

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İÇME SUYU SİSTEMLERİNDE FARKLI BASINÇ DÜZENLEYİCİ
VANALARIN FAYDA MALİYET ANALİZİ

Merve AKDEMİR

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2024

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Merve AKDEMİR tarafından hazırlanan “İçme Suyu Sistemlerinde Farklı Basınç Düzenleyici Vanaların Fayda Maliyet Analizi” adlı tez çalışması 23/07/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Salih YILMAZ

Jüri Üyeleri :

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Salih YILMAZ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Başak VARLI BİNGÖL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Cansu BOZKURT
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ardahan Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hamit ALYAR

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “**İçme Suyu Sistemlerinde Farklı Basınç Düzenleyici Vanaların Fayda Maliyet Analizi**” konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı”yla tarandığını, “intihal içermediğini” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (23/07/2024).

Merve AKDEMİR



*Bu çalışmayı temiz suya ulaşamadığı için hayatını kaybeden çocuklara ithaf ediyorum.
Çocukların susuzluktan, açlıktan ve savaştan ölmediği bir dünyada yaşamaları temennisiyle..*

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İÇME SUYU SİSTEMLERİNDE FARKLI BASINÇ DÜZENLEYİCİ VANALARIN FAYDA MALİYET ANALİZİ

Merve AKDEMİR

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Salih YILMAZ

İçme suyu dağıtım şebekelerinde çeşitli sebeplerden dolayı meydana gelen sızıntılar su kanal idareleri için ekonomik açıdan ciddi seviyelere ulaşan maliyetler oluşturmaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde şebekede oluşan sızıntıları gidermek için basınç yönetimi, aktif kaçak kontrolü, boru malzemesi yönetimi gibi çeşitli yöntemlerin uygulandığı görülmektedir. Bu yöntemlerin gerçek bir sahada uygulanmasından su kanal idareleri farklı miktarda finansal faydalar elde etmektedir. Elde edilen faydaların yanı sıra bu yöntemlerin şebekede uygulanabilmesi için seçilen yöntem için gereken ekipmanların temin edilmesi, bölgenin izole edilmesi, uzaktan izleme ve işletme sistemlerinin temin edilmesi gibi maliyetleri beraberinde getirmektedir. Bu sebeple su kayıp yönetimi için gerekli çalışmalar yapılmadan önce fayda ve maliyet analizi yapılmalıdır.

Bu çalışmada su kayıp yönetimi kapsamında 4 farklı izole alt bölgede basınç yönetimi uygulanmıştır. Basınç yönetimi uygulaması yapılan izole alt bölgeler birbirinden farklı basınç düzenleme yöntemleriyle Kayseri Su ve Kanal İdaresi (KASKİ) tarafından işletilen şebekelerden seçilmiştir. Basınç düzenlemesi yapılmasının finansal olarak ne kadar fayda sağlayacağı oluşturulan algoritmalarla teorik olarak hesaplanmıştır. Teorik hesaplamaların doğruluğu gerçek saha uygulaması sonuçlarıyla kıyaslanarak algoritmanın doğruluğu test edilmiştir. Teorik hesaplamasının doğruluğunun analiz edilmesinin ardından maliyetler de hesaplanarak fayda ve maliyet analizi yapılarak yatırımın geri dönüş süresi hesaplanmıştır.

Yapılan analizler sonucunda farklı basınç düzenleme yöntemlerinden sızıntıdan en fazla faydayı sağlayan yöntemin debi ayarlı yöntem olduğu, bu yöntemi sırayla zaman ayarlı ve sabit çıkışlı yöntemin takip ettiği bulunmuştur. Yöntemlerin sahada uygulanmasının maliyet analizi yapıldığında en tasarruflu yöntemin sırayla sabit çıkışlı, zaman ayarlı ve debi ayarlı yöntemler olduğu görülmüştür. Fayda ve maliyet analizi yapılarak yatırımın geri dönüş süresi hesaplandığında debi ayarlı basınç kontrol yönteminin en pahalı yöntem olmasına karşın maliyetini en kısa sürede çıkaran yöntem olduğu, sabit çıkışlı basınç kontrol yönteminin en tasarruflu yöntem olmasına karşın maliyetini en uzun sürede amorti eden yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Tez kapsamında oluşturulan bu algoritmanın izole bölgede basınç yönetimi uygulaması yapılmasına karar verilmesi, basınç yönetimi uygulaması yapılacaksa şebekede hangi basınç düzenleme yöntemi uygulanması gerektiğinin belirlenmesinde karar verici bir mekanizma olması düşünülmektedir.



2024, 78 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: İçme suyu dağıtım sistemi, Basınç yönetimi, Sızıntı, Fayda maliyet analizi, Su kaybı

ABSTRACT

Master of Science Thesis

COST BENEFIT ANALYSIS OF DIFFERENT PRESSURE REGULATING VALVES IN DRINKING WATER SYSTEMS

Merve AKDEMİR

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Salih YILMAZ

Leakages occurring in drinking water distribution networks for various reasons cause severe economic costs for water canal administrations. When the studies in the literature are examined, it is seen that various methods, such as pressure management, active leakage control, and pipe material management, are applied to eliminate the leaks in the network. Water canal administrations obtain different financial benefits from applying these methods in an actual field. In addition to the benefits obtained, implementing these methods in the network brings costs, such as providing the equipment required for the selected method, isolating the region, and providing remote monitoring and operation systems. For this reason, benefit and cost analyses should be conducted before conducting the necessary water loss management studies.

In this study, pressure management was applied in 4 different isolated sub-regions within the scope of water loss management. The isolated sub-regions under pressure management were selected from the networks operated by the Kayseri Water and Canal Administration (KASKİ) with different pressure regulation methods. The financial benefits of pressure regulation were theoretically calculated using algorithms. The algorithm's accuracy was tested by comparing the accuracy of the theoretical calculations with the actual field application results. After analyzing the accuracy of the theoretical calculation, the costs were also calculated, and the return period of the investment was calculated by making a benefit and cost analysis.

As a result of the analyses, it was found that the flow regulated method, among the different pressure regulation methods, offers the most significant benefits in reducing leakage, followed by the time regulated and constant output methods. When the cost analysis of the implementation of the methods in the field was made, it was seen that the most economical methods were fixed outlet, timed and flow regulated methods, respectively. Calculating the return period of the investment by making benefit and cost analysis, it is concluded that although the flow-regulated pressure control method is the most expensive method, it is the method that pays off its cost in the shortest time, and although the constant output pressure control method is the most economical method, it is the method that amortizes its cost in the longest time.

It is anticipated that the algorithm developed within the framework of this thesis will serve as a robust decision-making tool. It will aid in determining whether to implement pressure management in the isolated region and which pressure regulation method should be adopted in the network if pressure management is to be implemented.



2024, 78 pages

Keywords: Water distribution systems, Pressure management, Leakage, Cost benefit analysis, Water loss

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans sürecim boyunca bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeyen, tezimin her anında yanımda olup yönlendiren, karşılaştığım zorluklarda yoluma pusula olan, sorularıma sabırla cevap verip aklımdaki her soru işaretini gideren, kaynaklarını paylaşan, yeri gelince bana benden daha çok güvenen, öğrencisi olmaktan daima mutluluk ve gurur duyduğum sayın danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Salih YILMAZ'a,

Lisans ve yüksek lisans eğitim hayatım boyunca üzerimde emeği bulunan başta bölüm kurucularımız Prof. Dr. Ahmet Emre TEKELİ ve Prof. Dr. Senayi DÖNMEZ'e, desteğini her zaman hissettiğim bölüm başkanımız Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU'na, güçlü karakterini ve güzel kalbini örnek aldığım Dr. Öğr. Üyesi Başak VARLI BİNGÖL'e, fikirleriyle akademik yolculuğumda ışık tutan Arş. Gör. Mehmet Emin ÖZDEMİR'e ve adını yazamadığım tüm kıymetli hocalarıma,

Tezimin analizlerinde kullanılan verilerin ve gerekli tüm teknik bilgilerin paylaşımında desteklerini esirgemeyen Kayseri Su ve Kanal İdaresi (KASKİ) Genel Müdürlüğü'ne, İçme Suyu Dairesi Başkanı Mustafa USLUER'e ve tüm personellerine,

Hayallerimi gerçekleştirmem için her zaman destek olup arkamda duran; zafer çiğlikları attığımda, başarılarımda, daha da değerlisi yenilgilerimde ve karşılaştığım zorluklarda hep yanımda olan canım annem Şükran AKDEMİR, canım babam Habib AKDEMİR, biricik kardeşlerim Esra AKDEMİR ve Elif İMAM'a,

En içten sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Son teşekkürüm çağdaş bir ülkede eşit haklarla eğitim almamın ve bugün bir kadın inşaat mühendisi olarak kendi geleceğimi inşa etmemin önünü açan Mustafa Kemal Atatürk'e.. Tezime O'nun şu sözüyle başlamak istiyorum: "Türk mühendislerin alınanda, Cumhuriyet istikbalini aydınlatan ışık parlar."

Merve AKDEMİR

Çankırı, Temmuz 2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	4
1.2 Tezin Önemi.....	5
1.3 Özgün Değer	5
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	7
2.1 Fiziksel Su Kayıpları İçin Literatür Özetleri	7
2.1.1 Basınç yönetimi için literatür özetleri	8
2.1.2 Boru malzemesi yönetimi için literatür özetleri	11
2.1.3 Arıza yönetimi için literatür özetleri	13
2.2 İzole Alt Bölge (DMA) Oluşturma İçin Literatür Özetleri	14
2.3 Gelir Getirmeyen Su İçin Literatür Özetleri.....	16
3. BASINÇ YÖNETİMİ UYGULAMASI VE PROBLEMİN TANIMLANMASI	20
4. MATERYAL VE YÖNTEM	30
5. ÇALIŞMA ALANI	34
5.1 Çalışma Alanında Seçilen Alt Bölgelere Ait Haritalar	36
6. ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER	38
6.1 Gerçek Saha Verileri İle Teorik Olarak Hesaplanan Sonuçların Sabit Çıkışlı Basınç Kontrolü Üzerinde Fayda ve Maliyet Analizi	38
6.1.1 Genel bilgiler	38
6.1.2 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi gerçek saha verileri	39
6.1.3 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi faydaların karşılaştırılması	40
6.1.4 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi fayda ve maliyet analizi.....	43

6.2 Gerçek Saha Verileri İle Teorik Olarak Hesaplanan Sonuçların Zaman Ayarlı Basınç Kontrolü Üzerinde Fayda ve Maliyet Analizi	45
6.2.1 Keykubat 1 alt bölgesi basınç düşürme çalışmaları.....	45
6.2.2 Keykubat 1 alt bölgesi gerçek saha verileri	48
6.2.3 Keykubat 1 alt bölgesi faydaların karşılaştırılması	49
6.2.4 Keykubat 1 alt bölgesi fayda ve maliyet analizi	52
6.3 Gerçek Saha Verileri İle Teorik Olarak Hesaplanan Sonuçların Debi Ayarlı Basınç Kontrolü Üzerinde Fayda ve Maliyet Analizi	54
6.3.1 Yavuzlar 1 alt bölgesi gerçek saha verileri	54
6.3.2 Yavuzlar 1 alt bölgesi faydaların karşılaştırılması	55
6.3.4 Yavuzlar 1 alt bölgesi fayda ve maliyet analizi	60
6.4 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	62
6.4.1 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi için değerlendirmeler	63
6.4.2 Keykubat 1 alt bölgesi için değerlendirmeler	64
6.4.3 Yavuzlar 1 alt bölgesi için değerlendirmeler	65
6.4.4 Fayda ve maliyet analizleri için değerlendirmeler	66
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ.....	78

SİMGELER DİZİNİ

BF0	Başlangıç basıncında arıza frekansı
BF1	Basınç düzenlemesi sonrası arıza frekansı
BFn _{pd}	Referans arıza sayısı
g	Yerçekimi ivmesi
h	Boru içindeki ve boru dışındaki basınç farkı
L _m	Şebeke ana hat uzunluğu
L _p	Toplam servis bağlantı uzunluğu
L ₀	Başlangıç sızıntı debisi
L ₁	Basınç düzenlemesi sonrası sızıntı debisi
μ	Deşarj katsayısı
N _c	Toplam servis bağlantı sayısı
N ₁	Boru malzeme katsayısı
N ₂	Arıza frekansı
P	Ortalama basınç yüksekliği
P ₀	Başlangıç basınç değeri
P ₁	Basınç düzenlemesi sonrası ortalama basınç
S	Eğim katsayısı
s	Sızıntı alanı

KISALTMALAR DİZİNİ

ALC	Aktif kaçak kontrolü
AZP	Ortalama bölge basıncı
BABE	Arka plan sızıntı tahminleri
CARL	Yıllık fiziki kayıp hacmi
CBS	Coğrafi bilgi sistemleri
CRM	Çağrı merkezi ve arıza yönetimi
DMA	İzole alt bölge
FAVAD	Sabit ve değişken alan basınç hesabı
GGs	Gelir getirmeyen su
HDPE	Yüksek dizayn polietilen boru
ILI	Altyapı kaçak indeksi
IWA	Uluslararası Su Birliği
KASKİ	Kayseri Su ve Kanal İdaresi
K-1	Keykubat 1 alt bölgesi
MNF	Minimum gece debisi
PAT	Pompa türbin
PM	Basınç yönetimi
PRV	Basınç düzenleyici vana
PVC	Polivinil klorür
SCADA	Gözetleyici kontrol ve veri toplama sistemi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UARL	Yıllık kaçınılmayan fiziki kayıp hacmi
VSP	Değişken hızlı pompa
Y-1	Yavuzlar 1 alt bölgesi
YB 4-5	Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi
WDN	İçme suyu dağıtım şebekesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Dünyada tatlı su kaynaklarının dağılımı	1
Şekil 1.2 Türkiye'de kişi başına düşen yıllık su miktarları	2
Şekil 3.1 Oluşma yerine ve oluşma şekline göre sızıntılar	20
Şekil 3.2 Sabit çıkışlı basınç kontrol tekniği (Mckenzie and Wegelin 2009).....	26
Şekil 3.3 Zaman ayarlı basınç kontrol tekniği (Mckenzie and Wegelin 2009).....	27
Şekil 3.4 Debi ayarlı basınç kontrol tekniği (Mckenzie and Wegelin 2009).....	28
Şekil 3.5 Kapalı devre basınç kontrol tekniği (Mckenzie and Wegelin 2009)	28
Şekil 4.1 Sabit çıkışlı ve zaman ayarlı yöntemler için izlenecek metot.....	30
Şekil 4.2 Sabit çıkışlı ve zaman ayarlı yöntemler için oluşturulan algoritma.....	31
Şekil 4.3 Debi ayarlı yöntemler için izlenecek metot	32
Şekil 4.4 Debi ayarlı yöntem için oluşturulan algoritma	33
Şekil 5.1 Kayseri uygulama alanı ve pilot izole alt bölgeler (KASKİ 2024).....	34
Şekil 5.2 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi (YB 4-5)	36
Şekil 5.3 Keykubat 1 alt bölgesi (K-1).....	36
Şekil 5.4 Yavuzlar 1 alt bölgesi (Y-1)	37
Şekil 6.1 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi debi ve basınç değişimleri.....	39
Şekil 6.2 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi arıza değişimi	40
Şekil 6.3 Teorik olarak debiden elde edilen faydanın hesaplanması (YB 4-5).....	41
Şekil 6.4 Debiden elde edilen faydanın karşılaştırılması (YB 4-5)	41
Şekil 6.5 Teorik olarak arızadan elde edilen faydanın hesaplanması (YB 4-5).....	42
Şekil 6.6 Arızadan elde edilen faydanın karşılaştırılması (YB 4-5)	42
Şekil 6.7 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi faydaların hesaplanması.....	43
Şekil 6.8 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi maliyetlerin hesaplanması.....	44
Şekil 6.9 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi fayda ve maliyet analizi	44
Şekil 6.10 Bölgenin izole edilmeden önceki durumu (K-1)	45
Şekil 6.11 Bölgenin alt bölgelere ayrılma çalışmaları (K-1)	45
Şekil 6.12 Bölgedeki körleme çalışmaları (K-1).....	46
Şekil 6.13 İzole alt bölge oluşturma çalışmaları (K-1)	46
Şekil 6.14 İzole alt bölge oluşturma çalışmaları (K-1)	47
Şekil 6.15 İzole alt bölge oluşturma çalışmaları (K-1)	47
Şekil 6.16 Keykubat depo besleme alanı	47
Şekil 6.17 Keykubat depo beslenme bölgesi dma çıkış kontrolü (14.02.2022)	48
Şekil 6.18 Keykubat 1 alt bölgesi debi ve basınç değişimleri.....	48
Şekil 6.19 Keykubat 1 alt bölgesi arıza değişimi.....	49
Şekil 6.20 Teorik olarak debiden elde edilen faydanın hesaplanması (K-1)	50
Şekil 6.21 Debiden elde edilen faydanın karşılaştırılması (K-1)	51
Şekil 6.22 Teorik olarak arızadan elde edilen faydanın hesaplanması (K-1)	51
Şekil 6.23 Arızadan elde edilen faydanın karşılaştırılması (K-1).....	52
Şekil 6.24 Keykubat 1 alt bölgesi faydaların hesaplanması.....	52

Şekil 6.25 Keykubat 1 alt bölgesi maliyetlerin hesaplanması.....	53
Şekil 6.26 Keykubat 1 alt bölgesi fayda ve maliyet analizi	53
Şekil 6.27 Yavuzlar 1 alt bölgesi debi ve basınç değişimleri	54
Şekil 6.28 Yavuzlar 1 alt bölgesi modellenmesi	55
Şekil 6.29 Basınç yönetimi öncesi dağıtım şebekesinin modellenmesi (Y-1).....	56
Şekil 6.30 Basınç yönetimi sonrası dağıtım şebekesinin modellenmesi (Y-1).....	56
Şekil 6.31 Basınç yönetimi öncesi debinin hesaplanması (Y-1).....	57
Şekil 6.32 Basınç yönetimi sonrası debinin hesaplanması (Y-1).....	58
Şekil 6.33 Debiden elde edilen faydanın karşılaştırılması (Y-1)	58
Şekil 6.34 Teorik olarak arızadan elde edilen faydanın hesaplanması (Y-1)	59
Şekil 6.35 Arızadan elde edilen faydanın karşılaştırılması (Y-1)	60
Şekil 6.36 Yavuzlar 1 alt bölgesi faydaların hesaplanması.....	60
Şekil 6.37 Yavuzlar 1 alt bölgesi maliyetlerin hesaplanması	61
Şekil 6.38 Keykubat 1 alt bölgesi fayda ve maliyet analizi	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 UARL denklemi bileşenleri (Lambert <i>et al.</i> 1999).....	22
Çizelge 3.2 Fiziksel kayıplar hedef matrisi (IWA)	23
Çizelge 3.3 ILI sınıflarının değerlendirilmesi (Liemberger and Mckenzie 2005).....	24
Çizelge 5.1 Çalışma alanı verileri	35
Çizelge 6.1 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi analiz sonuçları	64
Çizelge 6.2 Keykubat 1 alt bölgesi analiz sonuçları	65
Çizelge 6.3 Keykubat 1 alt bölgesi analiz sonuçları	66
Çizelge 6.4 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi için analizler.....	66
Çizelge 6.5 Keykubat 1 alt bölgesi için analizler.....	67
Çizelge 6.6 Yavuzlar 1 alt bölgesi için analizler.....	67



1. GİRİŞ

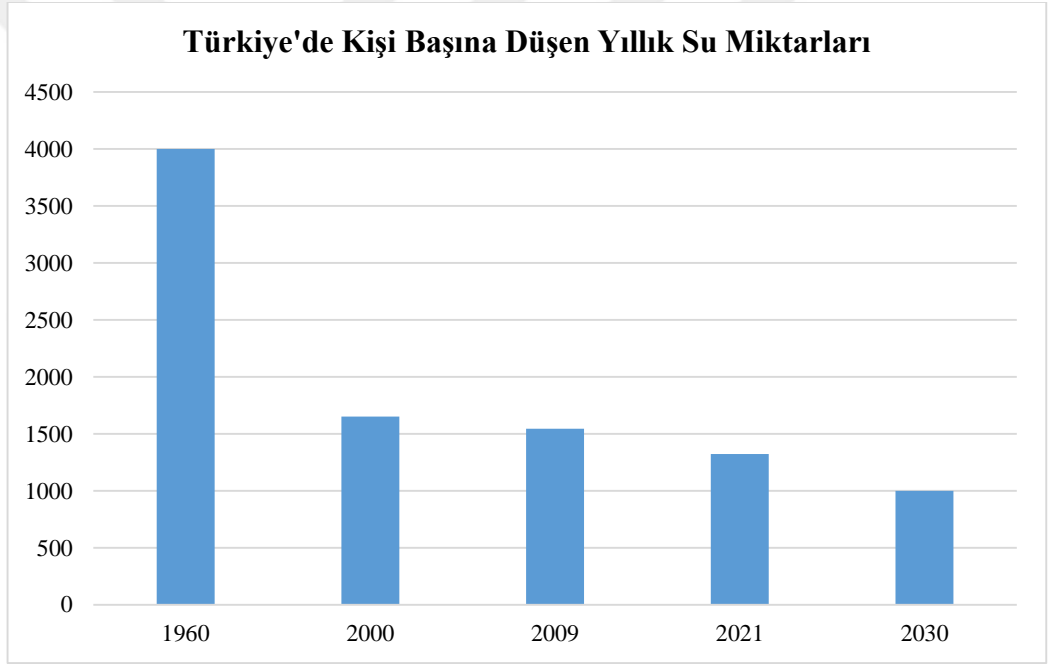
Günümüzde nüfus, sanayileşme ve kentleşme oranının artması, su kaynaklarının bilinçsiz kullanılması sonucu temiz su kaynaklarının kirlenmesi, iklim değişikliğinin su kaynaklarına olumsuz etkisi gibi sebeplerden dolayı temiz içme suyu miktarlarında her geçen gün azalma görülmektedir (Mian *et al.* 2023). Nüfus, sanayileşme ve kentleşme oranının artması içme suyu dağıtım şebekelerinde su talep debilerinin artmasına ve mevcut şebekenin abonelerin ihtiyacını karşılayamamasına neden olarak yeni yatırımlarla ilave kaynakların ve dağıtım şebekelerinin planlanması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Dünyamızın %71'ini su oluşturmaktadır. Bu miktarın %97.5'u okyanuslarda bulunan tuzlu su kaynakları, %2.5'u ise tatlı su kaynaklarıdır. Tatlı su kaynaklarının %68.9'luk büyük bir bölümü kutuplarda buzul olarak yer alırken %30.8'lik kısmı yüzeye çıkmayan derin tabakalardaki yer altı suyu olarak bulunur. Geriye kalan %0.3'lük tatlı su kaynakları yüzeyde olan göl, nehir, dere ve rezervuarlarda bulunan ulaşılabilir temiz içme suyu kaynaklarıdır (Thu 2010). İçme suyu dağıtım sistemlerinde su temini için kullanılan su kaynakları yer altı sularından ve temiz su kaynaklarından kullanılmakta olup tatlı su kaynaklarının dağılımı Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Dünyada tatlı su kaynaklarının dağılımı

İçme suyu temininde kullanılan su kaynaklarının miktarının az olması ve artan nüfus, kentleşme, sanayileşme oranına bağlı olarak günden güne azalması küresel ölçekte bir tehlikedir. Türkiye’de kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarları incelendiğinde su kaynaklarının son 60 yılda 4000 m³’ten 1300 m³ seviyelerine düştüğü ve yaklaşık %67.5 azalarak su stresi yaşadığımız görülmektedir (Sarış 2021). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2017 yılında nüfus verilerine dayalı olarak yaptığı çalışmada kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarının 2030 yılında 1000 m³’e düşeceğini öngörmüştür. Bu öngörüye göre su kaynaklarını etkin kullanmak için gerekli çalışmalar yapılmazsa gelecekte su kıtlığı çeken ülke konumuna geleceğimiz sonucu çıkmaktadır. Geçmişten günümüze Türkiye’de kişi başına düşen yıllık su miktarları Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Türkiye’de kişi başına düşen yıllık su miktarları

Ülkemizde su kayıplarının kontrol edilmesi amacıyla Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından 8 Mayıs 2014 tarihinde “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği” yayımlanmıştır. İdareler su kayıp oranlarını büyükşehir ve il belediyelerinde 5 yıl içerisinde en fazla %30, takip eden 4 yıl içerisinde ise en fazla %25 düzeyine; diğer belediyelerde 9 yıl içerisinde en fazla %30, takip eden 5 yıl içerisinde ise en fazla %25 düzeyine indirmekle yükümlü olmuşlardır.

16 Temmuz 2015 tarihinde “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği” yayımlanmış ve su kayıplarının kontrolü için alınması gereken tedbirler belirlenmiştir. Yönetmeliklerle su kaynaklarının korunması ve verimliliğin artırılması doğrultusunda su kayıplarının kontrol altına alınması hedeflenmiştir. Su kanal idareleri ve belediyeler için belirlenen hedeflerin gerçekleştirilmesinin zor olması nedeniyle 31 Ağustos 2019 tarihinde “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Yönelik Yönetmelik” yayımlanarak hedeflenen su kayıp oranları 5’er yıl ötelenerek revize edilmiştir. Yönetmeliğin değiştirilmesindeki temel etkenler su kayıplarını azaltmak için ciddi bir ekonomik ihtiyaç duyulması, su kanal idarelerinin su kayıp oranlarının farklı olması, teknik personel durumunun birbirinden farklı olması ve birbirinden farklı bilgi teknolojileri kullanmasıdır.

Su kanal idareleri abonelere yeterli miktarda temiz suyu iletmekle yükümlü olup hizmetleriyle ekonomik büyüme ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir (Brennan *et al.* 2021). Abonelere su iletimini sağlayan borularda zaman içinde arızalar oluşmakta ve sızıntı yoluyla dağıtım sistemine verilen suyun bir bölümü kaybolmaktadır. Su kayıplarının oluşmasında dağıtım sistemindeki borularda sızıntılar, arıza sonucu oluşan patlaklar, depolardaki sızıntı ve taşmalardan kaynaklı fiziksel su kayıpları; kaçak servis bağlantıları, veri işleme ve faturalandırma hataları, doğru sayaç tercihi yapılmaması gibi sebeplerden kaynaklı idari su kayıpları rol oynamaktadır.

İçme suyu dağıtım sisteminde fiziksel su kayıplarının oluşmasının başlıca sebeplerinden biri basınç dalgalanmasıdır (Akdemir ve Yılmaz 2023). Yüksek basınca bağlı olarak su teminini sağlayan borularda arızalar görülmekte ve bunun bir sonucu olarak arıtılıp kullanıma hazır hale getirilen su abonelere ulaşmadan sızıntı yoluyla kaybolmaktadır. Fiziksel su kayıplarını azaltmak için basınç yönetimi (PM), aktif kaçak kontrolü (ALC), pasif kaçak kontrolü, arıza yönetimi, boru malzemesi yönetimi gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden şebekede oluşan sızıntıları azaltma konusunda en iyi sonucu veren uygulama basınç yönetimi uygulamasıdır (Adedeji *et al.* 2018). Abonelerin su talep debilerine, yönetmeliğe ve bölgenin kritik noktalarına göre en uygun basınç düzenleme yöntemi tercih edilerek su kayıplarını en aza indirmek mümkündür.

İçme suyu dağıtım şebekelerinde basınç kontrol altına alındığında fiziksel su kayıpları azaltılmış, şebekede oluşan arıza oranları düşürülmüş, su kalitesi korunmuş, enerji verimliliği sağlanmış, su temini için yeni kaynak arayışı ertelenmiş olup su kanal idarelerinin arıza giderlerinde azalma görülecektir. Su kayıplarını azaltmak için en uygun yöntem belirlenirken seçilecek yöntemin ekonomik açıdan faydaları analiz edilmeli ve o yöntemin uygulanması durumunda maliyetleri ekonomik açıdan karşılaştırılmalıdır.

Fayda ve maliyet analizi yapılarak;

- Seçilen yöntemin tahmini ne kadar su kaybı önleyeceği belirlenmektedir.
- Seçilen basınç kontrol yönteminin sahada uygulanması durumunda maliyetleri ekonomik olarak belirlenmektedir.
- Yatırımın yapılmasının doğru karar olup olmadığı tespit edilmektedir.
- Analiz sonucuna bağlı olarak yatırımın geri dönüş süresi hesaplanabilmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez kapsamında birbirinden farklı su tüketim karakteristikleri gösteren farklı izole alt bölgelerde (DMA) basınç yönetimi uygulanması durumunda elde edilmesi beklenen faydaların ve ekonomik açıdan maliyetlerinin kıyaslanması, farklı basınç düzenleyici vanaların su dağıtım sistemindeki sızıntılara etkisinin araştırılması amaçlanmaktadır.

“İçme Suyu Sistemlerinde Farklı Basınç Düzenleyici Vanaların Fayda Maliyet Analizi” başlıklı tez çalışmasının hedefleri şu şekildedir:

- Basınç düzenleme yöntemleri için son debiyi hesaplama aracı geliştirilmesi
- Teorik olarak basınç yönetimi uygulanırsa sistemdeki sızıntının tahmin edilmesi
- Basınç yönetimi uygulamasında teorik olarak hesaplanan sızıntı miktarının uygulama sahasına en yakın şekilde hesaplanması
- Basınç düzenleyici vanaların sızıntılar üzerine etkisinin araştırılması
- Basınç yönetimi uygulamasında yatırımın geri dönüş süresinin hesaplanması

- Yatırımın geri dönüş süresine bağlı olarak idarenin planlamalarında nasıl bir yol izlediğinin değerlendirilmesi
- Basınç yönetimi uygulanmalı mı sorusuna ilgili kurumların karar verici olarak bu yöntemi kullanması

1.2 Tezin Önemi

Basınç ve sızıntı arasında ilişki kurarken Fixed and Varied Area Discharge (FAVAD) denklemi kullanılmaktadır. Bu denklemle basınç düzenleme yöntemlerinden yalnızca sabit çıkışlı basınç kontrolü için fayda ve maliyetler saha uygulamasına yakın hesaplanabilmektedir. Ancak zaman ayarlı basınç kontrolü ve debi ayarlı basınç kontrolü için FAVAD denklemiyle fayda ve maliyetler saha uygulamasına yakın sonuçlar vermeyip doğru bir şekilde hesaplanamamaktadır. Tez kapsamında oluşturulan algoritmalarla tüm basınç düzenleme yöntemleri için fayda ve maliyetlerin uygulama sahasına en yakın şekilde hesaplanması mümkün olmaktadır.

1.3 Özgün Değer

Su kaynaklarının her geçen gün azalması karşısında içme suyu dağıtım sistemlerinde fiziksel su kayıplarının azaltılması son derece ciddi bir konudur. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde içme suyu dağıtım sistemlerinde basınç düzenlemesi yapılarak sızıntıların azaltılması konusunda oldukça fazla sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar incelendiğinde basınç yönetimi uygulaması sonucunda son basınç değerinin tahmin edilebildiği ancak farklı basınç düzenleyici vanalar için hassas hesaplama yapılamadığı görülmektedir.

Tez kapsamında birbirinden farklı su tüketim karakteristiğine sahip farklı basınç düzenleme yöntemlerinde işletilen 4 farklı izole alt bölge (DMA) verisi alınarak her bir izole alt bölgede (DMA) sızıntı değişimlerini hesaplamak üzere algoritma kurulacak ve teorik olarak sızıntılardan elde edilecek finansal faydalar hesaplanacaktır.

Teorik olarak sızıntılardan elde edilen fayda sonuçlarıyla gerçek saha sonuçları karşılaştırılacak ve kurulan algoritmanın başarısı test edilecektir. Algoritmanın başarılı sayılması için farkın %5'in altında kalması sınır kabul edilmiştir. Daha sonra basıncın düzenlenmesinden kaynaklı azalan arıza sayıları teorik olarak hesaplanacak ve gerçek saha sonuçlarıyla karşılaştırılacaktır. Burada da hedef farkın genel olarak kabul gören %5 seviyesinde kalması olarak belirlenmiştir.

Elde edilen teorik sonuçlara göre her bir izole alt bölgede fayda ve maliyet analizi yapılacaktır. Maliyetler Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyatlarına ve piyasa araştırmalarına göre belirlenecektir. Fayda ve maliyet analizi sonuçlarına göre yatırımın geri dönüş süresi hesaplanacak ve su kanal idaresinin nasıl yol izlediği yorumlanacaktır.

Tez şu bölümlerden oluşmaktadır:

- Literatür Özetleri
- Basınç Yönetimi Uygulaması ve Problemin Tanımlanması
- Materyal ve Yöntem
- Çalışma Alanı
- Analizler ve Değerlendirmeler
- Sonuçlar ve Öneriler
- Kaynaklar

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

İçme suyu dağıtım şebekelerinde (WDN) çeşitli unsurlara bağlı olarak su kayıpları meydana gelmektedir. Su kayıpları en temel tanımıyla abonelere temin edilmek üzere şebekeye verilen su miktarı ile izinli tüketim yoluyla abonelere ulaşan su miktarı arasındaki farktır. Şebekelerde su kayıplarının meydana gelmesi kaçınılmaz olup su kaybının sıfırlanması mümkün değildir. Ancak basınç yönetimi, aktif kaçak kontrolü, boru malzemesi yönetimi, arıza yönetimi, izole bölge oluşturma, abone yönetimi, sayaç yönetimi gibi çalışmalarla su kayıp oranlarını azaltmak mümkündür (Tian *et al.* 2023).

Su kanal idarelerinin en temel görevlerinden biri yeterli miktardaki suyu abonelere iletmektir. Nüfus artışına bağlı olarak su talep debilerinin artması sonucu mevcut şebeke abonelerin su taleplerini karşılayamaz duruma gelmektedir (Mian *et al.* 2023). Abonelere yeterli miktarda suyun iletilebilmesi için mevcut su kaynaklarının korunmasına yönelik çalışmalar yapılması ve yeni kaynak arayışlarıyla yatırımların yapılması gerekmektedir. Su kayıplarını azaltma ve yeni yatırımlar için gereken çalışmalar su kanal idareleri için ciddi miktarda maliyet oluşturmaktadır. Bu bağlamda etkin su yönetimi için gereken çalışmalar yapılmadan önce fayda maliyet analizlerinin yapılması gerekmektedir.

2.1 Fiziksel Su Kayıpları İçin Literatür Özetleri

Fiziksel su kayıpları kullanıma hazır hale getirilerek dağıtım sistemine verilen suyun çeşitli sebeplerle sızıntı yoluyla kaybolarak abonelere ulaşmadan zemine karışmasını ifade etmektedir ve idareler için gelir kaybına neden olmaktadır (Farley *et al.* 2008, Lambert and Thornton 2012, Mutikanga 2012). Fiziki kayıpların oluşmasında isale hattı ve ana dağıtım sistemindeki arızalar sonucu oluşan patlaklar, abone bağlantılarında arızalanan vanalar, su dağıtım şebekesinin beslenmesini sağlayan depoların tabanında oluşan sızmalar, manevra odasında meydana gelen sızıntılar, yapım aşamasında yanlış boyutlandırılmış depolar gibi nedenler vardır (Farley 2001, Farley *et al.* 2008, Lambert and Thornton 2012, Mutikanga 2012).

Literatürde konuya ilişkin yapılan çalışmalar incelendiğinde fiziksel su kayıplarını önlemek için çeşitli yöntemlerin uygulandığı ve bu yöntemlerin fiziksel su kayıplarını azalttığı görülmektedir. İçme suyu dağıtım şebekelerinde oluşan su kayıplarını önlemek için yapılan çalışmaların şebekedeki aşırı basıncı azaltması, basınç dalgalanmasının giderilmesi, borularda oluşan arıza sayısını azaltması, borunun ekonomik ömrünü uzatması, şebeke işletme maliyetini düşürmesi, ilk yatırım maliyetinin azalması gibi ek faydaları da vardır (Darvini and Soldini 2015, Kanakoudis and Gonelas 2016).

Belirtilen bu faydaların gerçekleşmesi için izole alt bölge çalışması yapılması, şebekeye monte edilmesi gereken cihaz ve ekipmanların temin edilmesi, debimetre odası yapılması, su kaybı tespiti için dinleme çalışmaları yapılması gerekmektedir (Adedeji *et al.* 2018, Kanakoudis and Gonelas 2016). Uygulanan her bir yöntem su idarelerine farklı miktarda maliyet oluşturmaktadır. Bu sebeple hangi yöntemin tercih edileceği konusunda o bölgede uygulanması olası tüm yöntemler karşılaştırılarak en az yatırımla en fazla faydayı sağlayan yöntem fayda maliyet analizi ile belirlenmelidir (AL-Washali *et al.* 2016).

2.1.1 Basınç yönetimi için literatür özetleri

Dağıtım sisteminde meydana gelen sızıntılar sistem çalışma basıncıyla doğru orantılıdır (Farley *et al.* 2008). Basınç yönetimi fiziksel su kayıpları ile mücadelede en etkili yöntemlerden biridir. Şebekelerde etkin bir şekilde su basıncının düzenlenmesi için izole alt bölgelerin (DMA) daha önceden oluşturulmuş olması gerekmektedir (Salomons *et al.* 2017, Zhang *et al.* 2021). Basınç yönetimi uygulamasının sızıntıları azaltmanın yanı sıra aşırı basıncı azaltması, boru patlama sayısını azaltması, işletme maliyetlerini düşürmesi gibi faydaları da vardır (Darvini and Soldini 2015, Kanakoudis and Gonelas 2016). Öte yandan basınç yönetiminin gerçek bir şebekede uygulanmasında ciddi miktarlara ulaşan işçilik, ekipman, montaj maliyetleri vardır (Kanakoudis and Gonelas 2016). Bu sebeplerden ötürü basınç yönetimi sahada uygulanmadan önce ilgili idarelerin uygulamanın yapılıp yapılmamasına karar vermek için gerekli hidrolik modellemenin oluşturulmasına ve fayda maliyet analizi yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (AL-Washali *et al.* 2016).

Basınç yönetiminde amaç abonelere maksimum seviyede hizmet sunarak kritik noktadaki kullanıcıya yeterli suyun ulaşmasıdır (Kravvari *et al.* 2018). Basınç yönetimi sızıntıyı uzun vadede en aza indirecek şekilde bir sistem olmasından dolayı boru rehabilitasyonu, sızıntı tespiti ve onarım hızıyla karşılaştırıldığında uygun maliyetlidir (Adedeji *et al.* 2018) ve en avantajlı basınç kontrolü debi ayarlı yöntemdir (Tian *et al.* 2023).

Kanakoudis and Gonelas (2016), idarelerin gelir getirmeyen su oranları ile mücadele etmek için dağıtım şebekesi izole alt bölgelere ayrılarak basınç yönetimi uygulamış ve sistem çalışma basıncının düşürülmesinden kaynaklanan ekonomik faydaların ve gelir kayıplarının hesaplanmasına yönelik yöntemi analiz etmiştir. 15 yıllık bir süre sonunda toplam kazançların 698873 € ile 6370301 € arasında değiştiği ve basınç yönetimi sonrası en büyük gelir kaybının su ölçüm hatalarının artmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Monsef *et al.* (2018), dağıtım sisteminde basınç düzenleyici vana (PRV) ve değişken hızlı pompaların (VSP) performansını belirsiz sızıntılar ve enerji tüketimleri üzerinde değerlendirilmiştir. Sonuçlar, PRV'lerin ve VSP'lerin aynı anda kullanılmasının bunlardan birinin tek başına kullanılmasına kıyasla sızıntı ve enerji tüketiminde en yüksek azalmayı sağlayabileceğini göstermiştir. PRV'lerin ve VSP'lerin optimizasyon koduyla kontrol edilmesi, kontrolsüz moda kıyasla belirsiz sızıntının ve güç tüketiminin sırasıyla %41,72 ve %28,4 oranında azaltmıştır.

Adedeji *et al.* (2018), fiziksel su kaybı azaltma yöntemlerinden basınç yönetimi, boru rehabilitasyonu, aktif kaçak kontrolü ve arıza yönetimi uygulamalarını karşılaştırmıştır. Basınç yönetimi uygulamasının sızıntıyı uzun vadede en aza indirecek şekilde bir sistem olmasından dolayı fayda maliyet analizi açısından en iyi yöntem olduğunu belirtmiştir.

Moslehi *et al.* (2020), basınç düzenleyici vanaların (PRV) kullanılmasını fayda maliyet açısından değerlendirmiştir. Sabit çıkışlı çalışan DMA'yı zaman ayarlı ve debi ayarlı yöntemle değiştirerek oluşan sızıntıları karşılaştırmıştır. Sabit çıkışlıya kıyasla zaman ayarlı yöntemle ortalama bölge basıncının (AZP) 3,9 m, debi ayarlı yöntemle çalıştığında 5,4 m azaltılması ile sonuçlanmıştır. Zaman ayarlı yöntemle günlük 120 m³, debi ayarlı

yöntemle günlük 172 m³ sızıntı azaltılmıştır. Sonuçlar, sızıntının azaltılmasından elde edilen faydanın toplam faydaya en önemli katkıyı sağladığını ve çalışılan şebekede debi ayarlı yöntemin en faydalı olduğunu ortaya koymaktadır.

Latifi *et al.* (2021), dağıtım şebekesinde PRV ve pompa türbin (PAT) kullanarak türbinlerin maliyetinin bir kısmını enerji üreterek karşılamayı amaçlamıştır. Uygun sayı ve türdeki PAT'leri doğru konumlara yerleştirerek basınç ve enerji yönetimi için model önerilmiştir. Önerilen model örnek olayla değerlendirilmiş ve senaryolarla uygulanmıştır. Çalışma sonucunda maliyette %90'a varan azalma olduğu görülmüştür.

Özdemir *et al.* (2021), sistem çalışma basıncının su kayıplarına ve minimum gece debisi (MNF) oranına etkisini saha verileri ve FAVAD denklemine göre analiz etmiştir. İlk olarak izole bölgede akustik dinlemeler yapılarak arızalar onarılmış ve 12,5 L/s olan MNF oranı 6,95 L/s'ye düşürülerek giriş hacminde günlük 441 m³ su tasarrufu sağlanmıştır. İkinci aşamada basınç yönetimi ile basınç 9,1 bar'dan 3,1 bar'a; MNF oranı ise 6,95 L/s'den 3,29 L/s'ye düşürülmüş ve giriş hacminde günlük 78,44 m³ su tasarrufu hesaplanmıştır. Çalışmalar sonucunda sahadan elde edilen değerler ile FAVAD denklemine göre hesaplanan değerler arasında 1,70 L/s fark oluşmuştur.

Tian *et al.* (2023), birbirinden farklı karakteristiğe sahip 2 şebekede basınç yönetimi stratejilerini karşılaştırmak için 5 farklı değerlendirme göstergesi önermiş (günlük debi, günlük sızıntı, şebekedeki basınç vb.) ve karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda farklı yöntemlerle örnek şebekelerin değerlendirilmesiyle şebekenin durumunda ciddi farklar gözlemlenmiştir. Kontrol stratejileri seçilirken şebekenin basınç dağılımının dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Akdemir ve Yılmaz (2023), basınç yönetimi uygulaması yapılan izole alt bölgede şebeke basıncı ve sızıntılar arasında bir bağlantı kurulmasını sağlayan Fixed and Variable Area Discharges (FAVAD) denklemini kullanarak elde ettikleri teorik sonuçları saha uygulama verileri ile karşılaştırmıştır. Farklı basınç düzenleme yöntemlerinin FAVAD denklemi ile tahmin edilemediğini belirtmiş ve şebekedeki son sızıntıyı hesaplamak için

yeni bir yöntem önermiştir. Önerdikleri yöntemle teori ve uygulamada %58,06'lık net fayda farkı oluşan bölgede net fayda farkını %1,81'e düşürüp uygulama sahasına daha yakın sonuç bulmuşlardır.

Koşucu and Demirel (2024), 4 farklı basınç kontrol yöntemini farklı özelliklere sahip şebekeler için hidrolik modelini oluşturarak bu yöntemleri fayda maliyet açısından kıyaslamayı hedeflemiştir. Çalışma sonucuna göre en uygulanabilir basınç düzenleme yönteminin birim su maliyetine göre farklılık gösterdiği; birim su maliyetinin yüksek olduğu durumlarda kapalı devre basınç kontrol yönteminin, birim su maliyeti düşükçe debi ayarlı veya zaman ayarlı yöntemlerin en uygun tercih olacağı belirtilmiştir.

Hedaiaty Marzouny *et al.* (2024), PRV'ler için optimizasyona dayalı yöntem önererek PRV'nin uygulanmasında yalnızca PRV kullanımı ve PRV'nin kontrol valfleriyle birlikte kullanılmasını karşılaştırmıştır. Önerilen yöntem çeşitli indekslerle ölçülmüş ve yapılan çalışmalar sonucunda PRV'nin kontrol valfleriyle birlikte çalıştırılmasının %39,9 yalnızca PRV kullanılmasının %11,8 fayda sağladığı belirtilerek PRV'nin kontrol valfleriyle birlikte çalıştırılması önerilmiştir.

2.1.2 Boru malzemesi yönetimi için literatür özetleri

İçme suyu dağıtım şebekesini oluşturan elemanların yaşlanması kaçınılmazdır. Ömrünü dolduran ve eskimiş borularda sızıntıların yüksek seviyelere ulaşması, boruların sık arızalanması, su kaynaklarının verimli kullanılmaması, su kalitesi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır (Carriço *et al.* 2020). İçme suyu dağıtım sisteminde arıza oranının fazla olmasına bağlı olarak yüksek miktarlarda su kaybı oluşmaktadır.

Bu durumu önlemek için şebekenin durumuna bağlı olarak boruların yenilenme ve onarılma çalışmaları yapılmaktadır. Rehabilitasyon stratejilerinin oluşturulması maliyeti yüksek, karmaşık ve veri gerektiren bir karar verme sürecidir (Salehi *et al.* 2022). Dolayısıyla iyileştirme çalışmaları yapılmadan önce fayda maliyet analizi yapılmalıdır.

Bakri *et al.* (2015), gelişmekte olan ÷lkelerde içme suyu dağıtım şebekesinin rehabilitasyonu için 80 yıllık sürede maliyet ve yeterli su basıncının sağlanması için daha uygun boru hattı şebekelerinin ve şebeke hatlarında boruların çaplarının nasıl seçilmesi gerektiğini stratejik olarak belirlemeyi amaçlamıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda şebekede boru sayısı azaltılarak şebeke basitleştirilmiş, işçilik, tedarik, onarım ve işletme ve bakım maliyetlerinde önemli bir azalma sağladığı gör÷lmüştür.

Osorio *et al.* (2023), boru arızaların onarılması, boruların değiştirilmesi ve boruların temizlenmesi yoluyla iki farklı su dağıtım şebekesinin rehabilitasyonunu incelemiş ve bu yöntemleri fayda maliyet açısından karşılaştırmıştır. Yapılan çalışmalarla ekonomik ve hidrolik açıdan her iki şebekede de boru değişimi uygulanmasının daha az müdahaleyle ve daha düşük maliyetle daha yüksek minimum basınçlara ulaşılmasını sağladığı ve bu yöntemi boru temizliği ve sızıntı onarımı yoluyla rehabilitasyonun izlediği belirtilmiştir.

Bouchraki *et al.* (2023), 204 adet borunun en acilden en az acil olana doğru rehabilitasyon sıralanmasını yaparak elde edilen faydaların çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik parametreler açısından değerlendirmiştir. Sonuçlar, boru rehabilitasyonunun ilk %60'ında su geri kazanım oranının daha yüksek olduğunu; şebekenin tamamen rehabilite edilmesinden sonra yatırım maliyetlerinin 3 yıl içinde geri kazanılacağını; rehabilite edilen boruların her %10'u için şebekenin ortalama yaşının 5 yıl azaldığını; rehabilite edilen boruların %70'inden sonra şikâyetlerin 0 değerine ulaştığını göstermiştir.

Ajaz and Ahmad (2023), artan nüfus ve yetersiz basınç nedeniyle abonelerin ihtiyaçlarını karşılayamayan mevcut içme suyu dağıtım şebekesini en uygun şekilde değiştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada boru çapları açısından maksimum verimliliğin sağlanması ve bunun minimum maliyetle yapılması amacıyla EPANET programından ile basınç ve debi verilerini içeren modelleme yapmıştır. İçme suyu dağıtım sisteminin performans verimliliğini artırmak için en yüksek talep saatindeki endeksler değerlendirilmiş ve minimum basınç korunarak boru çapı en aza indirilerek en uygun maliyetle hidrolik tasarım yapılmıştır.

2.1.3 Arıza yönetimi için literatür özetleri

Dağıtım sistemi boru, pompa, rezervuar ve çeşitli hidrolik elemanları içeren büyük ve karmaşık yapıya sahiptir (Berardi *et al.* 2014). Dağıtım sisteminde su iletimini sağlayan borular başta olmak üzere su iletimini sağlayan hidrolik elemanlarda hizmet ömrü boyunca arızalar meydana gelmektedir (Farley *et al.* 2008). Dağıtım şebekesinde boru arızalarının artması su kaybına neden olmakta olup, onarım maliyetlerinin getirdiği ekonomik yükün yanı sıra su kesintisi, trafik gecikmeleri gibi sosyal etkilere de sebep olmaktadır. Bu durumları önlemek amacıyla su kanal idareleri ve belediyeler arızaların azaltılmasına yönelik çözüm arayışına girmektedir.

Boruların bozulması iki kategoride sınıflandırılabilir. Bunlar: Borunun yapısal esnekliğini ve uygulanan basınca dayanma kabiliyetini azaltan yapısal bozulmalar ile hidrolik kapasitenin azalması ve su kalitesinin bozulmasıyla sonuçlanan borunun iç yüzeyindeki işlevsel bozulmalardır (Kleiner and Rajani). İçme suyu dağıtım şebekelerinin yapısal bozulması ve arızaları, boru malzemesi, boru uzunluğu, boru yaşı, toprak tipi, iklim gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Kleiner and Rajani 2012).

Arızanın hızlı bir şekilde tespit edilmesi fiziksel su kayıplarını önlemektedir. Kırılma olasılığı yüksek boruların zamanında onarılması ve değiştirilmesi amacıyla dağıtım sistemindeki boruların fiziksel durumu ve bozulma durumunu analiz etmek için alternatif yaklaşımlar geliştirilmiştir (Kleiner and Rajani 2012). Arızalanan boruların onarımı veya hattın tümüyle değiştirilmesi idarelere farklı miktarlarda maliyet oluşturmaktadır. Bu sebeple hangi yöntemin uygulanacağı belirlenirken fayda maliyet analizi yapılmalıdır.

Qi *et al.* (2018), altı farklı ölçütü dikkate alarak boru arızalarının dağıtım sistemi üzerindeki etkilerini hidrolik ve su kalitesi bakımından incelemiştir. Önerilen yöntem için farklı niteliklere sahip iki dağıtım sistemi kullanılmış borularda oluşan arızaların etkisinin sadece boru çaplarına göre değişmediğini, arızanın meydana geldiği boru konumlarından önemli ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Yapılan bu çalışmanın deprem gibi doğal afetler için etkili yönetim planları hazırlanırken faydalı bir araç olabileceği belirtilmiştir.

Mazumder *et al.* (2019), dökme demir boru hattına sahip içme suyu dağıtım sisteminin zamana bağlı güvenilirliğini modellemek amacıyla yeni bir yöntem önermiştir. Korozyondan kaynaklı zaman içindeki duvar kalınlığının azalmasını dikkate alarak kırılma analizi gerçekleştirilmiş ve korozyonun hidrolik performansa etkisi pürüzlülük modeliyle açıklanmıştır. Önerilen yöntem içme suyu dağıtım sisteminde uygulanmış ve sonuçları boru korozyonunun dağıtım sistemi ömrünü doldurdukça sistem güvenilirliğini önemli ölçüde olumsuz etkilediğini göstermiştir.

Song and Liu (2022) boru ve arıza verilerini kullanarak Çin'deki dağıtım şebekelerinin çalışma durumunu istatistiksel olarak analiz etmiştir. Arıza yüzdeleri ve boru nitelikleri arasındaki ilişkiler tartışılmış ve arıza oranları hesaplanmıştır. Korozyon, yaşlanma ve sıcaklıkla ilişkili aşırı hava koşulları, boru arıza veri tabanının istatistiksel analizi yoluyla üç ana arıza nedeni olarak özetlenmiştir. Yapılan çalışmalarda düşük derinliğe, uzun hizmet süresine ve küçük çapa sahip boruların büyük arıza yüzdelerine ve oranlarına sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen bulgular içme suyu dağıtım sisteminin mevcut işletme koşullarını ortaya koyarak karar vericiler için arıza tahmini ve varlık yönetimine katkı sağlamıştır.

Karadirek *et al.* (2024), pilot çalışma alanında borularda oluşan arızaları 2 yıl boyunca kayıt altına alarak coğrafi bilgi sistemlerine entegre etmiştir. Boru arızalarını tahmin etmek için regresyon modeli uygulanmıştır. Çalışma sonucunda model arızaların önemli bir bölümünü tahmin etmiş ve %70,1 oranında başarılı olmuştur. Ayrıca yaşı 20'den büyük boruların arıza olasılığının yaşı 20'den küçük borulara göre 1,68 kat daha fazla olduğu ve polivinil klorür (PVC) boruların arızalanma olasılığı sünek borulara göre 5,27 kat, yüksek yoğunluklu polietilen boruların ise 9,03 kat daha fazla olduğu belirtilmiştir.

2.2 İzole Alt Bölge (DMA) Oluşturma İçin Literatür Özetleri

Büyük ve karmaşık yapıdaki içme suyu dağıtım sistemlerinde su kayıplarının tespit edilmesi, arızaların onarılması, abonelere suyun iletilmesi ve sistemin işletilmesi nispeten daha küçük yapıdaki sistemlere göre daha zordur.

Su kayıp önleme çalışmalarının yapılması (basınç yönetimi, aktif kaçak kontrolü vb.) ve dağıtım sisteminin kontrol altına alınması amacıyla izole alt bölge (DMA) oluşturma çalışmaları yapılmalıdır (Baghirattan and Parker 2017, Farley *et al.* 2008).

Sistemi ölçülebilir, kontrol edilebilir alt bölgelere ayırarak sistemin izlenmesi kolaylaşmaktadır. Sınırları diğer şebekelerden izole edilmiş, tek veya birden fazla girişi olan, kendi içinde değerlendirilen sistem izole alt bölge (DMA) olarak tanımlanır (Baghirattan and Parker 2017, Salomons *et al.* 2017).

DMA boyutu ilk yatırım maliyetini doğrudan etkilemektedir. DMA boyutunun küçük planlanması su ve kanal idareleri için ekonomik olmayan bir yapı oluşturmakta olup aynı zamanda su kayıplarını tespit etmeyi kolaylaştırır. DMA boyutunun büyük planlanması ise ekonomik açıdan daha az maliyetlidir. Ancak daha az maliyetli olmasının yanı sıra aktif kaçak kontrolüyle dağıtım şebekesindeki sızıntıların tespit edilmesini zorlaştırır ve su kayıplarının etkin mücadele edememeye sebep olmaktadır (Kowalski and Suchorab 2023, Salomons *et al.* 2017).

DMA büyüklüğü temel olarak şebeke ana hat uzunluğu ve abone servis bağlantı sayısına göre belirlenmektedir (Farley *et al.* 2008). İzole bölge tasarımında şebeke ana hat uzunluğunu dikkate alarak 4 km ve 30 km arasında ortalama 15 km olabileceği belirtilmiştir (Fallis *et al.* 2011, Farley *et al.* 2008). Abone servis bağlantı sayısını dikkate alarak tek servis bağlantısıyla bir aboneye su iletilen veya tek katlı binaların olduğu sistemlerde ise servis bağlantı sayılarının 500 ile 3000 adet arasında olması gerektiği belirtilmiştir (Fallis *et al.* 2011, Farley *et al.* 2008).

Diao *et al.* (2013), içme suyu dağıtım şebekelerinde izole alt bölge sınırlarının otomatik olarak oluşturulması için yeni bir yöntem geliştirmiştir. Yöntem gerçek bir içme suyu dağıtım sistemi üzerinde 12.523 düğüm ve 14.822 boru içeren bir boru ağı için test edilmiştir. Sonuçlar manuel olarak tasarlanmış bir DMA düzeni ile karşılaştırılmıştır. Oluşturulan algoritmanın gerçek imar yapısına yakın sonuç verdiği görülmüştür.

Gomes *et al.* (2015), içme suyu dağıtım şebekelerinde uygun izole alt bölge tasarımı için çeşitli faktörlerin etkisini farklı algoritmalarla incelemiştir. Çalışma sonucu içme suyu dağıtım şebekelerinde en uygun tasarım ölçütlerinin hidrolik davranışa ve fiziksel özelliklere göre seçilmesi gerektiği ve DMA'nın minimum zemin kotu farkına dayalı (kritik bölge) tasarım ölçütüne göre belirlenmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Zhang *et al.* (2021), içme suyu dağıtım şebekelerinde sızıntıları azaltmak için DMA'ların ve PRV'lerin ideal konumunu araştıran optimizasyon geliştirmiştir. DMA büyüklüğü bakımından orta ölçekli dağıtım sisteminde uygulandığı varsayılarak dağıtım şebekesine uygulanması durumunda basınç yönetimi ve sızıntı azaltmadaki değerleri elde edilmiştir.

Kowalska *et al.* (2022), su dağıtım şebekesinin otomatik olarak DMA'lara bölünmesini WaterGEMS yazılımı ile belirlemiştir. Yazılım 3 DMA oluşturmuş ve DMA bölünmesi sonrasında DMA 1 ve DMA 2'nin şebeke işleyişinde sorun olmadığı ancak DMA 3 için abonelere uygun basınçta suyun iletilmediği belirtmiştir. Bu nedenle DMA 3'ün işletme parametreleri değiştirilerek yapılan simülasyonlarla artırılan şebeke işletme basıncının tüm DMA bölgelerinde hidrolik koşullarını iyileştirdiği görülmüştür.

Jazayeri and Moeini (2024), dağıtım şebekesini izole alt bölgelere ayırmak için yeni bir yöntem önermiştir. 4 farklı senaryo dikkate alınarak önerilen yöntemin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar önerilen yöntemin ortalama düğüm basıncı değerlerinin 4 DMA'lı ilk senaryo için %16,32'ye, 3 DMA'lı ilk senaryo için %26,23 olduğunu ve minimum düğüm basıncı değerlerinin %26,23'e düştüğünü; 4 DMA'lı ilk senaryo için %16,58'den 2 DMA'lı senaryo için %53,24'e yükseldiğini göstermiştir.

2.3 Gelir Getirmeyen Su İçin Literatür Özetleri

Dağıtım sistemindeki fiziki ve idari su kayıpların toplamı su kayıpları olarak tanımlanmaktadır. Yüksek seviyelerdeki su kayıpları idareler için yüksek miktarda gelir kaybına yol açarken bu durum gelişmekte olan ülkeler için büyük bir sorundur (Baghirattan and Parker 2017, Fallis *et al.* 2011).

Bu durum su kanal idareleri üzerinde baskı oluşturmaktadır (Vishe and Chaudhari 2019). Su kayıpları ile faturalandırılmamış izinli su tüketimleri toplamı gelir getirmeyen su (GGS) bileşenini oluşturmaktadır (Baghirattan and Parker 2017, Farley and Liemberger 2005) ve gelir getirmeyen su hacminin sisteme verilen toplam su hacmine oranı şebekedeki gelir getirmeyen su oranını vermektedir (Lambert *et al.* 1999).

Gelir getirmeyen suyun önemli bir bölümünü fiziki su kayıpları meydana getirir ve gelir getirmeyen su hacminin azaltılması su kanal idarelerinin ortak hedefidir (Kanakoudis and Gonelas 2016). Gelir getirmeyen suyun azaltılması çalışmaları kaybolan suyun geri kazanılmasına, idarelerin sisteme verdiği suyun ücretini tahsil etmesine, su kayıp azaltma yöntemlerinde finansal faydaların artmasına, enerji verimliliğine katkıda bulunmaktadır.

Vishe and Chaudhari (2019), Hindistan’da örnek bir çalışma alanında gelir getirmeyen su ve bileşenlerini araştırmıştır. Uluslararası Su Birliği’nin (IWA) önerdiği su dengesi yaklaşımıyla yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Örnek çalışma alanında yapılan çalışmalar sonucunda bölgedeki gelir getirmeyen su oranının %35 ile %43 arasında değiştiğini ve bu oranın ülke tarafından belirlenen %20’lik orandan uzak olduğu bulunmuştur.

Bozkurt *et al.* (2024), su kayıp yönetimi kapsamında 144 farklı bileşene göre mevcut durum analizi yapmış optimizasyon modeli geliştirmiştir. Puanlama sistemi uygulanarak yapılan bu çalışma sonucunda şebekede GGS hacmini azaltmak için uygulanan yöntemlerin maliyetli ve zor olduğu belirtilerek her idarenin aynı hedefi yakalamasının gerçekçi olmadığı, idarenin mevcut durumuna ve teknik kapasitesine göre ulaşılabilir hedeflerin belirlenmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Su kayıplarını oluşturan alt bileşenlerin hesaplanması ve sistem performansının değerlendirilmesi amacıyla Uluslararası Su Birliği (IWA) tarafından standart su dengesi tablosu yöntemi önerilmiştir (Lambert *et al.* 1999). İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği’ne göre idareler su tüketimlerini değerlendirip her yıl Şubat ayı sonuna kadar standart su dengesi tablosunu bakanlığa raporlamakla yükümlüdürler.

Bu yöntemle su kayıplarını oluşturan tüm bileşenlerin oranları doğru bir şekilde girilerek şebekedeki GGS oranını belirlemek mümkün olup standart su dengesi tablosunun doldurulmasında temel olarak iki yaklaşım vardır: Yukarıdan aşağıya yaklaşım ve aşağıdan yukarıya yaklaşım.

Yukarıdan aşağıya yaklaşımda gelir getirmeyen su hacmi sistem giriş hacminden faturalandırılmış izinli tüketimler toplamı yani gelir getiren su hacmi çıkarılarak gelir getirmeyen su hacmi hesaplanmaktadır. Daha sonra sırasıyla faturalandırılmamış izinli tüketim, idari kayıp ve fiziki kayıp bileşenleri elde edilmektedir. Dezavantajı en çok su kaybını oluşturan fiziksel su kayıplarının diğer bileşen sonuçlarına bağlı olarak en son hesaplanmasıdır. İdarelerin ölçüm yapmadan tahmini veri kullanarak standart su dengesi tablosunu doldurması sistem performansının yanlış değerlendirilmesine yol açmaktadır (Amoatey *et al.* 2018, Serafeim *et al.* 2022).

Aşağıdan yukarıya yaklaşımda sızıntılar minimum gece debisi verilerine göre doğrudan saha verilerinden alınmaktadır. Diğer yöntemlere göre daha maliyetli olsa da ilk olarak sızıntılar hesaplanıp daha sonra diğer bileşenler hesaplandığı için sistem performansının değerlendirilmesi açısından daha doğru sonuçlar vermektedir. Sistemin izlenmesi için iyi alt yapı gerektirmektedir (AL-Washali *et al.* 2016, Amoatey *et al.* 2018, Serafeim *et al.* 2022).

AL-Washali *et al.* (2016), şebekelerde su kaybını değerlendiren minimum gece debisi (MNF), arka plan sızıntı tahminleri (BABE) ve yukarıdan aşağıya doğru su dengesi yöntemlerini karşılaştırmıştır. MNF analizinin en doğru sonuçları verdiğini, BABE yönteminin gerekmedikçe kullanılmaması gerektiğini, yukarıdan aşağıya doğru su dengesi yönteminin ise fiziksel su kayıplarını belirlemede yetersiz olduğu belirtilmiştir.

Amoatey *et al.* (2018), gelişmekte olan ülkelerdeki su dağıtım şebekelerinde su dengesi, minimum gece debisi (MNF) ve arka plan sızıntı tahminleri (BABE) olmak üzere 3 farklı yöntemi sızıntıları hesaplamadaki doğruluğunu karşılaştırmıştır. Çalışmada minimum gece debisi yöntemi gelişmekte olan ülkelerdeki şebekelere uygun şekilde değiştirilmiştir.

Değiştirilmiş MNF yöntemine göre GGS oranı %11, su dengesine göre %10, BABE yöntemi için %18 tahmin edilmiştir. Su dengesi ve MNF yöntemlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği ancak BABE yöntemi için çalışmalara ihtiyaç olduğu belirtilmiştir.

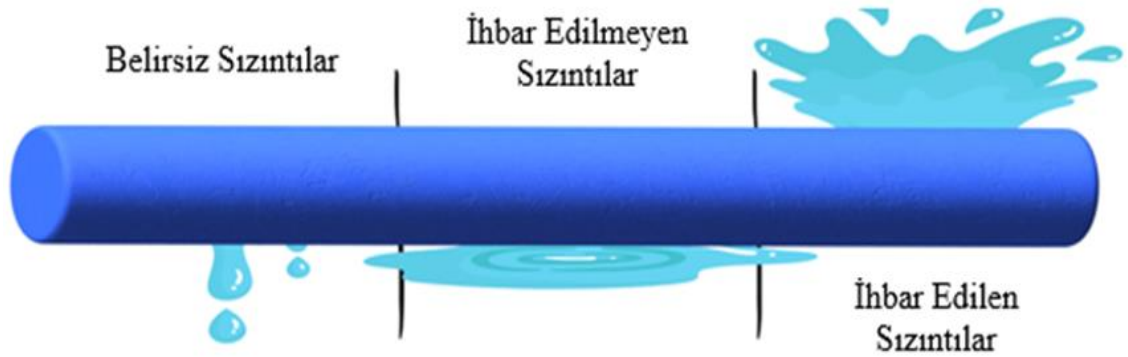
Serafeim *et al.* (2022), dağıtım sistemindeki su kayıplarının belirlenmesi için yukarıdan aşağıya yaklaşım ve aşağıdan yukarıya yaklaşım yöntemlerini karşılaştırmıştır. Çalışma kapsamında 4 farklı basınç yönetim alanından kullanıcıların debi ve basınç verileri kullanılmıştır. Hassasiyeti yüksek olan ekipmanlardan alınan verilerin kullanılması ve su tüketimleri hakkında yeterli bilgiye sahip olduğunda her iki yöntemin birbirine yakın sonuç verdiği görülmüştür. Ancak her su kaybı bileşenin daha güvenilir tahmin edilmesi ve daha hassas bir yöntem olduğu için aşağıdan yukarıya yaklaşım önerilmiştir.

3. BASINÇ YÖNETİMİ UYGULAMASI VE PROBLEMİN TANIMLANMASI

Abonelere su iletimini sağlayan borularda basınç dalgalanmasına ve boru yaşlanmasına bağlı olarak borunun basınç dayanımının düşmesi sonucu borularda çatlaklar ve kırıklar meydana gelmektedir. İçme suyu dağıtım şebekeleri her ne kadar iyi ölçütlerle tasarlanmış olursa olsun mevcutta faaliyet gösteren şebekelerde sızıntı kaynaklı su kayıplarının oluşması kaçınılmazdır (Adedeji *et al.* 2018).

Arızanın oluşma yerine ve oluşma şekline bağlı olarak dağıtım sisteminde farklı seviyelerde sızıntılar oluşmaktadır (Thornton *et al.* 2008). İyi işletilen sistemlerde su kayıplarının çoğu belirsiz sızıntılar, uzun süredir devam eden ihbar edilmeyen sızıntılar ve onarımın geciktiği ihbar edilen sızıntılar nedeniyle yaşanmaktadır (Thornton *et al.* 2008). Belirtilen sızıntılar büyük çaplı ana hat patlamalarından çok daha fazla su kaybına neden olmaktadır çünkü bu sızıntıların tespit edilmesi için gereken süre uzundur.

Sızıntıların önüne geçmek için su idareleri şebekedeki sızıntıları belirleyip sızıntı yerini tespit ederek onarım çalışmaları yapmaktadır. Bu çalışmalar aktif kaçak kontrolünün parçası olarak sızıntı azaltmakta etkilidir (Farley *et al.* 2008, Farley and Trow 2003). Arızanın onarım süresini kısaltmak için onarım kalitesinden taviz verilmemelidir. Sızıntılar genel olarak üç kategoride sınıflandırılmakta olup Şekil 3.1’de gösterilmiştir. (Thornton *et al.* 2008).



Şekil 3.1 Oluşma yerine ve oluşma şekline göre sızıntılar

- **Belirsiz (Arka Plan) Sızıntılar:** Borunun alt yüzeyinde oluşan ve düşük sızıntı debisine sahip sızıntılardır. Sızıntı debisi çok küçük olduğu için arızalar yüzeye çıkmayıp kaybolan su doğrudan toprağa karışmaktadır. Sızıntı debisinin küçük olmasından kaynaklı olarak akustik dinleyicilerle ve sistemin izlenmesiyle tespit olması zordur (Farley and Trow 2003). Bu tür sızıntıların tespiti uzun ve zor süreç olmasından dolayı ciddi miktarda su kaybına neden olmaktadır. Belirsiz sızıntıların tespiti için ek çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Samir *et al.* 2017).
- **İhbar Edilmeyen Sızıntılar:** Borunun alt yüzeyinde oluşan, sızıntı debisi belirsiz sızıntılardan daha fazla olan orta miktarda kayıp oluşturan sızıntılardır (Thornton *et al.* 2008). Bu tür sızıntıların farkına varılması için şebeke düzenli olarak izlenmeli ve arıza yerinin tespit edilmesi için yer mikrofonu, dinleme çubuğu gibi akustik dinleyici cihazlar kullanılmalıdır. Arıza yerinin tespit edilmesinde bölgenin izole alt bölgelere (DMA) ayrılmış olması kolaylık sağlamaktadır (Kravvari *et al.* 2018).
- **İhbar Edilen Sızıntılar:** Borunun üst yüzeyinde oluşan, basınç etkisinde sızıntıların yüzeye çıktığı sızıntılardır (Farley and Trow 2003). Sızıntı miktarı belirsiz sızıntılar ve ihbar edilmeyen sızıntılardan fazladır ancak yüzeye çıktığı için tespit ve onarım süreleri de kısadır (Samir *et al.* 2017). Sızıntı yüzeye çıktığı için tespiti için akustik dinleyici cihazlar gerekmemektedir. Çağrı merkezi ve arıza yönetimi (CRM) ile arızaların idarelere bildirilmesi ile arıza süresi kısalmaktadır.

Şebekede oluşan arıza frekansları ve belirsiz (arka plan) sızıntılarının tahmin edilmesi amacıyla Background ve Bursts Estimates (BABE) yöntemi önerilmiştir (Lambert 1997, Lambert and Morrison 1996). BABE yıllık kayıpları tahmin etmek için bir yaklaşım olup aktif kaçak kontrolü yapılması durumunda uygulanmaktadır (Bhagat *et al.* 2019).

May (1994), saha ölçümlerine dayanarak basınç değişimleri, debi değişimleri ve boru malzemesi katsayısına bağlı olarak geliştirdiği Fixed and Varied Area Discharge (FAVAD) denklemiyle basınç ve sızıntı arasında bir ilişki önermiştir (Denklem 3.1). Denklemde; L1 (L/s) basınç düzenlemesi sonrası sızıntı debisini, L0 (L/s) başlangıç

sızıntı debisini, P1 (m) düzenlenmiş ortalama basınç değerini, P0 (m) başlangıç basınç değerini, N1 boru malzemesi katsayısını ifade etmektedir.

$$\left(\frac{L1}{L0}\right) = \left(\frac{P1}{P0}\right)^{N1} \quad (3.1)$$

Denklemden basınç düzenlemesinden elde edilecek faydaların saha uygulamasına yakın hesaplanabilmesi için N1 boru malzemesi katsayısının doğru belirlenmesi gerekmektedir. Lambert and Fantozzi (2010), N1 katsayısının sert borularda 0,5 karışık borulu malzemelerde 1,0 esnek borularda ise 1,5 olduğunu belirtmiştir. Lambert and Thornton (2012), FAVAD denkleminde N1 katsayısı için değerler tanımlamıştır. Asbest için 0,5 düktil, çelik ve pik için 1,0 polivinil klorür (PVC) için 1,5 yüksek dizayn polietilen (HDPE) için 2,0 olarak belirlenmiştir.

Müdahale edilebilir debinin belirlenmesi için aktif kaçak kontrolü ile tespit edilemeyen ihbar edilen sızıntıların ve belirsiz sızıntıların bilinmesi gerekmektedir. Lambert *et al.* (1999), FAVAD denklemi ve BABE yöntemini birleştirerek içme suyu dağıtım şebekelerinde yıllık kaçınılmaz kayıp miktarını (UARL) hesaplayan yeni bir ilişki önermiştir (Denklemler 3.2). Denklemden; Lm (km) şebeke uzunluğunu, Nc servis bağlantı sayısını, Lp (km) parsel sınırı ile abone sayacı arasındaki uzunluğu, P (m) ortalama basınç yüksekliğini ifade etmektedir. Denklem parametrelerinin önündeki katsayılar şebekede oluşan kaçınılmaz kayıp miktarını belirtmekte olup Çizelge 3.1’de detaylandırılmıştır.

$$UARL = (18 * Lm + 0.8 * Nc + 25 * Lp) * P \quad (3.2)$$

Çizelge 3.1 UARL denklemi bileşenleri (Lambert *et al.* 1999)

18*Lm	Şebeke hatlarında	18 L/ ana hat uzunluğu (km)/ gün/ basınç (m)
0.8*Nc	Servis bağlantılarında	0.8 L/ servis bağlantı sayısı (adet)/ gün/ basınç (m)
25*Lp	Servis bağlantılarında	25 L/ servis bağlantı uzunluğu (m)/ gün/ basınç (m)

Şebeke performansının değerlendirilmesi amacıyla çeşitli göstergeler kullanılmaktadır. Performans değerlendirmede en önemli faktör sızıntı azaltma çalışmaları yapılmadan önce ve sonra şebekenin kıyaslanabilir olmasıdır (Fırat vd. 2021). Bu amaçla sistem giriş hacmi, gelir getirmeyen su oranı gibi göstergeler kullanılmakta olup kullanılan en temel gösterge alt yapı kaçak indeksi (ILI) olarak belirtilmiştir. ILI yıllık fiziki kayıp hacminin (CARL) yıllık kaçınılamayan fiziki kayıp hacmine (UARL) oranı ile olup (Denklem 3.3) birimsiz bir göstergedir (Lambert *et al.* 1999). Hesaplamalarda CARL değerinde tahmini veri kullanılması ve UARL hesabında şebeke bilgileri ve işletme basıncı hakkında yeterli bilginin olmaması yaşanan zorluklardır (Fırat vd. 2021).

$$ILI = CARL/UARL \quad (3.3)$$

Çizelge 3.2 Fiziksel kayıplar hedef matrisi (IWA)

Teknik Performans Kategorisi		ILI	Fiziki Kayıplar (litre/bağlantı sayısı/gün)				
			Ortalama Basınç (m)				
			10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
Gelişmiş Ülkeler	A	1-2	-	<50	<75	<100	<125
	B	2-4	-	50-100	75-150	100-200	125-250
	C	4-8	-	100-200	150-300	200-400	250-500
	D	>8	-	>200	>300	>400	>500
Gelişmekte Olan Ülkeler	A	1-4	<50	<100	<150	<200	<250
	B	4-8	50-100	100-200	150-300	200-400	250-500
	C	8-16	100-200	200-400	300-600	400-800	500-1000
	D	>16	>200	>400	>600	>800	>1000

Çizelge 3.2’de görülen fiziksel kayıplar için hedef matrisinde ülkenin gelişmişlik düzeyi, şebekenin ortalama basınç seviyesi (m), Denklem 3.3 ile hesaplanan yaklaşık ILI sonucu ve fiziki kayıp (litre/bağlantı/gün) değerleri verilmiştir. Bu değerlere bağlı olarak şebeke teknik performans kategorisi A, B, C, D sınıfı olarak 4 farklı sınıfta belirlenmekte olup her bir kategori Çizelge 3.3 ile detaylandırılmıştır.

Çizelge 3.3 ILI sınıflarının değerlendirilmesi (Liemberger and Mckenzie 2005)

A Kategorisi	Dağıtım şebekesi iyi durumda olup iyileştirmeye gerek yoktur.
B Kategorisi	Dağıtım şebekesinde aktif kaçak kontrolü, basınç yönetimi gibi su kayıp azaltma çalışmaları yapıldığında önemli gelişme sağlayabilir.
C Kategorisi	Dağıtım şebekesi zayıf durumda olup su kaynakları ucuz ve fazla ise tolere edilebilir. Su kayıp azaltma çalışmaları yoğunlaştırılmalıdır.
D Kategorisi	Dağıtım şebekesi kötü durumda olup su kaybı azaltma çalışmaları yapılması gereklidir.

Şebekeyi oluşturan boru ve hidrolik elemanlar basınca duyarlıdır (Farley *et al.* 2008, Kleiner and Rajani 2012, Qi *et al.* 2018). İşletme basıncının artmasına bağlı olarak şebekede oluşan arıza sayısı da artmaktadır. Lambert and Thornton (2012), basınç ve arıza sayısı arasında bir ilişki kurmak için FAVAD denklemi temel alınarak N2 katsayısına bağlı bir denklem önermiştir (Denklem 3.4). Denklemde; BF1 basınç düzenlemesi sonrası arıza frekansını, BF0 başlangıç basıncındaki arıza frekansını, P1 (m) düzenlenmiş ortalama basınç değerini, P0 (m) başlangıç basınç değerini, N2 arıza frekansı katsayısını ifade etmektedir.

$$\left(\frac{BF1}{BF0}\right) = \left(\frac{P1}{P0}\right)^{N2} \quad (3.4)$$

İyi koşullarda işletilen içme suyu dağıtım şebekesinde referans arıza sıklıkları UARL denklemi esas alınarak şebeke ana hattı için 100 km’de yıllık 13 arıza, abone servis bağlantıları için 1000 servis bağlantısında yıllık 3 arıza olarak belirlenmiştir (Lambert *et al.* 1999).

Lambert and Thornton (2012), N2 katsayısının 3 olarak alınabileceğini ve alındığı takdirde S katsayısının kullanılması gerektiğini belirtmiştir (Denklem 3.5). Denklemde; S eğim katsayısını, BFnpd referans arıza sayısını, BF0 yıllık toplam arıza sayısını, P1 (m) düzenlenmiş ortalama basınç değerini, P0 (m) başlangıç basınç değerini ifade etmektedir.

$$S = \left(1 - \frac{BFnpd}{BF0}\right) * \left(1 - \frac{P1}{P0}\right)^3 / \left(1 - \frac{P1}{P0}\right) \quad (3.5)$$

Lambert and Thornton (2012), S katsayısının 0.7 ile 2.4 arasında değiştiğini belirtmiştir. S katsayısına bağlı olarak arıza sayısındaki yüzdesel azalma (Denklem 3.6) ve yeni yıllık şebeke arıza sayısı (Denklem 3.7) hesaplanabilmektedir. Denklemde; S eğim katsayısını, P1 (m) düzenlenmiş ortalama basınç değerini, P0 (m) başlangıç basınç değerini, BF0 yıllık toplam arıza sayısını ifade etmektedir.

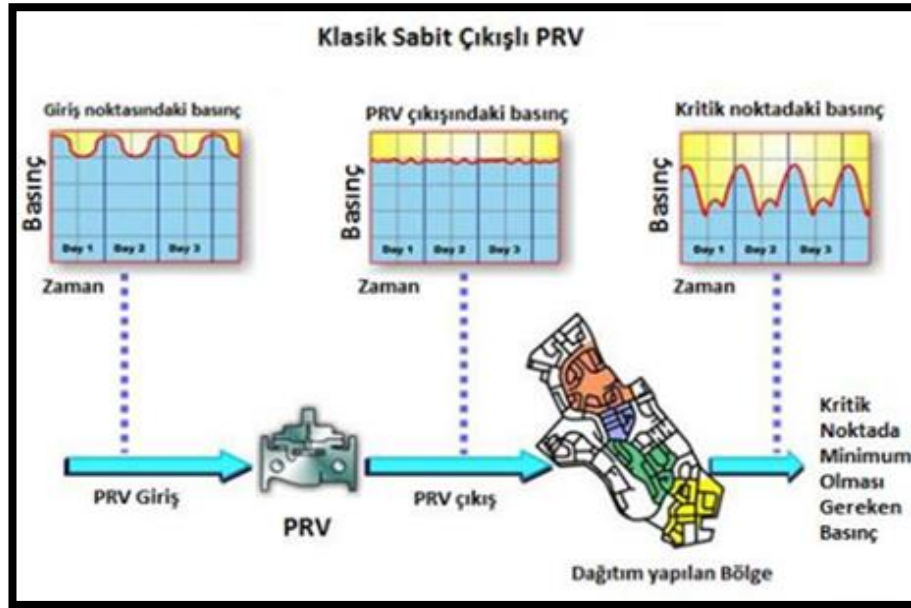
$$S (\%) = S * \left(1 - \frac{P1}{P0}\right) \quad (3.6)$$

$$B1 = BF0 * (1 - S(\%)) \quad (3.7)$$

Literatürde su kaybını önlemek için çeşitli yöntemler uygulandığı görülmektedir. Bu yöntemler sızıntı azaltma konusunda sızıntıları azaltmakta olup saha uygulaması sonucu ekonomik olarak farklı faydalar ortaya çıkarmaktadır. Basınç yönetimi ile sistem basıncı düzenlemesinin sızıntıları azaltan en etkili yöntem olduğu (Samir *et al.* 2017) ve sızıntı azaltmanın yanı sıra arıza frekansını düşürme, boru ekonomik ömrünü uzatma, şebeke işletme maliyetini düşürme gibi ek faydaları da olduğu belirtilmiştir (Adedeji *et al.* 2018, Darvini and Soldini 2015, Kanakoudis and Gonelas 2016, Mutikanga 2012). Sistem çalışma basıncının artmasıyla beraber şebekedeki sızıntılar da artmaktadır (Bhagat *et al.* 2019). Şebekede oluşan yüksek sızıntıların önüne geçmek için sistem basıncının kontrol altına alınması amacıyla çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Basınç yönetimi uygulamasındaki yaklaşım bölgenin topoğrafik yapısına uygun olarak kritik noktalara su iletimini sağlayacak şekilde sistem basıncının ayarlanmasıdır (Kravvari *et al.* 2018).

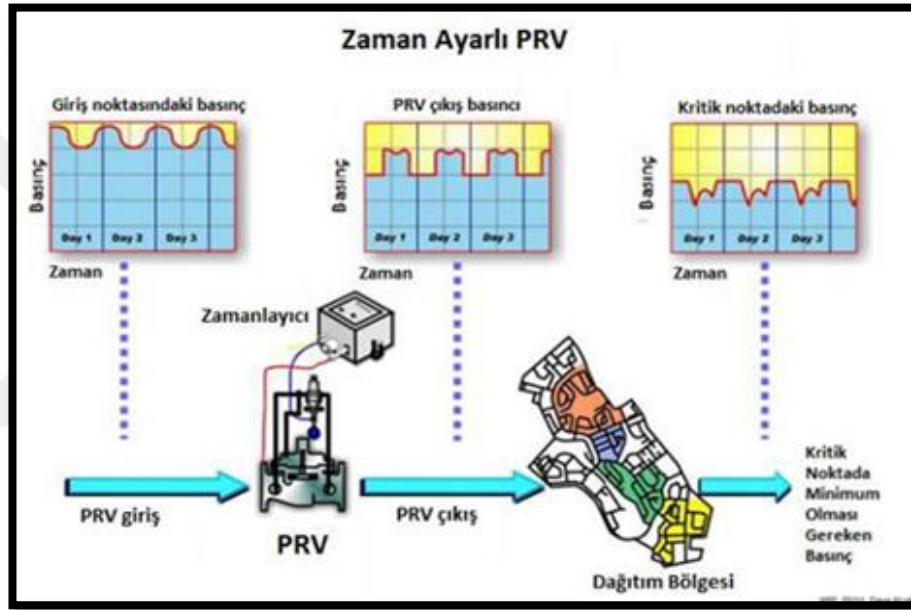
İçme suyu dağıtım şebekelerinde fazla basıncın düşürülmesi için genel olarak basınç düzenleyici vana (PRV) ve değişken hızlı pompa (VSP) kullanılmaktadır. Yüksek işletme basıncında çalışan şebekelerin girişine basınç düzenleyici vanaların (PRV) kurulmasının sızıntıyı kontrol etmenin etkili bir yolu olduğu kanıtlanmıştır (Burn *et al.* 2002). Basınç düzenleyici vanaların kritik noktadaki durumlarına göre tanımlanan dört temel basınç kontrol yöntemi bulunmaktadır (Creaco and Walski 2017). Bunlar: Sabit çıkışlı basınç kontrolü, zaman ayarlı basınç kontrolü, debi ayarlı basınç kontrolü ve kapalı devre basınç kontrolüdür (Mckenzie and Wegelin 2009, Moslehi *et al.* 2020, Vicente *et al.* 2016).

- **Sabit Çıkışlı Basınç Kontrolü:** İçme suyu dağıtım şebekesinde yalnızca basınç düzenleyici vana kullanılarak sistem basıncının ayarlanmasına olanak sağlayan en basit ve en kolay basınç kontrol tekniğidir (Şekil 3.2). Şebekedeki sistem çıkış basıncı bölgenin tüm noktalarında ihtiyaç duyulan su talep debilerini sağlayacak tek bir değere ayarlanmaktadır. Bu sebeple farklı su tüketimleri konusunda esnek değildir. PRV dışında cihaz kurulumu gerektirmedikinden diğer yöntemlere kıyasla uygun maliyetlidir ancak tek çıkış basınç değerine ayarlı olduğundan su basıncı ayarlama konusunda esnek değildir ve maksimum sızıntı önleme konusunda yetersizdir (Creaco and Walski 2017, Mckenzie and Wegelin 2009).



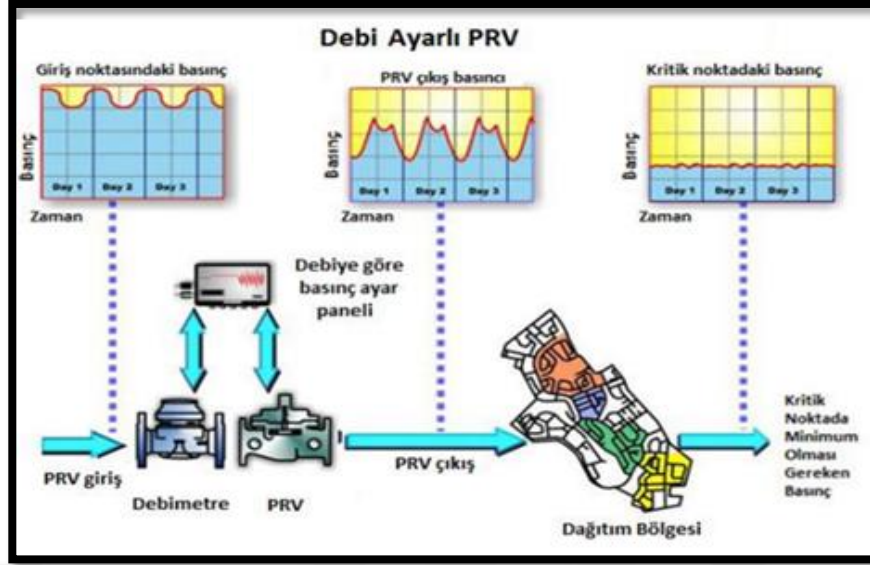
Şekil 3.2 Sabit çıkışlı basınç kontrol tekniği (Mckenzie and Wegelin 2009)

- **Zaman Ayarlı Basınç Kontrolü:** Basınç düzenleyici vananın yanı sıra su talep debilerinin yoğun olmayan zaman aralığında basınçta daha fazla azalma sağlayabilen ek bir cihaza sahip basınç kontrol tekniğidir (Şekil 3.3). Su kullanımlarının az veya fazla olduğu zaman dilimlerine göre zamansal basınç ayarlanmaktadır. Sabit çıkışlı basınç kontrol tekniğine kıyasla daha maliyetlidir ve daha fazla su tasarrufu sağlamakta olup işletme ve bakım giderleri daha fazladır. Yangın söndürme durumunda bu yöntem önerilmez (Creaco and Walski 2017, Mckenzie and Wegelin 2009).



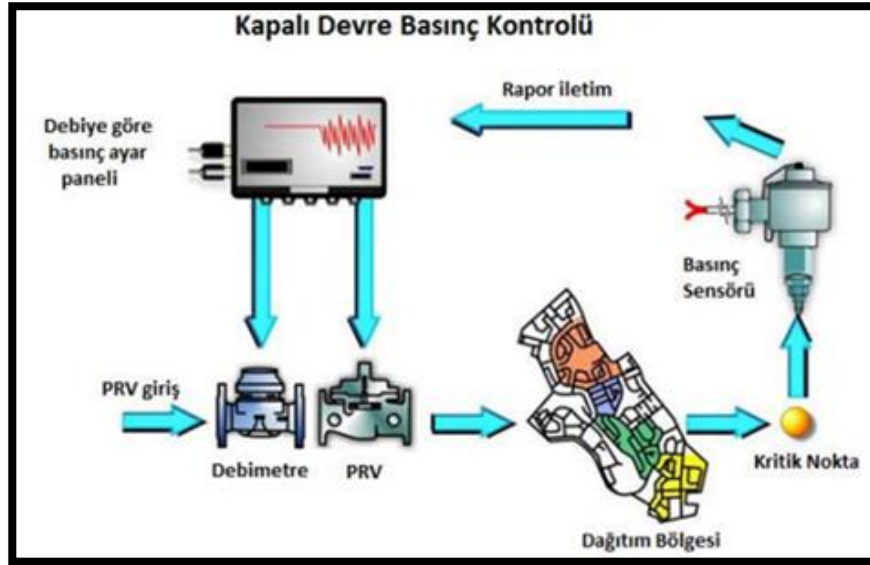
Şekil 3.3 Zaman ayarlı basınç kontrol tekniği (Mckenzie and Wegelin 2009)

- **Debi Ayarlı Basınç Kontrolü:** Basınç düzenleyici vananın yanı sıra uygun boyutta debimetre ve ekstra elektronik cihazlar gerektiren basınç kontrol tekniğidir (Şekil 3.4). Şebekede anlık su talep debilerine göre basınç ayarlanmaktadır. Sabit çıkışlı ve zaman ayarlı basınç tekniklerine kıyasla maliyeti daha fazla olup su tasarrufu konusunda daha etkilidir. Debi ayarlı basınç kontrol yöntemi şebekelere esnek işletme fırsatı sunmaktadır. Zaman ayarlı yöntemine göre en büyük avantajı yangında su akışına engel olmamasıdır (Creaco and Walski 2017, Mckenzie and Wegelin 2009).



Şekil 3.4 Debi ayarlı basınç kontrol tekniği (Mckenzie and Wegelin 2009)

- **Kapalı Devre Basınç Kontrolü:** Basınç düzenleyici vananın yanı sıra debimetre kritik noktalara yerleştirilen sensörleri içeren basınç kontrol tekniğidir (Şekil 3.5). Yerleştirilen sensörler kritik noktadaki basıncın sürekli olarak ölçülmesine olanak sağlayıp elektronik iletişim yardımıyla PRV'ye bildirilmektedir. Basınç kontrol yöntemleri arasında en karmaşık sisteme sahip bu yöntem üst düzey kontrolü ve maksimum faydayı sağlayan tekniktir (Mckenzie and Wegelin 2009).



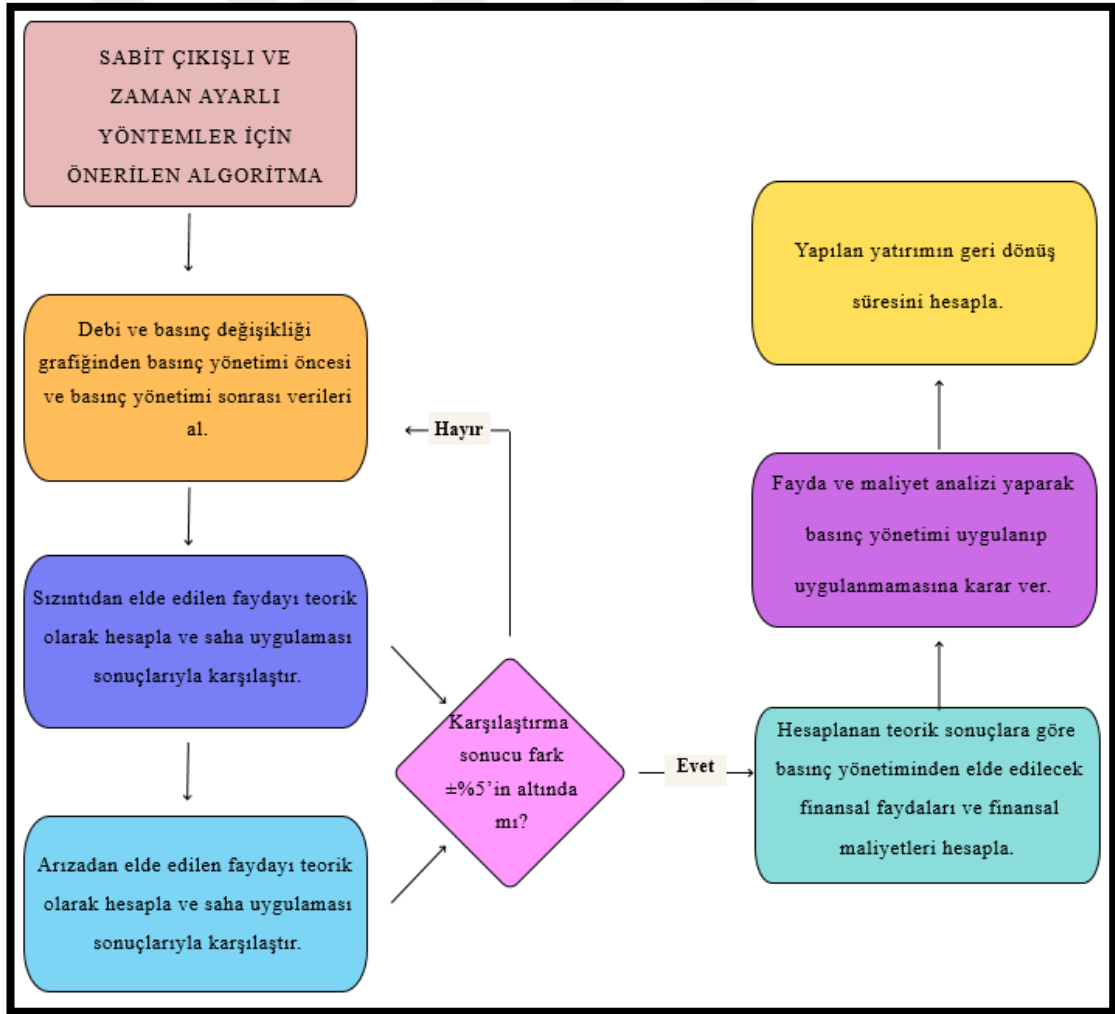
Şekil 3.5 Kapalı devre basınç kontrol tekniği (Mckenzie and Wegelin 2009)

Bahsedilen basınç yönetim tekniklerinin birbirinden farklı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Debi ayarlı ve kapalı devre basınç kontrolü ilk bakışta en iyi yöntemler olarak görülse de önemli olan mevcut bütçe, teknik kapasite, memnuniyet, işletme ve bakım gibi bileşenler dikkate alınarak en uygun ve en ekonomik basınç kontrol şeklinin seçilmesidir (McKenzie and Wegelin 2009). Bunun için fayda maliyet analizi yapılmalıdır.

Su kanal idareleri ve belediyelerde basınç yönetimi uygulaması yapılmasının saha testleri yapılması, izole alt bölge (DMA) oluşturma, ekipmanların temin edilmesi, işçilik ve montaj gibi ciddi miktarlara ulaşan maliyetleri vardır (Kanakoudis and Gonelas 2016). Bu sebeple bir bölgede basınç yönetimi yapılmadan önce ekonomik faydaların bilinmesi ve maliyetlerin hesaplanması gereklidir. Creaco and Walski (2017), şebekedeki sızıntı ve boru patlamasını azaltmaya yönelik basınç kontrol yöntemlerinin ekonomik analizini sunarak fayda maliyet analizi yapılması gerektiğini belirtmiştir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

İçme suyu dağıtım şebekelerinde basınç yönetimi uygulaması sonrasında elde edilecek ekonomik faydalar FAVAD denklemiyle hesaplanabilmektedir. Bu denklem tek işletme basınç değerini kapsamakta olup yalnızca sabit çıkışlı basınç kontrol tekniği için uygulama sahasına yakın sonuç vermektedir. Birden çok işletme basıncında çalışan zaman ayarlı, debi ayarlı ve kapalı devre basınç kontrol teknikleri için yetersizdir (Akdemir ve Yılmaz 2023). Su kayıplarını azaltmak için yapılan çalışmalar dikkate alındığında tüm basınç kontrol teknikleri için fayda maliyet analizi açısından elde edilecek ekonomik faydaların uygulama sahasına yakın bir şekilde hesaplayacak yeni bir yöntem ihtiyacı olduğu açık olup bu bağlamda algoritma oluşturulması gerekmektedir.



Şekil 4.1 Sabit çıkışlı ve zaman ayarlı yöntemler için izlenecek metot

Sabit çıkışlı ve zaman ayarlı basınç kontrolü uygulaması için tez kapsamında oluşturulan algoritma Şekil 4.1’de şematize edildiği gibidir. İzlenecek metotta teorik olarak hesaplanan sonuçların gerçek saha uygulamasına en yakın şekilde sonuç vermesi amaçlanmıştır. Bu nedenle basınç yönetimi uygulaması yapılan çalışma alanlarına ait şebeke verileri toplanmıştır. Çözümde şebekenin n farklı son basınçta çalışma durumuna göre n farklı basıncın 1 gün içinde çalışma yüzdeleri dikkate alınarak şebekenin son debisi hesaplanmıştır. Uygulanan yöntem Şekil 4.2’de özetlendiği gibidir.

```

>> %Birim m3/h
>> %ortalama_gece_debisi=**.**.
>> %Birim bar
>> %sistem_ilk_basinci=**.**.
>> %sistem_son_basinci_p1=**.**.
>> %sistem_son_basinci_p2=**.**.
>> .....
>> %sistem_son_basinci_pn=**.**.
>>
>> %N1_katsayisi=**.
>>
>> %şebekenin Farklı Son Çalışma Basınçlarında Çalışma Süresi
>> %Birim h
>> %p1_cs=**.
>> %p2_cs=**.
>> .....
>> %pn_cs=**.
>>
>> %şebekenin Farklı Son Çalışma Basınçlarında Çalışma Yüzdesi
>> %Birim %
>> %p1_cy=(p1_cs*100)/24;
>> %p2_cy=(p2_cs*100)/24;
>> .....
>> %pn_cy=(pn_cs*100)/24;
>>
>>
>> %Birim m3/h
>> %sistem_son_debisi=((ortalama_gece_debisi*(sistem_son_basinci_p1/sistem_ilk_basinci)*N1_katsayisi)*(p1_cy/100))+((ortalama_gece
>> % if Son debi teorik-Son debi uygulama<5
>> %fprintf('Arıza sayılarını karşılaştır')
>> %else
>> %fprintf('Analizi tekrar yap')
>> %end
>>
>> %B=(1-(referans_ariza_sayisi/yillik_ariza_sayisi))*(1-(sistem_son_basinci/sistem_ilk_basinci)^3)/(1-sistem_son_basinci/sistem_ilk_basinc
>> %Birim adet
>>
>> % if Son arıza teorik-Son arıza uygulama<5
>> %fprintf('Fayda maliyet analizi yap')
>> %else
>> %fprintf('Arıza analizini tekrar yap')
>> %end
>>
>> %Birim m3/h
>> %kazanilan_debi=**.
>> %Birim TL/m3
>> %birim_su_maliyeti=*.
>> %Birim TL
>> %aylik_debiden_kazanc=kazanilan_debi*24*30*birim_su_maliyeti;
>> %arizadan_kazanc=azalan_ariza*ariza_onarim_maliyeti;
>>
>> %Birim TL
>> %sinir_vanasi=***;
>> %debimetre_odasi=***;
>> %sifir_basinc_testi=***;
>> %izleme_isletme=***;
>> %bkv_takilmasi=***;
>> %elektromanyetik_debimetre=***;
>> %toplam_maliyet=sinir_vanasi+debimetre_odasi+sifir_basinc_testi+izleme_isletme+bkv_takilmasi+elektromanyetik_debimetre
>>
>> %if faydalar>maliyetler
>> %fprintf('Basınç yönetimi uygulanmalı')
>> %else
>> %fprintf('Basınç yönetimi uygulanmamalı')
>> %end

```

Şekil 4.2 Sabit çıkışlı ve zaman ayarlı yöntemler için oluşturulan algoritma

Debi ayarlı basınç kontrolü uygulaması için tez kapsamında oluşturulan algoritma ise Şekil 4.3’de şematize edilmiştir.



Şekil 4.3 Debi ayarlı yöntem için izlenecek metot

İzlenecek metotta teorik olarak hesaplanan sonuçların gerçek saha uygulamasına en yakın şekilde sonuç vermesi amaçlanmıştır. Bu nedenle basınç yönetimi uygulaması yapılan çalışma alanlarına ait şebeke verileri toplanarak hesaplanan teorik sonuçların saha uygulamasına ne kadar yaklaştığının farkı net ve yüzdesel olarak belirlenmiştir.

Debi ayarlı basınç yönetimi uygulamasının çalışma prensibi sabit çıkışlı ve zaman ayarlı yöntemden çok daha hassas bir yöntem olduğundan farklı bir çözüm yapılmıştır. Çözümde basınç yönetimi ve öncesi durumlar için gerçek şebekeye ait debi değerlerinden grafik çizdirilmiş ve grafiklerin denklemi çıkarılarak grafiğin altında kalan alanlar integrasyon ile hesaplanmıştır. Uygulanan yöntem Şekil 4.4'te özetlendiği gibidir.

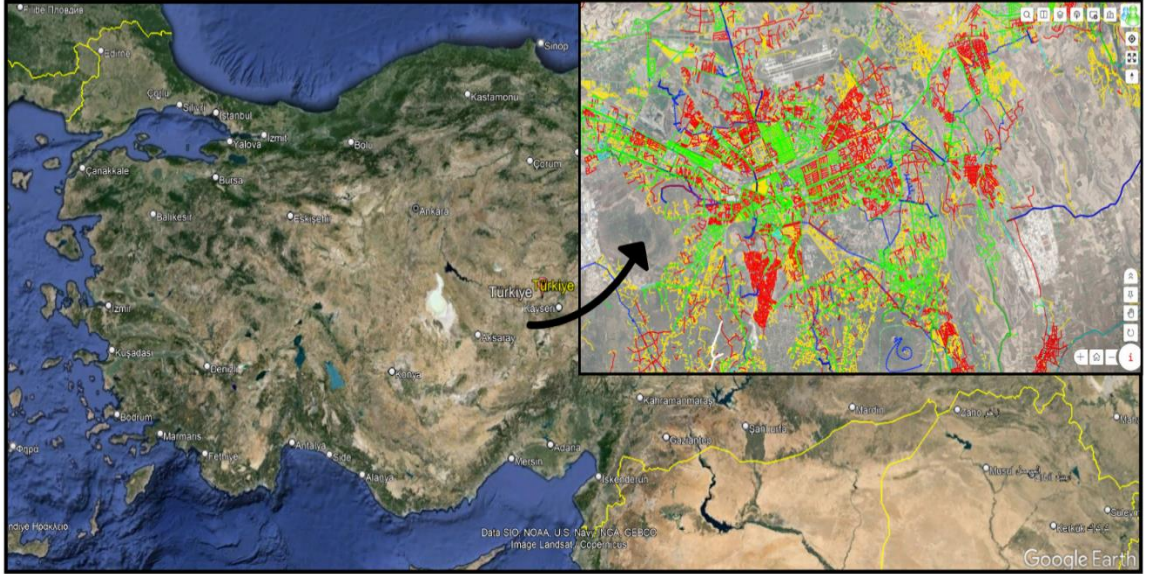
```
>> %Basınç yönetimi öncesi şebeke modellemesi
>> %h= (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24)
>> %L0= (a*,b*,c*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,n*)
>> %plot (h,L0);
>> %Basınç yönetimi sonrası şebeke modellemesi
>> %h'= (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24)
>> %L1= (a1*,b1*,c1*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,*,n1*)
>> %plot (h',L1);
>>
>> %f(x)=y=mx+n, y1=m1x+n1
>> %m=eğim(L0;h), m1=eğim(L1;h');
>> %n=ortalama((m*h+a*)+(m*h+b*)+...+(m*h+n*));
>> %n1= ortalama((m*h'+a1*)+(m*h'+b1*)+...+(m*h'+n1*));
>>
>> %F(x)=∫f(x)=m/2x^2+nx+c, F1(x)=∫f(x)=m1/2x^2+n1x+c1
>> %F(24)-F(1); F1(24)-F1(1)
```

Şekil 4.4 Debi ayarlı yöntem için oluşturulan algoritma

5. ÇALIŞMA ALANI

Gerçek su dağıtım şebekesinde basınç yönetimi uygulaması yapılması durumunda ne kadar su kaybı önleneceğini hesaplayan ve hesaplanan sonuca bağlı olarak fayda maliyet analizi yapan algoritmanın oluşturulmasında Şekil 5.1’de gösterilen Kayseri ili su dağıtım sistemi çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Kayseri ili Türkiye’nin İç Anadolu Bölgesi Orta Kızılırmak Bölümü’nde yer almaktadır. Toplam 309 km su şebeke uzunluğu olan Kayseri Su ve Kanal İdaresi (KASKİ) 670000 abone sayısına sahiptir ve 1441523 nüfusa günde ortalama 370000 m³ su temini hizmeti vermektedir (KASKİ 2024). Çalışma alanında SCADA sistemi ile dağıtım şebekeleri uzaktan izlenebilmekte olup 2020 yılında %95 güvenilirliğe sahip SCADA-CBS entegrasyonuna sahip yeni CBS programına geçiş yapılmıştır (KASKİ 2024).

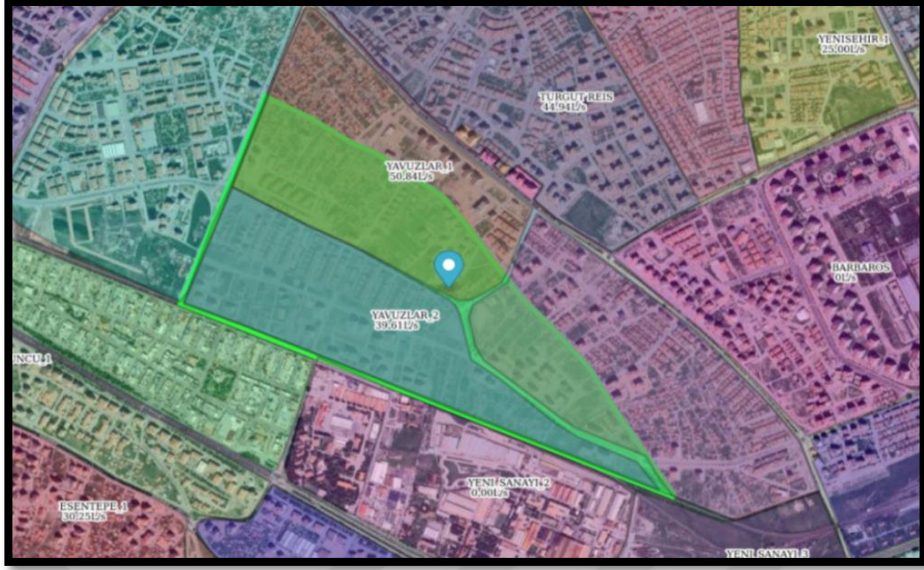


Şekil 5.1 Kayseri uygulama alanı ve pilot izole alt bölgeler (KASKİ 2024)

Farklı basınç düzenleme yöntemlerinden elde edilen faydaların ve uygulama sonucu oluşan maliyetlerin analiz edilebilmesi için; farklı su tüketim karakteristiği gösteren, farklı su kayıp miktarlarına sahip ve farklı basınç düşürücü vanalarla basınç yönetimi uygulaması yapılan 4 farklı izole alt bölgenin verileri Çizelge 5.1’de detaylandırılmıştır.

Çizelge 5.1 Çalışma alanı verileri

Çalışma Alanı Genel Verileri	Birim	YB_4 DMA	YB_5 DMA	Keykubat 1 DMA	Yavuzlar DMA
Su İdaresinin Adı	-	Kaski	Kaski	Kaski	Kaski
Çalışma Yapılan Bölge Adı	-	YB_4 DMA	YB_5 DMA	Keykubat_1 DMA	Yavuzlar DMA
Toplam Şebeke Uzunluğu	m	18257	13383	12809	44081
Toplam Ticari Abone Sayısı	adet	195	91	396	234
Toplam Konut Abone Sayısı	adet	2984	1842	4683	7243
Toplam Abone Bağlantı Sayısı	adet	480	737	556	2387
Ort. Abone Bağlantı Uzunluğu	m	5,26	1,52	6,1	1,65
Top. Abone Bağlantı Uzunluğu	m	2525	1120	3392	3939
Bölgesel Ort. Gece Basıncı	mss	40	30	39	42
Sistem Giriş Debisi	m ³ /ay	38119	22558	59572	133013
Tahakkuk Edilen Su Miktarı	m ³ /ay	33450	19068	52223	72320
Birim Su Maliyeti	TL/m ³	9,00	9,00	9,00	9,00
Birim Su Satış Fiyatı (Mesken)	TL/m ³	25,36	25,36	25,36	25,36
Birim Su Satış Fiyatı (İşyeri)	TL/m ³	34,08	34,08	34,08	34,08
Toplam Depo Sayısı	adet	1	1	1	1
Yıllık Abone Arızası Miktarı	adet	60	85	34	268
Yıllık Şebeke Arızası Miktarı	adet	6	10	4	24
Toplam Arıza Ekibi Sayısı	adet	1	1	1	1
Bölgede DMA Yaklaşımı	e/h	e	e	e	e
Top. DMA Şebeke Uzunluğu	m	18257	13383	12809	44081
Kaç DMA Bölgesi Mevcut	adet	1	1	1	1
Gelir Getirmeyen Su Hacmi	m ³ /ay	4669	3490	7349	60693
Su Kayıp Hacmi	m ³ /ay	4669	3490	7349	60693
Fiziki Kayıp Hacmi	m ³ /ay	4569	3433	7192	60476
İdari Kayıp Hacmi	m ³ /ay	100	57	157	217
Şebekenin Ağırlıklı Boru Cinsi	-	Düktül	PVC	PVC	PVC



Şekil 5. 4 Yavuzlar 1 alt bölgesi (Y-1)

Bu alt bölgelerin seçilmesindeki temel etkenler şöyledir:

- Farklı abone bağlantı sayılarına sahip olması
- Farklı su tüketim karakteristiği göstermesi
- Farklı işletme basınçlarında çalışması
- Farklı basınç düzenleme yöntemleriyle basıncın kontrol altına alınması
- Farklı maliyetlerle su kaybının azaltılması

6. ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER

6.1 Gerçek Saha Verileri İle Teorik Olarak Hesaplanan Sonuçların Sabit Çıkışlı Basınç Kontrolü Üzerinde Fayda ve Maliyet Analizi

6.1.1 Genel bilgiler

Sabit çıkışlı basınç kontrolü içme suyu dağıtım şebekesini abonelerin su taleplerini karşılayacak tek bir çıkış basıncında işleten yöntemdir. Diğer basınç kontrol yöntemlerine kıyasla en uygun maliyetli yöntem olup diğer yöntemlere (zaman ayarlı, debi ayarlı) göre daha az su kaybı önlemektedir (Creaco and Walski 2017).

Sızıntı ve basınç arasındaki ilişki orifis denklemini temel almaktadır (Denklem 6.1). Denklemde; μ deşarj katsayısını, s (m^2) sızıntı alanını, g (ms^{-2}) yerçekimi ivmesini, h boru içindeki ve boru dışındaki basınç farkını (m) ifade etmektedir.

$$QL = \mu s \cdot 2gh \quad (6.1)$$

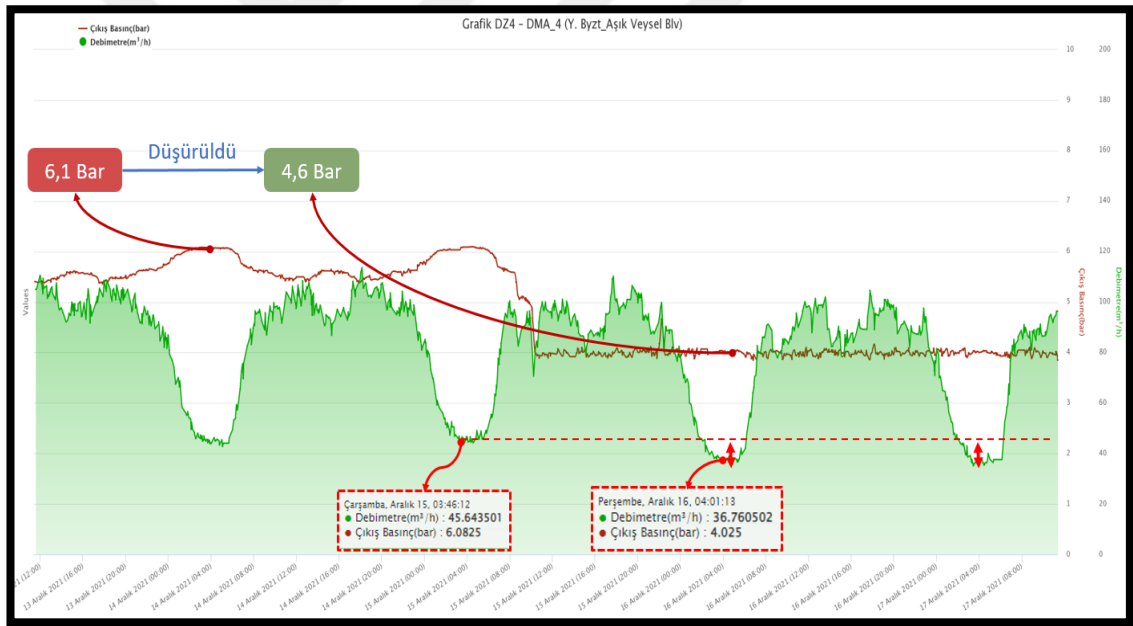
Orifis denkleminde yola çıkarak; May (1994) sızıntı ve basınç arasında ilişki kuran FAVAD denklemini geliştirmiştir. Denklem 3.1’de gösterilen FAVAD denklemi tek bir giriş basıncı ve tek bir çıkış basıncı verilerine göre basıncın düşürülmesinden kaynaklı debiden elde edilen faydayı hesaplamaya olanak sağlar. Dolayısıyla tek bir giriş basıncı ve tek bir çıkış basıncı prensibine göre çalışan sabit çıkışlı basınç kontrol yöntemi için sahada basınç düzenlemesi yapılmadan önce debiden ne kadar kazanım elde edileceği hususunda ilgili kişi, kurum ve idareler için doğruya yakın hesaplama yapmaktadır.

Bu sebeple sabit çıkışlı basınç kontrolü için fayda ve maliyet analizinin yapılmasında FAVAD denklemi kullanılmıştır. Kayseri Su ve Kanal İdaresi’nden (KASKİ) sabit çıkışlı basınç kontrolü ile çalışan Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesine ait debi ve basınç grafiğinden debi ve basınç verileri alınmıştır. N1 boru malzeme katsayısı şebeke haritasından yola çıkarak belirlenmiştir. Tüm bu veriler FAVAD denkleminde yerine

koyularak ilgili hesaplamalar yapılmış saha sonucuyla teorik olarak hesaplanan sonuç karşılaştırılmıştır. Böylelikle teorik olarak hesaplanan sonucun gerçek saha uygulaması sonucuna ne kadar yaklaştığı hesaplanmıştır. Son olarak fayda ve maliyet analizi ile değerlendirme yapılmıştır.

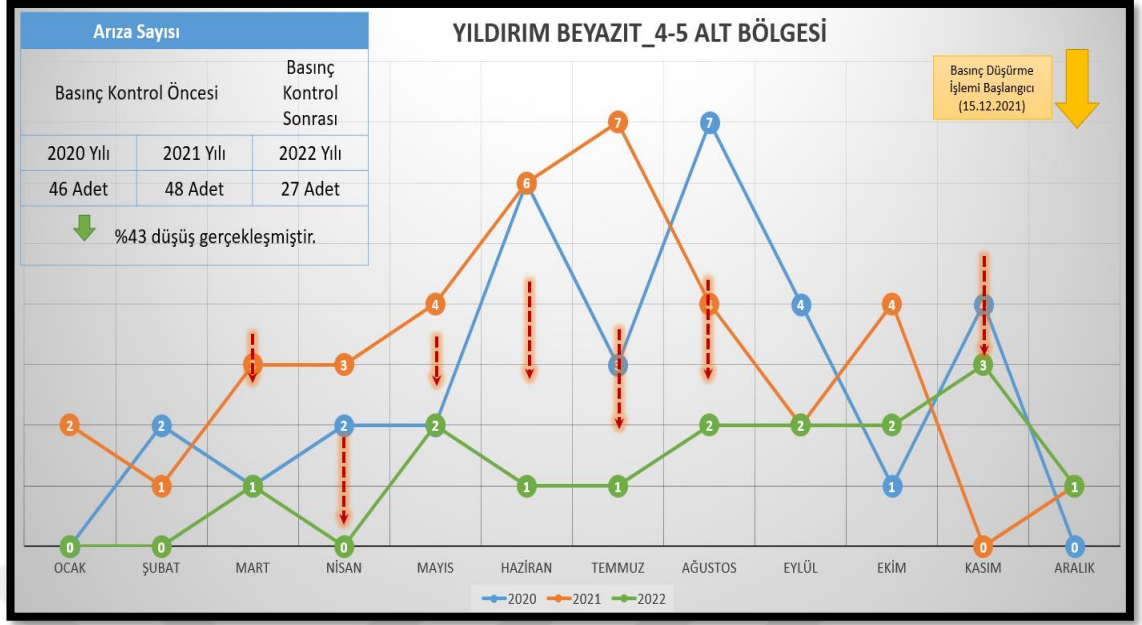
6.1.2 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi gerçek saha verileri

İzole alt bölgede basınç yönetimi uygulamasından önce ortalama giriş debisi 45,64 m³/h, ortalama sistem basıncı ise 5,71 bar olarak ölçülmüştür. Alt bölgede basınç yönetimi uygulamasından sonra ortalama çıkış debisinin 36,76 m³/h, ortalama sistem basıncının ise 4,67 bar seviyesine düştüğü görülmektedir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi debi ve basınç değişimleri

İzole alt bölgede basınç yönetimi uygulamasından önce 2020 yılında 46, 2021 yılında ise 48 adet arıza oluşmuştur. Analizlerde son 2 yılın ortalama sayısı dikkate alınarak şebekede yıllık 47 arıza olduğu kabulü yapılmıştır. Sabit çıkışlı yöntemle basınç yönetimi uygulaması yapılan izole alt bölgede 15.12.2021 tarihinde basınç düşürme işlemine başlanmış ve basınç yönetimi uygulamasından sonra 27 adet arızanın meydana geldiği görülmektedir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi arıza değişimi

6.1.3 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi faydaların karşılaştırılması

İzole alt bölgeye ait teorik hesaplamalar MATLAB® yazılımıyla yapılmıştır. MathWorks tarafından geliştirilen MATLAB® sayısal hesaplama yapmaya olanak sağlayan dildir. Bu program sayesinde algoritma oluşturma, matris işleme, fonksiyon ve grafik oluşturma gibi işlemler yapılabilmektedir (Chaturvedi 2017).

Debiden elde edilen faydanın teorik olarak hesaplamasında Şekil 6.1'deki şebeke verileri dikkate alınmış ve bu veriler FAVAD denkleminde yerine koyulmuştur (Şekil 6.3).

Debi ve basınç verilerinin belirlenmesinde şebekedeki ortalama değerler dikkate alınmıştır. N1 boru malzemesi katsayısının belirlenmesinde ise mevcut şebekedeki abone ve şebeke boru malzemelerinin uzunluğu dikkate alınmıştır. Dağıtım şebekesinde düktil ve PVC boru malzemelerinin kullanıldığı görülmüş boru yoğunluğunun düktil olması göz önünde bulundurularak N1 katsayısı 1,1 olarak belirlenmiştir.

```

>> %DEBİDEN ELDE EDİLEN FAYDANIN TEORİK OLARAK HESAPLANMASI
>> %Birim m3/h
>> ortalama_gece_debisi=45.64;
>> %Birim bar
>> sistem_ilk_basinci=5.71;
>> sistem_son_basinci=4.67;
>> %N1 ağırlıklı boru malzeme katsayısı PVC=1.5, Düktil=1.0
>> %Şebekede PVC ve Düktil boru malzemesi karışık kullanılmıştır.
>> %Kullanılan boru malzemelerinin uzunlukları dikkate alınarak N1 katsayısı belirlenmiştir.
>> N1_katsayisi=1.1;
>> %Teorik olarak sistemin son debisi hesaplanmıştır.
>> %Birim m3/h
>> sistem_son_debisi=ortalama_gece_debisi/(sistem_ilk_basinci/sistem_son_basinci)^N1_katsayisi

sistem_son_debisi =

    36.5843

>> %Basınç yönetimi uygulaması sonrası debiden elde edilen fayda hesaplanmıştır.
>> yuzdesel_fayda=((ortalama_gece_debisi-sistem_son_debisi)*100)/ortalama_gece_debisi

yuzdesel_fayda =

    19.8416

>> %Birim m3/h
>> net_fayda=ortalama_gece_debisi-sistem_son_debisi

net_fayda =

    9.0557

```

Şekil 6.3 Teorik olarak debiden elde edilen faydanın hesaplanması (YB 4-5)

Daha sonra gerçek saha verileri sonuçları ile teorik olarak hesaplanan sonuç karşılaştırılmış ve farkın %5'in altında kalması hedeflenmiştir (Şekil 6.4). Sonuçlara göre fark %1,94 olmuştur böylelikle belirlenen hedefte başarılı olunmuştur.

```

>> %Saha uygulamasından elde edilen sonuçlarla teorik olarak hesaplanan debiden elde edilen fayda karşılaştırılmıştır.
>> %Birim m3/h
>> uygulama_son_debi=36.76;
>> uygulama_net_fayda=ortalama_gece_debisi-uygulama_son_debi

uygulama_net_fayda =

    8.8800

>> %Birim m3/h
>> uygulama_ve_teorik_net_fayda_farki=net_fayda-uygulama_net_fayda

uygulama_ve_teorik_net_fayda_farki =

    0.1757

>> %Birim %
>> uygulama_ve_teorik_net_fayda_yuzdesel_farki=((net_fayda-uygulama_net_fayda)*100)/net_fayda

uygulama_ve_teorik_net_fayda_yuzdesel_farki =

    1.9402

```

Şekil 6.4 Debiden elde edilen faydanın karşılaştırılması (YB 4-5)

Arızadan elde edilen faydanın teorik olarak hesaplanmasında Şekil 6.2'deki şebeke uzunluğu ile saha uygulamasındaki yıllık ilk arıza sayısı dikkate alınmış ve bu veriler Denklem 3.5'de belirtilen S katsayısı denklemine göre şebekede oluşan son arıza sayısı teorik olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.5).

```

>> %ARIZADAN ELDE EDİLEN FAYDANIN TEORİK OLARAK HESAPLANMASI
>> %Birim km
>> toplam_sebeke_uzunlugu=31.64;
>> %Birim adet
>> yıllık_ariza_sayisi=47;
>> %Birim adet
>> referans_ariza_sayisi=(toplam_sebeke_uzunlugu*13)/100

referans_ariza_sayisi =

    4.1132

>> %S katsayısının hesaplanması
>> S=((1-(referans_ariza_sayisi/yillik_ariza_sayisi))^(1-(sistem_son_basinci/sistem_ilk_basinci)^3)/(1-sistem_son_basinci/sistem_ilk_basinci))

S =

    2.2691

>> yuzdesel_S=(S*(1-(sistem_son_basinci/sistem_ilk_basinci))^100)

yuzdesel_S =

    41.3293

>> %Birim adet
>> yeni_yillik_ariza_sayisi=round(yillik_ariza_sayisi-(yillik_ariza_sayisi*yuzdesel_S/100))

yeni_yillik_ariza_sayisi =

    29

```

Şekil 6.5 Teorik olarak arızadan elde edilen faydanın hesaplanması (YB 4-5)

Daha sonra gerçek saha verileri sonuçları ile teorik olarak hesaplanan sonuç karşılaştırılmış ve farkın %5'in altında kalması hedeflenmiştir. Sonuçlara göre fark %3,57 olmuştur böylelikle belirlenen hedefte başarılı olunmuştur (Şekil 6.6).

```

>> %Saha uygulamasından elde edilen sonuçlarla teorik olarak hesaplanan arızadan elde edilen fayda karşılaştırılmıştır.
>> %Uygulama sonuçlarına göre arıza sayıları 2 yılın ortalamasına göre alınmıştır.
>> %Birim adet
>> uygulama_son_ariza=27;
>> %Birim adet
>> uygulama_ve_teori_ariza_farki=yeni_yillik_ariza_sayisi-uygulama_son_ariza

uygulama_ve_teori_ariza_farki =

    1

>> %Birim %
>> uygulama_ve_teori_ariza_yuzdesel_farki=((yeni_yillik_ariza_sayisi-uygulama_son_ariza)*100)/yeni_yillik_ariza_sayisi

uygulama_ve_teori_ariza_yuzdesel_farki =

    3.5714

```

Şekil 6.6 Arızadan elde edilen faydanın karşılaştırılması (YB 4-5)

6.1.4 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi fayda ve maliyet analizi

İçme suyu dağıtım şebekesinde basınç yönetimi uygulamasının şebeke işletme maliyetini düşürmesi, şebekedeki aşırı basıncı azaltması, borularda arıza sayısını düşürmesi gibi faydaları vardır (Darvini and Soldini 2015). Oluşturulan algoritmadaki teorik sonuçlara göre basınç yönetimi sonrası elde edilen finansal faydalar hesaplanmıştır (Şekil 6.7).

```
>> %Yıldırım Beyazıt 4-5 Alt Bölgesi Fayda Analizleri
>> %Debiden Elde Edilen Faydanın Hesaplanması
>> %Birim m3/h
>> L1=9.0557;
>> %Birim TL/m3
>> birim_su_maliyeti=9;
>> %Birim TL/ay
>> aylık_debiden_kazanc=L1*24*30*birim_su_maliyeti;
>> %Arızadan Elde Edilen Faydanın Hesaplanması
>> %Birim adet/yıl
>> azalan_ariza=19;
>> %Birim TL/adet
>> ariza_onarım_maliyeti=39600;
>> %Birim TL/ay
>> aylık_arızadan_kazanc=(azalan_ariza*ariza_onarım_maliyeti)/12;
>> %Toplam Faydanın Hesaplanması
>> %Birim TL/ay
>> toplam_fayda=aylık_debiden_kazanc+aylık_arızadan_kazanc

toplam_fayda =

1.2138e+05
```

Şekil 6.7 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi faydaların hesaplanması

Fayda analizleri sonucunda basınç yönetimi uygulamasının bu şebekede aylık 121385 TL fayda sağladığı hesaplanmıştır. Yatırımın geri dönüş süresinin hesaplanması amacıyla gerekli maliyetler de hesaplanmalıdır. Bir içme suyu dağıtım şebekesinde basınç yönetimi uygulaması yapılması için basınç düzenleyici vana, debimetre, pislik tutucu gibi ekipmanlar temin edilmeli, bölgede aktif kaçak kontrolü ile dinleme çalışmaları yapılarak bölgenin izole edilmesi gerekmektedir. Kullanılan ekipman fiyatlarının belirlenmesinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2024 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları listesi ve piyasadaki özel araştırmalar dikkate alınmıştır. Fiyatların ortalamasından yola çıkarak alt bölgenin maliyet analizi yapılmıştır (Şekil 6.8).

```

>> %Yıldırım Beyazıt 4-5 Alt Bölgesi Maliyet Analizi
>> %Birim TL/adet
>> debimetre_odasi=145000;
>> pislik_tutucu=12000;
>> sinir_vanasi=8500;
>> sifir_basinc_testi=2000;
>> izleme_isletme=52000;
>> bkv_takilmasi=49500;
>> toplam_maliyet=debimetre_odasi+pislik_tutucu+(sinir_vanasi*4)+(sifir_basinc_testi*2)+izleme_isletme+bkv_takilmasi

toplam_maliyet =

296500

```

Şekil 6.8 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi maliyetlerin hesaplanması

```

>> %Yıldırım Beyazıt 4-5 Alt Bölgesi Fayda ve Maliyet Analizi
>> %Birim TL/yıl
>> yıllık_toplam_fayda=toplam_fayda*12;
>> if yıllık_toplam_fayda>toplam_maliyet;
fprintf ('Basınç yönetimi uygulanmalıdır')
else
fprintf ('Basınç yönetimi uygulanmamalıdır')
end
Basınç yönetimi uygulanmalıdır>>
>> %Birim ay
>> yatırım_geri_donus_suresi_aylik=toplam_maliyet/toplam_fayda

yatırım_geri_donus_suresi_aylik =

2.4427

>> %Birim gün
>> yatırım_geri_donus_suresi_gunluk=yatırım_geri_donus_suresi_aylik*30

yatırım_geri_donus_suresi_gunluk =

73.2817

```

Şekil 6.9 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi fayda ve maliyet analizi

Daha sonra Şekil 6.7’de hesaplanan basınç yönetimi uygulaması yapılması durumunda idarenin elde edeceği finansal faydalarla Şekil 6.8’de hesaplanan basınç yönetimi uygulaması yapılması için gereken cihaz ve ekipmanların maliyeti karşılaştırılarak fayda ve maliyet analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda içme suyu dağıtım şebekesinde basınç yönetimi uygulaması yapılmasının doğru bir karar olduğu belirlenip yatırımın yapılmasının idareye geri dönüş süresi 2,44 ay = 73 gün olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.9).

6.2 Gerçek Saha Verileri İle Teorik Olarak Hesaplanan Sonuçların Zaman Ayarlı Basınç Kontrolü Üzerinde Fayda ve Maliyet Analizi

6.2.1 Keykubat 1 alt bölgesi basınç düşürme çalışmaları

Kayseri ili sınırları içinde faaliyet gösteren Keykubat alt bölgesinde izole alt bölge oluşturma çalışmaları yapılmadan önce içme suyu dağıtım şebekesine su temini 8 farklı noktadan ayrı ayrı yapılmakta olup bu noktalar $\varnothing 200$ çelik hat ile birbirine bağlı bulunmaktaydı.



Şekil 6.10 Bölgenin izole edilmeden önceki durumu (K-1)

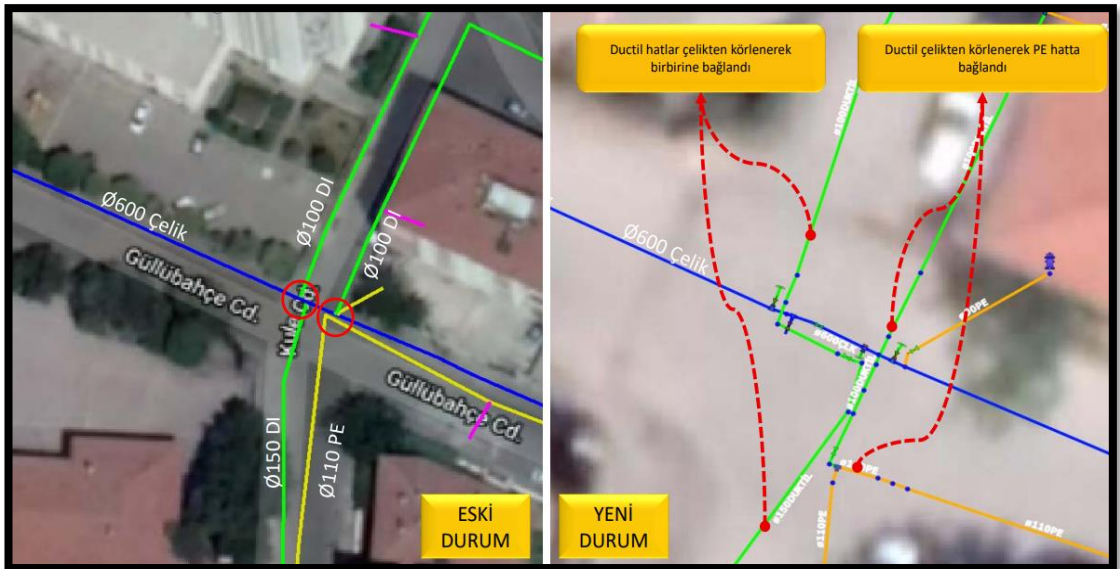


Şekil 6.11 Bölgenin alt bölgelere ayrılma çalışmaları (K-1)

Daha sonra Şekil 6.10’da gösterilen bölgeye 2 farklı oda yeri yapılarak bölge Keykubat 1 ve Keykubat 2 izole alt bölgesi olmak üzere bölünmüştür (Şekil 6.11). Bölgede yapılan körleme çalışmaları ise Şekil 6.12’de gösterilmiştir.

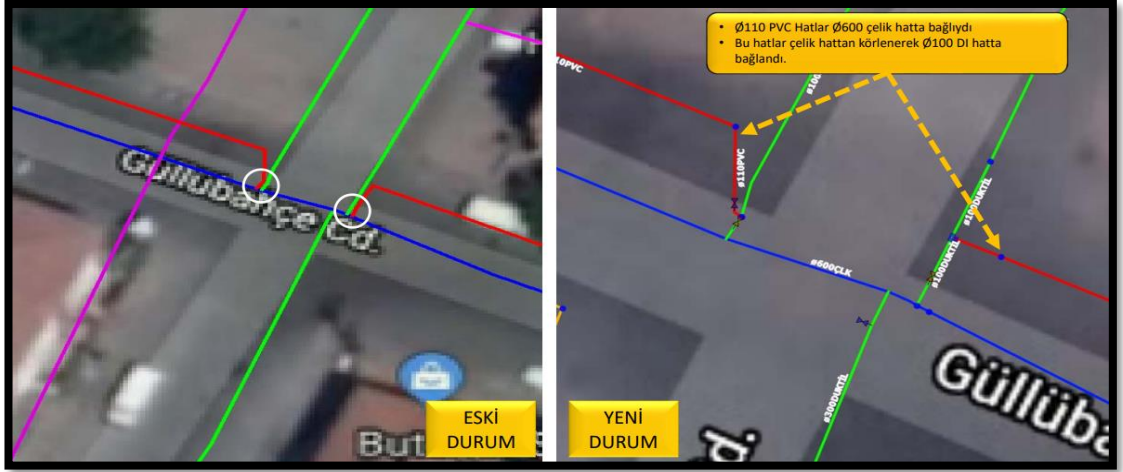


Şekil 6.12 Bölgedeki körleme çalışmaları (K-1)

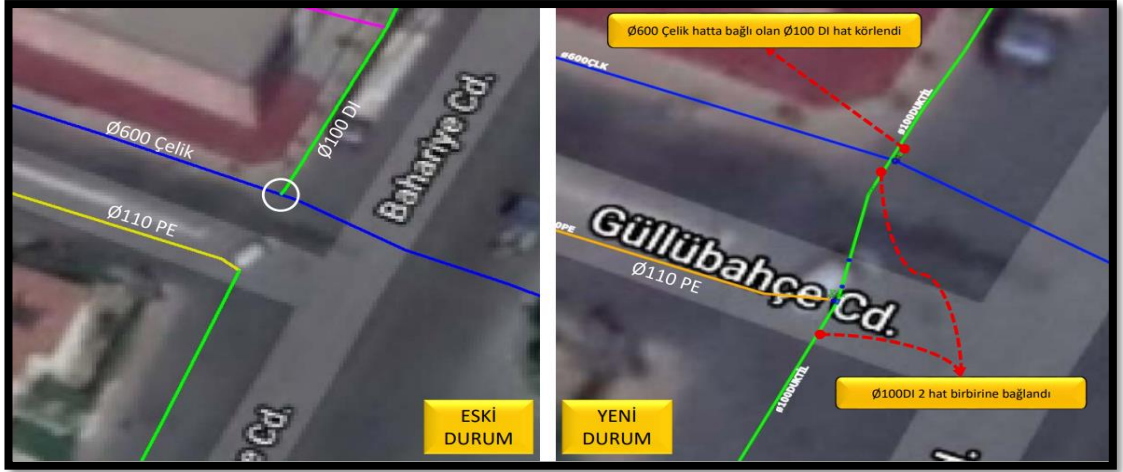


Şekil 6.13 İzole alt bölge oluşturma çalışmaları (K-1)

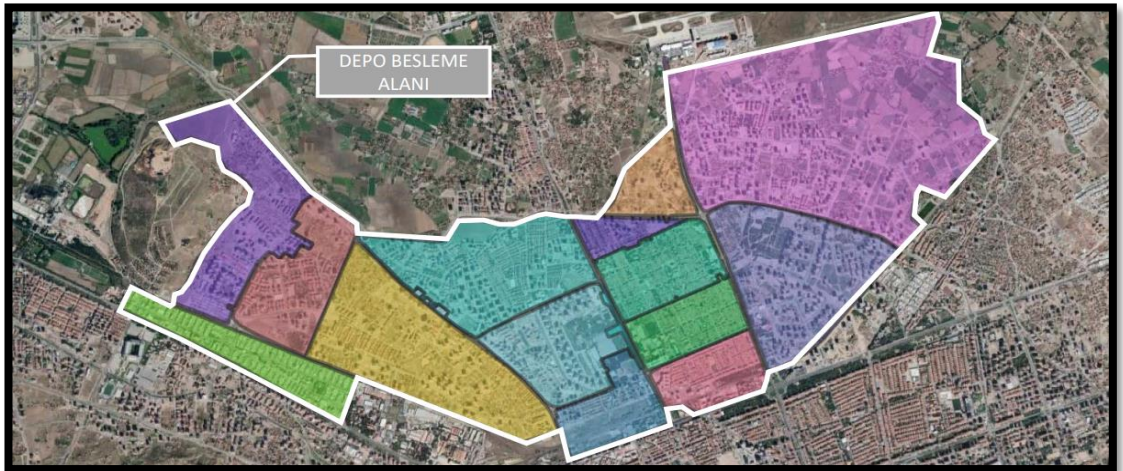
Körleme çalışmalarında düktil hatlar çelikten körlenerek birbirine bağlanmış ve polietilen hatta bağlanmıştır (Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15).



Şekil 6.14 İzole alt bölge oluşturma çalışmaları (K-1)



Şekil 6.15 İzole alt bölge oluşturma çalışmaları (K-1)



Şekil 6.16 Keykubat depo besleme alanı

Şekil 6.16’da izole alt bölgeye ait depo beslenme alanları gösterilmiş olup depo beslenim bölgesindeki DMA giriş, sondaj çıkış ve terfi çıkış bilgileri Şekil 6.17’de belirtilmiştir.

S.NO	SONDAJ ADI	Sondaj Çıkış (m ³)	TERFİ ADI	Terfi Çıkış (m ³)	Keykubat Üst Depoya Basılan	DMA ADI	DMA Giriş (m ³)
1	Keykubat Sondaj-1	0,00	Keykubat Terfi-1	0,00	19,74 m ³ +Depo seviye değişimi 12,5 m ³ Toplam: 19,43 m ³ (C)	Mevlana-1 (Fidanlık)	13,10
2	Keykubat Sondaj-3	72,92	Keykubat Terfi-2	0,00		Mevlana-2 (Şirinpark)	56,52
3	Keykubat Sondaj-4	0,00	Keykubat Terfi-3	513,76		Mevlana-3 (Emniyet)	88,63
4	Keykubat Sondaj-5	61,68	Keykubat Terfi-4	1183,82		Mevlana-4 (Adliye)	51,12
5	Keykubat Sondaj-6	0,00	Toplam(B)	1697,58		Yenisanayi	129,46
6	Keykubat Sondaj-7	259,16				Seyrani	48,10
7	Keykubat Sondaj-9	360,00				Bağdat Cad. (Yavuzlar Genel)	255,10
8	Keykubat Sondaj-10	314,56				Barbaros	111,96
9	Keykubat Sondaj-11	332,38				İstasyon	56,09
10	Keykubat Sondaj-12	340,00				Yakut	105,34
	Toplam (A)	1740,70				Hoca Ahmet Yesevi	330,12
						Ziya Gökalp	96,19
						Yenidoğan-1	81,79
						Yenişehir (Flamingo Parkı)	290,52
						Toplam (D)	1714,03

A-C-D	19,43 m ³
DMA Toplam Girişe Göre Yüzde	1,13%

Şekil 6.17 Keykubat depo beslenim bölgesi dma çıkış kontrolü (14.02.2022)

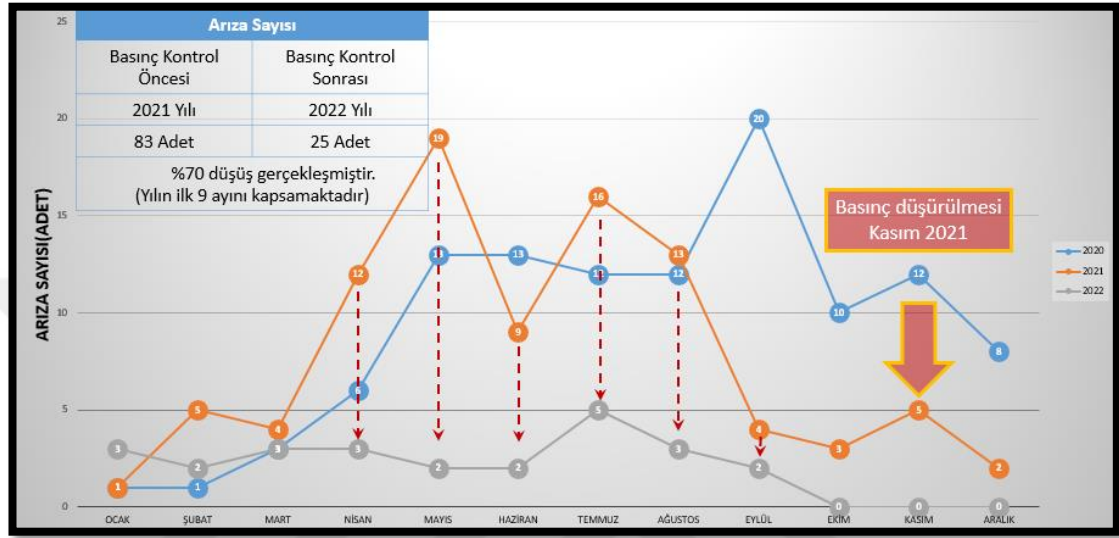
6.2.2 Keykubat 1 alt bölgesi gerçek saha verileri

İzole alt bölgede basınç yönetimi uygulamasından önce ortalama giriş debisi 61,05 m³/h, ilk sistem basıncı ise 8,13 bar olarak ölçülmüştür. Alt bölgede basınç yönetimi uygulamasından sonra ortalama çıkış debisinin 39,25 m³/h, ortalama sistem basıncının ise 4,03 bar seviyesine düştüğü görülmektedir (Şekil 6.18).



Şekil 6.18 Keykubat 1 alt bölgesi debi ve basınç değişimleri

İzole alt bölgede basınç yönetimi uygulamasından önce 83 adet arıza oluşmuştur. Alt bölgede 15.11.2021 tarihinde basınç düşürme işlemine başlanmış ve basınç yönetimi uygulamasından sonra 25 adet arızanın meydana geldiği görülmektedir. Bu arızalar kendinden oluşan arızalardır (Şekil 6.19).



Şekil 6.19 Keykubat 1 alt bölgesi arıza değişimi

6.2.3 Keykubat 1 alt bölgesi faydaların karşılaştırılması

İzole alt bölgenin teorik hesaplamaları MATLAB ® yazılımıyla yapılmıştır. MathWorks tarafından geliştirilen MATLAB ® sayısal hesaplama yapmaya olanak sağlayan dildir. Bu program sayesinde algoritma oluşturma, matris işleme, fonksiyon ve grafik oluşturma gibi işlemler yapılabilmektedir (Chaturvedi 2017).

Debiden elde edilen faydanın teorik olarak hesaplamasında Şekil 6.18'deki şebeke verileri dikkate alınmış ve bu veriler FAVAD denkleminden yola çıkarak üretilen yeni bir algoritma ile hesaplanmıştır.

Oluşturulan algoritma şebekenin gün içinde kaç farklı basınç değerinde işletildiği, işletildiği basınç değerlerinde kaç saat çalıştığı, abone ve servis bağlantılarında kullanılan boru cinslerinin uzunluğu prensibine göre çalışmaktadır.

```
>> %DEBİDEN ELDE EDİLEN FAYDANIN TEORİK OLARAK HESAPLANMASI
>> %Birim m3/h
>> ortalama_gece_debisi=61.05;
>> %Birim bar
>> sistem_ilk_basinci=8.14;
>> sistem_son_basinci_p1=6.00;
>> sistem_son_basinci_p2=5.50;
>> sistem_son_basinci_p3=5.00;
>> sistem_son_basinci_p4=4.00;
>> %N1 ağırlıklı boru malzeme katsayısı PVC=1.5, Düktil=1.0
>> %Şebekede PVC ve Düktil boru malzemesi karışık kullanılmıştır.
>> %Kullanılan boru malzemelerinin uzunlukları dikkate alınarak N1 belirlenmiştir.
>> N1_katsayisi=1.1;
>> %Şebekenin Farklı Son Çalışma Basınçlarında Çalışma Süresi
>> %çalışma süresi(cs)
>> %Birim h
>> p1_cs=12;
>> p2_cs=4;
>> p3_cs=3;
>> p4_cs=5;
>> %Şebekenin Farklı Son Çalışma Basınçlarında Çalışma Yüzdesi
>> %çalışma yüzdesi(cy)
>> %Birim %
>> p1_cy=(p1_cs*100)/24;
>> p2_cy=(p2_cs*100)/24;
>> p3_cy=(p3_cs*100)/24;
>> p4_cy=(p4_cs*100)/24;

>> %Teorik olarak sistemin son debisi hesaplanmıştır.
>> %Birim m3/h
>> sistem_son_debisi=((ortalama_gece_debisi*(sistem_son_basinci_p1/sistem_ilk_basinci)^N1_katsayisi)*(p1_cy/100))+((ortalama_
sistem_son_debisi =

    38.7206

>> %Basınç yönetimi uygulaması sonrası debiden elde edilen fayda hesaplanmıştır.
>> %Birim %
>> yuzdesel_fayda=((ortalama_gece_debisi-sistem_son_debisi)*100)/ortalama_gece_debisi

yuzdesel_fayda =

    36.5756

>> %Birim m3/h
>> net_fayda=ortalama_gece_debisi-sistem_son_debisi

net_fayda =

    22.3294
```

Şekil 6.20 Teorik olarak debiden elde edilen faydanın hesaplanması (K-1)

İlk olarak teorik olarak debiden elde edilen fayda oluşturulan algoritmayla hesaplanmıştır. Daha sonra gerçek saha verisi sonuçları ile teorik olarak hesaplanan sonuç karşılaştırılmıştır. Gerçek saha sonuçlarıyla teorik sonuçlar arasındaki farkın %5'in altında kalması hedeflenmiştir. Sonuçlara göre saha uygulamasına %2,37'ye kadar yaklaşılmış ve belirlenen %5 hedefi tutturulmuştur (Şekil 6.21). Böylelikle oluşturulan algoritmanın tüm bölgelerde uygulanabilir olması analizlerle test edilmiştir.

```

>> %Saha uygulamasından elde edilen sonuçlarla teorik olarak hesaplanan debiden elde edilen fayda karşılaştırılmıştır.
>> %Birim m3/h
>> uygulama_son_debi=39.25;
>> uygulama_net_fayda=ortalama_gece_debisi-uygulama_son_debi

uygulama_net_fayda =

    21.8000

>> %Birim m3/h
>> uygulama_ve_teorik_net_fayda_farki=net_fayda-uygulama_net_fayda

uygulama_ve_teorik_net_fayda_farki =

    0.5294

>> %Birim %
>> uygulama_ve_teorik_net_fayda_yuzdesel_farki=((net_fayda-uygulama_net_fayda)*100)/net_fayda

uygulama_ve_teorik_net_fayda_yuzdesel_farki =

    2.3708

```

Şekil 6.21 Debiden elde edilen faydanın karşılaştırılması (K-1)

Arızadan elde edilen faydanın teorik olarak hesaplamasında Şekil 6.18'deki sistemin farklı işletme basıncı değerleriyle Şekil 6.19'daki şebekede oluşan arıza sayısı verileri dikkate alınmış ve bu veriler Denklem 3.5'de belirtilen S katsayısı denklemine göre şebekede oluşan son arıza sayısı teorik olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.22).

```

>> %ARIZADAN ELDE EDİLEN FAYDANIN TEORİK OLARAK HESAPLANMASI
>> %Birim km
>> toplam_sebekte_uzunlugu=12.81;
>> %Birim adet
>> yillik_ariza_sayisi=63;
>> %Birim adet
>> referans_ariza_sayisi=(toplam_sebekte_uzunlugu*13)/100

referans_ariza_sayisi =

    1.6653

>>
>> %S katsayısının hesaplanması
>> S=((1-(referans_ariza_sayisi/yillik_ariza_sayisi))^(1-(sistem_son_basinci_p1/sistem_ilk_basinci)^3)/(1-sistem_son_basinci_p1/sistem_ilk_basinci)

S =

    2.0633

>> yuzdesel_S=(S*(1-(sistem_son_basinci_p1/sistem_ilk_basinci))*(p1_cy/100)*100)+(S*(1-(sistem_son_basinci_p2/sistem_ilk_basinci))*(p2_cy/100)*100;

yuzdesel_S =

    70.0860

>> %Birim adet
>> yeni_yillik_ariza_sayisi=round(yillik_ariza_sayisi-(yillik_ariza_sayisi*yuzdesel_S/100))

yeni_yillik_ariza_sayisi =

    25

```

Şekil 6.22 Teorik olarak arızadan elde edilen faydanın hesaplanması (K-1)

Gerçek saha verilerindeki oluşan arıza sonuçları ile teorik olarak hesaplanan arıza sonuçları karşılaştırılmış ve farkın %5'in altında kalması hedeflenmiştir. Sonuçlara göre saha uygulaması son arıza sayıları ile teorik olarak hesaplanan son arıza sayısı aynı çıkmıştır. Bu algoritmanın başarılı bir şekilde kurulduğunu göstermektedir (Şekil 6.23).

```
>> %Saha uygulamasından elde edilen sonuçlarla teorik olarak hesaplanan arızadan elde edilen fayda karşılaştırılmıştır.
>> %Birim adet
>> uygulama_son_ariza=25;
>> %Birim adet
>> uygulama_ve_teori_ariza_farki=yeni_yillik_ariza_sayisi-uygulama_son_ariza

uygulama_ve_teori_ariza_farki =

    0

>> %Birim %
>> uygulama_ve_teori_ariza_yuzdesel_farki=((yeni_yillik_ariza_sayisi-uygulama_son_ariza)*100)/yeni_yillik_ariza_sayisi

uygulama_ve_teori_ariza_yuzdesel_farki =

    0
```

Şekil 6.23 Arızadan elde edilen faydanın karşılaştırılması (K-1)

6.2.4 Keykubat 1 alt bölgesi fayda ve maliyet analizi

Teorik sonuçlara göre kazanılan debiden ve azalan arıza sayısından basınç yönetimi sonrası elde edilecek finansal faydalar Şekil 6.24'de hesaplanmıştır.

```
>> %Keykubat 1 Alt Bölgesi Fayda Analizleri
>> %Debiden Elde Edilen Faydanın Hesaplanması
>> %Birim m3/h
>> L1=22.3294;
>> %Birim TL/m3
>> birim_su_maliyeti=9;
>> %Birim TL/ay
>> aylık_debiden_kazanc=L1*24*30*birim_su_maliyeti;
>> %Arızadan Elde Edilen Faydanın Hesaplanması
>> %Birim adet/yıl
>> azalan_ariza=58;
>> %Birim TL/adet
>> ariza_onarim_maliyeti=39600;
>> %Birim TL/ay
>> aylık_arızadan_kazanc=(azalan_ariza*ariza_onarim_maliyeti)/12;
>> %Toplam Faydanın Hesaplanması
>> %Birim TL/ay
>> toplam_fayda=aylık_debiden_kazanc+aylık_arızadan_kazanc

toplam_fayda =

    3.3609e+05
```

Şekil 6.24 Keykubat 1 alt bölgesi faydaların hesaplanması

Kullanılan ekipman fiyatlarının belirlenmesinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2024 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları listesi ve piyasadaki özel araştırmalar dikkate alınmıştır. Fiyatların ortalamasından yola çıkarak zaman ayarlı çalışan alt bölgede basınç yönetimi uygulaması için gerekli ekipmanların maliyet analizi yapılmıştır (Şekil 6.25).

```
>> %Keykubat 1 Alt Bölgesi Maliyet Analizi
>> %Birim TL/adet
>> debimetre_odasi=145000;
>> pislik_tutucu=12000;
>> sinir_vanasi=8500;
>> sifir_basinc_testi=2000;
>> izleme_isletme=52000;
>> bkv_takilmesi=150000;
>> toplam_maliyet=debimetre_odasi+pislik_tutucu+(sinir_vanasi*4)+(sifir_basinc_testi*2)+izleme_isletme+bkv_takilmesi

toplam_maliyet =

397000
```

Şekil 6.25 Keykubat 1 alt bölgesi maliyetlerin hesaplanması

```
>> %Keykubat 1 Alt Bölgesi Fayda ve Maliyet Analizi
>> %Birim TL/yıl
>> yillik_toplam_fayda=toplam_fayda*12;
>> if yillik_toplam_fayda>toplam_maliyet;
fprintf ('Basınç yönetimi uygulanmalıdır')
else
fprintf ('Basınç yönetimi uygulanmamalıdır')
end
Basınç yönetimi uygulanmalıdır>>
>> %Birim ay
>> yatırım_geri_donus_suresi_aylik=toplam_maliyet/toplam_fayda

yatirim_geri_donus_suresi_aylik =

1.1812

>> %Birim gün
>> yatırım_geri_donus_suresi_gunluk=yatirim_geri_donus_suresi_aylik*30

yatirim_geri_donus_suresi_gunluk =

35.4365
```

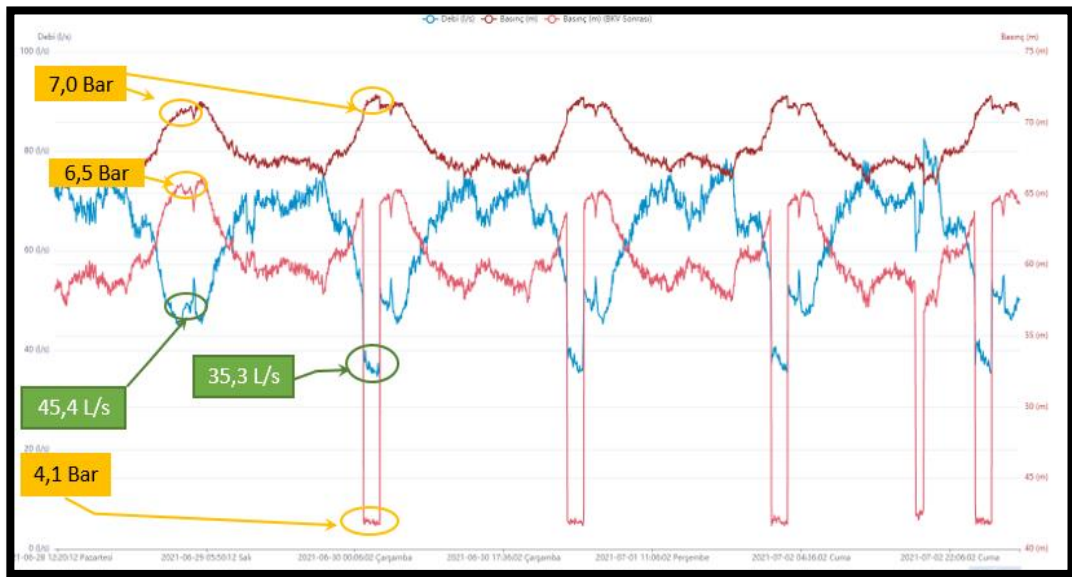
Şekil 6.26 Keykubat 1 alt bölgesi fayda ve maliyet analizi

Şekil 6.24’de hesaplanan basınç yönetimi uygulaması yapılması durumunda idarenin elde edeceği finansal faydalarla Şekil 6.25’de hesaplanan basınç yönetimi uygulaması yapılması için gereken cihaz ve ekipmanların maliyeti karşılaştırılarak fayda ve maliyet analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda içme suyu dağıtım şebekesinde basınç yönetimi uygulaması yapılmasının doğru bir karar olduğu belirlenip yatırımın yapılmasının idareye geri dönüş süresi 1,18 ay=36 gün olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.26).

6.3 Gerçek Saha Verileri İle Teorik Olarak Hesaplanan Sonuçların Debi Ayarlı Basınç Kontrolü Üzerinde Fayda ve Maliyet Analizi

6.3.1 Yavuzlar 1 alt bölgesi gerçek saha verileri

İzole alt bölgede basınç yönetimi uygulamasından önce ortalama giriş debisi 45,4 L/s, ilk sistem basıncı ise 7,0 bar olarak ölçülmüştür. Alt bölgede basınç yönetimi uygulamasından sonra ortalama çıkış debisinin 35,3 L/s, ortalama sistem basıncının ise 4,1 bar seviyesine düştüğü görülmektedir (Şekil 6.27). İzole alt bölgede basınç yönetimi uygulamasından önce 92 adet arıza oluşmuştur. Alt bölgede basınç düşürülmüş ve basınç yönetimi uygulamasından sonra 24 adet arızanın meydana geldiği görülmektedir.

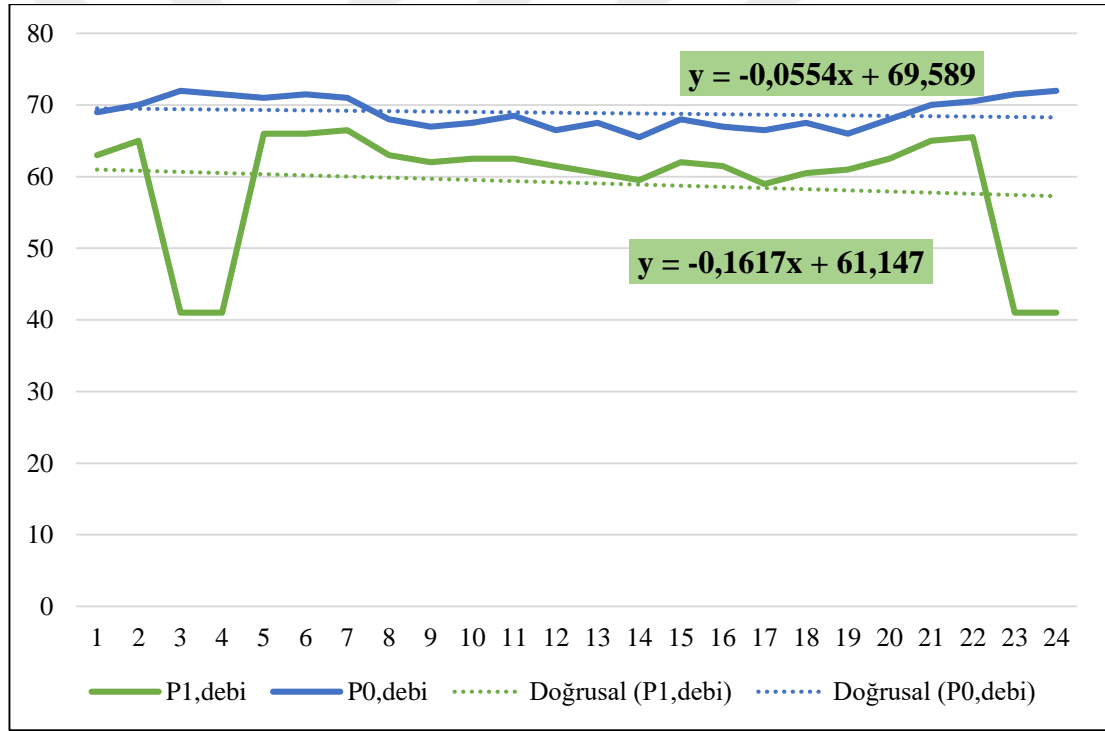


Şekil 6.27 Yavuzlar 1 alt bölgesi debi ve basınç değişimleri

6.2.3 Yavuzlar 1 alt bölgesi faydaların karşılaştırılması

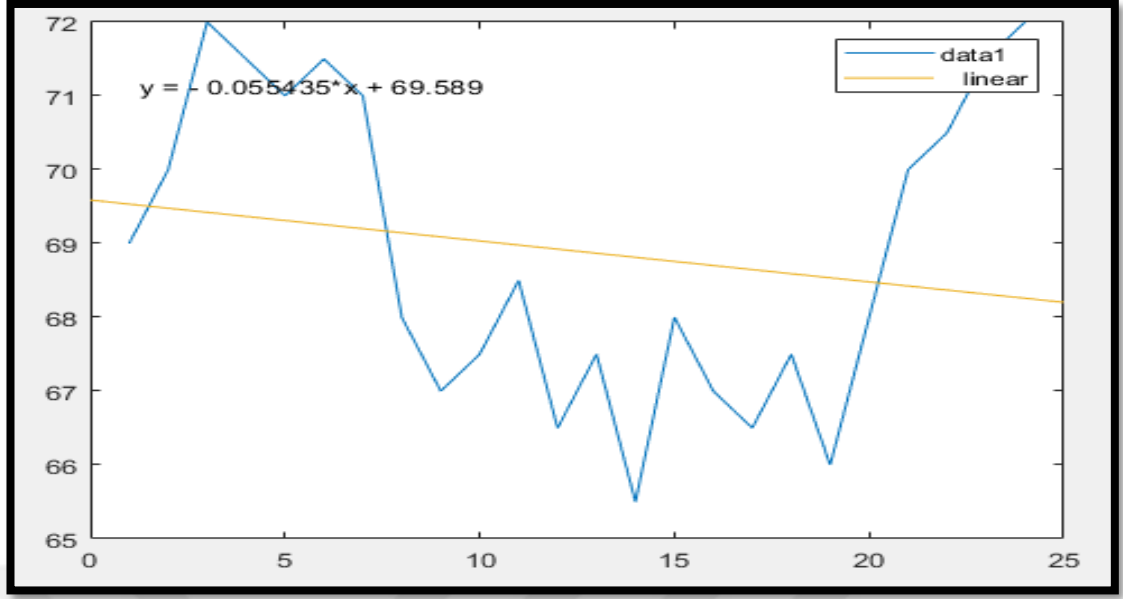
İzole alt bölgenin teorik hesaplamaları yapılırken şebekenin modellenmesi yoluna gidilmiştir. Şebekenin grafiksel modellenmesi ve ilgili hesaplamaların yapılması MATLAB® yazılımıyla yapılmıştır.

Debiden elde edilen faydanın teorik olarak hesaplamasında Şekil 6.27'deki şebeke verileri dikkate alınmıştır. Bu verilerden yola çıkarak basınç yönetiminden önceki ve basınç yönetiminden sonraki durumlar için zamana bağlı basınç değişimi grafikleri çizdirilmiştir (Şekil 6.28).



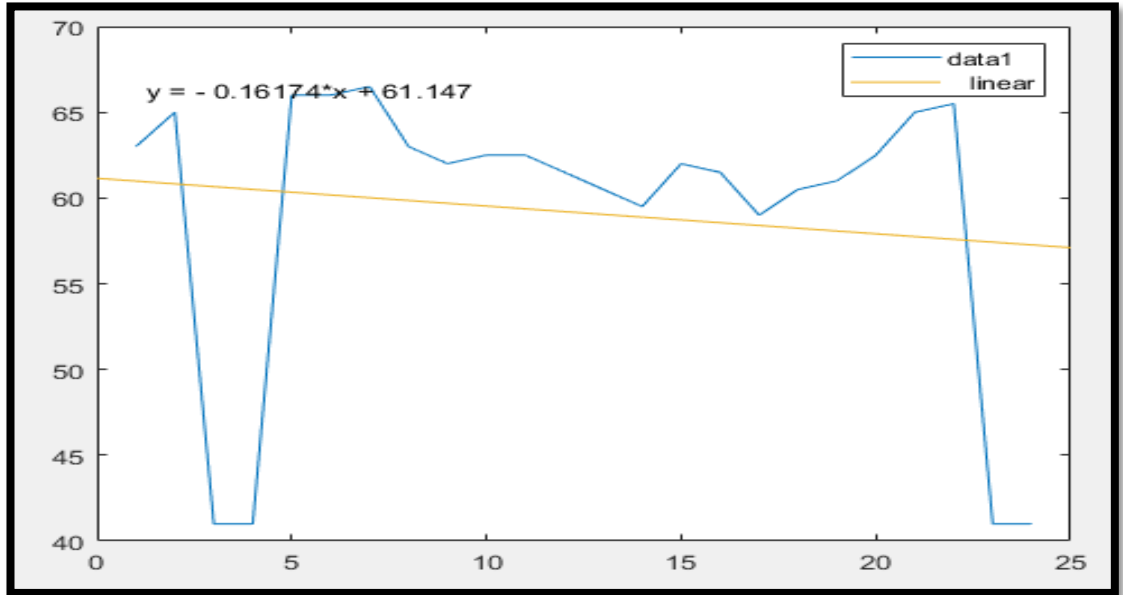
Şekil 6.28 Yavuzlar 1 alt bölgesi modellenmesi

İzole alt bölgede basınç kontrol altına alınmadan önce içme suyu dağıtım şebekesine ait debi-basınç grafiği Şekil 6.29'da gösterilmiştir. Grafikte x eksenı zamanı, y eksenı basıncı (mss) temsil etmektedir. Sarı çizgi ile gösterilen eğriden grafiğin denklemi bulunmuştur. Sarı çizginin altında kalan alan dağıtım şebekesinde basınç yönetimi öncesi su tüketimini vermektedir.



Şekil 6.29 Basınç yönetimi öncesi dağıtım şebekesinin modellenmesi (Y-1)

İzole alt bölgede basınç kontrol altına alındıktan sonra içme suyu dağıtım şebekesine ait debi-basınç grafiği Şekil 6.30'da gösterilmiştir. Grafikte x eksenini zamanı, y eksenini basıncı (mss) temsil etmektedir. Sarı çizgi ile gösterilen eğriden grafiğin denklemi bulunmuştur. Sarı çizginin altında kalan alan dağıtım şebekesinde basınç yönetimi sonrası su tüketimini vermektedir.



Şekil 6.30 Basınç yönetimi sonrası dağıtım şebekesinin modellenmesi (Y-1)

Çizdirilen grafikler ve elde edilen denklemlerden yola çıkarak basınç yönetimi öncesinde dağıtım şebekesinden abonelere ulaşan debi miktarı hesaplanmıştır. Hesaplama abonelere 1 gün içinde temin edilen su dikkate alınmıştır. Denklem integrali alınarak belirli integrallerle basınç yönetimi öncesi şebekenin durumu analiz edilmiştir. Hesaplama sonucu basınç yönetimi öncesi şebekeden 1584,61 L/s debi geçmiştir (Şekil 6.31).

```

>> %DEBİDEN ELDE EDİLEN FAYDANIN TEORİK OLARAK HESAPLANMASI
>> %Basınç yönetimi öncesi şebekenin durumu analiz edilmiştir.
>> %f(x)=y=mx+n
>> x=24;
>> y=-0.555435*x+69.589;
>> F(x)=-0.555435/2*x^2+69.589*x

F =

    1.0e+03 *

Columns 1 through 14

    0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0

Columns 15 through 24

    0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         1.5102

>> F(24)=1654.165;
>> x1=1;
>> y=-0.555435*x1+69.589;
>> F(x1)=-0.555435/2*x1^2+69.589*x1

F =

    1.0e+03 *

Columns 1 through 14

    0.0693         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0

Columns 15 through 24

    0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         1.6542

>> F(1)=69.56105;
>> %Basınç yönetimi öncesi sistemden geçen debi hesaplanmıştır.
>> %Birim L/s
>> F(24)-F(1)==1584.604;

```

Şekil 6.31 Basınç yönetimi öncesi debinin hesaplanması (Y-1)

Çizdirilen grafikler ve elde edilen denklemlerden yola çıkarak basınç yönetimi sonrasında dağıtım şebekesinden abonelere ulaşan debi miktarı hesaplanmıştır. Hesaplama abonelere 1 gün içinde temin edilen su dikkate alınmıştır. Denklem integrali alınarak belirli integrallerle basınç yönetimi sonrası şebekenin durumu analiz edilmiştir. Hesaplama sonucu basınç yönetimi sonrası şebekeden 1359,88 L/s debi geçmiştir (Şekil 6.32). Debi miktarı farkından basınç yönetiminin şebekeye kazandırdığı debi hesaplanmıştır.

```

>> %Basinç yönetimi sonrası şebekenin durumu analiz edilmiştir.
>> %f(x)=y=mx+n
>> x=24;
>> y=-0.16174*x+61.147;
>> F(x)=-0.16174/2*x^2+61.147*x

F =

    1.0e+03 *

Columns 1 through 14

    0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0

Columns 15 through 24

    0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         1.4209

>> F(24)=1420.941;
>> x1=1;
>> y=-0.16174*x1+61.147;
>> F(x1)=-0.16174/2*x1^2+61.147*x1

F =

    1.0e+03 *

Columns 1 through 14

    0.0611         0         0         0         0         0         0         0         0         0         0

Columns 15 through 24

    0         0         0         0         0         0         0         0         0         0         1.4209

>> F(1)=61.065;
>> %Basinç yönetimi sonrası sistemden geçen debi hesaplanmıştır.
>> %Birim L/s
>> F(24)-F(1)==1359.875;

```

Şekil 6.32 Basınç yönetimi sonrası debinin hesaplanması (Y-1)

```

>> %Saha uygulamasından elde edilen sonuçlarla teorik olarak hesaplanan debiden elde edilen faydalar karşılaştırılmıştır.
>> %Birim L/s
>> teori_kazanilan_debi=(1584.604-1359.875)/23

teori_kazanilan_debi =

    9.7708

>> %Birim L/s
>> saha_uygulamasi_kazanilan_debi=45.4-35.3

saha_uygulamasi_kazanilan_debi =

    10.1000

>> %Birim L/s
>> uygulama_ve_teorik_net_fayda_farki=saha_uygulamasi_kazanilan_debi-teori_kazanilan_debi

uygulama_ve_teorik_net_fayda_farki =

    0.3292

>> %Birim %
>> net_fayda_yuzdesel_farki=((saha_uygulamasi_kazanilan_debi-teori_kazanilan_debi)*100)/saha_uygulamasi_kazanilan_debi

net_fayda_yuzdesel_farki =

    3.2591

```

Şekil 6.33 Debiden elde edilen faydanın karşılaştırılması (Y-1)

Basınç yönetimi öncesi ve sonrası durumlar için şebeke analiz edilerek sonuçlar gerçek saha sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada farkın %5'in altında kalması hedeflenmiştir. Sonuçlara göre fark %3,25 olmuş ve hedef başarılmıştır (Şekil 6.33).

Arızadan elde edilen faydanın teorik olarak hesaplamasında sistemin farklı işletme basıncı değerleriyle şebekede oluşan arıza sayısı verileri dikkate alınmış ve şebekede oluşan son arıza sayısı teorik olarak Şekil 6.34'de hesaplanmıştır. Gerçek saha verilerindeki oluşan arıza sonuçları ile teorik olarak hesaplanan arıza sonuçları karşılaştırılmış ve farkın %5'in altında kalması hedeflenmiştir. Sonuçlara göre gerçek sonuçlarla teorik sonuçlar arasındaki fark -%4,34 olmuştur ve belirlenen hedefte başarılı olunmuştur (Şekil 6.35).

```
>> %ARIZADAN ELDE EDİLEN FAYDANIN TEORİK OLARAK HESAPLANMASI
>> %Birim km
>> toplam_sebeke_uzunlugu=44.081;
>> toplam_sebeke_uzunlugu=12.81;
%Birim adet
>> %ARIZADAN ELDE EDİLEN FAYDANIN TEORİK OLARAK HESAPLANMASI
>> %Birim km
>> toplam_sebeke_uzunlugu=44.081;
>> %Birim adet
>> yillik_ariza_sayisi=92;
>> %Birim adet
>> referans_ariza_sayisi=(toplam_sebeke_uzunlugu*13)/100

referans_ariza_sayisi =

    5.7305

>> %S Katsayısının Hesaplanması
>> S=((1-(referans_ariza_sayisi/yillik_ariza_sayisi))*(1-(sistem_son_basinci/sistem_ilk_basinci)^3

S =

    1.8086

>> yuzdesel_S=(S*(1-(sistem_son_basinci/sistem_ilk_basinci))*100)

yuzdesel_S =

    74.9292

>> %Birim adet
>> yeni_yillik_ariza_sayisi=round(yillik_ariza_sayisi-(yillik_ariza_sayisi*yuzdesel_S/100))

yeni_yillik_ariza_sayisi =

    23
```

Şekil 6.34 Teorik olarak arızadan elde edilen faydanın hesaplanması (Y-1)

```
>> %Saha uygulamasından elde edilen sonuçlarla teorik olarak hesaplanan arızadan elde edilen fayda karşılaştırılmıştır.
>> %Birim adet
>> uygulama_son_ariza=24;
>> %Birim adet
>> uygulama_ve_teori_ariza_farki=yeni_yillik_ariza_sayisi-uygulama_son_ariza

uygulama_ve_teori_ariza_farki =

    -1

>> %Birim %
>> uygulama_ve_teori_ariza_yuzdesel_farki=((yeni_yillik_ariza_sayisi-uygulama_son_ariza)*100)/yeni_yillik_ariza_sayisi

uygulama_ve_teori_ariza_yuzdesel_farki =

   -4.3478
```

Şekil 6.35 Arızadan elde edilen faydanın karşılaştırılması (Y-1)

6.3.4 Yavuzlar 1 alt bölgesi fayda ve maliyet analizi

Oluşturulan algoritmada hesaplanan teorik sonuçlara göre debi ayarlı yöntemde basınç yönetimi sonrası elde edilen finansal faydalar hesaplanmıştır (Şekil 6.36).

```
>> %Yavuzlar 1 Alt Bölgesi Fayda Analizleri
>> %Debiden Elde Edilen Faydanın Hesaplanması
>> %Birim L/s
>> L1=9.7708;
>> %Birim m3/h
>> kazanilan_debi=(9.7708/1000)*60*60;
>> %Birim TL/m3
>> birim_su_maliyeti=9;
>> %Birim TL/ay
>> aylık_debiden_kazanc=kazanilan_debi*24*30*birim_su_maliyeti;
>> %Arızadan Elde Edilen Faydanın Hesaplanması
>> %Birim adet/yıl
>> azalan_ariza=69;
>> %Birim TL/adet
>> ariza_onarim_maliyeti=39600;
>> %Birim TL/ay
>> aylık_arizadan_kazanc=(azalan_ariza*ariza_onarim_maliyeti)/12;
>> %Toplam Faydanın Hesaplanması
>> %Birim TL/ay
>> toplam_fayda=aylık_debiden_kazanc+aylık_arizadan_kazanc

toplam_fayda =

   4.5563e+05
```

Şekil 6.36 Yavuzlar 1 alt bölgesi faydaların hesaplanması

Kullanılan ekipman fiyatlarının belirlenmesinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2024 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları listesi ve piyasadaki özel araştırmalar dikkate alınmıştır. Fiyatların ortalamasından yola çıkarak debi ayarlı çalışan alt bölgede basınç yönetimi uygulaması için gerekli ekipmanların maliyet analizi yapılmıştır (Şekil 6.25). Bu yöntem için maliyetlerin yıllık 447000 TL olacağı belirlenmiştir.

```
>> %Yavuzlar 1 Alt Bölgesi Maliyet Analizi
>> %Birim TL/adet
>> debimetre_odasi=145000;
>> pislik_tutucu=12000;
>> sinir_vanasi=8500;
>> sifir_basinc_testi=2000;
>> izleme_isletme=52000;
>> bkv_takilmesi=200000;
>> toplam_maliyet=debimetre_odasi+pislik_tutucu+(sinir_vanasi*4)+(sifir_basinc_testi*2)+izleme_isletme+bkv_takilmesi

toplam_maliyet =

447000
```

Şekil 6.37 Yavuzlar 1 alt bölgesi maliyetlerin hesaplanması

```
>> %Yavuzlar 1 Alt Bölgesi Fayda ve Maliyet Analizi
>> %Birim TL/yıl
>> yillik_toplam_fayda=toplam_fayda*12;
>> if yillik_toplam_fayda>toplam_maliyet;
fprintf ('Basınç yönetimi uygulanmalıdır')
else
fprintf ('Basınç yönetimi uygulanmamalıdır')
end
Basınç yönetimi uygulanmalıdır>>
>> %Birim ay
>> yatırım_geri_donus_suresi_aylik=toplam_maliyet/toplam_fayda

yatirim_geri_donus_suresi_aylik =

0.9811

>> %Birim gün
>> yatırım_geri_donus_suresi_gunluk=yatirim_geri_donus_suresi_aylik*30

yatirim_geri_donus_suresi_gunluk =

29.4316
```

Şekil 6.38 Keykubat 1 alt bölgesi fayda ve maliyet analizi

Şekil 6.36’da hesaplanan basınç yönetimi uygulaması yapılması durumunda idarenin elde edeceği finansal faydalarla Şekil 6.37’de hesaplanan basınç yönetimi uygulaması yapılması için gereken cihaz ve ekipmanların maliyeti karşılaştırılarak fayda ve maliyet analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda içme suyu dağıtım şebekesinde basınç yönetimi uygulaması yapılmasının doğru bir karar olduğu belirlenip yatırımın yapılmasının idareye geri dönüş süresi 0,98 ay= 29 gün olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.38).

6.4 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tez kapsamında farklı basınç kontrol yöntemlerinin gerçek bir sahada uygulamasından elde edilen faydalarla basınç yönetiminin teorik olarak uygulanması sonucu elde edilen faydaları oluşturulan algoritmalar ile karşılaştırılarak tüm basınç yöntemlerinde son sızıntıyı hesaplayan algoritma oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla birbirinden farklı topoğrafyaya sahip, farklı su tüketimleri gösteren ve farklı işletme basınçlarında abonelere su teminini ulaştıran 4 farklı izole alt bölgede basınç yönetimi uygulanmıştır. Gerçek saha verileri baz alınarak teorik olarak farklı basınç kontrol yöntemlerinden elde edilecek faydalar hesaplanmıştır. Algoritmanın başarılı olarak kabul edilmesi için teorik olarak hesaplanan debiden ve arızadan elde edilen faydaların gerçek saha verilerine $\pm\%5$ yakın olması sınır değerler kabul edilmiştir.

Algoritmanın başarılı olduğu test edildikten sonra teorik olarak hesaplanan sonuçlarla ve Kayseri Su ve Kanal İdaresi’nden alınan gerçek finansal fayda değerleri alınarak debiden ve arızadan elde edilen finansal faydalar aylık olarak hesaplanmıştır. Basınç yönetiminin gerçek bir sahada uygulanması için gereken tüm cihaz ve ekipmanlar belirlenerek basınç yönetimi uygulamasının maliyeti 2024 yılı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları listesinden ve piyasadaki firmalardan araştırmalar yapılarak belirlenmiştir. Cihazların fiyatı 2024 yılı Temmuz ayı güncel kurlarına göre hesaplanarak finansal maliyetler belirlenmiştir. Finansal faydaların ve finansal maliyetlerin hesaplanmasının ardından fayda ve maliyet analizi yapılmıştır.

Basınç yönetimi uygulamasının yapılıp yapılmaması gerektiğine karar verilmiş ve karar basınç uygulaması yapılmalı şeklinde çıkmışsa yapılan çalışmanın idareye geri dönüş süresi hesaplanmıştır. Sonuçlar farklı basınç kontrol yöntemlerinden elde edilen faydaların farkını göz önüne koymuştur. Oluşturulan algoritmaların başarılı bir şekilde çalıştığı test edilip bu yöntemin tüm bölgelerde uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

6.4.1 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi için değerlendirmeler

İzole alt bölgede gerçek saha verilerine göre basınç yönetimi uygulanmadan önce debi 45,64 m³/h, basınç 5,71 bar; basınç yönetimi uygulandıktan sonra debi 36,76 m³/h, basınç 4,67 bar olarak ölçülmüştür. Teorik olarak sabit çıkışlı yöntemle basınç yönetimi uygulandığında debi 36,58 m³/h hesaplanmıştır. Debiden saha uygulamasında 8,88 m³/h, teorik olarak 9,06 m³/h net fayda elde edilmiştir. Gerçek ve teorik sonuçlar karşılaştırıldığında debiden elde edilen net faydada 0,18 m³/h'lik bir fark oluşmuş ve bu fark yüzdesel olarak %1,94'tür. Sonuç algoritmanın başarılı sayılması için yeterli olan $\pm\%5$ 'lik sınırlar içinde bulunmaktadır.

Basınç yönetiminin ek faydası olan şebekedeki arıza sayılarını düşürmesinden kaynaklı faydalar incelendiğinde gerçek saha verilerine göre şebekede basınç yönetimi uygulaması yapılmadan son 2 yıl verileri ortalamasına göre bölgede 47 adet arıza oluşmuş, bölgede basınç yönetimi uygulandıktan sonra arıza sayısı 27'ye düşmüştür. Teorik olarak ise bölgede basınç yönetimi uygulaması sonrası arıza sayısı 28 olarak hesaplanmıştır. Gerçek saha verileri sonuçları ile teorik sonuçlar karşılaştırıldığında arızadan elde edilen faydada fark %3.57 olmuştur ve bu değer istenilen $\pm\%5$ sınırları içinde kalmıştır. Teorik analizlerde ilk debi ve ilk arıza sayıları saha uygulaması sonuçlarına göre alınmıştır. Bölgeye ait analiz sonuçları Çizelge 6.1'de değerlendirilmiştir.

Teorik olarak hesaplanan debi ve arıza sayılarına göre fayda ve maliyet analizi yapılmıştır. Hesaplamalar sonucu ilgili dağıtım şebekesinde basınç yönetimi uygulaması yapılmasının aylık 121385 TL faydası olduğu bulunmuş ve basınç yönetimi uygulaması maliyetini 2,44 ay~73 günde amorti etmiştir.

Çizelge 6. 1 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi analiz sonuçları

	Saha Uygulaması	Teorik	Net Fark	Yüzdesele Fark
Debi(L0)	45.64 m ³ /h	45.64 m ³ /h	-	-
Debi(L1)	36.76 m ³ /h	36.58 m ³ /h	0.176 m³/h	%1.94
Arıza(B0)	47 adet	47 adet	-	-
Arıza(B1)	27 adet	28 adet	1 adet	%3.57

6.4.2 Keykubat 1 alt bölgesi için değerlendirmeler

İzole alt bölgede gerçek saha verilerine göre basınç yönetimi uygulanmadan önce debi 61,05 m³/h, basınç 8,13 bar; basınç yönetimi uygulandıktan sonra debi 39,25 m³/h, basınç 4,03 bar olarak ölçülmüştür. Teorik olarak zaman ayarlı yöntemle basınç yönetimi uygulandığında debi 38,72 m³/h hesaplanmıştır. Debiden saha uygulamasında 21,8 m³/h, teorik olarak 22,33 m³/h net fayda elde edilmiştir. Gerçek ve teorik sonuçlar karşılaştırıldığında debiden elde edilen net faydada 0,53 m³/h'lik bir fark oluşmuş ve bu fark yüzdesel olarak %2,37'dir. Sonuç algoritmanın başarılı sayılması için yeterli olan ±%5'lik sınırlar içinde bulunmaktadır. Basınç yönetiminin ek faydası olan şebekedeki arıza sayılarını düşürmesinden kaynaklı faydalar incelendiğinde gerçek saha verilerine göre şebekede basınç yönetimi uygulaması yapılmadan önce bölgede 83 adet arıza oluşmuş, bölgede basınç yönetimi uygulandıktan sonra arıza sayısı 25'e düşmüştür. Teorik olarak da bölgede basınç yönetimi uygulaması sonrası arıza sayısı 25 olarak hesaplanmıştır. Gerçek saha verileri sonuçları ile teorik sonuçlar karşılaştırıldığında arızadan elde edilen faydada fark oluşmamış ve bu sonuç istenilen ±%5 sınırları içinde kalmıştır. Teorik analizlerde ilk debi ve ilk arıza sayıları saha uygulaması sonuçlarına göre alınmıştır. Bölgeye ait analiz sonuçları Çizelge 6.2'de değerlendirilmiştir.

Teorik olarak hesaplanan debi ve arıza sayılarına göre fayda ve maliyet analizi yapılmıştır. Hesaplamalar sonucu ilgili dağıtım şebekesinde basınç yönetimi uygulaması yapılmasının aylık 336095 TL faydası olduğu bulunmuş ve basınç yönetimi uygulaması maliyetini 1,18 ay~36 günde amorti etmiştir.

Çizelge 6.2 Keykubat 1 alt bölgesi analiz sonuçları

	Saha Uygulaması	Teorik	Net Fark	Yüzdesel Fark
Debi(L0)	61,05 m ³ /h	61,05 m ³ /h	-	-
Debi(L1)	39,25 m ³ /h	38,72 m ³ /h	0,53 m³/h	%2,37
Arıza(B0)	83 adet	83 adet	-	-
Arıza(B1)	25 adet	25 adet	-	-

6.4.3 Yavuzlar 1 alt bölgesi için değerlendirmeler

İzole alt bölgede gerçek saha verilerine göre basınç yönetimi uygulanmadan önce debi 163,44 m³/h, basınç 7,0 bar; basınç yönetimi uygulandıktan sonra debi 127,08 m³/h, basınç 4,1 bar olarak ölçülmüştür. Debi ayarlı yöntemle basınç yönetimi yapıldığında debiden saha uygulamasında 36,36 m³/h, teorik olarak 35,17 m³/h net fayda kazanılmıştır. Gerçek ve teorik sonuçlar karşılaştırıldığında debiden elde edilen net faydada 1,19 m³/h'lik bir fark oluşmuş ve bu fark yüzdesel olarak %3,26'dır. Sonuç algoritmanın başarılı sayılması için yeterli olan $\pm\%5$ 'lik sınırlar içinde bulunmaktadır. Teorik analizde ilk debi ve ilk arıza sayıları saha uygulaması sonuçlarına göre alınmıştır.

Basınç yönetiminin ek faydası olan şebekedeki arıza sayılarını düşürmesinden kaynaklı faydalar incelendiğinde gerçek saha verilerine göre şebekede basınç yönetimi uygulaması yapılmadan önce bölgede 92 adet arıza oluşmuş, bölgede basınç yönetimi uygulandıktan sonra arıza sayısı 24'e düşmüştür. Teorik olarak da bölgede basınç yönetimi uygulaması sonrası arıza sayısı 23 olarak hesaplanmıştır. Gerçek saha verileri sonuçları ile teorik sonuçlar karşılaştırıldığında arızadan elde edilen faydada fark -%4.37 olmuş ve istenilen $\pm\%5$ sınırları içinde kalmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 6.3'de değerlendirilmiştir.

Teorik olarak hesaplanan debi ve arıza sayılarına göre fayda ve maliyet analizi yapılmıştır. Hesaplamalar sonucu ilgili dağıtım şebekesinde basınç yönetimi uygulaması yapılmasının aylık 455635 TL faydası olduğu bulunmuş ve basınç yönetimi uygulaması maliyetini 0,98 ay~29 günde amorti etmiştir.

Çizelge 6.3 Keykubat 1 alt bölgesi analiz sonuçları

	Saha Uygulaması	Teorik	Net Fark	Yüzdesele Fark
Debi(L0)	163,44 m ³ /h	163,44 m ³ /h	-	-
Debi(L1)	127,08 m ³ /h	128,27 m ³ /h	1,19 m³/h	%3,26
Arıza(B0)	92 adet	92 adet	-	-
Arıza(B1)	24 adet	23 adet	-1 adet	-%4,37

6.4.4 Fayda ve maliyet analizleri için değerlendirmeler

Bu bölümde farklı basınç düzenleme vanalarının yapılan yatırımın geri dönüş süresine bağlı olarak su kaybı önleme üzerindeki etkileri araştırılmış ve yorumlanmıştır.

Sabit çıkışlı yöntemde çalışan Yıldırım Beyazıt 4-5 izole alt bölgesine ait finansal faydalar Şekil 6.7’de ve finansal maliyetler Şekil 6.8’de hesaplanmıştır. Yapılan bu hesaplamalar sonucunda yıllık 1456620 TL fayda sağlanmış olup faydanın sağlanması için gerekli ekipmanların yıllık 269500 TL maliyeti vardır (Çizelge 6.4). Yıllık bazda finansal faydalar maliyetten fazla çıkararak basınç yönetimi yapılması uygun görülmüştür.

Çizelge 6.4 Yıldırım Beyazıt 4-5 alt bölgesi için analizler

Sabit Çıkışlı Basınç Kontrol Vanası		
Fayda	121385	TL/ay
Fayda	1456620	TL/yıl
Maliyet	269500	TL/yıl

Zaman ayarlı yöntemde çalışan Keykubat 1 izole alt bölgesine ait finansal faydalar Şekil 6.24’de ve finansal maliyetler Şekil 6.25’de hesaplanmıştır. Yapılan bu hesaplamalar sonucunda yıllık 4033140 TL fayda sağlanmış olup faydanın sağlanması için gerekli ekipmanların yıllık 397000 TL maliyeti vardır (Çizelge 6.5). Yıllık bazda finansal faydalar maliyetten fazla çıkararak basınç yönetimi yapılması uygun görülmüştür.

Çizelge 6.5 Keykubat 1 alt bölgesi için analizler

Zaman Ayarlı Basınç Kontrol Vanası		
Fayda	336095	TL/ay
Fayda	4033140	TL/yıl
Maliyet	397000	TL/yıl

Debi ayarlı yöntemde çalışan Yavuzlar 1 izole alt bölgesine ait finansal faydalar Şekil 6.36'da ve finansal maliyetler Şekil 6.37'de hesaplanmıştır. Yapılan bu hesaplamalar sonucunda yıllık 5467620 TL fayda sağlanmış olup faydanın sağlanması için gerekli ekipmanların yıllık 447000 TL maliyeti vardır (Çizelge 6.5). Yıllık bazda finansal faydalar maliyetten fazla çıkarak basınç yönetimi yapılması uygun görülmüştür.

Çizelge 6.6 Yavuzlar 1 alt bölgesi için analizler

Debi Ayarlı Basınç Kontrol Vanası		
Fayda	455635	TL/ay
Fayda	5467620	TL/yıl
Maliyet	447000	TL/yıl

Analiz sonuçlarına bakıldığında;

- En maliyetli yöntemin debi ayarlı yöntem olduğu, bunu sırayla zaman ayarlı ve sabit çıkışlı yöntemlerin takip ettiği görülmüştür.
- Debi ayarlı yöntemin en maliyetli yöntem olmasının yanında en fazla faydayı sağlayan yöntem olduğu analizlerle test edilmiştir. Debi ayarlı yöntemden sonra en fazla finansal faydayı sağlayan yöntem sırayla zaman ayarlı ve sabit çıkışlı yöntemdir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında şebekenin fiziksel durumu, içme suyu dağıtım şebekesindeki su kayıp miktarları, basınç yönetiminin sağladığı faydaların ve maliyetlerin finansal olarak su kanal idareleri ve ilgili kuruluşlara geri dönüş süresi göz önünde bulundurularak teorik olarak farklı basınç düzenleme yöntemlerinden elde edilecek faydaların gerçek saha uygulamasına en yakın şekilde hesaplanması için yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Oluşturulan algoritmanın test edilmesi için Kayseri içme suyu dağıtım şebekeleri çalışma alanı olarak seçilmiş ve bu kapsamda 4 farklı DMA bölgesi kullanılmıştır. Birbirinden farklı özelliklere sahip DMA'larda gerçek saha verileri KASKİ'den alınmış ve gerçek saha verileri sonuçları oluşturulan algoritmalarla teorik olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda her bir izole bölge için teorik ve gerçek sonuçlar karşılaştırılarak her bir izole bölge için fayda ve maliyet analizi yapılmıştır.

Tez kapsamındaki çalışmalarda;

- Her bir basınç düzenleme yöntemi için şebekede ne kadar debi kazanılacağını ve basınç yönetimi sonrası ne kadar arıza oluşacağını hesaplayan yeni bir araç geliştirilmiştir.
- Teorik olarak basınç yönetimi uygulandığında içme suyu dağıtım şebekesinden geçen son debi miktarı ve son arıza sayısı hesaplanmıştır.
- Teorik olarak hesaplanan içme suyu dağıtım şebekesindeki son debi miktarı saha uygulamasına en yakın şekilde belirlenmiştir.
- Şebekede kullanılan farklı basınç düzenleme vanalarının sızıntıları önlemesi konusunda etkileri araştırılmıştır.
- Basınç yönetimi uygulamasında ilgili idare, kurum ve kuruluşların yapacağı yatırımın geri dönüş süresi hesaplanmıştır.
- Yatırımın geri dönüş süresine bağlı olarak farklı basınç düzenleme yöntemlerinin su kaybı önleme üzerine etkisi yorumlanmıştır.
- Basınç yönetimi uygulanmalı mı sorusuna ilgili idare, kurum ve kuruluşların karar verici olarak bu yöntemi kullanması hedeflenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda;

- Sabit çıkışlı basınç düzenleme yöntemi uygulanan Yıldırım Beyazıt 4-5 izole alt bölgesinde basınç yönetimi uygulaması içme suyu dağıtım şebekesine **9,06 m³/h** debiyi geri kazandırmıştır.
- Zaman ayarlı basınç düzenleme yöntemi uygulanan Keykubat 1 izole alt bölgesinde basınç yönetimi uygulaması içme suyu dağıtım şebekesine **22,33 m³/h** debiyi geri kazandırmıştır.
- Debi ayarlı basınç düzenleme yöntemi uygulanan Yavuzlar 1 izole alt bölgesinde basınç yönetimi uygulaması içme suyu dağıtım şebekesine **35,17 m³/h** debiyi geri kazandırmıştır.
- Sabit çıkışlı basınç düzenleme yöntemi uygulanan Yıldırım Beyazıt 4-5 izole alt bölgesinde saha uygulama sonuçlarıyla oluşturulan algoritma ile teorik hesaplama sonucunun karşılaştırılmasında debide **%1,94** fark oluşmuştur.
- Zaman basınç düzenleme yöntemi uygulanan Keykubat 1 izole alt bölgesinde saha uygulama sonuçlarıyla oluşturulan algoritma ile teorik hesaplama sonucunun karşılaştırılmasında debide **%2,37** fark oluşmuştur.
- Debi ayarlı basınç düzenleme yöntemi uygulanan Yavuzlar 1 izole alt bölgesinde saha uygulama sonuçlarıyla oluşturulan algoritma ile teorik hesaplama sonucunun karşılaştırılmasında debide **%3,26** fark oluşmuştur.
- Sabit çıkışlı basınç düzenleme yöntemi uygulanan Yıldırım Beyazıt 4-5 izole alt bölgesinde basınç yönetimi uygulaması içme suyu dağıtım şebekesinde basıncın **1,04 bar** düşürülmesiyle şebekede yıllık **19 arıza** azaltılmıştır.
- Zaman ayarlı basınç düzenleme yöntemi uygulanan Keykubat 1 izole alt bölgesinde basınç yönetimi uygulaması içme suyu dağıtım şebekesinde basıncın **4,1 bar** düşürülmesiyle yıllık **58 arıza** azaltılmıştır.
- Debi ayarlı basınç düzenleme yöntemi uygulanan Yavuzlar 1 izole alt bölgesinde basınç yönetimi uygulaması içme suyu dağıtım şebekesinde basıncın **2,9 bar** düşürülmesiyle yıllık **59 arıza** azaltılmıştır.
- Sabit çıkışlı basınç düzenleme yöntemi uygulanan Yıldırım Beyazıt 4-5 izole alt bölgesinde saha uygulama sonuçlarıyla oluşturulan algoritma ile teorik hesaplama sonucunun karşılaştırılmasında arızada **%3,57** fark oluşmuştur.

- Zaman basınç düzenleme yöntemi uygulanan Keykubat 1 izole alt bölgesinde saha uygulama sonuçlarıyla oluşturulan algoritma ile teorik hesaplama sonucunun karşılaştırılmasında arızada fark oluşmamıştır.
- Debi ayarlı basınç düzenleme yöntemi uygulanan Yavuzlar 1 izole alt bölgesinde saha uygulama sonuçlarıyla oluşturulan algoritma ile teorik hesaplama sonucunun karşılaştırılmasında arızada **-%4,37** fark oluşmuştur.
- Sabit çıkışlı basınç düzenleme yöntemi uygulanan Yıldırım Beyazıt 4-5 izole alt bölgesinde finansal faydalar aylık **121385 TL** olup finansal maliyetler yıllık **269500 TL**'dir.
- Zaman ayarlı basınç düzenleme yöntemi uygulanan Keykubat 1 izole alt bölgesinde finansal faydalar aylık **336095 TL** olup finansal maliyetler yıllık **397000 TL**'dir.
- Debi ayarlı basınç düzenleme yöntemi uygulanan Yavuzlar 1 izole alt bölgesinde finansal faydalar aylık **455635 TL** olup finansal maliyetler yıllık **447000 TL**'dir.
- Debi ayarlı yöntemin maliyetini **29 gün** ile en kısa sürede amorti ettiği bunu **36 günle** zaman ayarlı yöntemin takip ettiği ve en uzun sürede maliyeti geri dönen yöntemin **73 günle** sabit çıkışlı yöntem olduğu analizlerle bulunmuştur.
- Debi ayarlı yöntemin en fazla maliyetle en fazla faydayı sağlayan basınç düzenleme yöntemi olduğu analizlerle tespit edilmiştir.
- Sabit çıkışlı yöntemin en az maliyetle en az faydayı sağlayan basınç düzenleme yöntemi olduğu analizlerle tespit edilmiştir.
- Zaman ayarlı yöntemin sabit çıkışlı yöntemle kıyasla daha faydalı bir yöntem olduğu ancak debi ayarlı yöntemle kıyasla daha az faydalı bir yöntem olduğu analizlerle tespit edilmiştir.
- Bu çalışmayla su kanal idareleri, ilgili kişi ve kuruluşlar basınç yönetimi uygulaması yapılmadan ne kadar faydanın ve ne kadar maliyetin olacağı konusunda fikir sahibi olabilecektir.
- Oluşturulan bu algoritmanın su kanal idareleri için basınç yönetimi uygulaması planlaması yapılırken karar verici bir etkiye sahip olması düşünülmektedir.

Bu çalışma konusu kapsamındaki öneriler şöyledir:

- Azalan su kaynakları karşısında aboneler tarafından bireysel olarak su tasarrufu önlemleri alınmalıdır.
- Tarımda kullanılan su miktarı içme ve kullanma sularından daha fazla seviyelere ulaşmaktadır. Bu nedenle tarımda bilinçli sulama yapılmalıdır.
- Su kanal idareleri kaynaktan son kullanıcıya kadar su iletiminin sağlanmasında meydana gelen kayıpları önlemelidir. Burada yapılan çalışmalar bireysel olarak alınan önlemlerden daha çok su kaybı önlemektedir.
- Su kayıp yönetimi kapsamındaki çalışmaların sürdürülebilirliği sağlanmalıdır.
- Akademik çalışmalar ile su idarelerinin ortak çalışması ile basınç yönetimi uygulama alanları genişletilmelidir.

KAYNAKLAR

- Adedeji, K. B., Hamam, Y., Abe, B. T., and Abu-Mahfouz, A. M. 2018. Pressure Management Strategies for Water Loss Reduction in Large-Scale Water Piping Networks: A Review. In *Springer Water* (pp. 465–480).
- Ajaz, M., and Ahmad, D. 2023. Application of EPANET 2.2 Software and Jal-Tantra Web System for Optimal Hydraulic Design of Water Distribution System for University of Kashmir. 83.
- Akdemir, M., ve Yılmaz, S. 2023. İçme Suyu Sistemlerinde Sızıntıların Uygulamalı ve Teorik Olarak Karşılaştırılması. *Journal of Studies of Studies in Advanced Technologies*, 1(2), 55–66.
- AL-Washali, T., Sharma, S., and Kennedy, M. 2016. Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review. *Water Resources Management*, 30(14), 4985–5001.
- Amoatey, P. K., Minke, R., and 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(1), 96–105.
- Baghirattan B, and Parker J. 2017. A Guide to Non-Revenue Water Reduction: How to Limit Losses, Strengthen Commercial Viability and Improve Services. *Water Sanit*, 1-18.
- Bakri, B., Arai, Y., Inakazu, T., Koizumi, A., Yoda, H., and Pallu, S. 2015. Selection and Concentration of Pipeline Mains for Rehabilitation and Expansion of Water Distribution Network. *Procedia Environmental Sciences*, 28, 732–742.
- Berardi, L., Ugarelli, R., Røstum, J., and Giustolisi, O. 2014. Assessing mechanical vulnerability in water distribution networks under multiple failures. *Water Resources Research*, 50(3), 2586–2599.
- Bhagat, S. K., Tiyasha, Welde, W., Tesfaye, O., Tung, T. M., Al-Ansari, N., Salih, S. Q., and Yaseen, Z. M. 2019. Evaluating physical and fiscal water leakage in water distribution system. *Water (Switzerland)*, 11(10).
- Bouchraki, F., Hamchaoui, S., and Berreksi, A. 2023. Planning methodology for effective implementation of the rehabilitation policy for drinking water networks. *Water Policy*, 25(7), 680–700.

- Bozkurt, C., Ates, A., Firat, M., Yılmaz, S., and Özdemir, Ö. 2024. A Novel Strategic Water Loss Management Model and Its Optimization with Harris Hawk Algorithm. *Water Resources Management*, 38(4), 1543–1561.
- Brennan, M., Rondón-Sulbarán, J., Sabogal-Paz, L. P., Fernveez-Ibañez, P., and Galdos-Balzategui, A. 2021. Conceptualising global water challenges: A transdisciplinary approach for understanding different discourses in sustainable development. *Journal of Environmental Management*, 298.
- Burn, L. S., De Silva, D., and Shipton, R. J. 2002. Effect of demand management and system operation on potable water infrastructure costs. *Urban Water*, 4(3), 229-236.
- Carriço, N., Ferreira, B., Barreira, R., Antunes, A., Grueau, C., Mendes, A., Covas, D., Monteiro, L., Santos, J., and Brito, I. S. 2020. Data integration for infrastructure asset management in small to medium-sized water utilities. *Water Science and Technology*, 82(12), 2737–2744.
- Chaturvedi, D. K. 2017. *Modeling and Simulation of Systems Using MATLAB® and Simulink®*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315218335>
- Creaco, E., and Walski, T. 2017. Economic Analysis of Pressure Control for Leakage and Pipe Burst Reduction. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143.
- Darvini, G., and Soldini, L. 2015. Pressure control for WDS management. A case study. *Procedia Engineering*, 119(1), 984–993.
- Diao, K., Zhou, Y., and Rauch, W. 2013. Automated Creation of District Metered Area Boundaries in Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(2), 184–190.
- Fallis, P., Hübschen, K., Oertle, E., Ziegler, D., Klinger, P., Knobloch, A., Baader, J., Oertle, E., Trujillo, R., and Laures, C. 2011. Guidelines for water loss reduction - A focus on pressure management. Eschborn, Germany: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. 1-236.
- Farley, M. 2001. Leakage management and control. (No. WHO/SDE/WSH/01.1). World Health Organization.
- Farley, M., and Liemberger, R. 2005. Developing a non-revenue water reduction strategy: planning and implementing the strategy. In *Water Science and Technology: Water Supply* 5(1), 41-50.
- Farley, M., and Trow, S. 2003. *Losses in Water Distribution Networks*. IWA publishing.

- Farley, M., Wyeth, G., Bin, Z., Ghazali, M., Istvear, A., Singh, S., Van Dijk, N., Raksakulthai, V., and Kirkwood, E. 2008. *The Manager's Non-Revenue Water Handbook A Guide to Understveing Water Losses*. Ranhill Utilities Berhad and the United States Agency for International Developement, Bangkok, Thailand.
- Fırat, M., Yılmaz, S., ve Orhan, C. 2021. Su kayıp yönetimi için temel hesaplama araçlarının geliştirilmesi ve temel su kayıp bileşenlerinin analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 405-416.
- Gomes, R., Sousa, J., Muranho, J., and Marques, A. S. 2015. Different design criteria for district metered areas in water distribution networks. *Procedia Engineering*, 119(1), 1221–1230.
- Hedaiaty Marzouny, N., Jalili Ghazizadeh, M., Moslehi, I., and Komeily, M. 2024. Application of pressure reducing and throttle control valves for optimal pressure management in water distribution networks. *Urban Water Journal*, 21(1), 65–79.
- Jazayeri, P., and Moeini, R. 2024. District metered areas determination for water distribution networks using improved Girvan-Newman algorithm. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(5).
- Kanakoudis, V., and 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.
- Karadirek, I. E., Kaya-Basar, E., and Akdeniz, T. 2024. A study on pipe failure analysis in water distribution systems using logistic regression. *Water Supply*, 24(1), 176–186.
- KASKİ. 2024. Kayseri Su ve Kanal İdaresi. Web sitesi <https://www.kaski.gov.tr/kaski-genel-bilgiler>. Erişim Tarihi: 04.04.2024.
- Kleiner, Y., and Rajani, B. 2012. Comparison of four models to rank failure likelihood of individual pipes. *Journal of Hydroinformatics*, 14(3), 659–681.
- Koşucu, M. M., and Demirel, M. C. 2024. Cost Efficiency Assessment of Four Pressure Management Methods in Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 150(3).
- Kowalska, B., Suchorab, P., and Kowalski, D. 2022. Division of district metered areas (DMAs) in a part of water supply network using WaterGEMS (Bentley) software: a case study. *Applied Water Science*, 12(7).

- Kowalski, D., and Suchorab, P. 2023. The Impact Assessment of Water Supply DMA Formation on the Monitoring System Sensitivity. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(3).
- Kravvari, A., Kanakoudis, V., and Patelis, M. 2018. The Impact of Pressure Management Techniques on the Water Age in an Urban Pipe Network—The Case of Kos City Network. 699.
- Lambert, A. 1997. Managing Leakage: Strategies for quantifying controlling and reducing water losses, based on analysis of compenents using BABE conceptes. In *Water Pipelines and Network Management, IIR Conference*.
- Lambert, A., Brown, T. G., Takizawa, M., and 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., and Morrison, J. A. E. 1996. Recent Developments in Application of “Bursts and Background Estimates” Concepts for Leakage Management. *Water and Environment Journal*, 10(2), 100-104.
- Lambert, A. O., and Fantozzi, M. 2010. Recent Developments in Pressure Management. In *Proc., IWA Int. Specialized Conf. Leakage 2010* (pp. 06-09).
- Lambert, A., and 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.
- Latifi, M., Farahi Moghadam, K., and Naeeni, S. T. 2021. Pressure and Energy Management in Water Distribution Networks through Optimal Use of Pump-As-Turbines along with Pressure-Reducing Valves. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(7).
- Liemberger, R., and Mckenzie, R. 2005. Accuracy Limitations of the ILI-Is it an Appropriate Indicator for Developing Countries. In *Conference Proceedings, IWA Leakage 2005 Conference in Halifax, Nova Scotia, Canada*.
- May, J. 1994. Pressure Dependent Leakage. *World Water and Environmental Engineering*, 17(8), 10.
- Mazumder, R. K., Salman, A. M., Li, Y., and Yu, X. 2019. Reliability Analysis of Water Distribution Systems Using Physical Probabilistic Pipe Failure Method. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145(2).

- Mckenzie, R. S., and Wegelin, W. 2009. Implementation Of Pressure Management In Municipal Water Supply Systems. In Proceedings of the EYDAP Conference “Water: The Day After”, Athens, Greece (Vol. 20). Paper 0309.
- Mian, H. R., Hu, G., Hewage, K., Rodriguez, M. J., and Sadiq, R. 2023. Drinking water management strategies for distribution networks: An integrated performance assessment framework. *Journal of Environmental Management*, 325, 116537.
- Monsef, H., Naghashzadegan, M., Farmani, R., and Jamali, A. 2018. Pressure management in water distribution systems in order to reduce energy consumption and background leakage. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 67(4), 397–403.
- Moslehi, I., Jalili Ghazizadeh, M., and Yousefi-Khoshqalb, E. 2020. An economic valuation model for alternative pressure management schemes in water distribution networks. *Utilities Policy*, 67.
- Mutikanga, H. E. 2012. Water loss management : tools and methods for developing countries. PhD thesis, Delft University of Technology, Netherlands.
- Osorio, D. A. J., Lima, G. M., and Brentan, B. M. 2023. Hydraulic and economic analysis for rehabilitation of water distribution networks using pipes cleaning and replacement and leakage fixing. *Revista Brasileira de Recursos Hidricos*, 28.
- Özdemir, Ö., Firat, M., Yılmaz, S., and Usluer, M. 2021. Analysis of the effect of pressure control on leakages in distribution systems by favad equation and field applications. *Water Practice and Technology*, 16(2), 320–332.
- Qi, Z., Zheng, F., Guo, D., Zhang, T., Shao, Y., Yu, T., Zhang, K., and Maier, H. R. 2018. A Comprehensive Framework to Evaluate Hydraulic and Water Quality Impacts of Pipe Breaks on Water Distribution Systems. *Water Resources Research*, 54(10), 8174–8195.
- Salehi, S., Robles-Velasco, A., Seyedzadeh, A., Ghazali, A., and Davoudiseresht, M. 2022. A Hybrid Knowledge-Based Method for Pipe Renewal Planning in Water Distribution Systems with Limited Data: Application to Iran. *Utilities Policy*, 78, 101407.
- Salomons, E., Skulovich, O., and Ostfeld, A. 2017. Battle of Water Networks DMAs: Multistage Design Approach. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(10).

- Samir, N., Kansoh, R., Elbarki, W., and Fleifle, A. 2017. Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. *Alexveria Engineering Journal*, 56(4), 601–612.
- Sarış, F. 2021. Türkiye’de Evsel Su Tedarik ve Tüketim İstatistiklerinin Değerlendirilmesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 19(1), 195–216.
- Serafeim, A. V., Kokosalakis, G., Deidda, R., Karathanasi, I., and Langousis, A. 2022. Probabilistic Minimum Night Flow Estimation in Water Distribution Networks and Comparison with the Water Balance Approach: Large-Scale Application to the City Center of Patras in Western Greece. *Water (Switzerland)*, 14(1).
- Song, Z., and Liu, W. 2022. Failure Investigation of Water Distribution Systems in a Large City in China Based on the Pipe Failure Database. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 13(2).
- Thornton, J., Sturm, R., and Kunkel, G. 2008. *Water Loss Control*. Seconded.
- Thu, K. (2010). *Adsorption Desalination: Theory and Experiments*. PhD thesis, National University of Singapore.
- Tian, Y., Gao, J., Chen, J., Xie, J., Que, Q., Munthali, R. M., and Zhang, T. 2023. Optimization of Pressure Management in Water Distribution Systems Based on Pressure-Reducing Valve Control: Evaluation and Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 15(14).
- Vicente, D. J., Garrote, L., Sánchez, R., and Santillán, D. 2016. Pressure Management in Water Distribution Systems: Current Status, Proposals, and Future Trends. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(2).
- Vishe, J. K., and Chaudhari, P. P. S. 2019. Quantitative Assessment of Non-Revenue Water and Reduction Strategies: A Case Study of Kulgaon - Badlapur Municipal Council, Maharashtra, India. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 7(7), 875–882.
- Zhang, T., Yao, H., Chu, S., Yu, T., and Shao, Y. 2021. Optimized DMA Partition to Reduce Background Leakage Rate in Water Distribution Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(10).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Merve AKDEMİR

Eğitim

Yüksek Lisans Çankırı Karatekin Üniversitesi 2022-Halen
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Lisans Çankırı Karatekin Üniversitesi 2018-2022
Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

İş Deneyimi

Yıl	Kurum	Görev
2023-Halen	Ankara Büyükşehir Belediyesi	İnşaat Mühendisi

Akademik Aktiviteler

1. Akdemir, M., ve Yılmaz, S. (2023). İçme Suyu Sistemlerinde Sızıntıların Uygulamalı ve Teorik Olarak Karşılaştırılması. *İleri Teknolojilerde Çalışmalar Dergisi*, 1(2), 55-66.