.4	Sonuçların değerlendirilmesi.....	122
6.2	Aktif Kaçak Kontrolü Yöntemi Uygulanarak Ekonomik Kaçak Seviyesi ve Altyapı Kaçak İndeksinin (ILI) Analizi.....	123
6.2.1	Giriş ve problem tanımlama.....	123
6.2.2	Aktif kaçak kontrolü için fayda maliyet analizi.....	126
6.2.3	Sonuçların değerlendirilmesi.....	133
6.3	Aktif Kaçak Kontrolü Yönteminin Verimliliği İçin Optimum Basınç Seviyesinin Ekonomik Kriterler Dikkate Alınarak Tanımlanması.....	135
6.3.1	Giriş ve problem tanımlama.....	135
6.3.2	Fayda maliyet analizi ve ekonomik kaçak seviyenin tanımlanması.....	137
6.3.3	Sonuçların değerlendirilmesi.....	146
6.4	Ekonomik Kaçak Seviyesinin Hesabı.....	147
6.4.1	Giriş ve problemin tanımlanması.....	147
6.4.2	Ekonomik kaçak seviyesi analizlerinin yapılması.....	149
6.4.3	Sonuçların değerlendirilmesi.....	155
6.5	Sınırlı Bütçe İle Ekonomik Kaçak Seviyesinin Belirlenmesi.....	156
6.5.1	Giriş ve problemin tanımlanması.....	156
6.5.2	Sınırlı bütçe ile EKS hesabı örnek uygulamaları.....	157
6.5.3	Sonuçların değerlendirilmesi.....	164
6.6	Su Kayıp Yönetimi Bileşenlerinin Ekonomik Analizleri İçin Hesaplama Aracının Geliştirilmesi.....	165
6.6.1	Giriş ve problem tanımlama.....	165
6.6.2	İzole bölge tasarımı ve aktif kaçak kontrolü için hesaplama modüllerinin geliştirilmesi.....	166
6.6.3	Basınç yönetiminin ekonomik analizi için hesaplama aracının geliştirilmesi.....	176
6.6.4	Şebeke rehabilitasyonun ekonomik analizi için hesaplama aracının geliştirilmesi.....	179
6.6.5	Sayaç yönetiminin ekonomik analizi için hesaplama aracının geliştirilmesi.....	184
7.	SONUÇLAR	186
8.	KAYNAKÇA	193

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 4.1 IWA/AWWA Yöntemine Göre Su Bütçesi Tablosu (Farley vd., 2008)...	41
Tablo 4.2 Debimetre Odası ve Mekanik Teçhizatı Maliyeti.....	50
Tablo 4.3 Sınır Vanaları Yer Tespit ve Değişim Maliyeti.....	51
Tablo 4.4 Sıfır Basınç Testi Maliyeti.....	51
Tablo 4.5 İzleme ve İşletme Giderleri Maliyeti.....	51
Tablo 4.6 DMA Oluşturma Birim Metre Maliyeti	52
Tablo 4.7 Çeşitli Şebekeler İçin DMA Oluşturma Birim Metre Maliyeti	53
Tablo 4.8 Boru Cinslerine Göre Seçilen N1 Katsayıları	55
Tablo 4.9 Aktif Kaçak Kontrolü Fayda.Maliyet İçin Değişken Tanımlanması.....	58
Tablo 4.10 UARL Denklemi Parametreleri (Lambert vd., 1999).....	59
Tablo 4.11 Rapor Edilen Arızalardaki Kayıplar	59
Tablo 4.12 Şebeke Sızıntı Dinleme ve İzleme Faaliyetleri için Referans Maliyetler	60
Tablo 4.13 Şebeke Sızıntı Arama Kalitesinin Tanımlanması.....	61
Tablo 4.14 Arıza Onarım Ücretleri	61
Tablo 4.15 Fayda Maliyet Analizleri	62
Tablo 4.16 EKS İçin Temel Veri Giriş Ekranı	68
Tablo 5.1 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Basınç Yönetimi).....	103
Tablo 5.2 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Aktif Kaçak Kontrolü).....	104
Tablo 5.3 Kayseri Çalışma Alanı Verileri (Basınç Yönetimi ve ALC Birlikte).....	106
Tablo 6.1 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Basınç Yönetimi).....	113
Tablo 6.2 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Basınç Yönetimi) (Devamı).....	114
Tablo 6.3 GGS Değişimleri	115
Tablo 6.4 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Basınç Yönetimi).....	117
Tablo 6.5 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Basınç Yönetimi) (Devamı).....	118
Tablo 6.6 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Aktif Kaçak Yönetimi)	127
Tablo 6.7 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Aktif Kaçak Yönetimi) (Devamı).....	128
Tablo 6.8 Farklı Su Üretim Maliyetleri İçin DMA1 Analizleri.....	130
Tablo 6.9 Kayseri Çalışma Alanı Verileri (Basınç Yönetimi ve ALC Birlikte).....	139
Tablo 6.10 Kayseri Çalışma Alanı Verileri (PM ve ALC Birlikte).....	140
Tablo 6.11 DMA19 İçin Temel Şebeke Verileri	150
Tablo 6.12 DMA19 için DMA Maliyetlerinin Tanımlanması.....	151
Tablo 6.13 DMA19 için Sayaç Maliyetlerinin Tanımlanması.....	151
Tablo 6.14 DMA19 için Optimizasyon Sonuçları	152
Tablo 6.15 DMA19 için Optimizasyon Sonuçları/2	152
Tablo 6.16 DMA19 için Optimizasyon Sonuçları/3	153
Tablo 6.17 DMA23 İçin Temel Şebeke Verileri	157
Tablo 6.18 DMA23 için Optimizasyon Sonuçları	158
Tablo 6.19 DMA23 için EKS Değerleri	158
Tablo 6.20 DMA23 için Yöntem Optimizasyon Sonuçları	159
Tablo 6.21 Sınırlı Bütçe Fayda.Maliyet Hesaplamaları.....	160
Tablo 6.22 Sınırlı Bütçe (%20) Fayda.Maliyet Sonuçlar	161
Tablo 6.23 Sınırlı Bütçe (%15) Fayda.Maliyet Sonuçlar	162
Tablo 6.24 Sınırlı Bütçe (%5) Fayda.Maliyet Sonuçlar	162
Tablo 6.25 DMA23 için Optimizasyon Sonuçları	163

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Fiziksel Kayıp Mücadele Maliyet Eğrisi.....	34
Şekil 3.2 İdari Kayıplar Fayda Maliyet Eğrisi	35
Şekil 3.3 EKS Hesaplanması İş Akış Şeması.....	37
Şekil 3.4 Optimizasyon Sistem Modeli.....	39
Şekil 4.1 Debi Zaman İlişkisi (Farley, 2001; Thornton vd., 2008).....	43
Şekil 4.2 Fiziki kayıplar Mücadele Yöntemleri (Farley, 2001; Thornton vd., 2008).....	45
Şekil 4.3 İdari Kayıplar Mücadele Yöntemleri	46
Şekil 4.4 Basıncın Yüzesel Değişiminin Kayıplara Etkisi.....	55
Şekil 4.5 Şebeke Sızıntı Dinleme ve İzleme Faaliyetleri için Referans Maliyetler ...	60
Şekil 4.6 +10 Yaş Sayaçların Arıza Oranları (Fontanazza vd., 2014)	64
Şekil 4.7 Şebekeler için Faydalı Ömrün Hesabı.....	66
Şekil 4.8 İzole Bölge Uygulamaları Maliyet Analizi İçin Akış Diyagramı	70
Şekil 4.9 Basınç Kontrol Yönetimi İçin Maliyet Analizi Akış Diyagramı	73
Şekil 4.10 Aktif Kaçak Kontrolü İçin Maliyet Analizi Akış Diyagramı	77
Şekil 4.11 Abone Sayaç Yönetimi Maliyet Analizi İçin Akış Diyagramı	85
Şekil 4.12 Şebeke Yenileme İçin Maliyet Analizi Akış Diyagramı	87
Şekil 4.13 Şebeke Genel Maliyet Analizi İçin Akış Diyagramı	91
Şekil 4.14 Önerilen EKS Modeli İçin Uygulanan Diyagram.....	96
Şekil 5.1 Malatya Uygulama Alanı ve Pilot İzole Bölgeler (MASKİ, 2020)	102
Şekil 5.2 Kayseri Uygulama Alanı ve Pilot İzole Bölgeler (KASKİ, 2020).....	105
Şekil 6.1 Yerleştirilen Basınç Kırıcı Vanalar.....	110
Şekil 6.2 Debi ve Basınç Değişimleri	112
Şekil 6.3 PM uygulanmasının ILI ve GGS üzerindeki etkileri	120
Şekil 6.4 ALC uygulanmasının ILI ve GGS üzerindeki etkileri	132
Şekil 6.5 DMA22 Basınç.Kazanç Debisi İlişkisi	141
Şekil 6.6 DMA24 Basınç.Kazanç Debisi İlişkisi	142
Şekil 6.7 DMA19 Basınç.Kazanç Debisi İlişkisi	143
Şekil 6.8 DMA23 Basınç.Kazanç Debisi İlişkisi	143
Şekil 6.9 DMA20 ve DMA21 Basınç.Kazanç Debisi İlişkisi	144
Şekil 6.10 GGS Değişimleri.....	146
Şekil 6.11 Pilot Bölgede EKS Analiz Sonuçları	153
Şekil 6.12 Optimizasyon Sonuçları	154
Şekil 6.13 EKS Çalışmaları.....	155
Şekil 6.14 Ekonomik Analiz Hesaplama Aracı Veri Giriş Ekranı	167
Şekil 6.15 İzole Bölge Şebeke Bilgilerinin Tanımlanması	169
Şekil 6.16 Aktif Kaçak Kontrolü Veri Giriş Ekranı.....	170
Şekil 6.17 Ekip Yönetimi Veri Giriş Ekranı	170
Şekil 6.18 İzole Bölge E Birim Maliyetin Hesaplanması	171
Şekil 6.19 Rapor Edilmeyen Arızalar İçin Birim Maliyetlerin Hesabı	172
Şekil 6.20 Analiz Modülünde Arama Kalitesinin Tanımlanması	173
Şekil 6.21 Ekip Yönetimi Özel Hesap Verilerinin Kontrolü.....	173
Şekil 6.22 Ekip Sayısının “1” Artırılması Durumunda Fayda ve Maliyetler.....	173
Şekil 6.23 Harcanan Tutarlar Ve Tasarruf Edilen Su Miktarının Hesabı	174
Şekil 6.24 Aktif Kaçak Kontrolü Birim Maliyetlerin Hesabı	175
Şekil 6.25 Ekip Sayısının “2” Artırılması Durumunda Fayda ve Maliyetler.....	175
Şekil 6.26 Ekip Sayısının “8” Artırılması Durumunda Fayda ve Maliyetler.....	175
Şekil 6.27 Basınç Yönetimi İçin Temel Verilerin.....	177

Şekil 6.28 Basınç Yönetimi İçin Şebeke Ağırlıklı Boru Cinsinin Girilmesi	177
Şekil 6.29 Basınç Seviyesine Göre Yeni Kayıp Miktarının Hesabı.....	178
Şekil 6.30 Basınç.Arıza İlişkisinin Tanımlanması	178
Şekil 6.31 Ekip Yönetimi İçin Temel Şebeke Verilerinin Tanımlanması.....	179
Şekil 6.32 Ekip Yönetimi İçin Mevcut Şebekenin Tanıtılması.....	180
Şekil 6.33 Rehabilitasyon Durumunda PVC Boru Döşeme Maliyetleri	180
Şekil 6.34 Rehabilitasyon Durumunda Düktil Boru Döşeme Maliyetleri.....	181
Şekil 6.35 Rehabilitasyon Durumunda HDPE Boru Döşeme Maliyetleri	181
Şekil 6.36 Rehabilitasyon Durumunda Çelik Boru Döşeme Maliyetleri	182
Şekil 6.37 İlk Maliyetlerin Hesabı	182
Şekil 6.38 Rehabilitasyon Analiz Grafiği.....	183
Şekil 6.39 Şebeke Rehabilitasyon Sonuç Sayfası	183
Şekil 6.40 Sayaç Rehabilitasyonu İçin Temel Verilerin Tanımlanması	184
Şekil 6.41 Sayaç Hata Oranlarının Tanımlanması (Fontanazza vd., 2014)	184
Şekil 6.42 Sayaç Kalibrasyon Elde Edilecek Fayda ve Maliyetlerin Kıyaslanması	185



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

AÇB	: Asbest Çimento Boru
ALC	: Aktif Kaçak Kontrolü
AWWA	: Amerikan Su İşleri Birliği
BABE	: Arkaplan Sızıntıları ve Arıza Tahminleri
BKV	: Basınç Kırıcı Vana
BRK	: Şebeke Rehabilitasyon Katsayısı
CARL	: Yıllık Fiziki Kayıp Miktarı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DMA	: Ölçülebilir Alt Bölge
DSO	: Ayrık Stokastik Optimizasyon
EKS	: Ekonomik Kaçak Seviyesi
FAVAD	: Sabit ve Değişken Alan Basınç Hesabı
GGS	: Gelir Getirmeyen Su
HDPE	: Yüksek Dizayn Polietilen Boru
ILI	: Altyapı Kaçak İndeksi
IWA	: Uluslararası Su Birliği
KASKİ	: Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
LRELL	: Uzun Dönem Ekonomik Kaçak Seviyesi Teoremi
MASKİ	: Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
OV	: Optimizasyon Vektörü
PM	: Basınç Yönetimi
SCADA	: Merkezi Denetim ve Veri Toplama Sistemi
SRELL	: Kısa Dönem Ekonomik Kaçak Seviyesi Teoremi
UARL	: Yıllık Kaçınılmaz Kayıp Miktarı

ÖZET

Doktora Tezi

SU KAYIP YÖNETİMİNDE EKONOMİK KAÇAK SEVİYESİNİN OPTİMİZASYON ALGORİTMALARIYLA BELİRLENMESİ

SALİH YILMAZ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

209+XI sayfa
2021

Danışman: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

İçmesuyu dağıtım sistemlerinde meydana gelen sızıntılar idareler için teknik, sosyal, ekonomik ve işletme açısından önemli yükler getirmektedir. Sızıntıların önlenmesi için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Ancak bu yöntemlerden elde edilen faydaların yanı sıra ekipman, veri temini, saha uygulamaları ve izleme sistemleri gibi maliyetler ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle su kayıp yönetiminde yöntem belirlenirken ortaya çıkacak maliyetler belirlenmeli ve fayda-maliyet analizi yapılmalıdır. Bu çalışmada su kayıp yönetiminde uygulanan temel azaltma yöntemleri için fayda/maliyet analizleri yapılmış, ortak değişkenler bir arada değerlendirilerek sistem için ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla aktif kaçak kontrolü, izole bölge tasarımı ve uygulanması, sızıntı tespiti için ekip yönetimi, şebeke rehabilitasyonu ve sayaç yönetimi gibi temel yöntemler için saha verileri esas alınarak fayda/maliyet analizi standardı oluşturulmuş, maliyet bileşenleri belirlenmiştir. Bunun için, sistem ve su kayıp bileşenleri, önleme yöntemlerinin gereksinimleri, kısıtları ve maliyet bileşenleri göz önünde bulundurularak; ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanması, bu seviyeye ulaşmak için en uygun basınç seviyesinin ve ekip sayısının belirlenmesi için optimizasyon tabanlı model geliştirilmiştir. Ayrıca, belirlenen ekonomik kaçak seviyesine ulaşmak için uygulanması gereken yöntemler belirlenmiştir. Çalışmada basınç yönetimi ve akustik dinleme yöntemlerinin ekonomik analizinde alt yapı kaçak indeksi (ILI) dikkate alınmış ve bu göstergenin sistem performansının izlenmesindeki etkinliği analiz edilmiştir. Çalışmada idaredeki bütçe durumu göz önünde bulundurularak sınırlı bütçe koşullarında ekonomik kaçak seviyesi belirlenmiş ve bu hedefe ulaşmak için uygulanması gereken yöntemler tanımlanmıştır. Tez çalışması kapsamında yukarıda maddeler halinde verilen amaçların gerçekleştirilmesinde MASKİ Genel Müdürlüğü ve KASKİ Genel Müdürlüğü hizmet alanı içerisinde yer alan izole bölgelere ait veriler ve bilgiler kullanılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların, su kayıp yönetiminin daha planlı bir şekilde yapılması, en uygun önleme yönteminin belirlenmesi ve kaynakların (teknik alt yapı, personel, ekonomik) daha verimli kullanılması açısından önemli kazanım sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: İçmesuyu dağıtım sistemleri, sızıntı, aktif kaçak kontrolü, ekonomik analiz, ekonomik kaçak seviyesi, optimizasyon

ABSTRACT

Phd. Thesis

DETERMINATION OF THE ECONOMIC LEAKAGE LEVEL WITH OPTIMIZATION ALGORITHMS IN WATER LOSS MANAGEMENT

Salih YILMAZ

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

209+XI Page
2021

Supervisor: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

Leaks and failures occurring in water distribution systems cause significant technical, social, economic and operational difficulties for utilities. Various methods are applied to manage and prevent these leaks and failures. However, besides the benefits obtained from these methods, costs arise within the scope of equipment, data acquisition, field applications and monitoring systems. For this reason, the costs that will arise when determining the method in water loss management should be determined and benefit/cost analysis should be done. The aim of this study is to make benefit/cost analyzes for the basic reduction methods applied in water loss management and to determine the level of economic leakage for the system by evaluating the common variables together. For this purpose, the benefit/cost analysis standard and cost components were determined on the basis of field data for basic methods such as active leakage control, district metered area design and implementation, team management for leak detection, network rehabilitation and meter management. In addition, an optimization-based model has been developed to define the economic leakage level, to determine the most appropriate pressure level and the number of teams to reach this level, taking into account the system and water loss components, the requirements, constraints and cost components of prevention methods. Moreover, the methods to be applied in order to reach the determined economic leakage level have been determined. In the study, infrastructure leakage index (ILI) was taken into account in the economic analysis of pressure management and acoustic listening methods and the effectiveness of this indicator in monitoring system performance was analyzed. Finally, considering the budget situation in the administration, the level of economic leakage was determined in limited budget conditions and the methods to be applied to achieve this target were defined. Data and information belonging to the isolated areas within the service area of MASKI General Directorate and KASKI General Directorate were used in the realization of the above objectives. It is thought that the results obtained from this study will provide significant gains in terms of making water loss management in a more planned manner, determining the most appropriate prevention method and using resources (technique infrastructure, personnel, economic) more efficiently.

Keywords: Water distribution system, leakage, active leakage control, economic analysis, economic leakage level, optimization

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir bir kentsel su yönetiminin sağlanabilmesi için mevcut su, enerji ve ekonomik kaynakların en iyi şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için su ve ekonomik kaynak kısıtları en iyi şekilde analiz edilmeli ve buna uygun stratejiler geliştirilmelidir. Bu strateji ortaya konulurken mevcut su kaynağı, sistemin beslenme şekli, işletme maliyetleri, su üretim maliyetleri, mevcut şebeke koşulları, kayıp azaltma yöntemlerinin maliyetleri ve faydalarının göz önünde bulundurulması oldukça önemlidir.

İçme suyu dağıtım sistemleri incelendiğinde; sızıntı yönetiminde şebeke bileşenlerini (arıza ve sızıntı oranı, ekip sayısı, basınç limitleri, mevcut durum), önleme yöntemlerinin gereksinimlerini, kısıtlarını ve bunların maliyet analizlerini dikkate alarak ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanması gerçek zamanlı bir optimizasyon problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanmasında, arıza ve sızıntı üzerinde önemli etkiye sahip olan basıncın analiz edilmesi, sistem karakteristiğine göre en uygun basınç seviyesinin tanımlanması, arıza onarım hızının iyileştirilmesi için en uygun ekip sayısının tanımlanması, en önemli optimizasyon bileşenlerini oluşturmaktadır. Bu nedenle, ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanması için, arıza ve sızıntı oluşumuna neden olan tüm faktörlerin dikkate alınması, etkisinin analiz edilmesi, maliyet bileşenlerinin tanımlanması, fayda maliyet analizinin yapılması ve optimizasyon tabanlı modelin geliştirilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı tez çalışmasında, sistem ve su kayıp bileşenleri, önleme yöntemlerinin gereksinimleri, kısıtları ve maliyet bileşenleri göz önünde bulundurularak; ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanması, bu seviyeye ulaşmak için en uygun basınç seviyesinin ve ekip sayısının belirlenmesi için optimizasyon tabanlı model geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bilindiği gibi su kayıplarının azaltılması ve ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi gerçek zamanlı mühendislik problemleridir. Problemin gerçek zamanlı olması beraberinde birçok bilinmeyen ve modellenemeyen bileşeni de ortaya çıkarmaktadır. Özellikle kayıpların azaltılmasında çevresel ve önlenemeyen birçok bozucu bulunmaktadır. Bu bozucuların modellenmesi diğer gerçek zamanlı mühendislik problemlerinde olduğu gibi zordur ve sonuçlar güvenilir olmamaktadır. Nitekim bu problemlerin çözümünde birçok basit analitik matematiksel ifadeler kullanılmıştır. Fakat sistem davranışında birçok hesaplanamayan ve şebekeden şebekeye değişen bileşenler ve bozucular mevcuttur. Bundan dolayı bu problemlerin çözümünde yapay zeki optimizasyon yöntemlerinin kullanılması sistemdeki bu

bilinmeyenlerin etkisini en aza indirgeyecektir. Bu sayede önerilen metodoloji, kullanılan optimizasyon algoritmaları hemen hemen tüm şebekeler için kullanılabilecek kabiliyette olacaktır. Bunu gerçekleştirmek için saha verileri ve “yapay zeki sürü tabanlı metaheuristik optimizasyon algoritmaları” esas alınarak en uygun Ekonomik Kaçak Seviyesi (EKS) standardı için model geliştirilmiştir. Tez kapsamında yapılan analiz ve değerlendirmeler temel olarak şu şekilde verilebilir;

A. Su kayıp yönetimi ana bileşenleri için fayda-maliyet analiz standardının belirlenmesi

- İçme suyu dağıtım sistemlerinin mevcut durum analizlerinin yapılması,
- Mevcut şebeke koşullarında ölçülebilir alt bölge (DMA) tasarımı ve uygulanması için fayda ve maliyet bileşenlerinin belirlenmesi ve analiz standardının tanımlanması
- Mevcut şebeke koşullarında basınç yönetimi için fayda ve maliyet bileşenlerinin belirlenmesi ve analiz standardının tanımlanması
- Mevcut şebeke koşullarında akustik dinleme yöntemi için fayda ve maliyet bileşenlerinin belirlenmesi ve analiz standardının tanımlanması
- Mevcut şebeke koşullarında ekip yönetimi yöntemi için fayda ve maliyet bileşenlerinin belirlenmesi ve analiz standardının tanımlanması
- Mevcut şebeke koşullarında sayaç yönetimi yöntemi için fayda ve maliyet bileşenlerinin belirlenmesi ve analiz standardının tanımlanması,

B. Fayda ve maliyetleri hesaplanan su kayıp azaltma yöntemleri doğrultusunda şebekenin ekonomik kaçak seviyesinin algoritmalar ile belirlenmesi

C. Hesaplanan ekonomik kaçak seviyesi için uygulanması gereken kayıp azaltma yöntemlerinin belirlenmesi,

D. Sınırlı bütçe ile ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi ve uygulanacak kayıp azaltma yöntemlerinin belirlenmesi.

E. Basınç yönetimi ve akustik dinleme yöntemlerinin altyapı kaçak indeksi (ILI) ile arasındaki ilişkinin belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında yukarıda maddeler halinde verilen amaçların gerçekleştirilmesinde MASKİ Genel Müdürlüğü ve KASKİ Genel Müdürlüğü hizmet alanı içerisinde yer alan DMA'lara ait veriler ve bilgiler kullanılmıştır.

Tez çalışması temel olarak şu bölümlerden oluşmaktadır; (i) çalışma konusu ile ilgili literatürde yer alan çalışmaları içeren Literatür Özeti bölümü, (ii) Çalışma kapsamında kullanılan yöntemlerin açıklandığı Materyal ve Yöntem bölümü, (iii) Uygulama alanı ve özelliklerinin anlatıldığı Çalışma Alanı bölümü, (iv) Uygulama alanında yer alan ölçülebilir alt bölgelere (DMA) ait verilerin analizinin gerçekleştirildiği Analiz ve Değerlendirme bölümü, (v) Sonuçlar bölümü şeklindedir.

Özgün Değer

İçmesuyu dağıtım sistemlerinde su kayıpları ile mücadele ciddi bir önem arz etmektedir. Tüm şebekelerin kendine has özellikleri ve bağlı oldukları ülkelerin farklı ekonomik kıstasları olduğu düşünüldüğünde her şebeke için ekonomik kaçak seviyesinin farklı olduğu görülecektir. Bu nedenle su ve kanal idareleri ile belediyelerin su yönetiminde yönettikleri şebekelerin mevcut durumlarını göz önüne alarak kayıp ve kaçaklarla mücadele etmeleri gerekmektedir.

İçme suyu dağıtım sistemlerinde su kayıplarının önlenmesi-azaltılması-kontrol edilmesi amacıyla literatürde farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde genel olarak şebeke özelliklerine bağlı olarak ekonomik durumlar dikkate alınmamış olup, genel kabuller ile hesaplamalar yapıldığı görülmektedir. Ancak ekonomik kayıp seviyesi için hedef konulurken şebekenin mevcut koşullarına göre değerlendirme yapılmalı, özel koşullar göz önünde bulundurulmalı, mevcut ve gelecekteki potansiyel maliyetler, faydalar, sistemin tüm bileşenlerine ait parametreler ve diğer faktörler değerlendirilmelidir. Bundan dolayı su kayıplarının önlenmesinde kullanılacak analitik yöntemler her şebeke veya her ülke için uygun olmamaktadır. Önerilecek yöntemlerin tüm sistemler için minimum hata ile kullanılabilir olması gerekir. Bunun için bu problemlerin çözümünde öncelikle özgün bir amaç fonksiyonunun belirlenmesi planlanmaktadır. Bu amaç fonksiyonunun analitik olarak çözülmesi mümkün değildir. Çünkü sistem kaybına etki eden basınç yönetimi, aktif kaçak kontrolü, arıza onarım hızı-kalitesinin artırılması ile boru malzemesi yönetimi yöntemlerinin hepsi farklı birimlere sahip yapılardır. Bunların tek bir denklemde toplanması mümkündür. Fakat bu denklemin analitik olarak çözülmesi zordur. Bundan dolayı sezgisel olan stokastik arama, parçacık sürü araması, yapay fizik algoritması gibi yöntemler ile çözülmesi gerekmektedir.

Bu tez kapsamında, saha verileri dikkate alınarak ve yapay zeki optimizasyon algoritmaları kullanılarak en uygun ekonomik kaçak seviyesi standardı için model geliştirilmesi çalışması, daha önce literatürde etkin su kayıp yönetimi, su kayıplarının azaltılması ve önlenmesi amacıyla yapılan çalışmalardan farklı olup, amaç-kullanılacak değişken-uygulanacak yöntem-beklenen faydalar açısından özgün değere sahiptir. Daha önce bu kapsamda yapılmış tüm çalışmalarda, mevcut kayıp seviyelerinin belirlenmesi veya ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi aşamalarında birçok kabul yapılmaktadır. Bu nedenle söz konusu kabuller çalışmayı evrensel olmaktan çıkarıp lokal çözümler üretmektedir. Ayrıca aşağıda verilen analiz ve değerlendirmeler bu çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır:

- İçmesuyu dağıtım sistemlerinde su kayıp bileşenlerinin maliyetlerinin şebeke özelliklerine bağlı olarak hesaplanmasına imkân veren modelin geliştirilmesi,
- Su kayıplarını önleme-izleme-kontrol etme-müdahale amaçlı uygulanan yöntem-araçların maliyetlerinin ve elde edilecek faydaların hesaplanması için model geliştirilmesi
- Su kayıpları önleme politikalarının birbirlerine etkilerinin tespit edilmesi ve bütünlük bir kayıp stratejisinin ortaya konulması,
- İzole bölge ya da sistem karakteristiği ve mevcut şebeke özellikleri dikkate alınarak su kayıpları ile mücadelede en uygun kayıp oranını veren optimizasyon tabanlı model geliştirilmesi
- Mevcut şebeke koşullarında belirlenen en uygun kaçak seviyesine ulaşmada uygulanması gereken en uygun yöntemin-aracın optimizasyonunun geliştirilmesi,
- Önerilen optimizasyon algoritmasının her şebeke için kullanılabilir bir yetenekte olması.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İçme suyu dağıtım sistemlerinde, istenilen miktarda kaliteli suyun abonelere zamanında kaliteli ve güvenilir bir şekilde iletilmesi, bu hizmetin sürdürülebilir bir şekilde yapılması, maliyetli ve iyi planlama gerektiren faaliyetleri içermektedir. Kentsel su yönetiminde, arıza oranının artması, şebeke ile elemanlarının yaşlanması ve faydalı ömürlerinin azalması, nüfus artışına bağlı olarak su talebinin fazla olması, mevcut sistemin kapasitesinin ihtiyacı karşılayamaması ve yeni yatırımların zorunlu hale gelmesi, sızıntı miktarının fazla olması ve önlenememesine bağlı olarak yeni kaynak arayışı ve enerji tüketiminin artması maliyetleri arttırmakta ve idareler için önemli ölçüde yükler getirmektedir. Ayrıca, birçok idarede gelir getirmeyen suyun önemli bir kısmını oluşturan fiziki kayıpların önlenmesi, azaltılması, kontrol edilmesi ve izlenmesi için uygulanan yöntemlerin ilk kurulum ve işletme-bakım maliyetleri de önemli seviyelere ulaşmaktadır. Bu nedenle, sistemin işletme ve su kayıp yönetimi bileşenleri için ekonomik analizlerin yapılması, fayda ve maliyet değerlendirmelerinin detaylandırılması sistemin etkin, verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi açısından oldukça önemlidir. Literatürde, su kayıplarının azaltılması için uygulanan; basınç yönetimi (Al-Ghamdi, 2011; Gomes, Marques ve Sousa, 2011; Lambert ve Thornton, 2012; Wu vd., 2013; Kanakoudis ve Gonelas, 2016; Creaco ve Walski, 2017; Muhammetoglu vd., 2018), izole bölgelerin oluşturulması (Ferrari ve Savic, 2015; Campbell vd., 2016; di Nardo vd., 2017), aktif kaçak kontrolü (Lambert vd., 1999; Puust vd., 2009; Sarrate vd., 2014; Candelieri, Soldi ve Archetti, 2015; Berardi vd., 2016; Cabral vd., 2019; Lipiwattanakarn vd., 2019), arıza oranının azaltılması, arıza yönetimi, şebeke yenileme ve boru malzemesi yönetimi (Howarth, 1998; Loganathan, Park ve Sherali, 2002; Farley ve Liemberger, 2005; Tricarico vd., 2006; Neelakantan, Suribabu ve Lingireddy, 2008; Suribabu ve Neelakantan, 2012; Deidda, Sechi ve Zucca, 2014; Rogers ve Calvo, 2015; Marchionni vd., 2016; Agathokleous ve Christodoulou, 2017) ve idari kayıpların önlenmesi (Seago, McKenzie ve Liemberger, 2005; Cabrera vd., 2013; Mesquita ve Ruiz, 2013; Yılmaz, 2017; Alvisi, Luciani ve Franchini, 2019) gibi yöntemlerde, maliyetlerin, beklenen faydaların ve ekonomik etkilerinin analiz edildiği ve değerlendirmelerin yapıldığı görülmektedir (Hudson, 1978; Wallace, 1987; Holtschulte, 1989; Lambert vd., 1999; Fanner ve Lambert, 2009). Bu yöntemler uygulanarak sızıntıların izlenmesi, tespit edilmesi, kontrol edilmesi ve yönetilmesi mümkün olmakla birlikte, yöntemlerin gereksinimleri, kısıtları, ilk kurulum ve işletme-bakım maliyetleri önemli seviyelere ulaşmaktadır. Bu nedenle, sistemin işletme bileşenlerini dikkate alınması,

su kayıp bileşenleri için ekonomik analizlerin yapılması ve fayda-maliyet analiz modelinin tanımlanması, etkin ve sürdürülebilir su kayıp yönetimi açısından oldukça önemlidir (Mutikanga vd., 2013; Ezbakhe ve Foguet 2019; Jensen ve Nair 2019; Lopez vd., 2019).

İngiliz Ulusal Su Yönetim Kitabı (NWC, 1980), çeşitli sızıntı kontrol stratejilerinin etkilerini, maliyetlerini ve faydalarını araştırmıştır. Çalışmanın amacı su idarelerine yerel sızıntı seviyeleri ve genel maliyet tahminlerini vererek uzun vadeli sızıntı kontrol yönteminin seçiminde yardımcı olmaktır. Bu çalışmada su yönetim stratejisi kapsamlı bir şekilde açıklanmakta ve maliyet/etkileri hakkında deneyim bilgileri sunulmaktadır. Su yönetimi ve ekonomik kaçak seviyesinin tespitinde ilgili yayının temel yaklaşım unsurları sırasıyla;

- Sızıntı kontrolünün faydaları, kapsamlı bir hesaplama prosedürü ile değişken işletme maliyetlerini ve ertelenmiş sermaye maliyetlerini dikkate alan “birim maliyet kaçağı” hesaplanır. Gelecekteki sermaye maliyetlerinin su üretimi ile ilgili bileşenleri bugüne indirgenir ve ortalama birim su maliyeti elde edilir.
- Kararlı hal durumlarında farklı kontrol stratejileri belirlenerek hesaplanan sızıntı seviyeleri litre/km/saat cinsinde ifade edilir.
- Farklı sızıntı kontrol stratejilerinin çeşitli birim maliyetleri, hem kurulum hem de işletme maliyetleri, mülkiyet başına maliyet şeklinde hesaplanır. Model uzun dönemli kararlı durum koşullarını ele aldığından ve kullanılan kayıp kontrol stratejisine bağlı olarak onarım masrafları değişmeyeceğinden, gerçek onarım maliyetleri hesaba dahil edilmeyecektir.
- Alt bölgeler oluşturularak yapılan kaçak kontrol sistemleri en maliyetli ve en etkin yöntem olarak belirlenmişken, sondajlama ölçümler ile yapılan kaçak müdahaleleri daha az maliyetli etkin yöntemlerden biri olarak tanımlanmıştır.
- Kontrol stratejileri kayıplarla mücadelelerde önemli bir yer tutmaktadır. Kaçak oranının yüksek olduğu bir yerde pasif kontrol ne kadar maliyetli ise, kayıp oranının düşük olduğu bir bölgede ise aktif kaçak kontrolü yapmak bir o kadar maliyetli olacaktır.
- Daha sıkı bir kaçak kontrol politikasının belirlenmesi geçici bir iyileştirme sunacaktır. Uzun süreli kaçak oluşma oranları bu politikadan etkilenmeyecektir. Çünkü arızayı meydana gelen faktörlerin hiçbiri değişmemektedir. Diğer bir deyişle kaçak tespitinin

faydaları onarım/işletme maliyetlerini azaltmakla değil kaçaklara daha çabuk ulaşılması ile sızıntı oranlarını düşük tutarak fayda sağlar.

- NWC raporuna göre kullanılan yöntemlere bağlı olarak 120 litre/abone/gün ile 190 litre/abone/gün oranına ulaşılacağı açıklanmıştır.

Gelir getirmeyen su (GGS) oranı için genellikle belirli hedefler tanımlanmakta ve bu hedeflere ulaşmak için önemli yatırımlar yapılmaktadır. Fakat birçok durumda fayda maliyet analizi esas alınmadığı için yapılan yatırımlar ekonomik olmamaktadır. Bunun nedeni olarak, su kayıplarının, şebeke fiziksel, işletme, hidrolik ve çevresel olmak üzere birçok faktöre bağlı olması ve her bir sistemin mevcut koşulları göz önüne alınarak müdahale ve önleme yönteminin seçilmemesi gösterilebilir. Bu nedenle, su kayıpları ile mücadelede sistemin mevcut koşullarının göz önüne alınması, en uygun önleme stratejisinin seçilmesinde ekonomik analizlerin yapılarak ekonomik kaçak seviyesinin (EKS) tanımlanması gerekliliği literatürde yapılan çalışmalarda vurgulanmıştır (Howe, 1971; Walski, 1984; Lambert ve Mckenzie, 2001; Lambert ve Lalonde, 2005; Pearson and Trow, 2005; Kizito vd., 2009; Wyatt ve Alshafey, 2012; Lim, Savic ve Kapelan, 2015; Molinos-Senante, Mocholí-Arce ve Sala-Garrido, 2016; Haider vd., 2019)

Ayrıca, ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanmasında ve analizinde, matematiksel ve istatistiksel yöntemleri esas alan çeşitli yaklaşımlar uygulanmaktadır (Haider vd., 2019; Moslehi vd., 2019; Ahopelto ve Vahala 2020; Choi vd., 2020; Moon, 2020). Örneğin, içmesuyu dağıtım sistemlerinde arıza oranının modellenmesi (Zhang vd., 2019; Valis vd., 2020), izole bölge tasarımı (Wu vd., 2018; Bui vd., 2020), şebeke hidrolik modelinin oluşturulması (Chen vd., 2019; Luna vd., 2019), boru risk ve hasarlarının modellenmesi (Elshaboury vd., 2020; Moasheri ve Jalili-Ghazizadeh 2020), en uygun sensör yerinin tanımlanması (Babunski vd., 2018; Zhang vd., 2020), en uygun basınç seviyesinin tanımlanması (Gupta vd., 2017; Brentan vd., 2017; Jafari-Asl vd., 2020), sızıntı yerinin ve miktarının belirlenmesi (Ye ve Fenner, 2010; He vd., 2009) kapsamında optimizasyon yöntemleri uygulanmıştır.

Di Michele (1988) kararlı bir durumdaki dağıtım sisteminde en uygun sızıntı seviyesinin belirlenmesi için basit bir optimizasyon yaklaşımı kullanmaktadır. Bu optimum nokta sızıntının marjinal faydasının, tespitin marjinal maliyetlere eşit olduğu noktadır. Bu modelde temel olarak üç farklı maliyetler dikkate alınmıştır; (i) sızıntı seviyesi ile doğru orantılı kaçak maliyeti, (ii) sızıntı seviyesi ile ters orantılı tespit etme maliyeti, (iii) sızıntı

seviyesinden bağımsız onarım maliyeti. Howarth (1998) sızıntıların azaltılması için kabul gören evrensel hassasiyetlerin yetersiz kaldığını, kayıpların hesaplanmasında işletme ve sermaye maliyetlerinin yanı sıra çevresel ve sosyal maliyetlerin de dikkate alınması gerektiğini savunmuştur. Su kayıplarının görünenden çok daha büyük sosyo-ekonomik etkilerinin olduğunu ve su kayıplarıyla mücadeleye daha çok önem verilmesi gerektiğini iletmiştir.

Hardeman (2009), ekonomik kaçak seviyesi (EKS) değerinin bir sistemde sistemsel müdahale sınırlarının belirlenmesi için önemli bir bileşen olduğunu savunmuştur. Bir dağıtım sisteminde sızıntı oranının %0'a indirilmesinin gerçekçi olmayan ve maliyetli bir hedef olduğunu belirtmiş ve bu kapsamda EKS hesaplanarak sürdürülebilir su yönetimi sağlanabileceğini ifade etmiştir. Deidda vd. (2014) EKS ifadesini tasarruf edilen suyun maliyetleri ile sızıntıdan ek bir azalma sağlamanın marjinal maliyetleri arasında denge kurulması olarak tanımlamıştır. Yani mücadelede hedefin ne olacağının bu denge noktasıyla belirlenmesi gerektiğini belirtmiştir. Büyük su dağıtım sistemlerinde bu kavramın, müdahale edilecek bölgeyi belirlemede referans oluşturulabileceği gösterilmiştir. Sechi ve Zucca (2017) su dağıtım sistemlerinde sızıntı seviyelerinin azaltılması için en uygun yenileme stratejisi geliştirilmesi aşamasında, ekonomik kaçak seviyesi, tasarruf edilen suyun marjinal faydaları ve işletme/yatırım maliyetleri arasında denge kurulması gerektiğini belirtmiştir.

Kanakoudis vd. (2014), yaptığı çalışma ile içmesuyu şebekelerinin dizaynı ve işletilmesi sırasında kayıplar kadar iletilen suyun güvenilirliğinin de önemli olduğunu vurgulamışlardır. Bu nedenle yapılacak çalışmalarda izleme, modelleme ve optimizasyon ile birlikte risk yönetiminin de planlanması gerektiğini savunmuşlardır. Kozłowski vd. (2017), bir su temin sistemindeki su tüketimi tahmini için bir çözüm önerilmektedir; burada saatlik su tüketimi, trend analizi ve harmonik analiz ile belirlenir. Eğilim analizi, bir döngünün tek tek fazları için modellerin parametrelerinin tahmin edilmesinden ibaret iken, harmonik analiz, bir zaman serisinin harmonikler olarak bilinen farklı frekanslara sahip sinüs ve kosinüs dalgalarından meydana geldiği varsayımına dayanmaktadır.

Tez çalışmasında bu bölümün temel amacı; etkin, verimli ve sürdürülebilir kentsel su yönetimi ile su kayıplarıyla mücadelede uygulanan önleme faaliyetleri için ekonomik bileşenler çerçevesinde detaylı değerlendirmeler yapmak ve sonraki çalışmalar için referans oluşturmaktır. Bu çalışmanın en önemli avantajı, su kayıplarını önleme yöntemlerinin ekonomik analizi kapsamında ve EKS çerçevesinde detaylı değerlendirme yapılması ve

tartışma oluşturulmasıdır. Bunun için, EKS tanımlama, izole alt ölçüm bölgeleri, arıza ve şebeke bakım, aktif kaçak kontrolü, basınç yönetimi, boru malzemesi yönetimi ve şebeke yenileme, izleme ve veri tabanı için otomasyon sistemleri, idari kayıpların önlenme faaliyetleri gibi su kayıplarının azaltılması ve önlenmesi amacıyla yöntemler için ekonomik olarak değerlendirme yapılmış ve literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak tartışılmıştır.

1.1 İdari Kayıp Önleme Faaliyetleri için Ekonomik Değerlendirme

İdari kayıplar, aboneler tarafından tüketilen ve parası ödenmeyen bileşenleri içerdiği için bu bileşen İdareler açısından doğrudan gelir kaybını oluşturmaktadır (Lambert, 2002; Farley vd., 2008; Cabrera vd., 2013; Xin vd., 2014). İdari kayıpların bileşenleri genel olarak, sayaç hatalarından kaynaklanan kayıplar (eksik okuma ya da hiç okuma yapmama şeklinde), kaçak kullanımlar ve kayıtsız abone tüketimleri şeklindedir (Lambert vd., 1999; Farley vd., 2008; Cabrera vd., 2013). Bu bileşenlerin azaltılması, önlenmesi ve kontrol altına alınması ile İdareler için birim su satış bedeli üzerinden doğrudan gelir artışı söz konusudur. Abone sayaçlarında, sayacın yanlış montajı, yanlış tip ve sınıf seçimi, müdahaleler, su kalitesi gibi çeşitli sebeplerden dolayı arızalar meydana gelmekte ve GGS oluşmaktadır (Pearson ve Trow, 2005; Fanner vd., 2007; Sharma, Mutikanga ve Vairavamoorthy, 2009). Bu kayıpların azaltılması için, sistemde iyi bir abone ve sayaç yönetim sisteminin olması, sayaçların düzenli izlenmesi ve kalibrasyon programının yapılması, sayaçlardan örnekler alınarak test yapılması, ağırlıklı sayaç hata oranlarının belirlenmesi, hata oranlarına göre fayda-maliyet analizi yapılması oldukça önemlidir. Ayrıca bu analizler esas alınarak sayaç yenileme için öncelikli bölgelerin belirlenmesi, sayaç yenilemedeki ilk yatırım maliyetinin düşürülmesi ve sayaçlardan kaynaklanan doğrudan gelir kaybının azaltılması açısından önemli katkılar sunmaktadır (Seago, McKenzie ve Liemberger, 2005; Yılmaz, 2017).

Benzer şekilde kayıtsız abonelerin tüketimleri veya yasal olmayan bağlantı tüketimleri idareler için doğrudan gelir kaybına sebep olmaktadır. Bu kayıpların azaltılması ve önlenmesinde abone yönetim sisteminin saha verileri doğrulanmış olması ve verilerin güncelliğinin olması oldukça önemlidir. Veri eksikliği ve uygun metodolojinin olmamasından dolayı birçok İdarede idari kayıpların alt bileşenlerine ait kayıplar tahmin edilmekte ve doğru olmayan sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Male vd. (1985) abone sayaçlarının optimum değişim süresinin hesaplanması için bir model geliştirmiştir. Geliştirilen model ile sayaç onarım programlarının toplam maliyeti ve arızalı sayaçlar

nedeniyle kaybolan su miktarını hesaplanmıştır. İdeal değişim süresi olarak yaklaşık 9 yıl öngörülmüş ve fayda/maliyet oranının yaklaşık 2 katı olduğunu belirtilmiştir.

Seago vd. (2005) idari kayıpların büyüklüğünü tahmin etmek için Güney Amerika'da kamu araştırması gerçekleştirmiştir. Yasadışı kullanım, sayaç hataları ve okuma hataları hesaplanmış ve sınıflandırma yapılmıştır. Çalışma sonucunda yıllık idari kayıpların toplam kayıplara oranının %25'e yakın olduğu öngörülmüştür. Davis (2005), IWA su denetim metodolojisinin önemli bileşenlerinden biri olan müşteri sayaçlarının yanlış ölçüm yapması kaynaklı kayıpları incelemiştir. Sayaç değişimlerinde belli standartların olmadığını ve genellikle 10 ila 20 yıl arasında değişim yapıldığını belirtmiştir. Bu konuda üç farklı akımda (düşük, orta ve yüksek) deneyler yapılarak her türde akım rejimleri için ekonomik sayaç değişim yaşları tespit edilmiştir. Liemberger vd. (2006) gelişmekte olan ülkelerde kaçak miktarının günde yaklaşık 45 milyon m³ olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca 30 milyon m³ su kullanıldığı halde ödeme yapılmadığı belirtilmiştir. Kişi başı ortalama tüketimin 100 l/gün/kişi kabul edilmesi durumunda kaliteli suya ulaşamayan nüfusun yarısına hizmet verilebileceğini ve bu kaybın yıllık değerinin 5.8 milyar dolar olduğunu ortaya koymuştur.

Cabrera vd. (2013) abonelere iletilen, tüketilen ve faturalandırılmayan her su hacminin su dağıtım kurum veya şirketlerinde ekonomik olarak çok önemli bir etkiye neden olduğunu belirtmiştir. IWA/AWWA su dengesi tablolarında bu kayıpları kaçak kullanım, ölçüm hataları gibi iki ana başlık altında incelenmiştir. İlk bileşen doğrudan müşteri hizmetleri yönetimi ile ilgiliyken ölçüm hataları bileşeninin sayaçların doğru tipte ve boyutta seçilmesine doğrudan bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Arregui vd. (2015), konutlardaki su sayaçlarında ölçüm hatalarının değerlendirilmesi amaçlanmış ve evsel su tüketim karakteristiklerinin idari kayıpları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, ölçüm hatasının, konut sayaç modeli ve kullanıcı karakteristiğinin bir fonksiyonu olduğu vurgulanmıştır.

Mutikanga vd. (2011) farklı sayaç türleri üzerinde ağırlıklı hata oranının değişimini incelemiştir. Uganda'nın Kampala Bölgesinde yapılan deneysel çalışma sonucunda sayaçlardaki hata oranlarının sırasıyla % 6.67 % 4.68 ve % 1.45 olduğu tespit edilmiştir. Sayısal ölçüm hataları nedeniyle bu bölgede yılda 1.5 milyon Amerikan doları zarar olduğu belirlenmiştir. Fontanazza vd. (2014) 10 yaşından daha yaşlı sayaçların ortalama %33 eksik-hatalı ölçüm yaptığını belirtmiştir. Çalışmada, sayaçların ilk kez kalibrasyon işleminden geçirilmesi ile hata oranının %29'a, ikinci kez kalibre edilmesinin ardından %20'ye

düşürüleceği tespit edilmiştir. Ayrıca, 10 yaşından büyük tüm sayaçların değiştirilmesiyle hata oranının kabul edilebilir seviye olan %5.5 seviyesine ineceği hesaplanmıştır. Fontanazza vd. (2015), konutlarda kullanılan sayaçların bozulmalarına sebep olan faktörlerin araştırılmasında, sayaç yaşı ve konutlardaki su depoları dikkate alınmış ve deneysel ve teorik analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, sayaç yaşı, sistem basıncı, kullanıcı davranışı gibi faktörlerin idari kayıplar üzerinde etkili olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, idari kayıpların karmaşıklığının abonelerin su kullanımı ve idarelerin gelir kaybı üzerinde önemli etkileri olduğu belirtilmiştir. Tanverakul ve Lee (2015), tarafından yapılan çalışmada su tüketimlerinin ölçümünün konutlarda su kullanımına etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, 6 ay boyunca su tüketimi izlenen ve ölçülen konutlarda su tüketiminin azaldığı ve su tasarrufu açısından önemli katkılar sağladığı belirtilmiştir.

1.2 Arıza Yönetimi ve Şebeke İşletme Faaliyetleri için Ekonomik Değerlendirme

Dağıtım sistemlerinde hizmet veren boruların çevresel, hidrolik ve işletme faktörlerine karşı dayanımının azalmasına bağlı olarak sistemde arıza yoğunluğu artmaktadır (Lambert ve Hirner, 2000; Farley vd., 2008). Arıza oranının artması, işletme ve onarım maliyetinin artmasına, kesinti sıklığının ve bundan etkilenen abone sayısının artmasına, vatandaş memnuniyetinin azalmasına ve sistemin işletme koşullarının bozulmasına neden olmaktadır (Cabrera vd., 2013). Literatürde yapılan çalışmalarda arıza oranı üzerinde, sistem işletme basıncındaki dalgalanmalar, boru malzemesinin yaşı, malzeme yorulması ve çevresel gibi faktörlerin etkili olduğu vurgulanmaktadır (Al-Aghbar, 2005; Wang vd., 2009; Islam ve Babel, 2013).

Arızalara müdahale süresinin kısaltılarak sızıntı maliyetinin düşürülmesi, bakım ve onarım faaliyetlerinin daha kısa sürede yapılması ve personel giderlerinin azaltılması için arıza kayıtlarının alındığı, uygun ekiplerin yönlendirildiği arıza yönetim sistemleri önemli katkılar sunmaktadır. Literatürde arızaların ekonomik etkileri ve bunların azaltılmasına bağlı olarak elde edilecek kazanımlar ile ilgili çeşitli çalışmaların yapıldığı görülmektedir.

Loganathan vd. (2002) şebeke yönetiminde sistemin ekonomik olarak işletilmesi ve arızaların yönetilmesi için, ekonomik olarak sürdürülebilir arıza oranı eşik değeri tanımlamayı amaçlamıştır. Bu amaçla, bakım, onarım ve yenileme maliyetleri ile enflasyon oranı dikkate alınmış ve maliyet veri analizine göre, boru çapı ile arıza oranı eşik değeri

arasında önemli bir ilişkinin olduğu rapor edilmiştir. Çalışmada su dağıtım sistemlerinde bulunan boruların kalan faydalı ömürlerinin tahmini yapılmasının yanı sıra bozulma oranlarını tahmin eden bir model geliştirmiştir. Çalışma sonucunda farklı boru çapları için hesaplar yapılmış ve boruların ekonomik ömürleri hesaplanmıştır.

Farley vd. (2005) geliştirmekte olan ülkelerin mevcut sistemlerinin, gelişmiş ülkelere göre teknolojik ve sistemsel olarak daha kötü olduğunu ve buna bağlı olarak uygulanması gereken kayıp azaltma yöntemlerinin sistemlere özel olarak geliştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Wang vd. (2009) yıllık arıza oranının şebeke borularının mevcut durumlarının belirlenmesinde temel ölçüt olarak kullanıldığını, idarelerin sınırlı bütçeleri ile mevcut boruların durumunu değerlendirerek, bakım onarım, yenileme veya değiştirme faaliyetlerini değerlendirmesi ve öncelik belirlemesi gerektiğini ifade etmiştir. Tricarico vd. (2006), içmesuyu şebekelerinin tasarımı sırasında, (i) maliyetin azaltılması, (ii) hidrolik güvenirliliğin en üst seviyeye çıkarılması gibi iki temel faktörün dikkate alınmasını önermiştir. Bu kapsamda güvenilirlik; sistemdeki tüm noktaların günün her saati karşılaması gereken minimum basınç değerini sağlaması olarak değerlendirilirken, satılmayan su miktarı ve kayıplar ekonomik olarak değerlendirilmiştir. He vd. (2011), tarafından yapılan çalışmada su dağıtım sistemlerinde şebekenin kaçak oranını tespit etmek amacıyla geçmiş boru/arıza oranları incelenmiş ve boru yaşı - sızıntı miktarı ilişkisi temsil eden bir eğri ortaya konmuştur. Borular için optimum değiştirme periyodu ve maliyetleri hesaplanarak ekonomik kaçak seviyesi belirlenmiştir.

Suribabu ve Neelakantan (2012) su dağıtım sistemlerinin tasarımı ve işletmesi sırasında ekonomik analiz yapılması gerektiğini vurgulamıştır. Tasarlanan şebekelerin ekonomik ömrü boyunca bakım ve onarım maliyetlerini dikkate alan performans odaklı bir model geliştirilmiş ve önerilmiştir. Çalışma sonucunda geliştirilen modelin tasarım sırasında işletme maliyetleri de dikkate alındığında daha doğru sonuçlar vereceği savunulmuştur. Uslu vd. (2015), boru hatlarının kalan ömürlerinin hesaplanması için performans tahmin modellemesi geliştirmişlerdir. Öncelikle saha verileri toplanarak boruların temel özellikleri araştırılmış, ardından arıza kayıtları ve bozulma nedenlerine bağlı olarak kalan ömür tahmin modelleri geliştirilmiştir.

Zamenian vd. (2017), 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.

1.3 Su Kayıp Yönetiminde DMA Yaklaşımı ve Ekonomik Değerlendirme

Su kayıplarının önlenmesi ve kontrol edilmesi için, ilk defa IWA tarafından 1980 yılında İngiltere’de uygulanmış, sınırları kesin bir şekilde tanımlanan, genelde bir girişe sahip, diğer bölgelerden izolasyon vanalarıyla ayrılan izole ölçüm bölge oluşturma çalışmaları yapılmıştır (Morrison, Tooms ve Rogers, 2007; Farley vd., 2008; Mutikanga, Sharma ve Vairavamoorthy, 2013). Literatürde de, su kayıp yönetiminde izole bölge yaklaşımının yaygın bir şekilde kullanıldığı, rapor edilmeyen sızıntılar ile mücadelede önemli kazanımlar sağladığı vurgulanmıştır. Ayrıca, su kayıplarının önlenmesi ve azaltılması için uygulanan minimum gece debisi analizi, akustik yöntemlerle sızıntı tespiti, abone yönetimi, arıza yönetimi ve diğer araç ve yöntemlerin başarılı bir şekilde uygulanmasında önemli katkılar sunduğu görülmektedir (Fallis vd., 2011; Gomes, Marques ve Sousa, 2013; AWWA, 2016). İzole bölge tasarımında, şebeke uzunluğu, abone sayısı, servis bağlantı sayısı dikkate alınarak ve ekonomik analiz yapılarak en uygun izole bölge büyüklüğü ve sayısı belirlenmelidir (Lambert ve Morrison, 1996; Morrison, Tooms ve Rogers, 2007; Grayman, Murray ve Savic, 2009).

İzole bölgenin çok küçük seçilmesi durumunda, sistemin kontrol edilmesi açısından avantaj sağlasa da, daha fazla cihaz-ekipman maliyeti, işçilik, veri iletim sistemi maliyeti ve izolasyon için işçilik maliyeti ortaya çıkaracaktır. Diğer taraftan bölgenin büyük planlanması durumunda, ilk yatırım ve işletme maliyeti azalsa da, sistem bileşenlerinin (abone sayısı, hat uzunluğu gibi) boyutu artacağından dolayı işletme zorluğu ortaya çıkacaktır (Farley vd., 2008; Laucelli vd., 2017; Rahman ve Wu, 2018). İzole bölgelerin sağladığı faydalarının yanı sıra, sistem tasarımı ve saha imalatlarında aşağıda verilen çalışmalar önemli maliyetler oluşturabilmektedir (Durmuşçelebi, 2018);

- Şebeke ve vana planı esas alınarak potansiyel izole bölgelerin planlanması, proje üzerinde izolasyon vanalarının sayı ve yerlerinin belirlenmesi ve sınırların tanımlanması ve sahada ekipler tarafından sınır (izolasyon) vanaların tespit edilmesi

- Sistem girişinde debimetre ve basınçölçer için oda imalatlarının yapılması, debimetre ve basınçölçer alınması-yerleştirilmesi ve uzaktan izleme yapılması için otomasyon sisteminin kurulması (SCADA)
- Sahada ekipler tarafından tüketimin en az olduğu saatlerde sıfır basınç testinin yapılması ve bölgenin tam izole olup olmadığının test edilmesi ve sistemin izlenmesi
- Eğer dağıtım sisteminde şebeke ve elemanlarının coğrafi bilgi sistemi (CBS) ortamında verileri mevcut değil ise, izole bölgelerin sınırlarının tanımlanması, izolasyon vanalarının tespiti ve sıfır basınç testinin uygulanması

Gomes vd. (2013), su dağıtım sistemlerinde planlanan izole alt bölgelerin sınırlarının belirlenmesinde ekonomik koşulların ve değerlendirmelerin önemli ve ciddi bir parametre olduğunu iddia etmiştir. Çalışmada, izole bölge oluşturulurken toplam maliyetin en aza indirildiği, faydanın en fazla yapılacağı bir algoritma geliştirilmiş ve önerilmiştir. Böylelikle izole bölgelerin planlanması ve uygulanması ile ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi sağlanmıştır. 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 izole bölgelerin su dağıtım sistemlerine girişini takiben maliyetlerin ve faydaların analizini, izole bölgelerin ekonomik performansını değerlendirmek için bir çerçeve sağlamayı, farklı olası DMA düzenlerini karşılaştırmayı ve farklı seçenekler arasında en iyi çözümü tanımlamıştır.

Campbell vd. (2016) içme suyu dağıtım sistemlerinin izole alt bölgelere ayırmanın metodolojisini, ekonomik ve kontrol kabiliyeti bakımından faydalarını araştırmıştır. Bölgelerin izolasyonunda kullanılan izolasyon vanaları ve debimetrelerin kullanım yerleri ve sayısının en uygun şekilde belirlenmesi için genetik algoritma (Monte Carlo) tabanlı model geliştirilmiş ve uygulayıcılar için en uygun seçenekler belirlenmiştir.

Benzer şekilde, Di Nardo vd. (2017), dağıtım sisteminin izole bölge oluşturmak için planlanması ve tasarlanmasının oldukça karmaşık yapıya sahip olduğu, hidrolik, ekonomik

ve topolojik açıdan sistemin detaylı bir şekilde analiz edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu amaçla, oluşturulan alt bölgelerin sınırlarının belirlenmesinde ve kullanılacak hidrolik cihazların yerlerinin belirlenmesinde ekonomik ve enerji unsurlarının 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.

Al-Wasali vd. (2018), yaptığı çalışma ile Ürdün Zarqa kentinde sızıntı oranını, sızıntı bileşenlerini ve sızıntı azaltma yöntemlerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmalarda oluşturulan DMA bölgelerinde gece debisi analizleri yapılarak kaçak seviyeleri izlenmiştir. Farklı kaçak azaltma yöntemlerinin fayda ve maliyetlerinin ayrı ayrı değerlendirilmesinin doğru olmadığını savunmuşlardır. Çünkü basınç azaltmanın kayıplar üzerinde direk olumlu etkisi olduğu gibi, sızıntıların duyulmasını güçleştirdiğinden aktif kaçak yöntemini olumsuz etkilediğini ortaya koymuşlar ve yapılacak çalışmalarda bu yöntemlerin birbiriyle ilişkilerinin araştırılmasının ardından modellenerek kaçak azaltma stratejilerinin belirlenmesi gerektiğini savunmuşlardır.

1.4 Aktif Kaçak Kontrol Yöntemi ve Ekonomik Değerlendirme

Dağıtım sistemlerinde, sızıntıların önemli bir kısmını oluşturan rapor edilmeyen sızıntıların farkına varma ve yerini tespit etme sürelerinin uzamasına bağlı olarak önlenebilir sızıntı hacmi, sistem işletme ve su üretim maliyetleri artmaktadır. Bu sızıntıların farkına varılması, yerini tespit etme, onarma ve önleme faaliyetlerini içeren aktif kaçak kontrolü stratejisi, fiziki kayıp hacminin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır (Lambert ve Lalonde, 2005; Pearson ve Trow, 2005; Farley vd., 2008; Islam ve Babel, 2013). Ancak bu yöntemden beklenen faydaların elde edilmesinde; izole bölgelerin oluşturulması, sınırların tanımlanması, minimum gece debisinin izlenmesi ile farkına varılan önlenebilir sızıntı hacminin belirlenmesi, bu hacmin azaltılması için yer mikrofoni, bölgesel kaydedici, bölgesel korelatör gibi cihaz ve ekipmanlarla sızıntı yerinin tespit edilmesi çalışmalarının belli bir sistematik program çerçevesinde yürütülmesi oldukça önemlidir. Aktif kaçak kontrolünün uygulanmasında, izole bölge oluşturma maliyetlerine ilave olarak, farklı özelliklere, hassasiyetlere ve maliyetlere sahip cihaz ve ekipmanların maliyetleri diğer önemli bileşen olarak gösterilebilir (Suribabu ve Neelakantan, 2012; Kanakoudis ve

Gonelas, 2015; Lee, Kong ve Kang, 2015; AWWA, 2016; De Paola, Galdiero ve Giugni, 2016; Zamenian vd., 2017; Cabral vd., 2019).

Lambert vd. (1999) su kayıplarıyla mücadelede aktif sızıntı kontrolünün çok önemli bir yer tuttuğunu savunmuştur. Çalışmalarında ekonomik sızıntı seviyesinin tanımlanması sırasında aktif sızıntı kontrolü çalışmaları için ayrıntılı maliyet ve fayda analizleri yapılması gerektiği belirtilmiştir. Lambert ve Fantozzi (2005), aktif kaçak kontrolü stratejisinin geliştirilmesi ve uygulanabilmesi için mali ve fiziki parametreler ile ilgili ekonomik değerlendirme yapmak için pratik ve hızlı bir yaklaşım önermiştir. Bu kapsamda, suyun marjinal maliyeti, müdahale yönteminin maliyeti, sızıntı oranı ve buna bağlı maliyetler göz önüne alınmıştır. Xin vd. (2014), sızıntıların tespit edilmesinde ve yerinin belirlenmesinde uygulanan yöntem ve cihazları incelemiş, avantajları, dezavantajlı ve maliyetleri kapsamında detaylı analiz ve değerlendirme yapmıştır. Çalışmada, yer mikrofönlerinin, tarama aralığının 200-500 m aralığında olduğu ve doğruluk yüzdesinin düşük olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca sızıntı denetim verimliliğinin personel tecrübesine bağlı olduğu buna karşılık düşük işletme maliyetine sahip olduğu belirtilmiştir. Diğer taraftan, bölgesel kaydedici ve korelatör ekipmanlarının, tarama aralığının 2000 m'ye kadar olduğu, yüksek doğrulukla otomatik olarak tespit etme özelliğinin olduğu buna karşın bu ekipmanların yüksek maliyetli olduğu belirtilmiştir.

Puust vd. (2009), yaptıkları çalışma ile kayıplarla mücadelede 3 temel başlık belirlemişlerdir. Bunlar; mevcut sistemin ölçüm yapılarak değerlendirilmesi, dinleme cihazları ile kayıp kaçak noktalarının belirlenmesi ve gelecekteki kayıp tahminlerinin yürütülmesi şeklindedir. Çalışma kapsamında mevcut şebekelerin modellenmesi yapılarak gelecekteki arıza oranları tespit edilmiştir. Fantozzi (2006), teknolojiye meydana gelen gelişmelerin sonucunda aktif kaçak kontrol yöntemlerinin, içmesuyu kayıp kaçaklarıyla mücadelede önemli bir yere sahip olduğunu belirtmiştir. Aktif kaçak kontrolü için ekonomik olarak müdahale sıklığının belirlenmesi gerektiği savunulmuş ve değişken su maliyeti, müdahale maliyeti ve şebekenin doğal bozulma oranının hesaba katıldığı bir nomograf önerilmiştir. Islam ve Babel (2013), ekonomik kaçak seviyesinin tahmin edilmesi için sistemin toplam işletme maliyeti, dağıtılan suyun maliyeti ve aktif kaçak kontrolü maliyetinin dikkate alınması gerektiği vurgulamıştır. Çalışmada, aktif kaçak kontrolünün maliyetinin, tarama ve denetim faaliyetlerinin süresine bağlı olduğu, bunun denetim faaliyetleri (cihazlarla sahada sızıntı tarama ve tespit) maliyeti ve onarım işleri maliyeti olmak üzere iki temel maliyeti içerdiği belirtilmiştir.

Berardi vd. (2016), şebeke yönteminin ve su kayıplarının azaltılmasında aktif kaçak kontrolü çalışmalarının yapılmasına bağlı olarak, rapor edilmeyen sızıntıların daha hızlı tespit edilmesinin ve onarılmasının önemini vurgulamıştır. Çalışmada, aktif kaçak kontrolü stratejisinin uygulanması ile sızıntı ve arızalardan dolayı çevreye verilebilecek olası zararların ve sızıntıdan kaynaklı su kaybının azaltılması, işletme maliyetinin düşürülmesi ile önemli faydaların elde edileceği savunulmuştur. Washali vd. (2016), gerçek kayıpların tespitinde ve azaltılmasında minimum gece debisi analizini incelemiştir. Çalışmanın doğru sonuç verebilmesi için yoğun saha çalışmasına ihtiyaç olduğunu, ayrıca hesaplanan kullanım değerlerinin standart olamayacağını savunmuştur.

Lipiwattanakarn vd. (2019), sızıntılarla mücadelenin ve sızıntıların onarılmasının enerji ve sistem işletme maliyeti üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Uygulama alanında izole bölgede sızıntıların onarılmasından sonra izole bölge giriş debisinin % 9 azaldığını buna bağlı olarak sistem giriş enerjisinde % 8 azalma tespit edildiği, aktif kaçak kontrolü uygulanmasıyla sistem verimliliğinin iyileştiği vurgulanmıştır.

Haider vd. (2019), yaptıkları çalışmada Suudi Arabistan'da yapılan çalışmaları 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 kaybın sisteme kazandırılabilceğini tespit etmişlerdir. Ayrıca yapılan çalışmada su satış fiyatlarının artırılması ile aktif kaçak kontrolü ile elde edilebilecek faydanın artırılabilceği de önerilmiştir.

Moslehi vd. (2019), 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 m³/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.

Creaco vd. (2019), gerçek zamanlı kontrol ve otomasyon sistemleri ile su dağıtım sistemlerinin ve bileşenlerinin (sistem basıncı, depo seviye, pompa çalışma süresi ve enerji optimizasyonu, basınç kontrol vanaları vb.) izlenmesi ve kontrol edilmesinde önemli

faydalar sağladığını vurgulamıştır. Güngör vd. (2019), yaptıkları çalışmada pilot bölgeler için uygulanan basınç yönetimi stratejisi ile sisteme daha az su verilerek önemli tasarruflar sağlanabileceğini göstermişlerdir. Ayrıca SCADA, abone yönetim sistemleri ve ölçülebilir alt bölgeler ile daha etkili bir su yönetim strateji ortaya konulabileceğini savunmuşlardır.

Sharma vd. (2020), su kaybının sıfıra 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.

1.5 Su Kayıp Yönetiminde Basınç Yönetimi için Ekonomik Değerlendirme

Bölgedeki topoğrafik koşullara ve deponun yerleşim durumuna göre sistem basıncı yüksek seviyelerde olmakta veya abonelerin tüketim karakteristiğine bağlı olarak gün içinde önemli dalgalanmalar gözlenmektedir. Dağıtım sisteminde rapor edilen veya edilmeyen arızaların oluşmasında ve mevcut arızalarda birim zamanda kaybolan sızıntı hacminin artmasında sistem işletme basıncının etkili olduğu birçok araştırmada vurgulanmıştır (Lambert ve Mckenzie, 2001; Farley vd., 2008). May (1994) doğrudan ölçümlere dayanarak farklı çapta borular ve koşullar için kayıp oranı ve basınç arasındaki ilişkiyi tanımlayan Fixed and Varied Area Discharge (FAVAD) yaklaşımını önermiştir. Lambert vd. (1996) standart arıza frekansları ve arka plan sızıntıları için debi oranlarını hesaplayan bir yöntem olan Background and Bursts Estimates (BABE) yaklaşımını geliştirmiştir. Ayrıca Lambert vd. (1999), BABE ve FAVAD yöntemlerini birleştirerek dağıtım sistemlerinde (ana hat, servis bağlantı ve özel mülkteki servis bağlantılarında) yıllık kaçınılmaz kayıpları (UARL) hesaplayan yöntem önermiştir (Lambert vd., 1999; Lambert ve Mckenzie, 2001). Basıncın düzenlenmesi ve gece-gündüz basınç dalgalanmasının azaltılması için uygulanan basınç kontrol yönetimi, mevcut arızalarda sızıntı hacminin azalması, yeni arıza ve sızıntı oluşma riskinin azalması, işletme maliyetinin azalması, birim zamanda tüketilen su hacminin azalması ve borunun ekonomik ömrünün uzaması, şebeke yenilemenin ertelenmesine bağlı olarak ilk yatırım maliyetinin azalması, gibi önemli katkılar sunmaktadır (Fanner vd., 2007; Fanner ve Lambert, 2009; Vicente vd., 2016). Tabesh vd. (2011), yaptıkları çalışma ile genetik algoritma kullanarak talep odaklı ve basınca dayalı hidrolik tasarım modelleri

oluşturmuşlardır. Muhtemel kaçaklar hidrolik sistemlere entegre edilerek daha gerçekçi veriler elde edileceği savunulmuştur. Diğer taraftan, basınç kontrol yönetiminin faydalarının yanı sıra, oda yapımı, cihaz ve ekipman seçimi-yerleştirilmesi ve verilerin izlenmesi için otomasyon sistemi gibi bileşenler önemli maliyetler oluşturmaktadır (Charalambous ve Kanellopoulou, 2010). Bu nedenle bir sistemde basınç kontrol yönetimi uygulanmadan önce aşağıdaki soruların cevaplanması, ekonomik anlamda sistem verimliliği için oldukça önemlidir (Kanakoudis ve Gonelas, 2015; AL-Washali, Sharma ve Kennedy, 2016);

- Basınç yönetimi gerekli mi? Uygulanabilir mi? Beklenen faydalar nelerdir? Teknik ve teknolojik alt yapı yeterli mi?
- Şebeke davranışı, abone su talep karakteristiği hakkında bilgi var mı? Olumsuz etkilenecek aboneler var mı? Hidrolik modelde simülasyon yapıldı mı?
- Maliyet bileşenleri, cihaz temin, kurulum, işçilik ve saha çalışmalarının maliyetleri belirlendi mi? Fayda maliyet analizi yapıldı mı?

Di Michele vd. (1988) birim suyun sermaye maliyetlerini hesaplamak için BABE yaklaşımını revize ederek Tayland'da uygulamış ve küçük bölgelerde sızıntı seviyeleri ve temel sızıntı kontrol tekniklerinin (basınç yönetimi, arıza yönetimi, aktif kaçak kontrolü ve boru malzeme yönetimi) uygulanması için yeni katsayılar elde etmiştir. Birim suyun sermaye maliyetlerini hesaplamak için sızıntı azaltma yaklaşımı değiştirilmiş ve en iyi sızıntı kontrol stratejisi için çeşitli nomografler oluşturulmuştur.

Dünya Bankası Enstitüsü (WBI) için yapılan bir projenin parçası olarak Liemberger ve McKenzie (2005) gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için çeşitli basınç sınıflarında bağlantı başına günlük sızıntı seviyesi (l/bağlantı/gün) hedefleri geliştirmiştir. Bu kapsamda gelişmiş ülkeler için tanımlanan sınır değerler, birim basınç altında 5 l/bağlantı/gün, 20-40 metre basınçta 150 l/bağlantı/gün şeklindedir. Gelişmekte olan ülkelerde ise bu değerlerin doğrudan 2 katı hedef gösterilmiştir. Tabesh vd. (2008) su dağıtım şebekelerindeki kayıpların değerlendirilmesi için yıllık su dengesi tablosunu ve minimum gece debisi analizini kullanmıştır. Mevcut şebeke modellenerek farklı basınç seviyeleri için su kayıpları değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda basınç düzenlemesi yapılarak kayıp kaçaklarda azalma sağlanabileceği görülmüştür.

Wegelin ve McKenzie (2010), Cape Town şehrinde dağıtım sisteminde sızıntıların önlenmesi ve azaltılması amacıyla basınç kontrol ve azaltma stratejisi geliştirmiştir. Bunun için basınç kırıcı vanalar kullanılmış, gece debilerinde meydana gelen değişimler

incelenmiştir. Yapılan ölçümlerde basıncın kontrol edilmesi ve düzenlenmesi ile gece debilerinde önemli azalmalar meydana geldiği ve sızıntıların önlenmesinde önemli kazanımlar elde edildiği belirtilmiştir. Gomes vd. (2011), basınç yönetiminin fiziki kayıpların azaltılması ile su üretim ve iletim maliyetlerinin doğrudan düşeceğini vurgulamış ve basınç yönetiminin su tüketiminin azalmasındaki etkisinin oldukça düşük seviyede olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, basınç yönetiminin diğer önemli bir faydasının, arıza frekansının azalması ve buna bağlı olarak sızıntı hacminin azalması şeklinde olduğu ifade edilmiştir.

Thornton (2011), içmesuyu dağıtım şebekelerinde basınç yönetiminin faydalarını araştırmıştır. Basınç yönetimi yapılırken öncelikle şebekede basınç bölgelerinin oluşturulması gerektiğini, ardından uygun basınç kırıcı vanaların seçilmesi gerektiği belirtilmiştir. Başarılı bir sistem kurulması halinde arıza sayılarında ve anlık su kaybı değerlerinde azalma olacağı vurgulanmıştır. Xu vd. (2014), su kıtlığı ve iklim değişikliğine bağlı olarak su idareleri tarafından kayıp azaltma stratejilerinin önem kazandığını ve su kayıp azaltmada en ekonomik yöntem olarak da basınç yönetimi uygulamasının yaygınlaştığını ortaya koymuştur. Pekin su dağıtım sisteminde oluşturulan izole bölgelerde yapılan basınç çalışmaları ile her km boru için yıllık 62.633 m³ su tasarrufu sağlandığı ve buna bağlı olarak 1.1×10⁶ MJ enerji ve 68 ton CO² eşdeğeri sera gazı emisyonu tasarrufu sağlandığı ortaya konulmuştur.

Gonelas vd. (2016), gelir getirmeyen su hacminin azaltılmasının tüm su idarelerin ortak hedefi olduğunu ve seçilecek stratejilerde ekonomik analizlerin yapılmış olması gerektiğini ortaya koymuşlardır. Ekonomik kaçak seviyesinin en temel bileşeninin 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. Creaco vd. (2017), sızıntı ve kaçakların azaltılması için aktif basınç kontrolü yapılmış ve ekonomik sonuçları incelenmiştir. Konvansiyonel basınç kırıcılar ile uzaktan gerçek zamanlı kontrol edilen basınç kırıcılar kullanılarak şebekede dizayn edilmiş ve sonuçları araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda sızıntı seviyesi ile bakım ve işletim maliyetlerinin düşük olduğu bölgelerde aktif basınç kontrolüne ihtiyaç duyulmadığı, karmaşık ve büyük sistemlerde uzaktan kontrollü basınç kırıcıların kullanılması gerektiğini ortaya konulmuştur.

Samir vd. (2017), basınç yönetiminin su kayıp azaltma yöntemleri içerisindeki en iyi uygulamalardan biri olduğunu ortaya koymuştur. Yaptıkları çalışmada basınç kırıcı vanalar kullanılarak oluşturulan izole bölgelerde kayıp oranlarının %37'e kadar azaltılabildiği görülmüştür. Bu nedenle su yönetiminde ilk olarak basınç yönetimi uygulamasının ekonomik faydalarının ve maliyetlerinin analiz edilmesi tavsiye edilmiştir. Fontana vd. (2018), sızıntıların önlenmesi ve azaltılması amacıyla gerçek zamanlı basınç kontrol sistemini önermiş ve saha deneyleri sonucunda gerçek zamanlı basınç kontrolünün minimum gece debisinin azaltılmasında, basınç dalgalanmalarının en aza indirilmesinde ve basıncın düzenlenmesinde önemli kazanımların elde edildiğini vurgulamıştır. Moslehi vd. (2020), İçmesuyu şebekelerinde sıklıkla kullanılan kayıp azaltma yöntemlerinden biri olan basınç yönetiminin ekonomik faydalarını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada sabit çıkışlı basınç kırıcı vanalar, debi duyarlı basınç kırıcı vanalar ile zaman duyarlı basınç kırıcı vanaların uygulamaları karşılaştırılmış ve debi duyarlı basınç kırıcı vanaların sistemin yönetilmesinde en iyi sonuçları verdiğini ortaya koymuşlardır. Su yönetiminde karar vericileri ilgi yatırımın gerçekleşmesine ikna etmek amacıyla, çalışma faydalarının önceden ortaya konulması gerektiği düşünülmektedir.

1.6 Şebeke Yenileme ve Boru Malzeme Yönetimi için Ekonomik Değerlendirme

Bu yöntemin uygulanması ile şebeke ve bileşenlerinin CBS veri tabanına aktarılması ve izlenmesi, arıza oluşma riskinin düşük olması ve işletme maliyetinin düşük olması, servis bağlantı imalatlarının sayaca kadar yapılması ile abone bağlantılarındaki sızıntıların önlenmesi ve azaltılması, GGS oranının oldukça düşük seviyede tutulması ve abone memnuniyetinin ve hizmet kalitesinin artması mümkün olmaktadır (Venkatesh, 2012; Kanakoudis ve Gonelas, 2015). Bir dağıtım sisteminde, mevcut şebeke koşullarının korunması durumunda, mevcut arıza oranları, şebeke işletme, bakım ve onarım maliyetleri, yeni su kaynağı arama ve enerji maliyetleri, şebekenin yenilenmesi durumunda ortaya çıkan ilk yatırım ve orta ve uzun dönemli işletme maliyetleri göz önüne alınmalı ve şu sorulara cevap aranmalıdır: boruların arızası durumunda lokal değiştirme mi? Yoksa şebekenin yenilenmesi mi? (Mamo, Juran ve Shahrour, 2013; Al-Zahrani, M. Abo-Monasar, A. Sadiq, 2016). Boru malzeme, işçilik, inşaat maliyetlerinin oldukça yüksek seviyelerde olması nedeniyle şebeke yenileme yaklaşımı tercih edilmeden önce detaylı fayda maliyet analizinin yapılması ve alternatif çözümlerin değerlendirilmesi karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, ilk

olarak, su kayıp yönetimi için diğer yöntemlerin uygulanması, arıza ve sızıntıya sebep olan faktörlerin etkisinin azaltılması ve aktif kaçak kontrolünün uygulanması gerektiği vurgulanmıştır. Yöntemlerden beklenen faydaların elde edilememesi durumunda şebeke yenilemede öncelikli bölgelerin belirlenmesi ve ilk yatırım maliyetlerinin azaltılmasında önemli katkı sunduğu vurgulanmaktadır (Park ve Loganathan, 2002; Kim, Baek ve Kim, 2005; Giustolisi, Laucelli ve Savic, 2006; Suribabu ve Neelakantan, 2012; Venkatesh, 2012; Mondaca vd., 2015; Francisque vd., 2017).

Kleiner vd. (1998) dağıtım sistemlerinde şebeke yaşı ve dış etkenlere bağlı olarak meydana gelen hasarların sistem işletme ve bakım maliyetlerini arttırdığı, servis kalitesini düşürdüğü ve su kalitesini olumsuz etkilediğini vurgulamıştır. Çalışmada, su iletiminde dağıtım şebekesinin oldukça maliyetli olduğu, bu nedenle mevcut şebekenin yapısal koşulları, hidrolik kapasitesi, zamana bağlı bozulma durumu göz önüne alınarak rehabilitasyon alternatiflerinin değerlendirilmesi ve en uygun stratejinin belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Park vd. (2002), içmesuyu şebekelerinde boruların ekonomik ömrünü hesaplamıştır. Yani artık onarmanın değiştirmeye göre daha maliyetli çıkacağı nokta belirlenmiştir. Yaptıkları çalışmada şebekede rehabilitasyon çalışması yapılmadan önce mutlaka şebeke faydalı ömrünün hesaplanması gerektiği savunulmuştur. Wu vd. (2010), su dağıtım sistemlerinde şebekenin kaçak oranının tespit etmek amacıyla geçmiş boru/arıza oranları incelemiş ve boru yaşı - sızıntı miktarı ilişkisi temsil eden bir eğri ortaya koymuştur. Borular için optimum değiştirme periyodu ve maliyetleri hesaplanarak ekonomik kaçak seviyesini belirlemişlerdir. Francisque vd. (2017), şebeke yöneticilerinin su şebekesi rehabilitasyonu 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.

Marchionni vd. (2016), farklı hidrolik ve fiziksel özelliklere sahip içmesuyu sistemleri için (debi, pompa yüksekliği ve gücü, malzeme, basınç ve çap) referans maliyetler çıkarılmıştır. Sonuçlara ulaşılabilmesi için çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmış ve oluşturulan modelin doğruluğu kontrol edilmiştir. Sonuç olarak farklı özelliklerdeki şebekelerin birim maliyetleri çıkarılmıştır. Böylelikle yeni yapılması planlanan şebekeler için fayda-maliyet analizlerinin yapılmasına olanak tanımıştır. Zangenehmadar vd. (2016),

yaptıkları çalışmada su dağıtım sistemlerinde bulunan boruların kalan faydalı ömürlerinin tahmini yapılmasının yanı sıra bozulma oranlarını tahmin eden bir model geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında Levenberg - Marquardt algoritması kullanmıştır.

Romaniuk (2016), içmesuyu şebekelerinde her bir düğüm noktası için tanımlanan malzeme ve arıza kayıtları ile boru kaliteleri Monte Carlo simülasyonu ile elde edilmiştir. Ölçüm sonuçları bakım maliyetlerinin elde edilmesinde referans oluşturmuştur. El Chanati vd. (2016), dağıtım sistemlerinde boru hatlarındaki bozulmaların, su kalitesi, hidrolik kapasite ve hizmet kalitesi üzerinde etkili olduğunu ve borular bakım programının planlanmasının, sağlık sorunlarının en aza indirilmesi, daha iyi hizmet sunulması, işletme maliyetinin azaltılması ve verimliliğinin artırılması kapsamında oldukça önemli olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca, şebeke bakım, iyileştirme veya boru değiştirme programlarına karar vermek, ekonomi ve teknik verimliliği iyileştirmek için mevcut durumun iyi analiz edilmesi ve performansın izlenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, genel olarak şebekeler için faydalı ömür kavramına odaklanıldığı görülmektedir. Bu kavram, şebekede arıza onarımı, bakım faaliyetleri, basınç yönetimi veya diğer temel yöntemlerle sızıntıların kontrol edilmesinin ekonomik olarak yönetilemediği durumlarda oldukça fazla önem kazanmaktadır. 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. Boruların arıza durumunda lokal değiştirme mi, yoksa şebekenin yenilenmesi mi? sorularının cevabı bu faydalı ömür noktasının belirlenmesinin ardından daha sağlıklı ortaya çıkacaktır.

1.7 Su Kayıp Yönetiminde Otomasyon Sistemleri için Ekonomik Değerlendirme

Kentsel su yönetiminde gelişen teknolojiye bağlı olarak yazılım araçları ve otomasyon sistemleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Su kayıp yönetiminde kullanılan otomasyon sistemleri temel olarak, abone yönetim sistemi (abone-sayaç-faturalama sistemleri), çağrı alma ve arıza takip sistemi (arızaların bildirilmesi-ekiplerin yönlendirilmesi ve kayıtların tutulması), coğrafi bilgi sistemler (sisteme ait tüm bileşenler veri tabanı ile saklanması, haritalanması ve sorgulanması), SCADA (hidrolik verilerin anlık olarak izlenmesi-kontrol edilmesi ve müdahale) vb. şeklinde verilebilir. Bu sistemler özellikle, sisteme ait sahadaki tüm fiziksel ve hidrolik bileşenlerin saklanması, sorgulanması, raporlanması, analiz

edilmesi, izlenmesi, enerji-su-personel ve mali açıdan verimliliğin iyileştirilmesi ve hizmet kalitesinin artırılması gibi birçok alanda teknik personel ve karar vericiler için önemli kolaylık ve avantajlar sunmaktadır (Rossman, 2000; Walski vd., 2003; Zhan, Wang ve Wang, 2003).

Faydaları bahsedilen bu sistemlerin, ilk kurulum maliyetleri (cihaz, yazılım, veri aktarma, veri saklama) ve işletme maliyetleri (veri iletme-haberleşme) oldukça yüksek seviyelere ulaşabilmektedir. Bu nedenle, kurulacak otomasyon sisteminin, uygun, gerekli, uygulanabilir, işletilebilir, ekonomik ve beklenen faydayı sağlayabilir özellikte olması ve bu kapsamda fayda maliyet analizinin yapılması oldukça önemlidir. Clement ve Schock (1995) Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) su dağıtım sistemi çalışmaları için geniş bir uygulanabilirliğe sahip olduğunu, alt yapı bileşenlerinin CBS ile gösterilmesinin ve analizinin, karar vericiler için önemli faydalar sağladığını belirtmiştir. Haritalama, modelleme, tesis yönetimi ve iş emri yönetiminden gelen coğrafi bilgileri kullanarak, bir içme suyu dağıtım sistemi yöneticisi ayrıntılı bir sermaye iyileştirme programı veya işletme ve bakım planı geliştirebileceği ortaya konulmuştur. Shamsi (1998), hidrolik modellerin CBS üzerinde yapılmasının idareler için 3 temel faydası olduğunu savunmuştur;

- Sistem, anlık olarak değişiklikler yansıtılabildiği için sürekli güncel halde kalacaktır. Bu husus işletme aşamasında ciddi fayda sağlayacaktır.
- CBS raporlama ve analiz özellikleri bakımından kullanıcılar için ciddi zaman ve personel kullanımına bağlı tasarruf sağlayacaktır.
- Diğer sistemlerle entegre çalışabildiği için su kayıplarıyla mücadelede etkin bir rol alabilmektedir.

Walski vd. (2003) içmesuyu şebekelerinde arıza onarımı kalitesinin artırılması amacıyla CBS yönteminin kullanılması gerektiğini savunmuşlardır. Mevcut şebekelerin ve vanaların sisteme işlenmesinin ardından arıza meydana gelen noktalarda arıza onarımı için optimum su kesilme senaryosunun (arızadan etkilenen abone sayısını minimum tutacak şekilde) CBS ile yapılabileceği belirtilmiş ve bu hususun idareler için ciddi bir ekonomik ve sosyal kazanç sağlayacağını savunmuşlardır. Coates (2003), dağıtım şebekesinin tamamının CBS'de işlenmesinin ardından operasyonel olarak su idaresinin çok daha güçlendiğini, arıza çözülme sürelerinin kısaldığını ve arızalardan etkilenen abonelerin sayısının azaltıldığını belirtmiştir. CBS ile sosyal memnuniyetin ve ekonomik kazancın arttığı savunulmuştur.

1.8 Su Kayıp Yönetiminde Ekonomik Kaçak Seviyesi

Su kayıplarının azaltılması ve kontrol edilmesi için uygulanan yöntem ve süreçler idareler için doğrudan ekonomik maliyetler doğurmaktadır. Fiziki kayıpların azaltılmasında yaygın bir şekilde tercih edilen ve uygulanan 4 temel yöntem (basınç yönetimi, boru malzemesi yönetimi, aktif kaçak kontrolü ve arıza yönetimi) için öncelikle mevcut şebeke koşulları hakkında detaylı bilgiye ve teknolojik araçlara ihtiyaç duyulmaktadır (Lambert, 2002; Liemberger ve Frauendorfer, 2010; Sechi ve Zucca, 2017). Basınç yönetimi için basınç kontrol vanalarına veya yeni yapılacak içmesuyu depolarına, aktif kaçak kontrolünün yapılabilmesi için akustik dinleme cihazları ve bölgesel izleme cihazları gibi son teknoloji ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda su idareleri için yeni bir sorun ortaya çıkmaktadır; Su kaybının azaltılması için yapılacak harcamaların idareye mali geri dönüşü olacak mı?

Bu soruya cevap verilebilmesi için idarelerin mevcut şebeke koşullarına göre ideal su kayıp oranını belirlemesi gerekmektedir. Su kayıp yönetiminde ve sızıntılarla mücadelede en önemli husus ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanması gösterilebilir (Farley ve Trow, 2003; Pearson ve Trow, 2005; Islam ve Babel, 2013; Haider vd., 2019). En uygun su kayıp oranının belirlenmesinde ise temel olarak şu bileşenler göz önünde bulundurulmalıdır (Wyatt ve Alshafey, 2012; Islam ve Babel, 2013);

- Su kayıp yönetiminde idarenin hedefi, su kayıplarının azaltılmasında idarenin finansal-teknik altyapı-teknik personel koşulları,
- Su kayıplarının azaltılmasında idarenin uyguladığı strateji (varsa), sistemin mevcut durum analizi-önceliği-potansiyel azaltma yöntemlerinin uygunluğu
- Sistemin kalan faydalı ömrü, mevcut koşullarda şebekenin işletme maliyeti, mevcut şebekenin idareye sağladığı yıllık gelir, sistemin hidrolik performansı
- Uzun vadeli planlamalar için yıllık enflasyon oranı
- Su kaynaklarının durumu (yeni kaynak ihtiyacı var mı? Yeni kaynak ve isale hattının muhtemel bedeli), mevcut sistemin enerji maliyeti
- Mevcut sistemde su kayıplarını azaltma faaliyetleri için uygulanacak araç ve yöntemlerin maliyetleri, bu yöntemlerin uygulanması ile elde edilecek faydalar
- Kısa-orta-uzun dönemli fayda maliyet analizi

Dağıtım sistemlerinde ideal kayıp yüzdeleri belirlenirken bölgesel bazlı değerlendirme yapılması ve evrensel kabullerden ziyade mevcut şebekenin durumu, ekonomik koşullar,

yerel maliyetler, faydalar, mühendislik parametreleri ve diğer faktörler göz önünde bulundurulması daha gerçekçi yaklaşım sunacaktır (Deidda vd., 2014). İşletme ve üretim maliyetlerinin çok yüksek olduğu, şebekenin pompa ile beslendiği ve arıtma yapılan bir sistem için tanımlanan ekonomik kaçak seviyesi, cazibeli beslenen, arıtma gerektirmeyen bir şebekenin ekonomik kaçak seviyesinden farklı olacaktır. Ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesinde mevcut şebekenin durumu göz önünde bulundurularak bir hesaplama yapılabilir. Ancak sürdürülebilir bir su yönetimi için 5, 10 ve 20 yıllık hedefler konmalıdır. Bu süre zarfında şebeke koşulları aynı kalmayacağından hedeflenen EKS düzeyleri de değişiklik gösterecektir. Bu nedenle ekonomik değişimler kadar şebekelerinde ve kullanılan malzemelerinde bozulma oranları hesap edilmelidir.

İdeal su kayıp oranlarının belirlenmesinde, suya olan ihtiyaç, mevcut şebekenin durumu ve işletme giderleri kadar önemli bir faktör de İdarenin ekonomik durumudur. Rudolph (2009), gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için su kayıplarının ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğini savunmuştur. Almanya’da %8 olan kayıp-kaçak oranının gelişmekte olan ülkelerde %90’a kadar çıkabildiğini ve bunun temel nedeninin su yönetimi için ayrılan bütçeler arasındaki fark olduğunu belirtmiştir. Christodoulou vd. (2009), yaptıkları çalışmada sürdürülebilir bir su yönetiminin sağlanabilmesi için risk analizi, varlık yönetimi ve ekonomik/sosyal etkilerin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemlerini kullanarak bir karar destek modülü oluşturmuştur.

Howe (1971) 2.3 m³/gün/km sızıntı oranının fiziksel olarak indirilemeyen seviye olarak kabul etmiştir. Ayrıca Howe (1971) aynı çalışmasında ekonomik onarım noktasının araştırmasını da araştırmış ve kaybedilen suyun değerinin, tespit ve onarım maliyetine eşit olduğu noktayı 6.9 m³/gün/km olarak bulmuştur. Bu değer kaçınılmaz kayıp için bulunduğu seviyenin yaklaşık üç katıdır. Hudson (1978), kaçınılmaz sızıntıları 2.3 ile 6.9 m³/gün/km olarak hesaplamıştır. Diğer taraftan Wallace (1987) kaçınılmaz sızıntı değerini 3.4 ile 6 m³/gün/km olarak hesaplamıştır. Griffin (1983) sızıntı tespit ve onarım programlarının fayda maliyet analizlerini ve modellerini sunmuştur. Analizler sızıntıların bir seviyeden bir alt seviyeye indirildiği kısa süreli geçiş durumlarını incelemekte ve buna bağlı uzun dönemli çalışma perspektifi oluşturmaktadır. Model sızıntı oluşumunun temel prensiplerine dayanmakta ve model kullanılmaya başlandığı andan itibaren logaritmik bir değişim olacağını varsaymaktadır. Ayrıca tamir maliyetlerinin sadece bir kısmının modellemeye dâhil edilmesi gerektiğini savunulmaktadır. Çünkü onarımın sadece daha erken yapıldığı ve

boru ömrü düşünülduğünde aslında fazladan bir onarım yapılmadığı vurgulanmaktadır. Sızıntı tespit ve onarım analizleri sonucunda fayda/maliyet oranlarının 0.5 ile 10 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Walski (1984) hem kısa süreli hem de uzun vadeli maliyet tasarruflarına bakarak sızıntı tespit ve onarım programlarından yararlanma konusunu araştırmıştır. Su satın alan kuruluşlar için fayda, birim satın alma fiyatına dayanmaktadır. Yazar, pompalama veya arıtma tesisi işletenler için fiyatların faydaların bir göstergesi olarak sunulmasına karşı çıkmış ve tasarruf edilebilmesi için önemli bir miktarda sızıntı onarımı yapılması gerektiğini savunmuştur.

Holtschulte (1989) farklı tipteki topraklarda ve borularda yaptığı çalışmalar sonucunda önlenemez kayıp seviyesi olarak $2.4 \text{ m}^3/\text{gün}/\text{km}$ hesaplamıştır. Daha sonra yapılan çalışmalarda bu değer $0.5 \text{ m}^3/\text{gün}/\text{km}$ 'e kadar düştüğü görülmektedir. Sharma (2008), kararlı bir durumdaki sistem için optimum sızıntı seviyesinin belirlenmesinde basit bir optimizasyon yaklaşımını kullanmıştır. Bu optimum nokta sızıntının marjinal faydasının, tespit marjinal maliyetlere eşit olduğu noktadır. Bunun için üç temel hesap kullanılmıştır; (i) sızıntı seviyesi ile doğru orantılı kaçak maliyeti, (ii) sızıntı seviyesi ile ters orantılı tespit etme maliyeti ve (iii) kaçak seviyesinden bağımsız onarım maliyeti.

Diğer taraftan Fanner ve Lambert (2009) ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanması ve tahmin edilmesi için, fiziki kayıpları ile mücadelenin temel bileşenlerini (basınç yönetimi, aktif kaçak kontrolü, sızıntı onarım ve bakım hızı) dikkate alarak sunduğu yöntemde, basıncın EKS üzerinde oldukça etkili olduğunu vurgulamıştır. Islam ve Babel (2013) sızıntı kontrol stratejisinin en önemli bileşeninin ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi olduğunu vurgulamıştır. EKS, şebeke koşullarından işletme basıncına, marjinal su maliyetine ve kaçak kontrolü için harcanan maliyetlerin tümüne bağlı olduğu ifade edilmiştir. Çalışma alanında şebeke EPANET ile modellenerek farklı koşullar için farklı kayıp seviyeleri tespit edilmesi planlanmıştır. Lim vd. (2015) gelir getirmeyen su oranının en uygun seviyesini belirlemek amacıyla, toplam maliyet analizi, marjinal maliyet analizi ve kümülatif maliyetler ve faydalar analizi gibi üç maliyet ve fayda bileşenlerini dikkate almış ve karşılaştırma yapmıştır.

Bunların yanı sıra ekonomik kaçak seviyesi tespitinde optimal sızıntının tespiti için çeşitli yaklaşım ve algoritmalar kullanılmıştır. Lambert ve Mckenzie (2001) ekonomik sızıntı seviyesinin tespiti için bilgisayar programı olan Econoleak'i geliştirmiştir. Bununla

birlikte ekonomik kaçak seviyesi (EKS) modeli, gelişmekte olan ülkelerde önemli bazı noktaları ele almamaktadır. Birincisi EKS gelişmekte olan ülkelerde gelir getirmeyen suyun büyük bir parçası olan idari kayıpları göz ardı etmektedir. İkincisi ise su üretim tesislerinin gelecekteki yenileme/genişleme maliyetlerini hesaba katmamaktadır. Üçüncü olarak da su üretim kapasitesinin su talebini karşılayamadığı durumlar dikkate alınmamaktadır.

Molinos-Senante vd. (2016), yaptıkları çalışma ile EKS'den farklı olarak sürdürülebilir ekonomik düzeyde sızıntı (SELL) tanımını ortaya koymuşlardır. Çevresel ve kaynak maliyetlerinin EKS içerisinde değerlendirilmesi öngörülmüştür. Maliyetlerin belirlenmesinde gölge maliyet denilen çalışan sayısı, müdahale sayısı gibi birçok parametrenin dayandığı maliyetler hesaplanmıştır.



3. EKONOMİK KAÇAK SEVİYESİ TEORİSİ VE PROBLEMİN TANIMLANMASI

Dünyada su dağıtımı yapan kurum ve organizasyonlar incelendiğinde su kayıp oranlarının gelir getirmeyen su kavramıyla değerlendirildiği ve performanslarının da genellikle bu gösterge ile yapıldığı görülmektedir. Uluslararası Su Birliğinin (IWA) yaptığı araştırmaya göre “gelir getirmeyen su” oranı gelişmiş ülkelerde %8 ile %24 arasında değişirken, yeni sanayileşen ülkelerde %15 ile %24 arasında, gelişmekte olan ülkelerde ise %24 ile %45 arasında ideal olduğu ifade edilmiştir (IWA, 1991). Türkiye’de ise idareler için su kayıp oranları “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği” (8 Mayıs 2014) ile belirlenmiştir. Bu kapsamda idareler, su kayıp yüzdelerini 5 yıl içerisinde en fazla %30, takip eden 4 yıl içerisinde ise en fazla %25 düzeyine indirmekle yükümlü hale gelmişlerdir. Daha sonra hedeflerin idareler için gerçekçi olmaması, su kayıpları ile mücadelenin önemli maliyetler getirmesi ve diğer alt yapıdan kaynaklanan güçlükler nedeniyle, 31 Ağustos 2019, tarihinde ilgili yönetmelik güncellenmiştir. Buna göre idareler su kayıp yüzdelerini, 2023 yılına kadar en fazla %30, 2028 yılına kadar ise en fazla %25 düzeyine indirmekle yükümlü hale gelmişlerdir. Türkiye Su Enstitüsü (SUEN) 2019 verilerine göre Türkiye’de büyükşehirler için GGS oranı %42 olarak açıklanmıştır.

Su kayıplarıyla mücadele için uygulanan yöntem ve süreçler, su kayıpları gibi idareler için doğrudan ekonomik maliyetler doğurmaktadır. Fiziki su kayıplarının azaltılması için 4 temel yöntem (basınç yönetimi, boru malzemesi yönetimi, aktif kaçak kontrolü ve arıza yönetimi) için öncelikle mevcut şebeke koşulları hakkında detaylı bilgiye sahip olunması gerekmekte ve her bir yöntem için teknolojik araçlara ihtiyaç duyulmaktadır (Lambert, 2002; Liemberger ve Frauendorfer, 2010; Sechi ve Zucca, 2017). Basınç yönetimi için şebekenin muhtelif yerlerine yerleştirilecek basınç kırıcı vanalara veya yeni yapılacak içmesuyu depolarına, aktif kaçak kontrolünün yapılabilmesi için akustik dinleme cihazları, bölgesel izleme cihazları gibi son teknoloji ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda su idareleri için yeni bir sorun ortaya çıkmaktadır; “Su kaybının azaltılması için yapılacak harcamaların idareye mali olarak geri dönüşü olacak mı?” Bu sorunun cevabının verilebilmesi için idarelerin mevcut şebeke koşullarına göre ideal su kayıp oranını belirlemesi gerekmektedir. Su kayıp yönetiminde ve sızıntılarla mücadelede en önemli husus ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanması gösterilebilir (Farley ve Trow, 2003; Pearson ve Trow, 2005; Islam ve Babel, 2013; Haider vd., 2019).

Ekonomik kaçak seviyesi bir içme suyu dağıtım sisteminde kayıpların azaltılması için harcanan birim maliyetin, su üretim/satış maliyetine eşit olduğu nokta olarak tanımlanabilir. Dağıtım sistemlerinde su kayıplarının hesaplanan ekonomik seviyenin altına düşürülmesi, kayıp azaltma için harcanacak tutarların elde edilecek suyun marjinal faydasından fazla olması nedeniyle artık su idareleri için ekonomik olmayacaktır.

Dağıtım sistemlerinde ideal kayıp yüzdeleri belirlenirken bölgesel bazlı değerlendirme yapılması ve evrensel kabullerden ziyade mevcut şebekenin durumu, ekonomik koşullar, yerel maliyetler, faydalar, mühendislik parametreleri ve diğer faktörler göz önünde bulundurulması daha gerçekçi yaklaşımdır (Deidda vd., 2014). Suyun işletme ve üretim maliyetlerinin çok yüksek olduğu, şebekenin tamamının terfili hatlarla ve arıtılmış sularla beslendiği bir şebekenin ekonomik kaçak seviyesi ile şebekenin tamamının cazibeli su ile arıtma ihtiyacı olmadan beslendiği bir şebekenin ekonomik kaçak seviyelerinin aynı olması beklenemez.

Hardeman (2009) yaptığı çalışmada EKS değerinin bir sistemde sistemsal müdahale sınırlarının belirlenmesi için önemli bir bileşen olduğunu savunmuştur. Bir dağıtım sisteminde kayıp kaçak oranının %0'a indirilmesi gerçekçi olmayan ve maliyetli bir hedef olduğu ortaya konulmuştur. Bu kapsamda EKS hesaplanarak sürdürülebilir su yönetimi sağlanabileceği düşünülmektedir. Islam vd. (2013) yaptıkları çalışma ile sızıntı kontrol stratejisinin en önemli bileşeninin ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi olduğunu savunmuştur. EKS'nin şebeke koşullarından işletme basıncına, marjinal su maliyetine, kaçak kontrolü için harcanan maliyetlerin tümüne bağlı olduğu savunulmuştur. Deidda vd. (2014) yaptıkları çalışma ile kaçak azaltma çalışmalarında EKS ifadesini tasarruflu suyun maliyetleri ile sızmada ek bir azalma sağlamanın marjinal maliyetleri arasında denge kurulması olarak tanımlamıştır. Yani mücadelede hedefin ne olacağını bu denge noktasıyla belirlenmesi gerektiğini savunmuştur. Büyük su dağıtım sistemlerinde bu kavram müdahale edilecek bölgeyi belirlemede referans sağlayabilmektedir.

Literatür genel olarak incelendiğinde gelişmekte olan ülkeler için yararlı bazı temel bilgiler işaret edildiği gibi ele alınması gereken bazı noktalarda değerlendirilmiştir.

Kaçınılmaz kayıp veya arka plan sızıntıları literatürde iyi bilinmektedir. Tespit edilemediği düşünülen sızıntının büyüklüğü, mevcut teknolojiye, basınca ve diğer değişkenlere bağlı olacaktır. Gelişmiş ülkeler ve gelişmekte olan ülkeler için farklı

yöntemler gerekiyor olsa da IWA yöntemlerinden başka bu sızıntıyı tahmin etmek için herhangi bir yöntem bulunmamaktadır.

Sızıntı tespiti ve onarımının net faydaları; sızıntı miktarına, değişken su maliyetine, kaçınılan sermaye giderine ve kayıp kontrol maliyetine bağlıdır. En kritik parametre toplam sızıntı miktarını belirleyen basınçlardır. EKS modeli yerinde sızıntı ölçümlerine ihtiyaç duyulmadan hesaplanacak şekilde henüz modellenememiştir.

Yukarıda verilen çalışmalar ve vurgulanan sonuçlar dikkate alındığında, su kayıplarıyla mücadelede belirlenecek strateji için teknik ve ekonomik tüm değişkenlerin dikkate alındığı bir model kurulması ihtiyacı doğmaktadır. Su kayıplarının azaltılması-kontrol altına alınması-yönetilmesi vb. amaçlar için önerilmiş olan çalışmalar analitik ve basit matematiksel denklemler ile çözümler yapmaktadır. Kullanılan basit matematiksel denklemler birçok bileşeni de göz ardı etmektedir. Bilindiği gibi su kaybı yönetiminde basınç yönetimi, aktif kaçak kontrolü, arıza onarım hızı-kalitesinin artırılması ile boru malzemesi yönetimi gibi dört temel yapı etki etmektedir. Problem çözümünde bu dört temel yapının eş zamanlı çözülmesi gerekmektedir. Böylece, herhangi bir basınç seviyesine göre değişimleri analiz edilerek, arıza onarım, şebeke izleme ve sızıntı tespit maliyetlerinin hesaplanması, sızıntıların ve arızaların ekonomik olarak yönetilmesinde en uygun basınç seviyesinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Tez kapsamında su kayıp yönetiminde benimsenmiş olan kayıp azaltma yöntemleri için fayda/maliyet analizleri yapılmış, ortak değişkenler bir arada değerlendirilerek sistem için ekonomik kaçak seviyesi belirlenmesi amaçlanmıştır. Ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi için oluşturulan model temel olarak aşağıdaki hususları içerecektir;

Ekonomik kaçak seviyesi ile ilgili kurulacak modellerde su talebine bağlı olarak kapasitenin yeterli olması ya da olmaması durumu incelenerek temelde iki senaryo kurulmalıdır. Kurulacak modellerde gelecekte su ihtiyacı ve buna bağlı kapasite artırımını gibi temel durumlar öngörülmelidir (Wyatt, 2010);

- **Kapasite Fazlası Olması Durumu:** Su üretiminin talebi aşması ve tüketimin tatmin olması durumudur. Su idaresi kayıpların kontrolü konusunda daha sıkı politika benimsemesi durumunda, sızıntı tespit programları, sayaç değiştirme programları ve benzer koruma programları maliyetleri artıracaktır. Bununla birlikte sızıntı azaltılırsa su üretimi düşecek ve gelecekteki kapasite artırımını ertelenecektir. Bu programın yararı su üretimi ve kapasite artırımında maliyet tasarrufu sağlamaktır. Ticari

kayıplar azaltılırsa, daha önce o kategoriye giren su, gelir getiren suyun bir parçası haline gelir ve fayda gelirlerini artırır. Model parametreleri açısından su tüketimi sabit kabul edilir ve kayıplarda meydana gelen her azalma üretilen suyun miktarını azaltır.

- **Kapasite Açığı Olması Durumu:** Mevcut su kayıpları göz önüne alındığında kapasite yetersizliği ve talebin karşılanamaması nedeniyle su üretiminin kısıtlanması sıkça karşılaşılan durumlardan birisidir. Su idaresinin daha sık kontrol programı denemesi halinde maliyetler artacak ve kazandırılan su talebi karşılamak için abonelere satılacaktır. Bu modellemede kazanılan suyun hemen aboneye satılacağı varsayılır. Fayda doğrudan gelirden artışa neden olacaktır. Model parametreleri açısından üretilen su sabit kabul edilir ve fiziksel ve idari kayıpların azaltılması ile gelir getiren su miktarının artması beklenir. Ülkemiz su yönetim şartları göz önüne alındığında, kurulacak modelde tamamen kapasite açığı olduğu kabul edilmiştir. Yapılan hesaplamalar tamamen mevcut kaybın azaltılmasına yönelik olmaktadır.

İzlenecek senaryonun belirlenmesinin ardından mevcut şebeke verilerinin toplanması gerekmektedir. Bu kapsamda şebekenin toplam boru metrajı, boru cinsi ve çapları, arıza türleri ve değişim eğilimleri, abone sayıları ve sayaçlara ait bilgiler toplanmalıdır. Şebeke verilerinin toplanılmasının ardından mevcut su kaynakları değerlendirilmelidir. Kaynakların durumu (cazibeli, terfili, arıtma ihtiyacı olma ve olmama durumları) ortaya konulmalı ve bu kapsamda suyun birim üretim maliyetleri hesaplanmalıdır. Söz konusu birim maliyet hesaplanırken su üretimine dair yıllık verilerden yararlanılmalı, su üretiminde mevsimsel değişikliklerin birim maliyete etkisi minimize edilmelidir. Toplanacak olan verilerin ardından seçilen bölge sınırları dâhilinde sisteme verilen su miktarının ölçülmesi gerekmektedir. Sisteme giriş hacmi belirlenirken seçilen bölgedeki tüm su kaynakları ve sisteme giriş yapan tüm iletim hatları ayrı ayrı değerlendirilmeli, bu girişlerde debimetre yardımıyla ölçümler yapılmalıdır. Sisteme giriş hacminin ölçülmesinin mümkün olmadığı hallerde giriş hacmi ortalama kişi başı tüketim ve nüfus tahmini olarak hesaplanabilmektedir. Sağlıklı bir model kurulabilmesi için sisteme giren suyun net bir şekilde ölçülebilir olması daha tercih edilen bir durumdur.

Sisteme giren toplam su hacminin tespit edilmesinin ardından toplam tüketim miktarının da hesaplanması gerekmektedir. Kullanılacak olan tüm suyun abone sayaçları vasıtasıyla ölçümleri gerekmektedir. Bu kapsamda yine seçilen bölge içerisinde kalan tüm

abonelerin sağlıklı bir şekilde saha incelemeleriyle tespit edilmeleri gerekmektedir. Bölge içerisinde kalan, park-bahçe sulaması, yangın hidrandı kullanımı vb. yasal olup ölçülmeyen kullanımların tamamının ölçülebilir hale getirilmeleri toplam tüketim miktarının sağlıklı bir biçimde belirlenmesinde önem arz etmektedir. Tüketim verilerinin sağlıklı bir şekilde ölçülemediği sistemlerde kaçak seviyesinin belirlenmesi mümkün değildir. Bu nedenle yapılacak çalışmalarda öncelikle giriş ve çıkış debilerinin doğru ve sürdürülebilir şekilde ölçülmeleri hedef alınmalıdır.

Kurulacak olan modelin en önemli noktalarından biri de ekonomik analizlerin sağlıklı bir şekilde yapılması ve değerlendirilmesidir. Sonuçta ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi temelde yıllık finansal kazancı maksimize eden bir optimizasyon problemidir. Suyun birim kazanç maliyetinin, birim işletme maliyetine eşit olduğu nokta bizim için EKS'ni ifade etmektedir (Wyatt, 2010).

$$S = R - (Cv + Cc + Cpl + Cll) \quad (3.1)$$

İlgili denklemde;

- S: Finansal Kazanç, TL/Yıl
- R: Yıllık Gelir, TL/Yıl
- Cv: Suyun Yıllık Değişken Maliyeti, TL/Yıl
- Cc: Kapasite Artırımı Maliyeti, TL/Yıl
- Cpl: Fiziksel Kayıp Kontrolünün Yıllık Maliyeti, TL/Yıl
- Cll: İdari Kayıp Kontrolünün Yıllık Maliyeti, TL/Yıl ifade etmektedir.

Finansal kazancın hesaplanması için öncelikle yıllık gelirin hesaplanabilmesi gerekmektedir. Sistem içerisinde bulunan abonelerin bir yıllık tüketimlerine karşılık gelen tahakkuk tutarları hesaplanmalıdır. Daha sonra sistemin işletilebilmesi için gerekli birim işletme maliyetinin hesaplanması gerekmektedir. Personel giderleri, arıza onarım giderleri ve suyun kaynaktan aboneye ulaşıncaya kadar izlediği yolda harcanan her bir kalem ayrı ayrı değerlendirilerek birim işletme maliyetinin hesaplanması gerçekleştirilir. Böylelikle mevcut şebeke şartlarında belirlenen yıllık kazanç ve yıllık kayıp miktarları net bir şekilde ortaya konulacaktır.

Su kayıpları ile mücadelede kullanılan yöntemler, personel ve ekip-ekipman giderleri nedeniyle maliyetler doğurmaktadır. İdari kayıplarla mücadele, fiziksel kayıplar ile mücadelede ile benzerlikler göstermektedir. Su kayıpları azalması ile birim su için harcanan

para logaritmik olarak artmaktadır. Buda kayıplarla mücadelede optimum bir nokta belirlenmesi ihtiyacı doğurmaktadır.

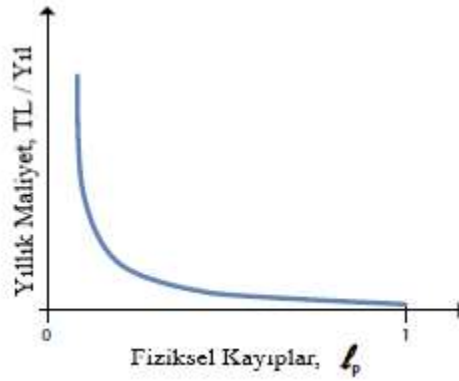
Fiziksel Kayıp Kontrolünün Yıllık Maliyeti Hesabı:

Oluşturulması planlanan model ile sabit durumdaki kayıp seviyesinin korunması ve azaltılması için yapılacak çalışmaların fayda/maliyetlerinin hesaplamaları yapılmalıdır. Bu kapsamda DMA oluşturulması, basınç kontrolü yapılması, saha dinlemeleri yapımı gibi kaçak kontrol yöntemleri mevcuttur (Şekil 3.1). Aktif kaçak kontrol yapısında kayıp seviyesi düşük olacağı gibi maliyetlerde de ciddi bir artış görülecektir. Bu kapsamda fiziki kayıplar için oluşturulan model denklem 3.2’de gösterilmektedir;

$$C_{pl} = C_s * (D * N / P_s) \quad (3.2)$$

İlgili denklemde ;

- C_s = Bakım onarım maliyeti, TL/Km
- D = Bağlantı başına düşen abone hattı uzunluğu, km/bağlantı
- N = Toplam bağlantı sayısı
- P_s = Yılın aktif kaçak kontrolü yapılan gün sayısını göstermektedir.



Şekil 3.1 Fiziksel Kayıp Mücadele Maliyet Eğrisi

Şekil 3.1 incelendiğinde kayıp kaçak oranı azaldıkça kayıpla mücadele daha maliyetli hale geldiği görülmektedir. Bir diğer değişle birim suyu geri kazanmak için gerekli olan maliyet kayıp oranı azaldıkça artmaktadır. Bu durum kayıplar ile mücadelede EKS tespitini yapmaya mecbur bırakmaktadır.

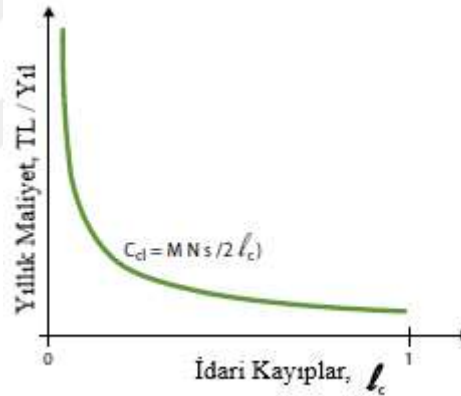
İdari Kayıp Kontrolünün Yıllık Maliyet Hesabı:

İdari kayıplar için literatürde çok fazla çalışma yapılmamıştır. Sadece sayaçların belli bir yıl sonra yanlış ölçüm yaptığı tespit edilmiş olup, sayaç değiştirme programları oluşturularak hareketin maliyeti ve gelirleri hesaplanabilmektedir (Şekil 3.2). Sayaç değiştirme programlarındaki temel prensip sayacın değişme süresinin seçilmesidir. Sayaç değiştirme programının temel maliyeti malzeme, işçilik ve diğer giderler dâhil sayacın değiştirilmesi ile bulunmaktadır. Bu kapsamda;

$$C_{II} = M * N / P_m \quad (3.3)$$

Olarak ifade edilmektedir. Denklemden belirtilen

- M = Ortalama sayaç değişim toplam maliyeti, TL
- N = Toplam sayaç sayısını
- P_m = Değişim periyodunu ifade etmektedir.



Şekil 3.2 İdari Kayıplar Fayda Maliyet Eğrisi

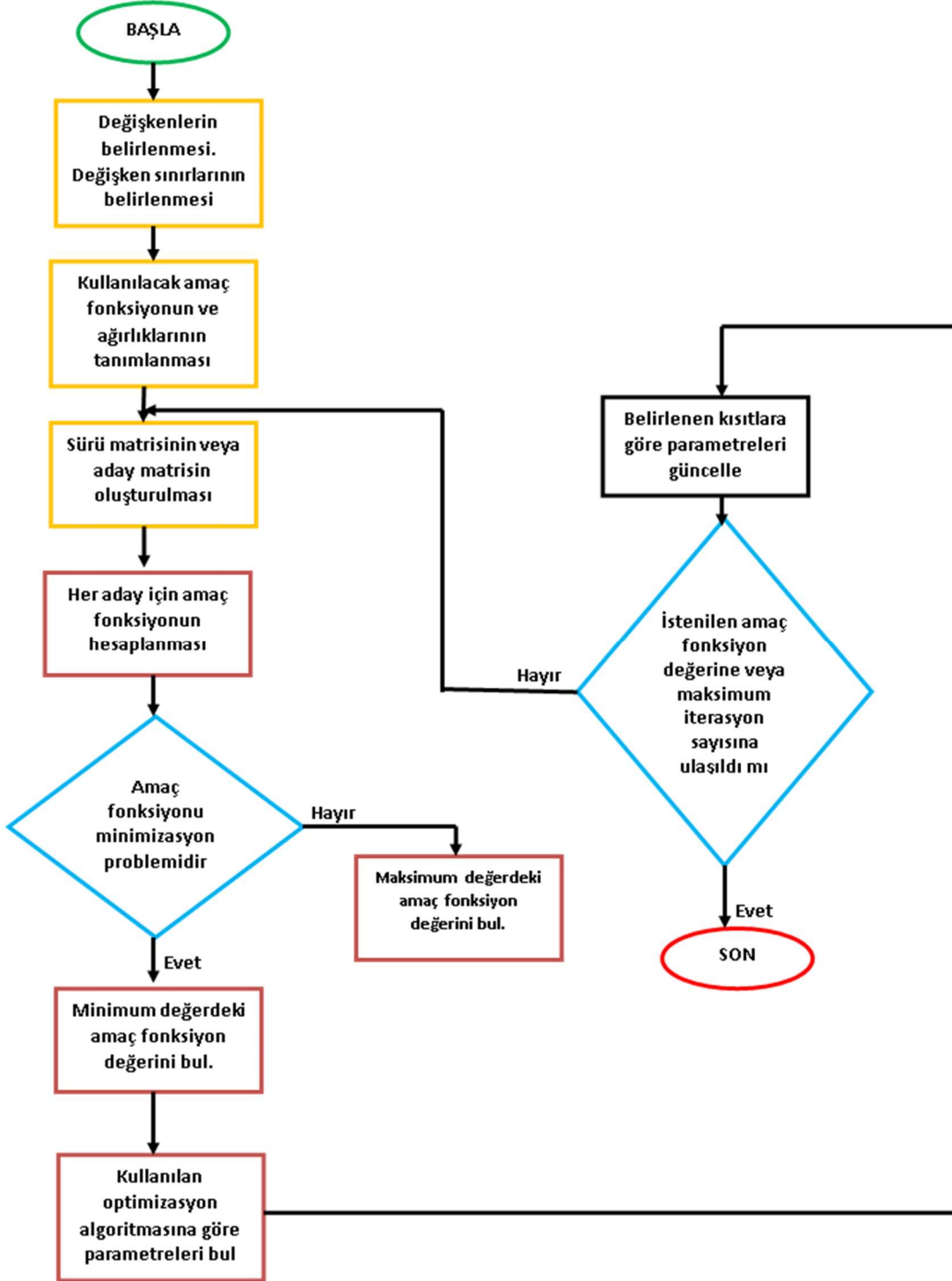
Tüm değişkenlerin tespit edilmesinin ardından kurulacak modelde öncelikle, kaçaklarla mücadele için seçilen her bir yöntem için (DMA oluşumu, basınç yönetimi, dinleme, saha keşfi, sayaç değişimi vb.) birim maliyet-su kazancı grafiklerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu maliyetler hesaplanırken yöntemlerin birbiriyle ilişkileri ve öngörülen sınırlamalar (örneğin basınç yönetimi için işletme için verilen maksimum ve minimum basınç değerlerinin girilmesi) göz önünde bulundurulmalıdır. Yapay zeki optimizasyon algoritmaları ile geliştirilecek modellerle en uygun kayıp oranının belirlenmesi hedeflenmektedir. Oluşturulacak algoritmada tanımlı her değişken ve belirlenen kıstaslar

doğrultusunda farklı farklı durumlar için EKS değeri hesaplanacak olup, yıllık finansal kazancı maksimize eden EKS değeri yapay zekâ öğrenme metodu ile bulunacaktır. Sonuç algoritmasında bulunan değişken değerleri doğrultusunda, ilgili EKS değerine ulaşılması için gerekli yapılması gereken çalışmalar ortaya konulacaktır. Önerilen yöntemler ve ulaşılması beklenen nihai sonuçlar değerlendirildiğinde literatürde bulunmayan şekilde izlenmesi gereken yol tamamen model sayesinde ortaya konulacaktır.

Problem Çözümündeki Optimizasyon Süreci;

Kurulacak modelde öncelikle içmesuyu şebekesinin temel verilerinin toplanması gerekmektedir. Daha sonra bu veriler doğrultusunda şebekenin mevcut durum analizleri yapılacaktır. Kurulacak modelin iş akış şeması Şekil 3.3'te sunulmuştur;





Şekil 3.3 EKS Hesaplanması İş Akış Şeması

Öncelikle uygun amaç fonksiyonlarının belirlenmesi gerekmektedir. Amaç fonksiyonları belirlenirken şebeke temel verileri kullanacaktır. İzlenecek metodoloji iş akış şemasında olduğu gibi şu şekildedir;

- İlk olarak sistemin mevcut kaçak seviyesinin belirlenmesi gerekmektedir. Saha mühendisliğinden faydalanılarak EKS değerine etki eden faktörler belirlenmeli ve amaç fonksiyonu oluşturulmalıdır.

Örneğin bu problem için tüm değerlerin optimizasyon süreçlerine etki ettiği düşünülecek olursa kullanılması gereken amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$AF = w_1 * D_1 + w_2 * D_2 + w_3 * D_3 + w_4 * D_4 + w_5 * D_5 + w_6 * D_6 + w_7 * D_7 + w_8 * D_8 + w_9 * D_9 + w_{10} * D_{10} + w_{11} * D_{11} + w_{12} * D_{12} + w_{13} * D_{13} + w_{14} * D_{14} + w_{15} * D_{15} + w_{16} * D_{16} + w_{17} * D_{17} + w_{18} * D_{18} + w_{19} * D_{19} + w_{20} * D_{20} + w_{21} * D_{21} \quad (3.4)$$

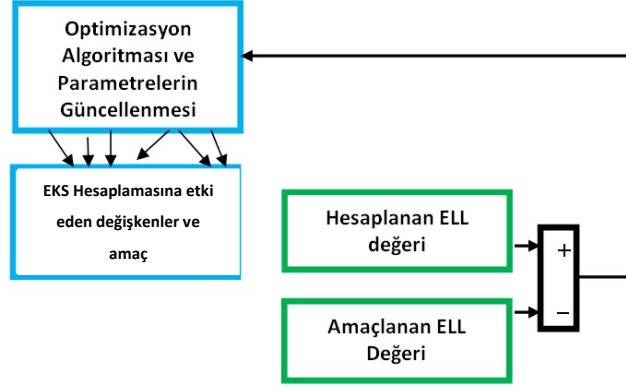
Sistemdeki tüm değişkenleri içerisinde bulunduran bir amaç fonksiyonu tanımlanabilir. Fonksiyondaki “D” değeri değişkenleri gösterirken w değerleri ise bu değişkenleri bir araya gelmesini sağlayan ağırlık fonksiyonlarını göstermektedir. Önerilen amaç fonksiyonunun genel matematiksel formu denklem 3.5’deki gibidir;

$$AF = \sum_{i=1}^{DS} w_i D_i \quad (3.5)$$

Bu amaç fonksiyonu yapısı kullanılarak istenilen konfigürasyonda amaç fonksiyonu tanımlanabilir. Bu da önerilen algoritmanın hangi su şebekesinde kullanılacaksa ve hangi değerlerin kullanılması gerekir sorusunun cevabıyla ortaya çıkmaktadır. Aslında bu tezin en özgün taraflarında biri amaç fonksiyonunun tanımlanma metodolojisi olarak gösterilebilir.

Örneğin herhangi bir ülkedeki bir yerleşim yerindeki su şebekesinde EKS’nin hesaplanması probleminde tüm değişkenler kullanılabilirdiği gibi istenilen değişkenler bu denklemde rahatlıkla çıkarılabilir veya revize edilebilmektedir.

Diğer bir en önemli adım ise değişkenlerin sınırlarının belirlenmesidir. Bu sınırlar gerek literatür taramaları ve yönetmeliklerle elde edilecek, gerekse işletme aşamasında tespit edilebileceklerdir. Optimizasyon algoritması ilgili amacı minimize veya maksimize ederken her zaman ilgili sınırlar doğrultusunda parametreleri optimize etmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Optimizasyon Sistem Modeli

Modelden anlaşıldığı gibi EKS problemi için aslında optimizasyon algoritması bir minimizasyon problemidir. Fakat sunulmuş olan amaç fonksiyon yapısında maksimizasyon problemleri de rahatlıkla çözülebilir. Bu çalışma süresince stokastik tabanlı ve sürü tabanlı optimizasyon algoritmalarının (örneğin tabu arama tabanlı optimizasyon algoritması, stokastik arama tabanlı arama algoritması, modifiye edilmiş yapay fizik algoritması gibi) kullanılmıştır. Sürü tabanlı optimizasyon algoritmalarında başlangıç sürüsünün veya aday çözümlerin oluşturulması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında sürü tabanlı yöntemlerde sürü veya aday çözümlerin matrislerle oluşturulması sağlanmıştır.

Aday çözümler kümesindeki her bir satır, ayrı ayrı amaç fonksiyonuna uygulanarak ilgili değerler bulunur. Daha sonra problem eğer bir minimizasyon problemiye ona göre en küçük değere sahip çözüm bir sonraki iterasyonun başlangıç değeri olarak alınır. Eğer problem bir maksimizasyon problemiye en büyük değer en iyi değer olarak alınıp algoritma devam ettirilir.

Örnek aday çözüm matrisi aşağıdaki gibidir;

$$Aday\ çözümler = \begin{bmatrix} D_1 & D_2 & D_3 & \cdots & \cdots & D_{DS} \\ D_1 + rand & D_2 & D_3 & \cdots & \cdots & D_{DS} \\ D_1 - rand & D_2 & D_3 & \cdots & \cdots & D_{DS} \\ D_1 & D_2 + rand & D_3 & \cdots & \cdots & D_{DS} \\ D_1 & D_2 - rand & D_3 & \cdots & \cdots & D_{DS} \\ D_1 & D_2 & D_3 + rand & \cdots & \cdots & D_{DS} \\ D_1 & D_2 & D_3 - rand & \cdots & \cdots & D_{DS} \\ D_1 & D_2 & D_3 & \cdots & \cdots & D_{DS} + rand \\ D_1 & D_2 & D_3 & \cdots & \cdots & D_{DS} - rand \end{bmatrix}$$

Aday çözümler oluştururken birçok farklı strateji ve metodoloji uygulanabilir. Aslında sezgisel algoritmaların isimlerinin farklılaşması da bu kısımdan dolayıdır. Örneğin üste örnek olarak verilmiş aday çözüm metodunda her bir değişkene belli bir rastsal sayı ile ileri ve geri hareketler yaptırılmıştır. Bu hareketlerin araların davranışına göre yapılması yapay arı kolonisi algoritmasında kullanılmakta, karıncaların davranışa göre yapılması karınca kolonisi algoritmalarında kullanılmaktadır. Kullanılan algoritma sayısı örneği yüzlerce sayıya çıkarılabilir.

Diğer bir önemli kısım ise optimize edilen parametrelerin varsa sınırlarının belirlenmesidir. Çünkü içmesuyu şebekelerinde problemler kısıtlı optimizasyon problemlerinin en güzel örneğidir. Bu kısıtlar fiziki şartlardan gelebildiği gibi yönetmenliklerden de gelebilir. Algoritmalar parametre vektör uzaylarını tararken ilgili parametreleri uygun değer aralıklarında tutmaktadır. Tez kapsamında algoritmalar, kendi dinamikleri içerisinde parametreleri güncelledikten sonra sınır aralık testi yapmaktadır. Eğer ilgili parametre ilgili sınır aralığında ise parametre güncellenecektir. Değil ise bir önceki sınır aralığındaki değeri alarak optimizasyonu sürdürecektir. Bu sayede sistemin ilgili değer aralığında kalması garanti altına alınmış olacaktır. Buda önerilen yöntemlerin ve amaç fonksiyonlarının su şebeke sistemlerin de kullanılabilirliğinin bir başka göstergesidir. Tez kapsamında su kayıp yönetiminde benimsenmiş olan kayıp azaltma yöntemleri için, oluşturulan algoritmalar ile fayda/maliyet analizleri yapılmış, ortak değişkenler bir arada değerlendirilerek sistem için ekonomik kaçak seviyesi belirlenmesi amaçlanmıştır.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Gelir Getirmeyen Su ve Bileşenleri

Su iletim ve dağıtım sistemlerinde, sistem fiziksel, çevresel, işletme ve hidrolik faktörlere bağlı olarak sızıntılar (fiziki kayıplar) meydana gelmektedir. Ayrıca, sayaç hataları ve kaçak kullanımlar, yasal ancak faturalandırılmayan bileşenlerden kaynaklanan ve idareler için doğrudan gelir kaybına neden olan kayıplar gözlenmektedir (Farley ve Trow, 2003; Farley ve Liemberger, 2005). Büyük ve şebeke yaşının fazla olduğu sistemlerde arıza oranları yüksek seviyede olmakta ve sistemin kontrolünün zorluğuna bağlı olarak rapor edilmeyen sızıntıların farkına varılamaması, önlenememesi ve kontrol altına alınamamasından dolayı yüzeyle çıkmayan sızıntılar önemli seviyelere ulaşmaktadır. Arıza ve sızıntı üzerindeki faktörlerin etkisinin teknik alt yapı eksikliği gibi sebeplerden dolayı azaltılamaması sistemin işletme koşullarını bozmakta ve gelir getirmeyen su (GGS) oranının artmasına neden olmaktadır (Lambert, 2002; Farley ve Liemberger, 2005).

Tablo 4.1 IWA/AWWA Yöntemine Göre Su Bütçesi Tablosu (Farley vd., 2008)

Sisteme Giren Hacim	Yasal Tüketim	Faturalandırılmış Yasal Tüketim	Faturalandırılmış Ölçülmüş Tüketim	Gelir Getiren Su	
		Faturalandırılmamış Yasal Tüketim	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Tüketim		
Sisteme Giren Hacim	Yasal Tüketim	Faturalandırılmamış Yasal Tüketim	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Tüketim	Gelir Getirmeyen Su	
		Faturalandırılmamış Yasal Tüketim	Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Tüketim		
	Su Kayıpları	İdari Kayıplar	Yasadışı Tüketim		İletim ve Dağıtım Hatlarındaki Kaçaklar
			Sayaç Hatası		
			Okuma Hatası		
		Fiziksel Kayıplar	İletim ve Dağıtım Hatlarındaki Kaçaklar		
			Depolardaki Kaçaklar		
Servis Bağlantı Hatlarındaki Kaçaklar					

Bir dağıtım sisteminde GGS oranının azaltılması ve kabul edilebilir seviyeye indirilebilmesi için, sistemin mevcut koşulları, teknik ve personel alt yapısı göz önünde bulundurularak en uygun stratejinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Tablo 4.1’de verilen GGS alt bileşenleri göz önünde bulundurulduğunda, su kayıp yönetiminde temel olarak aşağıda verilen faaliyetlerin gerçekleştirilmesi ve uygulanması oldukça önem taşımaktadır.

- Fiziki kayıpların ve idari kayıpların farkına varılması, önlenmesi, azaltılması, kontrol altına alınması
- Tüm bileşenlerin izlenmesi ve müdahale edilmesi için otomasyon sistemlerinin kurulması
- Sistem performansının izlenmesi (özellikle uygulanan yöntemlerin GGS üzerindeki etkilerinin izlenmesi)
- Ekonomik analiz (fayda maliyet) standardının belirlenmesi ve uygulanması

4.1.1 Fiziki kayıplar

İçmesuyu temin ve dağıtım sistemlerinde çeşitli nedenlerle meydana gelen sızıntılardan dolayı suyun aboneye ulaşmamakta, zemine karışmakta ve fiziki kayıplar oluşmaktadır. Fiziki kayıplar temelde 3 farklı bölgede oluşmaktadır (Farley, 2001; Thornton vd., 2008);

- İsale ve dağıtım şebekelerinde:* isale ve dağıtım şebekelerinde borularda, bağlantı noktalarında, dirsek ve dönüşlerde, sanat yapılarında (vantuz, maslak vs.) kayıplar meydana gelebilmektedir. Bu kayıplar genelde orta-yüksek debili ve tespiti kısa-orta süreli şeklindedir.
- Abone bağlantılarında:* dağıtım sistemlerinde ana boru ile abone sayacına kadar olan bölge servis bağlantı (abone) hattı olarak adlandırılır ve tüm içmesuyu şebekelerinin en zayıf noktaları olarak değerlendirilmektedir. Nedeni ise bu bölgede kullanılan bağlantı parçaları ve vanaların arıza oranları çok fazladır. Abone bağlantılarındaki sızıntılar düşük debilerde olduğundan tespit edilmesi çok zordur ve uzun onarım sürelerine sahiptirler.
- Depolardaki sızıntılar:* depo seviyelerinin kontrolünde yaşanan eksiklikler ile gerek depoların imal edilmesi sırasında yaşanan hatalar gerekse kullanım ömürlerini dolduran depolarda sızıntılar meydana gelmektedir. Tespiti çok kolay olmasına karşın onarımı ve engellenmesi genellikle su kanal idareleri için ciddi masraflara neden olmaktadır.

Fiziki kayıp kaçaklar oluşma şekline ve boyutlarına göre 3 farklı şekilde incelenmektedir (Farley, 2001; Thornton vd., 2008);

- Rapor edilen sızıntılar:* isale ve dağıtım şebekelerinde meydana gelen arızalar yüzeye çıkmasıyla oluşan sızıntılardır. Genellikle yüksek debiye sahiptirler ve diğer

- a. *Boru Malzemesi:* İmalat sırasında ortaya çıkan malzeme arızalarının yanı sıra uygunsuz malzeme seçimleri de arızalara neden olabilmektedir. Ayrıca mevcut arızalarda boru malzemesi türüne göre sistem basıncından kaynaklanan kayıp hacmi artabilmektedir. Yani plastik esaslı malzemelerde basıncın etkisiyle çatlak çapı genişlemekte ve birim zamanda kaybolan su miktarı artmaktadır.
- b. *Korozyon:* Tüm metal borular korozyona maruz kalmaktadır. Yeterli önlemlerin alınmadığı metal borular zamanla arızalara neden olmaktadır.
- c. *Boru yaşı:* Ekonomik ömrünü dolduran borular sık sık arızalara neden olacaktır. Boru yaşının fazla olduğu sistemlerde çevresel etkilere (trafik, titreşim vb.) ve işletme faktörlerine (basınç değişimi) karşı dayanım azalmakta ve arıza riski artmaktadır.
- d. *Boruların Hatalı Döşenmesi:* Hatalı imalatlar arızaların önemli faktörlerinden biridir. Özellikle yatak malzemesinin uygun seçilmemesi ve imalatın doğru yapılmaması, bağlantı noktalarında işçilik hataları arıza riskini arttırmaktadır.
- e. *Basınç:* Yüksek basınç mevcut arızalardan daha fazla sızıntıya neden olacaktır. Düşük basınç ise ihbar edilmeyen sızıntıların tespitini zorlaştıracığından kayıpları artırıcı etkileri olacaktır. Ayrıca basınç dalgalanmaları da borularda, bağlantı parçalarında ve vanalarda hasarlara neden olmaktadır.
- f. *Zemin Etkileri:* Toprak tipinin sızıntı tespit süresinde ciddi etkileri vardır. Sızıntı geçirgenlikleri düşük zeminlerde su çok kısa sürede zemine çıkacağından tespit süreleri nispeten diğer arızalara göre daha kısa olacaktır. Tam aksine sızıntı potansiyeli çok yüksek zeminlerde su yeryüzüne çıkmayacağından tespit sürelerini ciddi şekilde artıracaktır.
- g. *Trafik Yükü:* Taşıt yolunda kalan içmesuyu hatlarında trafik yükleri borular üzerinde ek bir yük oluştururlar.
- h. *Başka Kurumların Verdiği Zararlar:* Başka kişi veya kurumlarca yapılan çalışmalar sırasında altyapıya zarar verilebilmektedir.

Fiziki kayıpların önlenmesi amacıyla 4 temel mücadele yöntemi önerilmektedir (Farley, 2001; Thornton vd., 2008) (Şekil 4.2);

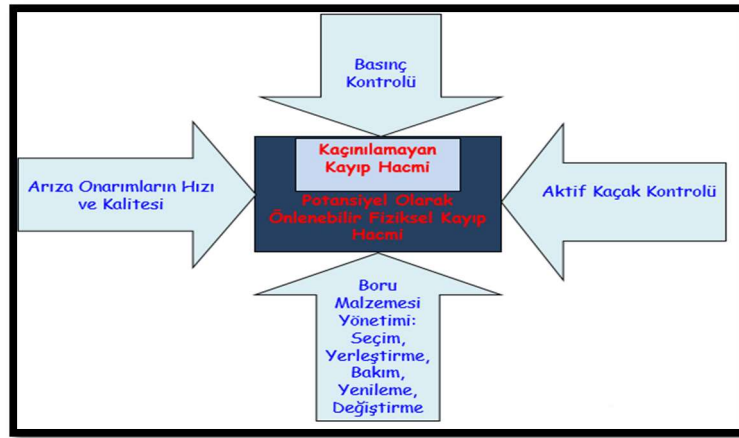
Basınç Kontrolü: Dağıtım sisteminde topoğrafik koşullara ve deponun yerleşim durumuna göre işletme basıncı yüksek seviyelerde olabilmektedir. Bu tür durumlarda basıncın düzenlenmesi ve gece-gündüz basınç dalgalanmasının azaltılması için uygulanan basınç kontrol yönetimi, mevcut arızalarda sızıntı hacminin azalması, yeni arıza ve sızıntı

oluşma riskinin azalması, birim zamanda tüketilen su hacminin azalması ve borunun ekonomik ömrünün uzaması gibi önemli katkılar sunmaktadır (Duccuni, 2008; Samir vd., 2017; Fontana vd., 2018; Moslehi vd., 2020).

Aktif Kaçak Kontrolü: Dağıtım sistemlerinde, sızıntıların önemli bir kısmını oluşturan rapor edilmeyen sızıntıların farkına varılması, yerinin tespit edilmesi ve onarılması faaliyetlerini içeren aktif kaçak kontrolü stratejisi, fiziki kayıp hacminin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır (Lambert vd., 2005; Lipiwattanakarn vd., 2019; Haider vd., 2019; Sharma vd., 2020). Bunun için izole bölgelerin oluşturulması, minimum gece debisinin izlenmesi ve analiz edilmesi, sızıntı tespit ekipmanlarının temini, ekip kurulması ve saha denetimlerinin yapılması gibi işlem adımlarının izlenmesi gerekir.

Arıza Yönetimi: İçmesuyu şebekelerinde meydana gelen arızaların çözüm sürelerinin azaltılması, bakım onarım kalitesinin artırılması ve optimal ekip sayısının belirlenerek şebekenin yönetilmesi fiziki kayıpların azaltılmasında ciddi katkılar sunmaktadır. Burada özellikle arızalara müdahale süresinin kısaltılması oldukça önemlidir.

Boru Malzeme Yönetimi: Şebekelerin mevcut arıza oranları, işletme, bakım ve onarım maliyetleri, yeni kaynak arama ve enerji maliyetleri ile birlikte değerlendirilerek yönetilmesi ile kayıp kaçakların azaltılması mümkün olmaktadır. Bölgenin iklim ve çevresel koşulları, sistem işletme parametreleri ve hidrolik ölçütler göz önüne alınarak en uygun boru malzemesinin seçilmesi gerekir. Şebeke yenileme çalışmaları genelde su kayıp yönetiminde başvurulan ilk yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak oldukça yüksek maliyetler ortaya çıkacağından dolayı bu yöntemin en son seçenek olması gerekir.



Şekil 4.2 Fiziki kayıplar Mücadele Yöntemleri (Farley, 2001; Thornton vd., 2008)

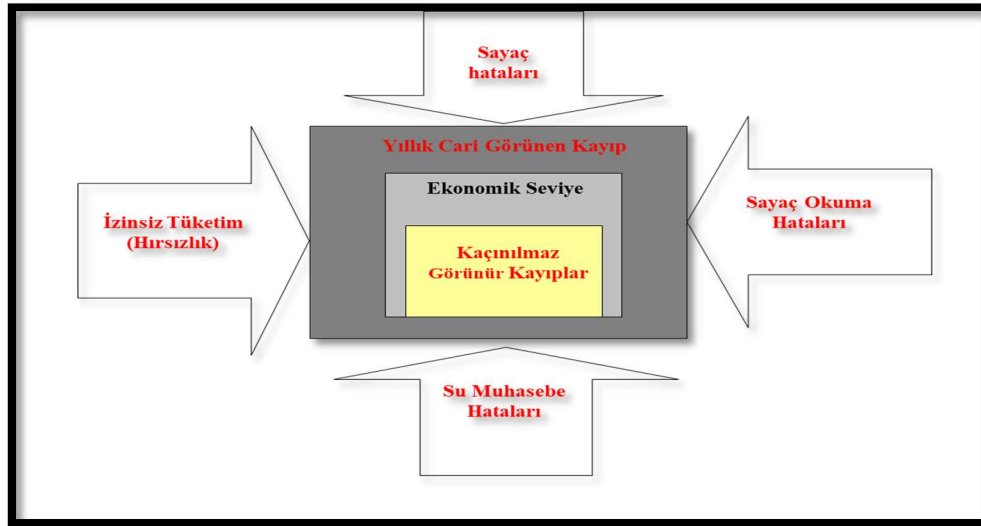
4.1.2 İdari kayıplar

İdari kayıplar aboneler tarafından tüketilen fakat ücreti alınamayan su olarak adlandırılmaktadır. İdari kayıplar temelde 3 başlıkta incelenmektedir (Criminisi vd., 2009; Candelieri vd., 2015) (Şekil 4.3).

Sayaç Hataları: Abonelerin sayaçlarında meydana gelen arızalar, eksik okumalar veya hiç okuma yapılamaması gibi faktörler önemli kayıplara neden olmaktadır. Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıpların azaltılması için, belli bir program çerçevesinde denetim yapılması, kalibrasyon sorunu olan sayaçların kalibrasyonunun yapılması vb. süreçlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Sayaç Okuma Hataları: Abonelerin sayaçları faturalandırıldığı sırada hatalı okumaya dayalı (eksik okuma) kayıplar meydana gelebilmektedir. Sayaç okuma hatalarının azaltılması amacıyla personellerin eğitimleri artırılması gerekmektedir.

Yasadışı Kullanım: Yasadışı kullanım birçok ülkede ciddi kayıplara neden olmaktadır. Yasadışı yapılan bağlantılar, tahrip veya manipüle edilmiş su sayaçları, yangın hidratlarının başka amaçlarla kullanılması gibi birçok yöntemle kaçak kullanım yapılmaktadır. Yasadışı kullanımla mücadelede saha ekipleri ile denetimlerin sıklaştırılmasının yanı sıra toplumsal bilinçlendirmeye de ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 4.3 İdari Kayıplar Mücadele Yöntemleri

İdari kayıplar, hizmet gelirleri olmamasına karşın üretim maliyetleri yaratmaktadır. Bu nedenle idari kayıplar için maliyet hesapları yapılırken suyun satış fiyatı üzerinden değerlendirme yapılmaktadır. İdari kayıpları azaltmak birçok durumda Fiziki kayıpların azaltılması için harcanan maliyetlere nispeten daha düşük maliyetlerle elde edilebilmektedir. Bu nedenle su idareleri için daha hızlı sonuç alınabilen daha ekonomik mücadeleler olduğundan öncelikli olarak tercih edilmektedir.

4.2 Ekonomik Kaçak Seviye Bileşenleri için Fayda ve Maliyet Standartları

Su iletim ve dağıtım sistemlerinde, meydana gelen kayıpların önemli bir kısmını oluşturan sızıntılar, idare açısından teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel anlamda önemli sorunlar ortaya çıkarmaktadır (Farley ve Trow, 2003; Lambert, 2002; Farley ve Liemberger, 2005). Bu nedenle bu sızıntıların önlenmesi, kontrol altına alınması ve yönetilmesi için en uygun yöntemin belirlenmesi oldukça önemlidir. Ancak bilindiği üzere her bir sistemin karakteristiği, işletme ve çevresel özellikleri, su kayıp oranları farklılık göstereceğinden dolayı tüm sistemlerde su kayıplarının aynı seviyeye indirilmesi mümkün değildir. Bundan dolayı, GGS oranının azaltılması ve kabul edilebilir seviyeye indirilebilmesi için, sistemin mevcut koşulları, teknik ve personel alt yapısı göz önünde bulundurularak en uygun stratejinin belirlenmesi oldukça önemlidir. İçmesuyu dağıtım sistemlerinde ekonomik kaçak seviyesinin belirlenebilmesi için öncelikle su kayıplarını önleme yöntemleri iyi anlaşılmalı ve analiz edilmelidir. Su kayıplarının azaltılması için kullanılacak her yöntem bir maliyet doğuracağı gibi, şebekenin mevcut durum ve özelliklerine göre çeşitli faydalar da sağlayacaktır.

Fiziki kayıpların önlenmesi amacıyla, basınç yönetimi, arıza yönetimi, aktif kaçak kontrolü ve boru malzemesi yönetimi gibi 4 temel mücadele bileşeni mevcuttur (Farley vd., 2008). İdari kayıplar temelde, sayaç hataları, sayaç okuma hataları, yasadışı kullanım ve muhasebe hataları gibi 4 temel bileşende incelenmektedirler (Farley vd., 2008). GGS oranı için genelde belli hedefler konulmakta, bu hedeflere ulaşılabilmesi için önemli yatırımlar yapılmakta ve birçok durumda fayda maliyet analizi esas alınmadığı için yapılan yatırımlar ekonomik olmaktan uzak kalmaktadır. Bunun nedeni, su kayıplarının fiziksel, işletme, hidrolik ve çevresel olmak üzere birçok faktöre bağlı olarak değişmesi, her bir sistemin mevcut koşulları göz önüne alınarak en uygun müdahale ve önleme yönteminin seçilmemesi gösterilebilir.

Literatürde, su kayıp yönetiminde, yöntem ve araçların uygulanması ile ortaya çıkan maliyetlerin ve olası faydaların analiz edildiği GGS önleme yöntemlerinin seçilmesinde ve uygulanmasında ekonomik analiz ve değerlendirmelerin öneminin vurgulandığı görülmektedir (Nazif vd., 2010; Karadirek vd., 2012; Wu vd. 2013; di Nardo vd., 2017; Meirelles vd., 2017).

Yapılan çalışmalarda, Kısa Dönem EKS Teorisi (SRELL) ve Uzun Dönem EKS Teorisi (LRELL) olmak üzere iki farklı EKS analiz yaklaşımının önerildiği görülmektedir. İçmesuyu dağıtım sistemlerinde EKS'nin belirlenebilmesi için öncelikle su kayıplarını önleme yöntemleri iyi anlaşılmalı ve analiz edilmelidir. Su kayıplarının azaltılması için kullanılacak her yöntem bir maliyet doğuracağı gibi, şebekenin mevcut durum ve özelliklerine göre çeşitli faydalar sağlayacaktır. SRELL teorisinde, ekonomik kaçak seviyesi genellikle tüm sistem üzerinde değerlendirilmektedir. Bu çözümü zorlaştıracığından farklı basınç bölgeleri için ayrı ayrı hesap yapılarak tüm sisteme gidilmesi ekonomik seviyenin belirlenmesini daha kolaylaştırabilmektedir (Fontozzi ve Lambert, 2009). Kısa dönem EKS *mevcut çalışma basıncında* ulaşılması gereken ekonomik seviye olarak değerlendirilmektedir. Diğer taraftan LRELL tespiti, Su idareleri için uzun dönemli planlamalar çerçevesinde daha yararlı olacaktır (Lambert ve Lalonde, 2006). SRELL yöntemine kıyasla fiziksel kayıplarla mücadelede kullanılan 4 yöntemde bu teoride dikkate alınmaktadır. Ayrıca yapılacak çalışmalarda teorik kabuller daha az kullanılmakta ve basınç yönetimi, şebeke rehabilitasyonu, ekip sayısı optimizasyonu gibi birçok durum göz önünde bulundurulmaktadır.

Bu nedenle bu çalışmada su kayıp yönetiminde uygulanan temel yöntemler için ekonomik bileşenler çerçevesinde detaylı analiz ve değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çalışmada EKS belirlenmesi amacıyla LRELL yaklaşımı seçilmiştir. Ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi amacıyla fiziksel ve idari kayıplarla mücadele her bir değişken için fayda/maliyet analizler standartları belirlenmiş, analiz gerçekleştirilmiş ve sistem için ideal basınç seviyesi, ekip sayısı, sayaç rehabilite durumu, aktif kaçak kontrolü ile önlenmesi gereken su miktarı hesaplanmıştır. Ekonomik analizin belirli bir standarda göre yapılması, fayda maliyet analizi esas alınarak en uygun yöntemin belirlenmesi ve ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi, su, enerji, personel ve ekonomik kaynaklarının verimliliği ve uzun dönemli sürdürülebilir su kayıp yönetimi açısından oldukça önemlidir. Bu hesaplama standartlarının ve analizlerin detayları ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

4.2.1 Ölçülebilir alt bölge (DMA) oluşturulması maliyet analizi

Karmaşık yapıdaki dağıtım sistemlerinde, su iletimini sağlamak, sistemi izlemek, kontrol altına almak ve en önemlisi uzun dönemli yönetim stratejisi geliştirmek oldukça zor ve maliyetlidir. Bu nedenle, son yıllarda sınırları tanımlanmış, genelde bir girişe sahip ve diğer bölgelerden izolasyon vanalarıyla izole edilmiş, “izole alt ölçüm bölgeleri (DMA)” su kayıplarının önlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır (Farley vd., 2008). Literatürde izole bölge yaklaşımının, sızıntıların farkına varma, yerini tespit etme ve kontrol altına alma sürelerinin kısaltılmasında ve su kayıp hacimlerinin azaltılmasında önemli avantajlar sağladığı, sızıntılarla aktif mücadele imkanı sunduğu vurgulanmıştır (Fallis vd., 2011; Morrison, Tooms ve Rogers, 2007; Farley vd., 2008; Mutikanga vd., 2013; Gomes vd., 2013; Orasanin vd., 2014; AWWA, 2016; Wu vd., 2016; Salomons vd., 2017; Durmuşçelebi, 2018; Baghirathan ve Parker, 2017; Durmuşçelebi vd., 2019). İzole bölgenin uygulanmasıyla, fiziki kayıpların önlenmesinde kullanılan, *basınç yönetimi*, *gece debisi* ve *aktif kaçak kontrolü* stratejilerinin daha verimli ve etkin uygulanması mümkün hale gelmektedir (Fanner vd., 2007; Fanner ve Lambert, 2009; Vicente vd., 2016; Farley vd., 2008; Kanakoudis ve Gonelas, 2015; AL-Washali vd., 2016). Ayrıca yapılan çalışmalarda izole bölge tasarımında, en temel parametrelerinden birinin hat uzunluğu olduğu, bu parametrenin 4 km ile 30 km arasında seçilmesi gerektiği ve ortalama olarak 15 km olabileceği vurgulanmıştır (Farley vd., 2008; Macdonald, 2005; Fallis vd., 2011). Diğer taraftan özellikle, tek katlı binaların olduğu veya tek servis bağlantısı ile bir aboneye/konuta su iletilen sistemlerde servis bağlantı sayısının dikkate alınması gerektiği ve bunun için servis bağlantı sayılarının 500 ile 3,000 adet arasında değişmesi gerektiği ifade edilmiştir (Farley vd., 2008; Fallis vd., 2011). Abone sayısı ve hat uzunluklarının sınır değerlerin üstünde olması durumunda, sistemin izole bölge özelliğini kaybedeceği ve yönetiminin zorlaşacağı, sınır değerinin altında kalması durumunda ise maliyetin artacağı değerlendirilmiştir.

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. Yaptıkları çalışmada, izole bölge için performans analizi gerçekleştirilmiş ve basınca duyarlı talep azalması, arıza sıklığı ve sızıntı azaltma kapsamında önemli ekonomik faydalar sağladığı ifade etmişlerdir. 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 gerektiğini belirtmişlerdir. Ekonomik kaçak seviyesi belirlenmesi için kullanılan temel analiz yöntemlerinin ve su kayıp azaltma yöntemleri incelendiğinde DMA uygulamasının bir gereklilik olduğu çok açıktır.

Bir izole bölgenin su kayıp yönetiminde kullanılabilmesi için yapılması gereken kontroller ve maliyet bileşenleri şu şekilde verilebilir, (i) giriş sayısına göre debimetre ve basınç ölçer ekipman, işçilik ve montaj maliyetleri, (ii) giriş debimetre odası, elektrik, veri transfer maliyetleri, (iii) izolasyon vana yerlerinin belirlenmesi ve saha imalatları maliyetleri, (iv) sıfır basınç testi maliyetleri, (v) sızıntı tespiti için, ekip, ekipman ve işletme maliyetleri (kullanılan ekipmana göre maliyetler değişmekte), (vi) tespit edilen arızaların bakım-onarım maliyetleri şeklindedir.

Tez çalışması kapsamında izole bölge tasarımı ile su kayıplarının izlenmesi ve arıza onarım aşamalarını içeren (debimetre odası, izolasyon vanası imalatı, sıfır basınç testi yapılması ve izleme-işletme) maliyetleri Tablo 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5'te verilmiştir. Bu maliyetler, Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ) ve Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) hizmet alanındaki saha uygulamaları esas alınarak gerçek veriler üzerinden belirlenmiştir. Ayrıca, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları ve özel piyasa araştırmalarından da faydalanılmıştır. Böylece analiz yapılacak tüm bölgeler için kullanılacak fiyatlar elde edilmiştir.

Tablo 4.2 Debimetre Odası ve Mekanik Teçhizatı Maliyeti

Debimetre Odası ve Mekanik Teçhizat				
Girdiler	Birimi	Miktar	Birim Fiyatı	Tutarı
Debimetre Odası Yapılması (betonarme)	Adet	1	₺9,250.00	₺9,250.00
BKV Takılması (ort. Ø250 mm)	Adet	1	₺17,000.00	₺17,000.00
Elektromanyetik Debimetre (ortalama Ø250 mm)	Adet	1	₺31,000.00	₺31,000.00
Aktüatörlü Vana (ort. Ø250 mm)	Adet	1	₺4,500.00	₺4,500.00
Pislik Tutucu	Adet	1	₺750.00	₺750.00
ENH Hattı (ortalama 8 m)	Adet	1	₺5,500.00	₺5,500.00
Pano ve Uzaktan Erişim Sistemleri	Adet	1	₺2,000.00	₺2,000.00
Toplam Tutar				₺70,000.00

Tablo 4.3 Sınır Vanaları Yer Tespit ve Değişim Maliyeti

Sınır Vanaların Tespiti ve Konulması				
GİRDİLER	Birim	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
Her Türlü Zeminde Kazı Yapılması	m3	12	₺28.75	₺345.00
16 atü Sürgülü Vanaların Temini ve Montajı	Ad	1	₺1,323.00	₺1,323.00
Buşakle Takımı	Ad	1	₺95.00	₺95.00
Diğer Tespit Giderleri	Ad	1	₺87.00	₺87.00
		Toplam Tutar		₺1,850.00

Tablo 4.4 Sıfır Basınç Testi Maliyeti

Sıfır Basınç Testi Yapılması (2 Saat Süreli)				
GİRDİLER	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
Mühendis	sa	3	₺28.15	₺84.45
Birinci Sınıf Usta	sa	3	₺15.75	₺47.25
Taşıt Giderleri	sa	2	₺136.65	₺273.30
Portatif Manometre	adet	1	₺345.00	₺345.00
		Toplam Tutar		₺750.00

Tablo 4.5 İzleme ve İşletme Giderleri Maliyeti

İzleme ve İşletme Giderleri				
GİRDİLER	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
<i>İşletme - Teknik Destek</i>	adet/yıl	1	₺12,000.00	₺12,000.00
<i>İzleme Sistemi Kurulması (program ve pc dahil)</i>	adet/yıl	1	₺13,000.00	₺13,000.00
		Toplam Tutar		₺25,000.00

DMA oluşturulması aşamasında meydana gelen yapım ve işletme bileşenlerine ait maliyetlerin hesaplanmasının ardından, herhangi bir bölgenin izole bölgelere ayrılma maliyetleri tez kapsamında geliştirilen model ve yazılım aracılığıyla kolaylıkla hesaplanabilir. Toplam şebeke uzunluğu bilinen bir bölgede daha önce yapılan çalışmalara dayanarak ortalama 15 km uzunluklu (literatürde ortalama uzunluk 15 km olarak tanımlanmıştır) alt bölgeler oluşturulabilir (Farley vd., 2008). Oluşturulan izole bölgelerin

sınırlarının belirlenmesi ve izole edilmesi için şebekeye ortalama her 2000 metrede bir müdahale etme ihtiyacı doğmaktadır. İzole işlemlerinin ardından her bölge için 3 farklı dönemde sıfır basınç testi yapılması gerekmektedir. Böylelikle şebeke uzunluğu bilinen bir sistem için birim hat uzunluğu (m) başına DMA oluşturma maliyetleri hesaplanabilmektedir. Ortalama DMA uzunluğu literatür taraması sonucunda 15 000 m olarak alınmış olup, istenildiği takdirde değiştirilebilmektedir. Aynı zamanda çalışma yapılacak bölgede daha önce DMA yaklaşımı ve basınç kontrol uygulanmış olabilmektedir. Bu durumlarda mevcut DMA yaklaşımının olup olmadığı, varsa toplam DMA uygulaması yapılmış metraj kullanıcılar tarafından hesaplama aracına tanımlanmaktadır.

Tablo 4.6 DMA Oluşturma Birim Metre Maliyeti

	Sistem Verileri	Miktar	Birim Maliyet	Toplam Maliyet
A	Toplam Şebeke Uzunluğu (m)	60000	-	-
B	Ortalama DMA Uzunluğu	15000	-	-
C	Tasarlanabilecek DMA Sayısı (A/B)	4	-	-
D	Belirlenmesi Gereken Sınır Vanası (B/2000)	8	1,850.00 ₺	14,800.00 ₺
E	Debimetre Odası Sayısı (E=C)	4	70,000.00 ₺	280,000.00 ₺
F	Sıfır Basınç Testi Sayısı (C*3)	12	750.00 ₺	9,000.00 ₺
G	İzleme Sistemi	1	13,000.00 ₺	13,000.00 ₺
H	İşletme / Teknik Destek: (yıllık)	1	12,000.00 ₺	12,000.00 ₺
			Toplam	328,800.00 ₺

Oluşturulan maliyet çizelgesinde (Tablo 4.6) toplam uzunluğu bilinen şebekeler için birim maliyetlerin hesabı gösterilmiştir. Örnek olarak verilen 60,000 metre uzunluğunda bir şebekenin izole bölgelere ayrılması için, her 15,000 metrede bir izole bölge oluşturulması ön koşuluyla 4 bölge oluşturulacağı hesaplanmıştır. Her bölgede 2,000 metrede bir izolasyon vanası koyulması ihtiyacından dolayı yaklaşık 8 kez sisteme müdahale edileceği hesaplanmış ve çalışmaların sonucunda da 3 kez sıfır basınç testi yapılacağı varsayılmıştır. Böylelikle 60,000 metrelik bir şebeke uzunluğuna sahip sistemin izole bölgelere ayrılması için (toplam 4 bölge olmak üzere) toplam 328,800.00 TL harcama yapılacağı ve birim metre uzunluk başına 5.48 TL harcama yapılacağı hesaplanmıştır. Bahsedilen hesap doğrultusunda çeşitli uzunluklardaki şebekelerin DMA oluşturulması için harcanacak olan birim maliyetler hesaplanmış Tablo 4.7’de gösterilmiştir.

Tablo 4.7 Çeşitli Şebekeler İçin DMA Oluşturma Birim Metre Maliyeti

Hat Uzunluğu (m)	30,000	45,000	60,000	75,000	90,000	105,000	120,000
Birim Maliyet (TL/m)	₺6.14	₺5.70	₺5.48	₺5.35	₺5.26	₺5.20	₺5.15

Yapılan birim maliyet çalışmasının ardından toplam şebekenin metrajının artmasıyla DMA oluşturulması için harcanan birim fiyatlarda azalma olduğu görülmüştür. Bunun temel nedeni izleme ve işletme giderlerinin nispeten diğerlerinden daha küçük şebekelerde ciddi bir maliyet unsuru olması olarak gösterilebilir. İzleme adına kurulacak olan tek bir sistem ile birçok DMA kontrol edilebildiği için oluşturulan DMA sayısı arttıkça birim maliyetler azalmaktadır.

İçmesuyu dağıtım sistemlerinde ekonomik sızıntı seviyesinin belirlenmesi için yapılacak çalışmalarda gerek sistem giriş ve çıkış debilerinin daha sağlıklı kontrol edilebilmesi gerekse de uygulanan su kayıp azaltma yöntemlerinin izole bölge oluşturulmadan uygulanamayacak ve izlenemeyecek olması nedeniyle EKS belirlemede öncelikli olarak izole bölgelerin oluşturulması gerekmektedir.

4.2.2 Basınç kontrol yönetimi için fayda maliyet analizi

Dağıtım sisteminde topoğrafya, depo yerleşim kotu ve işletme koşullarına göre sistemde yüksek basınç gözlenmekte veya basınçta önemli dalgalanmalar ortaya çıkmaktadır. Bu tür sistemlerde basınç kontrolünün, mevcut sızıntılardan kaynaklanan sızıntı oranlarını azaltmada en etkili araçlardan biri olduğu kanıtlanmıştır (May, 1994). Basınç kontrolü, mevcut arızalarda sızıntı hacminin ve yeni arıza/sızıntı riskinin azalması ve borunun ekonomik ömrünün uzaması açısından önemli katkılar sunmaktadır (Lambert, 1999; Lambert ve Thornton, 2012; Duccuni, 2008). May (1994) doğrudan ölçümlere dayanarak farklı çapta borular ve koşullar için kayıp oranı ve basınç arasındaki ilişkiyi tanımlayan *Fixed and Varied Area Discharge* (FAVAD) yaklaşımını (Denklem 4.1) önermiştir. Lambert vd. (1996) standart arıza frekansları ve arka plan sızıntıları için debi oranlarını hesaplayan bir yöntem olan *Background and Bursts Estimates* (BABE) yaklaşımını geliştirmiştir. Ayrıca Lambert vd. (1999), BABE ve FAVAD yöntemlerini birleştirerek dağıtım sistemlerinde (ana hat, servis bağlantı ve özel mülkteki servis bağlantılarında) yıllık Kaçınılmaz Kayıpları (UARL) hesaplayan yöntem önermiştir. FAVAD teorisi, farklı seviyelerdeki basıncın arıza çatlaklarında su akışına etkisini

modellemeye imkân tanımaktadır. Pratik uygulamalar için FAVAD teorisinde, basınç ve sızıntı arasındaki ilişki N_1 katsayısı ile tanımlanmıştır (May, 1994; Thornton, 2003; Lambert, 2004).

$$L_1/L_0 = (P_1/P_0)^{N_1} \quad (4.1)$$

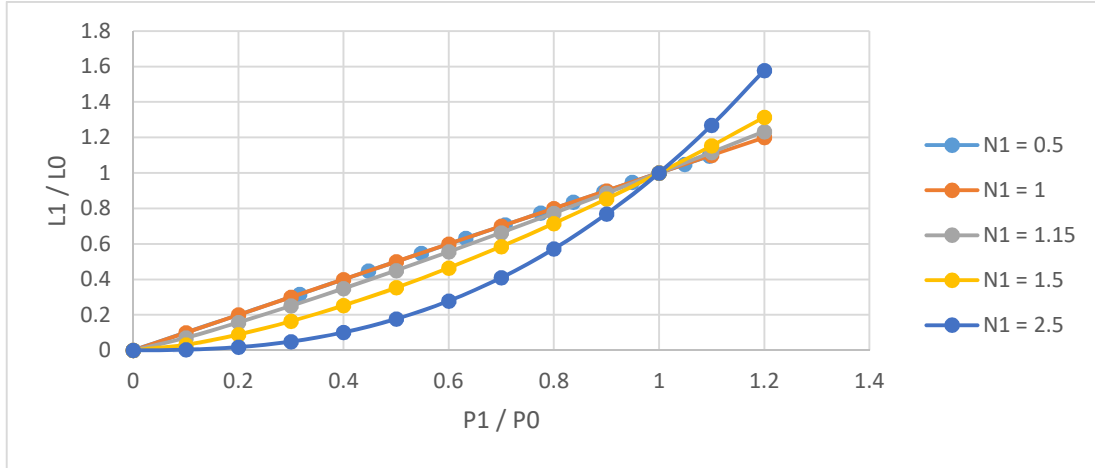
Burada, L_0 : başlangıç P_0 basıncında ilk sızıntı debisi, L_1 : P_1 düzenlenmiş basınçta sızıntı debisi, P_0 : bölgede başlangıç basıncı, P_1 : bölgede düzenlenmiş ortalama basınç ve N_1 : sızıntı katsayısıdır. Denklem göre, sızıntı oranı (L_1/L_0), basınç $((P_1/P_0)^{N_1})$ ile değişmektedir. Thornton ve Lambert (2005) N_1 katsayısının (0.5-1.5) aralığında olduğunu tespit etmiştir. Fantozzi ve Lambert (2010) N_1 için boruların sert veya esnek olmasına bağlı olarak 0.5 ve 1.5 değerlerini önermiştir. Sonuç olarak, $N_1 = 0.5$ (sabit alan sızıntıları için), $N_1 = 1.5$ (değişken alan sızıntıları için) ve $N_1 = 1.0$ (büyük sistemlerde ve karışık boru malzemesi durumunda) şeklinde önerilmiştir (Fantozzi ve Lambert, 2010; Lambert ve Thornton, 2012).

Basınç kontrol yönetim sisteminde verilen bu faydaların yanı sıra, oda yapımı, cihaz ve ekipman seçimi-yerleştirilmesi ve verilerin izlenmesi için otomasyon sistemi gibi faaliyetler önemli maliyet oluşturmaktadır. Bu nedenle bir sistemde basınç kontrol yönetimi uygulanmadan önce aşağıdaki soruların cevaplanması, ekonomik anlamda sistem verimliliği için oldukça önemlidir (Stewart, 2007; Kanakoudis ve Gonelas, 2015; AL-Washali, Sharma ve Kennedy, 2016));

- Basınç yönetimi gerekli mi? Uygulanabilir mi? Beklenen faydalar nelerdir?
- Teknik ve teknolojik alt yapı yeterli mi?
- Şebeke davranışı, abone su talep karakteristiği hakkında bilgi var mı? Olumsuz etkilenecek aboneler var mı? Hidrolik modelde simülasyon yapıldı mı?
- Maliyet bileşenleri, cihaz temin-kurulum-işçilik ve saha çalışmalarının maliyetleri belirlendi mi? Fayda maliyet analizi yapıldı mı?

Basınç kontrol yönetiminde elde edilecek faydaların ve basınç yönetimi uygulamak için harcanacak tutarların analizlerinin detaylı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Şebekenin mevcut durumu çalışma yapılmadan önce analiz edilmeli, olası basınç yönetimi uygulamasının senaryoları belirlenmelidir. Bu kapsamda elde edilecek faydalar ve kurulum maliyetleri kıyaslanarak basınç kontrol yöntemi için ekonomik fayda maliyet analizi

yapılmalıdır. Bu kapsamda hazırlanan ve tez çalışmasında kullanılacak referans grafik Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Böylelikle farklı boru cinslerine sahip şebekede meydana gelen basınç değişimlerinin su kayıplarına etkisi bulunabilecektir.



Şekil 4.4 Basıncın Yüzdesele Değişiminin Kayıplara Etkisi (Lambert ve Thornton, 2012)

Basınç değişimine bağılı olarak sızıntı miktarında meydana gelecek değişimin bulunması bu tez kapsamında geliştirilen fayda-maliyet modelinde öncelikle sistemin ağırlıklı ortalama gece basıncını ve basınç değişiminde belirlenen sınırların geliştirilen hesaplama aracına tanımlanmaları gerekir. Türkiye’de “İçmesuyu Şebekeleri Projelendirme ve Uygulama Yönetmeliği”, nüfusu 50,000’den düşük yerleşim yerleri için minimum basıncı 20 m, nüfusu 50,000’den büyük yerleşim yerleri içinse 30 m olarak belirlemiştir. Ayrıca her durum için maksimum basınç 65 m olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda 4.1 no’lu denklem esas alınarak basınçtaki değişime bağılı olarak Fiziki kayıplarda meydana gelecek azalmayı hesaplanmaktadır. Çalışmada boru cinslerine göre seçilen N1 katsayıları Tablo 4.8’de gösterilmiştir.

Tablo 4.8 Boru Cinslerine Göre Seçilen N1 Katsayıları (Lambert ve Thornton, 2012)

Boru Cinsi	Asbest	PVC	Düktül	HDPE	Çelik	Pik
Seçilen N1 Katsayısı	0.5	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0

Basınç kontrol yönteminin temel faydalarından ilki basıncın azalmasına bağılı olarak fiziki kayıp miktarında meydana gelecek azalmalardır. Şebekenin mevcut basıncı ve

basıncın indirilebileceği son noktanın (minimumu işletme basıncı) belirlenmesinin ardından yapılacak basınç değişiminin ne kadar su kaybını azaltacağı hesaplanabilmekte ve bu durum EKS belirlenmesi için değerlendirilmektedir.

Diğer taraftan, şebeke yaşına bağlı olarak içmesuyu borularının basınç dayanımı azalmakta ve zamanla boruda hasarlar ve arızalar gözlenmektedir (Lambert ve Thornton, 2012). İyi koşullardaki bir sistemde UARL hesabında dikkate alınan referans arıza sıklıkları (Lambert vd., 1999, Thornton ve Lambert, 2007), şebeke hattı için 13 arıza/100 km/yıl ve servis bağlantıları için 3 arıza/1000 servis bağlantı/yıl şeklinde tanımlanmıştır. Basıncın etkisinin azaltılmasında ve yönetiminde ilk adım, basınç değişimini kontrol etmek olarak gösterilebilir (Lambert ve Thornton, 2012). Thornton ve Lambert (2007), basıncın azaltılması ve kontrol edilmesi için uygulanan basınç yönetimi ile ana hat ve servis bağlantılarında arızaların önemli oranda azaldığını göstermiştir. Basınç – arıza ilişkisini incelemek için (IWA Task Force: Thornton ve Lambert, 2005; Pearson vd., 2005), servis bağlantıları ve ana borular için basınç yönetiminden önce ve sonra Arıza Frekansını (BF) inceleyerek yeni bir yaklaşım önermiştir. Basınç sızıntı ilişkisindeki denklem esas alınarak, arıza frekansındaki değişim basınç ve N2 katsayısına göre ifade edilmiştir. Bu denklemde, N1'e benzer bir üs kullanılmakta ve yeni arızaları tahmin etmek için N2 önerilmiştir (Thornton ve Lambert, 2005) ;

$$B1/B01 = (P1/P0)^{N2} \quad (4.2)$$

Thornton ve Lambert (2007), bu ilişkinin basınç yönetimi öncesi arıza sıklığına bağlı olduğunu gösteren yeni ifadeler tanımlamıştır. Bu amaçla, 10 Ülkeden 112 sisteme ait veri seti analiz edilmiş, basınçta ortalama %38 azalma gözlenirken sızıntıdaki azalma % 53 olarak belirlenmiştir (Lambert ve Thornton, 2006; 2012). Ana boru ve servis bağlantıları için tanımlanan arıza frekansındaki değişim (S, eğim katsayısı) değeri 0.7 ile 2.8 arasında olup ortalama 1.4 olarak belirlenmiştir (Lambert ve Thornton, 2012).

$$Arıza\ Frekansı\ (BF) = BFnd + A * Pmaks^{N2} \quad (4.3)$$

$$S = \left(1 - \frac{Referans\ arıza\ Sayısı}{Mevcut\ arıza\ sayısı}\right) * \left(1 - \frac{P1}{P0}\right)^3 / \left(1 - \frac{P1}{P0}\right) \quad (4.4)$$

$$S = \left(1 - \frac{Referans\ arıza\ Sayısı}{Mevcut\ arıza\ sayısı}\right) * \left(1 + \frac{P1}{P0}\right)^2 \quad (4.5)$$

BF_{nd}: basınca bağı olmayan arıza sıklığı (referans arıza sayısı), yapılan saha testlerinde N₂=3 olarak alınabileceği ve N₂ =3 alınması durumunda eğim katsayısının kullanılmasını önerilmiştir (Lambert ve Thornton, 2012). Başarılı bir basınç yönetim sistemi kurulması halinde arıza sayılarında ve anlık su kaybı değerlerinde azalma olacağı bilinmektedir. Bu bölümde EKS belirlenmesinde kullanılmak üzere, basınç kontrol yöntemi ile elde edilecek faydalar (sızıntı değişimi ve arıza sayısı değişimi) hesaplanmıştır.

4.2.3 Aktif kaçak kontrolü için fayda maliyet analizi

Dağıtım sistemlerinde, sızıntıların önemli bir kısmını oluşturan rapor edilmeyen sızıntıların farkına varılması, yerinin tespit edilmesi ve onarılması faaliyetlerini içeren aktif kaçak kontrolü stratejisi, fiziki kayıp hacminin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır (Lambert vd., 2005). Ancak aktif kaçak kontrolü yaklaşımında beklenen faydaların elde edilmesinde, izole bölgelerin oluşturulması ve sınırların tanımlanması oldukça önemlidir. Rapor edilmeyen sızıntıların farkına varılması ve yerinin tespit edilmesi sürelerinin uzamasına bağlı olarak önlenebilir sızıntı hacmi artmaktadır. İzole bir bölgede, minimum gece debisinin izlenmesi ile farkına varılan önlenebilir sızıntı hacminin azaltılması için, yer mikrofoni, bölgesel kaydedici, bölgesel korelatör gibi cihaz ve ekipmanlarla sızıntı yerinin tespit edilmesi çalışmaları yürütülmektedir. Literatürde, aktif kaçak kontrolü çalışmalarının yapılması sonucunda boru patlamalarının daha hızlı tespit edilmesinin ve onarılmasının amaçlandığı vurgulanmıştır (Berardi vd., 2016). Böylelikle hem çevreye verilebilecek olası zararların hem de su kaybının azaltılması faydalarının elde edileceği savunulmuştur.

Aktif kaçak kontrolü yönteminde, yöntemin fayda-maliyet analizinin ortaya konulması çok güçtür. Şebekelerin farklı fiziksel ve çevresel özelliklere sahip olmasına, akustik ekipmanları kullanan ve sızıntı yeri tespiti yapan ekiplerin saha tecrübesine ve cihazların ve malzemelerin kalitesine bağlı olarak yöntemin etkin faydaları bölgeden bölgeye değişim göstermektedir. Ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanabilmesi için aktif kaçak kontrolünde uygulanan yöntemin fayda/maliyetlerinin hesaplanması gerekmektedir. Böylelikle ekonomik olarak aktif kaçak yöntemiyle kurtarılacak su miktarı belirlenecektir. Bu kapsamda literatür çalışmaları ve saha tecrübeleri referans alınarak birim su kaybının azaltılması için bileşenler ve maliyetleri hesaplanmıştır (Tablo 4.9).

Tablo 4.9 Aktif Kaçak Kontrolü Fayda-Maliyet İçin Değişken Tanımlanması

Değişkenlerin Tanımlanması			
Değişken	Birimi	Değeri	Açıklama
Toplam Hat Uzunluğu	m	**	Hesap yapılan şebekenin gerçek verisi girilmelidir.
Abone Sayısı	adet	**	Hesap yapılan şebekenin gerçek verisi girilmelidir.
Şebeke Arızası / Toplam Arıza Oranı	%	38%	(Nicolini vd., 2014; Aydoğdu ve Firat, 2015; Boztaş vd., 2018)
Abone Arızası / Toplam Arıza Oranı	%	62%	Otomatik Hesaplanacaktır.
Şebeke Arızası Onarım Maliyeti	TL/ad	₺1,850.00	Gerçek saha verisine göre hesaplandı
Abone Arızası Onarım Maliyeti	TL/ad	₺1,350.00	Gerçek saha verisine göre hesaplandı
Ortalama Şebeke Basıncı	mss	**	Hesap yapılan şebekenin gerçek verisi girilmelidir.
Çalışma Süresi	Gün	180	Taranan Bölgenin Döngü Süresi (ortalama 6 Ay)
Birim Su Maliyeti	TL/m ³	**	İlgili kurumdaki birim su maliyeti

Aktif kaçak kontrol yöntemi sonucunda bir birim (litre) su tasarrufu sağlamak (sızıntıyı önlemek) için ortaya çıkan maliyetlerin hesaplanabilmesi için öncelikle Tablo 4-9'da tanımlanan verilerin elde edilmesi gerekmektedir. Çalışma yapılacak olan şebekenin toplam hat uzunluğu ve abone sayıları verilerinin elde edilmesinin ardından, şebekede bulunan toplam su kaybının l/km/saat biriminde bulunması gerekmektedir. Sistemin mevcut ortalama şebeke basıncı ve birim su maliyetleri de ayrıca değişken olarak tanımlanmalıdır. Aktif kaçak kontrol yöntemi uygulanması sırasında ilk olarak sistemin mevcut sızıntı seviyesinden bağımsız olarak yöntem sonucunda müdahale edilebilir kaçak seviyesinin tanımlanması gerekmektedir. Müdahale edilebilir debinin belirlenmesi için öncelikle arka plan (belirsiz) sızıntıların (UARL) ve rapor edilen arızalardan kaynaklanan sızıntıların belirlenmesi gerekmektedir. Bu kayıp miktarları aktif kaçak kontrolü ile azaltılamayacağı için toplam sızıntı miktarından çıkartılarak müdahale edilebilir debi hesaplanmalıdır. Belirsiz (arka plan) sızıntılarının hesaplanabilmesi için ILI hesaplarında da kullanılmakta olan hesaplama parametresi kullanılmıştır (Lambert vd., 1999).

$$UARL = (18 * L_m + 0.8 * N_c + 25 * L_p) * P \quad (4.6)$$

Burada, L_m ; parametresi hat uzunluğunu (km), N_c ; servis bağlantı sayısını, L_p ; parsel sınırından sayaca kadar olan uzunluğu (m), P parametresi ise ortalama basınç yüksekliğini (m) vermektedir. Ayrıca denklemde kullanılan bileşenler Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10 UARL Denklemi Parametreleri (Lambert vd., 1999)

UARL	Litre/gün
Şebeke Hatlarında	20 litre / hat uzunluğu (km) / gün
Servis Bağlantılarında (Parsel Sınırına Kadar)	1.25 litre / servis bağlantısı sayısı / gün
Servis Bağlantılarında (Sayaca Kadar)	0.033 litre / servis bağlantısı uzunluğu / gün

Rapor edilen arızalardan dolayı meydana gelen kayıpların hesaplanmasında ise yine IWA birim kaçak parametreleri kullanılmıştır (Tablo 4.11).

Tablo 4.11 Rapor Edilen Arızalardaki Kayıplar (Lambert vd., 1999; Farley vd., 2008)

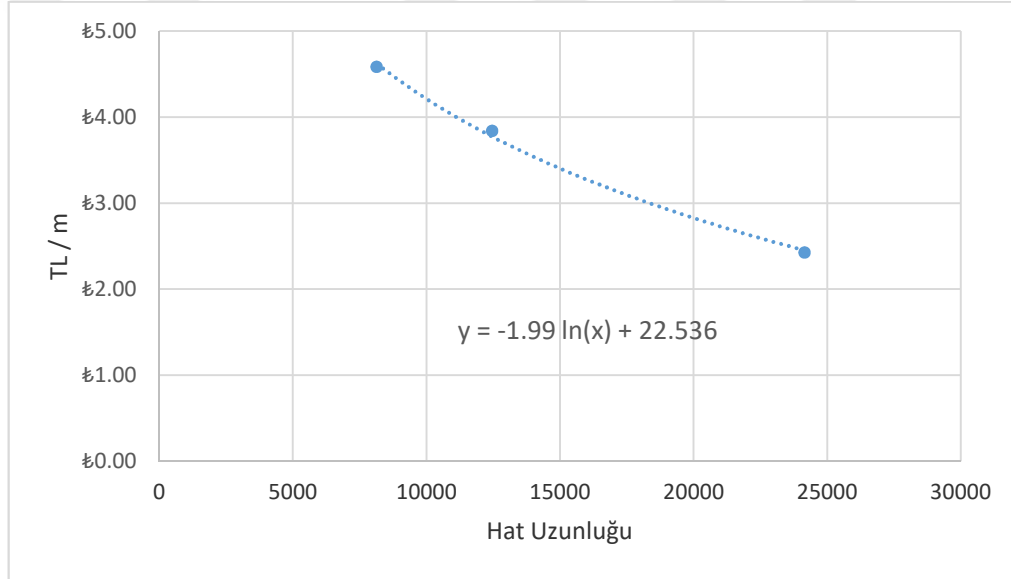
Arızanın Yeri	İhbar Edilen Arızalarda (l/saat/m basınç)	İhbar Edilmeyen Arızalarda (l/saat/m basınç)
Ana Hat	240	120
Abone Bağlantısı	32	32

Bu bağlamda geliştirilen fayda maliyet analiz modeline yıllık toplam arıza sayılarının girilmesi durumunda toplam servis bağlantı ve şebeke arıza sayıları bilineceğinden arızalardan meydana gelen kayıplar hesaplanabilecektir. Söz konusu hesaplamalar geliştirilen hesaplama aracına tanımlanmış ve hesap yapma imkanı sağlanmıştır. Müdahale edilebilir sızıntı miktarının belirlenmesinin ardından kaçak kontrol yöntemi kapsamında tahmini müdahale edilebilir arıza sayılarının hesaplanması gerekmektedir. Bu kapsamda tespit edilen kaçak miktarına bağlı olarak toplam arıza sayısı ve buna bağlı olarak meydana gelen arızaların şebeke ve servis bağlantı türünden ayrımı yapılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda şebeke arızalarının, toplam arızalara oranının yaklaşık %38 olduğu hesaplanmıştır (Nicolini vd., 2014; Aydoğdu ve Fırat, 2015; Boztaş vd., 2019). Tablo 4.11'de hesaplanacak olan şebeke hattı sızıntılarının ve abone hattı sızıntılarının tahmini miktarları referans alınarak abone ve şebeke arıza sayıları hesaplanabilmektedir. Aktif kaçak kontrolü faaliyetleri için uygulanan fayda-maliyet analizinde bir diğer aşama, sahada şebeke tarama ve dinleme birim maliyetlerinin çıkarılmasıdır. Yöntemin uygulanması aşamasında

çeşitli ekipman, işçilik, malzeme ve bakım giderleri ortaya çıkmaktadır. MASKİ ve KASKİ bünyesinde daha önce farklı uzunluklardaki şebekelerde yapılan aktif kaçak kontrolü çalışmaları referans alınarak birim maliyet tablosu ve buna bağlı olarak denklem edilmiştir (Tablo 4.12). Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bu denklem yardımıyla (Şekil 4.5) her şebeke için tarama izleme birim maliyeti hesaplanmış olacaktır.

Tablo 4.12 Şebeke Sızıntı Dinleme ve İzleme Faaliyetleri için Referans Maliyetler

Taranan Metraj (m)	Toplam Dinleme Maliyeti (TL)	Birim Maliyet (TL/m)
8139	₺37,284.00	₺4.58
12456	₺47,836.00	₺3.84
24156	₺58,587.00	₺2.43



Şekil 4.5 Şebeke Sızıntı Dinleme ve İzleme Faaliyetleri için Referans Maliyetler

Şekil 4.5 incelendiğinde akustik ekipmanlarla denetim yapılan şebeke uzunluğu arttıkça sızıntı denetim ve izleme birim maliyetlerinin azaldığı görülmektedir. Bunun temel nedeni, aktif kaçak kontrolü için gerekli olan ekipmanların ilk yatırım maliyetlerinin artan metrajla daha geniş alanlarda kullanılması olarak gösterilebilir. Aktif kaçak kontrolü yönteminde bir diğer önemli parametre ise arama kalitesi (denetim yapılan şebeke hattında 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. Bu bileşene ait bir fayda maliyet çalışması

yapılabilmesi için öncelikle arama kalitesinin tanımlanabilmesi gerekmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar ve farklı İdarelerde yapılan saha çalışmaları/tecrübeleri doğrultusunda hesaplanmış 65 m basınç seviyesinde arama kalitesi parametreleri aşağıda verilmiştir (Tablo 4.13).

Tablo 4.13 Şebeke Sızıntı Arama Kalitesinin Tanımlanması

Arama Kalitesinin Tanımlanması			
Değişken	Birimi	Değeri	Açıklama
1. Arama Sonucunda Bulunan Arıza Oranı	%	40%	Daha önce MASKİ ve KASKİ’de yapılan saha çalışmaları referans alınarak doldurulmuştur.
2. Arama Sonucunda Bulunan Arıza Oranı	%	25%	
3. Arama Sonucunda Bulunan Arıza Oranı	%	14%	
4. Arama Sonucunda Bulunan Arıza Oranı	%	9%	
5. Arama Sonucunda Bulunan Arıza Oranı	%	7%	
6. Arama Sonucunda Bulunan Arıza Oranı	%	5%	

Tablo 4.13 incelendiğinde, sistemin tamamının bir tur olarak taranması/denetlenmesi sonucunda ilk seferde toplam mevcut arızalarının %40’ını, yine şebekenin tamamının ikinci bir kez daha taranmasının ardından başlangıçtaki arıza oranının %25’inin tespit edilebildiği görülmektedir. Sistemde, 5 kez aynı bölgenin taranması ve arızaların giderilmesiyle sistem içinde bulunan arızaların %95’nin onarılabildiği öngörülmektedir. Bu değerler hesaplanırken, sistemde farklı zamanlarda tarama yapıldığından şebekenin doğal bozulma oranı ve buna bağlı artan arıza sayıları da hesap içerisinde değerlendirilmiş olmaktadır. Servis bağlantı ve şebeke arızalarının onarım ücretleri Tablo 4.14’de verilmiştir. Söz konusu değişkenler geliştirilen hesaplama aracında değiştirilebilir özelliktedir.

Tablo 4.14 Arıza Onarım Ücretleri

İnşaat İş Kalemleri Birim Fiyat Analizleri				
Arıza Onarım Ücretleri				AD
Girdiler	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
Servis Bağlantı Arızası	Ad	1	₺1,350.00	₺1,350.00
Şebeke Arızası	Ad/ Yıl	1	₺1,850.00	₺1,850.00

Hesaplanan tüm değişkenlere ait maliyetlerin ardından birim maliyet hesabı yapılması amacıyla öncelikle her bir tarama döngüsü için toplam maliyet (tarama ve arıza onarım dahil) ve toplam fayda (tespit edilip onarılan arızalar karşılığında kazanılan su miktarı) hesaplanmalıdır (Tablo 4.15). Böylelikle her bir dinleme periyodu için kurtarılan su miktarına karşılık harcanan tutar oranı hesaplanabilecektir. Su üretiminde suyun birim üretim maliyeti de bilindiğinden artık hangi dinleme periyodlarının ekonomik olduğu tespit edilebilecektir.

Tablo 4.15 Fayda Maliyet Analizleri

	1. Dinleme	2. Dinleme	3. Dinleme	4. Dinleme	5. Dinleme	6. Dinleme
Toplam Harcanan (a)	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Kurtarılan Su Miktarı (b)	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Birim Maliyet (m ³ /TL) (c)	C=A1/B1	C=A2/B2	C=A3/B3	C=A4/B4	C=A5/B5	C=A6/B6

Tablo 4.15 verilen toplam harcanan tutar hesaplanırken, birim tarama maliyeti ile hat uzunluğu çarpılarak öncelikle tarama bedeli elde edilmiştir. Daha sonra Tablo 4.10 ile hesaplanan toplam abone ve şebeke arıza sayıları, arama kalitesi tablosunda bulunan (Tablo 4.13) arıza oranları ile çarpılarak, her tarama için bulunması planlanan arıza sayıları tespit edilmiş olacaktır. Bu arıza sayıları Tablo 4.14’te verilen birim arıza onarım maliyetleri ile çarpılarak birinci tarama sonucunda harcanan toplam tutar elde edilmiştir. Kurtarılan su miktarının hesaplanması içinse müdahale edilebilir su kaybının Tablo 4.13’e göre ne kadarının kurtarılacağı hesaplanıp, Tablo 4.9’da verilen toplam çalışma süresine çarpılması gerekmektedir. Böylelikle birinci tarama sonucunda kurtarılan toplam su miktarı litre cinsinden elde edilmektedir. Elde edilen toplam maliyet değerleri, toplam faydaya bölünerek birim litre kaybını azaltmak için harcanacak tutar hesaplanmış olacaktır. Yapılan hesaplamalar birim kaçak kontrolü için harcanan tutarın, birim su üretim maliyetinden yüksek olduğu noktaya kadar devam ettirilir. Böylelikle aktif kaçak kontrolü sonucunda ekonomik olarak kurtarılabilir su miktarı bulunmuş olacaktır. Burada belirtilen bileşenlere ait hesaplamalar geliştirilen hesaplama aracına aktarılmış ve tanımlanmıştır.

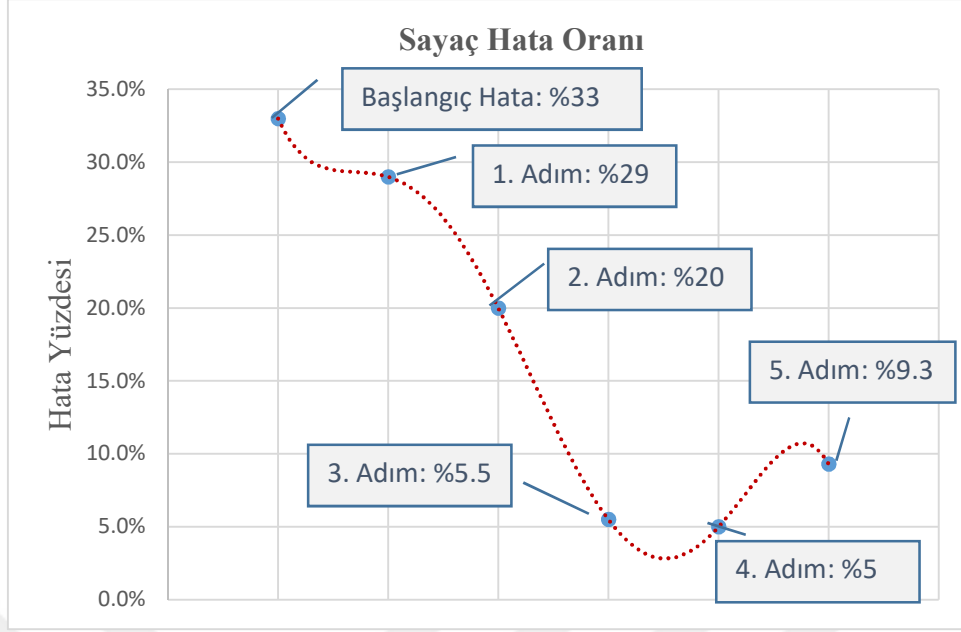
Aktif kaçak kontrolü fiziksel su kayıplarıyla mücadelede önemli bir yer tutmaktadır. Bu yöntemle ciddi miktarlarda su kaybı azaltılabilir. Aynı zamanda bu yöntem ciddi uygulama maliyetleri de doğurmaktadır. Bu bölümde ekonomik kaçak seviyesinin

belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda aktif kaçak kontrolü ile sisteme kazandırılacak ekonomik su miktarı hesaplanmaktadır.

4.2.4 Abone sayaç yönetimi için fayda maliyet analizi

İdari kayıplar, aboneler tarafından tüketilen ve parası ödenmeyen bileşenleri içerdiği için bu bileşen Su İdareleri açısından doğrudan gelir kaybını oluşturmaktadır (Lambert, 2002; Farley vd., 2008; Cabrera vd., 2013; Xin vd., 2014). İdari kayıpların bileşenleri genel olarak, sayaç hatalarından kaynaklanan tüketimler (eksik okuma, hiç okuma yapmama), kaçak ve kayıtsız abone tüketimleri şeklindedir (Lambert vd., 1999; Farley vd., 2008; Cabrera vd., 2013). Bu bileşenlerin azaltılması, önlenmesi ve kontrol altına alınması ile İdareler için fatura bedeli üzerinde doğrudan gelir artışı söz konusudur. Abone sayaçlarında, sayacın yanlış montajı, yanlış tip ve sınıf seçimi, müdahaleler, su kalitesi gibi çeşitli sebeplerden dolayı arızalar meydana gelmektedir (Pearson ve Trow, 2005; Fanner vd., 2007; Sharma vd., 2009). Bu kayıpların azaltılması için, iyi bir sayaç yönetiminin olması, düzenli kalibrasyon yapılması, ağırlıklı sayaç hata oranlarının belirlenmesi, fayda-maliyet analizi yapılarak sayaç yenileme için öncelikli bölgelerin belirlenmesi önemli katkılar sunmaktadır (Seago vd., 2005; Yılmaz, 2017). Benzer şekilde kayıtsız abonelerin tüketimleri veya yasal olmayan bağlantı tüketimleri idareler için doğrudan gelir kaybına sebep olmaktadır.

Literatür çalışmaları incelendiğinde idari kayıpların azaltılması amacıyla sayaçların belirli bir program dahilinde kalibrasyon ve yenileme çalışmalarının yapılması gerektiği görülmektedir (Pearson ve Trow, 2005; Fanner vd., 2007; Sharma vd., 2009). Hatalı ölçüm nedeniyle faturalandırılmayan su miktarının ve arızalı sayaçların değiştirilmesi ile elde edilecek kar oranının belirlenmesi için iki farklı yol izlenebilir; (i) ilgili bölgedeki ortalama sayaç yaşı bilgisi istenerek, +10 yaşı geçmiş sayaçların değiştirilmesi ile edilecek maliyet/kar oranı bulunabilir, (ii) +10 yaşındaki sayaçların bölgedeki sayaçlara göre yüzdesel oranı istenerek maliyet / kar analizi yapılabilir.



Şekil 4.6 +10 Yaş Sayaçların Arıza Oranları (Fontanazza vd., 2014)

Fontanazza vd. (2014) 10 yaşından daha yaşlı sayaçların ortalama %33 eksik-hatalı ölçüm yaptığını belirtmiştir. Yine aynı çalışmada bu sayaçların ilk kez kalibrasyon işleminden geçirilmesi ile hata oranının %29'a, ikinci kez kalibre edilmesinin ardından %20'ye düşürüleceği tespit edilmiştir. +10 yaş tüm sayaçların değiştirilmesiyle hata oranının sayaçlar için kabul edilebilir seviye olan %5.5 seviyesine ineceği çalışma kapsamında hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamaların sonucunda her değişim ve kalibrasyon hareketi için ayrı ayrı fayda/maliyet analizi yapılır ve en ekonomik olanı seçilir. Böylelikle sayaçların değişimi için gerekli maliyet ve elde kazanılacak su miktarı belirlenmiş olacaktır.

4.2.5 Şebeke yenileme ve boru malzemesi için fayda maliyet analizi

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. 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 (Mamo vd., 2013; Al-Zahrani vd., 2016). Bu nedenle şebeke yenileme yöntemi tercih edilmeden önce detaylı fayda maliyet analizinin yapılması ve alternatif çözümlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunun için, bölgede öncelikle şebeke koşullarına uygun ve sisteme uygulanabilir diğer yöntemlerin tercih edilmesi, sahada uygulanması, sızıntıya sebep olan çevresel ve işletme faktörlerinin etkisinin azaltılması gerekmektedir. Bu yöntemlerden beklenen faydaların elde edilememesi durumunda şebeke yenilemede öncelikli bölgelerin belirlenmesi kaynak verimliliği açısından önemli katkılar sunacağı vurgulanmaktadır (Park ve Loganathan, 2002; Laucelli ve Savic, 2006; Suribabu ve Neelakantan, 2012; Venkatesh, 2012; Mondaca vd., 2015; Francisque vd., 2017).

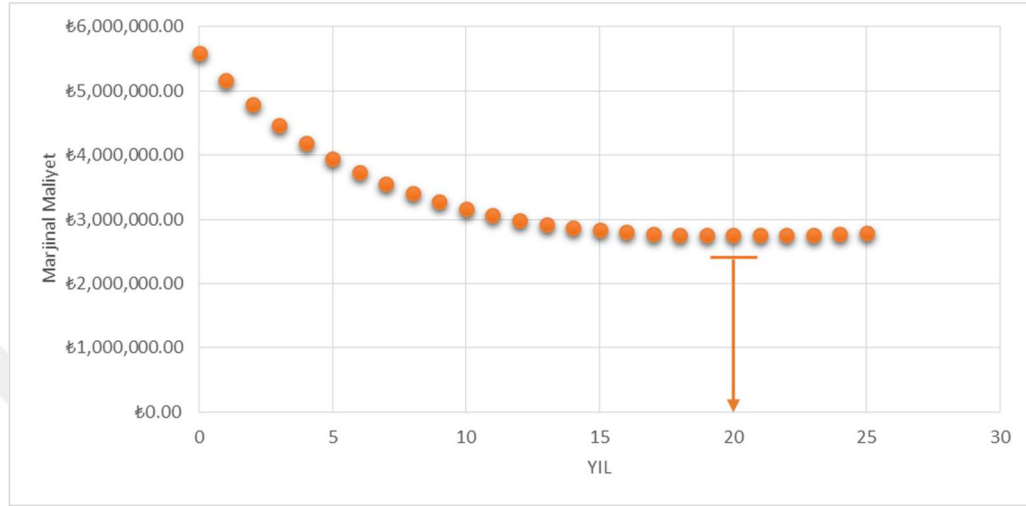
Literatürde yapılan çalışmalar genel olarak incelendiğinde şebekeler için faydalı ömür kavramının ön plana çıktığı görülmektedir. Bu kavram şebekelerin arıza onarımı, basınç yönetimi veya diğer temel yöntemlerle sızıntıların kontrol edilmesinin ekonomik olarak yönetilemediği durumlara odaklanmaktadır. 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. EKS hesabında şebekenin kalan faydalı ömrü öncelikle hesaplanmalı, çıkan sonuca göre izlenecek su kaybı azaltma yöntemleri seçilmelidir. Faydalı ömrün belirlenmesinde izlenen önemli yöntemlerden biri Loganathan vd. (2002) tarafından ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmada yıllık enflasyon oranı (R), yıllık arıza/boru onarım bedeli (C) ve şebekenin toplam rehabilitasyon maliyeti (F) değerleri kullanılarak arıza katsayısı (Brk) hesaplanmıştır;

$$Brk_n = \frac{\ln(1+R)}{\ln\left(\frac{C_{n+1} + F_{n+1}}{F_n}\right)} \quad (4.7)$$

İlgili denklemlerle hesap yapılabilmesi için öncelikle şebekenin toplam rehabilitasyon maliyetinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesap yapılması için her çap ve boru cinsi için birim imalat maliyetleri hesaplanmıştır. İlgili maliyetin hesaplanabilmesi için kullanıcıların rehabilitasyon sırasında kullanmayı planladıkları boru cinsi ile, mevcut şebekenin ortalama boru çaplarını bilgileri geliştirilen hesaplama aracına tanımlamalıdır. Söz konusu maliyet kalemlerinin ilk fiyatlarının hesaplanmasının ardından denklem (4.7)'de belirtilen esaslar doğrultusunda her yıl için faiz oranları da dikkate alınarak rehabilitasyon maliyetleri, arıza maliyetleri ve su kayıp maliyetleri ayrı ayrı hesaplanır.

$$BRK_n > BRK_{n+1} \text{ ve } BRK_n > BRK_{n-1} \quad (4.8)$$

Yapılan hesapların 4.8 nolu denklemleri aynı anda sağladığı nokta şebekenin kalan faydalı ömrünü verecektir. Bir diğer deyişle grafiğin minimum noktasının yılı kestiği nokta kalan faydalı ömürdür (Şekil 4.7);



Şekil 4.7 Şebekeler için Faydalı Ömrün Hesabı

Böylelikle mevcut şebeke durumu, rehabilitasyon 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 rehabilite edilmelidir.

İçmesuyu şebekelerinde bir diğer önemli kaçak azaltma yöntemi ise, arıza onarım ekiplerinin optimizasyonudur. Bu analizin sağlık şekilde yapılabilmesi için öncelikle mevcut yıllık arıza sayısının, ortalama arıza çözüm süresinin ve mevcutta bulunan arıza onarım ekip sayılarının bilinmesi gerekmektedir. Ortalama arıza çözüm süresi su idareleri için tanımlanmış bir değişken olup, arıza oluşumundan sonra İdareye arıza kaydının düşmesi ile sorunun çözülüp şebekenin tekrar işletmeye alınması arasında geçen süre olarak tanımlanabilir. Bilindiği üzere basınçta meydana gelecek değişimler arıza sayılarında da değişiklik olmasına sebebiyet verecektir. Bu nedenle hesaplamalar yapılmaya başlamadan önce arızalarda meydana gelen değişikliklerin saptanması ve bunun ortalama çözüm süresine etkisinin belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu hesaplama basit doğrusal mantıkla yapılmaktadır. Yeni arıza çözüm süresinin belirlenmesinin ardından artırılan her ekibin

getireceği maliyet ile çözüm süresinin uzunluğuna bağlı olarak kaybedilen su miktarı arasında fayda maliyet analizi yapılmaktadır. Artırılan her ekip çözüm süresini belli bir oranda kısaltacak (yüzdesel doğru orantı ile tespit edilmektedir), bu da su kaybında bir azalmaya neden olacaktır. Ayrıca yine artırılan her ekip için aylık düzenli olarak belli bir ücret ödenmesi gerekmektedir. Faydalar toplamının maliyetler toplamından büyük olması durumunda, ekip sayısının belirtilen sayı kadar artırılması önerilir. Eğer algoritmanın hiçbir noktasında fayda maliyetten yüksek çıkmıyorsa ekip sayısının optimal olduğu veya azaltılması gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda basınç, aktif kaçak kontrolü, ekip sayısının belirlenmesi ve sayaç yönetimi ile elde edilen faydalar toplanarak sistemin yeni kayıp miktarı ve yüzdeleri hesaplanır. 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. Bu bölümde EKS belirlenmesi yardımcı olmak amacıyla şebekelerin kalan faydalı ömürleri belirlenmekte ayrıca optimal ekip sayısı hesaplanmaktadır.

4.3 Ekonomik Kaçak Seviyesi Tespiti İçin Algoritmanın Kurulması

İçme suyu dağıtım sistemlerinde GGS oranının azaltılması için idareler tarafından birçok uygulama gerçekleştirilmektedir. Fiziki ve idari kayıpların azaltılması için yapılan bu uygulamalar su kayıplarını azaltmanın yanı sıra çeşitli işletme ve uygulama maliyetleri de ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle kayıp azaltma çalışmaları yapılırken aynı zamanda seçilen ilgili yöntemler için ayrı ayrı fayda/maliyet analizlerinin yapılması gerekmektedir.

Önceki bölümlerde hesaplamaları detaylıca anlatılan su kayıp azaltma yöntemlerinden biri olan DMA tasarımı, basınç kontrol yöntemi, aktif kaçak kontrolü, şebeke yenileme için boru malzemesi ve abone sayaç yönetimi gibi 5 farklı maliyet hesabında etki eden yapı kullanılmıştır. Bu yapıların matematiksel temelleri önceki bölümlerde sunulmuştur. Bu bölümde ise her bir yapı için ayrı ayrı akış diyagramları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu akış diyagramına göre hepsi senkron olarak çalışabilecek şekilde Matlab programında tanımlanmıştır. Aynı platformda tüm su kayıp bileşenlerinin ve azaltma yöntemlerinin tanımlanması ile gerek farklı yöntemlerin ortak çözümlerine imkân sağlanmış, gerekse aynı şebeke koşullarında hangi yöntemin daha verimli olacağı tespit edilmiştir. Yapılacak

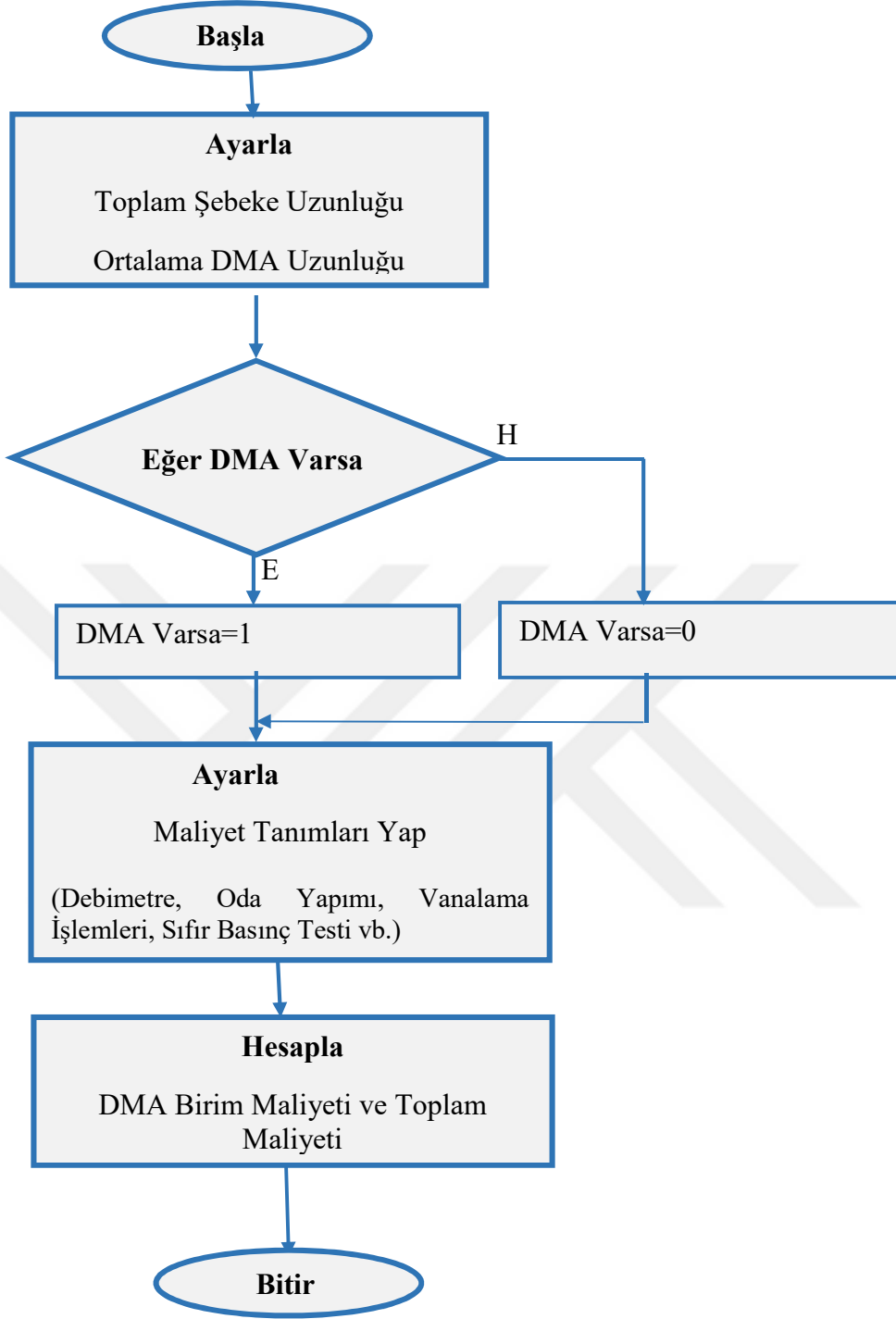
çalışmalarda EKS hesaplaması yapılabilmesi için temel verilerin kullanıcılar tarafından doldurulması gereken bir veri giriş yapısı oluşturulmuştur (Tablo 4.16);

Tablo 4.16 EKS İçin Temel Veri Giriş Ekranı

İdari Bilgiler	Birim	Değer
Su İdaresinin Adı	-	
Çalışma Yapılan Bölge Adı	-	
Çalışma Yapılan Dönem	-	
Çalışma Alanı ile İlgili Genel Bilgiler	Birim	Değer
Hizmet Edilen Toplam Nüfus	kişi	
Toplam Şebeke Uzunluğu	km	
Toplam Abone Sayısı	ad	
Toplam Ticari Abone Sayısı	ad	
Toplam Konut Abone Sayısı	ad	
Toplam Abone Bağlantısı Sayısı	ad	
Ortalama Abone Bağlantısı Uzunluğu	m	
Sistemin Bölgesel Ortalama Gece Basıncı	mss	
Minimum İşletme Basıncı	mss	
Maksimum İşletme Basıncı	mss	
Sistem Giriş Debisi	l/s	
Tahakkuk Edilen Su Miktarı	l/s	
Ortalama Birim Su Maliyeti (Üretim ve İşletme Giderleri Dahil)	TL/m ³	
Ortalama Birim Su Satış Fiyatı	TL/m ³	
10 Yaşından Yaşlı Sayaçların Toplam Sayaçlara Oranı	%	
Bölgede DMA Yaklaşımı Var Mı ?	e/h	
DMA var ise Toplam DMA şebeke uzunluğu	m	
Kaç adet DMA bölgesi mevcuttur?	ad	
Yıllık Arıza Miktarı (Abone ve Şebeke Arızası Toplamı)	ad	
Yıllık Abone Arızası Miktarı	ad	
Yıllık Şebeke Arızası Miktarı	ad	
Toplam Arıza Ekibi Sayısı	ad	
Arıza Ekibi Kurulum Maliyeti	TL/ekip/ay	₺19,500.00
Ortalama Arıza Çözüm Süresi	saat/ad	
Şebeke Yenileme ve Boru Malzemesi İle İlgili Bilgiler	Birim	Değer
Şebekenin Mevcut Ağırlıklı Boru Cinsi	-	
Ø 150 mm Küçük Boru Uzunluklarının Yüzdesi	%	
Ø 150 mm - 300 mm Arası Değişen Boru Uzunluğu Yüzdesi	%	
Ø 300 mm - 500 mm Arası Değişen Boru Uzunluğu Yüzdesi	%	
Ø 500 mm - 700 mm Arası Değişen Boru Uzunluğu Yüzdesi	%	
Ø 700 mm Büyük Boru Uzunluklarının Yüzdesi	%	
Ortalama Şebeke Yaşı	Yıl	
Şebeke Yenilenmesi Durumunda Yeni Yapılacak Boru Cinsi	-	

4.3.1 DMA tasarımı ve uygulanması için maliyet algoritmasının tanımlanması

Hesaplama detayları 4.2.1. başlığında verilen sistem için Şekil 4.8’te verilen akış diyagramı oluşturulmuştur. Aslında çalışma süresince bahsedilen kavramlar literatürde ayrıık olarak sunulmuş kavramlardır. Yalnız bilindiği üzere içme suyu şebekelerinde ayrıık gibi duran bu kavramlar sistemi kümülatif olarak etkilemektedir. Bundan dolayı yapılan hesaplama ve sistem kısıtlarını göz önünde bulunduracak bir uzman sistemin veya algoritmik bir akışın oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada DMA tasarım ve uygulaması için bir uzman sistem gibi çalışan sistemin ve yönetmeliklerin tüm kısıtlarını göz önünde bulunduran bir algoritmik yapı önerilmiştir. Bu algoritmik yapının öncelikle akış diyagramı oluşturulmuştur. Daha sonra ise algoritmik yapıdaki her parça Matlab ortamında kodlanmıştır. Akış diyagramı içerisindeki bölümlerin Matlab kod parçaları açıklamalı olarak takip eden bölümlerde sunulmuştur. Bu akış diyagramında gösterilmiş olan algoritma bölümleri istenilen içme suyu şebeke sistemine uygulanabilir. Öncelikle DMA ile yapılması gereken hesaplamalar için Şekil 4.8’de verilen algoritmik yapıya ilişkin Matlab kodları sunulmuştur.



Şekil 4.8 İzole Bölge Uygulamaları Maliyet Analizi İçin Akış Diyagramı

Hesaplama detayları önceki bölümlerde verilen DMA tasarımı için, DMA oluşturmasının birim maliyetinin tespiti aşamasında ilk olarak mevcut şebeke verilerinin (toplam şebeke uzunluğu ve ortalama DMA uzunluğu) geliştirilen Matlab hesaplama aracına girilmesi gerekmektedir.

```
% *****DMA Yaklaşımı*****
```

```
% 0 ise yoktur 1 ise vardır  
Toplam_hat_uzunlugu= ***;  
DMA_Yaklasimi=***;  
mevcut_DMA_sayisi=***;  
ortalama_DMA_uzunlugu=15000;
```

Aynı zamanda çalışma yapılacak bölgede daha önce DMA tasarlanmış ve basınç kontrolü uygulanmış olabilmektedir. Bu durumlarda mevcut DMA tasarımının olup olmadığı, varsa toplam DMA uygulaması yapılmış metraj bilgileri Matlab ortamına tanımlanmalıdır. Çalışma kapsamında izole bölge tasarımından su kayıp izlenmesi ve arıza onarım aşamalarını içeren (debimetre odası, izolasyon vanası imalatı, sıfır basınç testi yapılması ve izleme-işletme) maliyetleri TL cinsinden, geliştirilen Matlab tabanlı yazılıma tanımlanmıştır.

```
% *****DMA Yaklaşımı*****
```

```
% Bu değerler istenirse değiştirilebilir  
Debimetre_maliyet=70000;  
bkv_maliyet=17000;  
olcum_maliyet=31000;  
pano_maliyet=2000;  
sinir_vanasi_maliyet=1850;  
sifir_basinc_maliyet=750;  
isletme_maliyet=25000;
```

Daha sonra söz konusu kodlamada öncelikle mevcut DMA sayısının yeterli olup olmadığı, ardından ihtiyaç olması halinde yeni bir DMA hazırlamak için gerekli toplam maliyet ve birim maliyet hesapları yapılmaktadır. İlk olarak kullanıcılar tarafından tanımlanacak olan mevcut DMA sayısının literatüre göre maksimum DMA uzunluğuyla (30,000 m) çarpılır ve mevcut şebeke uzunluğu ile kıyası sağlanır. Bir başka deyişle mevcut şebekenin ortalama DMA uzunluğu tespit edilerek literatürde önerilen sınırlar çerisinde olup olmadığı tespit edilmektedir. Çıkan sonuca göre gerekli DMA sayıları, sıfır basınç testi sayıları, sınır vanaları sayıları tespiti yapılır ve daha önce tanımlanan maliyetlerle çarpılarak toplam maliyet hesap edilir. Söz konusu hesaplamalar Matlab programına aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

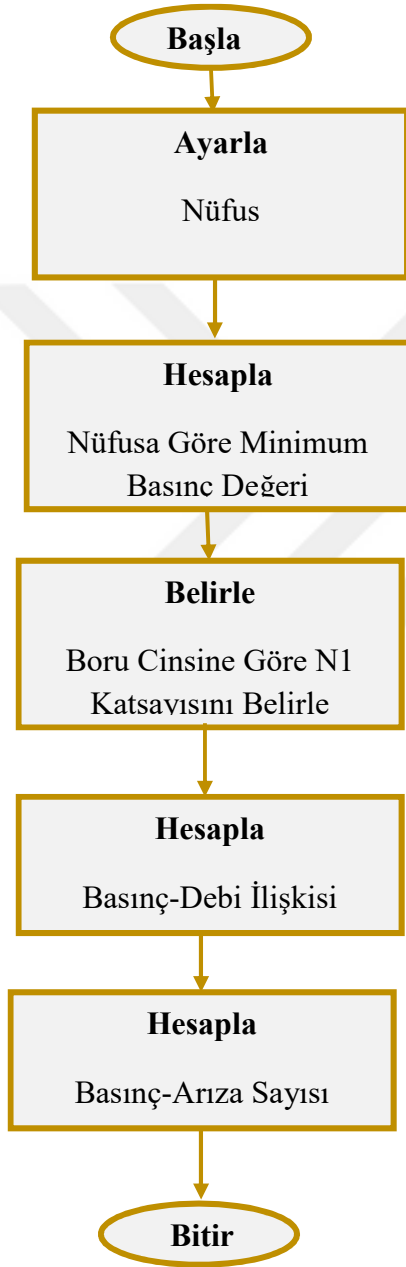
```
% *****DMA Yaklaşımı*****
```

```
if DMA_Yaklasimi==1
gerekli_DMA_sayisi=round(Toplam_hat_uzunlugu/ortalama_DMA_uzunlugu);
gerekli_sinir_vanasi=gerekli_DMA_sayisi*4;
gerekli_sifir_basinc_test=gerekli_DMA_sayisi*2;
if gerekli_DMA_sayisi==0
isletme_maliyet=0
else
isletme_maliyet=25000
end
toplam_DMA_maliyeti1=(gerekli_DMA_sayisi*Debimetre_maliyet)+(gerekli_sinir_vanasi*sinir_vanasi_maliyet)+(gerekli_sifir_basinc_test*sifir_basinc_maliyet)+isletme_maliyet;
birim_DMA_maliyet1=toplam_DMA_maliyeti1/Toplam_hat_uzunlugu;
else
if mevcut_DMA_sayisi*30000>Toplam_hat_uzunlugu;
fprintf('DMA ihtiyacı bulunmamaktadır')
birim_DMA_maliyet1=0;
toplam_DMA_maliyeti1=0
else
gerekli_DMA_sayisi=round((Toplam_hat_uzunlugu-(mevcut_DMA_sayisi*15000))/ortalama_DMA_uzunlugu);
gerekli_sinir_vanasi=gerekli_DMA_sayisi*4;
gerekli_sifir_basinc_test=gerekli_DMA_sayisi*2;
if gerekli_DMA_sayisi==0
isletme_maliyet=0
else
isletme_maliyet=25000
end
toplam_DMA_maliyeti1=((mevcut_DMA_sayisi+gerekli_DMA_sayisi)*(bkv_maliyet)+(gerekli_DMA_sayisi*Debimetre_maliyet)+(gerekli_sinir_vanasi*sinir_vanasi_maliyet)+(gerekli_sifir_basinc_test*sifir_basinc_maliyet)+isletme_maliyet);
birim_DMA_maliyet1=toplam_DMA_maliyeti1/Toplam_hat_uzunlugu;
end
end
```

Yapılan hesaplamalar sonucunda şebeke için; gerekli DMA sayısı, toplam DMA oluşturma maliyeti (TL) ve birim DMA oluşturma maliyeti (TL/m) hesaplanmaktadır.

4.3.2 Basınç yönetimi için fayda maliyet algoritmasının tanımlanması

DMA için yapılan hesaplamalara benzer şekilde matematiksel alt yapısı 4.2.2 bölümde verilen basınç kontrol yönetimi için maliyet algoritmasının akış diyagramı aşağıdaki gibi oluşturulmuştur. Bu akış diyagramında sistem kullanılan kod parçalarında devam eden bölümlerde detaylı olarak sunulmuştur (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Basınç Kontrol Yönetimi İçin Maliyet Analizi Akış Diyagramı

Hesaplama detayları 4.2.2. bölümünde verilen basınç yönetimi uygulaması için fayda maliyet analizinin yapılabilmesi için öncelikle sistemin ağırlıklı ortalama gece basıncı ile nüfusunun tanımlanması gerekmektedir. Daha sonra basınç değişiminde belirlenen sınırlar modele tanımlanmalarıdır. İller Bankası İçmesuyu Şebekeleri Projelendirme ve Uygulama Yönetmeliği, nüfusu 50,000'den düşük yerleşim yerleri için minimum basıncı 20 m, nüfusu 50,000'den büyük yerleşim yerleri içinse 30 m olarak belirlemiştir. Ayrıca her durum için maksimum basınç 65 m olarak belirlenmiştir.

```
% *****Basınç Yönetimi*****  
  
% Birim mss  
Ortalama_gece_basinci=***;  
% *****  
nufus=***;  
  
if farkli_durum==1  
%   Yönetmelikten farklı girilebilir  
Opt_basinc_min=30;  
Opt_basinc_max=Ortalama_gece_basinci;  
else  
if nufus==50000 || nufus >50000  
Opt_basinc_min=30;  
Opt_basinc_max=Ortalama_gece_basinci;  
else  
    Opt_basinc_min=20;  
    Opt_basinc_max=Ortalama_gece_basinci;  
end  
end
```

Basınç değişiminin gece debisi üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi için şebekenin ağırlıklı boru cinsinin belirlenmesi gerekmektedir. FAVAD denkleminde bulunan N1 katsayısı boru esnekliğine göre belirlenen bir değişken olduğundan, kullanıcıların verdiği şebeke bilgisine göre N1 katsayısının hesabı Matlab'a aktarılmıştır;

```
% *****Basınç Yönetimi*****
```

```
% *****Şebeke ağırlıklı boru cinsi*****
```

```
% PVC için 1 ACP=2; Düktil=3;Pe=4; Celik=5; Pik=6;
```

```
% Bu kısım kullanıcı tarafından girilmeli
```

```
Sebekenin_mevcut_agirlikli_boru_cinsi=***;
```

```
if Sebekenin_mevcut_agirlikli_boru_cinsi==1
```

```
    N1=1.5;
```

```
elseif Sebekenin_mevcut_agirlikli_boru_cinsi==2
```

```
    N1=0.5;
```

```
elseif Sebekenin_mevcut_agirlikli_boru_cinsi==3
```

```
    N1=1;
```

```
elseif Sebekenin_mevcut_agirlikli_boru_cinsi==4
```

```
    N1=1.5;
```

```
elseif Sebekenin_mevcut_agirlikli_boru_cinsi==5
```

```
    N1=1;
```

```
elseif Sebekenin_mevcut_agirlikli_boru_cinsi==6
```

```
    N1=1;
```

```
end
```

N1 katsayının tespitinin ardından FAVAD (4.1 nolu) denklemi esas alınarak basınçtaki değişime bağlı olarak Fiziki kayıplarda meydana gelecek azalmayı gösteren kodlama aşağıda gösterilmiştir. “a0fxd” değişkeni basıncın değiştirildikten sonraki değerini ifade etmektedir.

```
% *****Basınç Yönetimi*****
```

```
L1=Toplam_su_kaybi_fiziksel/(((Ortalama_gece_basinci/a0fxd))^N1);
```

```
Net_Fayda_basinc=Toplam_su_kaybi_fiziksel-L1;
```

Basınç – arıza ilişkisini incelemek için yapılan çalışmalar da 4.2.2. başlığında sunulan 4.2 nolu basınç-arıza sayısı denklemi kullanılmıştır. Bu kapsamda N2 katsayısı ve basınç değişiminden sonra değişen arıza sayısının hesabı gösterilmiştir. Söz konusu denklemde B1 değişkeni basınç değişimi sonrası yeni arıza sayısıdır;

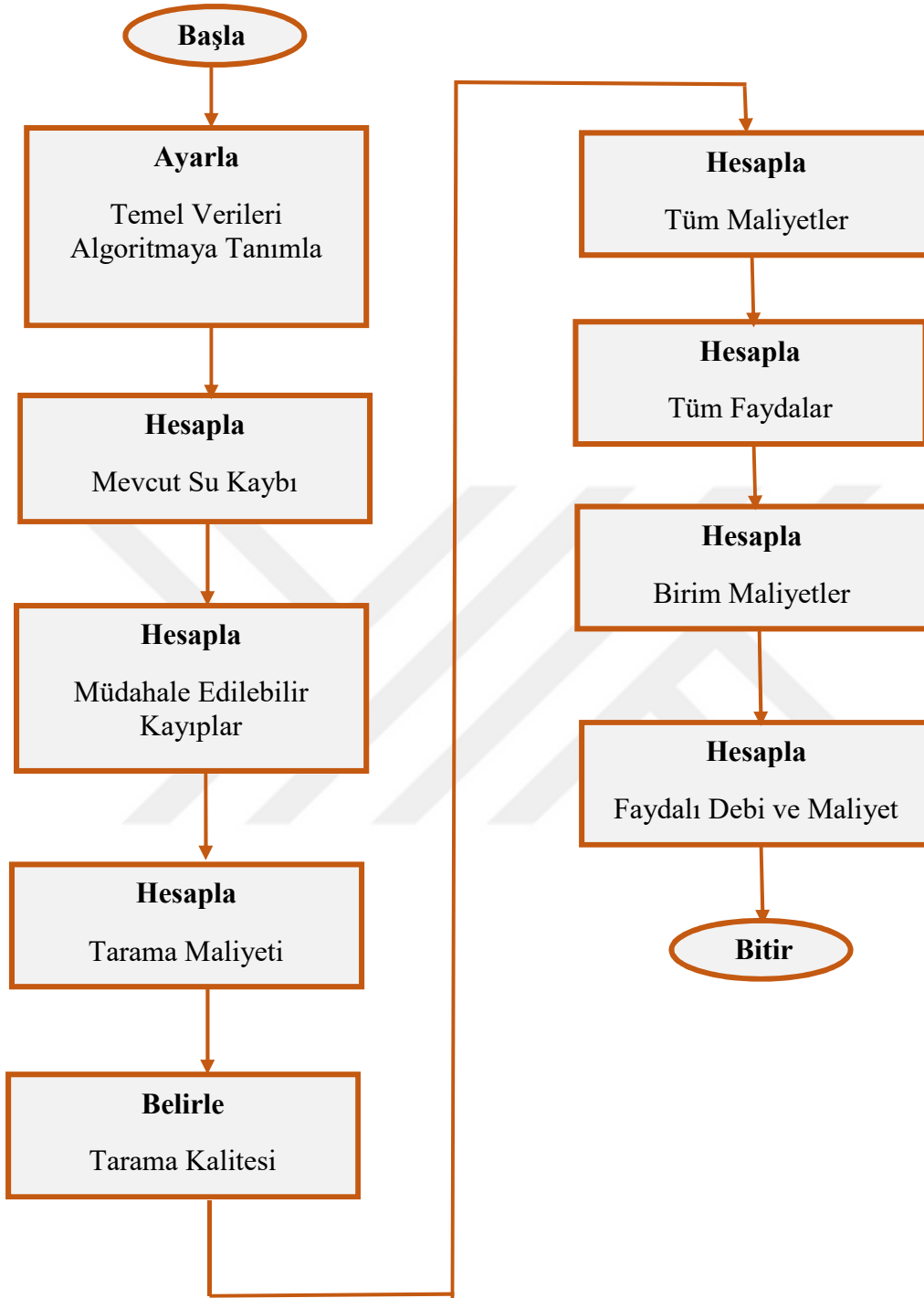
% *****Basınç Yönetimi*****

$$S = (1 - (13 / \text{yillik_toplaml_ariza})) * (1 - ((a0fxd / \text{Ortalama_gece_basinci})^3)) / (1 - (a0fxd / \text{Ortalama_gece_basinci}));$$
$$S_Yuzdesel = S * (1 - (a0fxd / \text{Ortalama_gece_basinci}));$$
$$B1 = \text{round}(\text{yillik_toplaml_ariza} * (1 - S_Yuzdesel));$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda; basıncın yönetmeliklere göre düşürülebileceği minimum değer, basınç değişimine bağlı sızıntı debisindeki değişim ve basınç değişimine bağlı olarak arıza sayısında meydana gelecek değişimler hesaplanmıştır.

4.3.3 Aktif kaçak yöntemi için fayda maliyet algoritmasının tanımlanması

DMA ve basınç kontrolü maliyet analiz akış diyagramlarında olduğu gibi aktif kaçak kontrolü için yapılan hesaplamalara benzer şekilde matematiksel alt yapısı 4.2.3. bölümde verilen aktif kaçak kontrolü için maliyet algoritmasının akış diyagramı Şekil 4.10'da gösterildiği gibi oluşturulmuştur.



Şekil 4.10 Aktif Kaçak Kontrolü İçin Maliyet Analizi Akış Diyagramı

Detayları 4.2.3. bölümünde anlatılan aktif kaçak kontrol yöntemi sonucunda bir litre suyu kazanmak için harcanan giderlerin hesaplanabilmesi için öncelikle şebeke verilerinin tanımlanması gerekmektedir. Çalışma yapılacak olan şebekenin toplam hat uzunluğu ve abone sayıları verilerinin elde edilmesinin ardından, sistemin mevcut ortalama şebeke

basıncı ve birim su maliyetleri de değişken olarak tanımlanmalıdır. Söz konusu veriler Matlab ortamına tanımlanmıştır. Girilen veriler doğrultusunda ayrıca mevcut su kayıpları ve su kayıp yüzdeleri hesaplanır;

```
% *****Aktif Kaçak Yöntemi*****  
  
*****veri girişleri*****  
% Birimi m3/gün  
Sistem_giris_debisi=***;  
% Birim m3/gün  
Tahakkuk_edilen_su_miktari=***;  
% Birim mss  
Ortalama_gece_basinci=***;  
% Birim kişi  
nufus=***;  
% Birim m  
Toplam_hat_uzunlugu=***;  
% Birim adet  
Abone_sayisi=***;  
% Birim adet  
Servis_bag_sayisi=***;  
% Birim m  
Ort_Abone_Uzun=***;  
% Birim TL/m3  
su_satis_fiyati=***;  
Birim_su_maliyeti=***;  
% Birim adet  
yillik_toplam_ariza=***;  
gunluk_toplam_ariza=yillik_toplam_ariza/365;  
% Bu maliyet bizce hesaplanmış olup, Kullanıcı tarafından değiştirilebilir.  
% Birim TL/adet  
Sebeke_arizasi_onarim_maliyeti=1850;  
Abone_arizasi_onarim_maliyeti=1350;  
  
% Birim m3 / gün  
Toplam_su_kaybi1=((Sistem_giris_debisi-Tahakkuk_edilen_su_miktari));  
Toplam_su_kaybi2=Toplam_su_kaybi1/Sistem_giris_debisi;  
Toplam_su_kaybi_fiziksel=Toplam_su_kaybi1*(1-  
idari_kayip_toplam_kayip_orani);  
Toplam_su_kaybi_idari=Toplam_su_kaybi1*(idari_kayip_toplam_kayip_orani);
```

Müdahale edilebilir debinin belirlenmesi için öncelikle kaçınılmaz kayıpların (UARL) ve ihbar edilen arızalardan kaynaklanan kayıpların belirlenmesi gerekmektedir. Bu kayıp miktarları aktif kaçak kontrolü ile azaltılamayacağı için fiziksel kayıp miktarından çıkartılarak müdahale edilebilir debi hesaplanmalıdır. Kaçınılmaz kayıpların hesaplanabilmesi için ILI hesaplarında da kullanılmakta olan kaçınılmaz kayıp (UARL) parametresi kullanılmıştır. Müdahale edilebilir kaçak miktarının belirlenmesinin ardından kaçak kontrol yöntemi kapsamında tahmini müdahale edilebilir arıza sayılarının hesaplanması gerekmektedir. Bu kapsamda tespit edilen kaçak miktarına bağlı olarak toplam arıza sayısı ve buna bağlı olarak meydana gelen arızaların şebeke-abone türünden ayrımı yapılması gerekmektedir. Denklem 4.9 yardımıyla ALC için kurtarılabilen su miktarı hesaplanabilmektedir.

$$\text{Müdahale Edilebilir Kaçak} = \text{Fiziksel Kayıplar} - \text{İhbar Edilen Arıza Kayıpları} - \left(\frac{\text{UARL}}{1000}\right) \quad (4.9)$$

Müdahale Edilebilir Kaçak ($\text{m}^3/\text{gün}$), Fiziki kayıplar ($\text{m}^3/\text{gün}$), ihbar edilen arıza kaynaklı kayıplar ($\text{m}^3/\text{gün}$) ve UARL ($\text{m}^3/\text{gün}$) değerlerinin hesaplanabilmesi için öncelikle her çalışma alanı için ayrı ayrı ihbar edilen arıza kaynaklı kayıplar ($\text{m}^3/\text{gün}$) ve UARL değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Daha önce UARL değeri hesaplanmış olup, denklemin birimi ($\text{l}/\text{gün}$) olduğundan hesaplanan UARL değeri 1000'e bölünerek birimi ($\text{m}^3/\text{gün}$)'e dönüştürülmüştür. Rapor edilen arızalardan kaynaklanan ihbar edilen arıza kaynaklı kayıplar değerinin hesaplanabilmesi için öncelikle yıllık abone ve şebeke arızalarının hesaplanması gerekmektedir. İçmesuyu şebekelerinde meydana gelen arızaların yaklaşık %38'i şebekelerde meydana gelirken, abone hatlarında meydana gelen arızaların oranı ise %62 olarak hesaplanmıştır (Nicolini vd., 2014; Aydoğdu ve Fırat, 2015; Boztaş vd., 2018). Arızalardan kaynaklı kayıpların hesaplanabilmesi için bölgelerde görülen yıllık arıza miktarları bu oranlarla çarpılarak, abone ve şebeke kaynaklı arıza sayıları belirlenmiştir (Denklem 4.10 ve 4.11).

$$RMF = RTF * 0.38 \quad (4.10)$$

$$RCF = RTF * 0.62 \quad (4.11)$$

İlgili denklemlerde RMF, rapor edilen ana hat arızaları (adet/yıl), RTF, rapor edilen toplam arızaları (adet/yıl), RCF, rapor edilen servis bağlantı arızalarını (adet/yıl) ifade etmektedir. İçmesuyu şebekelerinde ihbar edilen arızalardaki kayıp miktarları Lambert vd., (1999) tarafından ana hatlarda 240 l/saat/m basınç, abone hatlarında ise 32 l/saat/m basınç olarak tanımlanmıştır. Bu kapsamda arıza kaynaklı kayıp miktarı ise denklem 4.12 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$RLFailures = \left(\left(\frac{RMF}{365} \right) * \left(240 * \frac{24}{1000} \right) * basınç \right) + \left(\left(\frac{RCF}{365} \right) * \left(32 * \frac{24}{1000} \right) * basınç \right) \quad (4.12)$$

RLFailures (m³/gün), RMF: rapor edilen ana hat arıza sayısı (adet/yıl), RTF: rapor edilen toplam arıza sayısı (adet/yıl) ve basınç (m) olarak alınmış ve arıza kaynaklı debi hesaplanmıştır. Böylelikle ALC ile müdahale edilebilir debi (Denklem 4.9) hesaplanmış olmaktadır.

Ayrıca ALC yöntemi kapsamında ihbar edilmeyen arıza sayısının hesaplanması gerekmektedir. Bu kapsamda tespit edilen kaçak miktarına bağlı olarak toplam arıza sayısı ile ana ve servis bağlantı arıza sayıları ayrı ayrı tanımlanmalıdır. İçmesuyu şebekelerinde ihbar edilmeyen arızalardaki kayıp miktarları Lambert vd. (1999) tarafından ana hatlarda 120 l/saat/m basınç, abone hatlarında ise 32 l/saat/m basınç olarak tanımlanmıştır. Ayrıca abone ve şebeke arıza oranları da daha önce verildiği için (%38 ve %62) muhtemel arızalarda da aynı oran olduğu kabul edilmektedir. Bu kapsamda şebekede bulunması muhtemel arıza sayıları denklem 4.13 ve 4.14 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$PMFailures = \left(\frac{Fiziki\ kayıp - RLFailures}{basınç} \right) / \left(\left(120 * \frac{24}{100} \right) + \left(\left(32 * \frac{24}{100} \right) * \left(\frac{0,62}{0,38} \right) \right) \right) \quad (4.13)$$

$$PCFailures = PMFailures * \left(\frac{0,62}{0,38} \right) \quad (4.14)$$

İlgili denklemlerde PMFailures (adet) değeri muhtemel ana hat arızaları, PCFailures (adet) muhtemel servis bağlantı arızaları değerini, Basınç (m), Fiziki kayıplar (m³/gün), RLFailures (m³/gün) ifade etmektedir. Böylelikle ALC yöntemiyle bulunması muhtemel toplam arıza sayıları da hesaplanmış olmaktadır. Söz konusu hususlar Matlab programına aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır;

% *****Aktif Kaçak Yöntemi*****

% Arıza Sayıları (Lambert vd., 1999, birim m³/gün)

Birim_sebeke_kacak_miktari=2.88;

Birim_abone_kacak_miktari=0.768;

% Birim adet

Tahmini_sebeke_ariza_sayisi=round((Toplam_su_kaybi_fiziksel/Ortalama_gece_basinci)/(Birim_sebeke_kacak_miktari+(Birim_abone_kacak_miktari*Abone_Arizasi/Sebeke_arizasi)));

Tahmini_abone_ariza_sayisi=round(Tahmini_sebeke_ariza_sayisi/Sebeke_arizasi*Abone_Arizasi);

ariza_sebeke_alc=round(yillik_toplam_ariza*Sebeke_arizasi)

ariza_abone_alc=yillik_toplam_ariza-ariza_sebeke_alc

% Birim m³/gün

Ariza_kacak=(Ortalama_gece_basinci*ariza_sebeke_alc*2.88*2/365)+(Ortalama_gece_basinci*ariza_abone_alc*0.768/365);

% Birim m³/gün

UARL_ALC=((18*(Toplam_hat_uzunlugu/1000))+(0.8*Servis_bag_sayisi)+(Servis_bag_sayisi*Ort_Abone_Uzun*25/1000))*Ortalama_gece_basinci/1000;

% Birim m³/gün

Mudahale_edilebilir_su_kaybi=Toplam_su_kaybi_fiziksel-UARL_ALC-Ariza_kacak;

Aktif kaçak yönteminin ekonomik analizinde bir diğer aşaması ise şebeke sızıntı dinleme ve izleme faaliyetleri için referans maliyetlerin hesaplanmasıdır. MASKİ ve KASKİ bünyesinde yapılan saha çalışmaları referans alınarak hesaplanmış birim tarama maliyeti denklemi Matlab'a aktarılmıştır;

% *****Aktif Kaçak Yöntemi*****

% Tarama Maliyeti

% Birim TL/m

Tarama_maliyeti=(-1.99*log(Toplam_hat_uzunlugu))+22.536;

Aktif kaçak kontrolü yönteminde bir diğer önemli parametre ise arama kalitesi gösterilebilir. Literatürde yapılan çalışmalar ve MASKİ'de yapılan saha çalışmalar/tecrübeleri doğrultusunda 65 m basınç seviyesinde arama kalitesi parametreleri hesaplanmış olan arama kalitesi parametreleri aşağıda verildiği şekilde tanımlanmıştır. Basıncındaki azalmaya bağlı olarak arama kalitesi de belli oranlarda (N3=0.5) azalmaktadır. "a0fxd" değeri optimizasyon sonucunda bulunan basınç değeridir.

% *****Aktif Kaçak Yöntemi*****

% Arama sonuçlarında bulunan arıza oranları

birinci_ASBAO=0.40*((a0fxd/Ortalama_gece_basinci)^0.5);
ikinci_ASBAO=0.25*((a0fxd/Ortalama_gece_basinci)^0.5);
ucuncu_ASBAO=0.14*((a0fxd/Ortalama_gece_basinci)^0.5);
dorduncu_ASBAO=0.09*((a0fxd/Ortalama_gece_basinci)^0.5);
besinci_ASBAO=0.07*((a0fxd/Ortalama_gece_basinci)^0.5);
altinci_ASBAO=0.05*((a0fxd/Ortalama_gece_basinci)^0.5);

Hesaplanan tüm değişkenlerin ve maliyetlerin ardından birim maliyet hesabı yapılması amacıyla öncelikle her bir tarama döngüsü için toplam maliyet (tarama ve arıza onarım dâhil toplam) ve toplam fayda (tespit edilip onarılan arızalar karşılığında kazanılan su miktarı) hesaplanır;

% *****Aktif Kaçak Yöntemi*****

% Kurtarılan su miktarı hesabı (m³);

birinci_dinleme_ksm=(Calisma_suresi*birinci_ASBAO*Mudahale_edilebilir_su_kaybi);
ikinci_dinleme_ksm=(Calisma_suresi*ikinci_ASBAO*Mudahale_edilebilir_su_kaybi);
ucuncu_dinleme_ksm=(Calisma_suresi*ucuncu_ASBAO*Mudahale_edilebilir_su_kaybi);
dorduncu_dinleme_ksm=(Calisma_suresi*dorduncu_ASBAO*Mudahale_edilebilir_su_kaybi);
besinci_dinleme_ksm=(Calisma_suresi*besinci_ASBAO*Mudahale_edilebilir_su_kaybi);
altinci_dinleme_ksm=(Calisma_suresi*altinci_ASBAO*Mudahale_edilebilir_su_kaybi);

% *****Aktif Kaçak Yöntemi*****

% Dinleme Sonuçları;

% Toplam harcanan tutar hesaplanması (TL)

birinci_dinleme_tht=(Toplam_hat_uzunlugu*Tarama_maliyeti)+(Tahmini_sebeke_ariza_sayisi*Sebeke_arizasi_onarim_maliyeti*birinci_ASBAO)+(Tahmini_abone_ariza_sayisi*Abone_arizasi_onarim_maliyeti*birinci_ASBAO);

ikinci_dinleme_tht=(Toplam_hat_uzunlugu*Tarama_maliyeti)+(Tahmini_sebeke_ariza_sayisi*Sebeke_arizasi_onarim_maliyeti*ikinci_ASBAO)+(Tahmini_abone_ariza_sayisi*Abone_arizasi_onarim_maliyeti*ikinci_ASBAO);

ucuncu_dinleme_tht=(Toplam_hat_uzunlugu*Tarama_maliyeti)+(Tahmini_sebeke_ariza_sayisi*Sebeke_arizasi_onarim_maliyeti*ucuncu_ASBAO)+(Tahmini_abone_ariza_sayisi*Abone_arizasi_onarim_maliyeti*ucuncu_ASBAO);

dorduncu_dinleme_tht=(Toplam_hat_uzunlugu*Tarama_maliyeti)+(Tahmini_sebeke_ariza_sayisi*Sebeke_arizasi_onarim_maliyeti*dorduncu_ASBAO)+(Tahmini_abone_ariza_sayisi*Abone_arizasi_onarim_maliyeti*dorduncu_ASBAO);

besinci_dinleme_tht=(Toplam_hat_uzunlugu*Tarama_maliyeti)+(Tahmini_sebeke_ariza_sayisi*Sebeke_arizasi_onarim_maliyeti*besinci_ASBAO)+(Tahmini_abone_ariza_sayisi*Abone_arizasi_onarim_maliyeti*besinci_ASBAO);

altinci_dinleme_tht=(Toplam_hat_uzunlugu*Tarama_maliyeti)+(Tahmini_sebeke_ariza_sayisi*Sebeke_arizasi_onarim_maliyeti*altinci_ASBAO)+(Tahmini_abone_ariza_sayisi*Abone_arizasi_onarim_maliyeti*altinci_ASBAO);

Yapılan hesaplamaların ardından birim maliyetler ve faydalar hesaplanarak su üretim maliyetleri ile kıyaslanır.

```
% *****Aktif Kaçak Yöntemi*****
```

```
% Birim maliyet hesaplamaları (TL/m3);
```

```
birinci_birim_maliyet=birinci_dinleme_tht/birinci_dinleme_ksm;
```

```
ikinci_birim_maliyet=ikinci_dinleme_tht/ikinci_dinleme_ksm;
```

```
ucuncu_birim_maliyet=ucuncu_dinleme_tht/ucuncu_dinleme_ksm;
```

```
dorduncu_birim_maliyet=dorduncu_dinleme_tht/dorduncu_dinleme_ksm;
```

```
besinci_birim_maliyet=besinci_dinleme_tht/besinci_dinleme_ksm;
```

```
altinci_birim_maliyet=altinci_dinleme_tht/altinci_dinleme_ksm;
```

```
% Fayda (m3/gün);
```

```
dinleme_net_fayda1=(birinci_ASBAO*Mudahale_edilebilir_su_kaybi);
```

```
dinleme_net_fayda2=(ikinci_ASBAO*Mudahale_edilebilir_su_kaybi);
```

```
dinleme_net_fayda3=(ucuncu_ASBAO*Mudahale_edilebilir_su_kaybi);
```

```
dinleme_net_fayda4=(dorduncu_ASBAO*Mudahale_edilebilir_su_kaybi);
```

```
dinleme_net_fayda5=(besinci_ASBAO*Mudahale_edilebilir_su_kaybi);
```

```
dinleme_net_fayda6=(altinci_ASBAO*Mudahale_edilebilir_su_kaybi);
```

Yapılan hesaplamalar birim kaçak kontrolü için harcanan tutarın, birim su üretim maliyetinden yüksek olduğu noktaya kadar devam ettirilir. Böylelikle aktif kaçak kontrolü sonucunda ekonomik olarak kurtarılabilecek su miktarı bulunmuş olacaktır. Bu husus Matlab'a aktarılmıştır;

```
% *****Aktif Kaçak Yöntemi*****
```

```
if birinci_birim_maliyet>Birim_su_maliyeti
```

```
    sprintf('Yontem Uygulamak Ekonomik Olmayacaktır')
```

```
    Toplam_net_fayda=0;
```

```
end
```

```
if birinci_n1_maliyet<Birim_su_maliyeti
```

```
    Toplam_net_fayda=dinleme_net_fayda;
```

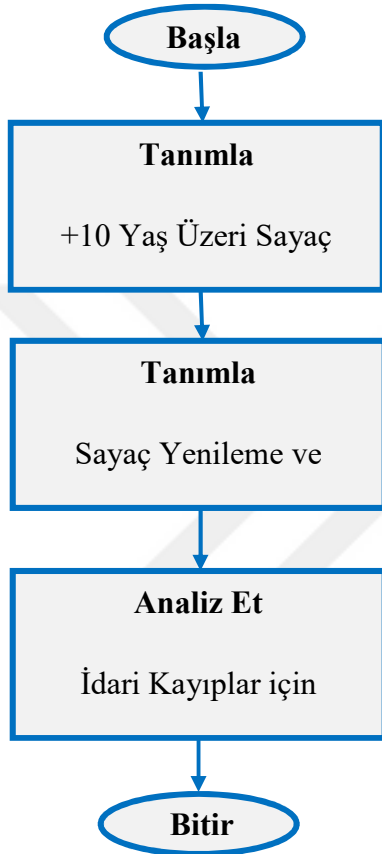
```
End
```

```
Toplam_net_fayda=dinleme_net_fayda1+dinleme_net_fayda2+dinleme_net_fayda3+dinleme_net_fayda4+dinleme_net_fayda5+dinleme_net_fayda6;
```

Yapılan hesaplamalar sonucunda aktif kaçak yöntemi için ekonomik olarak kurtarılabilecek kayıp miktarı ve oluşacak toplam maliyet hesaplanmıştır.

4.3.4 Abone sayaç yönetimi için fayda maliyet algoritmasının tanımlanması

Bu bölümde de son olarak diğer bölümlerde olduğu gibi abone sayaç maliyetinin hesaplanması için kullanılması gereken akış diyagramı oluşturulmuştur. Bu akış diyagramında kullanılan Matlab kodları da aşağıda verilmiştir. Akış diyagramındaki işlem basamakları Matlab ortamında oluşturulan ve aşağıda verilen kodlara göre çalışmaktadır.



Şekil 4.11 Abone Sayaç Yönetimi Maliyet Analizi İçin Akış Diyagramı

Detayları 4.2.4. bölümünde anlatılan sayaç rehabilitasyon senaryoları için fayda maliyet hesaplamaları yapılmıştır. (Fontanazza vd., 2014) 10 yaşından daha yaşlı sayaçların ortalama %33 eksik-hatalı ölçüm yaptığını belirtmişlerdir. Yine aynı çalışmada bu sayaçların ilk kez kalibrasyon işleminden geçirilmesi ile hata oranının %29'a, ikinci kez kalibre edilmesinin ardından %20'ye düşürüleceği tespit edilmiştir. +10 yaş tüm sayaçların değiştirilmesiyle hata oranının sayaçlar için kabul edilebilir seviye olan %5.5 seviyesine ineceği çalışma kapsamında hesaplanmıştır. Bu husus şu şekilde tanımlanmıştır;

% *****Abone Sayaç Yönetimi*****

% Birim hata hesaplamaları (Fontanazza vd. 2014)

on_yasindan_yasli_sayaclarin_ortalama_hata_orani=0.33;
birinci_kalibrasyon_sonucu_hata_orani=0.29;
ikinci_kalibrasyon_sonucu_hata_orani=0.20;
degistirilmesi_sonucu_olusacak_ortalama_hata_orani=0.055;

% Temel maliyetler (TL/adet);

sayac_degisim_bedeli=145;
sayac_kalibrasyon_bedeli=10.08;

birinci_kalibrasyon_fayda1=((idari_su_kaybi/(1-
on_yasindan_yasli_sayaclarin_ortalama_hata_orani))*(1-
birinci_kalibrasyon_sonucu_hata_orani))-idari_su_kaybi;
birinci_kalibrasyon_fayda=birinci_kalibrasyon_fayda1*Toplam_hat_uzunlugu*2
4*365*2;
birinci_kalibrasyon_maliyet=Abone_sayisi*on_yasindan_yasli_sayaclarin_topla
m_sayaclara_orani*sayac_kalibrasyon_bedeli;
birinci_sayac_fayda_maliyet=birinci_kalibrasyon_fayda/birinci_kalibrasyon_maliye
t;

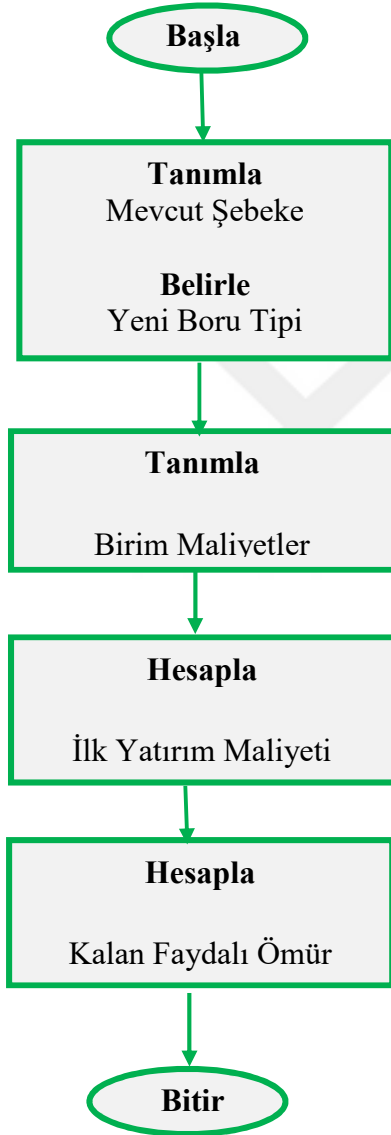
ikinci_kalibrasyon_fayda1=((idari_su_kaybi/(1-
on_yasindan_yasli_sayaclarin_ortalama_hata_orani))*(1-
ikinci_kalibrasyon_sonucu_hata_orani))-idari_su_kaybi;
ikinci_kalibrasyon_fayda=ikinci_kalibrasyon_fayda1*Toplam_hat_uzunlugu*24*
365*2;
ikinci_kalibrasyon_maliyet=Abone_sayisi*on_yasindan_yasli_sayaclarin_toplam
_sayaclara_orani*sayac_kalibrasyon_bedeli;
ikinci_sayac_fayda_maliyet=ikinci_kalibrasyon_fayda/ikinci_kalibrasyon_maliye
t;

degistirilmesi_kalibrasyon_fayda1=((idari_su_kaybi/(1-
on_yasindan_yasli_sayaclarin_ortalama_hata_orani))*(1-
degistirilmesi_sonucu_olusacak_ortalama_hata_orani))-idari_su_kaybi;
degistirilmesi_kalibrasyon_fayda=degistirilmesi_kalibrasyon_fayda1*Toplam_ha
t_uzunlugu*24*365*2;
degistirilmesi_kalibrasyon_maliyet=Abone_sayisi*on_yasindan_yasli_sayaclarin
_toplam_sayaclara_orani*sayac_degisim_bedeli;
degistirilmesi_sayac_fayda_maliyet=degistirilmesi_kalibrasyon_fayda/degistirilm
esi_kalibrasyon_maliyet;

Böylelikle sayaç kalibrasyon ve değişim seçeneklerinin herbiri için fayda ve maliyet analizleri yapılmış ve algoritmaya fayda/maliyet oranı en yüksek opsiyonun seçilmesi sağlanmıştır.

4.3.5 Şebeke yenileme ve boru malzemesi için fayda maliyet algoritmasının tanımlanması

Diğer maliyet hesaplama algoritmalarında olduğu gibi şebeke yenileme ve boru malzemesi için maliyet hesabı algoritması Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Akış diyagramı için oluşturulan Matlab kodları ise takip eden diğer şekillerde verilmiştir.



Şekil 4.12 Şebeke Yenileme Ve Malzeme Yönetimi İçin Maliyet Analizi Akış Diyagramı

Detayları 4.2.5. bölümünde anlatılan şebeke rehabilitasyonu kalan faydalı ömrün hesabı için öncelikli olarak rehabilitasyon maliyetinin hesaplanması gerekmektedir.

Şebekenin yenilenmesi sırasında ortaya çıkacak maliyetlerin hesabı için şebekenin boru çapları ağırlıklı olarak Matlab'a tanımlanmalı ve Rehabilitasyon sırasında kullanılacak yeni boru cinsinin belirlenmesi gerekmektedir;

```
% *****Rehabilitasyon Yöntemi*****  
  
% Bu değişken merkez bankasından alınmalıdır.  
yillik_enflasyon_orani=0.1275;  
  
% Bu toplamın 1 olması gerekir (Birimi %);  
yuzelli_mm_Kucuk_Boru_Uzunluklarinin_yuzdesi=***;  
yuzelli_mm_ucyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_Yuzdesi=***;  
ucyuz_mm_besyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_Yuzdesi=***;  
besyuz_mm_yedyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_Yuzdesi=***;  
yedyuz_mm_Buyuk_Boru_Uzunluklarinin_Yuzdesi=***;  
  
% Yenilenme Durumunda Seçilecek Boru Cinsi  
% PVC için 1 Düktil=2;Pe=3; Celik=4;  
yeni_boru_cinsi=***;
```

Böylelikle her boru çapı ve cinsi ile daha önce tanımlanmış birim imalat maliyetleri çarpılarak toplam rehabilitasyon maliyeti hesaplanabilmektedir.

```
% *****Rehabilitasyon Yöntemi*****  
  
% Birim maliyet hesaplamaları (TL/m);  
if yeni_boru_cinsi==1;  
yuzelli_mm_Kucuk_Boru_Uzunluklarinin_maliyet=110;  
yuzelli_mm_ucyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_maliyet=345;  
ucyuz_mm_besyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_maliyet=600;  
besyuz_mm_yedyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_maliyet=950;  
yedyuz_mm_Buyuk_Boru_Uzunluklarinin_maliyet=1350;  
  
elseif yeni_boru_cinsi==2;  
yuzelli_mm_Kucuk_Boru_Uzunluklarinin_maliyet=250;  
yuzelli_mm_ucyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_maliyet=460;  
ucyuz_mm_besyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_maliyet=810;  
besyuz_mm_yedyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_maliyet=1200;  
yedyuz_mm_Buyuk_Boru_Uzunluklarinin_maliyet=1750;
```

```
% *****Rehabilitasyon Yöntemi*****
% Birim maliyet hesaplamaları (TL/m);
elseif yeni_boru_cinsi==3;
yuzelli_mm_Kucuk_Boru_Uzunluklarinin_maliyet=125;
yuzelli_mm_ucyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_maliyet=360;
ucyuz_mm_besyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_maliyet=640;
besyuz_mm_yediyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_maliyet=950;
yediyuz_mm_Buyuk_Boru_Uzunluklarinin_maliyet=1400;

else
yuzelli_mm_Kucuk_Boru_Uzunluklarinin_maliyet=214;
yuzelli_mm_ucyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_maliyet=420;
ucyuz_mm_besyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_maliyet=760;
besyuz_mm_yediyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_maliyet=1100;
yediyuz_mm_Buyuk_Boru_Uzunluklarinin_maliyet=1600;
end
```

Söz konusu maliyet kalemlerinin ilk fiyatlarının hesaplanmasının ardından 4.15 nolu denklemde belirtilen esaslar doğrultusunda her yıl için faiz oranları da dikkate alınarak rehabilitasyon maliyetleri, arıza maliyetleri ve su kayıp maliyetleri ayrı ayrı hesaplanır. BRK değeri için;

$$BRK_n > BRK_{n+1} \text{ ve } BRK_n > BRK_{n-1} \tag{4.15}$$

Denklemlerini aynı anda sağladığı nokta şebekenin kalan faydalı ömrünü verecektir. Söz konusu hesaplamalar ve grafiğin dip noktasının belirlenmesi Matlab'a gösterildiği şekilde aktarılmıştır.

% *****Rehabilitasyon Yöntemi*****

% Birim maliyet hesaplamaları (TL);

rehabilitasyon_maliyeti1=Toplam_hat_uzunlugu*yuzelli_mm_Kucuk_Boru_Uzunluklarinin_yuzdesi*yuzelli_mm_Kucuk_Boru_Uzunluklarinin_maliyet;
rehabilitasyon_maliyeti2=Toplam_hat_uzunlugu*yuzelli_mm_ucyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_Yuzdesi*yuzelli_mm_ucyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_maliyet;

rehabilitasyon_maliyeti3=Toplam_hat_uzunlugu*ucyuz_mm_besyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_Yuzdesi*ucyuz_mm_besyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_maliyet;

rehabilitasyon_maliyeti4=Toplam_hat_uzunlugu*besyuz_mm_yedyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_Yuzdesi*besyuz_mm_yedyuz_mm_Arasi_Degisen_Boru_Uzunlugu_maliyet;

rehabilitasyon_maliyeti5=Toplam_hat_uzunlugu*yedyuz_mm_Buyuk_Boru_Uzunluklarinin_Yuzdesi*yedyuz_mm_Buyuk_Boru_Uzunluklarinin_maliyet;

rehabilitasyon_maliyeti=rehabilitasyon_maliyeti1+rehabilitasyon_maliyeti2+rehabilitasyon_maliyeti3+rehabilitasyon_maliyeti4+rehabilitasyon_maliyeti5;

ariza_yillik_maliyet1=yillik_toplam_ariza*Sebeke_arizasi_onarim_maliyeti;

su_kayip_yillik_maliyet1=yillik_toplam_ariza*birim_ariza*Ortalama_gece_basinci*Birim_su_maliyeti*yeni_ariza_cozum_suresi;

yil=100;

for i=1:yil;

if i==1

n_yil_sonra_degistirme_maliyeti(i,1)=(rehabilitasyon_maliyeti)/((1+yillik_enflasyon_orani)^(i-1));

n_yil_sonraki_ariza_maliyeti1(i,1)=(((ariza_yillik_maliyet1)*(1.1^(i-1)))/((1+yillik_enflasyon_orani)^(i-1)));

n_yil_sonraki_ariza_maliyeti(i,1)=sum(n_yil_sonraki_ariza_maliyeti1);

n_yil_sonraki_su_kayip_yillik_maliyet1(i,1)=(su_kayip_yillik_maliyet1)/((1+yillik_enflasyon_orani)^(i-1));

n_yil_sonraki_su_kayip_yillik_maliyet(i,1)=sum(n_yil_sonraki_su_kayip_yillik_maliyet1);

toplam_rehab_analiz(i,1)=

n_yil_sonra_degistirme_maliyeti(i,1)+n_yil_sonraki_ariza_maliyeti(i,1)+n_yil_sonraki_su_kayip_yillik_maliyet(i,1);

if toplam_rehab_analiz(2,1)>toplam_rehab_analiz(1,1)

sprintf('Sebeke hemen rehabilite edilmelidir')

return

end

end

min_index1=find(toplam_rehab_analiz==min(toplam_rehab_analiz));

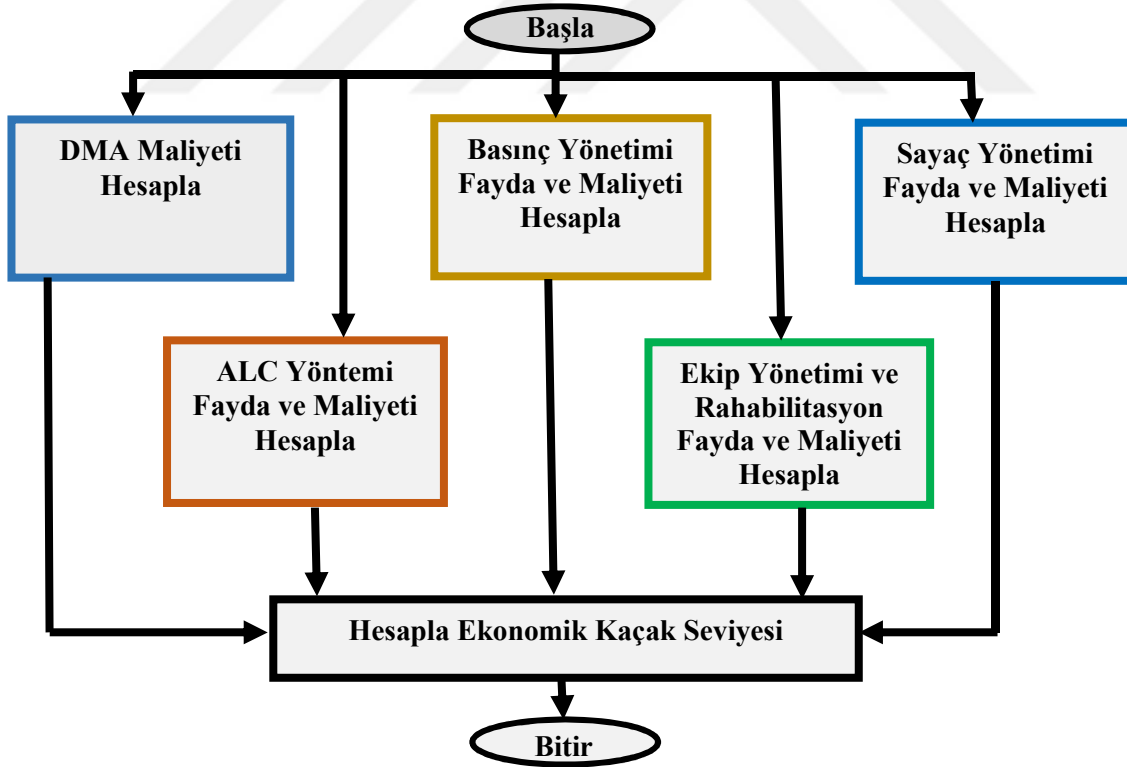
min_index=min_index1(1,1)

toplam_rehab_analiz(min_index,1)

4.4 Optimizasyon Yöntemleri İle Ekonomik Kaçak Seviyesinin Belirlenmesi

Önceki bölümlerde matematiksel temelleri ve algoritmik düzenleri anlatılmış olan 5 adet maliyet hesabı terminolojisi sunulmaktadır. İçmesuyu kayıplarının azaltılması amacıyla kullanılan bu beş farklı yöntem birbirlerinden bağımsız değerlendirile bilineceği gibi, kayıp kaçaklarla planlı bir mücadele kapsamında birlikte değerlendirilmesi daha doğru olacaktır. Kurulan algoritmalarda her bir yöntem için ortak değişkenler birlikte tanımlandığında sistemin ve kurulan algoritmaların ortak çözümleri de mümkün hale gelmektedir.

Aşağıdaki şekilde sistemde kullanılan hesaplama yapısının genel akış diyagramı gösterilmektedir. Bu akış diyagramına göre eş zamanlı olarak DMA oluşturma maliyeti, basın yönetimi fayda ve maliyeti, aktif kaçak yöntemi fayda ve maliyeti, sayaç yönetimi fayda ve maliyeti ve şebeke rehabilitasyon- ekip sayısı optimizasyonu yöntemleri çalıştırılmış ve sistemin toplam maliyet hesabı tüm kısıtlar göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Bu sayede içme suyu şebeke sistemi için tüm kısıtları ve bileşenleri içerisinde bulunduran bir uzman sistem gibi davranan algoritmik maliyet hesabı terminolojisi önerilmiştir.



Şekil 4.13 Şebeke Genel Maliyet Analizi İçin Akış Diyagramı

4.4.1 Yapay zeki optimizasyonlar ile ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi

Su kayıpları ile mücadele stratejisi için tüm teknik ve ekonomik değişkenler dikkate alınarak bir model önerilmelidir. Bu nedenle, tezin bir önceki bölümünde, EKS modelinin oluşturulması için algoritmik yapı ve bu denklemlerin matematiksel arka planı ve çözüm yöntemleri ayrıntılı olarak sunulmuştur. Eşzamanlı çözümler için ortak değişken tanımlanmalı ve bu değişkenlerin su kayıplarının etkisi matematiksel olarak açıklığa kavuşturulmalıdır. Bu nedenle önceki bölümlerde sistem bileşenlerinin birbirleri ile ilişkilerinin belirlenmesi için detaylı çalışmalar yapılmış, ortak değişkenler kullanılarak birbirine bağımlı çalışan sistem modelleri ve algoritmik yapılar oluşturulmuştur. Bununla birlikte problem, analitik olarak çözülebilen basit bir denklemin çok ötesinde bir problemdir. Özellikle problemin çevresel etkilere maruz kalması, bazı durumlarda problem çözümlerinde sayısal değerlerin olmaması vb. nedenlerle önerilen EKS modelini analitik olarak çözmek son derece zordur.

Bilindiği üzere mühendislik problemi analitik, sayısal ve yarı analitik veya yarı sayısal yöntemlerle çözülebilir. Örneğin, problem modeli, kısıtlamaları vb. tam olarak biliniyorsa, analitik yöntemler kullanılabilir. Analitik problemlerin çözümü için özellikle doğrusal ve doğrusal olmayan programlama yöntemi kullanılabilir. Çalışma sırasında geliştirilen EKS modelinin çözümünde bazen analitik çözümler kullanılsa da çoğu durumda bu çözümler yetersiz kalmaktadır. Bunun en önemli nedeni, önerilen EKS modelinden tahminler yapma gerekliliğidir.

Ancak sayısal yöntemlerde problemin modelini veya kısıtlarını tam olarak bilmek gerekli değildir. Analitik çözümler gibi kesin sonuçlar vermesine rağmen, problemin bilinmeyen veya öngörülemeyen girdilerin olduğu durumlarda mühendislik problemlerinin çözümünde son derece faydalıdır. Bu nedenle, önerilen EKS modelinin çözümünde analitik çözümler yerine sayısal çözümler kullanılmalıdır. Günümüzde mühendislik problemlerini çözmek için sayısal optimizasyon algoritmaları sıklıkla kullanılmaktadır (Wang vd., 2018; Monsef vd., 2019; Nasir vd., 2020).

Özellikle, stokastik (Asi ve Duchi, 2019; Ermoliev vd., 2019; Zakaria vd., 2020) ve sürü tabanlı arama optimizasyon algoritmaları (Wei vd., 2019; Ma vd., 2020) kullanılarak farklı nesnel fonksiyonlar için optimal sonuçlar bulunabilir (Salih ve Alsewari, 2020). Bu çalışmada, tüm analiz yöntemleri için ortak değişkenler belirlenmiştir. Böylelikle

yöntemlerin uygulanması sırasında oluşacak değişikliklerden tüm su kayıp yöntemleri etkilenecek ve her yöntem için ortak bir çözüm sağlanacaktır.

Örneğin su kaybı azaltma stratejilerinde uygulanan temel yöntemlerden biri olan basınç yönetiminde basıncı azaltmak, anlık kayıp seviyesini düşürerek olumlu etki sağlarken, aktif kaçak kontrolünde arıza tespitini zorlaştırdığı için birim maliyetlerin artırması gibi olumsuz bir etkiye sahip olabilir. Bu tür değişikliklerin farklı yöntemler için zıt etkileri olduğu değişkenler bu kapsamda belirlenip ve optimizasyon algoritmaları yardımıyla ekonomik olarak azaltılabilecek minimum su kaybı seviyesinin hesaplanması planlanmıştır.

Önerilen algoritmik yapı ile temel olarak altı değişken hesaplanır; i-Şebekede kalan faydalı ömür, ii-Birim DMA oluşturma maliyeti, iii-Basınç Yönetimi ile elde edilecek faydalı debi, iv- ALC Yöntemi ile elde edilecek, faydalı / ekonomik debi v-ekip sayısı optimizasyonu, vi-Sayaç rehabilitasyonu ile elde edilecek faydalı / ekonomik debi.

Su kaybı yönetiminde kaçak kayıplarını azaltmak için temel yöntemleri uygulamadan önce, mevcut şebekenin ekonomik bir analizi gereklidir. Ekonomik ömrünü tamamlamış bir şebeke için su kaybı azaltma yöntemlerinden ve dolayısıyla ekonomik kaçak seviyesinden bahsetmek mümkün olmayacaktır. Bu nedenle, önerilen algoritma ile önce ağın kalan faydalı ömrü hesaplanır (Bölüm 4.2.5).

Basınç ve ALC yönetimi, su kayıplarıyla mücadelede kritik öneme sahiptir. Bu iki yöntemin uygulanabilmesi için öncelikle bölgenin ölçülebilir alt bölgelere (DMA) bölünmesi gerekir. Ancak, DMA'lara ayrılan bölgelerde uygulanabilen bu iki yöntem için, yöntemlerin temel maliyet bileşenlerinden biri olan DMA oluşturma maliyeti optimizasyon öncesinde hesaplanır (Bölüm 4.2.1). Önerilen bu algoritmada, tüm ortak değişkenler, ekonomik kaçak hesaplamasının her seviyesinde tanımlanmış ve adlandırılmıştır. Böylelikle tüm su kaybı yöntemlerinin uygulanması sırasında ortak çözümler elde edilebilir. Önerilen algoritmada, "basınç değeri" ve "ekip sayısı" değişkenleri, her döngü için EKS değerini hesaplamak için optimize edilir ve nihayet ulaşılan en düşük EKS değeri, sistemin ekonomik noktası olarak tanımlanır.

İçmesuyu dağıtım sistemlerinde sistem giriş hacmi $V_{Giriş}$, tahakkuk debisi $V_{Tahakkuk}$ olarak tanımlanırsa, sistem kayıp miktarı denklem 4.16 şeklinde tanımlanır;

$$V_{Kayıp} = V_{Giriş} - V_{Tahakkuk} \quad (4.16)$$

Buna bağı olarak kayıp yüzdesi de denklem 4.17 şeklinde ifade edilir;

$$\text{Kayıp Yüzdesi (GGS)} = \frac{V_{\text{Kayıp}}}{V_{\text{Giriş}}} \quad (4.17)$$

Önerilen optimizasyon yönteminde iki amaç işlevi kullanılmaktadır (Denklem 4.18 ve 4.19). Optimizasyon sırasında, toplam kayıp yüzdesi denklemi en aza indirilirken fayda maksimize edilir.

$$\text{Toplam Fayda} = \text{Fayda}_{\text{Basınc}} + \text{Fayda}_{\text{ALC}} + \text{Fayda}_{\text{Ekip Sayısı}} + \text{Fayda}_{\text{Sayaç Rehabitasyon}} \quad (4.18)$$

$$\text{Ekonomik Kaçak Seviyesi (EKS)} = \frac{V_{\text{Kayıp}} - \text{Toplam Fayda}}{V_{\text{Giriş}}} \quad (4.19)$$

Önerilen algorithmada hem minimizasyon hem de maksimizasyon problemlerini aynı anda çözmek için çok amaçlı fonksiyon amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmış ve optimizasyon sürecinde ilgili amaç fonksiyonu minimize edilmiştir.

$$J = w_1 * (\text{Toplam Fayda})^{-1} + w_2 * \text{EKS} \quad (4.20)$$

Bu amaç fonksiyonunda, toplam faydanın matematiksel tersi alınarak maksimize edilmiş bir değişken minimize edilmiştir. w_1 ve w_2 , iki değişken arasında denge sağlayan ağırlıklandırma işlevleridir. Optimizasyon sırasında DSO yöntemi yukarıda belirtilen amaç işlevini en aza indirir.

Hesaplamalar sonucunda toplam faydanın maksimum ve dolayısıyla EKS seviyesinin minimum olduğu nokta bulunur. Hesaplanan bu değer, şebekenin ekonomik kaçak seviyesi olarak tanımlanır. Elde edilen amaç fonksiyonunda optimal basıncı ve işçi sayısını bulmak için kullanılan DSO algoritması detaylı olarak sunulmuştur.

Ayrık Stokastik Optimizasyon (DSO) ile Basınc ve İşçi Sayısının Ayarlanması

Önceki bölümlerde önerilen EKS modeli aslında bir uzman sistemi içerir. Ağın özellikleri önerilen algoritmik yapıya girdi olarak verilirse, EKS modeli sistemi analiz edebilir. Ancak sistem ve yönetim limitleri dikkate alındığında sisteme uygun basınc değeri bulmak ve sistem sorunlarını düzeltirken uygun çalışan sayısını belirlemek son

derece zordur. Bu nedenle, tüm kısıtlamalar göz önünde bulundurularak, bu iki değer önerilen EKS modeli içinde optimizasyon yoluyla elde edilmelidir. Çalışmanın bu bölümünde, önerilen EKS modeli içinde iki değer (basınç ve ekip sayısı) optimizasyon süreci anlatılacaktır.

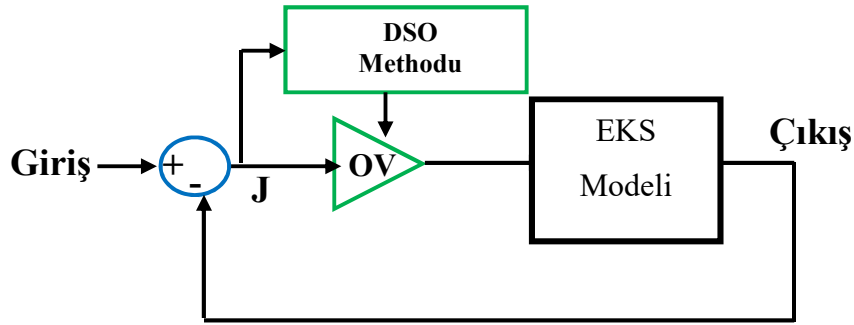
Bu bölümde, basıncın (P) ve işçi sayısının (NW) ayarlanması için gizli stokastik optimizasyon yönteminin uygulanmasını anlatılmaktadır. Bu çalışmada bu iki optimizasyon parametresi optimizasyon vektörleri (OV) kullanılmıştır. OV şu şekilde verilir;

$$OV = [P \quad NW] \quad (4.21)$$

Önerilen EKS modeli yüksek hesaplama karmaşıklığına sahiptir. Bu nedenle optimizasyon yönteminin daha az hesaplama karmaşıklığına sahip olması gerekir. Bu yöntem, hesaplamalardaki hesaplama karmaşıklığını ve optimum basınç ve ekip sayısını elde etme gereksinimlerini azaltır. DSO, önerilen EKS modeline ardışık set ve takip seansları uygulayarak ve denklem 4.19'da verilen genel amaç fonksiyonunu hesaplayarak doğrudan OV vektörünü ayarlayabilir.

DSO yöntemi, aynı anda tüm katsayılarla rastgele artışlar veya azalmalar uygular ve bu, sonsuz bir arama yönüne izin verir. Öte yandan DSO, genetik optimizasyon (Whitley, 1994), partikül sürüsü optimizasyonu (Kennedy ve Eberhart, 1997), balık sürüsü optimizasyonu (Shen vd., 2011), yapay arı kolonisi (Karaboga ve Basturk, 2008) gibi bir çözüm popülasyonu kullanan sezgisel optimizasyon yöntemlerine kıyasla daha az test gerçekleştirir. Bu nedenlerle DSO yöntemi, önerilen EKS modelindeki basınç ve ekip sayısını ayarlamak için uygundur. Çalışmamızda ilk olarak algoritmik yapıda özgün EKS modeli önerilmiş ve yeni amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. Daha sonra basınç ve ekip sayısı olmak üzere iki önemli girdi parametresi DSO yöntemi ile optimize edilmektedir. Önerilen EKS modeli birçok veriye sahip olmakla beraber her girdi birbirini etkileyebilmektedir. Önerilen EKS modelinin bir parçası olan OV vektörünü optimize etmek için; basınç ve ekip sayısı aynı anda optimize edilir.

Şekil 4.14'te, önerilen EKS modelinin optimizasyon yapısının blok diyagramını göstermektedir. Bu çalışmada, OV vektörünün DSO algoritması kullanılarak ayarlanması sunulmuştur.



Şekil 4.14 DSO Algoritması Kullanılarak Önerilen ELL Modeli İçin Uygulanan Diyagram

Bu çalışmada, DSO yönteminin performansını da test edilmiştir. Bu yöntemin temelleri Wang (2013) açıklanmıştır. Burada, önerilen EKS modelinde OV vektörünün optimizasyonu için DSO yönteminin uygulanmasının sonuçları tartışılmaktadır. Bu amaçla, sadece bir aday çözüm noktasını (OV_c) ve mevcut çözüm noktasını (OV) dikkate alan birinci sınıf rastgele arama tipi algoritmaları uygulanmıştır.

OV'yi ayarlamak için aşağıdaki algoritmayı uygulanmıştır;

Adım 1: Geçerli noktaya bir başlangıç değeri OV^0 ayarlanır ve amaç fonksiyonuna uygulanır ($J OV^0$) (Denklem 4.19'da verilmiştir).

Adım 2: Rastgele bir aday çözüm (OV_c^n) oluşturun ve hesaplayın ($J OV_c^n$).

Adım 3: Eğer $f(OV_c^n) - f(OV^n) < 0$ ise; çözümü güncelleyin ($OV^n = OV_c^n$).

Adım 4: Arama sürecini durdurursanız ($f(OV^n) < \epsilon$, yinelemeyi ($n = n + 1$) artırın ve 2. Adıma gidin.

Testte görülebileceği gibi, ilk olarak OV vektörü için bir başlangıç değeri verilir. Daha sonra verilen objektif fonksiyon uygulanarak karşılık gelen vektörün değeri hesaplanır. Daha sonra bu başlangıç vektöründen yola çıkılarak parametre vektör uzayında bu parametre için rastgele hareketler yapılarak aday çözüm belirlenir. Yeni hesaplanan değer ilk hesaplanan değerden çıkarılırsa ve sonuç 0'dan küçükse, parametre güncellenmelidir. Bu güncelleme belirli bir değere (ϵ) veya maksimum yineleme sayısına kadar devam edebilir (Ates vd., 2020).

4.4.2 Sınırlı bütçe ile ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi

İçmesuyu yönetiminde su kayıp azaltma yöntemleri, bu yöntemlere bağlı olarak hesaplanan EKS değerine ait hesaplama detayları önceki bölümlerde verilmiş olup,

çalışmanın bu bölümünde sınırlı bütçe kısıtı ile EKS çözümü için algoritmaya eklenen yapılar anlatılmıştır. Çalışma kapsamında değerlendirilen ve detaylı fayda-maliyet analizleri yapılan 4 temel yöntem (basınç yönetimi, aktif kaçak kontrolü, sayaç yönetimi, ekip yönetimi) için toplam 7 farklı maliyet fayda durumu ön plana çıkmaktadır. Bu durumlar;

1- *Sadece basınç yönetimi uygulanması durumu;* Bu durumda basınç değeri aktif kaçak ile birlikte kullanılmadığından optimize edilmeye ihtiyaç duymamaktadır. Sadece basınç yönetimi uygulanması durumunda basınç şebekenin ve yönetmeliklerin izin verdiği en düşük seviyeye (kullanıcı tarafından tanımlanmadığı takdirde; Türkiye’de “İçmesuyu Şebekeleri Projelendirme ve Uygulama Yönetmeliği”, nüfusu 50,000’den düşük yerleşim yerleri için minimum basıncı 20 m, nüfusu 50,000’den büyük yerleşim yerleri içinse 30 m olarak belirlemiştir.) çekilerek fayda hesabı yapılacaktır. Kayıp azaltma yönteminin tek maliyeti ise DMA oluşturulması maliyetidir. Söz konusu maliyet detayları bölüm 4.3.2.’de verilmiştir. Bu durum için oluşturulan fayda ve maliyet algoritmaları Matlab’a tanımlanmıştır.

% Sadece basınç yönetimi uygulanması durumu;

$L1x = \text{Toplam_su_kaybi_fiziksel} / (((\text{Ortalama_gece_basinci} / \text{Opt_basinc_min}))^N1);$
 $\text{Net_Fayda_basincx} = \text{Toplam_su_kaybi_fiziksel} - L1x;$

$\text{Fayda1} = \text{Net_Fayda_basincx}$
 $\text{Maliyet1} = \text{toplama_DMA_maliyeti1}$

2- *Sadece aktif kaçak kontrolü uygulanması durumu;* Bu durumda sistemde basınç yönetimi yapılmayacağı ve sadece aktif kaçak kontrolü uygulanacağı düşünülmektedir. Bu nedenle yapılacak hesaplamalarda basıncın sisteme girilen değer olarak sabit kalacak ve buna bağlı olarak arama kalitesi başlangıç değerlerinden değişmeyecektir. Yapılması planlanan fayda maliyetler bu nedenle algoritmanın dışında bölüm 4.3.3.’de esasları verilen doğrultuda yeniden hesaplanmalıdır. Söz konusu kayıp azaltma yönteminin maliyet unsurları detayları önceki bölümlerde verilen DMA oluşturulma maliyeti ve yöntem uygulanma maliyetidir. Bu durum için oluşturulan fayda ve maliyet algoritmaları Matlab’a tanımlanmıştır.

% Sadece aktif kaçak kontrolü uygulanması durumu;
% Arama sonuçlarında bulunan arıza oranları
birinci_ASBAOx=0.40;
ikinci_ASBAOx=0.25;
ucuncu_ASBAOx=0.14;
dorduncu_ASBAOx=0.09;
besinci_ASBAOx=0.07;
altinci_ASBAOx=0.05;
%Not: Ara tüm işlemler detayları 4.2.3.'de tanımlanan esaslar doğrultusunda algoritmanın dışında yeniden hesaplanmaktadır.

Fayda2=Toplam_net_faydax
Maliyet2=toplam_DMA_maliyeti1+ALC_TM_Maliyetx

3- *Aktif kaçak kontrolü ve basınç yönetiminin birlikte uygulanması durumu*; Söz konusu durum EKS hesabı kapsamında uygulanan yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan EKS hesabında optimum bir basınç seviyesi belirlenerek iki yöntem için de maksimum fayda hesaplanır. Bu durum için tek unsur iki yöntem içinde gerekli olan DMA oluşturulması ve maliyeti yöntemin tamamı için bir kez dikkate alınmalıdır. Çünkü oluşturulan DMA ile hem basınç yönetimi yapılabilmekte hem de aktif kaçak yöntemi uygulanabilir. Bu durum için oluşturulan fayda ve maliyet algoritmaları Matlab'a tanımlanmıştır.

% Aktif kaçak kontrolü ve basınç yönetiminin birlikte uygulanması durumu;
Fayda0=Net_Fayda_basinc+Toplam_net_fayda
Maliyet0=toplam_DMA_maliyeti1+ALC_TM_Maliyet

4- *Sayaç rehabilitasyonu (1. Kalibrasyon)*; Sayaçlar için temel olarak 3 olasılık fayda ve maliyet analizleri yapılmıştır. 10 yaşını geçmiş sayaçların 1. tur kalibre edilmesi durumunda hesaplanan fayda ve maliyet algoritmaları Matlab'a tanımlanmıştır.

% Sayaç Rehabilitasyon /1;
Fayda3=idari_su_kaybi-birinci_kalibrasyon_faydal
Maliyet3=birinci_kalibrasyon_maliyet;

5- *Sayaç rehabilitasyonu (2. Kalibrasyon)*; 10 yaşını geçmiş sayaçların 2. tur kalibre edilmesi durumunda hesaplanan fayda ve maliyet algoritmaları Matlab'a tanımlanmıştır.

```
% Sayaç Rehabilitasyon /2;  
Fayda4=idari_su_kaybi-ikinci_kalibrasyon_fayda1  
Maliyet4=ikinci_kalibrasyon_maliyet;
```

6- *Sayaç rehabilitasyonu (Sayacın değiştirilmesi)*; 10 yaşını geçmiş sayaçların değiştirilmesi durumunda hesaplanan fayda ve maliyet algoritmaları Matlab'a tanımlanmıştır.

```
% Sayaç Rehabilitasyon /3;  
Fayda5=idari_su_kaybi-degistirilmesi_kalibrasyon_fayda1  
Maliyet5=degistirilmesi_kalibrasyon_maliyet;
```

7- *Ekip rehabilitasyonu*; Bu bölümde ekip artırılması durumunda oluşacak fayda-maliyetler tanımlanmıştır. Detayları 4.3.5. bölümünde verilmiş algoritma ile ekip değişiminin fayda ve maliyet algoritmaları Matlab'a tanımlanmıştır.

```
% Ekip Rehabilitasyon /3;  
Fayda6=toplam_ariza_faydasi/365  
Maliyet6=toplam_ariza_maliyeti
```

Hesaplanan olası 7 farklı durumun algoritmaya tanımlanmasının ardından ilk olarak bütçe kısıtının algoritmaya tanımlanması gerekmektedir. Bu kapsamda ilk olarak tahakkuk edilen su miktarına bağlı olarak bir gelir bütçesi hesaplanmaktadır. Daha sonra kullanıcı tarafından bu gelirin yüzdesel olarak ne kadarlık bir kısmının kaçaklarla mücadele

```
% Sonuçlar;  
T_Fayda=Fayda0+Fayda1+Fayda2+Fayda3+Fayda4+Fayda5+Fayda6  
T_Maliyet=Maliyet0+Maliyet1+Maliyet2+Maliyet3+Maliyet4+Maliyet5+Maliyet6  
  
kacak_mucadele_butce_orani=***  
Total_Cost=kacak_mucadele_butce_orani*(Tahakkuk_edilen_su_miktari*365*su_satis_fiyati)
```

kullanılacağı algoritmaya “kacak_mucadele_butce_orani” değişkeni ile tanımlanmalıdır. Böylelikle sınırlı bütçe “Total_Cost” değişkeni ile sisteme tanımlanır. Ayrıca 7 yöntem içinde toplam fayda ve toplam maliyet değişkenleri hesaplanarak Matlab’a tanımlanır.

Yapılan algoritmada 3 temel kısıtlama bulunmaktadır. Bunların ilki harcanacak toplam maliyetin “T_Maliyet” hesaplanan kısıtlı bütçeden “Total_Cost” küçük olması durumudur. Diğer bir kısıt ise “*Sadece basınç yönetimi uygulanması durumu*”, “*Sadece aktif kaçak kontrolü uygulanması durumu*” ve “*Aktif kaçak kontrolü ve basınç yönetiminin birlikte uygulanması durumu*” seçeneklerinden yalnızca birinin maliyet ve faydalarının algoritma tarafından seçilmesi durumudur. Çünkü bu üç farklı durum aynı anda uygulanamamaktadır. Bu nedenle algoritmadan bu 3 durumdan sadece bir tanesinin seçmesi sağlanmaktadır. Aynı şekilde *Sayaç rehabilitasyonu (1. Kalibrasyon)*, *Sayaç rehabilitasyonu (2. Kalibrasyon)* ve *Sayaç rehabilitasyonu (Sayacın değiştirilmesi)* uygulamaları içinde geçerlidir. Bu nedenle algoritmadan bu üç durumdan sadece birini seçmesi beklenir.


```

% Sonuçlar;
F1=Fayda0; F2=Fayda1; F3=Fayda2; F4=Fayda3; F5=Fayda4; F6=Fayda5;
F7=Fayda6;M1=Maliyet0; M2=Maliyet1; M3=Maliyet2; M4=Maliyet3;
M5=Maliyet4; M6=Maliyet5; M7=Maliyet6(1,1);

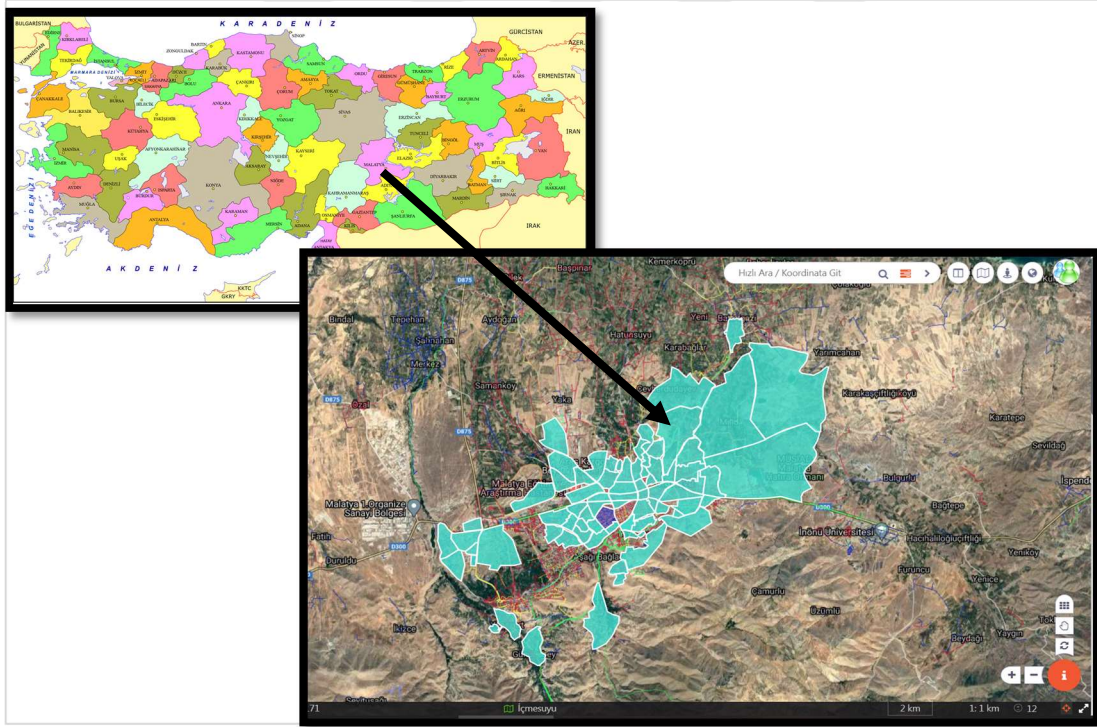
Maksimum_budget=Total_Cost;
a=[0 1]';
counter=1;
for iter1-7=1:2
    alar(counter,:)=a(iter1,1) a(iter2,1) a(iter3,1) a(iter4,1) a(iter5,1) a(iter6,1)
    a(iter7,1)];
    if ((a(iter1,1)+a(iter2,1)+a(iter3,1))<=1) & ((a(iter4,1)+a(iter5,1)+ a(iter6,1))<=1)
        F(1,counter)=a(iter1,1)*F1+a(iter2,1)*F2+a(iter3,1)*F3+a(iter4,1)*F4+a(iter5,1)*F
        5+a(iter6,1)*F6+a(iter7,1)*F7;
        M(1,counter)=a(iter1,1)*M1+a(iter2,1)*M2+a(iter3,1)*M3+a(iter4,1)*M4+a(iter5,
        1)*M5+a(iter6,1)*M6+a(iter7,1)*M7;
            else
                F(1,counter)=Maksimum_budget*10;
                M(1,counter)=Maksimum_budget*10;
    end
    k = find(M<=Maksimum_budget);
    for i=1:length(k)
        if i<length(k)
            if F(1,k(i))>F(1,k(i+1)) || F(1,k(i))==F(1,k(i+1))
                bigger_value=F(1,k(i));
                best_indis=k(i);
            end
        end
    end

```

Oluşturulan algoritma tüm olasılıkları hesapladıktan sonra kısıtlamalara göre çözüm matrisini revize etmektedir. Son olarak tüm kısıtlamaları sağlayan çözüm matrisinde en yüksek faydaya sahip kombinasyonu seçerek, kısıtlı bütçe ile uygulanması gereken yöntemleri ve sınırlı bütçeye göre hesaplanan EKS değerini kullanıcıya sunmaktadır. Oluşturulan algoritma ve kısıtlar Matlab'a tanımlanmıştır.

5. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ

Sızıntıların azaltılmasında ve yönetilmesinde en temel yaklaşımların analizi için Malatya ve Kayseri merkez dağıtım sistemleri uygulama alanı olarak seçilmiştir. Malatya ili uygulama alanı Türkiye'nin doğu bölgesinde yer almakta olup toplam şebeke uzunluğu 2,000 km, toplam abone sayısı yaklaşık 350,000 civarındadır (MASKİ, 2020). Uygulama alanında 2016-2020 yılları arasında aktif kaçak kontrolü faaliyetleri yürütülmekte ve izole bölgeler oluşturulmaktadır. İzole bölgelerde su dengesi, debi basınç izleme ve minimum gece debisi izlemesi yapılmaktadır. Uygulama alanında basınç yönetiminin etkilerinin izlenebilmesi için 9 izole ölçüm bölgesi, aktif kaçak kontrolü yönteminin etkilerinin izlenebilmesi amacıyla da 9 izole ölçüm bölgesi olmak üzere toplam 18 bölgede araştırma yapılmıştır (Şekil 5.1, Tablo 5.1, Tablo 5.2). Uygulama alanında, özellikle su kayıp azaltma yöntemlerinin etkilerinin (avantajları ve dezavantajları) analiz edilmesi için; şebeke uzunluklarının, abone yoğunluklarının, su üretim/işletme maliyetlerinin ve su kayıp miktarlarının farklılık gösterdiği bölgeler seçilmiştir.



Şekil 5.1 Malatya Uygulama Alanı ve Pilot İzole Bölgeler (MASKİ, 2020)

Tablo 5.1 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Basınç Yönetimi)

	Birim	DMA1	DMA2	DMA3	DMA4	DMA5	DMA6	DMA7	DMA8	DMA9
Şebeke Uzunluğu	m	15533	27850	9700	4780	5800	13480	12800	15620	13200
Abone Sayısı	adet	4663	2270	2872	1046	3391	7032	2895	4208	1514
Abone Bağlantı Sayısı	adet	1160	1751	510	315	500	1386	427	526	689
Ortalama Abone Uzunluğu	m	8	8	8	8	7.8	7.04	7.98	7.83	8.24
Tahakkuk Miktarı	l/s	24.45	11.61	23.14	7.89	15.21	32.45	13.15	3.82	8.22
Şebeke Boru Tipi	-	Pik	PVC	HDPE	Asbest	Çelik	Pik	PVC	HDPE	Asbest
N1 Katsayısı	-	1	1.5	2	0.5	1	1	1.5	2	0.5
Ortalama Basınç	m	65	50.8	50.1	45	38	55	60	51	50
Ortalama Giriş Debisi	l/s	47.42	49.39	36.48	12.93	30.76	36.48	17.82	13.52	10.88
Gelir Getirmeyen Su Miktarı	l/s	22.97	37.78	13.34	5.04	15.56	4.03	4.68	9.70	2.66
Gelir Getirmeyen Su Oranı	%	48.44	76.49	36.57	38.98	50.56	11.05	26.23	71.75	24.47
Fiziksel Kayıp Miktarı (CARL)	l/s	18.376	30.224	10.672	4.03	12.44	3.22	3.74	7.76	2.13
UARL	l/s	1.08	1.32	0.40	0.21	0.26	1.02	0.46	0.47	0.54
ILI	-	16.97	22.90	26.88	19.20	46.99	3.18	8.20	16.56	3.97
ILI Sınıfı	-	D	D	D	D	D	A	C	D	A

Tablo 5.2 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Aktif Kaçak Kontrolü)

	Birim	DMA10	DMA11	DMA12	DMA13	DMA14	DMA15	DMA16	DMA17	DMA18
Şebeke Uzunluğu	m	4780	5800	11010	15620	13480	3160	12800	3680	13200
Abone Sayısı	adet	1046	3391	2337	4208	7032	1208	2895	2717	1514
Abone Bağlantı Sayısı	adet	315	500	517	526	1386	300	427	584	689
Ortalama Abone Uzunluğu	m	8	7.8	4.15	7.83	7.04	8	7.98	8	8
Tahakkuk Miktarı	l/s	7.89	15.21	11.23	3.82	32.45	6.44	13.15	11.15	8.22
Su Üretim Maliyeti	TL/m ³	1.1	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	4.6	2.32
Ortalama Basınç	m	45	38	55	51	55	52	60	45	50
Ortalama Giriş Debisi	l/s	12.93	30.76	15.39	13.52	42.18	10.23	17.82	12.72	10.88
Gelir Getirmeyen Su Miktarı	l/s	5.04	15.55	4.16	9.7	9.73	3.8	4.68	1.57	2.66
Gelir Getirmeyen Su Oranı	%	38.94	50.56	27.07	71.75	23.05	37.10	26.23	12.37	24.47
Fiziksel Kayıp Miktarı (CARL)	l/s	4.03	12.44	3.33	7.76	7.78	3.04	3.74	1.26	2.13
İdari Kayıp Miktarı	l/s	1.01	3.11	0.83	1.94	1.94	0.76	0.94	0.31	0.53
UARL	l/s	0.21	0.26	0.42	0.48	1.02	0.21	0.46	0.34	0.54
ILI	-	19.29	47.01	7.87	16.33	7.66	14.14	8.20	3.72	3.97
ILI Sınıfı	-	D	D	B	D	B	C	C	A	A

Tablo 5.3 Kayseri Çalışma Alanı Verileri (Basınç Yönetimi ve Aktif Kaçak Birlikte)

	Birim	DMA 19	DMA 20	DMA 21	DMA 22	DMA 23	DMA 24
Şebeke Uzunluğu	m	5000	10000	21000	32490	18000	6000
Abone Sayısı	adet	1420	2478	1831	750	2225	1220
Abone Bağlantı Sayısı	adet	529	498	459	450	360	421
Ortalama Abone Uzuluğu	m	8	8	8	8	8	8
Tahakkuk Miktarı	l/s	6.54	4.05	5.5	2.8	9.5	8.55
Şebeke Boru Tipi	-	Pik	Düktil	PVC	PVC	HDPE	PVC
N1 Katsayısı	-	1	1	1.5	1.5	2	1.5
Ortalama Basınç	m	60	61	64	34	66	64
Ortalama Giriş Debisi	l/s	10.22	8.04	11.9	9	24.97	10.83
Su Üretim Maliyeti	TL/m ³	2.91	3.56	3.2	1.01	2.91	2.63
Gelir Getirmeyen Su Miktarı	l/s	3.68	3.99	6.4	6.2	15.47	2.28
Gelir Getirmeyen Su Oranı	%	36.01	49.63	53.78	68.89	61.95	21.05
Fiziksel Kayıp Miktarı (CARL)	l/s	2.94	3.19	5.12	4.96	12.37	1.82
UURL	l/s	0.95	0.57	0.69	0.26	0.95	0.2
İdari Kayıp Miktarı	l/s	0.74	0.80	1.28	1.24	3.09	0.46
ILI	-	3.09	5.59	7.42	19.07	13.02	9.10
ILI	-	A	B	B	D	C	C

Pilot izole bölgelerde giriş debileri debimetreler ile düzenli olarak ölçülmekte ve SCADA sistemi ile anlık olarak izlenmektedir. Ayrıca bölgelerde şebeke ve işletme verilerinin daha sistematik bir şekilde izlenmesi için coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve abone yönetim sistemleri veri tabanları mevcut olup düzenli olarak güncellenmektedir. Bu veri tabanları kullanılarak şebeke uzunluğu, abone sayısı, abone bağlantı uzunluğu ve bölge toplam tüketim verileri her bölge için belirlenmiştir. Ayrıca bölgede belirlenen kritik noktalara yerleştirilen basınçölçerler ile bölge ortalama basınçları belirlenmiştir.

6. ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER

6.1 Saha Verileri Kullanılarak Basınç Yönetiminin Altyapı Kaçak Endeksi (ILI) Üzerindeki Etkisinin Analizi

6.1.1 Giriş ve problem tanımlama

İçme suyu dağıtım sistemlerinde karşılaşılan en ciddi sorun yüksek sızıntılardır. Artan su talepleri ve sızıntı miktarları ve azalan su kaynaklarına bağlı olarak, sürdürülebilir su hizmetlerinin devamı için sızıntı azaltma stratejileri geliştirmelidir (Liemberger vd., 2006; Vairavamoorthy, 2011). Sızıntı yönetiminde uygulanan temel yöntemler, *basınç yönetimi (PM)*, *arıza onarım hızı ve kalitesinin artırılması*, *boru malzeme yönetimi* ve *aktif kaçak kontrolü (ALC)* şeklindedir (Lambert vd., 1999; Lambert ve McKenzie, 2002; Nicolini ve Zovatto, 2009; Venkatesh, 2012; Islam ve Babel, 2013). Arıza onarım hızı ve kalitesi, ALC ve boru malzemesi yönetimi, sızıntıların önlenmesi ve azaltılmasında önemli katkı sunmaktadır. Diğer taraftan PM, sızıntıların ve arızaların azaltılmasında önemli avantaj sağlayan yöntem olarak uygulanmaktadır (Farley ve Trow, 2003; Lambert, 2012; Schwaller ve van Zyl, 2015). Sızıntı- basınç arasındaki ilişki birçok saha uygulamasıyla test edilmiş ve denenmiş olmakla beraber temelde orifis denklemi ile açıklanmaktadır (May, 1994). Basınç kontrolünün, mevcut arızalarda sızıntı oranlarını azaltmada en etkili araçlardan biri olduğu ifade edilmiştir (May, 1994). Ayrıca basınç kontrolü, yeni arıza riskinin azaltılması ve borunun ekonomik ömrünün uzatılması açısından önemli katkılar sunmaktadır (Lambert vd., 1999; Girard ve Stewart, 2007; Lambert ve Fantozzi, 2010; Lambert ve Thornton, 2012; Lambert vd., 2014; Management ve Duccini, 2017). Tabesh vd. (2008) sızıntıları değerlendirmek için IWA su dengesini ve minimum gece debisini kullanmış, mevcut şebekeyi modellemiş, farklı basınç seviyeleri için su kayıpları değerlendirmiş ve basınç düzenlemesi ile sızıntılarda azalma sağlanabileceğini göstermiştir. Thornton (2011) şebekede basınç kontrolünden beklenen faydaların elde edilebilmesi için öncelikle basınç bölgelerinin oluşturulması ve en uygun basınç kırıcı vanaların seçilmesi gerektiğini belirtmiştir. Creaco ve Walski (2017) sızıntıların azaltılması için aktif basınç kontrolünü uygulamış, konvansiyonel ve gerçek zamanlı kontrol edilen basınç kırıcıları kullanmış ve uygulama ile elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır. Sonuçta, sızıntı seviyesinin ve işletme maliyetinin

düşük olduğu bölgelerde aktif basınç kontrolüne ihtiyaç duyulmadığı, karmaşık sistemlerde uzaktan kontrollü basınç kırıncıların kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

Basınç kontrol yönetiminde; mevcut fiziksel kayıpların ve arıza sayılarının azaltılması gibi temel faydalarının yanı sıra; oda yapımı, cihaz ve ekipman seçimi- yerleştirilmesi ve verilerin izlenmesi için otomasyon sistemi kurulması gibi bileşenler ile önemli maliyetler de oluşturmaktadır (Charalambous ve Kanellopoulou, 2010). Bu nedenle yapılacak çalışmalarda öncelikli olarak PM uygulanması durumunda elde edilecek muhtemel faydaların ve maliyetlerin hesaplanması gerekmektedir. Maliyet bileşenleri (saha çalışmaları, BKV, ve otomasyon sistemleri) araştırılarak elde edilen veriler doğrultusunda fayda-maliyet analizi yapılmalıdır (Kanakoudis ve Gonelas, 2014; AL-Washali vd., 2016).

Su kayıp önleme yöntemlerinin etkinliğinin test edilmesi ve verimliliğinin izlenmesi için en uygun performans analizinin yapılması gerekir (Lambert vd., 1999; Liemberger vd., 2006). Performans değişiminin analiz edilmesinde uygulanabilir ve karşılaştırılabilir göstergeler kullanılarak çalışmanın başlangıcı ve sonundaki performanslarının analiz edilmesi gerekmektedir. Sızıntı yönetimi performansının izlenmesinde, sistem giriş hacminin yüzdesi, şebeke uzunluğu ve servis bağlantı sayısını esas alan göstergeler kullanılmaktadır. Ayrıca sistem performansının değerlendirilmesi ve sistemlerin birbiri ile kıyaslanmasında en sık uygulanan gösterge alt yapı kaçak indeksi (ILI) göstergesidir (Lambert vd., 1999; Fanner vd., 2007; Liemberger vd., 2007; Farley vd., 2008; Lambert vd., 2014; Liemberger, 2017). ILI hesabında, “Yıllık Kaçınılmaz Kayıp Miktarı (UARL)” ve “Fiziki Kayıp Miktarı (CARL)” kullanılmaktadır. ILI özellikle aktif kaçak kontrollü yöntemlerinin (boru malzemesi, arıza onarım hızı ve kalitesinin iyileştirilmesi, minimum gece debisi ile sızıntıların azaltılması) etkilerinin izlenmesi açısından önemli katkı sunduğunu bilinmektedir (McKenzie ve Seago, 2005).

ILI, mevcut çalışma basıncında, aktif ve pasif kaçak yöntemlerini uygulayan bir İdarenin kaçak seviyesini ne kadar etkili bir şekilde kontrol ettiğini gösteren bir performans göstergesidir (Moslehi vd., 2019). Özellikle GGS oranlarının nispeten düşük olduğu sistemlerde, aktif kaçak yöntemlerinden hangisinin daha efektif sonuçlar verdiğini tespit etmede ciddi faydalar sağlamaktadır (Darsana ve Varija, 2018). Şebekelerde arıza oranının ve sızıntıların azaltılması için dağıtım sisteminin detaylı bir şekilde analiz edilmesi, en uygun önleme ve izleme yöntemlerinin kullanılması gerektiği ve ILI ve UARL göstergeleri ile sistem performansının izlenmesi gerektiği

ifade edilmiştir (Ociepa vd., 2018). Burada önemli hususlardan birisi de ILI'nin herhangi bir ekonomik durumu dikkate almadan hesaplama yapmasıdır (Chisakuta vd., 2011). Bu durum özellikle sadece ILI standartları dikkate alınarak su kuruluşlarının kayıp hedeflerini belirlemesinin ekonomik olmayan sonuçlara neden olabileceğini göstermektedir. Ayrıca PM'nin uygulanması UARL ve CARL değerlerini azaltıcı yönde etkiye sahip olmasından dolayı, PM'ye bağlı olarak her zaman ILI değerinde azalma gözlenmeyebilir (Liemberger vd., 2007; Lenzi vd., 2014). Bu durumda sistem diğer kayıp performans göstergeleriyle de değerlendirilmelidir.

Özellikle basınç yönetiminin uygulandığı sistemlerde, sistem performansındaki değişimin (sızıntı, sisteme kazandırılan su hacmi, arıza oranı ve UARL basınca duyarlı parametrelerdir) objektif değerlendirme imkanı sunan göstergenin kullanılması oldukça önemlidir. ILI göstergesine bakıldığında temel olarak CARL ve UARL parametrelerini dikkate almaktadır. Bu iki parametre şebeke fiziksel özelliklerine bağlı olarak artmakta veya azalmakta ve basınç değişiminden doğrudan etkilenmektedir. Bu nedenle PM uygulanan sistemlerde UARL ve ILI göstergelerinin saha verilerine göre analiz edilmesi ve değişimlerinin izlenmesi gerekmektedir. Yani, bu göstergelerin basınç yönetiminde tek başına uygulanabilirliği ve kullanılabilirliği saha verilerine göre test edilmelidir. Böylece sızıntı yönetiminde basınç kontrolü performansının daha doğru bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Bu nedenle bu çalışmada, içme suyu dağıtım sistemlerinde PM ile ILI göstergesi arasındaki ilişkinin analiz edilmesi ve sistem performansının izlenmesinde ILI göstergesinin etkinliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla uygulama alanında 3 pilot bölgede PM uygulanmış, basınç yönetiminden önce ve sonraki koşullarda saha verilerine göre süreç göstergeleri ve ILI göstergesi hesaplanmıştır. Böylece her iki koşuldaki performans esas alınarak basınç yönetiminin ILI göstergesi üzerindeki etkisi saha verilerine göre analiz edilmiştir. Böylece basınç kontrolüne bağlı olarak sızıntılarda meydana gelen azalmanın ILI göstergesine olan olumlu veya olumsuz etkisi değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar esas alınarak uygulama alanında PM uygulanmayan 6 izole bölge seçilmiş ve bu bölgelerde PM uygulanması durumunda ILI ve diğer göstergelere göre sistem performansındaki olası değişimler analiz edilmiştir. Böylece PM uygulanmadan önce olası faydalar analiz edilerek PM'nin uygulanabilirliğinin test edilmesinde referans bilgi üretilmiştir. Ayrıca basınç kontrolünün sızıntılara etkisini ortaya koyan FAVAD denklemiindeki N1 katsayısının farklı boru malzeme türlerine göre seçiminin sonuçları üzerindeki etkisi de analiz edilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

6.1.2 Basınç yönetimi gerçek saha uygulamaları

Çalışmanın bu bölümünde basınç yönetiminin ekonomik etkileri analiz edilmiş ve sistem performansındaki değişim incelenmiştir. Bu amaçla, Malatya uygulama bölgesinde seçilen 3 izole bölgede (Cumhuriyet bölgesi: DMA1, Sanayi bölgesi: DMA2 ve Dabakhane bölgesi: DMA3) basınç kırıcı vanalar yardımıyla basınç yönetimi sahada uygulanmıştır. Basınç yönetimi uygulanan pilot bölgelerde, her bir bölgenin girişine basınç kırıcı vanalar yerleştirilmiş ve sonuçları izlenmiştir (Şekil 6.1). Bu bölgelerde basınç yönetiminden önce ve sonraki koşullar için sızıntı seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca bölgeye ait şebeke ve işletme verileri esas alınarak basınç yönetimi sonucunda oluşması muhtemel sızıntı seviyesi FAVAD denklemi yardımıyla teorik olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan sızıntılar, sahada basınç yönetiminin uygulanması sonucunda elde edilen gerçek veriler ile kıyaslanmıştır. Ayrıca basınç yönetiminden önce ve sonraki koşullarda ILI göstergesi hesaplanarak değişimler analiz edilmiştir. Bu kapsamda öncelikli olarak saha verileri esas alınarak tüm bölgeler için mevcut durum değerlendirmesi yapılmıştır. Bu amaçla her bir bölgede gelir getirmeyen su hacmi ve oranı, UARL, CARL ve ILI göstergeleri hesaplanmıştır (Tablo 6.1). Bu parametreleri hesaplamak için her bir bölgede IWA standart su dengesi tablosu doldurulmuştur.

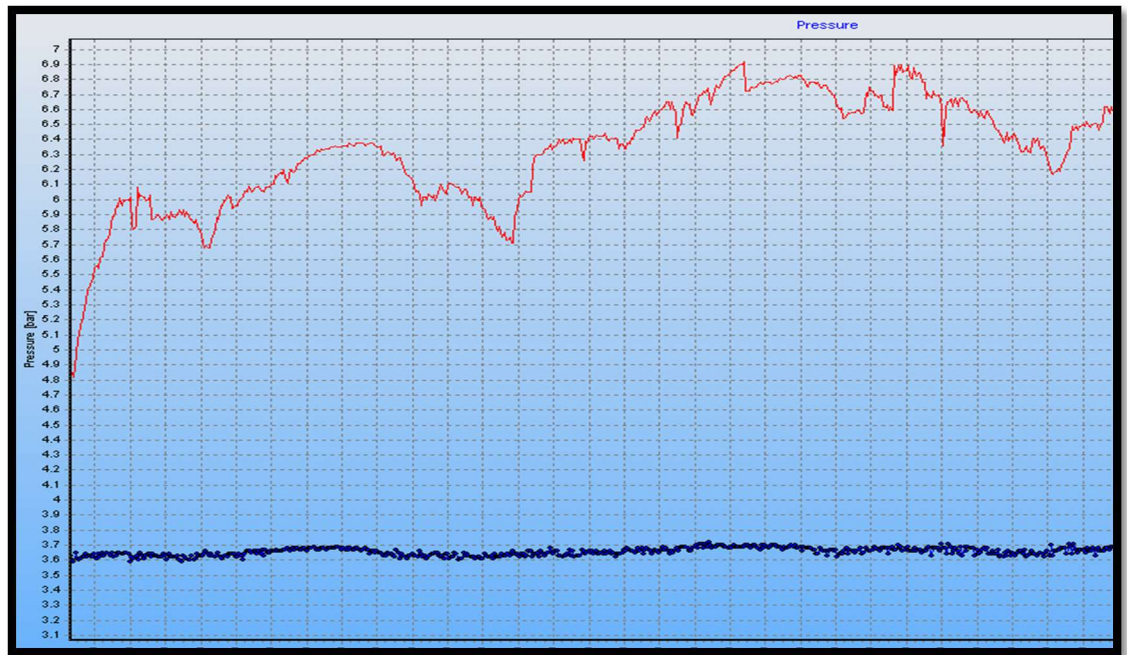


Şekil 6.1 Yerleştirilen Basınç Kırıcı Vanalar

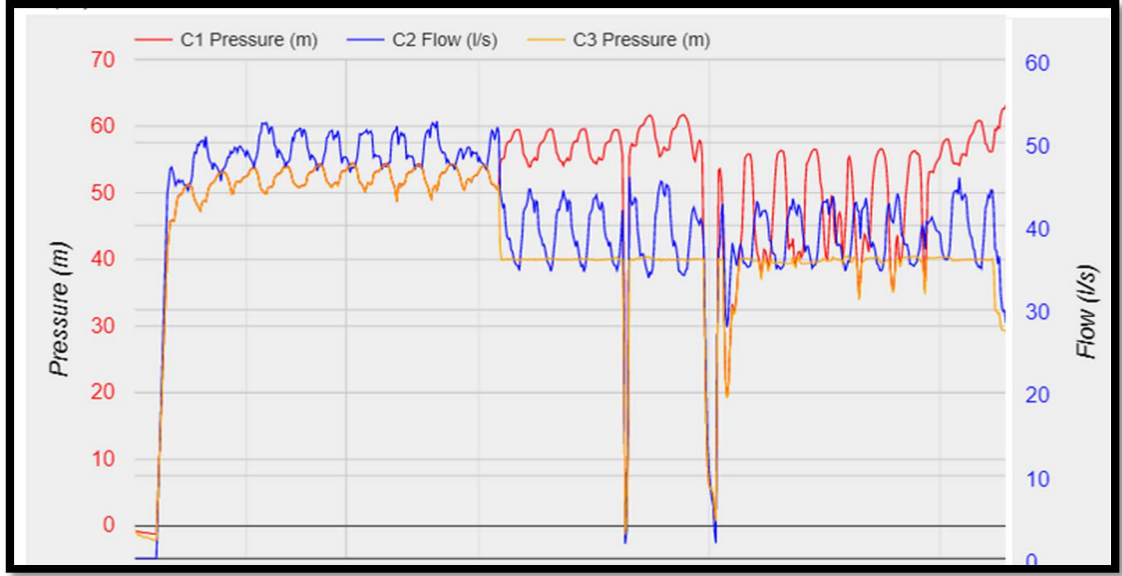
Basınç kırıcı vanalar (BKV) içmesuyu dağıtım şebekelerinde sistem veriminin artırılması ve hidrolik dengenin kurulması amacıyla kullanılan yardımcı şebeke

elemanlarından birisidir. Temel çalışma prensibi giriş basıncının, istenilen çıkış basıncına ayarlanmasıdır. Basınç kontrol vanaları 3 temel prensibe göre çalışmaktadır. Bunlar, “sabit çıkışlı BKV” ve “Zaman ayarlı BKV” ve “Debiye duyarlı BKV” şeklindedir (Puust vd., 2010; Vicente vd., 2016). Sabit çıkışlı BKV, çıkış basıncını, giriş basıncındaki ve debideki değişimlerden bağımsız olarak istenilen bir basınca sabitlemekte olup uzun yıllarca boyunca en çok kullanılan BKV çeşididir (Creaco ve Walski, 2017). Günümüzde ise daha çok zamana ve debiye duyarlı BKV kullanılmaktadır. Zaman ayarlı BKV önceden belirlenmiş zaman aralıklarında şebekeye farklı çıkış basıncı verilebilmesine olanak sağlamaktadırlar. Debiye duyarlı BKV ise belirlenen şebeke kritik noktasında sabit basınç olacak şekilde çıkış basıncını ayarlamaktadır. Her yöntemin kendine göre avantajları ve dezavantajları bulunmakla beraber farklı şebekeler için farklı türde BKV’ler kullanılabilir (Campisano vd., 2010; Berardi vd., 2015; Campisano vd., 2016; Creaco vd., 2017). Bu tez çalışmasında analiz yapılan DMA 1 bölgesi için sabit çıkışlı BKV, DMA2 ve DMA 3 bölgeleri içinse debi duyarlı (kritik nokta basınçlı) BKV kullanılmıştır.

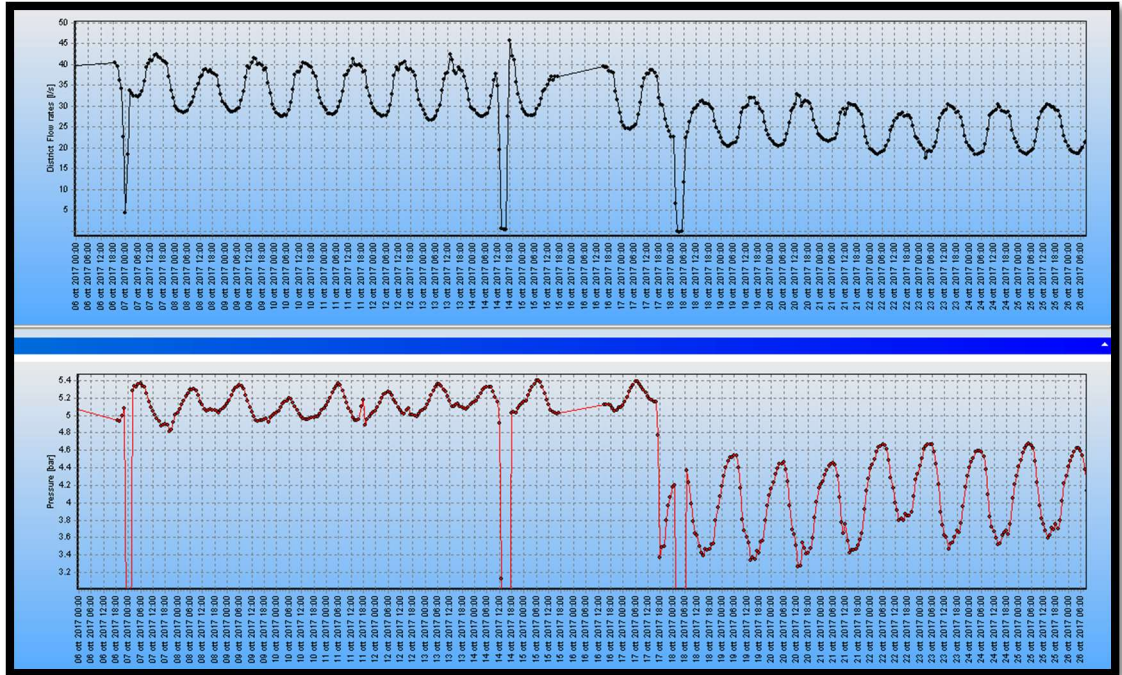
Her bir izole bölgede debimetre ve basınçölçerlerden alınan veriler SCADA yardımıyla uzaktan izlenmektedir. Basınç yönetimi uygulanan bölgelerde basınç yönetiminde önce ve sonraki koşullarda basınç ve debi değişimleri Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



a) DMA1



b) DMA2



c) DMA3

Şekil 6.2 Debi ve Basınç Değişimleri

DMA1’de basınç yönetimi uygulanmadan önce sistem giriş debisinin ortalama 47.2 l/s olduğu ve bölgedeki ortalama basıncın ise 65 m civarında ölçüldüğü görülmektedir (Şekil 6.2/a). Sızıntı ile basınç arasındaki ilişki göz önüne alındığında bölgedeki basıncın yüksek seviyede olması yeni sızıntı oluşumuna veya mevcut sızıntılarda hacmin artmasına neden olması beklenen bir durumdur. Diğer taraftan DMA2’de çalışma başlangıcında ortalama basıncın yaklaşık 51 m ölçüldüğü ve giriş

debisinin yaklaşık 50 l/s civarında olduğu görülmektedir. Son olarak DMA3'te basınç yönetiminden önce ortalama basınç 50 m ve giriş debisi ise yaklaşık olarak 36.48 l/s olarak ölçülmüştür. Bu bölgelerde her ne kadar basınç DMA1'e göre düşük seviyede olsa da basıncın sızıntı ve arıza üzerindeki olası etkilerinin izlenmesi gerekmektedir. İzole bölgelerde basıncın mevcut ve yeni sızıntı üzerindeki etkisinin azaltılması amacıyla basınç kontrolü uygulanmıştır. Her bir bölgede SCADA yardımıyla basınç ve debi değişimleri izlenmiştir (Şekil 6.2) Yapılan çalışmalar ve ölçümler sonucunda üç bölge için mevcut su kayıpları, sistemin mevcut ILI değeri, basınç yönetiminden sonra GGS hacmi ve oranı ve ILI göstergesi hesaplanmıştır (Tablo 6.1).

Tablo 6.1 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Basınç Yönetimi)

	Birim	DMA1	DMA2	DMA3
Şebeke Uzunluğu	m	15533	27850	9700
Abone Sayısı	adet	4663	2270	2872
Abone Bağlantı Sayısı	adet	1160	1751	510
Ortalama Servis Bağlantı Uzunluğu	m	8	8	8
Tahakkuk Miktarı	l/s	24.45	11.61	23.14
Şebeke Boru Tipi	-	PIK	PVC	HDPE
N1 Katsayısı	-	1	1.5	2
Basınç Yönetimi Öncesi Durum				
Ortalama Basınç	m	65	50.8	50.1
Ortalama Giriş Debisi	l/s	47.42	49.39	36.48
Gelir Getirmeyen Su Miktarı	l/s	22.97	37.78	13.34
Gelir Getirmeyen Su Oranı	%	48.44	76.49	36.57
Fiziki Kayıp Miktarı (CARL)	l/s	18.376	30.224	10.672
UARL	l/s	1.08	1.32	0.40
ILI	-	16.97	22.90	26.88
ILI Sınıfı	-	D	D	D

Tablo 6.2 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Basınç Yönetimi) (Devamı)

Basınç Yönetimi Sonrası Durum				
Ortalama Basınç	m	36	40	40
Gelir Getirmeyen Su Miktarı (Hesaplanan)	l/s	12.72	26.4	8.5
Gelir Getirmeyen Su Miktarı (Ölçülen)	l/s	12.5	27.65	5.07
Yeni Ortalama Giriş Debisi (Ölçülen)	l/s	36.95	39.26	28.21
Gelir Getirmeyen Su Oranı	%	33.83	70.43	17.97
Fiziki Kayıp Miktarı (CARL)	l/s	10	22.12	4.056
UARL	l/s	0.60	1.04	0.32
ILI	-	16.67	21.27	12.80
ILI Sınıfı	-	D	D	C
Debideki Hacimsel Değişim	l/s	10.47	10.13	8.27
Debideki Oransal Değişim	%	22.08	20.51	22.67

İzole bölgelerde basınç yönetiminden önce GGS oranları sırasıyla %48.44, %76.49 ve %36.57 şeklinde hesaplanmıştır. Bu oranlara bakıldığında uluslararası literatürde önerilen sınır değerlerden (>% 25) daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak bilindiği üzere GGS yüzdesinin tek başına değerlendirilmesi yeterli olmayacağından dolayı her bir bölge için UARL ve ILI göstergeleri de hesaplanmıştır. Bu bölgelerde ILI göstergeleri sırasıyla 16.97 (D sınıfı), 22.90 (D sınıfı) ve 26.88 (D sınıfı) olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre her bir bölgede GGS oranları ve ILI sınıflarının oldukça kötü seviyede olduğu söylenebilir. Bu nedenle bölgelerde su kayıplarının azaltılması ve sistem performansının iyileştirilmesi için sisteme müdahale edilmesi gerektiği görülmektedir. Basınç yönetimi ile ortalama giriş basınçları DMA1 için 65 m'den 36 m'ye, DMA2 için 50.8 m'den 40 m'ye ve DMA3 için 50.1 m'den 40 m'ye düşürülmüştür (Şekil 6-2). Yeni basınç seviyesi belirlenirken bölgelerde tespit edilen kritik noktalarda minimum basınç 25 m olarak göz önünde bulundurulmuştur.

Kayıp oranlarında ciddi azalmalar (ortalama % 21.75) olmasına rağmen ILI seviyelerinde aynı oranda bir iyileşme görülmemiştir (Tablo 6-1). DMA1'de basınç 65 m'den 36 m'ye düşürülerek giriş debisinde yaklaşık 10.47 l/s (% 22.08) bir kazanç elde edilmesine rağmen ILI değeri 16.97 değerinden 16.67 değerine düşmüştür. Benzer şekilde DMA2'de basıncın 50.8 m'den 40 m'ye düşürülmesi ile 10.13 l/s

(%20.51) kayıp azaltılmış fakat ILI değeri sadece 22.9'dan 21.27'ye düşmüştür. Bu bölgede ağırlıklı boru türünün rijit boru olması nedeniyle basınçta meydana gelen değişimler UARL değerini de benzer şekilde değiştirmektedir. Bu nedenle CARL ve UARL parametrelerinin değerleri azalmasına bağlı olarak ILI göstergesinde önemli bir iyileşme gözlenmemiştir. DMA3'te şebeke borusunun esnek malzeme olması nedeniyle basınç değişimleri CARL değerinde önemli azalmalara neden olmaktadır. Bu azalmaya paralel olarak bu bölgede ILI göstergesinde ciddi oranda değişim tespit edilmiştir. Bu bölgede basıncın 50.1 m'den 40 m'ye düşürülmesiyle GGS oranları %36.57'den %17.97'e düşürülmüştür. GGS değerinde bu azalma sonucunda ILI göstergesi 26.88'den (D sınıfı) 12.80'e (C sınıfı) düşmüştür. Görüldüğü gibi boru malzemesi türü basınç yönetimi uygulanan bölgede GGS oranı ve ILI göstergesi üzerinde etkili olmaktadır. Özellikle esnek malzeme ağırlıklı bölgelerde basıncın azalmasına bağlı olarak çatlak daralmakta, birim zamanda sızan su azalmakta ve toplam sızıntı hacminde düşüşler gözlenmektedir. Esnek malzeme yoğunluğuna sahip bölgelerde basınç kontrolüne bağlı olarak sızıntıdaki bu azalmaların ILI göstergesine de yansıdığı tespit edilmiştir.

Basınç yönetiminin uygulanmasıyla basıncın istenilen seviyeye çekilmesi durumunda sızıntı hacmi FAVAD denklemine göre hesaplanmıştır. Ayrıca bu bölgelerde basınç yönetiminden sonra ortaya çıkan yeni sızıntı seviyeleri saha ölçümleri ile belirlenmiştir. Her iki yaklaşıma ait sonuçlar kıyaslanarak değerlendirme yapılmıştır (Tablo 6.3). FAVAD denklemi ile yapılan hesaplamalarda N1 katsayısı bölgedeki boru malzemesi özelliğine göre seçilmiştir. DMA1 için şebekenin ağırlıklı boru cinsi pik boru olduğundan N1=1 seçilmiştir. Aynı şekilde şebeke ağırlıklı boru cinsi PVC olan DMA2 için N1= 1.5, ağırlıklı boru oranı HDPE olan DMA3 için N1= 2 seçilmiştir;

Tablo 6.3 GGS Değişimleri

Parametre	Birim	DMA1	DMA2	DMA3
Gelir Getirmeyen Su Miktarı (Hesaplanan)	l/s	12.72	26.4	8.5
Gelir Getirmeyen Su Miktarı (Ölçülen)	l/s	12.5	27.65	5.07

İzole bölgelerde basınç yönetimine bağlı olarak FAVAD denkleminde göre hesaplanan kayıp seviyelerinin, sahada ölçülen kayıp seviyelerine çok yakın olduğu görülmektedir (Tablo 6-3). FAVAD denkleminde N1 katsayısının sonuçlar üzerindeki etkisi göz önüne alındığında bölgedeki boru malzemesi durumuna en uygun N1 değerinin seçilmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle şebekenin ağırlıklı boru cinsinin tam olarak bilinmesiyle basınç yönetimi yapılması planlanan bölgeler için ilgili denklemin ve N1 katsayılarının kullanılarak elde edilecek kazancın gerçeğe çok yakın olacak şekilde hesaplanabileceği düşünülmektedir.

6.1.3 FAVAD denkleminin diğer bölgelere uygulanması

Önceki bölümde detaylı bir şekilde verildiği gibi, basınç yönetiminin sahada uygulanması ile GGS hacmi ve oranında önemli ölçüde azalma gözlenmiştir. Ayrıca bu bölgelerde FAVAD denklemi ile elde edilen sonuçların saha verileri uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle bu çalışmanın ikinci aşamasında, uygulama bölgesinde oluşturulan ve basınç yönetimi uygulanmayan 6 izole bölge için basınç yönetimi uygulanması durumunda elde edilecek sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu amaçla bu bölgelere ait karakteristik bilgiler toplanmış ve mevcut durumdaki GGS oranları ve göstergeler hesaplanmıştır. Bunun için mevcut koşullarda her bölgede GGS hacmi ve oranı, UARL, CARL ve ILI göstergeleri hesaplanmıştır (Tablo 6.4). Bu hesapların gerçekleştirilmesi için öncelikli olarak her bir bölge için IWA standart su dengesi tablosu oluşturulmuştur.

Tablo 6.4 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Basınç Yönetimi)

	Birim	DMA4	DMA5	DMA6	DMA7	DMA8	DMA9
Şebeke Uzunluğu	m	4780	5800	13480	12800	15620	13200
Abone Sayısı	adet	1046	3391	7032	2895	4208	1514
Servis Bağlantı Sayısı	adet	315	500	1386	427	526	689
Ortalama servis bağlantı uzunluğu	m	8	7.8	7.04	7.98	7.83	8.24
Tahakkuk Miktarı	l/s	7.89	15.21	32.45	13.15	3.82	8.22
Şebeke Boru Tipi	-	Asbest	Çelik	Pik	PVC	HDPE	Asbest
N1 Katsayısı	-	0.5	1	1	1.5	2	0.5
Basınç Yönetimi Öncesi Durum							
Ortalama Basınç	m	45	38	55	60	51	50
Giriş Debisi	l/s	12.93	30.76	36.48	17.82	13.52	10.88
GGs Miktarı	l/s	5.04	15.56	4.03	4.68	9.70	2.66
GGs Oranı	%	38.98	50.56	11.05	26.23	71.75	24.47
CARL	l/s	4.03	12.44	3.22	3.74	7.76	2.13
UARL	l/s	0.21	0.26	1.02	0.46	0.47	0.54
ILI	-	19.20	46.99	3.18	8.20	16.56	3.97
ILI	-	D	D	A	C	D	A

Tablo 6.5 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Basınç Yönetimi) (Devamı)

Basınç Yönetimi Sonrası Durum							
	Birim	DMA4	DMA5	DMA6	DMA7	DMA8	DMA9
Ortalama Basınç	m	30	25	30	30	20	30
GGs(Hesaplanan)	l/s	4.12	10.23	2.2	1.65	1.49	2.06
GGs (Ölçülen)	l/s	12.01	25.44	34.65	14.80	5.31	10.28
Yeni Giriş Debisi (Ölçülen)	l/s	4.12	10.23	2.2	1.65	1.49	2.06
GGs Oranı	%	34.30	40.21	6.35	11.15	28.06	20.04
CARL	l/s	3.29	8.18	1.76	1.32	1.19	1.65
UARL	l/s	0.14	0.17	0.55	0.23	0.18	0.32
ILI	-	23.54	46.99	3.18	5.78	6.49	5.12
ILI	-	D	D	A	B	B	B
Debideki Değişim	l/s	-0.92	-5.33	-1.83	-3.03	-8.21	-0.60
Debideki Değişim	%	-7.12	-17.31	-5.02	-16.98	-60.72	-5.53

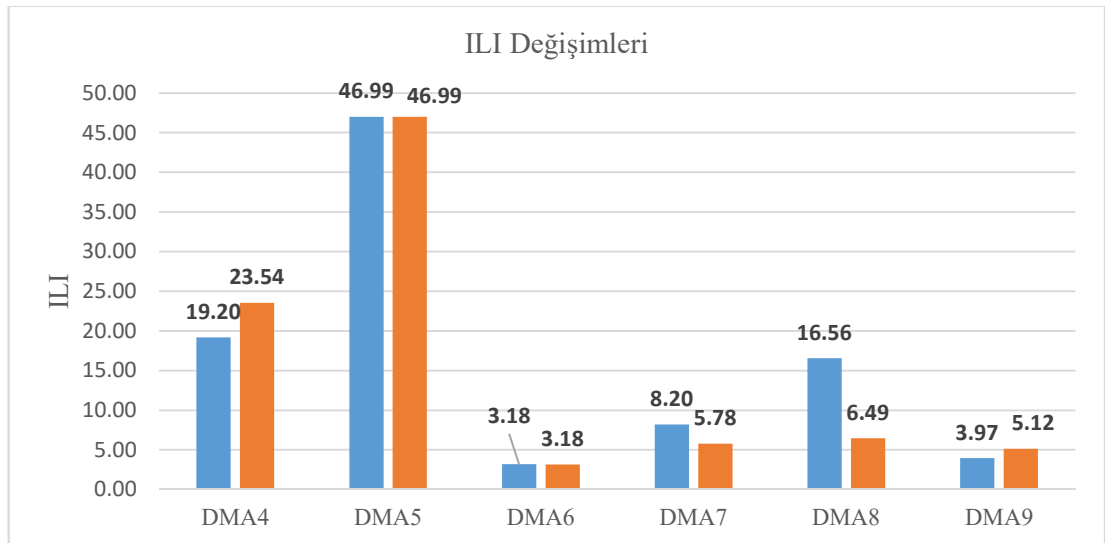
Bu sonuçlara göre izole bölgelerde GGS oranlarının %11.05 (DMA6) ile %71.75 (DMA8) arasında değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 6.4). Mevcut koşullarda DMA6'nın oldukça iyi bir seviyede olduğu, DMA7 ve DMA9 için hesaplanan oranların ise kabul edilebilir seviyede olduğu görülmektedir. Ayrıca şebeke fiziksel ve işletme parametrelerini dikkate alan ILI göstergesi de hesaplanmış ve sınıflandırılmaları yapılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre (gelişmekte olan ülkeler referans aralığına göre); 2 bölgenin A sınıfında (DMA6, DMA9), 1 bölgenin C sınıfında (DMA7) ve 3 bölgenin de D sınıfında (DMA4, DMA5, DMA8) olduğu görülmüştür. İzole bölgelerde GGS oranı (%) ile ilk hesaplanan ILI göstergeleri kıyaslandığında, genel olarak A sınıfında yer alan bölgelerde GGS oranlarının % 25'den düşük olduğu görülmektedir. Ancak özellikle DMA 7 ve DMA 9 için kıyaslama yapıldığında, fiziki kayıp hacimleri ve GGS hacimleri birbirine çok yakın çıkmasına rağmen bu bölgelerde hesaplanan ILI göstergeleri ise DMA 7 için 8.20 (C sınıfı) ve DMA 9 için 3.97 (A sınıfı) şeklindedir. Bu örneklerden de görüldüğü gibi sızıntı hacimleri birbirine yakın olmasına rağmen giriş hacimlerindeki farklılıklar oransal olarak sistemin performansını iyi veya kötü gösterebilmektedir.

Bu izole bölgelerinde şebeke mevcut durum özelliklerine göre detayları "*Basınç Yönetimi Uygulaması*" bölümünde verilen esaslara doğrultusunda basınç değişimine

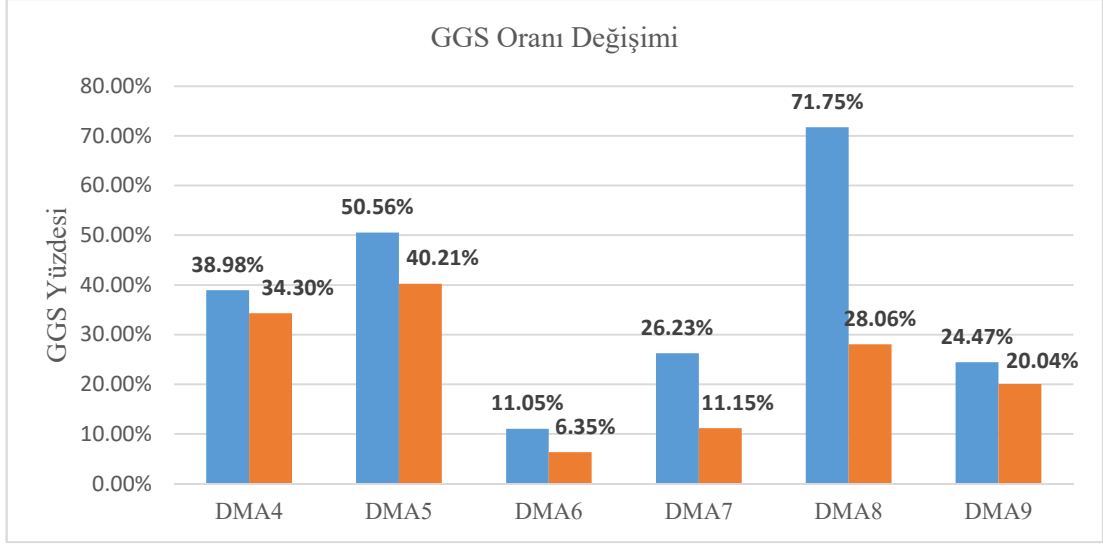
bağlı olarak elde edilecek fayda debileri ve ILI değişimleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda her bölge için kritik basınç seviyeleri tespit edilmiş ve şebekede bu basınç sağlandığı takdirde elde edilecek faydalı debiler hesaplanmıştır. Bu kapsamda 6 bölge için; 0.6 l/s (DMA9) ile 8.21 l/s (DMA8) arasında su kaybının azaltılabileceği görülmektedir. Elde edilecek kazanç debisi, basınç değişimine bağlı olduğu kadar şebekenin ağırlıklı boru cinsiyle de doğrudan ilişkilidir. Basınç azaltma oranları birbirine çok yakın olan DMA4 ve DMA5 incelendiğinde boru cinslerine (asbest ve çelik) bağlı olarak kayıplarda ciddi oranlarda farklı azalmalar (-%7.12 ile -%17.31) beklenilmektedir.

Diğer taraftan, DMA6, DMA7 ve DMA9 bölgeleri incelendiğinde su kayıp oranlarının nispeten kabul edilebilir seviyelerde olduğu (%11.05, %26.23 ve %24.47), ILI göstergelerinin ise iyi ve orta seviyelerde (A, C ve A sınıfları) olduğu görülmektedir. Bu bölgeler her ne kadar teorik olarak müdahalede öncelikli bölge olarak görülmesi de yüksek basınçlar nedeniyle basınç yönetimi yapılmaya çok uygun bölgelerdir. Basıncın ideal seviyelere çekilmesiyle ciddi kazanımlar elde edileceği görülmüştür.

Hesaplanan kaçak debilerinin sisteme kazandırılmasının ardından ILI ve GGS'de meydana gelecek değişimler Şekil 6-3'de gösterilmektedir. Faydalı debiler; yapılacak basınç yönetimi ile sisteme kazandırılacaktır. Sisteme kazandırılması planlanan faydalı debiler sonucunda ILI ve GGS seviyelerinde değişimler beklenilmekte olup, basınç yönetimi öncesi ve sonrası muhtemel değerleri Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



a) ILI Değişimleri



b) GGS Değişimleri

Şekil 6.3 PM uygulanmasının ILI ve GGS üzerindeki etkileri a) ILI değişimleri b) GGS değişimleri

Bu çalışmalar sonucunda gelir getirmeyen su oranında hesaplanan muhtemel değişimler incelendiğinde tüm izole bölgeler için azalma beklenmektedir. Mevcut kayıp oranının ve basınç değişim oranının yüksek olduğu bölgelerde (Örneğin DMA8) GGS oranında ciddi azalma olacağı görülmektedir. Özellikle N1 katsayısının 1'den büyük olduğu DMA'larda değişim diğer bölgelere göre ciddi seviyelere ulaşmaktadır (DMA7 ve DMA8). Bunun temel nedeni elastik boruların basınca duyarlılığının fazla olmasıdır. Yüksek basınçlarla beraber Orifis mantığıyla değerlendirildiğinde çatlak çapının rijit borulara göre daha fazla genişleyeceği düşünülmektedir. Bu kapsamda daha rijit boru cinsine sahip bölgelerde (DMA4 ve DMA9) basınca bağlı olarak kayıplarda meydana gelen değişimler daha az seviyede kalmaktadır.

Ayrıca çalışmada basınca bağlı olarak gelir getirmeyen su oranının azaltılması, ILI performans göstergesiyle de incelemiş ve çok önemli sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda basıncın azaltılmasıyla elde edilen GGS oranlarındaki düşüşün, ILI göstergesinde her zaman olumlu yönde değişime neden olmadığı görülmüştür. DMA4 ve DMA9 bölgelerinde sırasıyla 0.92 l/s ve 0.60 l/s kazanımlar elde edilerek GGS oranlarında yaklaşık %4'lük bir azalma meydana gelse de (%38.98'den 34.30'a ve %24.47'den %20.04'e), ILI oranlarında artış meydana gelmiştir. DMA4 bölgesi için başlangıç ILI değeri 19.20 (D sınıfı) iken basınç yönetiminin sonunda 23.54 (D sınıfı) olmuştur. Aynı şekilde DMA6 bölgesinde de

başlangıç ILI değeri 3.97'den (A sınıfı) 5.12'ye (B sınıfı) yükselmiştir. Bu durumun temel nedeni hem FAVAD denkleminde hem de UARL hesabında bulunan basınç değişkeninin N1 katsayısına bağlı olarak aynı oranda değişmemesidir.

ILI hesabında kullanılan UARL denklemi incelendiğinde basınç değişkeninin (P) doğrudan çarpım durumunda olduğu ve değişimin doğrusal olarak ILI değerini de değiştireceği görülmektedir. Fakat FAVAD denklemi incelendiğinde basıncın üssü değeri olarak N1 katsayısı kullanıldığı görülmektedir. Buda N1 katsayısının, alacağı değere göre, basınç değişkeninin doğrusal olarak yeni kayıp miktarını etkileyemeyeceğini göstermektedir. Şebekesi rijit borulardan oluşan DMA4 ve DMA9 bölgeleri için N1 katsayısı 1'den küçük seçildiği için; UARL dolayısıyla ILI değeri basınçtaki değişim oranıyla aynı oranda azalıp artmaktadır. Fakat debideki değişim, basınçtaki değişimin 0.5 üssü oranında değişeceğinden elde edilen sonuçlar, debisel olarak fayda sağlamış olsa da ILI üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Aynı şekilde DMA5 ve DMA6 bölgelerinde seçilen N1 katsayısı 1 seçildiğinden; basınçtaki değişim hem ILI değerini hem de GGS'yi aynı oranda etkilediğinden bu bölgelerde debi olarak fayda sağlamış olsa da ILI değişmeyecektir (Şekil 6.3).

Hesaplamalar sonucunda 2 bölgede ILI sınıfı iyileştirilmiş olup (DMA77: C>B, DMA8: D>B, bir bölgede (DMA9) ILI sınıfı A'dan B'ye yükselmiştir. Diğer 3 bölgede de ILI sınıfı değişmemesine rağmen, çalışma yapılan her bölgede kayıp oranlarında azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenle su kayıplarının azaltma yöntemlerinden sadece basınç yönetiminin kullanıldığı bölgelerde tek başına ILI değerinin kullanılmasının su idarelerini yanıltabileceği ortaya konulmuştur. Basınçtaki değişimin her zaman doğrusal olarak UARL değerini etkilememesi nedeniyle basınç yönetimi uygulanan bölgelerde kayıpların l/s veya l/km gibi performans göstergeleri ile değerlendirilmesinin daha doğru olacağı düşünülmektedir.

Su kayıplarıyla mücadelede basınç yönetimi önemli bir yer tutmaktadır. Oluşturulan alt bölgelerde yapılacak basınç çalışmaları ile kayıp oranlarının azaltılması mümkün olmaktadır. İçmesuyu sistemlerinin performansında çok önemli bir yeri olan ILI parametresi de tek başına bölgede basınç yönetiminin performansını değerlendirmede yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle yapılacak basınç yönetimi çalışmalarında ILI ile birlikte çeşitli performans göstergeleriyle de sistemin değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

6.1.4 Sonuçların değerlendirilmesi

Bu bölümde, dağıtım sistemlerinde basınç yönetimi ile ILI göstergesi arasındaki ilişki analiz edilmiş ve sistem performansının izlenmesinde ILI göstergesinin etkinliği araştırılmıştır. Uygulama alanında 3 bölgede basınç yönetimi uygulanmış, saha verilerine göre süreç göstergeleri ve ILI hesaplanmıştır. Böylece basınç kontrolüne bağlı olarak sızıntılarda meydana gelen azalmanın ILI göstergesine olan olumlu veya olumsuz etkisi değerlendirilmiştir. DMA'larda basınç yönetiminden önce GGS oranları sırasıyla %48.44, %76.49 ve %36.57 ve ILI göstergeleri sırasıyla 16.97 (D sınıfı), 22.90 (D sınıfı) ve 26.88 (D sınıfı) olarak hesaplanmıştır. Bu bölgelerde sızıntıların azaltılması ve sistem performansının iyileştirilmesi için basınç yönetimi uygulanmıştır. Basınç yönetiminin uygulanmasıyla, GGS oranlarında ciddi azalmalar (ortalama % 21.75) olmasına rağmen ILI seviyelerinde aynı oranda bir iyileşme görülmemiştir. DMA1'de giriş debisinde yaklaşık 10.47 l/s (% 22.08) bir kazanç elde edilmesine rağmen ILI değeri 16.97 değerinden 16.67 değerine düşmüştür. DMA2'de 10.13 l/s (%20.51) kayıp azaltılmış fakat ILI değeri sadece 22.9'dan 21.27'ye düşmüştür. Bu bölgede ağırlıklı boru türünün rijit borular olması nedeniyle basınçta meydana gelen değişimler UARL değerini de benzer şekilde değiştirmektedir. Bu nedenle CARL ve UARL parametrelerinin değerleri azalmasına bağlı olarak ILI göstergesinde önemli bir iyileşme gözlenmemiştir. Esnek boru malzemesine sahip DMA3'te GGS %36.57'den %17.97'e ve ILI göstergesi 26.88'den (D sınıfı) 12.80'e (C sınıfı) düşmüştür. Görüldüğü gibi boru malzemesi türü bölgede basınç yönetiminden GGS oranı ve ILI göstergesi üzerinde etkili olmaktadır.

İkinci aşamada, basınç yönetimi uygulanmayan 6 izole bölgede basınç yönetimi uygulanması durumunda elde edilecek olası faydalar hesaplanmıştır. DMA'larda, basınç yönetimi ile 0.6 l/s (DMA9) ile 8.21 l/s (DMA8) arasında sızıntının azaltılabileceği görülmüştür. DMA4 ve DMA9'da sırasıyla 0.92 l/s ve 0.60 l/s kazanımlar elde edilerek GGS oranlarında yaklaşık %4'lük (%38.98'den 34.30'a ve %24.47'den %20.04'e) bir azalma meydana gelmiştir. Ancak GGS'de azalma olmasına rağmen ILI oranlarında artış meydana gelmiştir. DMA4'te başlangıç ILI değeri 19.20 (D sınıfı) iken basınç yönetiminin sonunda 23.54 (D sınıfı) hesaplanmıştır. DMA6'da ILI değeri 3.97'den (A sınıfı) 5.12'ye (B sınıfı) yükselmiştir. UARL hesabında, basıncın doğrudan çarpan olduğu ve basınçtaki değişimin doğrusal olarak ILI değerini değiştireceği görülmektedir. Fakat FAVAD

denkleminde basınç değişiminin üs değeri olarak N1 katsayısının alacağı değere göre, yeni sızıntı miktarını doğrusal olmayan bir şekilde değiştirmektedir. Rijit boruların olduğu DMA4 ve DMA9'da, UARL ve ILI değeri basınçtaki değişim oranıyla aynı oranda azalıp artmaktadır. Bu bölgelerde basınç değişimi, sızıntı hacminde azalmaya neden olsa da ILI üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Aynı şekilde DMA5 ve DMA6'da N1 katsayısı 1 seçildiğinden, basınçtaki değişim ILI ve GGS'yi aynı oranda etkilediğinden bu bölgelerde debi olarak fayda sağlamış olsa da ILI değişmemiş veya çok az etkilenmiştir.

Sonuç olarak, sızıntı azaltma yöntemlerinden basınç yönetiminin kullanıldığı bölgelerde tek başına ILI değerinin kullanılmasının performans analizinde yanıltıcı sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir. Performans analizinde çok önemli bir yeri olan ILI parametresi tek başına basınç yönetiminin performansını değerlendirmede yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle yapılacak basınç yönetimi çalışmalarında ILI ile birlikte çeşitli performans göstergeleriyle de sistemin değerlendirilmesi gerekmektedir. Basınçtaki değişimin her zaman doğrusal olarak UARL değerini etkilememesi nedeniyle basınç yönetimi uygulanan bölgelerde kayıpların l/s veya l/km gibi performans göstergeleri ile değerlendirilmesinin de gerektiği ve daha doğru olacağı düşünülmektedir.

6.2 Aktif Kaçak Kontrolü Yöntemi Uygulanarak Ekonomik Kaçak Seviyesi ve Altyapı Kaçak İndeksinin (ILI) Analizi

6.2.1 Giriş ve problem tanımlama

İçme suyu dağıtım sistemlerinde artan su talepleri ve sızıntı miktarları nedeniyle Su İdareleri tarafından gelir getirmeyen su (GGS) oranının azaltılması çalışmaları artırılmıştır. Bu kapsamda uygulanan temel 4 yöntem: *Basınç yönetimi, Arıza onarım hızı ve kalitesinin artırılması, Boru malzeme yönetimi ve Aktif kaçak kontrolü* olmakla beraber etkili bir su yönetimi ortaya koyabilmek için bu yöntemler için ayrı ayrı elde edilen faydalar ve maliyetler araştırılmalıdır (Lambert vd., 1999; Lambert ve Mckenzie, 2002; Nicolini, 2011; Venkatesh, 2012; Islam ve Babel, 2013). İçme suyu dağıtım sistemlerinde su kayıpları ile mücadelede aktif kaçak kontrolü (ALC) ve pasif kaçak kontrolü olmak üzere iki farklı yaklaşım uygulanmaktadır. Türkiye'de bazı Su İdareleri su kayıpları ile mücadelede, yüzeye çıkan arızaların onarımını kapsayan pasif

kaçak kontrolünü tercih etmekte veya yeterli görmektedir. Ancak literatürde sızıntı hacminin önemli bir kısmını rapor edilmeyen (yüze çıkmayan) arızaların oluşturduğu vurgulanmakta ve bu sızıntıların tespit edilmesi ve onarılması için ALC yönteminin uygulanması gerektiği ifade edilmektedir (Lambert ve Lalonde, 2005; Pearson ve Trow, 2005; Farley vd., 2008; Islam ve Babel, 2013). Sızıntı yönetiminde verimliliğin (su, enerji, personel, ekonomik) sağlanması için, ALC faaliyetleri için maliyet oluşturan bileşenlerin belirlenmesi, maliyetlerin doğru bir şekilde hesaplanması, seçilecek yöntemlere göre ortaya çıkan ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin analiz edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, bir Su İdaresinde ALC yönteminin uygulanmasında ortaya çıkan maliyetlerin hesaplanması ve teknik personeller için referans teşkil etmesi amacıyla ALC bileşenleri için ekonomik analiz standardı tanımlanmıştır (Lambert vd., 1999; Puust vd., 2009; Nazif vd., 2010; Sarrate vd., 2014).

Lambert vd. (1999) su kayıplarıyla mücadelede aktif kaçak kontrolünün çok önemli bir yer tuttuğunu ifade etmiş ve ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanması sırasında aktif kaçak kontrolü çalışmaları için ayrıntılı maliyet ve fayda analizleri yapılması gerektiği belirtilmiştir. Fantozzi (2006), teknolojiye meydana gelen gelişmelerin sonucunda aktif kaçak kontrol yöntemlerinin, içmesuyu kayıp kaçaklarıyla mücadelede önemli bir yere sahip olduğunu belirtmiştir. Aktif kaçak kontrolü için ekonomik olarak müdahale sıklığının belirlenmesi gerektiği savunulmuş ve değişken su maliyeti, müdahale maliyeti ve şebekenin doğal bozulma oranının hesaba katıldığı bir yaklaşım önerilmiştir. Islam ve Babel (2013), ekonomik kaçak seviyesinin tahmin edilmesi için sistemin toplam işletme maliyeti, dağıtılan suyun maliyeti ve aktif kaçak kontrolü maliyetinin dikkate alınması gerektiği vurgulamıştır. Çalışmada, aktif kaçak kontrolünün maliyetinin, tarama ve denetim faaliyetlerinin süresine bağlı olduğu, bunun denetim faaliyetleri (cihazlarla sahada sızıntı tarama ve tespit) maliyeti ve onarım işleri maliyeti olmak üzere iki temel maliyeti içerdiği belirtilmiştir. Berardi vd. (2016) şebeke yönteminin ve su kayıplarının azaltılmasında aktif kaçak kontrolü çalışmalarının yapılmasına bağlı olarak, rapor edilmeyen sızıntıların daha hızlı tespit edilmesinin ve onarılmasının önemini vurgulamıştır. Çalışmada, aktif kaçak kontrolü stratejisinin uygulanması ile sızıntı ve arızalardan dolayı çevreye verilebilecek olası zararların ve sızıntıdan kaynaklı su kaybının azaltılması, işletme maliyetinin düşürülmesi ile önemli faydaların elde edileceği savunulmuştur. Aboelnga vd. (2018), dağıtım sistemlerindeki sızıntıların yerini ve

miktarını tespit etmek ve kayıpları azaltmak için basınç yönetimi ve ALC yöntemlerinin uygulanmasını önermiştir. Kafle ve Narasimhan (2020), su şebekelerinin çeşitli yapısal ve çevresel faktörler nedeniyle bozulmaya maruz kaldığını belirtmiştir. Arızaların akustik dinleme ekipmanı ile tespit edilebileceğini ve deneyler sonucunda yöntemin kayıpları azaltmada önemli bir rol oynayabileceği vurgulanmıştır.

Literatürdeki çalışmalardan da görüldüğü gibi, sızıntılarla mücadelede aktif kaçak kontrolü önemli bir yere sahiptir. Ancak bu yöntemin etkin ve verimli bir şekilde uygulanması için fayda maliyet bileşenlerinin analiz edilmesi ve önlenecek su miktarının belirlenmesi oldukça önemlidir. Özellikle sistem özelliklerini, su üretim maliyetlerini ve saha çalışmalarına göre ortaya çıkan maliyetleri dikkate alan bütünlük bir yaklaşımın geliştirilmesi gerekmektedir. Literatürde aktif kaçak kontrolü kapsamında akustik dinleme yöntemleri ile sızıntıların tespit edilmesi ve yönetilmesi için sistem karakteristik özelliklerini dikkate alan herhangi bir fayda maliyet analizi gerçekleştirilmemiştir. Her ne kadar aktif kaçak kontrolü dağıtım sistemlerinde sızıntıların azaltılmasında yaygın bir şekilde uygulansa da muhtemel faydalı debilerin hesaplanmadığı ve ortaya çıkan maliyetlerin göz ardı edildiği görülmektedir.

Bu nedenle bu çalışmanın amacı, aktif kaçak kontrolü uygulamasının fayda ve maliyet bileşenlerinin analiz edilmesi, sisteme kazandırılacak su miktarının belirlenmesi, yöntemin uygulanmasına bağlı olarak ILI göstergesinde meydana gelen değişimin analiz edilmesi ve izlenmesidir. Bunun için aktif kaçak kontrolü fayda maliyet yapısı oluşturulmuş ve bütünlük bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Ayrıca, farklı özelliklere sahip şebekeler için ekonomik analiz yapılmış, fayda ve maliyetler hesaplanmış, faydalı debiler analiz edilmiş ve sistem performanslarının ILI göstergesi ile değerlendirilmesi sağlanmıştır. Böylelikle ILI ile aktif kaçak kontrolü arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Sonuç olarak sistem karakteristik özelliğine göre aktif kaçak kontrolü yönteminin uygulanmasının ekonomik olup olmayacağı ortaya konulmuştur.

6.2.2 Aktif kaçak kontrolü için fayda maliyet analizi

Su kayıplarıyla mücadelenin temel yöntemlerinden biri olan aktif kaçak kontrolü yönteminin ekonomik sınırlarının belirlenmesi ve ILI göstergesi üstündeki muhtemel değişimlerinin analizinin yapılması için Malatya ili merkez dağıtım sisteminde 9 adet izole ölçüm bölgesi (DMA) pilot bölge olarak belirlenmiştir. Uygulama alanının belirlenmesinde özellikle ALC yönteminin avantajları ve dezavantajlarının tespit edilebilmesi için farklı şebeke uzunluklarının, farklı abone yoğunluklarının, farklı su üretim/işletme maliyetlerinin olduğu ve farklı su kayıp miktarlarına sahip bölgeler seçilmiştir. Böylelikle ALC uygulaması için ideal şebeke koşullarının belirlenmesi ve ILI ile kıyaslamasının sağlanması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda her bölge için, GGS hacmi ve oranı, UARL, CARL ve ILI değerleri hesaplanmıştır. Su üretim maliyetlerinin tespit edilmesinde; genel işletme giderleri ile su kaynak durumu dikkate alınmıştır (Tablo 6.6). DMA(11-12-13-14-15-16-18) bölgeleri şehir merkezini besleyen ana kaptajdan cazibeli şekilde beslenmekte olup söz konusu bölgeler için su üretim maliyetleri eş kabul edilmiştir. DMA17 bölgesi ana kaptajdan beslenmemekte, bölgeye açılan sondajlardan beslenmektedir. Bu nedenle su üretim maliyetlerine sondaj elektrik maliyetleri eklenmiştir. Tüm bölgeler için içmesuyu arıtma tesisi ihtiyacı bulunmamaktadır. DMA10 bölgesi ise bölgeye çok yakın ve cazibeli bir şekilde beslenen farklı bir kaynaktan yararlanmaktadır.

Tablo 6.6 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Aktif Kaçak Yönetimi)

	Birim	DMA10	DMA11	DMA12	DMA13	DMA14
Şebeke Uzunluğu	m	4780	5800	11010	15620	13480
Abone Sayısı	adet	1046	3391	2337	4208	7032
Abone Bağlantı Sayısı	adet	315	500	517	526	1386
Ortalama servis bağlantı uzunluğu	m	8	7.8	4.15	7.83	7.04
Tahakkuk Miktarı	l/s	7.89	15.21	11.23	3.82	32.45
Su Üretim Maliyeti	TL/m ³	1.1	2.32	2.32	2.32	2.32
Ortalama Basınç	m	45	38	55	51	55
Ortalama Giriş Debisi	l/s	12.93	30.76	15.39	13.52	42.18
GGs Miktarı	l/s	5.04	15.55	4.16	9.7	9.73
GGs Oranı	%	38.94	50.56	27.07	71.75	23.05
CARL	l/s	4.03	12.44	3.33	7.76	7.78
İdari Kayıp Miktarı	l/s	1.01	3.11	0.83	1.94	1.94
UARL	l/s	0.21	0.26	0.42	0.48	1.02
ILI	-	19.29	47.01	7.87	16.33	7.66
ILI	-	D	D	B	D	B
Aktif Kaçak Kontrolü Faydalı Hacminin Hesabı Sonrası						
Aktif Kaçak Kontrolü Faydalı Debisi	l/s	0	11.93	0	4.64	4.29
CARL	l/s	4.03	0.51	3.33	3.12	3.48
ILI	-	19.29	1.94	7.87	6.56	3.43
ILI	-	D	A	B	B	A
GGs Oranı	%	38.94	11.78	27.07	37.42	12.87

Tablo 6.7 Malatya Çalışma Alanı Verileri (Aktif Kaçak Yönetimi) (Devamı)

	Birim	DMA15	DMA16	DMA17	DMA18
Şebeke Uzunluğu	m	3160	12800	3680	13200
Abone Sayısı	adet	1208	2895	2717	1514
Abone Bağlantı Sayısı	adet	300	427	584	689
Ortalama servis bağlantı uzunluğu	m	8	7.98	8	8
Tahakkuk Miktarı	l/s	6.44	13.15	11.15	8.22
Su Üretim Maliyeti	TL/m ³	2.32	2.32	4.6	2.32
Ortalama Basınç	m	52	60	45	50
Ortalama Giriş Debisi	l/s	10.23	17.82	12.72	10.88
GGs Miktarı	l/s	3.8	4.68	1.57	2.66
GGs Oranı	%	37.10	26.23	12.37	24.47
CARL	l/s	3.04	3.74	1.26	2.13
İdari Kayıp Miktarı	l/s	0.76	0.94	0.31	0.53
UARL	l/s	0.21	0.46	0.34	0.54
ILI	-	14.14	8.20	3.72	3.97
ILI	-	C	C	A	A
Aktif Kaçak Kontrolü Faydalı Hacminin Hesabı Sonrası					
Aktif Kaçak Kontrolü Faydalı Debisi	l/s	1.8	0	0.35	0
CARL	l/s	1.24	3.74	0.91	2.13
ILI	-	5.75	8.20	2.68	3.97
ILI	-	B	C	A	A
GGs Oranı	%	19.50	26.23	9.62	24.47

Bu hesapların gerçekleştirilmesi için öncelikli olarak her bir bölge için IWA standart su dengesi tablosu oluşturulmuştur. Bu hesaplara göre gelir getirmeyen su oranlarının %12.37 (DMA17) ile %71.75 (DMA13) arasında değiştiği tespit edilmiştir. DMA13 bölgesi karakteristiği incelendiğinde sistem şebeke uzunluğunun ve abone sayısının oldukça fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca şebeke fiziksel ve işletme parametrelerini dikkate alan ILI göstergesi de hesaplanmış ve

sınıflandırılmaları yapılmıştır (Tablo 6.6). Bu sınıflandırmaya göre (gelişmekte olan ülkeler referans aralığına göre); 2 bölgenin A sınıfında (DMA17, DMA18), 2 bölgenin B sınıfında (DMA12, DMA14), 2 bölgenin C sınıfında (DMA15, DMA16) ve 3 bölgenin de D sınıfında (DMA10, DMA11, DMA13) olduğu görülmüştür. İzole bölgelerde GGS oranı (%) ile ilk hesaplanan ILI göstergeleri kıyaslandığında, genel olarak A sınıfında yer alan bölgelerde GGS oranlarının % 25'den düşük olduğu görülmektedir.

Ancak özellikle DMA13 ve DMA14 için kıyaslama yapıldığında, fiziki kayıp hacimleri ve GGS hacimleri birbirine çok yakın çıkmasına rağmen, GGS oranı DMA13 için % 71.75 iken DMA14 için % 23.05 elde edilmiştir. Bu bölgelerde hesaplanan ILI göstergeleri ise DMA13 için 16.33 (D sınıfı) ve DMA14 için 7.66 (B sınıfı) şeklindedir. Benzer değerlendirme DMA15 ve DMA16 için yapılabilir. DMA15 için GGS hacmi ve sızıntı miktarı DMA16'ya göre daha düşük olmasına rağmen, DMA15 sistem giriş hacmi daha düşük olduğu için sızıntı oranı ve GGS oranı DMA14'e göre daha yüksek elde edilmiştir. Bu örneklerden de görüldüğü gibi sızıntı hacimleri birbirine yakın olmasına rağmen giriş hacimlerindeki farklılıklar oransal olarak sistemin performansını iyi veya kötü gösterebilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada GGS oranı yerine ILI göstergesi esas alınarak performans değişimi izlenmiştir.

Söz konusu bölgelerde şebeke mevcut durum özelliklerine göre detayları “*Aktif Kaçak Kontrolü (ALC) Ekonomik Analizinin Yapılması*” bölümünde verilen esaslara göre ALC faydalı debileri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu faydalı debiler, bölgelerde ekonomik olarak ALC yöntemiyle sisteme kazandırılacak maksimum su miktarını temsil etmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda 4 bölgede (DMA10, DMA12, DMA16, DMA18) faydalı debinin sıfır (0) olarak elde edilmiştir (Tablo 6.6). Bu nedenle bu bölgelerde aktif kaçak yönteminin uygulanmasının ekonomik olmayacağı sonucuna varılmıştır. Söz konusu bölgeler tek tek incelendiğinde; DMA10 bölgesinin başlangıç ILI sınıflandırmasına göre kötü durumda olmasına rağmen (D sınıfı, ILI 19.29) ALC yönteminin ekonomik çıkmaması nedeni, bölgede su üretim/işletim maliyetinin diğer bölgelere göre çok daha düşük (1.1 TL/m³) olmasıdır. Düşük su üretim maliyetleri nedeniyle bölgede aktif bir su azaltma strateji belirlemek İdare için ekonomik olmayan sonuçlar doğuracaktır. Bu nedenle DMA10 bölgesi için su kaynak sıkıntısı yaşanmadığı takdirde mevcut kayıp miktarını korumak daha ideal bir strateji

olacaktır. DMA10 bölgesi için mevcut durumda aktif kaçak yöntemi uygulamanın ekonomik olmamasının en temel nedeninin düşük su üretim maliyeti olduğunu, birim su maliyetinin diğer bölgelerle aynı farz edildiği durumlarda çıkan sonuçlar üzerinden değerlendirilebilir (Tablo 6.8).

Tablo 6.8 Farklı Su Üretim Maliyetleri İçin DMA10 Analizleri

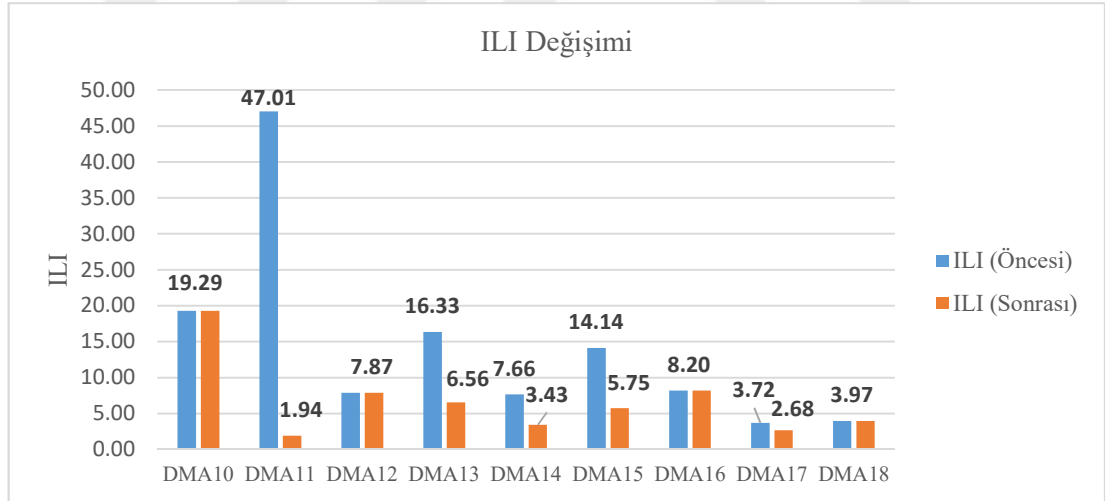
DMA10				
Su Üretim Maliyeti	TL/m ³	1.1	2.32	4.6
GGs Miktarı	m ³ /gün	435	435	435
GGs Oranı	%	38.94	38.94	38.94
CARL	m ³ /gün	348	348	348
İdari Kayıp Miktarı	m ³ /gün	87	87	87
UARL	m ³ /gün	18.04	18.04	18.04
ILI (Öncesi)	-	19.29	19.29	19.29
ILI (Öncesi)	-	D	D	D
Aktif Kaçak Kontrolü Faydalı Debisi	m ³ /gün	0	209.79	254.98
CARL	m ³ /gün	348	138.21	93.02
ILI (Sonuç)	-	19.29	7.66	5.46
ILI (Sonuç)	-	D	B	B
GGs Oranı	%	38.94	20.16	16.12

Yapılan analizler sonucunda (Tablo 6.6) DMA10 bölgesi için su üretim maliyetinin diğer bölgelerde olduğu gibi 2.32 TL/m³ olması durumunda ALC uygulayarak sisteme 209.79 m³/gün seviyesine kadar ekonomik olarak su kazandırılabilceği görülmektedir. Böylece sistem için ekonomik seviyenin B sınıfına kadar yükseltilebileceği tespit edilmiştir. DMA10 örneğinden de anlaşılacağı üzere su kayıp azaltma yöntemlerinin uygulanmasından önce sistemin mevcut durumu ve ekonomik analizleri yapılmalıdır. Sistemin ILI standartlarından kötü sınıfta olması, her su kayıp azaltma yönteminin bölge için elverişli olduğu anlamına gelmeyeceği düşünülmektedir. Su kaynaklarının durumu, sistemin çalışma prensibi (cazibeli veya pompajlı) su üretim maliyetini doğrudan etkilemektedir. ALC yönteminin

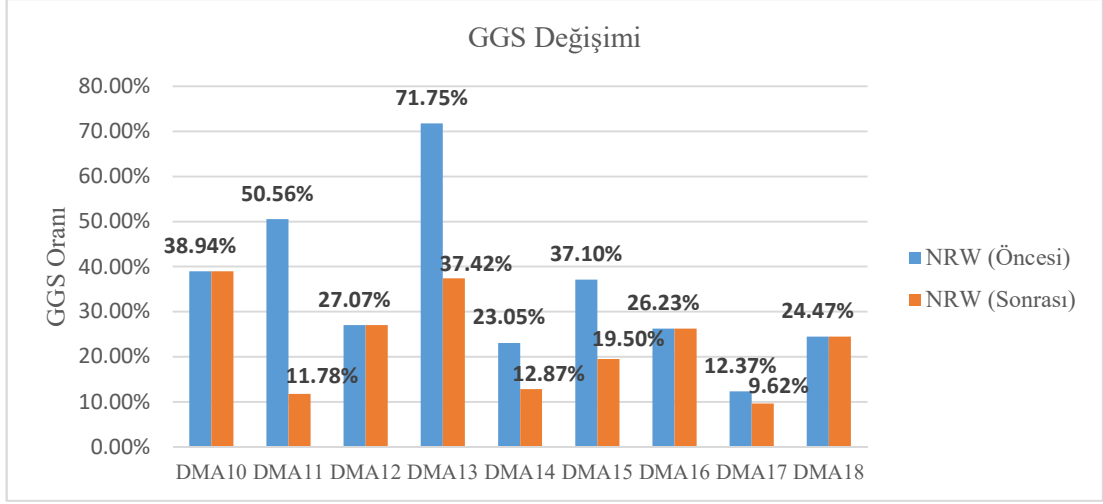
uygulanmasından su üretim maliyetleri mutlaka dikkate alınarak strateji belirlenmelidir.

Diğer taraftan, DMA12, DMA16 ve DMA18 bölgeleri incelendiğinde su kayıp oranlarının nispeten kabul edilebilir seviyelerde olduğu (%27.07, %26.23 ve %24.47), ILI göstergelerinin ise iyi ve orta seviyelerde (B, C ve A sınıfları) olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde birim uzunluk başına düşen abone sayıları da diğer bölgelere göre düşük seviyededir. Nispeten düşük miktarlardaki kayıpların arama alanlarının artması ALC yönteminde birim arama maliyetlerini doğrudan artırdığından bu tür bölgelerde de ALC yönteminin uygulanmasının ekonomik olmayacağı anlaşılmaktadır.

Hesaplanan ALC faydalı debilerinin sisteme kazandırılmasının ardından ILI ve GGS'nde meydana gelecek değişimler Şekil 6.4'de gösterilmektedir. ALC faydalı debileri; yapılacak aktif dinleme, arızaların tespiti ve onarımı sayesinde sisteme kazandırılacaktır. Sisteme kazandırılması planlanan faydalı debiler sonucunda ILI ve GGS seviyelerinde potansiyel azalmalar beklenilmekte olup, ALC kaçak kontrolü ve sonrası muhtemel değerleri Şekil 6.4'de gösterilmiştir.



a) ILI Değişimleri



b) GGS Değişimleri

Şekil 6.4 ALC uygulanmasının ILI ve GGS üzerindeki etkileri a) ILI değişimleri b) GGS değişimleri

Yapılan hesaplamalar sonucunda 5 bölge için (DMA11, DMA13, DMA14, DMA15, DMA17) ALC faydalı debileri hesaplanmıştır (Tablo 6.7). Hesaplanan ALC faydalı debileri incelendiğinde; gerek gelir getirmeyen su oranının (%50.56 ve %71.75) gerekse de ILI değerlerinin (47.01 ve 16.03) çok yüksek olduğu DMA11 ve DMA13 bölgelerinde ALC yönteminin ideal bir su kayıp önleme yöntemi olduğu görülmektedir. Birim uzunluğa düşen abone sayısının nispeten yüksek, su üretim maliyetinin şebeke ortalamasında olduğu düşünüldüğünde, bu bölgelerde ALC yöntemiyle ciddi kazanımlar elde edileceği beklenmektedir. Hesaplanan faydalı debilerin sisteme kazandırılmasıyla oluşacak yeni kayıp miktarları ve ILI değerleri hesaplandığında bu iki bölgenin D sınıfından sırasıyla A ve B sınıflarına yükseltilebileceği hesaplanmıştır. Özellikle DMA11 bölgesi için ILI değeri 47.01'den 1.94'e düşürülmesi gibi ciddi bir kazanım elde edilebileceği görülmüştür. DMA14 ve DMA15 bölgeleri incelendiğinde ise su kayıp oranları (%23.05 ve %37.15) ve ILI değerlerine göre (B ve C Sınıfı) iyi sayılabilecek şebekeler olmasına rağmen birim uzunluğa düşen kayıp miktarının fazla olması nedeniyle ALC yöntemi uygulamanın ekonomik faydalı sonuçlar ortaya koyabileceği görülmüştür. Yapılacak çalışmalar sonucunda B sınıfında bulunan DMA14 bölgesinin A sınıfına, C sınıfında bulunan DMA15 bölgesinin B sınıfına ALC yöntemiyle ekonomik olarak yükseltilebileceği görülmüştür.

Yapılan çalışmalar sonucunda en etkileyici sonuçlardan biri de A sınıfında bulunan DMA17 bölgesinin (ILI 3.72, GGS %12.37) ALC yöntemiyle ekonomik olarak daha da iyileştirilebileceği anlaşılmaktadır. Bölgede gerek birim uzunluğa düşen abone sayısının fazla olması gerekse su üretim/işletme maliyetinin diğer bölgelere göre ciddi miktarda fazla olması (4.6 TL/m³) nedeniyle, bölge A sınıfında olmasına rağmen çalışma yapmaya uygun olarak belirlenmiştir. Yapılacak çalışmalar sonucunda gelir getirmeyen su oranının %12.37'den %9.62'e düşürülebileceği gibi ILI değerinin de 3.72'den 2.68'e kadar düşürülebileceği hesaplanmıştır. Özellikle de DMA10 bölgesi ile kıyaslanınca ALC yönteminin uygulanması için ILI değerinin tek başına bir referans olarak kabul edilemeyeceği ortaya konmuştur. ALC yöntemi fayda analizi şebekenin temel özelliklerini, kayıp miktarlarını ve özellikle su üretim/işletim maliyetlerini dikkate aldığından ILI değerinden bağımsız sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu husus ILI standartlarına göre D sınıfında bulunan bir bölge için ALC yönteminin ekonomik olmadığını ortaya koyduğu gibi, A sınıfında bulunan bir bölge için ALC yönteminin uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Hesaplamalar sonucunda 4 bölgede ILI sınıfı değişmiş olup (DMA11: D>A, DMA13: D>B, DMA14: B>A, DMA15 C>B) bir bölgede (DMA17) ILI sınıfı değişmemesine rağmen ALC uygulanması tavsiye edilmiştir.

Su kayıplarıyla mücadelede aktif kaçak kontrolü önemli bir yer tutmaktadır. Saha ekiplerince ses dinlemeleri sonucunda arızaların tespiti, onarımı ve yapılan işlemlerin izlenmesi ile sisteme ciddi miktarlarda su kazandırılabilir. Bir diğer yandan gerek dinleme ekipmanlarının maliyetleri gerekse arızaların tespitinden sonra onarımları İdareler için ciddi maliyetler doğurmaktadır. İçmesuyu sistemlerinin performansında çok önemli bir yeri olan ILI parametresi de tek başına bölgede ALC uygulamasının ekonomik olup olmayacağını belirtmekte yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle yapılacak ALC çalışmalarında öncelikli olarak sistemin mevcut durumuna bağlı olarak yöntemin ekonomik olup olmayacağı hesaplanmalıdır.

6.2.3 Sonuçların değerlendirilmesi

Bu bölümde, aktif kaçak kontrolü uygulamasının fayda ve maliyet bileşenlerinin analiz edilmesi, sisteme kazandırılacak su miktarının belirlenmesi, yöntemin uygulanmasına bağlı olarak ILI göstergesinde meydana gelen değişimin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için Malatya ili içmesuyu sisteminde oluşturulan 9

bölge için öncelikle mevcut durum analizleri yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda gelir getirmeyen su oranlarının %12.37 (DMA8) ile %71.75 (DMA4) arasında değişti gözlemlenmiştir. Ayrıca ILI sınıflandırmaları yapılan bu 9 bölgenin, “gelişmekte olan ülkeler” referans aralığına göre; 2 bölgenin A sınıfında (DMA8, DMA9), 2 bölgenin B sınıfında (DMA3, DMA5), 2 bölgenin C sınıfında (DMA6, DMA7) ve 3 bölgenin ise D sınıfında (DMA1, DMA2, DMA4) olduğu görülmüştür. Söz konusu DMA bölgelerinde ekonomik olarak ALC yöntemiyle sisteme kazandırılabilir maksimum su miktarını temsil eden “ALC faydalı debileri” hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre, 4 bölgede (DMA1, DMA3, DMA7, DMA9) aktif kaçak yöntemini uygulamanın ekonomik olmayacağı sonucuna varılmıştır. Söz konusu bölgeler incelendiğinde sistemin mevcut performansından ve ILI değerinden bağımsız olarak; özellikle birim su üretim maliyetlerinin düşük olduğu ve birim uzunluğa düşen abone ve kayıp miktarlarının düşük olduğu bölgelerde ALC uygulamasının ekonomik olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Diğer taraftan 5 bölge için (DMA2, DMA4, DMA5, DMA6, DMA8) hesaplanan ALC faydalı debileri incelendiğinde; GGS oranının (%50.56 ve %71.75) ve ILI değerlerinin (47.01 ve 16.03) çok yüksek olduğu DMA2 ve DMA4 bölgelerinde ALC yönteminin ideal bir su kayıp önleme yöntemi olduğu görülmektedir. Birim uzunluğa düşen abone sayısının nispeten yüksek, su üretim maliyetinin şebeke ortalamasında olduğu düşünüldüğünde bölgelerde ALC yöntemiyle ciddi kazanımlar elde edileceği görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen etkileyici sonuçlardan biride A sınıfında bulunan DMA8 bölgesinin (ILI 3.72, GGS %12.37) ALC yöntemiyle ekonomik olarak daha da iyileştirilebilecek olmasıdır. Bölgede birim uzunluğa düşen abone sayısının fazla olması ve su üretim/işletme maliyetinin diğer bölgelere göre ciddi miktarda fazla olması (4.6 TL/m³) nedeniyle, bölge A sınıfında olmasına rağmen çalışma yapmaya uygun olarak belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda 4 bölgede ILI sınıfı değişmiş olup (DMA2: D>A, DMA4: D>B, DMA5: B>A, DMA6 C>B) bir bölgede (DMA8) ILI sınıfı değişmemesine rağmen ALC uygulanması tavsiye edilmiştir. Sonuç olarak ALC yönteminin uygulanması için ILI değerinin tek başına bir referans olarak kabul edilemeyeceği ortaya konmuştur. ALC yöntemi fayda analizi şebekenin temel özelliklerini, kayıp miktarlarını ve özellikle su üretim/işletim maliyetlerini dikkate aldığından ILI değerinden bağımsız sonuçlar elde edilebilmektedir.

6.3 Aktif Kaçak Kontrolü Yönteminin Verimliliği İçin Optimum Basınç Seviyesinin Ekonomik Kriterler Dikkate Alınarak Tanımlanması

6.3.1 Giriş ve problem tanımlama

Dağıtım sistemlerinde meydana gelen sızıntılar işletme maliyetinin artmasına, işletme koşullarının bozulmasına ve hizmet kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu sızıntıların belli bir kısmı çeşitli faktörlere bağlı olarak (arızanın meydana geldiği yer, basınç, boru üzerindeki toprak kalınlığı) yüzeye çıkmamaktadır (Farely vd., 2008). Yüzeye çıkmayan bu arızaların azaltılması, tespit edilmesi ve önlenmesinde basınç yönetimi (PM), aktif kaçak kontrolü (ALC) önemli rol oynamaktadır (Lambert, 1999; Lambert ve Mckenzie, 2002; Nicolini, 2011; Venkatesh, 2012; Islam ve Babel, 2013). Mevcut arızalarda sızıntı oranının artmasında veya yeni arızaların oluşmasında basıncın önemli bir etkisinin olduğu bilinmektedir (May, 1994; Lambert vd., 1999). Bu nedenle yeni arıza oluşma riskinin azaltılması ve sızıntı oranlarının en aza indirilmesinde ve sürdürülebilir şebeke yönetiminde basınç yönetimi önemli katkı sunmaktadır (Lambert ve Mckenzie, 2001; Fanner vd., 2007; Fanner ve Lambert, 2009; Vicente vd., 2016; Lambert, 1999; Lambert ve Thornton, 2012; Lambert vd., 2013; Girard ve Stewart, 2007; Lambert ve Fantozzi, 2010).

Fontana vd. (2018) sızıntıların önlenmesi ve azaltılması amacıyla gerçek zamanlı basınç kontrol sistemini önermiştir. Saha uygulama sonucunda gerçek zamanlı basınç kontrolünün minimum gece debisinin azaltılması, basınç dalgalanmalarının en aza indirilmesi ve basıncın düzenlenmesi kapsamında önemli kazanımların elde edildiğini vurgulamıştır. Moslehi vd. (2020) sıklıkla kullanılan kayıp azaltma yöntemlerinden biri olan basınç yönetiminin ekonomik faydalarını araştırmıştır. Çalışmada sabit çıkışlı basınç kırıcı, debi duyarlı ve zaman ayarlı basınç kırıcı vanalar (PRVs) karşılaştırılmış ve debi duyarlı PRVs ile sistemin yönetilmesinde en iyi sonuçların elde edildiği ortaya konulmuştur. Yazarlar, su yönetiminde bu tür faaliyetlerin gerçekleştirilmesine karar vermek için, fayda ve maliyetlerin önceden analiz edilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Diğer taraftan yüzeye çıkmayan arızaların fark edilmesi, yerinin tespit edilmesi ve onarılması için ALC yaklaşımı uygulanmaktadır (Farley ve Trow, 2003; Washali vd., 2020). Ancak bazı Su İdareleri (özellikle yeterli bilgi, tecrübe, teknik personel ve teknolojik alt yapıya sahip olmayan İdareler) su kayıpları ile mücadelede, genelde yüzeye çıkan arızaların onarımını kapsayan pasif kaçak kontrolünü tercih etmekte veya

yeterli görmektedir. Literatürde sızıntı hacminin önemli bir kısmını rapor edilmeyen (yüze çıkmayan) arızaların oluşturduğu vurgulanmakta ve bu sızıntıların tespit edilmesi ve onarılması için ALC yönteminin uygulanması gerektiği ifade edilmektedir (Lambert ve Lalonde, 2005; Pearson ve Trow, 2005; Farley vd., 2008; Islam ve Babel, 2013). Sızıntı yönetiminde, su-enerji-personel-ekonomik verimliliğin sağlanması için, ALC faaliyetlerine ait maliyet bileşenlerinin belirlenmesi ve doğru bir şekilde hesaplanması, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin analiz edilmesi gerekmektedir (Lambert vd., 1999; Puust vd., 2009; Nazif vd., 2010; Sarrate vd., 2014). Xin vd. (2014), sızıntıların tespit edilmesinde ve yerinin belirlenmesinde uygulanan yöntem ve cihazları incelemiş, avantajları, dezavantajlı ve maliyetleri kapsamında detaylı analiz ve değerlendirme yapmıştır. Çalışmada, yer mikrofonlarının, tarama aralığının 200-500 m aralığında olduğu ve doğruluk yüzdesinin düşük olduğu, sızıntı denetim verimliliğinin personel tecrübesine bağlı olduğu buna karşılık düşük işletme maliyetine sahip olduğu belirtilmiştir. Diğer taraftan, bölgesel kaydedici ve korelatör ekipmanlarının, tarama aralığının 2000 m'ye kadar olduğu, yüksek doğrulukla otomatik olarak tespit etme özelliğinin olduğu buna karşın bu ekipmanların yüksek maliyetli olduğu ifade edilmiştir.

Lipi wattanakarn vd (2019), sızıntılarla mücadelenin ve sızıntıların onarılmasının enerji ve sistem işletme maliyeti üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Uygulama alanında izole bölgede sızıntıların onarılmasından sonra izole bölge giriş debisinin % 9 azaldığını buna bağlı olarak sistem giriş enerjisinde % 8 azalma tespit edildiği, ALC uygulanmasıyla sistem verimliliğinin iyileştiği vurgulanmıştır.

Görüldüğü gibi basınç yönetimi ve ALC yaklaşımı sızıntı yönetiminde önemli katkılar sunmaktadır. Ancak basınç yönetiminde su kuruluşları elde edilecek faydayı artırmak amacıyla basıncı teknik olarak indirilebilecek minimum seviyenin tanımlanması gerekmektedir (Gomes vd., 2014). Basıncın azaltılması, sızıntıların ve arıza sayılarının azaltılması gibi temel faydalar sağlasa da sızıntılara bağlı olarak oluşacak seslerin de azalmasıyla akustik dinleme yöntemi için bir dezavantaj doğuracaktır (Müller vd., 2020). Bu nedenle her iki yöntemin aynı anda kullanılması durumunda maksimum faydayı sağlayacak basınç seviyesinin hesaplanması gerekmektedir. Özellikle basıncın azaltılması ile çatlaktan çıkan suyun hızı ve oluşturduğu ses frekansı etkileneceği için ALC denetim sıklığının artmasına ve başarı oranının azalmasına neden olacaktır. En uygun basınç seviyesi belirlenirken, basınç seviyesine bağlı olarak sızıntı seviyeleri ve ALC yöntemi ile sahada yapılacak

denetimlerin sayısı ve maliyeti göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle bu çalışmada, su kaybı azaltma yöntemlerinden olan basınç yönetimi ve akustik dinleme yönteminin aynı anda uygulanması durumunda ekonomik ölçütler göz önünde bulundurularak optimum basınç seviyesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmanın en önemli avantajı şu şekilde verilebilir, (i) PM ve ALC yöntemlerinin aynı anda değerlendirilmesi, (ii) Ekonomik ölçütler göz önünde bulundurularak en uygun basınç seviyesinin tanımlanması, (iii) Her iki yöntemden maksimum faydanın elde edilmesi için model önerilmesi. Ekonomik ölçütlere göre oluşturulan modelde farklı basınç seviyelerinde basınç yönetiminden ve ALC yönteminden elde edilecek faydalar hesaplanabilmektedir. Bu amaçla Kayseri ili sınırları içerisinde seçilen pilot bölgelerde optimum basınç seviyeleri belirlenmiş ve elde edilecek faydalar tartışılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların, PM ve ALC yöntemlerinin birlikte kullanılması durumunda şebekede ekonomik olarak maksimum faydayı sağlayacak optimum basınç seviyesi belirlenmesi kapsamında referans oluşturacaktır.

6.3.2 Fayda maliyet analizi ve ekonomik kaçak seviyenin tanımlanması

Aktif kaçak kontrolünün sızıntı yönetimindeki etkisinin ortaya konulması ve ekonomik değerlendirmelerin yapılması amacıyla öncelikli olarak yöntemin ekonomik fayda sınırları ve maliyet bileşenleri tanımlanmıştır. Geliştirilen modelde şebeke temel bilgileri tanımlanmakta ve mevcut performans hesaplanmaktadır. Daha sonra tarama maliyeti ve tahmini arıza sayıları hesaplanmakta, toplam maliyetler ve faydalar belirlenerek sızıntı azaltma yönteminin temel faydalı debisi belirlenmektedir. Bunun için sistem giriş debisi, yasal faturalandırılmış tüketim, ortalama basınç, şebeke uzunluğu, abone sayısı, servis bağlantı sayısı, ortalama abone uzunluğu ve su üretim/işletme maliyeti değişkenlerini esas alan fayda-maliyet analizleri yapılmaktadır. Yapılan analizler sonucunda bölgenin; mevcut su kaybı, ILI başlangıç değeri, Toplam ALC faydalı debisi ve nihai su kaybı değerleri hesaplanmaktadır.

Geliştirilen modelde öncelikli olarak sisteme ait temel veriler (hat uzunluğu, abone sayısı, ortalama sistem basıncı, toplam arıza sayısı vs.) tanımlanmakta ve bu veriler esas alınarak mevcut su kaybı oranı hesaplanmaktadır. ALC yönteminin uygulanması sırasında ilk olarak sistemin mevcut sızıntı seviyesi dikkate alınarak müdahale edilebilir sızıntı seviyesinin tanımlanması gerekmektedir. Bunun için öncelikle belirsiz (arka plan) kayıplar (UARL) ve ihbar edilen arızalardan kaynaklanan kayıplar belirlenmelidir. Bu kayıplar ALC ile tespit edilip azaltılamayacağı için

fiziksel kayıp miktarından çıkartılarak müdahale edilebilir hacim hesaplanmaktadır. Yüzeğe çıkan (rapor edilen) arızalardan kaynaklanan kayıpların hesaplanmasında birim sızıntı debileri, 240 l/saat/birim basınç (ana hatlarda) ve 32 l/saat/birim basınç (servis bağlantılarında) olarak dikkate alınmıştır (Lambert vd., 1999). Geliştirilen ekonomik modelde, yıllık toplam arıza sayıları tanımlandıktan sonra toplam servis bağlantı ve şebeke arıza sayıları bilineceğinden dolayı bu bileşen için kayıplar hesaplanmaktadır. Müdahale edilebilir sızıntı miktarının belirlenmesinin ardından ALC yöntemi kapsamında tahmini müdahale edilebilir arıza sayılarının hesaplanması gerekmektedir. Bunun için tespit edilen sızıntı miktarına bağlı olarak toplam arıza sayısı ve bu arızaların şebeke ve servis bağlantı arızası ayrımının yapılması gerekmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda şebeke arızalarının, toplam arızalara oranının yaklaşık %38 olduğu hesaplanmıştır (Nicolini vd., 2014; Aydoğdu ve Firat, 2015; Boztaş vd., 2018). ALC faaliyetleri için fayda-maliyet analizinde bir diğer aşama, sahada şebeke tarama ve dinleme birim maliyetlerinin çıkarılmasıdır. Yöntemin uygulanmasında çeşitli ekipman, işçilik, malzeme ve bakım giderleri ortaya çıkmaktadır. Malatya Su Ve Kanal İdaresi (MASKİ) bünyesinde daha önce farklı uzunluklardaki şebekelerde sahada yapılan ALC çalışmaları referans alınarak birim maliyet tablosu ve buna bağlı olarak denklem edilmiştir.

Hesap detayları 4.3.2. ve 4.3.3. bölümlerinde açıklanan basınç yönetimi ve aktif kaçak yöntemi uygulamasının bir arada kullanılması durumunda optimum basınç seviyesinin tespit edilmesi gerekmektedir. Çünkü basıncın azaltılması doğrudan fiziki kayıpları azalttığı gibi aktif kaçak kontrolünde arama kalitesini düşürdüğünden fayda üzerinde olumsuz bir etki de yapmaktadır.

Basınç kontrolünün ve akustik dinleme yönteminin sızıntılar üstündeki etkilerinin analizi ve optimum basınç seviyesinin tespiti için Kayseri ili uygulama alanı olarak seçilmiştir. Bu kapsamda uygulamanın açıklanması amacıyla uygulama bölgesi içmesuyu sisteminde oluşturulan 6 izole bölge için öncelikle mevcut durum analizleri yapılmıştır.

Basınç yöntemi ve ALC yönteminin avantajları ve dezavantajlarının tespit edilebilmesi için, farklı şebeke uzunluklarının, abone yoğunluklarının, su üretim/işletme maliyetlerinin olduğu ve su kayıp miktarlarına sahip pilot DMA'lar seçilmiştir. Pilot bölgelerde giriş debileri debimetreler ile düzenli olarak ölçülmekte ve SCADA sistemi ile anlık olarak izlenmektedir. Ayrıca bölgelerde şebeke ve işletme verilerinin daha sistematik bir şekilde izlenmesi için coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve

abone yönetim sistemleri veri tabanları mevcut ve düzenli olarak güncellenmektedir. Bu veri tabanları kullanılarak şebeke uzunluğu, abone sayısı, abone bağlantı uzunluğu ve bölge toplam tüketim verileri her bölge için belirlenmiştir. Ayrıca bölgede belirlenen kritik noktalara yerleştirilen basınçölçerler ile bölge ortalama basınçları belirlenmiştir.

Bu kapsamda her bölge için, GGS hacmi ve oranı, yıllık kaçınılmaz fiziki kayıp hacmi (UARL), yıllık fiziki kayıp hacmi (CARL) hesaplanmıştır (Tablo 6/9.10). Bu hesapların gerçekleştirilmesi için öncelikli olarak her bir bölge için IWA standart su dengesi tablosu oluşturulmuştur.

Tablo 6.9 Kayseri Çalışma Alanı Verileri (Basınç Yönetimi ve Aktif Kaçak Birlikte)

	Birim	DMA 19	DMA 20	DMA 21	DMA 22	DMA 23	DMA 24
Şebeke Uzunluğu	<i>m</i>	5000	10000	21000	32490	18000	6000
Abone Sayısı	<i>adet</i>	1420	2478	1831	750	2225	1220
Abone Bağlantı Sayısı	<i>adet</i>	529	498	459	450	360	421
Ortalama servis bağlantı uzunluğu	<i>m</i>	8	8	8	8	8	8
Tahakkuk Miktarı	<i>l/s</i>	6.54	4.05	5.5	2.8	9.5	8.55
Şebeke Boru Tipi	-	Pik	Düktül	PVC	PVC	HDPE	PVC
N1 Katsayısı	-	1	1	1.5	1.5	2	1.5
Ortalama Basınç	<i>m</i>	60	61	64	34	66	64
Ortalama Giriş Debisi	<i>l/s</i>	10.22	8.04	11.9	9	24.97	10.83
Su Üretim Maliyeti	<i>TL/m³</i>	2.94	3.56	3.2	1.01	2.91	2.63
GGs Miktarı	<i>l/s</i>	3.68	3.99	6.4	6.2	15.47	2.28
GGs Oranı	%	36.01	49.63	53.78	68.89	61.95	21.05
CARL	<i>l/s</i>	2.94	3.19	5.12	4.96	12.37	1.82
UARL	<i>l/s</i>	0.95	0.57	0.69	0.26	0.95	0.2
İdari Kayıp Miktarı	<i>l/s</i>	0.74	0.80	1.28	1.24	3.09	0.46
ILI	-	3.09	5.59	7.42	19.07	13.02	9.10
ILI	-	A	B	B	D	C	C

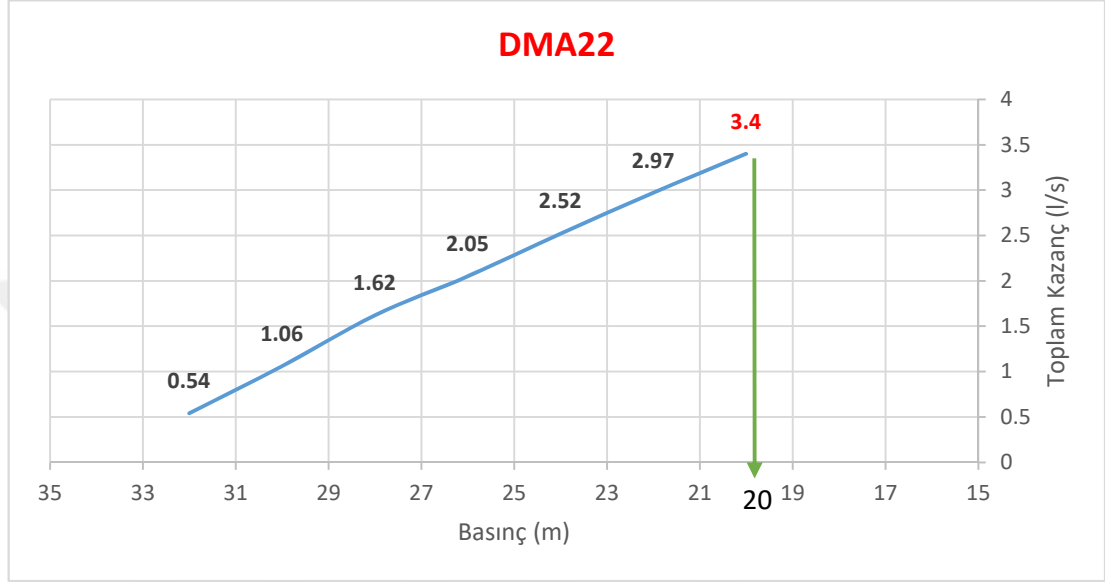
Tablo 6.10 Kayseri Çalışma Alanı Verileri (Basınç Yönetimi ve Aktif Kaçak Birlikte)
(Devamı)

<i>Aktif Kaçak Kontrolü ve Basınç Yönetiminin Birlikte Uygulanması Durumunda</i>							
Optimum Basınç	<i>m</i>	28	20	20	20	26	20
Basınç Yönetimi Faydalı Debisi	<i>l/s</i>	1.96	2.68	5.28	3.4	9.69	1.88
Aktif Kaçak Kontrolü Faydalı Debisi	<i>l/s</i>	0.67	0	0	0	3.27	0
Toplam Fayda Debisi	<i>l/s</i>	2.63	2.68	5.28	3.4	12.96	1.88
GGs Miktarı	<i>l/s</i>	1.05	1.31	1.12	2.8	2.51	0.4
GGs Oranı	<i>%</i>	10.27	16.29	9.41	31.11	10.05	3.69

İzole bölgelerde mevcut GGS oranlarının %21.05 (DMA24) ile %68.89 (DMA22) arasında değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 6.9). İzole bölgelerde CARL ve UARL parametreleri kıyaslandığında, genel olarak CARL değerinin oldukça fazla olduğu görülmektedir. UARL bir sistemde teknik olarak en düşük sızıntı seviyesini gösterdiği için, her bir bölgede CARL ile kıyaslanması bölgelerdeki sızıntı seviyesi hakkında önemli veri sunmaktadır. Ayrıca GGS oranları incelendiğinde, DMA24 hariç diğer bölgelerde çok yüksek seviyelerde olduğu ve sızıntı azaltma yöntemlerinin uygulanmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bu bölgelerde basınç yönetimi ve aktif kaçak kontrolünün birlikte uygulanması durumunda elde edilecek faydalar hesaplanmıştır.

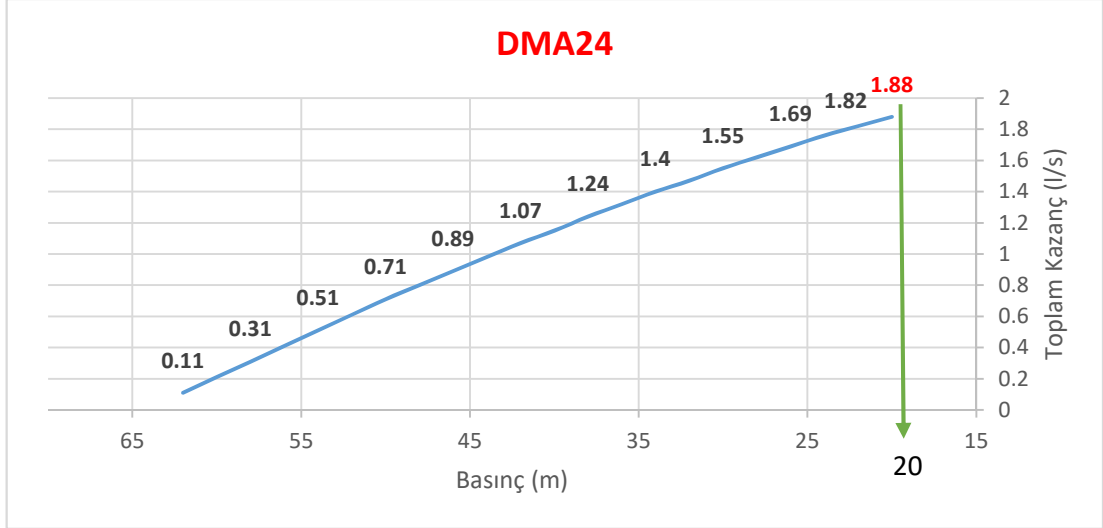
DMA'larda şebeke mevcut durum özelliklerine göre, detayları farklı basınç seviyeleri için elde edilen faydalı debiler hesaplanmış ve en uygun basınç seviyeleri belirlenmiştir. Hesaplanan bu faydalı debiler, bölgelerde belirlenen basınç seviyesi için ekonomik olarak ALC ve basınç yönetimleriyle sisteme kazandırılacak maksimum su miktarını temsil etmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, 4 bölgede (DMA20, DMA21, DMA22, DMA24) ALC uygulaması için faydalı debi sıfır (0) olarak elde edilmiştir (Tablo 6.10). Bu nedenle bu bölgelerde ALC yönteminin uygulanmasının ekonomik olmayacağı sonucuna varılmıştır. Söz konusu bölgeler tek tek incelendiğinde; DMA22 bölgesinin GGS oranlarına göre kötü durumda olmasına rağmen (GGs=%68.89) ALC yönteminin ekonomik çıkması nedeni, bölgede su üretim/işletim maliyetinin diğer bölgelere göre çok daha düşük (1.01 TL/m³) olmasıdır. Düşük su üretim maliyetleri nedeniyle bölgede aktif bir su azaltma strateji

belirlemek İdare için ekonomik olmayan sonuçlar doğuracaktır. Bu nedenle DMA22 bölgesi için su kaynak sıkıntısı yaşanmadığı takdirde sadece basınç yönetiminin uygulanması daha ideal bir strateji olacaktır. Basınç yönetimi ile basıncın minimum seviye olan 20 m'e çekilmesiyle yaklaşık 3.4 l/s kazanç elde edilebileceği görülmektedir (Tablo 6.10, Şekil 6.5). Böylelikle kayıp oranının bölge için %31 seviyelerine çekilmesi ekonomik olarak mümkün olabilecektir.



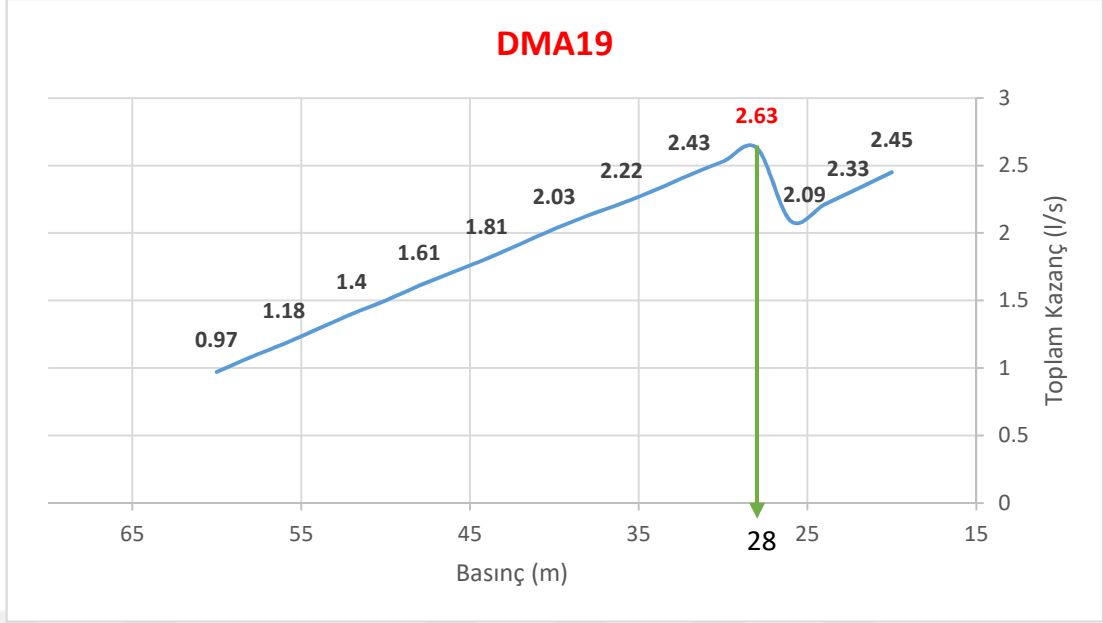
Şekil 6.5 DMA22 Basınç-Kazanç Debisi İlişkisi

Aynı şekilde DMA24 bölgesi için de herhangi bir basınç seviyesinde ALC uygulaması ekonomik çıkmamaktadır. Bölgenin gerek düşük kayıp miktarları (GGS=%21.05) gerekse diğer bölgelere göre düşük su üretim maliyetleri nedeniyle ALC uygulaması ekonomik olmamaktadır. Bu bölge içinde basınç minimum seviyeye çekilerek ciddi bir kazanım (1.88 l/s) elde edilebilmektedir (Şekil 6.6).



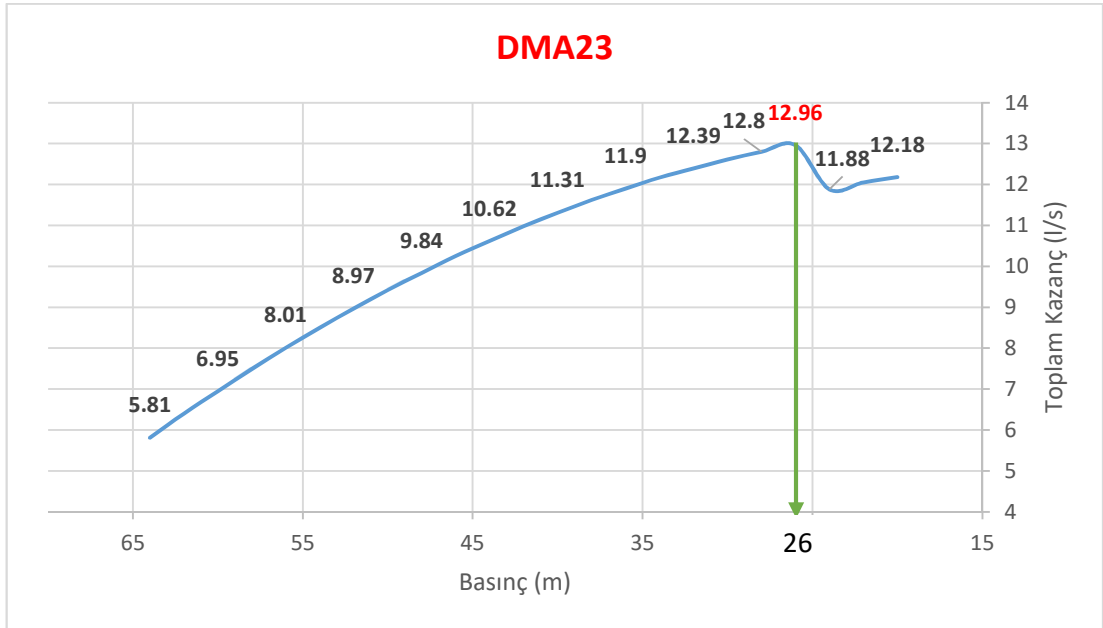
Şekil 6.6 DMA24 Basınç-Kazanç Debisi İlişkisi

Uygulama alanında DMA19 incelendiğinde, bölge için en uygun basınç seviyesinin 28 m olarak belirlendiği görülmektedir. Bu seviye bölge için her iki kayıp azaltma yöntemiyle beraber elde edilecek maksimum kazanç debisinin elde edildiği seviyedir. Daha önce de açıklandığı üzere düşen basınç sızıntı debisini doğrudan azalttığı gibi dinleme kalitesini düşürdüğünden ALC yönteminin verimini azaltmaktadır. Bu nedenle her iki yöntemin de maksimum fayda vereceği seviye hesaplanmalıdır. Yapılan çalışmalar sonucunda en uygun seviye Şekil 6.7’de gösterilmiştir. Şekilde de görüleceği üzere basıncın 28 m’nin altına azaltıldığı durumlarda ALC faydalı debi sıfır olmakta ve sadece basıncın azalmasına bağlı olarak kazanç debisi artmaktadır. Bu bölgede basınç sistem minimum kriteri olan 20 m’ye çekilseydi elde edilecek fayda debisinin daha düşük (2.45 l/s) olacağı görülmektedir.



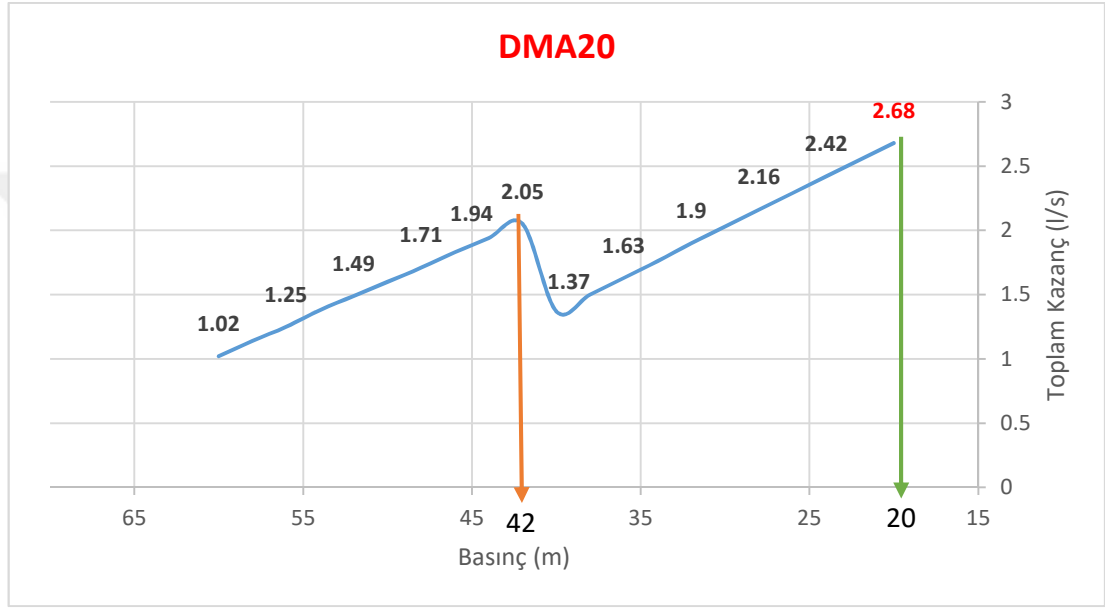
Şekil 6.7 DMA19 Basınç-Kazanç Debisi İlişkisi

Benzer bir durum DMA23 içinde hesaplanmıştır (Şekil 6.8). Mevcut basınç seviyesinden minimum basınç seviyesine kadar her seviye için toplam faydalar hesaplanmış olup basıncın 26 m olduğu seviyede maksimum fayda elde edilmiştir. Basıncın 26 m'den düşük olduğu durumlarda ALC uygulaması ekonomik olmadığından elde edilen kazançlar azalmaktadır. Grafik bu noktadan sonra da artış eğilimde olma nedeni basıncın düşmesine bağlı elde edilecek muhtemel faydalardır. Grafiğin artış eğilimi 26 m'den sonra azalmaktadır (Şekil 6.8).

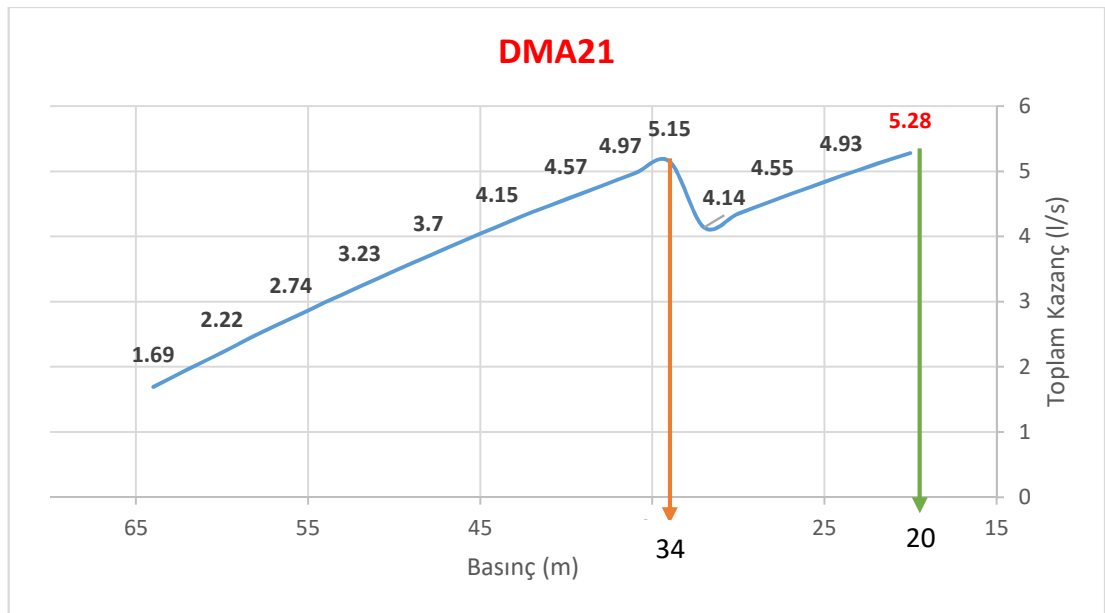


Şekil 6.8 DMA23 Basınç-Kazanç Debisi İlişkisi

DMA20 ve DMA21 bölgeleri incelendiğinde, benzer bir durumun söz konusu olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde akustik dinleme yönteminin ekonomik olmadığı basınç seviyeleri (42 m ve 34 m) belirlenmiş ve bu seviyeler için elde edilecek fayda debileri (2.05 ve 5.15) olarak hesaplanmıştır. Akustik dinleme için hesaplanan en uygun basınç seviyeleri, minimum basınç seviyesinden nispeten yüksek seviyededir. Bu bölgelerde sadece basınç yönetimi yapılarak, akustik dinleme ve basınç uygulamasının birlikte uygulanmasından daha fazla fayda edilebileceği hesaplanmıştır (Şekil 6.9/a-b).



a-) DMA20

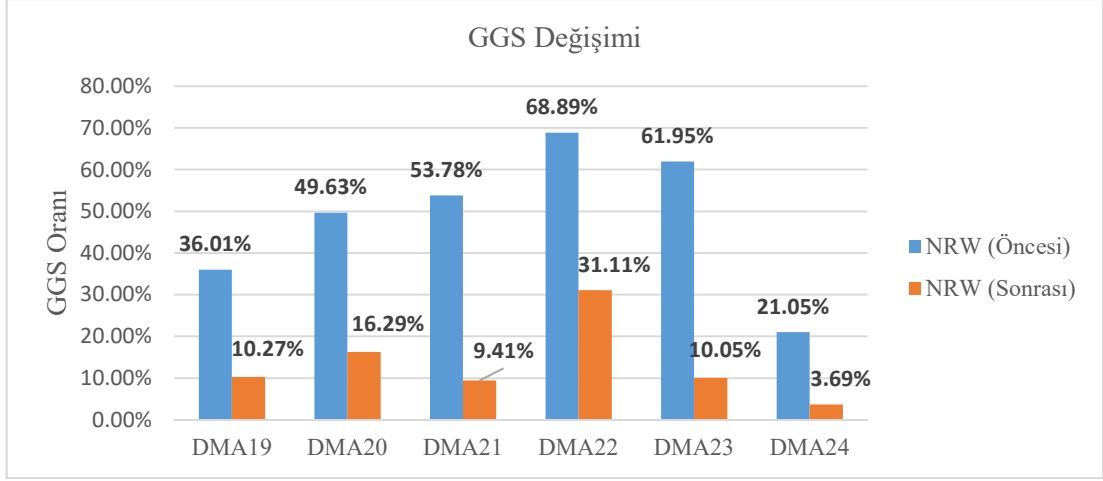


b-) DMA21

Şekil 6.9 DMA20 ve DMA21 Basınç-Kazanç Debisi İlişkisi

Şekil 6.9 incelendiğinde grafiklerde 2 farklı tepe noktası oluştuğu görülmektedir. Örneğin Şekil 6.9/a grafiğinde (DMA20) basıncın 42 metre olduğu seviye akustik dinleme yöntemi için bir ekonomik sınırı belirtmektedir. Basıncın bu değer altına inmesiyle artık bu yöntem ekonomik olmadığından fayda debisi 0 olarak hesaplanmaktadır. Fakat grafik incelendiğinde azalan basınçla beraber faydanın da arttığı görülmektedir. Hesaplanan minimum basınç seviyesindeki fayda debisi (2.68 l/s, sadece basınç yönetimiyle elde ediliyor), her iki yöntemde birlikte kullanılabilirdiği 42 m basınç seviyesinde ki fayda debisinden (2.05 l/s) fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu bölgede sadece basınç yönetimi uygulanarak daha fazla fayda elde edilebileceği gibi kayıpları azaltma için harcanan tutarda buna bağlı olarak düşecektir. Benzer bir durum DMA21 içinde geçerlidir (Şekil 6.9/b). Burada önemli kriterlerden biri basıncın düşürülebileceği minimum seviyenin algoritmaya tanımlanmasıdır. DMA21 için tanımlanan minimum basınç seviyesi 20 iken optimum nokta 20 olurken, bölge için tanımlanabilecek minimum basınç seviyesinin 30 m olması durumunda optimum basınç 34 m olacaktır. Çünkü 30 m basınç seviyesinde akustik dinleme ile fayda elde edilemezken sadece basınç yönetimi ile de 4.35 l/s kazanç elde edilebilecektir (Şekil 6-9/b). Bu değer basıncın 34 m olduğu durumda elde edilecek fayda debisinden (5.15 l/s) düşük olduğundan bölge için yeni optimum seviye değişecektir.

Yapılan hesaplamaların ve muhtemel faydalı debilerin tespitinden sonra GGS oranları tekrar hesaplanmıştır (Şekil 6.10). Elde edilecek kazanımlarla beraber tüm bölgelerde gelişmekte olan ülkeler için istenilen kayıp seviyelerinin elde edilebileceği görülmüştür. Sadece DMA22 bölgesi yüksek seviyelerde kalmakta olup (GGS=%31.11), bu bölgedeki düşük su üretim maliyetleri nedeniyle su kayıp azaltma yöntemleri ekonomik olmamaktadır. Bölgede su sorunu yaşanmaması halinde bu kayıp seviyeleri şebekede korunmalıdır.



Şekil 6.10 GGS Değişimleri

Su kayıplarıyla mücadelede basınç yönetimi ve akustik dinleme yöntemleri (ALC) önemli bir yer tutmaktadır. Oluşturulan alt bölgelerde yapılacak kayıp azaltma çalışmaları ile kayıp oranlarının azaltılması mümkün olmaktadır. Ancak su kayıp azaltma yöntemlerinin gerek maliyetleri gerekse birbirleriyle olan ilişkileri göz önünde bulundurulduğunda uygulamadan önce elde edilecek muhtemel faydaların hesaplanması gerekmektedir. Özellikle basınç gibi ortak değişkenlerin olduğu yöntemler birlikte kullanılırken mutlaka optimum değerler hesaplanmalıdır. Her bölge evrensel kabullerin aksine kendi içerisinde özenle değerlendirilmeli ve elde edilecek sonuçlar doğrultusunda bir su yönetim planı hazırlanmalıdır.

6.3.3 Sonuçların değerlendirilmesi

Bu bölümde, su kayıp azaltma yöntemleri olan basınç yönetimi ve akustik dinleme yönteminin aynı anda uygulanması durumunda şebeke için optimum basınç seviyesinin hesaplanması amaçlanmıştır. Bu amaçla uygulama alanında 6 izole bölge için uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda her bölge için GGS hacmi ve oranı, UARL, CARL değerleri hesaplanmıştır. Mevcut koşullarda GGS oranlarının %21.05 (DMA24) ile %68.89 (DMA22) arasında değiştiği ve oldukça yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda 4 bölgede (DMA21, DMA22, DMA23, DMA24) ALC uygulaması için faydalı debi sıfır (0) olarak elde edilmiştir. Bu nedenle bu bölgelerde aktif kaçak yönteminin uygulanmasının ekonomik olmayacağı sonucuna varılmıştır. DMA19 ve DMA23 için en uygun basınç seviyeleri 28 m ve 26 m olarak belirlenmiştir. Bu seviye bölge için her iki kayıp azaltma yöntemiyle beraber elde edilecek maksimum kazanç debisinin elde edildiği seviyedir. DMA20 ve DMA21 bölgeleri incelendiğinde ise benzer bir durumun söz konusu

olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde akustik dinleme yönteminin artık ekonomik olmadığı basınç seviyeleri (42 m ve 34 m) belirlenmiş ve bu seviyeler için elde edilecek fayda debileri (2.05 ve 5.15) hesaplanmıştır. Akustik dinleme için hesaplanan optimum basınç seviyeleri, minimum basınç seviyesinden nispeten yüksek olması nedeniyle yapılan hesaplamalarda; bölgelerde sadece basınç yönetimi yapılarak, akustik dinleme ve basınç uygulamasının birlikte uygulanmasından daha fazla fayda edilebileceği hesaplanmıştır. DMA21 için tanımlanan minimum basınç seviyesi 20 iken optimum nokta 20 olurken, bölge için tanımlanabilecek minimum basınç seviyesinin 30 m olması durumunda optimum basınç 34 m olacaktır. Çünkü 30 m basınç seviyesinde akustik dinleme ile fayda elde edilemezken sadece basınç yönetimi ile de 4.35 l/s kazanç elde edilebilecektir. Bu değer basıncın 34 m olduğu durumda elde edilecek fayda debisinden (5.15) düşük olduğundan bölge için yeni optimum seviye değişebilecektir. Su kayıplarıyla mücadelede basınç yönetimi ve akustik dinleme yöntemleri (ALC) önemli bir yer tutmaktadır. Oluşturulan alt bölgelerde yapılacak kayıp azaltma çalışmaları ile kayıp oranlarının azaltılması mümkün olmaktadır. Ancak su kayıp azaltma yöntemlerinin gerek maliyetleri gerekse birbirleriyle olan ilişkileri göz önünde bulundurulduğunda uygulamadan önce elde edilecek muhtemel faydaların hesaplanması gerekmektedir. Özellikle basınç gibi ortak değişkenlerin olduğu yöntemler birlikte kullanılırken mutlaka optimum değerler hesaplanmalıdır. Her bölge evrensel kabullerin aksine kendi içerisinde özenle değerlendirilmeli ve elde edilecek sonuçlar doğrultusunda bir su yönetim planı hazırlanmalıdır.

6.4 Ekonomik Kaçak Seviyesinin Hesabı

6.4.1 Giriş ve problemin tanımlanması

Şebekelerde çeşitli faktörlere bağlı olarak meydana gelen arızalar, işletme koşullarını bozmakta, maliyetleri arttırmakta, abone şikâyetlerinin artmasına ve hizmet kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Sürdürülebilir kentsel su yönetiminde, arıza oranının ve sızıntı miktarının azaltılması, su ve enerji verimliliğinin sağlanması ve yatırım ve işletme maliyetinin azaltılması oldukça önemlidir. Bu nedenle arıza ve sızıntı oranının azaltılması için en uygun yöntemin uygulanması gerekir. Literatürde, sızıntı yönetiminde uygulanan temel yöntemler, izole bölgelerin oluşturulması (Alvisi vd., 2019; Bonthuys vd., 2019; Brentan vd., 2019; Creaco ve Haidar, 2019; Liu ve

Lansley, 2020), minimum gece debisi analizi (Amoatey vd., 2018; Al-Washali vd., 2019; Booyesen vd., 2019; Hazelton, 2019; Negharchi ve Shafaghat, 2020), sızıntı yerinin tespiti ve arıza onarım hızı ve kalitesinin iyileştirilmesi (AL-Washali vd., 2018; Ociepa vd., 2019; Salguero vd., 2019; Savic ve Kapelan, 2019), şebeke yenileme ve boru malzemesi yönetimi (Aşchileana vd., 2017; Lakehal ve Laouacheria, 2017; Salehi vd., 2017; Bishop vd., 2019) şeklindedir. Bu yöntemler uygulanarak sızıntıların izlenmesi, tespit edilmesi, kontrol edilmesi ve yönetilmesi mümkün olmakla birlikte, yöntemlerin gereksinimleri, kısıtları, ilk kurulum ve işletme-bakım maliyetleri önemli seviyelere ulaşmaktadır. Bu nedenle, sistemin işletme bileşenlerini dikkate alınması, su kayıp bileşenleri için ekonomik analizlerin yapılması ve fayda ve maliyet analiz modelinin tanımlanması, etkin, ve sürdürülebilir su kayıp yönetimi açısından oldukça önemlidir (Mutikanga vd., 2013; Ezbakhe ve Foguet, 2019; Jensen ve Nair, 2019; Lopez vd., 2019).

Bununla birlikte, sızıntı yönetiminde genellikle belli hedefler tanımlanmakta ve buna ulaşmak için yüksek maliyet oluşturan yatırımlar yapılmaktadır. Fakat birçok durumda fayda maliyet analizi esas alınmadığı için yapılan yatırımlar ekonomik olmamaktadır. Su kayıp yönetiminde sistemin mevcut koşullarının göz önüne alınması, en uygun önleme stratejisinin seçilmesinde ekonomik analizlerin yapılarak ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanması gerekliliği literatürde yapılan çalışmalarda vurgulanmıştır (Howe, 1971; Walski, 1984; Lambert ve Mckenzie, 2001; Lambert ve Lalonde, 2005; Pearson ve Trow, 2005; Kizito vd., 2009; Wyatt ve Alshafey, 2012; Lim, Savic ve Kapelan, 2015; Molinos-Senante, Mocholí-Arce ve Sala-Garrido, 2016; Haider vd., 2019). Ayrıca, ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanmasında ve analizinde, matematiksel ve istatistiksel yöntemleri esas alan çeşitli yaklaşımların uygulandığı görülmektedir (Haider vd., 2019; Moslehi vd., 2019; Ahopelto ve Vahala, 2020; Choi vd., 2020; Moon, 2020).

Sızıntı yönetiminde şebeke bileşenlerini (arıza ve sızıntı oranı, ekip sayısı, basınç limitleri, mevcut durum), önleme yöntemlerinin gereksinimlerini ve kısıtlarını ve bunların maliyet analizlerini dikkate alarak ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanması bir optimizasyon problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanmasında, arıza ve sızıntı üzerinde önemli etkiye sahip olan basıncın analiz edilmesi, sistem karakteristiğine göre en uygun basınç seviyesinin tanımlanması, arıza onarım hızının iyileştirilmesi için en uygun ekip sayısının tanımlanması, en önemli optimizasyon bileşenleridir. Bu nedenle, ekonomik

kaçak seviyesinin tanımlanması için, arıza ve sızıntı oluşumuna neden olan tüm faktörlerin dikkate alınması, etkisinin analiz edilmesi, maliyet bileşenlerinin tanımlanması, fayda maliyet analizinin yapılması ve optimizasyon tabanlı modelin geliştirilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı, bu çalışmada, sürdürülebilir su kayıp yönetiminde, sistem ve su kayıp bileşenleri, önleme yöntemlerinin gereksinimleri, kısıtları ve maliyet bileşenleri göz önünde bulundurularak, ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanması, bu seviyeye ulaşmak için en uygun basınç seviyesinin ve ekip sayısının belirlenmesi için optimizasyon tabanlı yeni model geliştirilmiş ve bu modelin algoritmik yapısı açıklanmıştır.

Bu çalışmada yukarıda belirtilen analizleri yapılabilen uzman sistem kurulduktan sonra bu uzman sistem içerisindeki basınç değeri ve işçi sayısı gibi değerlerin sistem kısıtlarına göre optimal değerlerinin bulunması için discrete stochastic optimizasyon (Wang vd., 2013) algoritmasıyla optimizasyonu gerçekleştirmiştir. Sistem mevcut yapısı önerilen uzman sisteme girildikten sonra yapı içerisinde sistemle senkron çalışan ve probleme özgü tanımlanmış amaç fonksiyonuna göre ilgili parametrelerin optimizasyonu yapılmış ve optimal değerleri bulunarak program çıktısı olarak sunulmuştur. Önerilen bu yapının tüm içme suyu şebekelerine uygulanabilecek esneklikte ve pratiklikte olduğu düşünülmektedir.

Özellikle problemin çözümünde özgün amaç fonksiyonları uzman sistem içerisinde tanımlanmış ve ilgili optimizasyon algoritması amaç fonksiyonun minimize veya maksimize edebilecek şekilde çalışmaktadır. Discret stochastic optimizasyon algoritması Wang vd. tarafından 2013 yılında önerilmiş deneme yanılma prensibine göre çalışan bir algoritmadır. Bu algoritmanın tercih edileme sebebi hesapsal karmaşıklığı az olmasıdır. Bundan dolayı sistem hızlı cevap verebilmesi için belli bir alanda hızlı taramalar yapabilen bir algoritmanın kullanılması son derece önemlidir. Bu sebepten çalışma prensibi son derece basit fakat etkili olan “disret stochastic search optimizasyon” algoritması kullanılmıştır.

6.4.2 Ekonomik kaçak seviyesi analizlerinin yapılması

Önerilen ekonomik kaçak seviye (EKS) modelini ve optimizasyon algoritmasını analiz etmek için hazırlanan örnek bölge verilerine göre (DMA19) analizler yapılmıştır. Öncelikle EKS modelinin çalışabilmesi için bazı bilgilerin algoritmaya Tablo 6.11’de verildiği gibi tanımlanması gerekmektedir.

Bu veriler, analiz edilecek bölgenin temel özelliklerini temsil etmektedir. Bu kapsamda doldurulan tablo ile şebekenin hizmet verdiği nüfus, toplam şebeke uzunluğu, abone sayısı ve bağlantıların yanı sıra sistem giriş debisi ve tahakkuk miktarı, şebeke basıncı, sayaç bilgileri, yıllık arıza sayıları ve DMA özellikleri gibi şebekenin temel özellikleri ayrıca algoritmaya işlenmektedir. Ayrıca su üretim maliyeti, su satış fiyatı, ekip kurulum maliyeti gibi temel ekonomik bileşenler de sistemde tanımlanır. Bu şekilde, analiz için gerekli olan değişkenler algoritmaya tanımlanmış olacaktır.

Tablo 6.11 DMA19 İçin Temel Şebeke Verileri

İdari Bilgiler	Birim	Değer
Su İdaresinin Adı	-	KASKİ
Çalışma Yapılan Bölge Adı	-	DMA19
Çalışma Yapılan Dönem	-	Ocak-Şubat 2020
Çalışma Alanı ile İlgili Genel Bilgiler	Birim	Değer
Hizmet Edilen Toplam Nüfus	kişi	5680
Toplam Şebeke Uzunluğu	km	5
Toplam Abone Sayısı	ad	1420
Toplam Ticari Abone Sayısı	ad	120
Toplam Konut Abone Sayısı	ad	1300
Toplam Abone Bağlantısı Sayısı	ad	529
Ortalama Abone Bağlantısı Uzunluğu	m	8
Sistemin Bölgesel Ortalama Gece Basıncı	mss	60
Minimum İşletme Basıncı	mss	20
Maksimum İşletme Basıncı	mss	65
Sistem Giriş Debisi	l/s	10.22
Tahakkuk Edilen Su Miktarı	l/s	6.54
Ortalama Birim Su Maliyeti (Üretim ve İşletme Giderleri Dahil)	TL/m ³	2.91
Ortalama Birim Su Satış Fiyatı	TL/m ³	3.40
10 Yaşından Yaşlı Sayaçların Toplam Sayaçlara Oranı	%	35
Bölgede DMA Yaklaşımı Var Mı ?	e/h	e
DMA var ise Toplam DMA şebeke uzunluğu	m	5000
Kaç adet DMA bölgesi mevcuttur?	adet	1
Yıllık Arıza Miktarı (Abone ve Şebeke Arızası Toplamı)	adet	40
Yıllık Abone Arızası Miktarı	adet	14
Yıllık Şebeke Arızası Miktarı	adet	26
Toplam Arıza Ekibi Sayısı	adet	4
Arıza Ekibi Kurulum Maliyeti	TL/ekip/ay	₺19,500.00
Ortalama Arıza Çözüm Süresi	saat/adet	8

Şebeke Yenileme ve Boru Malzemesi İle İlgili Bilgiler	Birim	Değer
Şebekenin Mevcut Ağırlıklı Boru Cinsi	-	Pik
Ø 150 mm Küçük Boru Uzunluklarının Yüzdesi	%	65
Ø 150 mm - 300 mm Arası Değişen Boru Uzunluğu Yüzdesi	%	35
Ø 300 mm - 500 mm Arası Değişen Boru Uzunluğu Yüzdesi	%	0
Ø 500 mm - 700 mm Arası Değişen Boru Uzunluğu Yüzdesi	%	0
Ø 700 mm Büyük Boru Uzunluklarının Yüzdesi	%	0
Ortalama Şebeke Yaşı	Yıl	12
Şebeke Yenilenmesi Durumunda Yeni Yapılacak Boru Cinsi	-	HDPE

Daha sonra, DMA yaklaşımı ile ilgili veriler Tablo 6.12’de gösterildiği gibi girilmelidir. Yukarıda belirtilen verilerle, DMA oluşturma için temel maliyet bileşenleri tanımlanır ve ihtiyaç duyulan DMA sayısı belirlendikten sonra, toplam DMA oluşum maliyeti hesaplanır.

Tablo 6.12 DMA19 için DMA Maliyetlerinin Tanımlanması

	Birim	Maliyet
Debimetre Odası ve Mekanik Teçhizat	TL/Adet	70,000.00
Sınır Vanaların Tespiti ve Konulması	TL/Adet	1,850.00
Sıfır Basınç Testi Yapılması	TL/Adet	750.00
İzleme ve İşletme Giderleri	TL/Adet	25,000.00

İdari kayıplar ve sayaç yönetimi ile ilgili bilgiler Tablo 6.13’te verildiği gibi girilmelidir. İlgili veriler ile sayaç değişimi için toplam maliyetler hesaplanacaktır.

Tablo 6.13 DMA19 için Sayaç Maliyetlerinin Tanımlanması

	Birim	Maliyet
Sayaç Değişim Maliyeti	TL/Adet	145.00
Sayaç Kalibrasyon Maliyeti	TL/Adet	10.08

Temel şebeke verilerinin algoritmaya tanımlanmasının ardından detayları “4.4.1. Yapay Zeki Optimizasyonlar ile Ekonomik Kaçak Seviyesinin Belirlenmesi” başlığında verilen hesaplama yöntemleri ile DMA bölgesinin ekonomik kaçak seviyesi hesaplanır. Bu kapsamda algoritma şebeke için optimum basınç seviyesini ve ekip sayısını optimize etmekte ayrıca aktif kaçak yöntemiyle elde edilecek faydalı debi, sayaç rehabilitasyon ile elde edilecek faydalı debi ve şebeke kalan ömrü hesaplanır.

Yapılan optimizasyon sonucunda 4 temel su kaybı azaltma yöntemi için ekonomik analizler yapılmış ve her yöntemin ekonomik faydaları m³ / birim olarak hesaplanmıştır.

Bu bağlamda optimizasyon sonucunda elde edilen değerler Tablo 6.14’te gösterilmektedir.

Tablo 6.14 DMA19 için Optimizasyon Sonuçları

		Şebeke İlk Değeri	Optimizasyon Sonucu
Basınç	m	60	28.55
Ekip Sayısı	Adet	4	4

Sistem için hesaplanan optimal değerlerde basıncın 60 m'den 28.55 m'ye düşürülmesi gerektiği ve örnek sistem için optimum ekip sayısının 4 olduğu hesaplandı. Hesaplanan optimum değerlere bağlı olarak şebekenin ilk ve optimum kayıp miktarları ve yüzdeleri Tablo 6.15’te verilmektedir.

Tablo 6.15 DMA19 için Optimizasyon Sonuçları/2

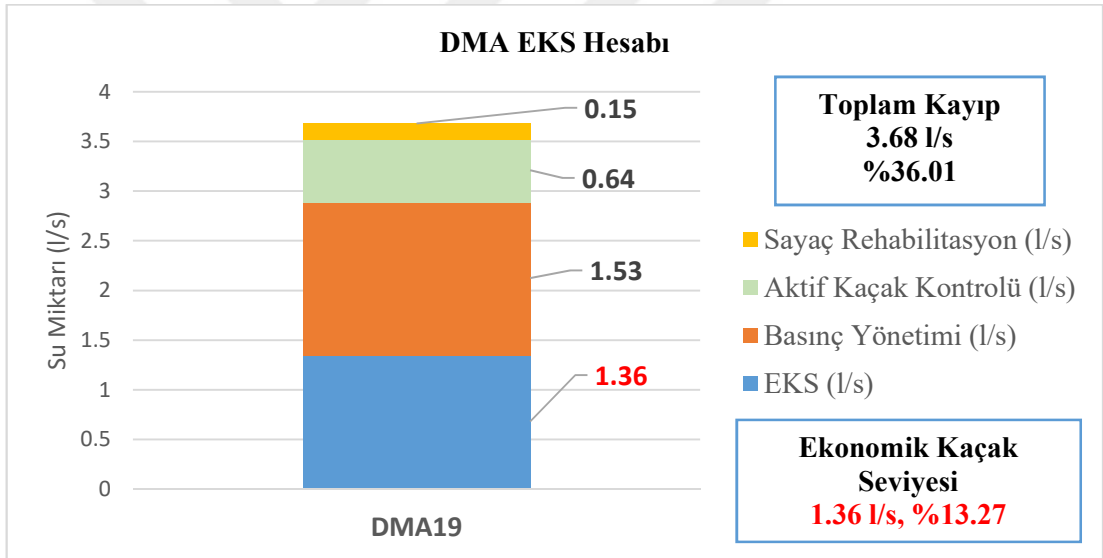
Bileşen	Birim	Şebeke İlk Değeri	Ekonomik Kaçak Seviyesi (EKS)
GGs Miktarı	l/s	3.68	1.36
GGs Oranı	%	36.01	13.27

Böylelikle sistem için ekonomik kaçak seviyesi hacim olarak 1.36 l/s, yüzde olarak % 13.27 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu sistemde optimum değere ulaşmak için gereken çalışmalarda belirlenmiştir. Bu kapsamda hesaplanan değerler Tablo 6.16’da gösterilmektedir.

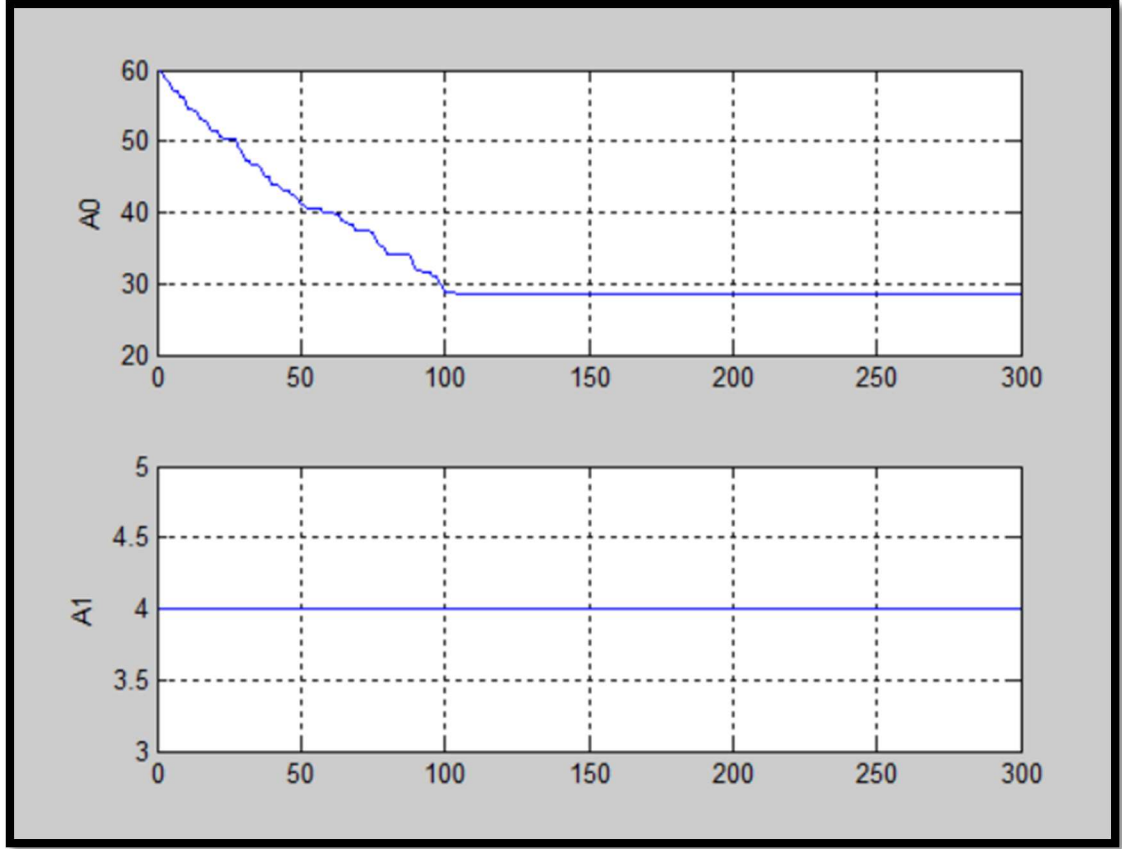
Tablo 6.16 DMA19 için Optimizasyon Sonuçları/3

Yöntem	Birim	Optimizasyon Sonucu
Basınç Yönetimi	l/s	1.53
Aktif Kaçak Yöntemi	l/s	0.64
Sayaç Yönetimi	l/s	0.15
Ekip Yönetimi	l/s	0.00
TOPLAM		2.32

Yapılan çalışmalar neticesinde sistemin kayıp miktarı 3.68 l/s'den, kayıp azaltma yöntemleri ile 2.32 l/s sisteme kazandırılacağı görülmektedir. Ekip sayısı optimal seviyede olduğu için bu yöntemle sisteme ekonomik olarak getirilebilecek su bulunmamaktadır.



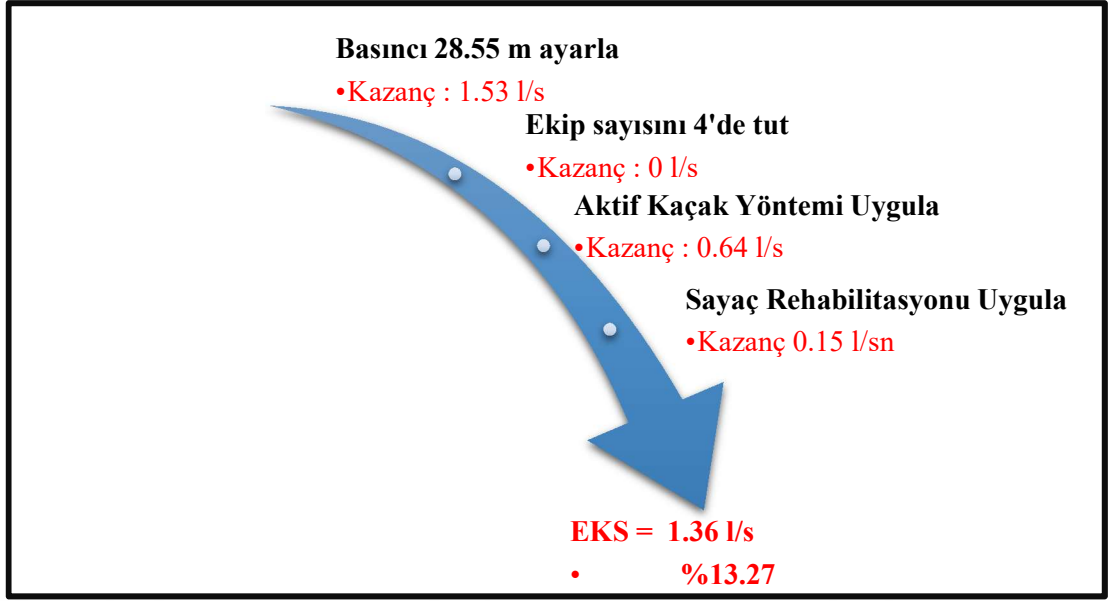
Şekil 6.11 Pilot Bölgede EKS Analiz Sonuçları



Şekil 6.12 Optimizasyon Sonuçları

Çalışma sonucunda kayıp azaltma çalışmalarında ilgili su idaresinin izleyeceği yol şu şekildedir;

- ✓ Adım 1: Bölgenin ortalama basıncı 60 m'den 28.55m'ye düşürülmelidir. (1.53 l/s su sisteme ilave edilecektir)
- ✓ Adım 2: Bölgedeki 10 yaşın üzerindeki sayaçlar program dahilinde değiştirilmelidir. (Sisteme 0.15 l/s su ilave edilecektir)
- ✓ Adım 3: Aktif sızıntı yöntemi ile sisteme 0.64 l/s su ilave edilene kadar çalışma yapılabilir. Bu miktarın üzerindeki suyu sisteme getirmek artık ekonomik olmayacağından bu değer üst limit olarak alınmalıdır.
- ✓ Adım 4: Alandaki arıza ekip sayısı korunmalıdır.



Şekil 6.13 EKS Çalışmaları

6.4.3 Sonuçların değerlendirilmesi

Bu çalışmada, sürdürülebilir içmesuyu dağıtım sisteminin bileşenlerini, gereksinimlerini ve maliyet bileşenlerini dikkate alarak en uygun basınç seviyesini ve ekip sayısını belirlemek ve EKS'ni tanımlamak için optimizasyona dayalı yeni bir model geliştirilmiştir. İlk olarak, optimum EKS'ni hesaplamak için kayıpları ve maliyetleri etkileyen tüm değişkenler ve yapılar belirlenmiştir. Daha sonra bu bileşenlerin hesaplanması için gerekli altyapı oluşturulmuş ve tüm ortak değişkenlerin aynı anda çalışması sağlanmıştır. Elde edilen tüm yapılar Matlab ortamına aktarılmış ve EKS analizinde kullanılan tüm sistem ve yönlendirme kısıtlamalarını dikkate alabilen, Matlab ortamında uzman bir sistem olarak hareket eden algoritmik bir yapı geliştirilmiştir. Uzman sistem sonucunda, EKS değerinin hesaplanmasında şebeke basıncının ve arıza ekip sayısının optimize edilmesi gerektiği bilindiğinden, bu iki değer, hesaplama karmaşıklığı az olan ve önerilen uzman sistemle aynı anda çalışabilen gelişmiş bir algoritma olan DSO algoritması tarafından optimize edilmiştir. Önerilen yapıların gerçek zamanlı çalışabilirliğini göstermek için MASKİ veri tabanından elde edilen veriler, ilgili uzman sisteme ve algoritmik yapıya uygulanmıştır. Sistem için hesaplanan optimal değerlerde basıncın 40 m'den 28.55m'ye düşürülmesi gerektiği hesaplanmış ve örnek sistem için ekip sayısı 4 olarak hesaplanmıştır. Böylece sistem için EKS hacim olarak 1.56 l/s ve yüzde olarak %13.27

olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, önerilen yeni uzman sistem ve optimizasyon algoritması, su dağıtım sistemleri için EKS'ni hesaplamak için sistemde yapılması gerekenleri kolayca belirleyebilir ve idareye önerilerde bulunabilmektedir. Bu çalışma ile literatürde ilk defa böyle bir algoritmik yapı ile yönetime öneriler sunabilecek bir yapı oluşturulmuştur. Önerilen yapı, istenen boyuttaki içmesuyu dağıtım sistemlerine uygulanacak kadar esnektir. Her ölçekte su kayıp yönetiminin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi önerilen algoritmalar ile mümkün olmaktadır.

6.5 Sınırlı Bütçe İle Ekonomik Kaçak Seviyesinin Belirlenmesi

6.5.1 Giriş ve problemin tanımlanması

İçmesuyu dağıtım sistemlerinde artan su kayıpları ve kuraklık nedeniyle ortaya çıkan sorunların azaltılması için idareler tarafından GGS oranlarının azaltılması çalışmaları önem kazanmıştır. Su idareleri GGS oranlarını düzenli olarak hesaplamakta ve kayıp performanslarını bu gösterge ile sürdürmektedirler. Su idareleri genellikle GGS oranı için çeşitli yıllık hedefler belirlemekte ve buna bağlı olarak su kayıp azaltma yöntemlerini uygulamaktadırlar. Su kayıp azaltma yöntemleri ile sisteme ciddi miktarlarda su kazandırılacağı gibi idareler için birçok farklı maliyet kalemleri de ortaya çıkmaktadır. Günümüzde su kayıplarına müdahale için geliştirilen yöntemlerin her birinin farklı sistemler üzerinde farklı seviyelerde olumlu etkileri ve maliyetleri olduğu yapılacak çalışmalarda unutulmamalıdır.

Su yönetiminde GGS oranı hakkında günümüzde yönetmeliklerle belirlenen sınırlar veya uluslararası kabullerin aksine şebekenin mevcut özelliklerine bağlı olarak hesaplanan ekonomik kaçak seviyesi anlayışı ön plana çıkmaya başlamıştır. Yapılması planlanan kayıp azaltma çalışmalarında referans olarak, kayıplardan elde edilecek marjinal faydanın, kayıp miktarını azaltma amacıyla yapılacak çalışmanın maliyetine eşit olduğu nokta alınmaktadır. Bir diğer değişle birim su üretim maliyeti ile birim su kurtarma maliyetinin eşit olduğu nokta ekonomik kaçak seviyesi olarak adlandırılır. Bu anlayışta yeni bir problem ortaya çıkmaktadır; “İdarelerin su kayıp azaltma için öngördüğü toplam bütçe, çalışmanın tamamı için yeterli olacak mı?”

Dünya’da ve Türkiye’de su idareleri ve su kuruluşları her yılın başında yıllık harcama bütçesini belirlemektedir. Her ne kadar EKS kapsamında belirlenen uygulamaların idarelere mali olarak geri dönüşü olacağı bilinse de, yapılacak

çalışmalar için harcanması gereken toplam tutarın, kayıplar için ayrılan bütçeden fazla olması olası bir durumdur. Bu durumlarda EKS hesabı için su üretim maliyetinden farklı olarak toplam bütçe kısıtı da eklenmesi ihtiyacı ortaya çıkacaktır. İdareler için kayıplar için öngörülen bütçe, yıllık içmesuyu gelirinin %5 ile %25 arasında değişebilir. Her bir yöntem için toplam maliyetler ve faydalar detaylıca açıklanmış olup, çalışmanın bu bölümünde toplam harcanan tutarın öngörülen bütçeden düşük olduğu maksimum faydayı sağlayacak yöntemler belirlenmiş ve buna bağlı olarak EKS yeniden hesaplanmıştır.

6.5.2 Sınırlı bütçe ile EKS hesabı örnek uygulamaları

Çalışma kapsamında Kayseri il sınırları içerisinde bulunan DMA 23 için öncelikli olarak EKS hesabı, daha sonra da sınırlı bütçe ile EKS hesapları yapılmıştır. Seçilen DMA 13 için temel şebeke verileri Tablo 6.17’de sunulmuştur.

Tablo 6.17 DMA23 İçin Temel Şebeke Verileri

İdari Bilgiler	Birim	Değer
Su İdaresinin Adı	-	KASKİ
Çalışma Yapılan Bölge Adı	-	DMA23
Çalışma Yapılan Dönem	-	Ocak-Şubat 2020
Çalışma Alanı ile İlgili Genel Bilgiler	Birim	Değer
Hizmet Edilen Toplam Nüfus	kişi	1603
Toplam Şebeke Uzunluğu	km	18
Toplam Abone Sayısı	ad	2225
Toplam Ticari Abone Sayısı	ad	225
Toplam Konut Abone Sayısı	ad	2000
Toplam Abone Bağlantısı Sayısı	ad	360
Ortalama Abone Bağlantısı Uzunluğu	m	8
Sistemin Bölgesel Ortalama Gece Basıncı	mss	66
Minimum İşletme Basıncı	mss	20
Maksimum İşletme Basıncı	mss	66
Sistem Giriş Debisi	l/s	24.97
Tahakkuk Edilen Su Miktarı	l/s	9.5
Ortalama Birim Su Maliyeti (Üretim ve İşletme Giderleri Dahil)	TL/m ³	2.91
Ortalama Birim Su Satış Fiyatı	TL/m ³	3.68
10 Yaşından Yaşlı Sayaçların Toplam Sayaçlara Oranı	%	47
Bölgede DMA Yaklaşımı Var Mı ?	e/h	e

DMA var ise Toplam DMA şebeke uzunluğu	m	18000
Kaç adet DMA bölgesi mevcuttur?	ad	1
Yıllık Arıza Miktarı (Abone ve Şebeke Arızası Toplamı)	ad	31
Toplam Arıza Ekibi Sayısı	ad	2
Arıza Ekibi Kurulum Maliyeti	TL/ekip/ay	₺19.500,00
Ortalama Arıza Çözüm Süresi	saat/ad	30
Şebekenin Mevcut Ağırlıklı Boru Cinsi	-	HDPE

Temel şebeke verilerinin algoritmaya tanımlanmasının ardından detayları “4.4.1. Yapay Zeki Optimizasyonlar ile Ekonomik Kaçak Seviyesinin Belirlenmesi” başlığında verilen hesaplama yöntemleri ile DMA bölgesinin ekonomik kaçak seviyesi hesaplanmıştır.

Yapılan optimizasyon sonucunda 4 temel su kaybı azaltma yöntemi için ekonomik analizler yapılmış ve her yöntemin ekonomik faydaları m³/birim olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda optimizasyon sonucunda elde edilen değerler Tablo 6.18’de gösterilmektedir.

Tablo 6.18 DMA23 için Optimizasyon Sonuçları

Bileşen	Birim	Şebeke İlk Değeri	Optimizasyon Sonucu
Basınç	m	66	38.08
Ekip Sayısı	Adet	2	3

Sistem için hesaplanan optimal değerlerde basıncın 66 m'den 38.08 m'ye düşürülmesi gerektiği ve örnek sistem için optimum ekip sayısının 3 olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan optimum değerlere bağlı olarak şebekenin ilk ve optimum kayıp miktarları ve yüzdeleri;

Tablo 6.19 DMA23 için EKS Değerleri

Bileşen	Birim	Şebeke İlk Değeri	Ekonomik Kaçak Seviyesi (EKS)
GGs Miktarı	l/s	15.47	2.15
GGs Oranı	%	61.98	8.62

Böylelikle sistem için ekonomik kaçak seviyesi hacim olarak 2.15 l/s, yüzde olarak % 8.62 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu sistemde optimum değere ulaşmak için gereken çalışmalarda belirlenmiştir. Bu kapsamda hesaplanan değerler Tablo 6.20’de gösterilmektedir.

Tablo 6.20 DMA23 için Yöntem Optimizasyon Sonuçları

Yöntem	Birim	Optimizasyon Sonucu
Basınç Yönetimi	l/s	5.94
Aktif Kaçak Yöntemi	l/s	4.76
Sayaç Yönetimi	l/s	1.34
Ekip Yönetimi	l/s	1.28
	TOPLAM	13.32

Yapılan çalışmalar neticesinde sistemin kayıp miktarı 15.47 l/s’den, kayıp azaltma yöntemleri ile 13.32 l/s’nin sisteme kazandırılabilceği görülmektedir. Söz konusu bölgede kayıp kaçaklarla mücadele belirlenen 4 temel yönteminde ekonomik olarak uygulanabilir olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda basınç yönetimi ile sistem ortalama basınç değerinin 66 metreden 38 metreye düşürülmesiyle yaklaşık 5.94 l/s, sahada akustik dinlemeler ile tespit edilecek arızaların onarımı sonucunda 4.76 l/s, 10 yaşını geçmiş tüm sayaçların rehabilite edilmesiyle 1.34 l/s, mevcutta bulunan 3 arıza ekibi sayısının 4’e çıkarılmasıyla da yaklaşık 1.28 l/s suyun sisteme kazandırılabilceği görülmüştür.

Daha sonra sınırlı bütçe hesabı yapılabilmesi için öncelikli olarak detayları 4.4.2. bölümde açıklanan 7 farklı durum için de fayda maliyet hesapları yapılmıştır. Bu kapsamda her yöntemin fayda ve maliyetleri Tablo 6.21’de gösterilmiştir. Bu her bir yöntem için toplam faydalı debiler ve maliyetler hesaplanmıştır.

Tablo 6.21 Sınırlı Bütçe Fayda-Maliyet Hesaplamaları

Yöntemler	Fayda (l/s)	Toplam Maliyet (TL)
Sadece Basınç Yönetimi	8.91	₺103,900.00
Sadece Aktif Kaçak Kontrolü	6.24	₺281,250.00
Aktif Kaçak Kontrolü ve Basınç Yönetimi Birlikte	10.7	₺278,105.00
Sayaç Rehabilitasyonu (1. Kalibrasyon)	0.78	₺10,541.00
Sayaç Rehabilitasyonu (2. Kalibrasyon)	0.62	₺10,541.00
Sayaç Rehabilitasyonu (Sayacın Değiştirilmesi)	1.34	₺151,630.00
Ekip Rehabilitasyonu	1.28	₺19,500.00

Yapılan hesaplamalar sonucunda EKS ulaşılması için kullanıcıların Tablo 6.21’de sırasıyla 3, 6 ve 7. Maddeleri uygulamaları ve toplamda 449,235.00 TL harcamaları gerektiği ortaya konulmuştur.

Sınırlı bütçe için belirlenmesi gereken bir diğer hususta bütçe kısıtının belirlenmesidir. Bu kapsamda idarelerin su kayıp azaltma yöntemleri için gelirlerinin ne kadarlık bir kısmının kullanılacağı belirlenmelidir. Burada tüm sorumluluk ve karar su idarelerinde olmakla beraber yapılacak hesaplamalarda temsilen su gelirlerinin %20’lik bir kısmının kayıp azaltmada kullanılacağı varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Şebekenin durumu ve idarenin kararlarıyla bu oran değiştirilebilir. Bu kapsamda “kacak_mucadele_butce_orani” olarak 0.2 (%20) seçilmiş ve kısıtlı bütçe bölüm 4.4.2’de belirtilen esaslar doğrultusunda 174,419.00 TL olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda kısıtlı bütçe ile EKS hesaplanmış ve algoritma tarafından 1, 4 ve 7. Maddelerin uygulanması gerekliliği sonucu ortaya çıkmıştır. Bu bütçe ile toplam 10.97 l/s suyun sisteme kazandırılabilceği ortaya konulmuştur.

Tablo 6.22 Sınırlı Bütçe (%20) Fayda-Maliyet Sonuçlar

Yöntemler	Fayda (l/s)	Toplam Maliyet (TL)
Sadece Basınç Yönetimi	8.91	₺103,900.00
Sadece Aktif Kaçak Kontrolü	6.24	₺281,250.00
Aktif Kaçak Kontrolü ve Basınç Yönetimi Birlikte	10.7	₺278,105.00
Sayaç Rehabilitasyonu (1. Kalibrasyon)	0.78	₺10,541.00
Sayaç Rehabilitasyonu (2. Kalibrasyon)	0.62	₺10,541.00
Sayaç Rehabilitasyonu (Sayacın Değiştirilmesi)	1.34	₺151,630.00
Ekip Rehabilitasyonu	1.28	₺19,500.00
TOPLAM	10.97	₺133,941.00

Yapılan hesaplamalar sonucunda %20 kısıtlı bütçe ile 10.97 l/s suyun sisteme kazandırılabilceği görülmektedir. EKS için hesaplanan değerlerden bağımsız olarak sistemde aktif kaçak kontrolü yapılması ve 10 yaşını geçmiş sayaçların tamamının değişmesi bütçe kısıtlamaları nedeniyle artık mümkün olmamaktadır. Bu nedenle sistem için basınç yönetimi uygulanması, sayaçların 1 tur kalibre edilmesi ve ekip sayısının 1 artırılarak 4'e çıkarılması tavsiye edilmektedir. Yapılacak çalışmaların toplam maliyeti yaklaşık olarak 133,941.00 TL olacağından ayrılan bütçe (%20, 174,419.00 TL) ile EKS %18.02 olarak (4.5 l/s) hesaplanmıştır.

Aynı hesaplamalar kısıtlı bütçenin %15 ve %5 seçildiği durumlar içinde yapılmış ve sonuçları Tablo 6.23 ve Tablo 6.24'de gösterilmektedir.

Tablo 6.23 Sınırlı Bütçe (%15) Fayda-Maliyet Sonuçlar

	Yöntemler	Fayda (l/s)	Toplam Maliyet (TL)
1	Sadece Basınç Yönetimi	8.91	₺103,900.00
2	Sadece Aktif Kaçak Kontrolü	6.24	₺281,250.00
3	Aktif Kaçak Kontrolü ve Basınç Yönetimi Birlikte	10.7	₺278,105.00
4	Sayaç Rehabilitasyonu (1. Kalibrasyon)	0.78	₺10,541.00
5	Sayaç Rehabilitasyonu (2. Kalibrasyon)	0.62	₺10,541.00
6	Sayaç Rehabilitasyonu (Sayacın Değiştirilmesi)	1.34	₺151,630.00
7	Ekip Rehabilitasyonu	1.28	₺19,500.00
	TOPLAM	10.19	₺123,400.00

Aynı şebekede kısıtlı bütçe oranının %15'e çekilmesi durumunda (toplam bütçe 130,814.25 TL olmakta) sistem için EKS hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda bütçe kısıtlarını sağlayan sadece 2 kayıp azaltma yöntemi kaldığı görülmektedir. Bu kapsamda sistemde basınç yönetimi uygulanabilir ve ekip sayısı 1 artırılarak sisteme kazanç sağlanabilmektedir. Toplamda 123,400 TL harcama ile 10.19 l/s su sisteme kazandırılmış olup, EKS %21.14 (5.28 l/s) olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.24 Sınırlı Bütçe (%5) Fayda-Maliyet Sonuçlar

	Yöntemler	Fayda (l/s)	Toplam Maliyet (TL)
1	Sadece Basınç Yönetimi	8.91	₺103,900.00
2	Sadece Aktif Kaçak Kontrolü	6.24	₺281,250.00
3	Aktif Kaçak Kontrolü ve Basınç Yönetimi Birlikte	10.7	₺278,105.00
4	Sayaç Rehabilitasyonu (1. Kalibrasyon)	0.78	₺10,541.00
5	Sayaç Rehabilitasyonu (2. Kalibrasyon)	0.62	₺10,541.00
6	Sayaç Rehabilitasyonu (Sayacın Değiştirilmesi)	1.34	₺151,630.00
7	Ekip Rehabilitasyonu	1.28	₺19,500.00
	TOPLAM	1.28	₺19,500.00

Aynı şekilde kısıtlı bütçe oranının %5'e çekilmesi durumunda (toplam bütçe 43,604.75 TL olmakta) sistem için EKS hesaplanmıştır. Bu bütçe ile sadece ekip

artırımının ekonomik olacağı görülmüştür. Bu durumda sisteme 19,500.00 TL harcama yapılarak 1.28 l/s su kazandırılabilceği hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda %5 kısıtlı bütçe olması durumunda EKS %56.82 (14.19 l/s) hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda DMA için hesaplanan EKS ve sınırlı bütçe EKS değerleri seçilen mali kısıtlamalar ile değişmektedir. Bütçe kısıtlaması olmadığı durumlarda EKS değeri çok daha düşük seviyelere çekilmekte iken bütçe kısıtı arttığı sürece EKS değeri de yükselmektedir. DMA 23 için tüm sonuçlar Tablo 6.25'te gösterilmektedir.

Tablo 6.25 DMA23 için Optimizasyon Sonuçları

Yöntemler	Birim	EKS (Sınırsız Bütçe)	EKS (%20 kısıtlı bütçe)	EKS (%15 kısıtlı bütçe)	EKS (%5 kısıtlı bütçe)
Basınç Yönetimi	l/s	5.94	8.91	8.91	0
Aktif Kaçak Yöntemi	l/s	4.76	0	0	0
Sayaç Yönetimi	l/s	1.34	0.78	0	0
Ekip Yönetimi	l/s	1.28	1.28	1.28	1.28
	TOPLAM	13.32	10.97	10.19	1.28
GGG	l/s	2.15	4.50	5.28	14.19
EKS	%	8.62	18.02	21.14	56.82

Yapılan çalışmalar sonucunda şebeke GGS miktarının (15.47 l/s) ve oranının (%61.98) bütçe durumuna göre uygulanacak yöntemler ile %8 ile %56 arasında revize edilebileceği görülmüştür. Hazırlanan bu algoritma ile idareler için herhangi bir bütçe ile EKS hesaplanması imkânı sunulmuştur. Böylelikle su yönetiminde tüm maliyet ve faydaların dikkate alındığı, en uygun su kayıp stratejisi belirlenen bütçe kısıtıyla beraber hesaplanabilmektedir.

6.5.3 Sonuçların değerlendirilmesi

Bu çalışmada, içmesuyu dağıtım sistemleri için hesaplanmış olan EKS algoritması geliştirilerek kısıtlı bütçe ile optimizasyona dayalı yeni bir EKS hesaplama modülü geliştirilmiştir. İlk olarak kayıp azaltma yöntemlerinin tüm maliyet ve fayda değişkenleri belirlenmiş ve sistem için bütçe kısıtı olmadan EKS hesaplanmıştır. Daha sonra her bir yöntemin algoritmadan bağımsız olarak hesaplanması durumunda oluşturacağı maliyetler ve faydalar hesaplanmıştır. Sistem için bütçe kısıtlaması su gelirin belirlenmiş bir yüzdesi olarak kullanıcı tarafından belirlenecek şekilde algoritmik yapı kurulmuştur. Elde edilen tüm yapılar Matlab ortamına aktarılmış ve EKS analizinde kullanılan tüm sistem ve yönlendirme kısıtlamalarını dikkate alabilen, Matlab ortamında uzman bir sistem olarak hareket eden algoritmik bir yapı geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem doğrultusunda seçilen örnek bölge (DMA23) için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda bütçe kısıtı olmaması halinde sistem için ekonomik kaçak seviyesi hacim olarak 2.15 l/s, yüzde olarak % 8.62 olarak hesaplanmıştır. Aynı hesaplamalar kaçakla mücadele bütçe oranının %20, %15 ve %5 olması durumu için de hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda %20 kısıtlı bütçe ile 10.97 l/s suyun sisteme kazandırılabilceği ve 133,941.00 TL maliyet ile (ayrılan bütçe %20, 174,419.00 TL) EKS %18.02 olarak (4.5 l/s) hesaplanmıştır. Benzer şekilde %15 kısıt olması durumunda toplamda 123,400 TL harcama ile 10.19 l/s su sisteme kazandırılmış olup, EKS %21.14 (5.28 l/s) olarak hesaplanmıştır. Kısıt oranının %5 olması durumunda ise 19,500.00 TL harcama yapılarak 1.28 l/s su kazandırılabilceği görülmüş ve EKS %56.82 (14.19 l/s) hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda şebeke GGS miktarının (15.47 l/s) ve oranının (%61.98) bütçe durumuna göre uygulanacak yöntemler ile %8 ile %56 arasında revize edilebileceği görülmüştür. Hazırlanan bu algoritma ile idareler için herhangi bir bütçe ile EKS hesaplanması imkânı sunulmuştur. Böylelikle su yönetiminde tüm maliyet ve faydaların dikkate alındığı, en uygun su kayıp stratejisi belirlenen bütçe kısıtıyla beraber hesaplanabilmektedir.

6.6 Su Kayıp Yönetimi Bileşenlerinin Ekonomik Analizleri İçin Hesaplama Aracının Geliştirilmesi

6.6.1 Giriş ve problem tanımlama

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, servi bağlantı detayları, yeterli teknik ve teknolojik alt yapı, personel ve ekonomik gibi çok farklı gereksinimlere ihtiyaç duymaktadır. Dağıtım sistemlerinde yüzeye çıkmayan sızıntıların yönetilmesinde aktif kaçak kontrolü yaklaşımı kullanılmaktadır. Aktif kaçak kontrolü, sızıntının farkına varılması, yerinin tespiti, onarılması, izlenmesi ve kontrol edilmesi çalışmalarını kapsamaktadır. Bu yöntemin temelini ise ölçülebilir izole alt bölge 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 aktif kaçak kontrolü ve izole bölge yaklaşımlarının sızıntı yönetiminde uygulandığı görülmekte ve yöntemlerin uygulanmasında ekonomik değerlendirmelerin yapılması gerektiği vurgulanmaktadır (Lambert vd., 1999; Puust vd., 2010; Nazif vd., 2010; Campbell vd., 2016; Cabral vd., 2019; Lipiwattanakarn vd., 2019).

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. 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. Bunu sağlamak için su ve ekonomik kaynak kısıtları en iyi şekilde analiz edilmeli ve buna uygun stratejiler geliştirilmelidir.

Tezin bölümünde önceki bölümlerde tanımlanan ekonomik analiz modellerinin Su İdarelerinde ve Belediyelerde çalışan teknik personel ve karar vericiler tarafından daha sistematik ve düzenli olarak yapılması için web tabanlı “Ekonomik Analiz ve Ekonomik Kaçak Seviyesi Tanımlama Modülleri” geliştirilmiştir. Hesaplama araçlarında model geliştirilirken birim maliyetler ve veriler sistemde tanımlanmıştır. Geliştirilen hesaplama araçları temel olarak şu şekilde verilebilir;

- İzole bölge oluşturma fayda-maliyet analizi
- Aktif kaçak kontrolü fayda-maliyet analizi
- Sayaç yönetimi fayda-maliyet analizi
- Şebeke rehabilitasyonu fayda-maliyet analizi
- Ekip yönetimi fayda-maliyet analizi
- Basınç yönetimi ve etkileri için fayda maliyet analizi

Yukarıda verilen her bir hesaplama araçlarının detayları, veri giriş ve sonuç ekranlarına ait görüntüler ilerleyen bölümlerde verilmiştir. Bu hesaplama araçları <https://sukayipyonetimi.com/> adresinden ulaşılabilir. Böylece, karar vericiler ve uygulayıcılar için, maliyet oluşturan tüm bileşenlerin dikkate alındığı ve analizlerin belirli bir standartta yapıldığı bir model ortaya konulmuş olacaktır.

6.6.2 İzole bölge tasarımı ve aktif kaçak kontrolü için hesaplama modüllerinin geliştirilmesi

Bu çalışmada, su kayıp yöntemlerine ait sistematik maliyet analizleri için geliştirilen “su kayıp yönetimi ekonomik analiz hesaplama aracı” birbiri ile bütünleşik çalışan modüller bulunmaktadır. Modüllerde yer alan ortak veriler “veri giriş ekranında” bir defa girilmekte (Şekil 6.14) ve tüm modül sayfalarına otomatik olarak aktarılmaktadır. 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 belirlenmiştir. 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 girilmiŖse 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 girilmiŖse 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 girilmiŖse 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 girilmiŖse 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 girilmiŖse 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 girilmiŖse 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 girilmiŖse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri GiriŖi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	adet
Toplam Abone Sayısı	ILI analiz #4 verisi girilmiŖse 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 girilmiŖse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri GiriŖi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	TL/m3

Ŗekil 6.14 Ekonomik Analiz Hesaplama Aracı Veri GiriŖ Ekranı

Ölçülen minimum gece debisi, izole bölge giriŖinde tüketimin en düşük olduğu gece saatlerinde 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 iŖletme basıncının ortalamasını ifade etmektedir. Ŗebeke ana hat uzunluğu, sistemin büyüklüğünü tanımlamada ve izole bölge büyüklüğü belirlemede kullanılan en temel veriden biri olarak gösterilir. Bu parametrenin doğru bir Ŗekilde belirlenmesi için coğrafı bilgi sistemler veri tabanının güncel olması esastır. Ŗebekede 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 Ŗebeke, servis bağlantı ve iŖletme basıncına göre teknik olarak meydana gelebilecek en düşük sızıntı miktarını göstermektedir. Bu parametre 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.

Bir izole bölgede, 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 vd., 2011; Gomes vd., 2013). Ancak, bölgenin planlanması, saha imalatları, ekipman ve otomasyon sistem maliyeti, sıfır basınç testi, izolasyon vanalarının tespiti ve izole edilmesi ve 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. İzole bölge tasarımında bu analizlerin sürdürülebilir ve sistematik yapılabilmesi için tüm bileşenlerin dikkate alınması, maliyetlerin doğru bir şekilde hesaplanması ve büyüklüğünün uygun seçilmesi gerekir.

İzole bölge tasarım bileşenlerinin ekonomik analiz standardının tanımlanması, sistematik bir şekilde yapılması için “izole bölge ekonomik analiz hesaplama modülü” geliştirilmiştir. Bu modülde izole bölge bilgileri (sayı, uzunluk, vana bilgileri, debimetre ve saha çalışmaları) ve şebeke bilgileri Şekil 6.15’deki gibi sisteme tanımlanmaktadır. Şekil 6.15’de, ortalama izole bölge uzunluğu, izole bölgeler oluşturulurken literatürde önerilen standart değeri temsil etmekte olup kullanıcı bu değeri değiştirebilmektedir. Gerekli minimum izole bölge sayısı, şebeke toplam uzunluğu ve ortalama izole bölge uzunluğunun oranına göre elde edilmektedir. Eğer sistemde hali hazırda izole bölge var ise bu değer mevcut izole bölge sayısı olarak

tanımlanmaktadır. Bölgedeki toplam şebeke uzunluğu esas alınarak bölge için ihtiyaç duyulan izole bölge sayısı hesaplanmaktadır.

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

Şekil 6.15 İzole Bölge Ekonomik Analiz Modülünde Şebeke Bilgilerinin Tanımlanması

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. Ancak bazı idareler, sadece rapor edilen arızaların onarımını kapsayan pasif kaçak kontrolünü yeterli görmektedir. Literatürde sızıntıların önemli bir kısmını oluşturan rapor edilmeyen arızaların yönetilmesi için aktif kaçak kontrolü yöntemi uygulanmaktadır. Aktif kaçak kontrolü 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, aktif kaçak kontrolünün uygulanmasıyla oluşan maliyetlerin hesaplanması için ekonomik analiz standardı saha verilerine göre tanımlanmış ve ekonomik analiz modülüne eklenmiştir (Şekil 6.16). Aktif kaçak kontrolünde en önemli aşamalardan biri olan sızıntı yerinin tespit edilmesi için sahada ekipler tarafından denetim yapılması gerekmektedir. Bu denetim faaliyetlerinin sayısı ve süresi arttıkça maliyet artmaktadır. Bu faaliyetler için fayda maliyet analizinin oluşturulması ve maliyet bileşenlerinin analizinin sağlanması amacıyla gerekli olarak veriler Şekil 6.17'ki gibi hesaplama modülünü eklenmiştir. Şekil 6.15'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.

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 girilmişe 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

Verilerin Girilmesi	Açıklama	Değer	Birim
Fiziksel Kayıp Miktarı	Su dengesi hesaplanmış ise 'Fiziksel Kayıplar (m3)' değeri alınabilir. Birim m3/gün olmalıdır.	6,000.00	m3/gün
Ortalama Sistem Basıncı	MNF analiz #21 verisi girilmişe ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	40.00	m
UARL	(LI 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 girilmişe ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	28.00	adet
Bölgede Kaydedilen Yıllık Abone Arıza Sayısı	PI analiz #35 verisi girilmişe ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	52.00	adet
Şebeke Anahat Uzunluğu (Lm)	LI analiz #9 verisi girilmişe ilgili değerin (x1000) katı alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	60,000.00	m

Şekil 6.16 Aktif Kaçak Kontrolü Ekonomik Analiz Modülünde Veri Girişi Maliyetler

Bölgede kaydedilen Yıllık Toplam Rapor Edilen Arıza Sayısı	PI analiz #36 verisi girilmişe ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	40.00	adet
Toplam Ekip Sayısı	Kullanıcı tarafından girilecektir. Toplam arıza ekibi sayısını belirtmektedir.	10	adet
Ortalama Arıza Çözüm Süresi	Her bir arıza için çağrı alınması ile arızanın sonlandırılması arasında geçen süredir.	12	saat/arıza
Birim Su Üretim Maliyeti	PI analiz #45 verisi girilmişe ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	2.00	TL/m3
Bölgede Kaydedilen Yıllık Şebeke Arıza Sayısı	PI analiz #34 verisi girilmişe ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	14.00	adet
Bölgede Kaydedilen Yıllık Abone Arıza Sayısı	PI analiz #35 verisi girilmişe ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	26.00	adet
Ortalama Sistem Basıncı (P ilk)	MNF analiz #21 verisi girilmişe ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	55.00	

Şekil 6.17 Ekip Yönetimi Veri Giriş Ekranı

Belirlenmesi gereken sınır vana sayısı, her bir izole bölge 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 izole bölge 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 izole bölge 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 izole bölge için 1 olacak şekilde planlanmaktadır. Ekonomik analizde, sistem için izole bölge sayısını ve toplam ve birim bölge maliyetini hesaplamaktadır. Ayrıca kullanıcılar mevcutta izole bölge olup olmadığını sisteme tanımlayabilmekte ve gerekli izole bölge sayısı bu kapsamda yeniden hesaplanmaktadır. Söz konusu imalatların toplam maliyetlerinin hesaplanabilmesi için öncelikle yapılacak işlemlerinin birim fiyatlarının tanımlanması gerekmektedir (Şekil 6.18).

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 6.18 İzole Bölge Ekonomik Analiz Modülünde Maliyetlerin Tanımlanması Ve Birim Maliyetin Hesaplanması

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 ve şebeke arızalarının toplam arızaya oranı tanımlanmıştır (Şekil 6.18). Rapor edilen arızalara ve UARL, aktif kaçak kontrolü ile müdahale edilemediğinden dolayı, toplam kayıplardan rapor edilen sızıntılar ve UARL çıkartılarak müdahale edilebilir sızıntı hesaplanmaktadır (Şekil 6.18). Aktif kaçak kontrolü 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 doğrultusunda hesaplanan arama kalitesi parametreleri hesaplama aracına tanımlanmıştır (Şekil 6.19).

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) (m3/gün/basınç)	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 2.88	m3/gün/basınç
12 - Birim Abone Arızası Kaçak Miktarı	İhbar Edilen ve Edilmeyen Arızalardaki Kayıplar (Lambert vd., 1999; Farley vd., 2008) (m3/gün/basınç)	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 0.768	m3/gün/basınç
13 - Şebeke Arızası / Toplam Arıza Oranı	(Nicolini vd., 2014; Aydoğdu ve Fırat, 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 Fırat, 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 Testi	Açıklama	Değer	Birim
17 - Arıza Kaynaklı Fiziki Kayıp Miktarı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	22.05	m3
18 - Müdahale Edilebilir Debi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	2,727.95	m3
Birim Tarama Maliyetinin Belirlenmesi	Açıklama	Değer	Birim
Birim Tarama Maliyeti	Uygulama örneklemi sonucunda elde edilen $y = 3E-09x^2 - 0.0002x + 6.2972$ Denklemi yardımıyla hesaplanmaktadır.	5.10	TL/m

Şekil 6.19 Analiz Modülünde Rapor Edilmeyen Arızalar İçin Birim Maliyetlerin Hesabı

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 6.20 Analiz Modülünde Arama Kalitesinin Tanımlanması

Birim Şebeke Arızası Kaçak Miktarı	İhbar Edilen ve Edilmeyen Arızalardaki Kayıplar (Lambert vd., 1999; Farley vd., 2008)	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 5.76	m3/gün/basınç
Birim Abone Arızası Kaçak Miktarı	İhbar Edilen ve Edilmeyen Arızalardaki Kayıplar (Lambert vd., 1999; Farley vd., 2008)	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 0.768	m3/gün/basınç
Ekip Kurulum Maliyeti	Bir adet içmesuyu arıza ekibinin yıllık maliyetidir. 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 234000	TL/yıl/adet

Şekil 6.21 Ekip Yönetimi Özel Hesap Verilerinin Kontrolü

İdeal Ekip Sayısının Belirlenmesi	Açıklama	Değer	Birim
Ekip Sayısının Artırılma Sayısı	Kullanıcı ekip sayısını ne kadar artırmak istediğini seçmelidir.	1	
Yeni Arıza Çözüm Süresi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	10.91	saat/adet
Elde Edilecek Fayda Debisi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	183,456.59	m3/yıl
Elde Edilecek Fayda Debisi Maliyeti	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	366,913.18	TL/yıl
Ekip Sayısının Artırılma Maliyeti	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	234,000.00	TL/yıl

Şekil 6.22 Ekip Sayısının “1” Artırılması Durumunda Fayda ve Maliyetler

Tüm değişkenlere ait maliyetlerin hesabından sonra birim maliyet hesabı yapılması için öncelikle her bir tarama döngüsü için toplam maliyet ve toplam fayda hesaplanmaktadır (Şekil 6.23). 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	m3/Çalışma Süresi
2. Arama Sonucunda Kurtarılan Su Miktarı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	122,757.75	m3/Çalışma Süresi
3. Arama Sonucunda Kurtarılan Su Miktarı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	68,744.34	m3/Çalışma Süresi
4. Arama Sonucunda Kurtarılan Su Miktarı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	44,192.79	m3/Çalışma Süresi
5. Arama Sonucunda Kurtarılan Su Miktarı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	34,372.17	m3/Çalışma Süresi
6. Arama Sonucunda Kurtarılan Su Miktarı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	24,551.55	m3/Çalışma Süresi

Şekil 6.23 Analiz Modülünde Harcanan Tutarlar Ve Tasarruf Edilen Su Miktarının Hesabı

Şebekeler için birim su üretim maliyetleri aktif kaçak kontrolü 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. Ayrıca çalışmalar sonucunda ekonomik olarak sisteme kazandırılacak su miktarı Şekil 6.24'deki gibi hesaplanmaktadır.

Birim Maliyet Hesabı	Açıklama	Değer	Birim
1. Arama Sonucunda Birim Maliyet	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	1.86	TL/m3
2. Arama Sonucunda Birim Maliyet	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	2.79	TL/m3
3. Arama Sonucunda Birim Maliyet	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	4.75	TL/m3
4. Arama Sonucunda Birim Maliyet	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	7.22	TL/m3
5. Arama Sonucunda Birim Maliyet	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	9.20	TL/m3
6. Arama Sonucunda Birim Maliyet	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	12.76	TL/m3
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	m3/gün

Şekil 6.24 Aktif Kaçak Kontrolü Ekonomik Analiz Modülünde Birim Maliyetlerin Hesabı

İdeal Ekip Sayısının Belirlenmesi	Açıklama	Değer	Birim
Ekip Sayısının Artırılma Sayısı	Kullanıcı ekip sayısını ne kadar artırmak istediğini seçmelidir.	2	
Yeni Arıza Çözüm Süresi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	10.00	saat/adet
Elde Edilecek Fayda Debisi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	336,617.60	m3/yıl
Elde Edilecek Fayda Debisi Maliyeti	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	673,235.20	TL/yıl
Ekip Sayısının Artırılma Maliyeti	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	468,000.00	TL/yıl

Şekil 6.25 Ekip Sayısının “2” Artırılması Durumunda Fayda ve Maliyetler

İdeal Ekip Sayısının Belirlenmesi	Açıklama	Değer	Birim
Ekip Sayısının Artırılma Sayısı	Kullanıcı ekip sayısını ne kadar artırmak istediğini seçmelidir.	8	
Yeni Arıza Çözüm Süresi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	6.67	saat/adet
Elde Edilecek Fayda Debisi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	897,085.90	m3/yıl
Elde Edilecek Fayda Debisi Maliyeti	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	1,794,171.81	TL/yıl
Ekip Sayısının Artırılma Maliyeti	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	1,872,000.00	TL/yıl

Şekil 6.26 Ekip Sayısının “8” Artırılması Durumunda Fayda ve Maliyetler (İdeal Artırılma Sayısı)

Sonuç olarak bu hesaplama aracının özellikle, izole bölge oluşturma, aktif kaçak kontrolü planlama, sızıntı yerinin tespiti ve ekip yönetimi bileşenleri için ekonomik değerlendirme imkanı sunması, maliyet ve faydaların belli bir sistematığe göre hesaplaması açısından referans oluşturma potansiyelinin olduğu düşünülmektedir.

İzole bölge planlaması ve uygulanması idare 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, bir bölgede aktif kaçak kontrolü 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 detaylı analizlerin belli bir standart ve sistematikte yapılması için web tabanlı ekonomik analiz hesaplama aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde izole bölge oluşturmada ve aktif kaçak kontrolünün uygulanmasında harcanan toplam ve birim maliyetleri hesaplanmakta ve elde edilen faydalar analiz edilmektedir. 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.

6.6.3 Basınç yönetiminin ekonomik analizi için hesaplama aracının geliştirilmesi

Bir izole bölge veya dağıtım sisteminde mevcut arızalardan birim zamanda kaybolan su miktarının artmasında en önemli faktör sistemdeki yüksek basınç gösterilmektedir. Bu nedenle dağıtım sisteminde sızıntı oranının azaltılması için basınç kontrol yönetimi uygulanmaktadır. Ancak daha önceden de bahsedildiği gibi basınç yönetimin uygulanabilmesi için izole bölgenin oluşturulması oldukça önemlidir. Bu nedenle önceki bölümde verilen izole bölge tasarımı ve ekonomik analizleri yapılan bir sistemde basınç yönetimi uygulanması durumunda ortaya çıkan maliyetlerin analizi için standart bir yapı oluşturulmuştur. Bu yapı yine diğer modüllerde olduğu gibi web tabanlı bir hesaplama aracı şeklinde tasarlanmıştır. Basınç yönetimi fayda maliyet analizi için hesaplama aracında geliştirilen veri giriş ekranı Şekil 6.27'de verilmektedir. Bu verilerin girilmesi için sistem tarafından ekonomik analiz yapılmaktadır. Veri giriş ekranı incelendiğinde, basınç yönetimi uygulanacak

bölgede mevcut durumda ölçülen debi ve sistem işletme basıncı gibi temel veriler kullanıcı tarafından sisteme tanımlanmalıdır. Ayrıca, bölgede basınç yönetimi uygulanması durumunda oluşacak yeni basınç (minimum basınç değeri) sistem koşulları ve yönetmeli k esas alınarak tanımlanır.

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

Şekil 6.27 Basınç Yönetimi İçin Temel Verilerin Ve Minimum Basınç Seviyesinin Tanımlanması

Bilindiği üzere basınç ve sızıntı arasındaki ilişkinin tanımlanmasında en yaygın kullanılan denklem FAVAD yaklaşımdır (May, 1994; Lambert vd., 1999). Bu yaklaŝımda basınçtaki değişime bağlı olarak sızıntıda meydana gelen değişim analiz edilmektedir. Bu değişimin analizinde en önemli faktör "sızıntı üs katsayısı olarak ifade edilen N1 katsayı" gösterilebilir. Bu katsayı boru malzeme türüne göre (sabit alan ve değişken alan sızıntıları) belirlenmektedir (Lambert vd., 1999). Geliştirilen bu hesaplama aracında N1 katsayısı bölgeye özel olarak hesaplanmaktadır. Bunu sağlamak için kullanıcı tarafından bölgedeki ağırlıklı boru cinsinin sisteme tanımlanması gerekir (Şekil 6.28.). Boru malzeme tipinin seçimine bağlı olarak N1 katsayısı arka planda tanımlanan hesaplama şablonu ile otomatik olarak belirlenmektedir.

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

Şekil 6.28 Basınç Yönetimi İçin Şebeke Ağırlıklı Boru Cinsinin Girilmesi Ve N1 Katsayısı Hesabı

Hesaplama aracından yukarıda tanımlandığı şekilde veri girişinin yapılması sonucunda, seçilen basınç seviyesine göre basınç yönetiminde oluşan yeni kayıp miktarları Şekil 6.29'daki gibi hesaplanmaktadır. Böylece basınç seviyesine bağlı olarak oluşacak muhtemel sızıntı miktarları belirlenmiş olmaktadır.

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

Şekil 6.29 Basınç Yönetiminde Seçilen Basınç Seviyesine Göre Yeni Kayıp Miktarının Hesabı

Bir dağıtım sistemindeki yüksek basınç veya basınçtaki değişim mevcut arızalardaki sızıntı miktarının üzerinde etkili olduğu kadar yeni arıza oluşumunda da etkili olmaktadır. Geliştirilen hesaplama aracında basınç seviyesine bağlı olarak oluşabilecek arızaların belirlenmesi için Şekil 6.30'da gösterilen hesaplama şablonu oluşturulmuştur. Bu şablonda kullanıcı tarafından şebeke bilgileri, mevcut arıza sayısı tanımlandıktan sonra, yeni basınç seviyesine göre arıza frekansındaki değişimler hesaplanmaktadır. Bu hesaplama için önceki bölümlerde tanımlanan ve FAVAD denkleminde elde edilen yaklaşım esas alınmıştır.

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

Şekil 6.30 Basınç Yönetiminde Seçilen Basınç Seviyesine Göre Basınç-Arıza İlişkisinin Tanımlanması

6.6.4 Şebeke rehabilitasyonunun ekonomik analizi için hesaplama aracının geliştirilmesi

Fiziki kayıpların yönetilmesinde yaygın bir şekilde uygulanan ve genel olarak en yüksek maliyet oluşturan yaklaşım şebeke rehabilitasyonu yöntemidir. Bu yöntem yüksek maliyet oluşturduğu için en son seçenek olarak dikkate alınması sistem verimliliği açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, geliştirilen hesaplama aracında “şebeke rehabilitasyonu ekonomik analiz modülü” tanımlanmıştır. Bu modülde şebeke rehabilitasyonu uygulanmadan önce şebeke bilgileri, arıza oranları ve diğer işletme bilgileri esas alınarak fayda ve maliyetlerin hesaplanması mümkün olmaktadır. Bu amaçla öncelikle Şekil 6.31’de verilen verilerin sisteme tanımlanması gerekmektedir.

Verilerin Girilmesi	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.	8,000.00	m
Birim Su Üretim Maliyeti	PI analiz #45 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde "Veri Girişi" bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	2.00	TL/m3
Bölgede Kaydedilen Yıllık Şebeke Arıza Sayısı	PI analiz #34 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde "Veri Girişi" bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	20.00	adet
Bölgede Kaydedilen Yıllık Abone Arıza Sayısı	PI analiz #35 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde "Veri Girişi" bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	30.00	adet
Fiziksel Kayıp Miktarı	Su dengesi hesaplanmış ise "Fiziki Kayıplar (m3)" değeri alınacaktır. Aksi takdirde "Veri Girişi" 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 6.31 Şebeke Rehabilitasyonu İçin Temel Şebeke Verilerinin Tanımlanması

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 değiştirilebilmektedir. Bu maliyetler şebeke arızası ve servis bağlantı arızası için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Geliştirilen modülde detay analizlerin yapılabilmesi için Şekil 6.32’de 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 6.32 Ekip Yönetimi İçin Mevcut Şebekenin Tanıtılması

Sistemde PVC, DÜKTİL, HDPE, Çelik boruların inşaat maliyetlerinin boru çapına göre değişimleri sırasıyla Şekil 6.33'de gösterilmiştir.

PVC 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 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

Şekil 6.33 Rehabilitasyon Durumunda PVC Boru Döşeme Maliyetleri

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

Şekil 6.34 Rehabilitasyon Durumunda Düktül Boru Döşeme Maliyetleri

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

Şekil 6.35 Rehabilitasyon Durumunda HDPE Boru Döşeme Maliyetleri

Çelik 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 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 6.36 Rehabilitasyon Durumunda Çelik Boru Döşeme Maliyetleri

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.

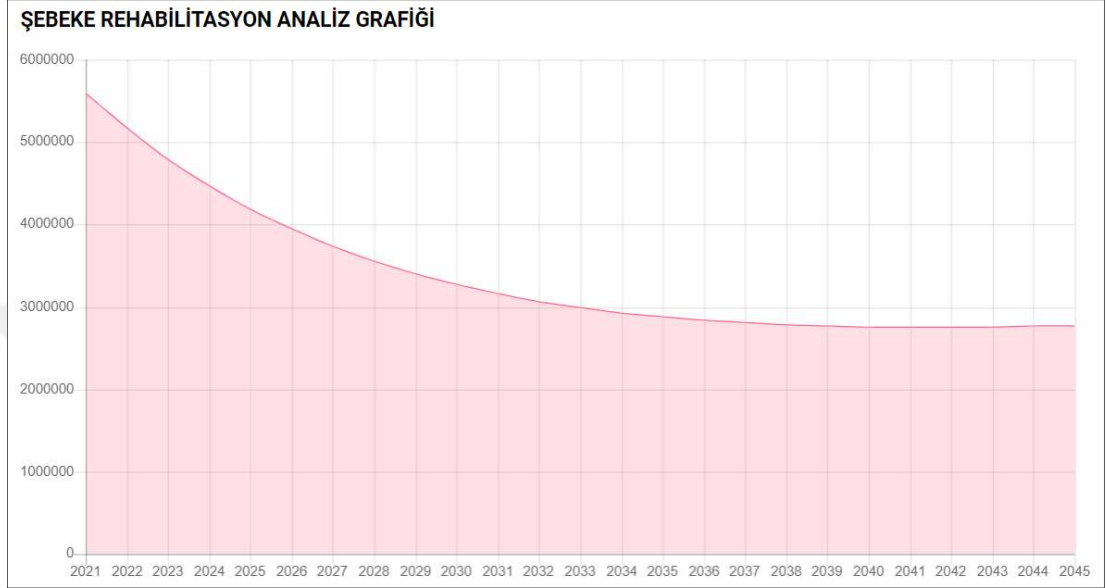
Yukarıda tanımlanan birim maliyetler, boru tipine göre birim değişim maliyetleri ve şebeke bilgileri esas alınarak hesaplama aracı tarafından belirlenen ilk maliyetler Şekil 6.37'de gösterilmektedir. Ayrıca rehabilitasyon analiz sonuçları Şekil 6.38'de verilmektedir.

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 6.37 İlk Maliyetlerin Hesabı

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.



Şekil 6.38 Rehabilitasyon Analiz Grafiği

ŞEBEKE REHABİLİTASYON ANALİZİ		
Şebekeye Kalan Faydalı Ömür	Hesaplanan Değer	Yıl
Şebekeye Kalan Faydalı Ömür	2,751,309.303	20

Bu şebekenin 20 yıllık ömrü kalmıştır

Şekil 6.39 Şebeke Rehabilitasyon Sonuç Sayfası

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.

6.6.5 Sayaç yönetiminin ekonomik analizi için hesaplama aracının geliştirilmesi

İçme suyu dağıtım sistemlerinde toplam GGS hacminin diğer önemli bileşeni idari kayıplardır. Bu idari kayıpları oluşturan en önemli alt bileşen ise sayaç hatalarından kaynaklanan kayıplar gösterilebilir. Bu kayıpların en aza indirilmesi ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilebilmesi için sayaç yönetimi planlarında ekonomik analizin yapılması oldukça önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada sayaç yönetimi için ekonomik analiz modülü geliştirilmiş ve hesaplama aracına eklenmiştir. Bu hesaplama modülünde Şekil 6.40'da gösterilen ve abonelere ait temel verilerin sisteme tanımlanması gerekmektedir.

Verilerin Girilmesi	Açıklama	Değer	Birim
Toplam Abone Sayısı	ILI analiz #4 verisi girilmişe ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde "Veri Girişi" bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	5,000.00	adet
10 Yaşından Yaşlı Sayaçların Tüm Sayaçlara Oranı	Kullanıcı tarafından girilmelidir.	10	%
Faturalandırılmış Ölçülmüş Yasal Tüketim	Su dengesi hesaplanmış ise "Faturalandırılmış Ölçülmüş Yasal Tüketim (m3)" değeri alınacaktır. Aksi takdirde "Veri Girişi" bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	150,000.00	m3
Suyun Birim m3 için Satış Bedeli	PI analiz #56 verisi girilmişe ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde "Veri Girişi" bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	3.50	TL / m3
Sayaç Değişim Bedeli	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 145	TL/adet
Sayaç Kalibrasyon Bedeli	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 10.08	TL/adet

Şekil 6.40 Sayaç Rehabilitasyonu İçin Temel Verilerin Tanımlanması

Hata Oranlarının Tanımlanması	Açıklama	Değer	Birim
10 Yaşından Yaşlı Sayaçların Hata Oranı	Fontanazza vd. (2014) çalışması referans alınarak hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 33	%
1. Kalibrasyon Sonucu Hata Oranı	Fontanazza vd. (2014) çalışması referans alınarak hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 29	%
2. Kalibrasyon Sonucu Hata Oranı	Fontanazza vd. (2014) çalışması referans alınarak hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 20	%
Değişim Sonucu Oluşacak Hata Oranı	Fontanazza vd. (2014) çalışması referans alınarak hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 5.50	%

Şekil 6.41 Sayaç Hata Oranlarının Tanımlanması (Fontanazza vd., 2014)

Söz konusu fayda maliyet hesaplarının yapılabilmesi için kullanıcıların abone sayısını, su satış fiyatını ve 10 yaşı geçmiş sayaç oranının sisteme tanımlaması gerekmektedir. Ayrıca bölge için su dengesi tablosu site içerisinde daha önce doldurulmuşsa, faturalandırılmış ölçülmüş yasal tüketim değeri de dikkate alınarak hesaplamalar yapılabilir. Su dengesi hesaplanmamışsa bu değişkeninde veri giriş ekranından girilmesi gerekmektedir.

1. Kalibrasyon Fayda / Maliyet	Açıklama	Değer	Birim
Kalibrasyon Sonucu Elde Edilecek Fayda Debisi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	1,791.04	m3/2 yıl
Kalibrasyon Sonucu Elde Edilecek Fayda Maliyeti	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	6,268.64	TL
Kalibrasyon Maliyeti	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	5,040.00	TL
2. Kalibrasyon Fayda / Maliyet	Açıklama	Değer	Birim
Kalibrasyon Sonucu Elde Edilecek Fayda Debisi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	5,820.90	m3/2 yıl
Kalibrasyon Sonucu Elde Edilecek Fayda Maliyeti	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	20,373.15	TL
Kalibrasyon Maliyeti	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	10,080.00	TL
Sayaç Değişim Fayda / Maliyet	Açıklama	Değer	Birim
Kalibrasyon Sonucu Elde Edilecek Fayda Debisi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	12,313.43	m3/2 yıl
Kalibrasyon Sonucu Elde Edilecek Fayda Maliyeti	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	43,097.01	TL
Kalibrasyon Maliyeti	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	72,500.00	TL

Şekil 6.42 Sayaç Kalibrasyon ve Değişim Durumlarında Elde Edilecek Fayda ve Maliyetlerin Kıyaslanması

Yapılan hesaplamalar sonucunda sayaçlar için 3 farklı senaryonun fayda ve maliyetleri hesaplanmıştır. Örnek verilen bu sistem için sayaçların kalibre edilmesinin sayaçların tamamen değiştirilmesinden daha ekonomik ve faydalı sonuçlar verdiği görülmektedir. Her ne kadar sayaçların değiştirilmesi ile sisteme daha çok su kazandırılrsa da, değişim için harcanacak bedelin elde edilecek fayda maliyetinden yüksek olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak sayaç rehabilite programlarının su kayıp yönetiminde önemli bir yer aldığı ve uygulamaların da ciddi maliyetler oluşturduğu görülmektedir. Bu nedenle yapılması planlanan çalışmalarda öncelikli olarak fayda/maliyet analizlerinin yapılarak en iyi sonuçları stratejilerin izlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda oluşturulan sayaç rehabilitasyon fayda maliyet modülü ile kullanıcıların bu hesaplamaları kolay ve hızlı bir şekilde yapmasına imkan tanınmıştır.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada sistem ve su kayıp bileşenleri, önleme yöntemlerinin gereksinimleri, kısıtları ve maliyet bileşenleri göz önünde bulundurularak; ekonomik kaçak seviyesinin tanımlanması, bu seviyeye ulaşmak için en uygun basınç seviyesinin ve ekip sayısının belirlenmesi için optimizasyon tabanlı model geliştirilmiştir. Bunun için Malatya ve Kayseri merkez dağıtım sistemleri uygulama alanı olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında toplam 24 DMA bölgesinde; “su kayıp yönetimi ana bileşenleri için fayda-maliyet analiz standardının belirlenmesi”, “fayda ve maliyetleri hesaplanan su kayıp azaltma yöntemleri doğrultusunda şebekenin ekonomik kaçak seviyesinin algoritmalar ile belirlenmesi”, “sınırlı bütçe ile ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi ile uygulanacak kayıp azaltma yöntemlerinin belirlenmesi” ve “basınç yönetimi ve akustik dinleme yöntemlerinin altyapı kaçak indeksi (ILI) ile arasındaki ilişkinin belirlenmesi” çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda her bölge için EKS seviyesi hesaplanmış ve idareler için yol haritaları oluşturulmuştur.

Su kayıp yönetimi ana bileşenleri için fayda-maliyet analiz standardının belirlenmesi kapsamında yapılan çalışmalar kapsamında;

- Şebekenin mevcut durumları için gelir getirmeyen su bileşenleri hesaplanmış ve fiziki kayıplar ve idari kayıplar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.
- Su kayıp yönetiminde uygulanan temel yöntemler, basınç yönetimi, aktif kaçak yönetimi, arıza ekip yönetimi ve sayaç yönetimi için fayda/maliyet ve ekonomik bileşenler çerçevesinde detaylı analiz ve değerlendirmeler yapılmıştır.
- İçmesuyu dağıtım sistemlerinde ekonomik sızıntı seviyesinin belirlenmesi için yapılacak çalışmalarda gerek sistem giriş ve çıkış debilerinin daha sağlıklı kontrol edilebilmesi gerekse de uygulanan su kayıp azaltma yöntemlerinin izole bölge (DMA) oluşturulmadan uygulanamayacak ve izlenemeyecek olması nedeniyle EKS belirlemede öncelikli olarak izole bölgelerin oluşturulması gerektiği ortaya konulmuştur.
- Bu kapsamda izole bölge tasarımı ile su kayıplarının izlenmesi ve arıza onarım aşamalarını içeren ve (debimetre odası, izolasyon vanası imalatı, sıfır basınç testi yapılması ve izleme-işletme) maliyetleri hesaplayan bir modül geliştirilmiştir.

Fayda ve maliyetleri hesaplanan su kayıp azaltma yöntemleri doğrultusunda şebekenin ekonomik kaçak seviyesinin algoritmalar ile belirlenmesi çalışması kapsamında:

- Sürdürülebilir içmesuyu dağıtım sisteminin bileşenlerini, gereksinimlerini ve maliyet bileşenlerini dikkate alarak en uygun basınç seviyesini ve ekip sayısını belirlemek ve EKS'ni tanımlamak için optimizasyona dayalı yeni bir model geliştirilmiştir.
- EKS değerinin hesaplanmasında şebeke basıncının ve arıza ekip sayısının optimize edilmesi gerektiği bilindiğinden, bu iki değer, hesaplama karmaşıklığı az olan ve önerilen uzman sistemle aynı anda çalışabilen gelişmiş bir algoritma olan DSO algoritması tarafından optimize edilmiştir.
- Seçilen DMA19 bölgesi için yapılan hesaplamalar sonucunda; sistem için hesaplanan optimal değerlerde basıncın 40 m'den 28.55m'ye düşürülmesi gerektiği hesaplanmış ve örnek sistem için ekip sayısı 4 olarak hesaplanmıştır. Böylece sistem için EKS hacim olarak 1.56 l/s ve yüzde olarak %13.27 olarak hesaplanmıştır.
- Söz konusu EKS ulaşılması için gereken yol ve yöntemlerde kurulan algoritma yardımıyla hesaplanmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar neticesinde sistemin kayıp miktarı 3.68 l/s'den, kayıp azaltma yöntemleri ile 2.32 l/s sisteme kazandırılacağı görülmektedir.
- DMA19 için basınç yönetimi ile 1.53 l/s, aktif kaçak yöntemi ile 0.64 l/s ve sayaç yönetimi ile 0.15 l/s su kazanılabileceği hesaplanmıştır. Ekip artırımının DMA19 için ekonomik bir yöntem olmadığı ortaya konulmuştur.
- Bu çalışma ile literatürde ilk defa böyle bir algoritmik yapı ile yönetime öneriler sunabilecek bir yapı oluşturulmuştur. Önerilen yapı, istenen boyuttaki içmesuyu dağıtım sistemlerine uygulanacak kadar esnektir. Her ölçekte su kayıp yönetiminin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi önerilen algoritmalar ile mümkün olmaktadır.

Sınırlı bütçe ile ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi ve uygulanacak kayıp azaltma yöntemlerinin belirlenmesi;

- Çalışma kapsamında içmesuyu dağıtım sistemleri için hesaplanmış olan EKS algoritması geliştirilerek kısıtlı bütçe ile optimizasyona dayalı yeni bir EKS hesaplama modülü geliştirilmiştir.
- Sistem için bütçe kısıtlaması su gelirinin belirli bir yüzdesi olarak kullanıcı tarafından belirlenecek şekilde algoritmik yapı kurulmuş ve belirlenecek bu değere karşılık olarak EKS hesaplanmıştır.
- Geliştirilen sistem doğrultusunda seçilen örnek bölge (DMA23) için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda bütçe kısıtı olmaması halinde sistem için ekonomik kaçak seviyesi hacim olarak 2.15 l/s, yüzde olarak % 8.62 olarak hesaplanmıştır. Daha sonra aynı bölgede hesaplamalar kaçakla mücadele bütçe oranının %20, %15 ve %5 olması durumu için yeniden yapılmıştır.
- Yapılan hesaplamalar sonucunda %20 kısıtlı bütçe ile 10.97 l/s suyun sisteme kazandırılacağı ve 133,941.00 TL maliyet ile (ayrılan bütçe %20, 174,419.00 TL) EKS %18.02 olarak (4.5 l/s) hesaplanmıştır.
- Benzer şekilde %15 kısıt olması durumunda toplamda 123,400 TL harcama ile 10.19 l/s su sisteme kazandırılmış olup, EKS %21.14 (5.28 l/s) olarak hesaplanmıştır.
- Kısıt oranının %5 olması durumunda 19,500.00 TL harcama yapılarak 1.28 l/s su kazandırılacağı görülmüş ve EKS %56.82 (14.19 l/s) hesaplanmıştır.
- Yapılan çalışmalar sonucunda seçilen bölge için şebeke GGS miktarının (15.47 l/s) ve oranının (%61.98) bütçe durumuna göre uygulanacak yöntemler ile %8 ile %56 arasında revize edilebileceği görülmüştür. Hazırlanan bu algoritma ile idareler için herhangi bir bütçe ile EKS hesaplanması imkânı sunulmuştur.

Basınç yönetimi ve akustik dinleme yöntemlerinin altyapı kaçak indeksi (ILI) ile arasındaki ilişkinin belirlenmesi çalışması kapsamında ise;

- Su kayıp azaltma yöntemleri olan basınç yönetimi ve akustik dinleme yönteminin aynı anda uygulanması durumunda şebeke için optimum basınç seviyesinin hesaplanması gerekliliği ortaya konulmuştur.

- Bu amaçla uygulama alanında 6 izole bölge için uygulama gerçekleştirilmiştir ve bu kapsamda her bölge için GGS hacmi ve oranı, UARL, CARL değerleri hesaplanmıştır. Mevcut koşullarda GGS oranlarının %21.05 (DMA24) ile %68.89 (DMA22) arasında değiştiği ve oldukça yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir.
- Yapılan hesaplamalar sonucunda 4 bölgede (DMA21, DMA22, DMA23, DMA24) ALC uygulaması için faydalı debinin sıfır (0) olarak elde edilmiştir. Bu nedenle bu bölgelerde aktif kaçak yönteminin uygulanmasının ekonomik olmayacağı sonucuna varılmıştır.
- DMA19 ve DMA23 için en uygun basınç seviyeleri 28 m ve 26 m olarak belirlenmiştir. Bu seviye bölge için her iki kayıp azaltma yöntemiyle beraber elde edilecek maksimum kazanç debisinin elde edildiği seviyedir.
- Sistemin mevcut performansından ve ILI değerinden bağımsız olarak; özellikle birim su üretim maliyetlerinin düşük olduğu ve birim uzunluğa düşen abone ve kayıp miktarlarının düşük olduğu bölgelerde ALC uygulamasının ekonomik olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Birim uzunluğa düşen abone sayısının nispeten yüksek, su üretim maliyetinin şebeke ortalamasında olduğu düşünüldüğünde bölgelerde ALC yöntemiyle ciddi kazanımlar elde edileceği görülmüştür.
- DMA'larda, basınç yönetimi ile 0.6 l/s (DMA9) ile 8.21 l/s (DMA8) arasında sızıntının azaltılabileceği görülmüştür. DMA4 ve DMA9'da sırasıyla 0.92 l/s ve 0.60 l/s kazanımlar elde edilerek GGS oranlarında yaklaşık %4'lük (%38.98'den 34.30'a ve %24.47'den %20.04'e) bir azalma meydana geleceği hesaplanmıştır.
- Aynı bölgelerde GGS'de azalma olmasına rağmen ILI oranlarında artış meydana gelmiştir. DMA4'te başlangıç ILI değeri 19.20 (D sınıfı) iken basınç yönetiminin sonunda 23.54 (D sınıfı) hesaplanmıştır. DMA6'da ILI değeri 3.97'den (A sınıfı) 5.12'ye (B sınıfı) yükseldiği görülmüştür.

Yukarıda yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucunda ekonomik kaçak seviyesinin hesaplanması ve sürdürülebilir bir su yönetim planının ortaya konulabilmesi için aşağıda verilen hususların göz önünde bulundurulması önerilmektedir;

- İçmesuyu dağıtım sistemlerinde su kayıpları ile mücadele ciddi bir önem arz etmektedir. Tüm şebekelerin kendine has özellikleri ve bağlı oldukları ülkelerin farklı ekonomik kıstasları olduğu düşünüldüğünde her şebeke için

ekonomik kaçak seviyesinin farklı olduğu görülecektir. Bu nedenle Su ve Kanal İdareleri ile Belediyelerin su yönetiminde yönettikleri şebekelerin mevcut durumlarını göz önüne alarak kayıp ve kaçaklarla mücadele etmeleri gerekmektedir.

- İçmesuyu dağıtım sistemlerinde EKS'nin belirlenebilmesi için öncelikle su kayıplarını önleme yöntemleri iyi anlaşılmalı ve analiz edilmelidir. Su kayıplarının azaltılması için kullanılacak her yöntem bir maliyet doğuracağı gibi, şebekenin mevcut durum ve özelliklerine göre çeşitli faydalar sağlayacaktır. Bu nedenle yapılacak çalışmalarda su kayıp yönetiminde uygulanan temel yöntemler için ekonomik bileşenler çerçevesinde detaylı analiz ve değerlendirmeler yapılmalıdır.
- Başarılı bir basınç yönetim sistemi kurulması halinde arıza sayılarında ve anlık su kaybı değerlerinde azalma olacağı bilinmektedir. Bu nedenle EKS belirlenmesinde kullanılmak üzere, basınç kontrol yöntemi ile elde edilecek faydalar (sızıntı değişimi ve arıza sayısı değişimi) hesaplanmalı ve basınç değişkeninin diğer kayıp azaltma yöntemleri üzerindeki etkileri de araştırılmalıdır.
- Aktif kaçak kontrolü fiziksel su kayıplarıyla mücadelede önemli bir yer tutmaktadır. Bu yöntemle ciddi miktarlarda su kaybı azaltılabilir. Aynı zamanda bu yöntem ciddi uygulama maliyetleri de doğurmaktadır. Bu nedenle ekonomik kaçak seviyesinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda aktif kaçak kontrolü ile sisteme kazandırılacak ekonomik su miktarı her bölge için ayrı ayrı hesaplanmalıdır.
- Sayaç rehabilitasyon yönteminde; 10 yaşı geçmiş sayaçların değiştirilmesi veya kalibre edilmesi ile idari kayıplarda azalma meydana gelecektir. Ekonomik kaçak seviyesinin tespit edilmesi ve buna bağlı kayıpların azaltılması çalışmalarında, sayaç rehabilitasyonu seçeneği; yapılacak fayda/maliyet analizleri ile değerlendirilmeli, sayacın değiştirilmesinin mi yoksa kalibre edilmesinin mi daha faydalı olduğu bölgeler için ortaya konulmalıdır.
- İçmesuyu şebekelerinde bir diğer önemli kaçak azaltma yöntemi ise, arıza onarım ekiplerinin optimizasyonudur. Bu analizin sağlık şekilde yapılabilmesi için öncelikle mevcut yıllık arıza sayısının, ortalama arıza çözüm süresinin ve mevcutta bulunan arıza onarım ekip sayılarının bilinmesi gerekmektedir. Artırılan her ekip çözüm süresini belli bir oranda kısaltacak, bu da su kaybında bir azalmaya

neden olacaktır. Ayrıca yine artırılan her ekip için aylık düzenli olarak belli bir ücret ödenmesi gerekmektedir. Faydalar toplamının maliyetler toplamından büyük olması durumunda, ekip sayısının belirtilen sayı kadar artırılması önerilir. Ekip yönetimi uygulaması mutlaka faydaları ve maliyetleri detaylıca analiz edildikten sonra uygulanmalıdır.

- ALC yönteminin uygulanması için ILI değerinin tek başına bir referans olarak kabul edilemeyeceği ortaya konmuştur. ALC yöntemi fayda analizi şebekenin temel özelliklerini, kayıp miktarlarını ve özellikle su üretim/işletim maliyetlerini dikkate aldığından ILI değerinden bağımsız sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu nedenle yapılması planlanan çalışmalardan önce şebeke mevcut durumuna göre yöntem değerlendirilmelidir.
- Sızıntı azaltma yöntemlerinden basınç yönetiminin kullanıldığı bölgelerde de tek başına ILI değerinin kullanılmasının performans analizinde yanıltıcı sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir. Performans analizinde çok önemli bir yeri olan ILI parametresi tek başına basınç yönetiminin performansını değerlendirmede yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle yapılacak basınç yönetimi çalışmalarında ILI ile birlikte çeşitli performans göstergeleriyle de sistemin değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Su kayıplarıyla mücadelede basınç yönetimi ve akustik dinleme yöntemleri (ALC) önemli bir yer tutmaktadır. Oluşturulan alt bölgelerde yapılacak kayıp azaltma çalışmaları ile kayıp oranlarının azaltılması mümkün olmaktadır. Ancak su kayıp azaltma yöntemlerinin gerek maliyetleri gerekse birbirleriyle olan ilişkileri göz önünde bulundurulduğunda uygulamadan önce elde edilecek muhtemel faydaların hesaplanması gerekmektedir. Özellikle basınç gibi ortak değişkenlerin olduğu yöntemler birlikte kullanılırken mutlaka optimum değerler hesaplanmalıdır.
- Bu çalışmada optimum EKS'ni hesaplamak için kayıpları ve maliyetleri etkileyen tüm değişkenler ve yapılar belirlenmiştir. Daha sonra bu bileşenlerin hesaplanması için gerekli altyapı oluşturulmuş ve tüm ortak değişkenlerin aynı anda çalışması sağlanmıştır. Elde edilen tüm yapılar Matlab ortamına aktarılmış ve EKS analizinde kullanılan tüm sistem ve yönlendirme kısıtlamalarını dikkate alabilen, Matlab ortamında uzman bir sistem olarak hareket eden algoritmik bir yapı geliştirilmiştir. Su kanal idareleri için, gelir getirmeyen su oranlarının hedefleri konulurken şebekenin özelliklerini dikkate alan bu algoritmik yapının

kullanılması durumunda; uzun vadeli, ekonomik ve sürdürülebilir su yönetim planları oluşturula bilecektir.

- Dünya’da ve Türkiye’de su idareleri ve su kuruluşları her yılın başında yıllık harcama bütçesini belirlemektedir. Her ne kadar EKS kapsamında belirlenen uygulamaların idarelere mali olarak geri dönüşü olacağı bilinse de, yapılacak çalışmalar için harcanması gereken toplam tutarın, kayıplar için ayrılan bütçeden fazla olması olası bir durumdur. Bu durumlarda EKS hesabı için su üretim maliyetinden farklı olarak toplam bütçe kısıtı da eklenmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Kurulan algoritma bütçenin sınırlı olma durumuna göre de EKS hesaplayabilmektedir. Böylelikle belirlenen bütçe sınırları içerisinde EKS seviyeleri hesaplanmakta ve idareler için hedefler ortaya konulmalıdır.

8. KAYNAKÇA

- Aboelnga, H., Saidan, M., Al-Weshah, R., Sturm, M., Ribbe, L., ve Frechen, F.B.** (2018). Component analysis for optimal leakage management in Madaba, Jordan. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 67 (4), 384–396.
- Agathokleous, A. ve Christodoulou, S.** (2017). Component-holistic condition assessment of water distribution networks. *Journal of Water Supply: Research and Technology*, 64:7, 509–519.
- Ahopelto, S. ve Vahala, R.** (2020). Cost-Benefit Analysis of Leakage Reduction Methods in Water Supply Networks. *Water*, 12 (1), 195.
- Al-Aghbar, A.** (2005). Automated selected trenchless technology for the rehabilitation of water mains. Concordia Univ., Canada.
- Al-Ghamdi, A.S.** (2011). Leakage–pressure relationship and leakage detection in intermittent water distribution systems. *Research and Technology - AQUA*, 60 (3), 178–183.
- Al-Washali, T., Sharma, S., Al-Nozaily, F., Haidera, M., ve Kennedy, M.** (2019). Modelling the leakage rate and reduction using minimum night flow analysis in an intermittent supply system. *Water*, 11 (48).
- AL-Washali, T., Sharma, S., AL-Nozaily, F., Haidera, M., ve Kennedy, M.** (2018). Modelling the leakage rate and reduction using minimum night flow analysis in an intermittent supply system. *Water (Switzerland)*, 11 (1).
- AL-Washali, T., Sharma, S., ve Kennedy, M.** (2016). Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review. *Water Resources Management*, 30 (14), 4985–5001.
- AL-Washali, T., Sharma, S., Lupoja, R., AL-Nozaily, F., Haidera, M., ve Kennedy, M.** (2020). Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply. *Resources, Conservation and Recycling*, 152 (September 2019), 104515.
- Al-Zahrani, M. Abo-Monasar, A. Sadiq, R.** (2016). Risk-based prioritization of water main failure using fuzzy synthetic evaluation technique. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 65 (2), 145–161.
- Alvisi, S., Luciani, C., ve Franchini, M.** (2019). Using water consumption smart metering for water loss assessment in a DMA: a case study. *Urban Water Journal*, 18 (1), 77–83.
- Amoatey, P., Minke, R., ve Steinmetz, H.** (2018). Leakage estimation in developing country water networks based on water balance, minimum night flow and component analysis methods. *Water Practice and Technology*, 13, 96–105.
- Arregui, F., Balaguer, M., ve Soriano, J.** (2015). Quantifying measuring errors of new residential water meters considering different customer consumption patterns. *Urban Water Journal*, 12, 1–13.

- Aşchileana, I., Badea, G., Giurca, I., ve Iloaie, F.G.** (2017). Choosing the optimal technology to rehabilitate the pipes in water distribution systems using the AHP method. *Sustainable Solutions for Energy and Environment*, 112, 19–26.
- Asi, H. ve Duchi, J.C.** (2019). The importance of better models in stochastic optimization. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116 (46), 22924–22930.
- Ates, A., Alagoz, B.B., Kavuran, G., ve Yeroglu, C.** (2020). Fine-Tuning of Feedback Gain Control for Hover Quad Copter Rotors by Stochastic Optimization Methods. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, 1–10.
- AWWA.** (2016). *Water Distribution Grades 1 & 2 WSO: AWWA Water System Operations WSO*.
- Aydogdu, M. ve Firat, M.** (2015). Estimation of Failure Rate in Water Distribution Network Using Fuzzy Clustering and LS-SVM Methods. *Water Resources Management*, 29 (5), 1575–1590.
- Babunski, D., Zaev, E., Tuneski, A., ve Bozovic, D.** (2018). Optimization methods for water supply SCADA system. *2018 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2018 - Including ECYPS 2018, Proceedings*, (June), 1–4.
- Baghirathan, B. ve Parker, J.** (2017). A Guide To Non-Revenue Water Reduction: How To Limit Losses, Strengthen Commercial Viability And Improve Services. *Water and Sanitation for the Urban Poor (WSUP)*.
- Berardi, L., Laucelli, D., Ugarelli, R., ve Giustolisi, O.** (2015). Leakage management: Planning remote real time controlled pressure reduction in Oppegård municipality. *Procedia Engineering*, 119 (1), 72–81.
- Berardi, L., Laucelli, D.B., Simone, A., Mazzolani, G., ve Giustolisi, O.** (2016). Active Leakage Control with WDNNetXL. *Procedia Engineering*, 154, 62–70.
- Bishop, N., Somer, S., Birnhack, Li., ve Kadinski, L.** (2019). Rehabilitation of Water Distribution Systems following a Cadmium Contamination Intrusion-A Solution Based on Water Quality and Water Distribution Systems Modeling. *In: World Environmental and Water Resources Congress 2019*.
- Bonthuys, G., Dijk, M., ve Cavazzini, G.** (2019). Leveraging water infrastructure asset management for energy recovery and leakage reduction. *Sustainable Cities and Society*, 46.
- Booyesen, M.J., Ripunda, C., ve Visser, M.** (2019). Results from a water-saving maintenance campaign at Cape Town schools in the run-up to Day Zero. *Sustainable Cities and Society*, 50.
- Boztaş, F., Özdemir, Durmuşçelebi, F.M., ve Firat, M.** (2019). Analyzing the effect of the unreported leakages in service connections of water distribution networks on non-revenue water. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16 (8), 4393–4406.

- Brentan, B.M., Luvizotto, E., Montalvo, I., Izquierdo, J., ve Pérez-García, R.** (2017). Near real time pump optimization and pressure management. *Procedia Engineering*, 186, 666–675.
- Brentan, B.M., Meirelles, G., ve Luvizotto, E.** (2019). Optimal pressure management in water distribution networks through district metered area creation based on machine learning. *RBRH*, 24.
- Bui, K., Marlim, M., ve Kang, D.** (2020). Water Network Partitioning into District Metered Areas: A State-Of-The-Art Review. *Water*, 12 (4), 1002.
- Cabral, M., Loureiro, D., Almeida, M., ve Covas, D.** (2019). Estimation of costs for monitoring urban water and wastewater networks. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 68:2, 87–97.
- Cabrera, E., Pardo, M.A., Cabrera, E., ve Arregui, F.J.** (2013). Tap Water Costs and Service Sustainability, a Close Relationship. *Water Resources Management*, 27 (1), 239–253.
- Campbell, E., Izquierdo, J., Montalvo, I., ve Pérez-García, R.** (2016). A novel water supply network sectorization methodology based on a complete economic analysis, including uncertainties. *Water (Switzerland)*, 8 (5).
- Candelieri, A., Soldi, D., ve Archetti, F.** (2015). Cost-effective sensors placement and leak localization – the Neptun pilot of the ICeWater Project. *Journal of Water Supply: Research and Technology—*, 64–5, 567–582.
- Charalambous, B. ve Kanellopoulou, S.** (2010). Applied Pressure Management Techniques to Reduce and Control Leakage. *Proceedings of the IWA International Specialised Conference 'Water Loss 2010'*, 1–12.
- Chisakuta, S., Mayumbelo, K., Mulenga, K., Simbeye, I., Wegelin, W., McKenzie, R., ve Andres, D.** (2011). Non-revenue water: trainers manual. *Germany: German Foundation for International Cooperation (GIZ)*.
- Choi, G.W., Geun Jo, H., Park, H., ve Jang, D.** (2020). Application of decision making model for leakage reduction to economic project in water distribution systems. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*.
- Christodoulou, S. ve Deligianni, A.** (2009). A Neurofuzzy Decision Framework for the Management of Water Distribution Networks. *Water Resour Manage*, 24, 139–156.
- Clement, J.A. ve Schock, M.A.** (1995). You Can't Do That With These Datal Or: Uses and Abuses of Tap Water Monitoring Analyses. *Proceedings of the National Conference on Environmental Problem-Solving with Geographic Information Systems*, 31–41.
- Coates, J.** (2003). Water Main Shutdown Application Prevents Costly Mistakes. *ArcUser, ESRI*, 6 (1), 20–21.
- Creaco, E., Campisano, A., Fontana, N., Marini, G., Page, P.R., ve Walski, T.** (2019). Real time control of water distribution networks: A state-of-the-art review. *Water Research*, 161, 517–530.

- Creaco, E. ve Haidar, H.** (2019). Multiobjective Optimization of Control Valve Installation and DMA Creation for Reducing Leakage in Water Distribution Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145 (10).
- Creaco, E. ve Walski, T.** (2017). Economic analysis of pressure control for leakage and pipe burst reduction. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143 (12), 1–11.
- Criminisi, A., Fontanazza, C.M., Freni, G., ve Loggia, G.L.** (2009). Evaluation of the Apparent Losses Caused by Water Meter under-Registration in Intermittent Water Supply. *Water Science and Technology*, 60, 2373–2383.
- Darsana, P. ve Varija, K.** (2018). Leakage Detection Studies for Water Supply Systems—A Review, 141–150.
- Davis, S.E.** (2005). Residential Water Meter Economics. *Leakage 2005*.
- Deidda D., Sechi, G.M., ve Zucca, R.** (2014). Finding economic optimality in leakage reduction: A cost-simulation approach for complex urban supply systems. *Procedia Engineering*, 70, 477–486.
- DiMichele, A.V., Giles, H.J., ve Ghooprasert, W.** (1988). A simple economic model for the selection of the optimum method of leakage control. *Water International*, 13, 92–97.
- Durmuşçelebi, F.** (2018). Su kayıplarının azaltılması için içme suyu dağıtım sistemlerinin rehabilitasyonu ve fayda-maliyet analizi. İnönü Üniversitesi.
- Elshaboury, N., Attia, T., ve Marzouk, M.** (2020). Application of Evolutionary Optimization Algorithms for Rehabilitation of Water Distribution Networks. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146 (7).
- Ermoliev, Y., Ermolieva, T., Kahil, T., Obersteiner, M., Gorbachuk, V., ve Knopov, P.** (2019). Stochastic Optimization Models for Risk-Based Reservoir Management. *Cybernetics and Systems Analysis*, 55 (1), 55–64.
- Ezbakhe, F. ve Foguet, A.** (2019). Embracing data uncertainty in water decision-making: an application to evaluate water supply and sewerage in Spain. *Water Supply*, 19 (3), 778–788.
- Fallis, P., Hübschen, K., Oertlé, E., Ziegler, D., Klingel, P., Knobloch, A., Baader, J., Trujillo, R., ve Christine Laures.** (2011). Guidelines for Water Loss Reduction, 236.
- Fanner, P. ve Lambert, A.** (2009). Calculating SRELL with pressure management, active leakage control and leak run-time options, with confidence limits. *Proc., WaterLoss 2009, IWA Int. Conf., IWA Publishing*, 373–380.
- Fanner, P., Thornton, J., Liemberger, R., ve Sturm, R.** (2007). Evaluating water loss and planning loss reduction strategies. *In: Awwa Research Foundation*.
- Fantozzi, M., Calza, F., ve Lambert, A.** (2009). Experience and Results Achieved in Introducing District Metered Areas (DMA) and Pressure Management Areas (PMA) at Enia Utility (Italy). *Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction*

Specialist Conference, (April), 153–160.

- Farley, M.** (2001). Leakage monitoring and control. *Leakage Management and Control, WHO*, 58–98.
- Farley, M. ve Liemberger, R.** (2005). Developing a non-revenue water reduction strategy: planning and implementing the strategy. *Water Science and Technology: Water Supply*, 15 (1), 41–50.
- Farley, M. ve Trow, S.** (2003). Losses in Distribution Networks. *In: An examination of the benefits of leak detection*. ISBN 1 900222 11 6.
- Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z.B.M., Istandar, A., ve Singh, S.** (2008). *The Manager's Non-Revenue Water Handbook. A Guide to Understanding Water Losses*.
- Ferrari, G. ve Savic, D.** (2015). Economic performance of DMAs in water distribution systems. *Procedia Engineering*, 119 (1), 189–195.
- Fontana, N., Giugni, M., Glielmo, L., Marini, G., ve Zollo, R.** (2018). Real-time control of pressure for leakage reduction in water distribution network: Field experiments. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144 (3), 1–12.
- Fontanazza, C.M., Notaro, V., Puleo, V., ve Freni, G.** (2015). The apparent losses due to metering errors: a proactive approach to predict losses and schedule maintenance. *Urban Water Journal*, 12 (3), 229–239.
- Francisque, A., Tesfamariam, S., Kabir, G., Haider, H., Reeder, A., ve Sadiq, R.** (2017). Water mains renewal planning framework for small to medium sized water utilities: a life cycle cost analysis approach. *Urban Water Journal*, 14 (5), 493–501.
- Girard, M. ve Stewart, R.A.** (2007). Implementation of pressure and leakage management strategies on the gold coast, Australia: Case study. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 133 (3), 210–217.
- Giustolisi, O., Laucelli, D., ve Savic, D.A.** (2006). Development of rehabilitation plans for water mains replacement considering risk and cost-benefit assessment. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 23 (3), 175–190.
- Gomes, R., Marques, A.S., ve Sousa, J.** (2011). Estimation of the benefits yielded by pressure management in water distribution systems. *Urban Water Journal*, 8 (2), 65–77.
- Gomes, R., Marques, A.S.A., ve Sousa, J.** (2013). District Metered Areas Design Under Different Decision Makers' Options: Cost Analysis. *Water Resources Management*, 27 (13), 4527–4543.
- Gomes, R., Sousa, J., ve Marques, A.S.** (2014). Influence of Future Water Demand Patterns on the District Metered Areas Design and Benefits Yielded by Pressure Management. *International Computing & Control for the Water Industry Conference*, 70, 744–752.

- Grayman, W., Murray, R.E., ve Savic, D.A.** (2009). Effects of redesign of water distribution system for water security and water quality factors. *Proc. EWRI-ASCE World Water & Envir. Resources Congress*.
- Griffin, A.** (1983). An examination of the benefits of leak detection. *Sacramento: California Department of Water Resources*. Office of Water Conservation.
- Güngör, M., Yarar, U., Cantürk, Ü., ve Firat, M.** (2019). Increasing performance of water distribution network by using pressure management and database integration. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 10 (2), 1–8.
- Gupta, R., Nair, A.G.R., ve Ormsbee, L.** (2016). Leakage as pressure-driven demand in design of water distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142 (6), 1–14.
- Haider, H., Al-Salamah, I.S., Ghazaw, Y.M., Abdel-Maguid, R.H., Shafiquzzaman, M., ve Ghumman, A.R.** (2019). Framework to establish economic level of leakage for intermittent water supplies in arid environments. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145 (2), 1–12.
- Hardeman, S.** (2009). Defining the Economic Leakage Level. *New Mexico Rural Water Association 2009 Annual Conference*.
- Hazelton, D.** (2019). WC/WDM: implementing leakage reduction - water management. *Water&Sanitation Africa*, 14 (2), 41–44.
- He, S., Wu, Q.H., ve Saunders, J.R.** (2009). Group search optimizer: An optimization algorithm inspired by animal searching behavior. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 13 (5), 973–990.
- Holtschulte, H.** (1989). Causes and assessment of water losses. *Water Supply: The Review Journal of the International Water Supply Association*, 7, 2–3.
- Howarth, D.A.** (1998). Arriving at the economic level of leakage: Environmental aspect. *CIWEM's symposium True Cost of Pipelines.*, 12, 197–201.
- Howe, C.V.** (1971). Savings recommendations with regard to water-system losses. *Journal of the American Water Works Association*, 63 (5), 284–286.
- Hudson, W.D.** (1978). Increasing water system efficiency through control of unaccounted-forwater. *Journal of the American Water Works Association*, 362–365.
- Islam, M.S. ve Babel, M.S.** (2013). Economic analysis of leakage in the Bangkok water distribution system. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139 (2), 209–216.
- Jafari-Asl, J., Sami Kashkooli, B., ve Bahrami, M.** (2020). Using particle swarm optimization algorithm to optimally locating and controlling of pressure reducing valves for leakage minimization in water distribution systems. *Sustainable Water Resources Management*, 6 (4), 1–11.
- Jensen, O. ve Nair, S.** (2019). Integrated Urban Water Management and Water Security: A Comparison of Singapore and Hong Kong. *Water*, 11 (4), 785.

- Kafle, M.D. ve Narasimhan, S.** (2020). Active acoustic leak detection in a pressurized PVC pipe. *Urban Water Journal*, 17 (4), 315–324.
- Kanakoudis, V. ve Gonelas, K.** (2009). Estimating the Economic Leakage Level in a Water Distribution System, (June), 1–7.
- Kanakoudis, V. ve Gonelas, K.** (2014). Applying pressure management to reduce water losses in two greek cities' WDSs: Expectations, problems, results and revisions. *Procedia Engineering*, 89, 318–325.
- Kanakoudis, V. ve Gonelas, K.** (2015). Estimating the Economic Leakage Level in a water distribution system. *Water Resources Management in a Changing World: Challenges and Opportunities*, 1–7.
- Kanakoudis, V. ve Gonelas, K.** (2016). Non-revenue water reduction through pressure management in Kozani's water distribution network: from theory to practice. *Desalination and Water Treatment*, 57 (25), 11436–11446.
- Karaboga, D. ve Basturk, B.** (2008). On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm. *Applied soft computing*, 8 (1), 687–697.
- Karadirek, I.E., Kara, S., Yilmaz, G., Muhammetoglu, A., ve Muhammetoglu, H.** (2012). Implementation of Hydraulic Modelling for Water-Loss Reduction Through Pressure Management. *Water Resources Management*, 26 (9), 2555–2568.
- Kennedy, J. ve Eberhart, R.C.** (1997). A discrete binary version of the particle swarm algorithm. *IEEE International conference on systems, man, and cybernetics. Computational cybernetics and simulation*, 5, 4104–4108.
- Kim, E.S., Baek, C.W., ve Kim, J.H.** (2005). Estimate of pipe deterioration and optimal scheduling of rehabilitation. *Water Science and Technology: Water Supply*, 5 (2), 39–46.
- Kizito, F., Mutikanga, H., Katashaya, G., ve Thunvik, R.** (2009). Development of decision support tools for decentralised urban water supply management in Uganda: An Action Research approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33, 122–137.
- Kleiner, Y., Adams, B.J., ve Rogers, J.S.** (1998). Selection and scheduling of rehabilitation alternatives for water distribution systems. *Water Resources Research*, 34 (8), 2053–2061.
- Lakehal, A. ve Laouacheria, F.** (2017). Reliability based rehabilitation of water distribution networks by means of Bayesian networks. *Journal of Water and Land Development*, 34 (1), 163–172.
- Lambert, A. O. ve Lalonde, A.** (2005). Using practical predictions of Economic Intervention Frequency to calculate Short-run Economic Leakage Level , with or without Pressure Management. *Leakage Conference Proceeding*, (Ili), 1–12.
- Lambert, A.** (2012). Relationships between pressure, bursts and infrastructure life - an international perspective. *Water UK Annual Leakage Conference*, (January).

- Lambert, A., Charalambous, B., Fantozzi, M., Kovac, J., Rizzo, A., ve Galea St. John, S.** (2014). 14 Years Experience of using IWA Best Practice Water Balance and Water Loss Performance Indicators in Europe. *Proceedings of the Water Loss Conference 2014*, (May), 1–31.
- Lambert, A. ve Hirner, W.** (2000). Losses from water supply systems: Standard terminology and recommended performance measures. *The blue pages, IWA*.
- Lambert, A. ve Morrison, J.A.E.** (1996). Recent developments in application of ‘Bursts and Background Estimates’ concepts for leakage management. *Journal of International Water and Environmental Management*, 100–104.
- Lambert, A. ve Thornton, J.** (2012). Pressure : Bursts Relationships : Influence of Pipe Materials , Validation of Scheme Results , and Implications of Extended Asset Life. *Water Loss 2012*, 2–11.
- Lambert, A.O.** (2002). International report: water losses management and techniques. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2 (4), 1–20.
- Lambert, A.O., Brown, T.G., Takizawa, M., ve Weimer, D.** (1999). A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 48 (6), 227–237.
- Lambert, A.O. ve Fantozzi, M.** (2005). Recent advances in calculating economic intervention frequency for active leakage control, and implications for calculation of economic leakage levels. *Water Science and Technology: Water Supply*, 5 (6), 263–271.
- Lambert, A.O. ve Fantozzi, M.** (2010). Recent developments in pressure management. *6th IWA Water Loss reduction Specialist Conf., IWA*.
- Lambert, A.O. ve McKenzie, R.** (2001). Econoleak: Economic model for leakage management for water suppliers in South Africa. *Pretoria, Republic of South Africa: South African Water Research Commission.*, 169 (02).
- Lambert, A.O. ve McKenzie, R.D.** (2002). Practical Experience in Using the Infrastructure Leakage Index. *Proceedings of the IWA Specialised Conference, Leakage Ma*.
- Laucelli, D.B., Simone, A., Berardi, L., ve Giustolisi, O.** (2017). Optimal Design of District Metering Areas for the Reduction of Leakages. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143 (6), 04017017.
- Lee, H., Kong, M., ve Kang, S.** (2015). Economic Evaluation of Leak Monitoring System in Water Supply System, 99 (Itcs), 71–74.
- Lenzi, C., Bragalli, C., Bolognesi, A., ve Fortini, M.** (2014). Infrastructure Leakage Index Assessment in Large Water Systems. *In Procedia Engineering*.
- Liemberger, R.** (2017). Benchmarking Of Losses From Potable Water Reticulation. *International Benchmarking of Leakage from Water Reticulation Systems*.
- Liemberger, R., Brothers, K., Lambert, A., McKenzie, R., Rizzo, A., ve Waldron, T.** (2007). Water Loss Performance Indicators. *Water 21*.

- Liemberger, R. ve Frauendorfer, R.** (2010). *The Issues and Challenges of Reducing Non-Revenue Water*.
- Liemberger, R., Kingdom, B., ve Marin, P.** (2006). The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries. *The World Bank, Water Supply & Sanitation Sector Board, PPIAF*, 8, 1–40.
- Liemberger, R. ve McKenzie, R.** (2005). Accuracy limitations of the ILI - is it an appropriate indicator for developing countries. *Proceedings of Leakage 2005 Conference*, 1–8.
- Lim, E., Savic, D., ve Kapelan, Z.** (2015). Development of a leakage target setting approach for South Korea based on Economic Level of Leakage. *Procedia Engineering*, 119 (1), 120–129.
- Lipiwattanakarn, S., Kaewsang, S., Pornprommin, A., ve Wongwiset, T.** (2019). Real benefits of leak repair and increasing the number of inlets to energy. *Water Science & Technology*, 14:3, 714–725.
- Liu, J. ve Lansey, K.E.** (2020). Multiphase DMA Design Methodology Based on Graph Theory and Many-Objective Optimization. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146 (8).
- Loganathan, G. V., Park, S., ve Sherali, H.D.** (2002). Threshold break rate for pipeline replacement in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 128 (4), 271–279.
- Lopez, S.T., Barrionuevo, M., ve Labajos, B.** (2019). Water accounts in decision-making processes of urban water management: Benefits, limitations and implications in a real implementation. *Sustainable Cities and Society*, 50.
- Luna, T., Ribau, J., Figueiredo, D., ve Alves, R.** (2019). Improving energy efficiency in water supply systems with pump scheduling optimization. *Journal of Cleaner Production*, 213, 342–356.
- Macdonald, G. ve Yates, C.D.** (2005). DMA Design and Implementation , a North American Context. *Leakage*, 1–8.
- Male, J.W., Noss, R.R., ve Moore, I.C.** (1985). Identifying and Reducing Losses in Water Distribution Systems. *In: Park Ridge, New Jersey: Noyes*.
- Mamo, T.G., Juran, I., ve Shahrour, I.** (2013). Prioritization of Municipal Water Mains Leakages for the Selection of R&R Maintenance Strategies Using Risk Based Multi-Criteria FAHP Model. *Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering*, 2 (4), 125–135.
- Management, A.P. ve Duccini, D.** (2017). North American Water Loss Conference.
- Marchionni, V., Cabral, M., Amado, C., ve Covas, D.** (2016). Estimating water supply infrastructure cost using regression techniques. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142 (4).
- May, J.** (1994). Pressure dependent leakage. *In: World Water and Environmental Engineering*.

- Meirelles, G., Manzi, D., Brentan, B., Goulart, T., ve Luvizotto, E.** (2017). Calibration Model for Water Distribution Network Using Pressures Estimated by Artificial Neural Networks. *Water Resources Management*, 31 (13), 4339–4351.
- Mesquita, A.M. ve Ruiz, M.** (2013). A financial economic model for urban water pricing in Brazil. *Urban Water Journal.*, 10 (2), 85–96.
- Moasheri, R. ve Jalili-Ghazizadeh, M.** (2020). Locating of Probabilistic Leakage Areas in Water Distribution Networks by a Calibration Method Using the Imperialist Competitive Algorithm. *Water Resources Management*, 34, 35–49.
- Molinos-Senante, M., Mocholí-Arce, M., ve Sala-Garrido, R.** (2016). Estimating the environmental and resource costs of leakage in water distribution systems: A shadow price approach. *Science of the Total Environment*, 568, 180–188.
- Mondaca, M., Andrade, M.A., Choi, C.Y., ve Lansey, K.E.** (2015). Development of a cost function of water distribution systems for residential subdivisions. *Urban Water Journal*, 12 (2), 145–153.
- Monsef, H., Naghashzadegan, M., Jamali, A., ve Farmani, R.** (2019). Comparison of evolutionary multi objective optimization algorithms in optimum design of water distribution network. *Ain Shams Engineering Journal*, 10 (1), 103–111.
- Moon, H.K.** (2020). A Study On Improving The Approaches To Set The Economic Level Of Water Losses In Water Distribution System.
- Morrison, J., Tooms, S., ve Rogers, D.** (2007). District Metered Areas: Guidance notes. In: *In IWA Water Loss Task Force; IWA Publishing: London, UK.*
- Moslehi, I., Jalili-Ghazizadeh, M., ve Yousefi-Khoshqalb, E.** (2020). Developing a framework for leakage target setting in water distribution networks from an economic perspective. *Structure and Infrastructure Engineering*, 0 (0), 1–17.
- Moslehi, I., Jalili Ghazizadeh, M.R., ve Yousefie Khoshghalb, E.** (2019). Economic analysis of pressure management in water distribution networks. *Journal of Water and Wastewater*, 31 (2), 100–117.
- Muhammetoglu, A., Nursen, C., Karadirek, I.E., ve Muhammetoglu, H.** (2018). Evaluation of performance and environmental benefits of a full-scale pump as turbine system in Antalya water distribution network. *Water Science & Technology: Water Supply.*, 18.1, 130–142.
- Müller, R., Illium, S., Ritz, F., Schröder, T., Platschek, C., Ochs, J., ve Linnhoff-Popien, C.** (2020). Acoustic Leak Detection in Water Networks.
- Mutikanga, H.M., Sharma, S.K., ve Vairavamoorthy, K.** (2011). Assessment of apparent losses in urban water systems. *Water and Environment Journal*, 25, 327–335.
- Mutikanga, H.M., Sharma, S.K., ve Vairavamoorthy, K.** (2013). Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139 (2), 166–174.
- di Nardo, A., di Natale, M., Giudicianni, C., Santonastaso, G.F., Tzatchkov, V.,**

- ve Varela, J.M.R.** (2017). Economic and energy criteria for district meter areas design of water distribution networks. *Water (Switzerland)*, 9 (7), 1–13.
- Nasir, M., Sadollah, A., Choi, Y.H., ve Kim, J.H.** (2020). *A comprehensive review on water cycle algorithm and its applications*. Neural Computing and Applications. Springer London.
- Nazif, S., Karamouz, M., Tabesh, M., ve Moridi, A.** (2010). Pressure management model for urban water distribution networks. *Water Resources Management*, 24 (3), 437–458.
- Neelakantan, T.R., Suribabu, C.R., ve Lingireddy, S.** (2008). Pipe-sizing optimization including break-repair and replacement economics. *Water SA.*, 34:2, 217–224.
- Negharchi, S. ve Shafaghat, R.** (2020). Leakage estimation in water networks based on the BABE and MNF analyses: a case study in Gavankola village, Iran. *Water Supply*, 1.
- Nicolini, M., Giacomello, C., Scarsini, M., ve Mion, M.** (2014). Numerical modeling and leakage reduction in the water distribution system of Udine. *Procedia Engineering*, 70, 1241–1250.
- Nicolini, M. ve Zovatto, L.** (2009). Optimal location and control of pressure reducing valves in water networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 135 (3), 178–187.
- Ociepa, E., Molik, R., ve Lach., J.** (2018). Assessment of Water Loss Level on the Example of Selected Distribution Systems. *E3S Web of Conferences*.
- Ociepa, E., Mrowiec, M., ve Deska, I.** (2019). Analysis of Water Losses and Assessment of Initiatives Aimed at Their Reduction in Selected Water Supply Systems. *Water*, 11 (5), 1037.
- De Paola, F., Galdiero, E., ve Giugni, M.** (2016). A jazz-based approach for optimal setting of pressure reducing valves in water distribution networks. *Engineering Optimization*, 48 (5), 727–739.
- Park, S.W. ve Loganathan, G. V.** (2002). Methodology for economically optimal replacement of pipes in water distribution systems: 2. Applications. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 6 (4), 545–550.
- Pearson, D. ve Trow, S.W.** (2005). Calculating the Economic Levels of Leakage. *Leakage 2005 Conference Proceedings*, 1–16.
- Puleo, V., Fontanazza, C.M., Notaro, V., De Marchis, M., La Loggia, G., ve Freni, G** (2014). Definition of water meter substitution plans based on a composite indicator. *Procedia Engineering*, 70, 1369–1377.
- Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D.A., ve Koppel, T.** (2009). A review of methods for leakage management in pipe networks. *Urban Water Journal.*, 7, 25–45.
- Rahman, A. ve Wu, Z.Y.** (2018). Multistep Simulation-Optimization Modeling Approach for Partitioning Water Distribution System into District Meter Areas.

Journal of Water Resources Planning and Management, 144 (5), 04018018.

- Rogers, D. ve Calvo, B.** (2015). Defining the rehabilitation needs of water networks. *Procedia Engineering*, 119 (1), 182–188.
- Romaniuk, M.** (2016). On simulation of maintenance costs for water distribution system with fuzzy parameters. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability*, 18 (4), 514–527.
- Rossman, L.A.** (2000). EPANET 2 Users Manual. *Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory*.
- Rudolph, K.U.** (2009). *Economic aspects of water loss reduction*. University. Germany.
- S.K. Vairavamoorthy, K.M.H.E.S.** (2011). Multi-Criteria Decision Analysis: A Strategic Planning Tool for Water Loss Management. *Water Resources Management*, 101, 3947–3969.
- Salehi, S., Ghazizadeh, J., ve Tabesh, M.** (2017). A comprehensive criteria-based multi-attribute decision-making model for rehabilitation of water distribution systems. *Journal Structure and Infrastructure Engineering*, 14 (6), 743–765.
- Salguero, F.J., Cobacho, R., ve Pardo, M.A.** (2019). Unreported leaks location using pressure and flow sensitivity in water distribution networks. *Water Supply*, 19 (1), 11–18.
- Salih, S.Q. ve Alsewari, A.R.A.** (2020). A new algorithm for normal and large-scale optimization problems: Nomadic People Optimizer. *Neural Computing and Applications*, 32 (14), 10359–10386.
- Samir, N., Kansoh, R., Elbarki, W., ve Fleifle, A.** (2017). Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. *Alexandria Engineering Journal*, 56 (4), 601–612.
- Sarrate, R., Blesa, J., Nejjari, F., ve Quevedo, J.** (2014). Sensor placement for leak detection and location in water distribution networks. *Water Science & Technology: Water Supply.*, 14–5, 795–803.
- Savic, D. ve Kapelan, Z.** (2019). Leak Localization in a Real Water Distribution Network Based on Search-Space Reduction. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145 (7).
- Schwaller, J. ve van Zyl, J.E.** (2015). Modeling the Pressure-Leakage Response of Water Distribution Systems Based on Individual Leak Behavior. *Journal of Hydraulic Engineering*, 141 (5), 04014089.
- Seago, C.J., McKenzie, R.S., ve Liemberger, R.** (2005). International benchmarking of leakage from water reticulation systems. *Proceedings from the International Water Association Specialist Conference: Leakage 2005*, 48–61.
- Sechi, G.M. ve Zucca, R.** (2017). A Cost-Simulation Approach to Finding Economic Optimality in Leakage Reduction for Complex Supply Systems. *Water Resources Management*, 31 (14), 4601–4615.

- Shamsi, U.** (1998). ArcView Applications in SWMM Modeling. *Journal of Water Management Modeling*, R200, 11–21.
- Sharma, S.** (2008). Leakage Management & Control, (April), 1–25.
- Sharma, S.K., Mutikanga, H.M., ve Vairavamoorthy, K.** (2009). Apparent water losses assessment: the case of Kampala City, Uganda. *Proceedings of 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference*, 36–42.
- Shen, W., Guo, X., Wu, C., ve Wu, D.** (2011). Forecasting stock indices using radial basis function neural networks optimized by artificial fish swarm algorithm. *Knowledge-Based Systems*, 24 (3), 378–385.
- Suribabu, C.R. ve Neelakantan, T.R.** (2012). Sizing of water distribution pipes based on performance measure and breakage-repair-replacement economics. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 18 (3), 241–251.
- Tabesh, M., Jamasb, M., ve Moeini, R.** (2011). Calibration of water distribution hydraulic models: A comparison between pressure dependent and demand driven analyses. *Urban Water Journal*, 8, 93–102.
- Tabesh, M., Yekta, A.H., ve Burrows, R.** (2008). An Integrated Model to Evaluate Losses in Water Distribution Systems. *Water Resour Manage*, 23, 477–492.
- Tanverakul, S.A. ve Lee, J.** (2015). Impacts of Metering on Residential Water Use in California, (February), 69–75.
- Thornton, J.** (2011). Pressure Management Cases From Around the World.
- Thornton, J. ve Lambert, A.** (2005). Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships. *IWA Special Conference 'Leakage*, 1–10.
- Thornton, J., Sturm, R., ve Kungel, G.** (2008). *Water loss control*. McGraw-Hill.
- Tricarico, C., Gargano, R., Kapelan, Z., Savic, D., ve de Marinis, G.** (2006). Economic level of reliability for the rehabilitation of hydraulic networks. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 23 (3), 191–207.
- Uslu, B. ve Sinha, S.K.** (2015). Subsurface Utility Engineering for Drinking Water and Wastewater Utilities. *International Journal of Engineering Research*, 4 (11), 625–630.
- Valis, D., Hasilova, K., Forbelska, M., ve Vintr, Z.** (2020). Reliability modelling and analysis of water distribution network based on backpropagation recursive processes with real field data. *Measurement*, 149.
- Venkatesh, G.** (2012). Cost-benefit analysis - leakage reduction by rehabilitating old water pipelines: Case study of Oslo (Norway). *Urban Water Journal*, 9 (4), 277–286.
- Vicente, D.J., Garrote, L., Sánchez, R., ve Santillán, D.** (2016). Pressure management in water distribution systems: Current status, proposals, and future trends. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142 (2), 1–13.

- Wallace, L.** (1987). *Water ve Revenue Losses: Unaccounted-for Water*. Denver, CO: American Water Works Association Research Foundation.
- Walski, T., Chase, D., Savic, W., Grayman, S., ve Koelle, E.** (2003). *Haestad Methods, Advanced Water Distribution Modeling And Management*.
- Walski, T.M.** (1984). *Analysis of Water Distribution Systems*. New York: Van Nostrand Reinhold. World Bank (1992). World development report 1992: Development and the environment.
- Wang, H., Wang, W., Cui, Z., Zhou, X., Zhao, J., ve Li, Y.** (2018). A new dynamic firefly algorithm for demand estimation of water resources. *Information Sciences*, 438, 95–106.
- Wang, Q.** (2013). Optimization with discrete simultaneous perturbation stochastic approximation using noisy loss function measurements. Johns Hopkins University.
- Wang, Y., Zayed, T., ve Moselhi, O.** (2009). Prediction Models for Annual Break Rates of Water Mains. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 23 (1), 47–54.
- Wegelin, W. ve McKenzie, R.S.** (2010). Scope For Pressure Management In South Africa. *IWA*, 1–5.
- Wei, J., Chen, Y.Q., Yu, Y., ve Chen, Y.** (2019). Optimal randomness in swarm-based search. *Mathematics*, 7 (9), 1–19.
- Wu, S., Yang, L., Zhou, C., ve Zhang, J.** (2013). Analysis of Benefits Yielded by Pressure Management in the Area based on Temperature Revision. *ICPTT 2013 ASCE*, 127–141.
- Wu, Y., Zhang, B., Xu, C., ve Li, L.** (2018). Site selection decision framework using fuzzy ANP-VIKOR for large commercial rooftop PV system based on sustainability perspective. *Sustainable Cities and Society*, 40, 454–470.
- Wyatt, A.S.** (2010). Financial Model for Optimal Management of Non-Revenue Water in Developing Countries. *Proceedings of the IWA International Specialised Conference Water Loss 2010*, (June), 1–11.
- Wyatt, A.S. ve Alshafey, M.** (2012). Non-revenue water: financial model for optimal management in developing countries. *Water Science & Technology: Water Supply*, 12 (4), 451–463.
- Xin, K., Tao, T., Lu, Y., Xiong, X., ve Li, F.** (2014). Apparent Losses Analysis in District Metered Areas of Water Distribution Systems. *Water Resources Management*, 28, 683–696.
- Xu, Q., Chen, Q., Ma, J., Blanckaert, K., ve Wan, Z.** (2014). Water saving and energy reduction through pressure management in urban water distribution networks. *Water Resources Management*, 28 (11), 3715–3726.
- Ye, G. ve Fenner, R.A.** (2011). Kalman Filtering of Hydraulic Measurements for Burst Detection in Water Distribution Systems. *Journal of Pipeline Systems*

Engineering and Practice, 2 (1), 14–22.

Yılmaz, S. (2017). İçme Suyu Dağıtım Sistemlerinde Abone Sayaçlarının Analizi Ve Su Kayıplarına Etkisi.

Zakaria, A., Ismail, F.B., Lipu, M.S.H., ve Hannan, M.A. (2020). Uncertainty models for stochastic optimization in renewable energy applications. *Renewable Energy*, 145, 1543–1571.

Zamenian, H., Mannering, F.L., Abraham, D.M., ve Iseley, T. (2017). Modeling the Frequency of Water Main Breaks in Water Distribution Systems: Random-Parameters Negative-Binomial Approach. *Journal of Infrastructure Systems*, 23 (2: 04016035).

Zangenehmadar, Z. ve Moselhi, O. (2016). Assessment of Remaining Useful Life of Pipelines Using Different Artificial Neural Networks Models. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30 (5).

Zhan, R., Wang, X.L., ve Wang, B. (2003). Nutrient conditions in the Yellow Sea and the East China Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58 (1), 127–136.

Zhang, K., Yan, H., Xin, K., ve Tao, T. (2019). A practical multi-objective optimization sectorization method for water distribution network. *Science of The Total Environment*, 656, 1401–1412.

Zhang, W., Shen, R., Xu, N., Zhang, H., ve Liang, Y. (2020). Study on optimization of active control schemes for considering transient processes in the case of pipeline leakage. *Energies*, 13 (7).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Salih YILMAZ

Doğum Tarihi:

Doğum Yeri:

Uzmanlık Alanı: Hidrolik Ana Bilim Dalı

Cep Telefonu:

Adresi:

E-postası:

Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	İnşaat Mühendisliği	İnönü Üniversitesi	2015
Y. Lisans	İnşaat Mühendisliği	İnönü Üniversitesi	2017
Doktora	İnşaat Mühendisliği	İnönü Üniversitesi	2021

Mesleki Durumu

Çalıştığı Yer	Görevi	Yıl
Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ)	Kontrol Mühendisi	2015-2018
Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ)	İhale Şube Müdürü	2018-2019
Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ)	Kontrol Amiri	2019-2020
Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ)	Plan Proje Şube Müdürü	2020-devam ediyor

**DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR (Makaller, Bildiriler,
Patentler v.b.)**

- **Yılmaz, S., Fırat, M., Ateş, A., Özdemir, Ö. (2021).** Analysis of Economic Leakage Level and Infrastructure Leakage Index Indicator by Applying Active Leakage Control. ASCE's Journal of Pipeline Systems - Engineering and Practice. 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000583.
- **Yılmaz, S., Fırat, M., Ateş, A., Özdemir, Ö. (2021).** Defining the Optimum Pressure for Active Leakage Control Efficiency by Considering by Considering Economic Criteria. Fresenius Environmental Bulletin (in press).
- **Yılmaz, S., Fırat, M., Özdemir, Ö., Ateş, A. (2021).** Su Kayıp Yönetiminde İzole Bölge Tasarımı ve Aktif Kaçak Kontrolünün Ekonomik Analizleri İçin Hesaplama Aracının Geliştirilmesi. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi. (baskıda).