T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇME SUYU DAĞITIM SİSTEMLERİNDE SU KAYIPLARININ AZALTILMASI İÇİN EN UYGUN BASINÇ KONTROL YÖNETİMİ STRATEJİSİNİN GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Talha İbrahim ARDUÇOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

HAZİRAN 2024

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇME SUYU DAĞITIM SİSTEMLERİNDE SU KAYIPLARININ AZALTILMASI İÇİN EN UYGUN BASINÇ KONTROL YÖNETİMİ STRATEJİSİNİN GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Talha İbrahim ARDUÇOĞLU
(36223621901)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

HAZİRAN 2024

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeden beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mahmut FIRAT' a,

Yüksek lisans tez sürecimde mesleki ve akademik bilgilerini benimle paylaştığı için değerli amirim MASKİ Etüt ve Plan Proje Şube Müdürü Dr. Furkan BOZTAŞ' a,

Tüm eğitim hayatım boyunca manevi olarak yetiştirmek için çabalayan anneme, paha biçilemez tecrübelerini meslektaşı olarak her daim benimle paylaşan ve maddi manevi desteğini eksik etmeyen babama, çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen eşime, sevgili kardeşlerime ve oğluma,

Samimi bir teşekkürü borç bilirim...

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum "İçme Suyu Dağıtım Sistemlerinde Su Kayıplarının Azaltılması İçin En Uygun Basınç Kontrol Yönetimi Stratejisinin Geliştirilmesi" başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Talha İbrahim ARDUÇOĞLU

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ ..... **i**
ONUR SÖZÜ ..... **ii**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **v**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **vi**
SEMBOLLER VE KISALTMALAR ..... **viii**
ÖZET ..... **ix**
ABSTRACT ..... **x**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Çalışmanın Önemi 1
2. KAYNAK ÖZETLERİ **4**
2.1. Su Kayıp Yönetimi Çalışmaları 4
2.2. İçme Suyu Sistemlerinde Optimizasyon Çalışmaları 5
2.3. Basınç Yönetimi Çalışmaları 8
3. ÇALIŞMA ALANI **14**
3.1. Çalışma Alanı I (Alperovits ve Shamir Şebekesi) 14
3.2. Çalışma Alanı II (Fossolo (Foss_Poly_1) Şebekesi) 17
4. MATERYAL ve YÖNTEM **20**
4.1. Fiziki Kayıplar 20
4.2. Basınç Yönetimi 22
4.3. Basınç Dalgalanması 25
4.4. Borularda Malzeme Yorulması 27
4.5. Optimizasyon Kavramı 30
4.5.1. Genetik algoritma 33
4.5.1.1. Başlangıç nüfusu 35
4.5.1.2. Seçilim 35
4.5.1.3. Çaprazlama 35
4.5.1.4. Mutasyon 36
4.6. EPANET-MATLAB Toolkit 37
4.7. Uygulanan Metot 41
5. ANALİZ VE DEĞERLENDİRME **44**
6. SONUÇ VE ÖNERİLER **59**
KAYNAKLAR **62**

EKLER **77**
ÖZGEÇMİŞ **89**

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1: Düğümlerin Debi ve Yükseklik Verileri. 15
Çizelge 3.2: Düğümlerin Debi ve Yükseklik Verileri. 18
Çizelge 4.1: Optimizasyon Modeli Oluşturma Prosesi (Walski vd., 2003) 33
Çizelge 4.2: Ortalama Gündeki Saatlik Dalgalanma (İLBANK, 2013) 41
Çizelge 5.1: İleri Basınç Yönetimi BKV Minimum Çıkış Basınçları 44
Çizelge 5.2: İterasyon Sayısı ve Amaç Fonksiyonu Değeri 46
Çizelge 5.3: İleri Basınç Yönetimi Senaryosu 47
Çizelge 5.4: İleri Basınç Yönetimi Minimum BKV Basınçları 56
Çizelge 5.5: İterasyon Sayısı ve Amaç Fonksiyonu Değeri 57
Çizelge 5.6: İleri Basınç Yönetimi Senaryosu 58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1: 2 Gözlü Su Şebekesi (Alperovits & Shamir, 1977). 15
Şekil 3.2: Modifiye Edilmiş 2 Gözlü Su Şebekesi. 16
Şekil 3.3: Fossolo (Foss_Poly_1) Şebekesi (Bragalli vd., 2006). 17
Şekil 3.4: Tez Kapsamında Modifiye Edilmiş Foss_poly_1 Şebekesi 19
Şekil 4.1: Örnek DMA Şeması (Farley vd., 2001). 21
Şekil 4.2: Başarılı Bir Sızıntı Yönetimi Politikasının Dört Bileşeni (Liemberger, 2002) .. 23
Şekil 4.3: Basınç Kontrol Türleri (Mckenzie & Wegelin, 2009) 25
Şekil 4.4: Farklı Bölgeler İçin Saatlik Su Tüketim Grafikleri (Letting vd., 2017) 26
Şekil 4.5: Saatlik Tüketim ve Basınç İlişkisi (MASKİ) 27
Şekil 4.6: Boru Cidarındaki Gerilme (Arduçoğlu vd., 2023). 28
Şekil 4.7: Basınç Döngüsü (PIPA, 2018) 28
Şekil 4.8: PE SDRl I Borusunda Ani Vana Kapanmasından Kaynaklanan Tipik Basınç Dalgalanması (Marshall vd., 1998) 29
Şekil 4.9: Döngüsel Tasarım Eğrisi (AWWA, 2007) 30
Şekil 4.10: Optimizasyon Algoritmalarının Sınıflandırılması (Doğan, 2019). 31
Şekil 4.11: Optimizasyon Algoritmalarındaki Kavramlar (Çelik vd., 2019). 32
Şekil 4.12: Genetik Algoritma Metodu İlerleme Diyagramı (Emel & Taşkin, 2002). 34
Şekil 4.13: GA'da İki Popüler Çaprazlama Tekniği: Tek Nokta ve Çift Nokta (Mirjalili, 2019). 36
Şekil 4.14: Mutasyon operatörünün çaprazlama aşamasından sonra çocuk çözümlerindeki bir veya daha fazla geni değiştirmesi (Mirjalili, 2019). 37
Şekil 4.15: Gerçek Sistem ve Hidrolik Model (Sınmaz, 2019) 38
Şekil 4.16: EPANET 2.2 Program Ara Yüzü. 39
Şekil 4.17: MATLAB Program Ara Yüzü. 40
Şekil 5.1: Optimizasyon Penceresi 45
Şekil 5.2: İterasyon Sayısına Göre Amaç Fonksiyonu Değişimi 46
Şekil 5.3: Klasik Basınç Yönetimi Düğüm Basınç Değişimi 47
Şekil 5.4: İleri Basınç Yönetimi Düğüm Basınç Değişimi 48
Şekil 5.5: Düğüm Basınçlarına Ait Standart Sapma 48
Şekil 5.6: Düğüm Ortalama Basınç Kıyaslaması 49
Şekil 5.7: Düğüm 1 Basınç Kıyaslaması 50

Şekil 5.8: Düğüm 2 Basınç Kıyaslaması 50
Şekil 5.9: Düğüm 3 Basınç Kıyaslaması 51
Şekil 5.10: Düğüm 4 Basınç Kıyaslaması 51
Şekil 5.11: Düğüm 5 Basınç Kıyaslaması 52
Şekil 5.12: Düğüm 6 Basınç Kıyaslaması 52
Şekil 5.13: Düğüm 1 Saatlik Basınç Farkları 53
Şekil 5.14: Düğüm 2 Saatlik Basınç Farkları 54
Şekil 5.15: Düğüm 3 Saatlik Basınç Farkları 54
Şekil 5.16: Düğüm 4 Saatlik Basınç Farkları 55
Şekil 5.17: Düğüm 5 Saatlik Basınç Farkları 55
Şekil 5.18: Düğüm 6 Saatlik Basınç Farkları 56
Şekil 5.19: İterasyon Sayısına Göre Amaç Fonksiyonu Değişimi 57

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

l : Litre

L : Sızıntı Debisi

P : Basınç

m : Metre

s : Saniye

σ : Gerilme

AWWA : American Water Works Association

BKV : Basınç Kırıcı Vana

DMA : District Metered Area (İzole Ölçüm Bölgesi)

EPA : A.B.D. Çevre Koruma Ajansı

FAVAD : Fixed and Variable Area Discharge

GA : Genetik Algoritma

GGS : Gelir Getirmeyen Su

ILI : Altyapı Sızıntı İndeksi

IWA : Uluslararası Su Birliği

İLBANK : İller Bankası Anonim Şirketi

MATLAB : Matrix Laboratory

OF : Amaç Fonksiyonu

OFWAT : The Water Services Regulation Authority

PIPA : The Plastics Industry Pipe Association of Australia

PVC : Polivinil Klorür

SCADA : Uzaktan Veri İzleme ve Kontrol Sistemi

WDN : Su Dağıtım Şebekesi

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İÇME SUYU DAĞITIM SİSTEMLERİNDE SU KAYIPLARININ AZALTILMASI İÇİN EN UYGUN BASINÇ KONTROL YÖNETİMİ STRATEJİSİNİN GELİŞTİRİLMESİ

TALHA İBRAHİM ARDUÇOĞLU

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

89+X sayfa

2024

Danışman: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

İklim değişikliği, kuraklık ve hızla artan dünya nüfusu sebebiyle kişi başına düşen temiz su oranı giderek azalmaktadır. Yeni su kaynaklarının kısıtlı olması sebebiyle şebekelerde oluşan kayıplarının azaltılmasının önemi artmaktadır. Şebekelerde oluşan fiziki kayıpların önemli bir kısmını sızıntılar oluşturmaktadır. Sızıntılar basınç ile doğrudan ilişkili olup birçok kamu kurumu ve araştırmacılar basınç parametresi ile ilgili yönetim çalışmaları yürütmektedir. Basınç yönetimi metotları klasik ve ileri basınç yönetimi olarak sınıflandırılmaktadır. Dünya genelinde yapılan birçok çalışma ile işletme basıncının en aza indirilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmada ise basınç yönetimi çalışması sırasında minimize edilecek parametre olarak saatlik basınç farkı seçilmiş ve şebekenin gün içerisindeki basınç dalgalanmasının en aza indirilmesi amaçlanmıştır. EPANET programında hidrolik modeli oluşturulan çalışma şebekelerine ait veriler EPANET-MATLAB Toolkit ile MATLAB ortamına aktarılmıştır. İlk olarak klasik basınç yönetimi ile şebekenin analizi yapılmıştır. Sonraki aşamada ise debiye duyarlı ileri basınç yönetimi için işletme senaryosu oluşturulmaya başlanmıştır. En uygun senaryonun oluşturulması amacıyla MATLAB ortamında genetik algoritma kullanılmıştır. Optimizasyon değişkeni olarak giriş basıncı seçilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak şebekenin gün içerisindeki saatlik basınç değişim farklarının toplamı seçilmiştir. Yapılan optimizasyon sonucunda çalışma alanı I'de basınç dalgalanmalarına ait ortalama 18.56 m'den 8.41 m'ye %55 oranında düşürülmüştür. Ayrıca şebekenin ortalama basıncı 48.2 m'den 37.3 m'ye düşürülmüştür. Çalışma alanı II'de ise basınç dalgalanma ortalaması 10.12 m'den 6.42 m'ye %37 oranında düşmüştür. Ortalama işletme basınçları ise 50.12 m'den 48.17 m'ye düşürülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Basınç Yönetimi, Basınç Dalgalanması, Optimizasyon, EPANET-MATLAB

ABSTRACT

Master Thesis

DEVELOPMENT OF THE OPTIMAL PRESSURE CONTROL MANAGEMENT STRATEGY FOR REDUCING WATER LOSSES IN DRINKING WATER DISTRIBUTION SYSTEMS

TALHA İBRAHİM ARDUÇOĞLU

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

89+X page

2024

Supervisor: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

Due to climate change, drought and a rapidly increasing world population, the amount of clean water per capita is gradually decreasing. Due to the limited availability of new water resources, the importance of reducing losses in networks increases. A significant portion of the physical losses occurring in networks are caused by leaks. Leaks are directly related to pressure, and most public institutions and researchers carry out management studies on the pressure parameter. Pressure management methods are classified as classical and advanced pressure management. With many studies conducted around the world, operating pressure has been minimized. In this study, hourly pressure difference was chosen as the parameter to be minimized during the pressure management study and it was aimed to minimize the pressure surge of the network during the day. The data of the working networks, whose hydraulic models were created in the EPANET program, were transferred to the MATLAB environment with the EPANET-MATLAB Toolkit. First, the network was analyzed with classical pressure management. In the next stage, the operating scenario for flow-sensitive forward pressure management began to be created. Genetic algorithm was used in MATLAB environment to create the most suitable scenario. Inlet pressure was chosen as the optimization variable. The sum of the hourly pressure change differences of the network during the day was chosen as the objective function. As a result of the optimization, the average pressure surges in Study Area I were reduced by 55% from 18.56 m to 8.41 m. In addition, the average pressure of the water network was reduced from 48.2 m to 37.3 m. In study area II, the average pressure surge decreased by 37% from 10.12 m to 6.42 m. Average operating pressures were reduced from 50.12 m to 48.17 m.

Keywords: Pressure Management, Pressure Surge, Optimization, EPANET-MATLAB

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Önemi

Temiz su canlı yaşamı için oksijen kadar değerli ve ihtiyaç duyulan bir gereksinimdir. Yeryüzünde ki toplam su miktarı 1.4 milyar kilometreküp olup dünyamızın %75'ini kaplamaktadır. Toplam su miktarının tamamı kullanılamamaktadır. Dünyadaki toplam suyun büyük bir kısmı okyanus ve denizlerde bulunurken, yalnızca %2-3 lük kısmı kullanılabilir sudur (Ekinci, 2015).

Ülkemiz iklimsel olarak kurak sayılabilecek bir bölgede olduğundan dolayı, mevcut kaynakların sürdürülebilirliklerinin arttırılması büyük öneme sahiptir. 1981 yılından 2017 yılına kadar coğrafyamızda alansal yıllık ortalama yağış 57.5 cm olarak ölçülmüştür. Söz konusu veri sene içerisinde ortalama 450 milyar metreküp yağışa denk gelmektedir (T.C. Tarım Bakanlığı, 2019). Türkiye'de temiz su kaynağı 112 milyar metreküp ve her bireye düşen su rezervinin takribi yıllık 1500 m^3/kişi varsayıldığı ve Türkiye'nin su kaynakları bakımından su fakiri olarak nitelendirildiği belirtilmektedir (T.C. Tarım Bakanlığı, 2019).

Günümüzde su temin ve dağıtımından sorumlu kurumlar ve bazı kuruluşlar, tüketicilere sağlıklı içme suyu sağlamakla sorumludurlar. Giderek çoğalan nüfus sayımızla birlikte içme suyu kullanımı artmakta ve talebi karşılayabilmek adına bütçesi daha yüksek su dağıtım sistemleri planlanmaktadır. Etüt, planlama, projelendirme, yapım ve işletme aşamaları içme suyu temin sisteminin temel süreçleridir. İçme suyu temin sistemi teknik olarak iyi planlanmış, inşa edilmiş olsa dahi işletme süreci iyi olmadığı sürece, sistemden elde edilen verim düşük olacaktır. Bu aşamada sistemde oluşan su kayıplarının takip edilmesi ve geri kazandırılması büyük önem arz etmektedir. Son yıllarda artan su talebiyle, su kullanımının sürdürülebilir olmadığı gerçeği ortaya çıkmaktadır. Bu durumda su teminini artırmak yerine, kullanım verimini artırmak daha anlamlı olmaktadır (Aslan, 2016).

Su kaynaklarından alınarak sisteme girişi sağlanan su ile faturası kesilen temiz su miktarı arasındaki fark gelir getirmeyen su yada diğer bir tabirle kayıp su olarak adlandırılmaktadır (Farley & Liemberger, 2005). Gelir getirmeyen su birçok parametre ile ilişkili olabilir. Bunlar boru ağı arızası kaynaklı kayıp sular, kaçak su kullanımı, sayaçların ölçümü kaynaklı hatalar, ölçülmeyen veya ölçülemeyen kayıtlandırılmış tüketimler ve tek fiyat üzerinden faturalandırılan kullanıcılar olabilir (AWWA, 2001). Ülkelerin finansal

kapasitelerine göre gelir getirmeyen su nicelikleri gelişmiş, yeni gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sırasıyla % 8-14, % 15-24 ve % 25 - %45 şeklindedir (IWSA, 1991).

İçme suyu dağıtım sistemlerinde oluşan su kayıpları ana olarak fiziki kayıplar ve idari kayıplar olarak ikiye başlığa ayrılır. Bu kayıp türleri birbirinden ayrı olup aralarında birbirlerini etkileyecek bir bağ bulunmamaktadır (Karaca, 2009).

Herhangi bir su temin sisteminde meydana gelen sızıntılar rapor edilen, rapor edilmeyen ve belirsiz sızıntılar gibi üç kategoride ele alınır (Lambert & Taylor, 2010).

İçme suyu dağıtım sistemindeki işletme basıncı ile sızıntı arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır (May, 1994). Bundan dolayı basıncın artması ile sızıntı hacmi artmaktadır. Su kayıpları ile yapılan mücadelede fiziki kayıpları azaltmak için sıkça uygulanan yöntemlerden birisi de basınç yönetimidir. Yapılan çalışmalarda genellikle tüketimin arttığı saatlerde şebekenin kritik noktasındaki basıncın minimuma indirilmesi düşünülmekte ve bu yöntem klasik basınç yönetimi olarak adlandırılmaktadır. Kritik noktaya göz önüne alınarak yapılan çalışmalarda saatlik tüketime bağlı olarak işletme basıncı dalgalanmaktadır.

Basınç dalgalanmaları şebeke bileşenlerinde ve olan birleşim noktalarında gerilmeye bağlı kuvvet oluşturmaktadır. Borular uzun süreli ve yoğun döngüsel kuvvetlere maruz kaldığında yorulma hasarı yaşayabilir (Malekpour vd., 2015). Birleşim noktaların oluşan bu malzeme yorulmaları hasar oluşturmakta ve bu noktalarda arka plan sızıntıları oluşmaktadır. Bu sebepten basıncı azaltmanın yanı sıra işletme basıncında oluşan dalgalanmaların azaltılması da önem arz etmektedir.

Basınç dalgalanmalarının azaltılması için klasik basınç yönetimi yerine ileri basınç yönetimi senaryoları ile uygulama yapılması gerekmektedir. İleri basınç yönetimi çalışmasında şebekenin işletme basıncı dalgalanmanın en az olacağı ve kritik noktadaki abonelerin su tedariğinin aksamayacağı şekilde basınç optimize edilecektir. İçme suyu şebekelerinin hidrolik hesabında birçok parametre ile ilişkili olarak çalışılmaktadır. Bu sebepten optimizasyon çalışmaları için şebekenin matematiksel modeli oluşturulmalıdır. Matematiksel modeller, içme suyu dağıtım şebekelerinin fiziki elemanlarının özelliklerini gözönüne koymak amacıyla türetilmiş eşitliklerin bir yazılıma adapte edilmesi ile oluşturulan yazılımlardır (Kara, 2011).

Matematiksel modelin oluşturulması amacıyla çalışma sırasında EPANET hidrolik modelleme programının, optimizasyon işlemleri içinse MATLAB kodlama programının

kullanılması planlanmaktadır. EPANET-MATLAB Toolkit ile programlar arası veri aktarımı sağlanacaktır.

Tez kapsamında çalışma yapılacak referans şebekelerde giriş debisine duyarlı ileri basınç yönetim tekniği optimizasyon algoritmaları kullanılarak uygulanacaktır. Bu sayede düğüm noktalarında oluşan saatlik basınç farklarının(dalgalanmaların) minimize edilmesi, buna bağlı olarak şebeke bileşenlerinde oluşan malzeme yorulmalarının azaltılması ve sızıntı oranlarının düşürülmesi amaçlanmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Su Kayıp Yönetimi Çalışmaları

İçme suyu kaynaklarının giderek azaldığı zamanımızda, mevcut kaynakların etkin bir şekilde kullanımının önemi giderek artmaktadır. Su kaynaklarının yönetiminden sorumlu kurumlar ve şirketler yeni su kaynaklarının bulunmasının yanında su kayıpları sorunu, kullanılabilir su dağıtım sistemlerinin kontrolünün sağlanması ve tüketimin sürdürülebilirliğini sağlayan sistemlerin kullanılması konularına giderek daha fazla önem vermektedir (Araujo vd., 2006). Su kayıplarından geri kazanılan suyun alternatif bir su kaynağı olduğu ve yeni su kaynaklarının geliştirilmesinden çoğu durumda daha ekonomik olduğu bilinmektedir (Fanner vd., 2007).

IWA (Uluslararası Su Birliği) Su Kaybı Görev Grubu'nun yaptığı 10 yıllık araştırmalarda dünyada su kaybı performans göstergesi olarak sadece sistem giriş hacminin yüzdesi olarak GGS (Gelir Getirmeyen Su) oranının kullanıldığını saptanmıştır. 1990 yılı öncesine kadar çoğu GGS çalışması bilimden ziyade sezgisel metotlara dayanmaktaydı. Su kayıplarının öneminin anlaşılmasından sonra dünyanın birçok bölgesinde araştırmacılar su kayıplarının öncelikle tespit edilmesi ardından da azaltılması için yeni yöntem ve metodolojiler geliştirmişlerdir.

Farley vd. (2001) ve Farley vd. (2008) yayınlarında sızıntı yönetimi ve kontrolü üzerine detaylı anlatım yapılmıştır. Kılavuz niteliğinde olan çalışma, sızıntı yönetimini aşamalarına ayırarak su kayıplarını ve önleme yöntemlerini örneklerle anlatmıştır. Farley & Liemberger (2005) tarafından yayınlanan çalışmada içme suyu sistemlerinin kontrolünün sağlanabilmesi için dağıtım sisteminin izole ölçüm bölgelerine (DMA) bölünmesi gerektiği tartışılmıştır. Araştırmada şebeke iyileştirme yöntemleri, şebeke kayıt sistemleri, aktif kaçak kontrolü, sızıntı izleme, sızıntı yeri tespiti ve basınç yönetimi uygulamaları anlatılmaktadır.

Karaca (2009) yüksek lisans tez çalışmasında İstanbul şehir şebekesi üzerinde yapılan araştırmada gelir getirmeyen su miktarlarını tespit etme metotları ve getir getirmeyen su oranını azaltmak için uygulanabilecek metotlar incelenmiştir. İstanbul'un yüzde 28 seviyelerinde ki gelir getirmeyen su miktarının bileşenlerini belirleyebilmek ve uygulanması gerekli metotların anlaşılması amacıyla söz konusu bölgelerde saha

çalışmaları yapılmıştır. Çalışma sonucunda bölgelerde kayıp su yüzde 15'den yüzde 6 oranına ve yüzde 17 den yüzde 4 düşürülmüştür. Ayrıca İstanbul özelinde yüzde 8 olan gelir getirmeyen su oranının yüzde 15'e düşürülmesi durumunda elde edilecek kazanımlar analiz edilmiştir.

Liemberger (2010) GGS değerlendirilmelerinde kullanılmak üzere önerileri yayınlamıştır. Özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde kullanılması için yayınlanan çalışmada ülkelerin gelişmişlik durumunu, ortalama günlük basıncı ve bağlantı başına kayıp hacmi parametrelerine göre bir değerlendirme metodolojisi sunulmuştur.

Muhammetoğlu & Muhammetoğlu (2017), Su Yönetimi Genel Müdürlüğü katkıları ile Su kayıpları El Kitabını hazırlamıştır. Bu çalışmada, su kayıp bileşenlerinin detayları, meydana gelme şekilleri, analiz ve izleme metodolojileri ve Türkiye ve yurtdışından örnek uygulamalar sunulmuştur.

Durmuşçelebi (2018), içme suyu dağıtım sisteminde sızıntıların etkin yönetimi ve azaltılması için eski şebeke hatlarının iptali, şebeke borusu değiştirilmeden ve tüm boruların değiştirilmesi koşulları için izole ölçüm bölgelerinin tasarımı ve uygulanması üzerine çalışılmıştır. Araştırma neticesinde şebeke hatları değiştirilmeden yapılan izole ölçüm bölgelerinin su kayıp kaçak yönetiminde önemli faydalar sağladığı ifade edilmiştir.

Karaş (2023) tez çalışmasında Bolu ili Gerede ilçesinde yapılan içme suyu fiziki kayıp araştırma çalışmasında su kayıp oranının %55 olduğu bulunmuştur. Gerçekleştirilen kayıp analizi ve rehabilitasyonlar sonucunda 15 l/s fayda sağlanmış olup gelir getirmeyen su miktarı 67 l/s'den 52 l/s seviyelerine düşürüldüğü anlaşılmıştır. Bu verilere göre analiz yapıldığında su kayıp oranı %42 olarak elde edilmiştir.

2.2. İçme Suyu Sistemlerinde Optimizasyon Çalışmaları

Su kayıplarını etkileyen birçok parametrenin olmasının anlaşılmasıyla birlikte birçok araştırmacı farklı parametreler üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar sırasında hangi parametrenin kayıpları daha fazla azaltacağı ve abone memnuniyetini etkilemeyeceği ise ortaya bir optimizasyon problemi çıkarmıştır. İçme suyu sistemlerinde su kaybını azaltarak verimi artırmak için çalışma yapılabilecek optimizasyon çalışmaları uzun yıllardır uygulanmaktadır (Suribabu, 2012).

İçme suyu sistem optimizasyonu yapan araştırmacılar birçok optimizasyon algoritması ile çalışma yapılmıştır. Bunun için kullanılan optimizasyon algoritmaları temel olarak; Dinamik Programlama (Schaake & Lai, 1969), Genetik Algoritma (Simpson vd., 1994; M. H. Afshar & Marino, 2006; Kahraman & Özdağlar, 2004), Genetik Algoritma ve Newton Metodunu (Koç vd., 2003), Armoni Araştırması Optimizasyon Tekniği (Ayvaz & Karahan, 2007), Parçacık Sürü Optimizasyonu Metodunu ve Armoni Araştırması Metodunu birlikte (Geem, 2009), Armoni Araştırması Algoritmasını (Baek vd., 2010), Diferansiyel Gelişim Algoritması (Suribabu, 2010; Vasan & Simonovic, 2010), Parçacık Sürü Optimizasyon Tekniği (Ezzeldin vd., 2014), Parçacık Sürü Optimizasyon Tekniği ve Genetik Algoritma (V. Yilmaz, 2015), Ateş Böceği ve Guguk Kuşu Algoritması (Zeybekoğlu, 2017) olarak sıralayabiliriz.

Sangroula vd. (2022), su dağıtım şebekelerinin en düşük maliyetli tasarımı problemine genetik algoritmayı uygulamış ve "Su Dağıtım Şebekeleri için Akıllı Optimizasyon Programı (SOP-WDN)" algoritmasını geliştirmiştir. SOP-WDN, su dağıtım ağlarının optimum tasarımı için bir hidrolik simülasyon çözücüsü EPANET ile bağlantılı evrimsel bir optimizasyon tekniğinin, yani genetik algoritmanın uygulanmasını göstermiştir. Geliştirilen algoritma, üç karşılaştırmalı su dağıtım şebekesi optimizasyon problemine uygulanmış ve sürekli olarak iyi sonuçlar üretmiştir. SOP-WDN, su dağıtım boru hatlarının tasarımı ve rehabilitasyonu sırasında mühendislere rehberlik edecek bir araç olarak kullanılabileceği tartışılmıştır.

Botella Langa vd.(2022) Kore'nin Cheongna Şehri'nin su dağıtım ağını boru çapı açısından optimize etmek için çalışmada Harmony Search adı verilen nispeten yeni bir meta-sezgisel algoritma kullanılmıştır. Ayrıca, aynı algoritmayı farklı bir yaklaşımla kullanarak, orijinal boru malzemesi için optimum pürüzlülük katsayısı analiz edilerek, kanallardaki zaman içindeki bozulmanın bir değerlendirmesini yapmıştır. Çalışmada, Harmony Search'ün su dağıtım ağı optimizasyonunun yanı sıra boru yaşlanma değerlendirmesi için de değerli bir araç olduğu gösterilmiştir.

Hidrolik modelleme çalışmalarının daha hızlı ve etkin yapılabilmesi için farklı yazılım dillerinde birçok modelleme programı (EPANET, WaterCAD, WaterGEMS, MsSu vb.) geliştirilmiştir. İçme suyu sistemlerinin bilgisayar ortamında matematiksel modelinin çıkarılması amacıyla EPA (ABD Çevre Koruma Ajansı) tarafınca (*EPANET*, 2020) yazılımı programlanmıştır. Açık kaynak kodlu olan bu yazılım hidrolik alanında çalışan tüm araştırmacılara ücretsiz olarak sunulmuştur. Rossman (2000) eserinde detaylı kullanım

kılavuzu ile programı anlatmaktadır. Şebeke bir içme suyu sisteminin tüm bileşenlerini içeren basit bir modelleme aracıdır. 2019 yılında Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yapılan çalışma ile yayınlanan eser Türkçeye de çevrilmiştir.

Eliades vd. (2016) çalışmasında hidrolik modelleme programı olan EPANET ile yazılım programı olan MATLAB programını birlikte kullanmak için EPANET-MATLAB Toolkit geliştirmiştir. MATLAB programında kod diliyle yazılan bir veri araç kiti aracılığıyla EPANET'e aktarılmakta, hidrolik analiz yapılmakta ve sonuçları görüntülenmektedir. Aynı şekilde şebekelere eleman eklenip çıkarılabilmektedir. Toolkit sayesinde içme suyu sistemlerindeki optimizasyon problemlerinin çözümünde araştırmacılar açısından büyük kolaylık sağlanmaktadır. Hama (2018) çalışmasında EPANET-MATLAB araç seti ile genetik algoritma kullanılarak boru çapları üzerinden maliyet minimizasyonu yapılmıştır. Hanoi şebekesi ile testi yapılan çalışma Kıbrıs'taki Karaoğlan bölgesi su şebekesi üzerinde çalıştırılmıştır.

Batmaz (2021) araştırmasında EPANET-MATLAB toolkit programını kullanarak EPANET programı ile tasarlanan su dağıtım sistemi verileri MATLAB yazılımı ile sezgisel optimizasyon yöntemlerinin içerisine entegre ederek optimizasyon işlemi tamamlanmıştır. Optimizasyon sırasında 9 optimizasyon algoritması ile hesap yapılmıştır.

Demir (2022) tarafından yapılan çalışmada Siirt Eruh ilçe şebekesi, EPANET hidrolik modelleme yazılımında modellendikten sonra EPANET-MATLAB toolkit ile su dağıtım sistemindeki boruların çapları ile ilgili maliyet optimizasyonu yapılmıştır. GA ve PSO algoritmaları kullanılarak su dağıtım sistemindeki boruları optimize edilmesi akabinde elde edilen yeni çaplar tekrar EPANET programında çalıştırılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan optimizasyonlar sonucunda şebekenin boru maliyetlerinin belli oranda düşürüldüğü görülmüştür.

Negm vd. (2023), basınç kontrolü için vana ayar noktasını optimize etmek amacıyla temel takviyeli öğrenme algoritmasını kullanmıştır. EPANET-Python ortamında optimize edilmiş Q-learning kullanılmış ve OFWAT'ın zorunlu kıldığı 10 m basınç limitleri dahilinde kalarak ortalama basınçları azaltmak için vana ayar noktaları değiştirilmiştir. Bu kod D-Town test ağında test edilmiştir. Çalışmada, 26 m'lik optimize edilmiş bir ayar noktası bulunarak ve iki basınç kırıcı vanasında basit değişiklikler yapılarak ortalama sistem basıncı %2 düşürülmüştür. Böylece sistem arıza ve sızıntı yönetimi kapsamında sürekli iyileştirilmektedir.

Hülagühanoğlu (2023), Bingöl kent merkezi içme suyu şebekelerindeki sızıntıları ZFT algoritması ile mahalle bazında belirlemeyi amaçlamıştır. ZFT algoritması ile Bingöl kent merkezine bağlı 15 mahallenin fiziki, idari ve toplam içme suyu sızıntıları tespit edilmiştir. Tüketilen su verileri ile üretilen su verilerinin farkından ocak ayı kayıp su miktarının 186540.01 m^3 olduğu hesaplanmıştır. Bu kayıp %28.54 oranını vermektedir. Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından en fazla yüzde % 25 kayıp oranına ulaşılması gerektiği belirtilmiştir. Çalışılan mahallelerden 11 mahallede algoritma ile birebir uyum yakalanmıştır. Diğer 4 mahalle için ise beşte bir oranında sapma gözlenmiştir.

Efiloğlu (2023), Sultanbeyli ilçesinin su dağıtım şebekesini WaterGEMS yazılımı kullanarak modellemiştir. Dört senaryo halinde içme suyu şebeke hatları modellenerek daha iyi işletilmesi ve daha iyi sonuçlar verilmesi incelenmiştir. Sonuç olarak Senaryo 1'de 8 bar basınçlı kapalı bir alana basınç kırıcı vana (BKV) konularak hidrolik modelleme ile daha az su girişi sağlanarak basınç 2 bar seviyesine düşürülerek sistemin daha sağlıklı çalışması sağlanmıştır. Senaryo 2'de 11 bar basınçlı olan alana DMA oluşturarak BKV 2 konulup çalıştırıldığında BKV' li sistem 5 bar daha düşük basınç ile çalışmıştır.

2.3. Basınç Yönetimi Çalışmaları

Optimize edilmeye çalışılan parametreler arasında olan ve su dağıtım sistemlerinde su kaybını etkileyen en önemli faktörlerden birinin basınç olduğu ve sistem basıncının artmasıyla sızıntı alanının arttığı genel olarak kabul edilmektedir (Deyi vd., 2014). Basınç optimizasyonu üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Araştırmacılar basınç optimizasyonu için basınç kırıcı vana kullanımı, vana lokasyonunun değişimi, depo kotunun değişimi ve boru çapı değişimi gibi birçok farklı yöntemle çalışma yapmışlardır.

McKenzie vd. (2004) çalışmasında Güney Afrika Cape Town şehrinin Khayelitsha yerleşim biriminde yürütülen çalışmada BKV kullanılarak basınç yönetimi uygulanmıştır. Sonuçta senelik 9 milyon metreküp su tasarrufu sağlanmıştır. Uzun süreçte kullanılmamış boru ve bağlantı elemanı arıza oranlarındaki düşüşler gözlemlenmiştir. Boruların tamiri için yapılacak harcamalar da değerlendirilmiştir. Basınç yönetimi çalışması ile sağlanacak faydanın daha fazla olduğu vurgulanmıştır.

Yılmaz (2005)'a ait Karabük'te beş kişilik bir konutta yapılan çalışmada su dağıtım sisteminin basıncının 70 m'den 30 m'ye indirilmesi ile %8 su tasarrufunun sağlanabileceği anlaşılmıştır.

Araujo vd. (2006), su kayıplarının azaltılması için EPANET modelleme programı ve genetik algoritma birlikte kullanılarak basınç kontrolü optimize edilmiştir. Birçok sayıdaki ve çeşitli konumlardaki vanaların analizi sonucunda ideal senaryonun oluşturulması amaçlanmıştır.

Marunga vd. (2006) yaptıkları çalışmada Zimbabwe'nin Mutare şehrinde basınç yönetimi için alt bölgeler seçilmiştir. Chikanga -1 ve Chikanga -2 bölgelerinde işletme basıncı 75-80 m arasında olduğunda gelir getirmeyen su oranının % 47 ve % 32 olduğu tespit edilmiştir. EPANET ile basınç 30 m'ye indirildiğinde suyun üst kotlu yerlere ulaşamayacağı öngörülmüştür. Bu yüzden ideal basınca 50 m olarak karar verilmiştir. Basınç 50 m olarak ayarlandığında minimum gece debisinde % 25 tasarruf sağlanmıştır.

Charalambous (2007), dağıtım şebekelerindeki kayıplarının azaltılması konusunda yapmış olduğu araştırmada basınç yönetimi ve optimizasyon ile 15 farklı izole ölçüm bölgesinde basınç kırıcı vanalar yardımıyla su kayıplarında ve arıza sayılarında düşüş sağlanmıştır.

Girard & Stewart (2007) tarafından yapılan çalışmada Avustralya'nın Quesland bölgesinde pilot çalışma alanında şebeke işletme basıncının azaltılması ile şebeke ana borularında ve servis bağlantılarındaki arızalar sırasıyla %90 ve %80 oranlarında azalmıştır. Ayrıca sızıntı debisi 2.95 l/s azaltılmıştır. Yapılan abone araştırmalarında ise müşterilerin %82 sinin su şebekelerindeki basınç değişimini fark etmediği, çalışmalardan haberi olan müşterilerin ise %70 inin basınç değişimini fark etmediği anlaşılmıştır.

Trifunovic vd. (2009), su dağıtım şebekelerinde EPANET aracı kullanılarak fiziksel su sızıntılarının modellenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. 10 tane düğüm birleşimi olan bir şebekede yaptıkları araştırmalar sayesinde şebeke sızıntıları EPANET programında modellenmiştir.

Karaca (2009), yüksek lisans tez çalışmasında İstanbul şehir şebekesindeki sızıntıların tespiti hedeflenmiş, seçilen pilot bölgelerde su kayıplarının nedenleri belirlenmiştir. Pilot bölgelerde sızıntı oranının düşürülmesi amacıyla basınç yönetimi uygulanmıştır. Basıncın düşürülmesi ile çalışma alanlarında su kayıpları düşürülebilmiştir.

Cinal (2009) Sakarya'da pilot bir alt bölgede içme suyu şebekelerinde basınç yönetimini uygulamış ve su kayıplarındaki azalmaları incelemiştir. Şebekedeki işletme basıncı 64 m ile 72 m arasındadır. İşletme basıncı önce 48 m'ye, sonra ise 00:30–07:30 saatleri arasında 41 m'ye indirilmiştir. Son kısımda ise şebekeye giren debiye orantılı olarak basınç 41 m-52 m seviye aralığında kalacak şekilde ayarlama yapılmıştır. Şebeke tam açık durumda iken kayıp yüzde 38'dir. Basınç dalgalanmalarına paralel olarak şebekede oluşan MNF %27 – %34, tedarik edilen suda %18–%21 azalma yapılmıştır. Fiziki kayıp oranında ise %21'e kadar azalma olduğu anlaşılmıştır.

Nazif vd. (2010) yaptıkları çalışmada, basıncın su dağıtım sistemlerinde sızıntıyı etkileyen en önemli faktörlerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Kentsel su dağıtım şebekelerindeki su kayıplarını azaltmak için depo seviyelerinin optimizasyonu konusunda çalışmışlardır. Depolarda farklı su seviyelerinde düğüm basınçları hesaplamak için bir genetik algoritma ile birleştirerek yapay sinir ağı modeli geliştirmişlerdir.

Kara (2011) yaptığı tez çalışmasında hidrolik model oluşturabilmek amacıyla 18 izole ölçüm bölgesini incelemiştir. Bir alt bölgede ideal basınca ve kullanılacak basınç kırıcı vana türüne hidrolik modelleme ile karar verilmiştir. Sahada uygulandıktan sonra SCADA verileri ile yapılan çalışmanın doğruluğu görülmüştür. Alt bölgelerin bazılarında ise basınç düşürme işleminin uygun olmamasından ya da minimum gece debisinin yetersizliğinden dolayı basınç düşürme işlemi gerçekleştirilmemiştir. Toplamda 8 izole ölçüm bölgesinde su kaybı modeli gerçekleştirilmiş ve toplam 45.4 m^3/h su tasarrufu sağlanacağı tespit edilmiştir.

Yilmaz (2011) çalışmasında Antalya ilinde belirli bir bölgeyi 18 izole ölçüm bölgesine ayrılmıştır. Giriş debisi ve işletme basıncı değerleri SCADA ile izlenmektedir. Yapılan çalışma sonucunda IWA su dengesi tablosu oluşturulmuş, Altyapı Sızıntı İndeksi (ILI) 16 izole ölçüm bölgesi için hesaplanmış ve ortalama basınçların hesaplanması için her bir bölgede EPANET ile hidrolik model oluşturulmuştur.

Nicolini vd. (2011) İtalya'da şebeke sistemlerinin kalibrasyonu ve optimum kayıp yönetimi olmak üzere iki aşamalı bir çalışma gerçekleştirmiştir. İşletme basıncının 16 bar ile 35.5 bar arasında değiştiği bölgede, seçilen amaç fonksiyonu genetik algoritma ile kalibre edilmeye çalışılmıştır. İkinci aşamada ise sistemde BKV yardımıyla basınç düzenlemesi yapılmıştır. Bu BKV sayılarının basınç ile ilişkisini içeren bir amaç fonksiyonu genetik algoritma ile çözümlenmeye çalışılmıştır.

Uslu (2015) doktora tezinde Samsun 19 Mayıs ilçesi şebekesinin uygunluğu, hidrolik modelleme yazılımı kullanılarak hidrolik olarak incelenmiştir. MIKE-URBAN hidrolik hesap yazılımı aracılığıyla CBS sisteminden hidrolik modele aktarılmış, ve kalibrasyon sonrası hidrolik model oluşturulmuştur.

Gençoğlu & Merzi (2017) basınç kırıcı vanaların konumlarının değişmesine dayalı bir optimizasyon modeli oluşturmuştur. Modelleme amacı yüksek basınçta, BKV'lerin ve bu vanaların açıklık oranlarının en optimal şekilde ayarlayarak sızıntıları en aza indirmektir. Modelde kullanılan basınç kırıcı vanaların konumları optimum şekilde belirlenip, açıklıkları ayarlanmıştır.

Fontana vd. (2017) laboratuvar ortamında basınç yönetimi yapılması için bir şebeke ağı oluşturmuştur. Basınç kırıcı vananın çıkış basıncı düzenlenerek, ağdaki düğüm noktaları incelenmiştir. Sonuç olarak; fiziki kayıp suyunun basınçla direkt ilişkili olduğu ve şebekede basıncın yükselmesi işle kayıpların arttığı gözlemlenmiştir.

Samir vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada basınç ve boru uzunluğu parametreleri ile sızıntı modellemesi gerçekleştirilmiştir. Hidrolik modelde, sızıntı oranının doğruluğunun elde edilmesi, basınç değişiminin ilerletilmesi için klasik BKV konulması ve BKV'lerin en faydalı ayarlarından kaçağın minimuma düşürülmesi senaryolarının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Projelendirilen modelde; izole ölçüm bölgesinde fiziki kayıp miktarının basınç azaltılması ile %37 oranında düştüğü görülmüştür.

Kıran (2018) yüksek lisans tezinde İstanbul içme suyu şebekesinde Sultanbeyli ilçesindeki bir izole ölçüm bölgesinde hidrolik model oluşturmuş ve BKV yerlerini optimize etmiştir. Uygulanan basınç yönetimi sonucunda içme suyu kaybı azalmış ve su tedarikçisi kurum kar elde etmiştir.

Bolbol (2019) tarafından yapılan tez çalışmasında Antalya-Kaleiçi bölgesinde EPANET ile hidrolik modelleme yapmış, ileri düzey basınç yönetimi uygulamıştır. Çalışmada boru pürüzlülük katsayıları kalibre edilmiş, kritik bölgeler ve yangın senaryoları düşünülerek, sızıntı olması ve olmaması durumlarına göre debiye duyarlı olarak 2 tip senaryo ile çalışılarak ortalama basınç değerleri elde edilmiştir.

Savaş (2019) tarafından yapılan çalışmada Denizli İli merkez içme suyu sisteminde basınç yönetimi çalışmasından önce şebeke incelenmiş ve tüm içme suyu depolarının beslediği bölgeler listelenmiştir. İzole ölçüm bölgelerinde basınç yönetimi uygulanmış ve pilot bölgedeki durum incelenmiştir. Basınç yönetimi öncesinde ve sonrasında su kayıpları

değerleri, ILI katsayıları hesaplanmıştır. Sistemde mevcut durum, sabit çıkışlı basınç ve dinamik çıkışlı basınç analizleri yapılmıştır. Çalışmada basınç yönetimi sonucunda sisteme giriş yapan su hacminin %8, fiziksel su kaybının ise %25 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Mehdi & Asghar (2019) çalışmasında Su Dağıtım Şebekesinin (WDN) güvenilirliğini en üst düzeye çıkararak günün farklı saatlerinde düğüm basıncını ayarlamak için basınç kırıcı vanaların konumunu ve ayarını optimize etmeye yönelik yeni bir yöntem sunmuştur. Metodoloji, EPANET'te uygulanan WDN'nin hidrolik modeline bağlanarak MATLAB kodunda yazılan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritmasına dayanmaktadır. Önerilen yöntemi doğrulamak için örnek bir ağ ve gerçek bir büyük ölçekli WDN uygulanmıştır. Sonuçlar, WDN'deki BKV'lerin optimal konumunun ve ayarının belirlenmesinin, düğüm basınçlarının ayarlanmasında ve sızıntı oranlarının azaltılmasında etkili olduğunu göstermektedir. Gerçek bir WDN'de optimize edilmiş BKV'li ve BKV'siz durumlar için sonuçların karşılaştırılması, ortalama sızıntı oranının yaklaşık %15.0 azaldığını ve ortalama güvenilirlik endeksinin yaklaşık %24.8 arttığını göstermiştir.

Bosco vd. (2020) güney İtalya'daki bir su dağıtım ağında sızıntının azaltılmasına yönelik rehabilitasyon önlemlerinin ve aktif basınç kontrol stratejilerinin potansiyelini değerlendirmek için bir simülasyon analizinin sonuçlarını tartışmıştır. Analiz, EPANET-MATLAB ortamında geliştirilen bir simülasyon modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyonların sonuçları, kullanılan stratejilerin bir kombinasyonunun, su sızıntısını önemli ölçüde azaltarak ağ performansını artırabileceğini ortaya çıkarmıştır.

Rajakumar vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada incelenen şebeke ağı, DMA içerisinde birden fazla BKV'ye sahiptir ve bu da mevcut basınç yönetimi tekniklerinin doğrudan uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Çalışmada şebekenin bölgelere ayrılması ve BKV kontrolünü içeren bir simülasyon formülize edilmiştir. Başlangıçta DMA, her bir BKV'nin konumu ve kontrol alanına bağlı olarak birden fazla Basınç Yönetim Alanına (PMA'lar) bölünmüştür. Daha sonra kontrol stratejisi, uzak düğüm modülasyonuna dayalı olarak her bir BKV için formüle edilmiştir. Çalışma sonucunda, bir DMA içerisinde birden fazla BKV kullanımının, tek sınırlı BKV'ye göre daha iyi basınç yönetimine yardımcı olduğunu gösterilmiş ve su kaybı %24'ten %18'e düşürülmüştür.

Olmuştur (2021) Sakarya İlinin Erenler İlçesine bağlı Yeşiltepe Mahallesinde gerçekleştirdiği çalışmada basınç yönetimi öncesinde ve sonrasında 3 ay boyunca debi

ölçümü yapmış ve basınç yönetimi sonrasında su kaybı oranı %48 seviyelerinden %37 seviyelerine indirilmiş, minimum gece debisi ise 4.4 l/s'den 2.63 l/s düzeyine indirilmiştir.

Karakuş (2021) tarafından Adana ili Seyhan ilçesinde yapılan çalışmada oluşturulan izole ölçüm bölgelerinde EPANET ile hidrolik modelleme yapılmış ve BKV kullanılarak basınç dalgalanmasının azaltılması amaçlanmıştır. Basınç yönetimi senaryoları sonucunda dalgalanmanın ve kayıpların azaldığı görülmüştür.

Koşucu (2022) doktora tez çalışmasında içme suyu sisteminde optimum basınç yönetimi metodunun belirlenmesi adına EPANET 3 modelleme programını kullanmıştır. 18 farklı su dağıtım sisteminde yapılan basınç yönetimi analizleri sonucunda basınç yönetimi senaryoları karşılaştırılarak uygunlukları birçok açıdan incelenmiştir. Bu simülasyonlara göre birim maliyeti fazla olan şartlarda Kritik Nokta Ayarlı metodun verimli olduğu görülmüştür. Maliyetin az olduğu simülasyonlarda ise İleri Basınç Yönetimi metotlarının ekonomik yönden uygun olduğu kanısına varılmıştır.

Tian vd. (2023) çalışmasında, fazla basıncı en aza indirmek amacıyla basınç kırıcı vanalar için kontrol sırasını yinelemeli olarak belirlemek üzere bir algoritma kullanmaktadır. Daha sonra, iki örnek ağdaki basınç yönetimi stratejilerini değerlendirmek ve karşılaştırmak için kullanılan günlük akış, günlük sızıntı, basınç dengesizliği göstergesi, düğümlerdeki ortalama günlük basınç ve su yaşı olmak üzere beş değerlendirme göstergesi önerilmiştir.

Dai (2023) çalışmasında, su talebi modellerindeki değişikliklere yanıt olarak yaklaşık kontrol profillerini hesaplamak için sıralı dışbükey programa (SCP) dayalı yeni bir gerçek zamanlı şema önerilmiştir. Sonuçlar, bu gerçek zamanlı optimizasyon şemasının uygulanmasıyla, elde edilen kontrol profillerinin kabul edilebilir doğruluk elde ettiğini ve daha düşük yoğunluktaki basınç dalgalanmalarıyla birlikte aşırı basınçta bir azalmaya yol açtığını göstermektedir.

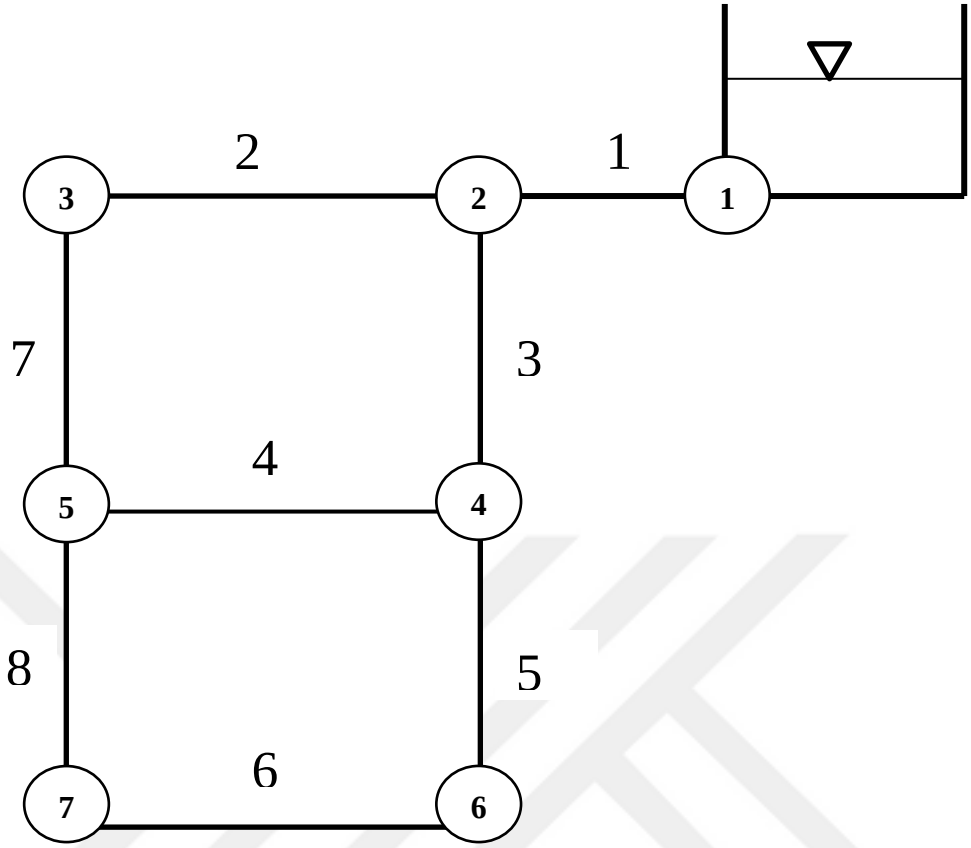
3. ÇALIŞMA ALANI

İçme suyu dağıtım şebekelerinde yapılan çalışmalarda saha uygulamasının yapılmadığı çalışmalarda referans (benchmark) şebekeler kullanılmaktadır. Referans şebekeler literatürde kabul görmüş ve çokça araştırmada kullanılmış sistemlerdir (Wang vd., 2015). Bu şebekeler geliştirilen yeni yöntemlerin performanslarının ölçülmesinde kullanılarak sistemin güvenirliğinin kıyaslanmasına büyük katkı sağlamaktadır.

Bu tez kapsamında 2 referans şebeke ile çalışma yapılmıştır. Referans olarak alınan şebekeler Alperovits & Shamir (1977) tarafından incelenen 2 gözlü şebeke ve Bragalli vd., (2008) tarafından incelenen Fossolo bölgesinin şebekeleridir. Söz konusu şebekeler farklı araştırma alanlarında kullanılmıştır. Bunlar; boru çaplarının optimizasyonu, maliyet optimizasyonu, basınç yönetimi, su kalitesi çalışmaları vb. olarak örneklendirilebilir.

3.1. Çalışma Alanı I (Alperovits ve Shamir Şebekesi)

Alperovits & Shamir(1977) tarafından yapılan çalışmada Şekil 3.1'de verilen ve 7 düğüm, bir rezervuar ve 8 borudan oluşan basit 2 gözlü bir şebeke kullanılmıştır. Tüm şebeke boruları 1000 m uzunluğundadır ve tüm borular için Hazen-Williams sürtünme katsayısının 130 olduğu varsayılmaktadır. Tüm talep düğümleri için gereken minimum artık basınç 30 m'dir. Çizelge 3.1, düğümlerin talepleri ve yüksekliklerine ilişkin verileri içermektedir.



Şekil 3.1: 2 Gözlü Su Şebekesi (Alperovits & Shamir, 1977).

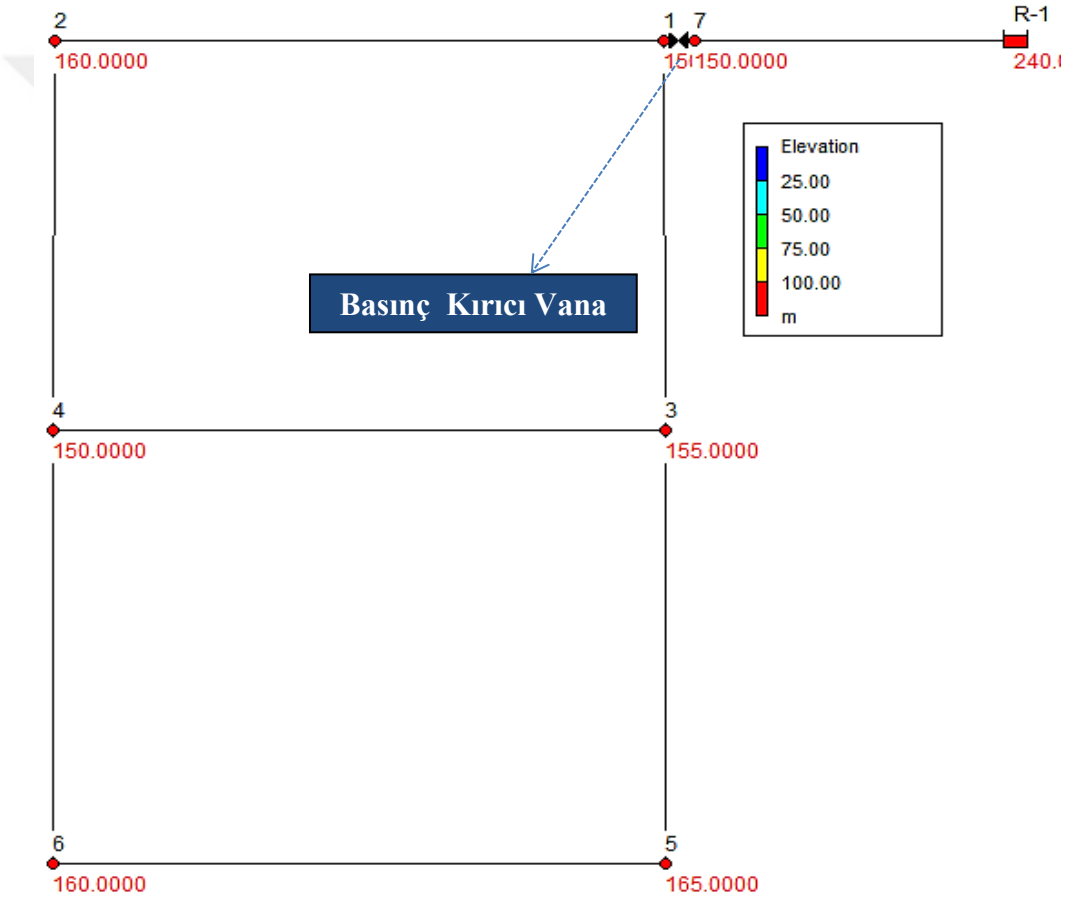
Çizelge 3.1: Düğümlerin Debi ve Yükseklik Verileri.

Düğüm Numarası	Tüketim(m^3/h)	Yükseklik (m)
1	-1120	210
2	100	150
3	100	160
4	120	155
5	270	150
6	330	165
7	200	160

Şekil 3. 1'de gösterilen ağ ilk olarak Alperovits ve Shamir (1977) tarafından en uygun tasarım için kullanılmıştır. Daha sonra aynı ağ, birçok araştırmacı tarafından en uygun tasarıma ilaveten güvenilirlik çalışması için de referans şebeke olarak 600 den fazla

çalışmada kullanılmıştır. Bunlardan bazıları, Goulter & Coals (1986), Fujiwara vd. (1987), Kessler & Shamir (1989), Abebe & Solomatine (2000), Cunha & Sousa (1999), Eusuff & Lansey (2003), Liong & Atiquzzaman (2004) , Chandramouli (2015) Van Dijk vd. (2008), M. Afshar (2009), Suribabu & Neelakantan (2006), Samani & Mottaghi (2006), Savic & Walters (1997), Keedwell & Khu (2005) şeklinde verilebilir.

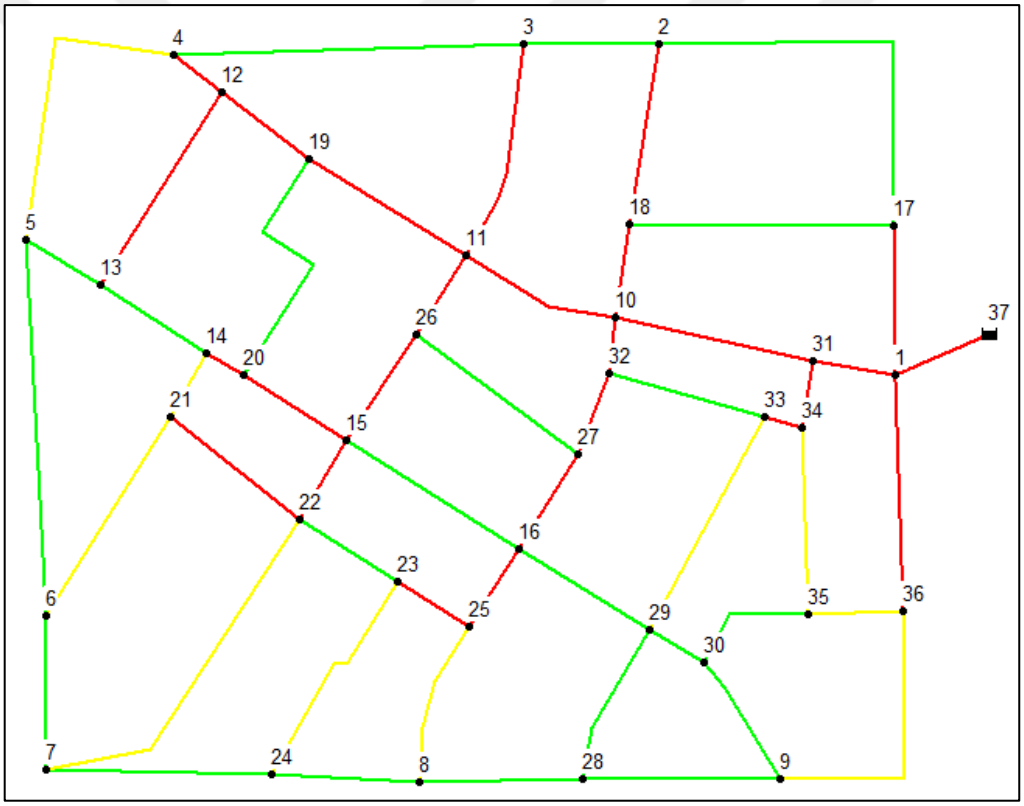
Çalışmada kullanılmak üzere belirlenen referans şebeke, bu çalışma koşullarına uygun olacak şekilde yeniden düzenlenmiş ve hazne kotu 240 m olarak değiştirilmiştir. Bu sayede şebeke işletme basıncı basınç yönetimi uygulanabilecek seviyeye gelmiştir. Ayrıca şebeke girişine basınç kontrolünün sağlanması amacıyla basınç kırıcı vana yerleştirilerek modellenmiştir.



Şekil 3.2: Modifiye Edilmiş 2 Gözlü Su Şebekesi.

3.2. Çalışma Alanı II (Fossolo (Foss_Poly_1) Şebekesi)

Bragalli vd. (2008) tarafından yapılan araştırmada İtalya'nın Bologna şehrinin bir bölgesi olan Fossolo ağı (FOS), 58 boru, 36 talep düğümü ve 121.00 m kotundaki bir rezervuardan oluşmaktadır. Tüm boruların malzemesi polietilendir. Polietilenin özelliklerinden dolayı tüm borulara 150 gibi nispeten yüksek bir Hazen-Williams katsayısı uygulanmıştır. Talep düğümlerinin minimum basınç yüksekliği 40 m'de tutulurken, her düğümdeki maksimum basınç yükü Çizelge 3.2'de belirtildiği gibidir. Ayrıca, her borudaki akış hızı 1 m/s'ye eşit veya daha düşük bir değerde uygulanmıştır. Şekil 3.3, FOS'un şebeke ağını göstermektedir.



Şekil 3.3: Fossolo (Foss_Poly_1) Şebekesi (Bragalli vd., 2006).

Şekil 3. 3'de gösterilen ağ ilk olarak Bragalli vd.(2006) tarafından optimal tasarım için kullanılmıştır. Daha sonra aynı ağ, birçok araştırmacı tarafından hem optimal hem de güvenilirlik çalışması için referans şebeke olarak kullanılmıştır. Bunlardan bazıları Bi vd. (2015), Bragalli vd.(2008), De Corte & Sörensen(2015), Johns vd.(2018), Mahmoud vd.(2019), Raghunathan(2013), Yazdi vd.(2017), Younis & Dandy(2020), D'Ambrosio vd.

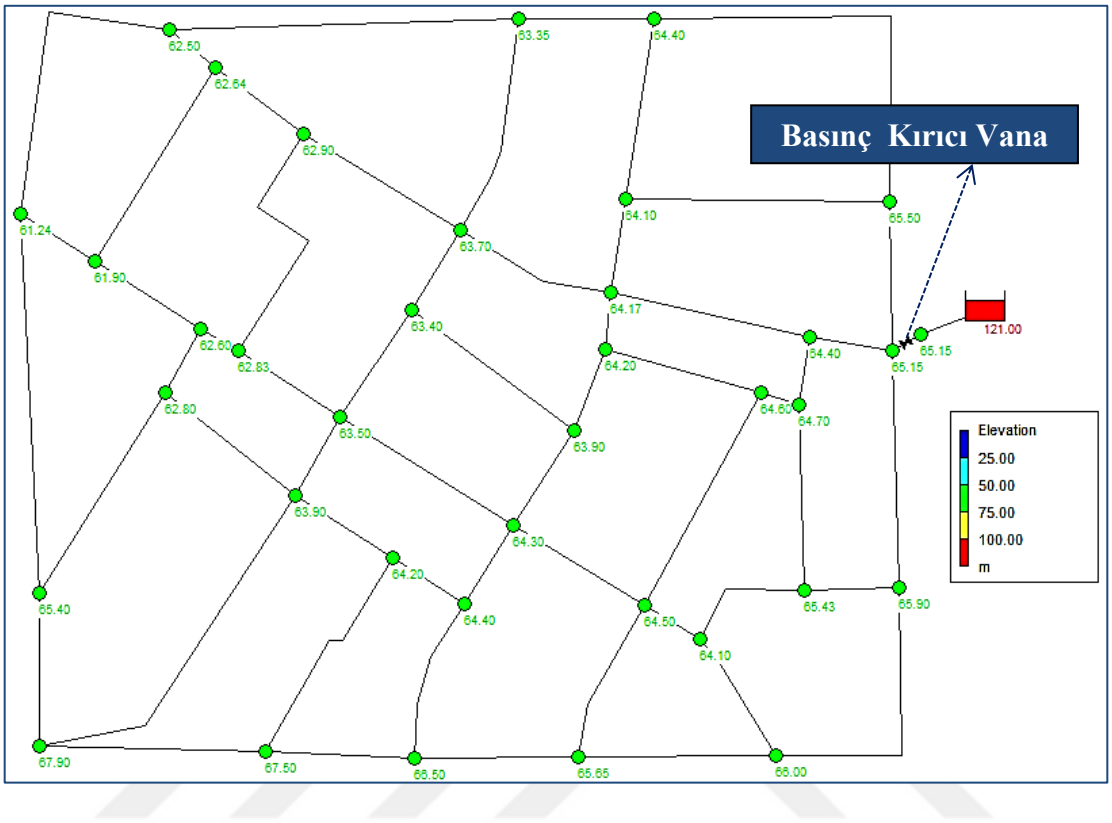
(2015), Gross vd.(2019), Hafsi vd.(2018), Hayelom & Ostfeld(2022), Liu vd. (2017) Lodi (2010), Pankaj vd. (2022), Shmaya & Ostfeld(2022), Wang vd. (2015) çalışmalarıdır.

Çizelge 3.2'de düğümlerin talepleri ve yüksekliklerine ilişkin veriler sunulmaktadır.

Çizelge 3.2: Düğümlerin Debi ve Yükseklik Verileri.

Düğüm Numarası	Tüketim (l/s)	Yükseklik(m)
1	0.49	65.15
2	1.04	64.40
3	1.02	63.35
4	0.81	62.50
5	0.63	61.24
6	0.79	65.40
7	0.26	67.90
8	0.58	66.50
9	0.54	66.00
10	1.11	64.17
11	1.75	63.70
12	0.91	62.64
13	1.16	61.90
14	0.54	62.60
15	1.10	63.50
16	1.21	64.30
17	1.27	65.50
18	2.02	64.10
19	1.88	62.90
20	0.93	62.83
21	0.96	62.80
22	0.97	63.90
23	0.86	64.20
24	0.67	67.50
25	0.77	64.40
26	1.69	63.40
27	1.42	63.90
28	0.30	65.65
29	0.62	64.50
30	0.54	64.10
31	0.90	64.40
32	1.03	64.20
33	0.77	64.60
34	0.74	64.70
35	1.16	65.43
36	0.47	65.90

Foss_poly_1 şebekesinin giriş bölgesine 1 adet basınç kırıcı vana yerleştirilerek basınç yönetimi uygulanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Tez Kapsamında Modifiye Edilmiş Foss_poly_1 Şebekesi

4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1. Fiziki Kayıplar

Üretilen ve şebekeye sunulan su ile tahakkuk ettirilen su miktarı arasındaki fark gelir getirmeyen su olarak adlandırılır (Liemberger, 2010; Pearson, 2019). Gelir getirmeyen su temel olarak, sızıntılar, idari kayıplar ve tahakkuk edilmeyen yada faturalandırılmayan yasal kullanımlar bileşenlerinden oluşmaktadır (Liemberger, 2010).

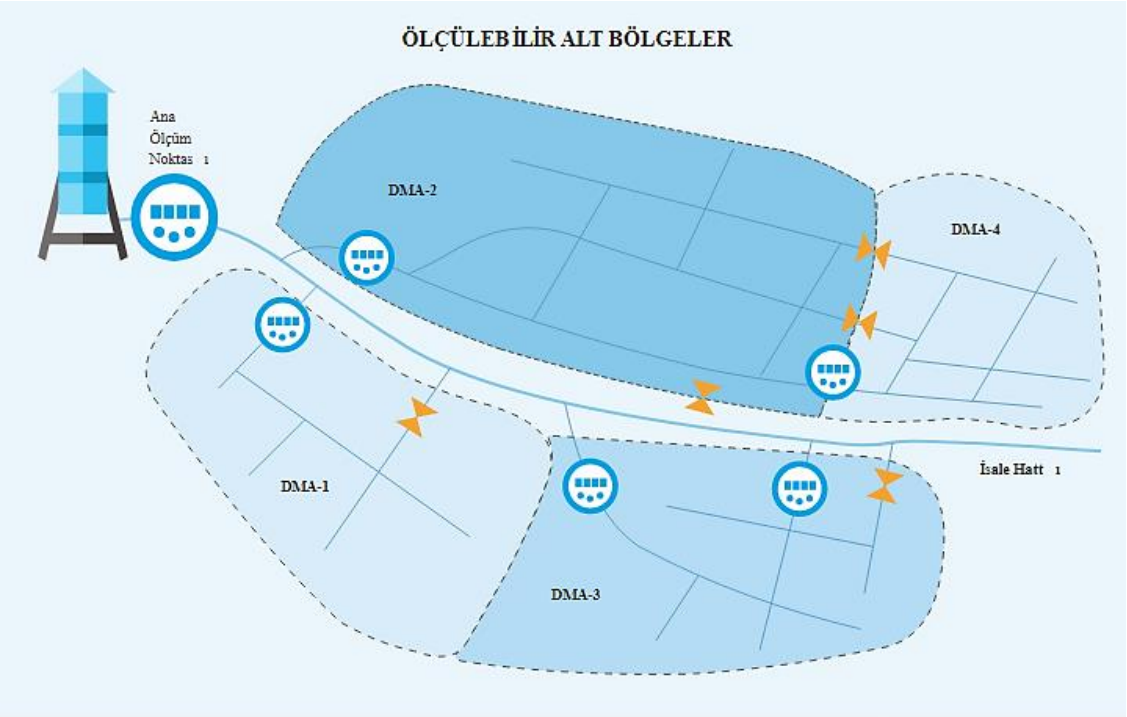
Su şebekelerindeki bu kayıplar birçok parametreye bağlıdır. Bunlar genellikle; hatalı , eksik girilen kayıtlar, pahasının altında hesaplamalar, hataya sahip sayaç okuma ve sayaç hassaslığı, sayaç takılmayan kamuya ait ortak mahallerde kullanılan sular, kaçak abone bağlantıları, depo, boru, sayaç, vana ve hidrantlardaki kayıplar ve boru kırıklarıdır (Farley vd., 2008)

Fiziki kayıplar (sızıntılar), malzemenin kalitesi, işçilik kalitesi, şebeke yaşı, şebeke işletme basıncı ve bakımı ile doğrudan ilgilidir. Fiziki kayıpları meydana getiren faktörler şu şekilde sıralanabilir (Pearson, 2019);

- İşçilik hatası kaynaklı sızıntılar,
- Yaşlı ve yıpranmış boru ve bağlantı noktaları,
- Rehabilite edilmiş şebekelerdeki eski boruların körlenmemesi,
- İsale hatları ve şebekelerinde gerçekleşen patlaklar, birleşim noktalarında oluşan kayıplar
- Şebeke boru arızalarından oluşan sızıntılar, vanalardan kaynaklanan sızıntılar,
- Servis depolarında oluşan kayıplar.

İçme suyu kayıp oranını azaltmak için dünya üzerindeki birçok su birliği çeşitli yaklaşımlar ve yöntemler ortaya çıkarmış, çok sayıda akademisyen bu konularda çalışma yapmış ve yapmaya devam etmektedir. Kayıp çalışmaları ise farklı aşamalardan oluşmaktadır. Bu aşamaları kayıp izleme sistemlerinin kurulumu, kayıp bölgesinin analizi, kayıp miktarının belirlenmesi, kayıp lokasyonunun tespiti ve arızanın tamiri olarak sıralayabiliriz. Sıralanan her bir aşama içinse farlı teknolojiler ve yöntemler kullanılmaktadır. IWA tarafından önerilen yöntemlerden biri olan DMA(izole ölçüm

bölgesi) oluşturularak kayıpların izlenmesi ve müdahale edilmesi yöntemi, birçok ülkede kabul görmüş ve uygulanmaktadır.



Şekil 4.1: Örnek DMA Şeması (Farley vd., 2001).

İçme suyu şebekeleri yerleşim alanlarının büyüklüğüne göre farklı boyutlarda olabilmekte ve tüm şebekenin birlikte kontrol edilebilmesi işgücü, ekipman ve maliyet kaynaklarının yetersiz olması sebebiyle mümkün olmamaktadır. Birleşik Krallıkta geliştirilen DMA metodolojisi ile içme suyu şebekesi farklı parametrelere göre alt bölgelere ayrılmakta ve birbirlerinden izole edilmektedir. İzole edilen bölgelerde su girişi ve diğer bölgelere su çıkışı sınırlandırıldığında bölge içerisindeki su tüketiminin ve su kaybının takibi kolaylaşmaktadır.

(Durmuşçelebi, 2018) eserinde DMA oluşturmada amaçlar ve beklenen faydalar aşağıdaki şekilde sıralanmıştır;

“-Etkili bir su yönetimi için sistemdeki tüm şebeke birleşenlerinin ve parametrelerin düzenli bir şekilde ölçülmesi,

-IWA su dengesi tablosunun daha verimli bir şekilde kullanılması,

-Gece debilerinin takip edilmesi ile kayıp lokasyonlarının tespiti,

-Giriş lokasyonu belirlenmiş, şebeke giriş verisinin ve hacminin aktif bir şekilde izlenmesi,

-Tüketim debisinin az olduğu saatlerde sisteme giren suyun net olarak bulunması,

-Tüketici sayısı ve karakteristiğinin net olarak kaydedilmesi

-Gece debisi ile tüketicinin ilgisinin kurulması ve sızıntı incelemesinin yapılması,"

4.2. Basınç Yönetimi

İçme suyu şebekelerinde sızıntıları doğrudan etkileyen en önemli parametrelerden biride basınç değeridir. Basınç ile sızıntı miktarının arttığı literatürdeki birçok çalışmada geçmektedir. Bunlara örnek olarak Deyi vd. (2014), May (1994), Dundović & Tadić (2022), Kabaasha vd. (2016), Lambert vd. (2017), Marzola vd. (2021), Özdemir vd. (2021), Schwaller vd. (2015), Thornton & Lambert (2005), van Zyl & Cassa (2014) çalışmaları gösterilebilir. Bir şebekede yeni patlak veya sızıntı oluşumunun en önemli nedenlerinden biri sistemdeki ani işletme basınç değişimi ve basıncın dalgalanması olarak gösterilebilir (Medjadji vd., 2019). Bu değişim üzerinde; akşam ve sabah arasındaki tüketim karakteristiğine, günlük yüksek tüketimli kullanıcıların su tüketim durumu, arıza kaynaklı kesinti sıklığı, direkt terfili beslenen şebekelerde dengesiz basınç durumu etkili olabilir. Ayrıca boru malzeme türü de, basınç-sızıntı ilişkisi üzerinde oldukça büyük etkiye sahiptir.

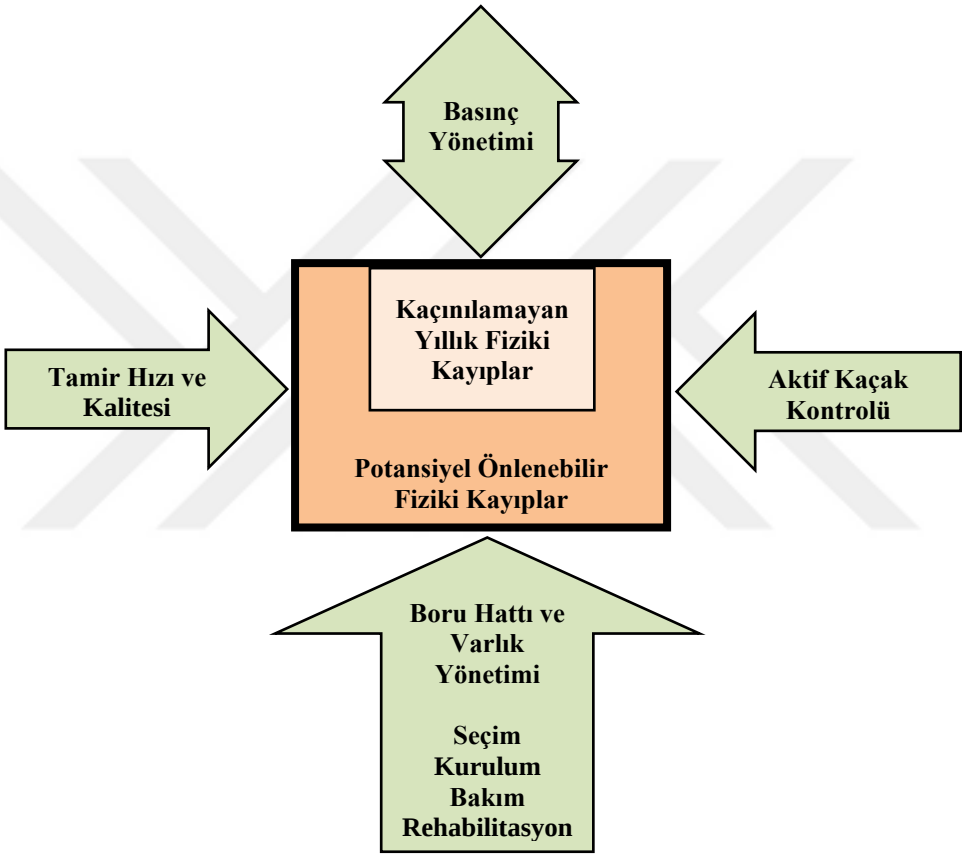
Basıncın şebeke sızıntıları üzerindeki etkisinin yüksek seviyelerde olması sebebiyle araştırmacılar içme suyu sistemlerinde basınç yönetimi üzerine çalışmalar yapmış ve basıncın kontrolü ile sızıntıları azaltmayı hedeflemişlerdir.

Basınç ve sızıntı arasındaki ilişkinin matematiksel olarak modellenmesinde temel orifis denkleminden yola çıkılarak geliştirilen denklem 4.1 deki FAVAD ismi verilen denklemin çalışmalarda yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (May, 1994).

$$L_1 = L_0 . \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{n_1} \tag{4.1}$$

L_0: P_0 değerindeki basınçtaki başlangıç sızıntı debisini, L_1: P_1 ayarlanmış basınçta oluşan sızıntı debisini, P_0: Alanda başlangıçta ortalama basıncı, P_1: Alanda ayarlanmış ortalama basıncı, n_1: Sızıntı katsayısını (0.5-1.5) ifade etmektedir.

IWA tarafından sızıntı kontrolü çalışmalarında tavsiye edilen basınç yönetimi uygulaması, Şekil 4.2 de görüleceği üzere sızıntı kontrolünde en ektili dört bileşenden biridir.

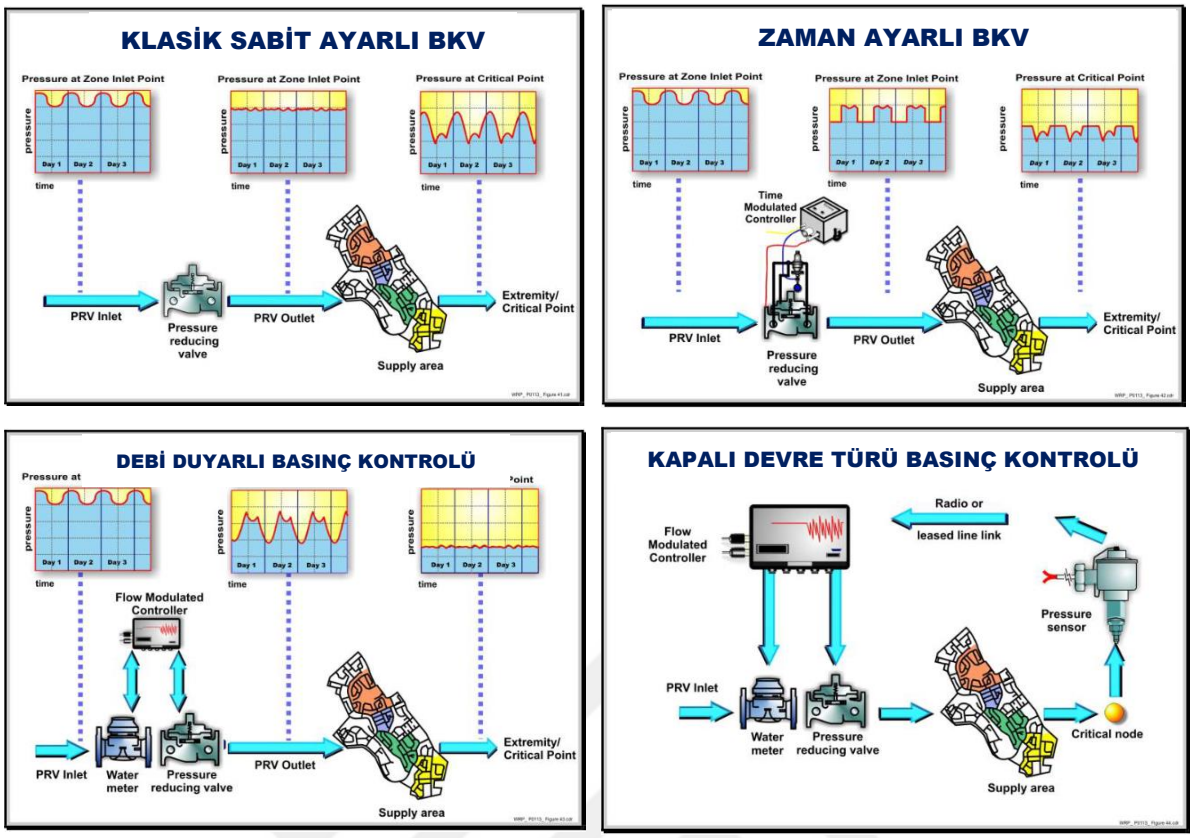


Şekil 4.2: Başarılı Bir Sızıntı Yönetimi Politikasının Dört Bileşeni (Liemberger, 2002)

Basınç yönetimi su dağıtım şebekelerinin projelendirme ve işletme aşamalarında kullanılabilmektedir. Projelendirme aşamalarında depo kotu ve basınç katları oluşturularak basınç yönetimi yapılabilmektedir. İşletme aşamasında ise basınç kırıcı vana ile basınç kontrolü yapılabilmektedir. Kullanılan basınç yönetimini klasik basınç yönetimi ve ileri basınç yönetimi olarak kategorilendirmek mümkündür. Klasik basınç yönetiminde sistemin maksimum tüketim talebi, ile basınç yönetiminde ise kritik noktalar göz önüne alınmaktadır(Bolbol, 2019).

Mckenzie & Wegelin, (2009) tarafından yapılan çalışmada kullanılan farklı BKV kontrol türleri aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır:

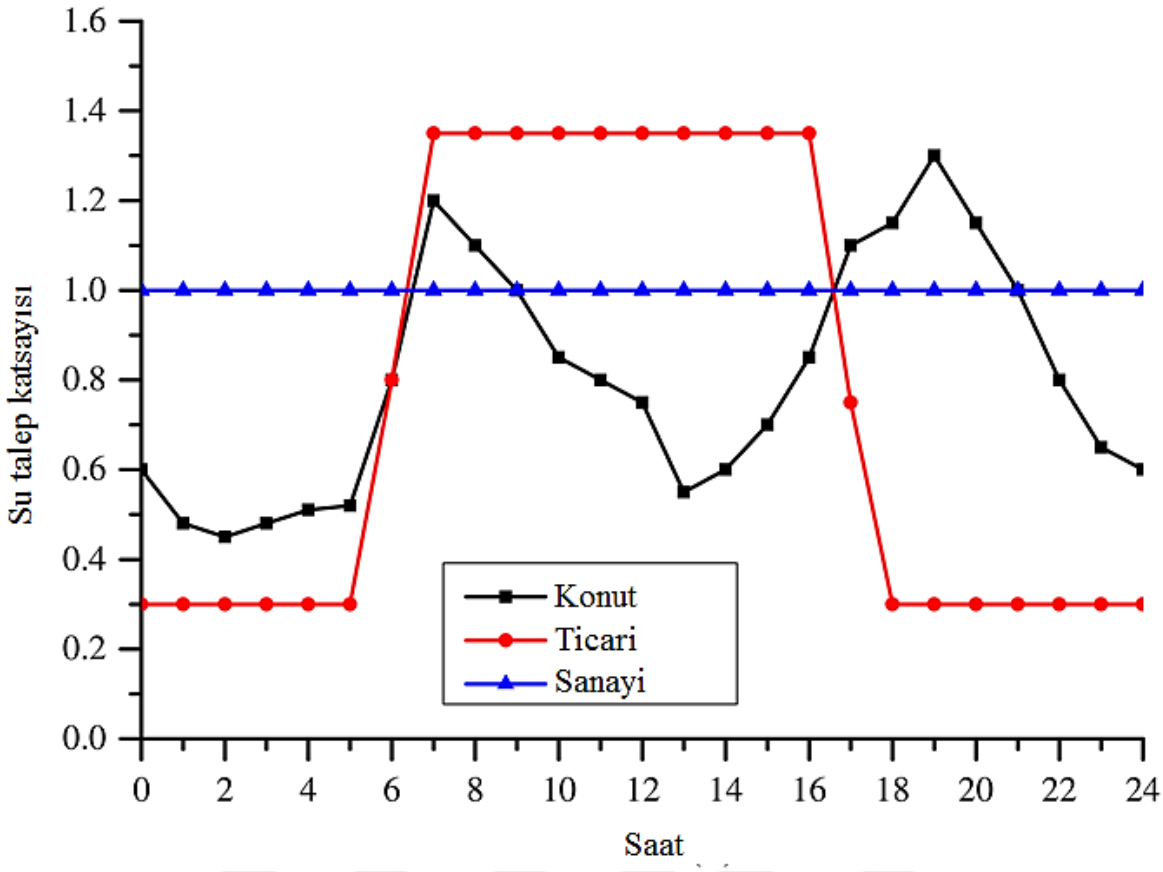
- Klasik sabit ayarlı: Bu tür en basit olan metottur. Çıkış basıncı sabit bir değere ayarlanmıştır. Bununla ilişkili olarak, şebekenin topoğrafik ve işletmesel olarak kritik noktasındaki basınç genellikle en az izin verilen seviyenin üstünde kalır. Bu durum şebeke açısından bir negatiflik oluşturur (Mckenzie & Wegelin, 2009).
- Zaman ayarlı: BKV, günün belirli saatlerinde basınçların azaltılmasına izin vererek daha fazla esneklik sağlar ve bu da daha fazla tasarruf sağlar. Kontrol cihazı, daha pahalı olan debi duyarlı seçenekten daha ucuzdur. Kontrol cihazı kurulumu ve çalıştırılması nispeten kolaydır. Kontrol cihazı doğrudan BKV üzerindeki aygıta bağlandığı için kurulum için bir debimetre gerekmez. Zaman ayarlı kontrolün ana dezavantajı su talebine tepki vermemesidir ve yangın söndürme için tam basınç gerektiren bir yangın çıkması durumunda bu durum sorun teşkil edebilir (Mckenzie & Wegelin, 2009).
- Debi ayarlı: Debi ayarlı basınç kontrolü, zaman ayarlı seçeneğe göre daha fazla kontrol ve esneklik sağlar. Normalde daha önce bahsedilen iki seçenekten daha fazla tasarruf sağlayacaktır, ancak bu daha fazla esnekliğin (ve tasarrufun) bir bedeli vardır. Elektronik kontrol cihazı daha pahalıdır ve BKV'ye ek olarak uygun boyutta bir ölçüm cihazı gerektirir. Debi ayarlı seçeneği kullanmak her zaman uygun maliyetli olmayabilir ve debi ayarlı kontrolü seçmeden önce spesifik uygulamaya dikkat edilmelidir. Önemli avantajlardan biri, debi ayarlı seçeneğin, yangın durumunda su beslemesini engellememesi, ancak elde edilen ek tasarrufun, kontrol cihazının ekstra maliyeti ve sayaç ihtiyacı ile dengelenmesidir (Mckenzie & Wegelin, 2009).
- Kapalı devre basınç kontrolü: Kritik noktadaki bir basınç sensörünün, bölgeye girişteki basınç kontrol cihazına canlı veri sağlamak için kullanıldığı birçok "kapalı döngü" sistemi uygulamaya konulmaktadır. Bu basınç kontrolü biçimi, en üst düzey kontrolü ve dolayısıyla elde edilebilecek maksimum tasarrufu sağlar. Ancak bu, basınç kontrolünün en karmaşık şeklidir ve ekipmanın arızalanma olasılığı daha yüksektir (Mckenzie & Wegelin, 2009).



Şekil 4.3: Basınç Kontrol Türleri (Mckenzie & Wegelin, 2009)

4.3. Basınç Dalgalanması

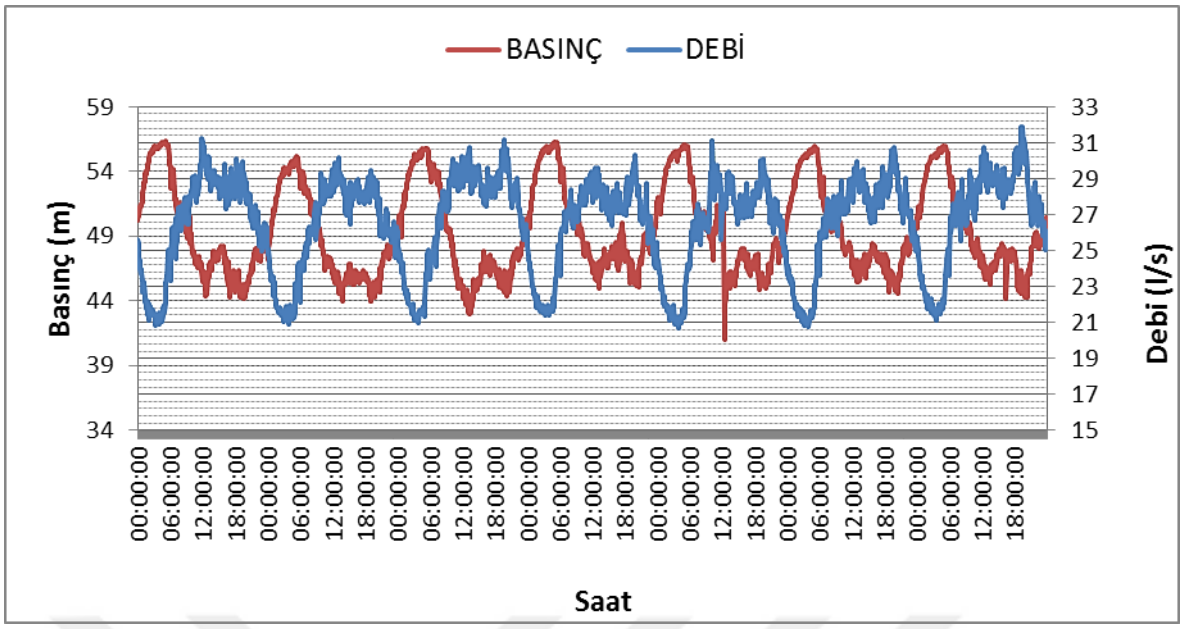
Su dağıtım sistemlerinde saatlik tüketim, şebeke abonelerinin karakteristiğine göre değişmektedir. Konut, ticari ve sanayi bölgelerinde değişimlerin hızı ve saatleri farklı olabilmektedir. Hidrolik analiz yapılırken saatlik tüketimi modellemek için tüketim çarpanı kullanılmaktadır. Bu çarpan ortalaması "1.00" olacak şekilde tüketici türüne göre değişmektedir. Aşağıdaki şekilde Letting vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada kullanılan örnek tüketim çarpanlarının saatlik değişim ait grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Farklı Bölgeler İçin Saatlik Su Tüketim Grafikleri (Letting vd., 2017)

Tüketimin artması ve azalması durumlarında sistemin işletme basıncı tüketim ile ters orantılı olarak değişmektedir. Sanayi bölgelerinde, boru çapları doğru seçildiyse genellikle sistemde ani değişimler diğer bölgelere göre daha az olmaktadır.

Şekil 4.5 te Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) tarafından oluşturulan bir izole ölçüm bölgenin basınç-debi değişimlerini gösteren grafik sunulmuştur.

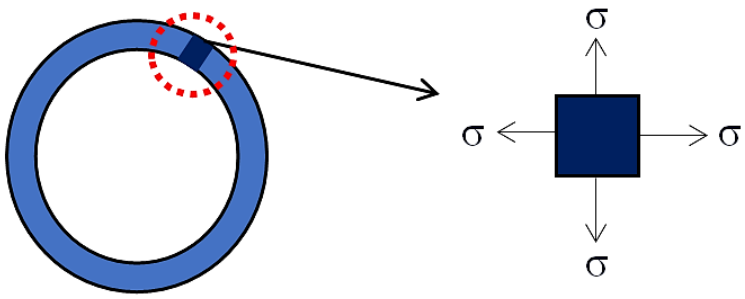


Şekil 4.5: Saatlik Tüketim ve Basınç İlişkisi (MASKİ)

Ticari bölgelerde ise yoğun tüketim saatlerinde, ani tüketimler meydana gelebilmekte ve ani basınç dalgalanmaları oluşabilmektedir. Bu dalgalanmalar sonucunda borularda yorulma etkisine bağlı hasar oluşmakta, mevcut hasarlar artmakta veya ek parçalarında hasar oluşabilmektedir. Debinin azaldığı gece saatlerinde basınç 55 m seviyelerine çıkarken, tüketimin arttığı saatlerde 45 m seviyelerine kadar düşmüştür.

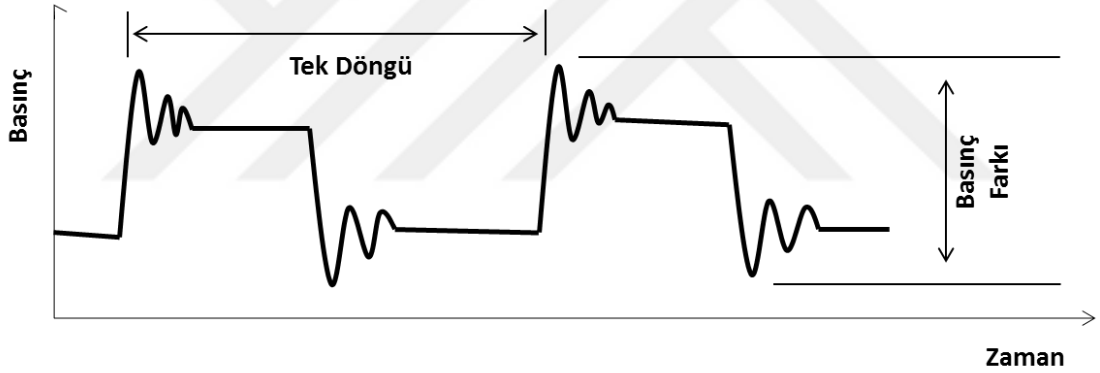
4.4. Borularda Malzeme Yorulması

İçme suyu borularında yorulmaya sebep olan faktörlerden biride boruda suyun oluşturduğu iç basınçtır. Malzeme bilimciler tarafından yapılan birçok çalışmada iç basınç araştırılmış ve boru ömrüne etkisi tartışılmıştır. Borular uzun süreli ve yoğun döngüsel kuvvetlere maruz kaldığında yorulma hasarı yaşayabilir (Malekpour vd., 2015). Boru cidarında iç basınç kaynaklı meydana gelen gerilmenin, basınç dalgalanmaları sırasında değişmesinden dolayı borularda yorulma meydana gelmektedir.



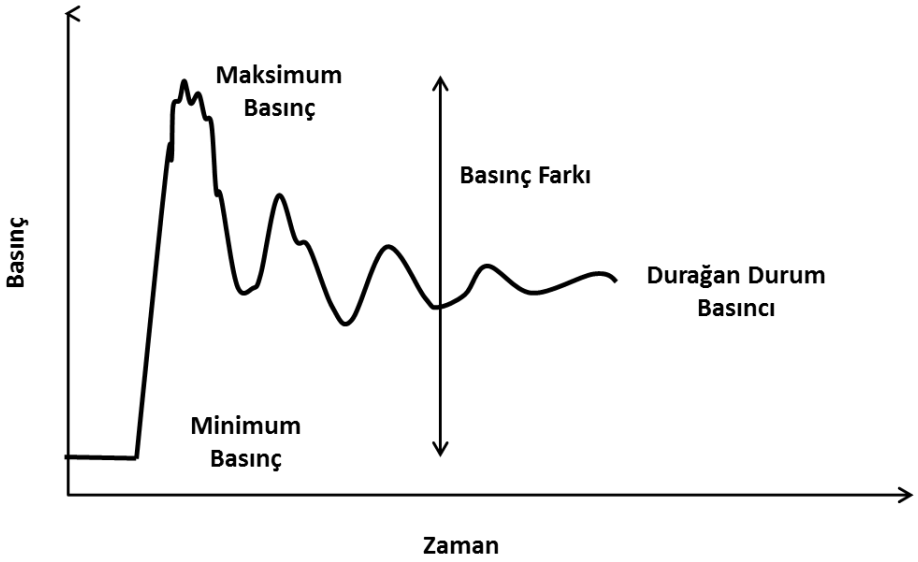
Şekil 4.6: Boru Cidarındaki Gerilme (Arduçoğlu vd., 2023).

Borularda yorulmaya sebep olan bu gerilmelerin maksimum ve minimum değerleri arasındaki değişime döngü denmektedir. Şekil 4.7'de bir gerilme grafiği gösterilmiştir. Boru türüne ve yapısına göre borunun dayanabileceği döngü sayısı değişmektedir.



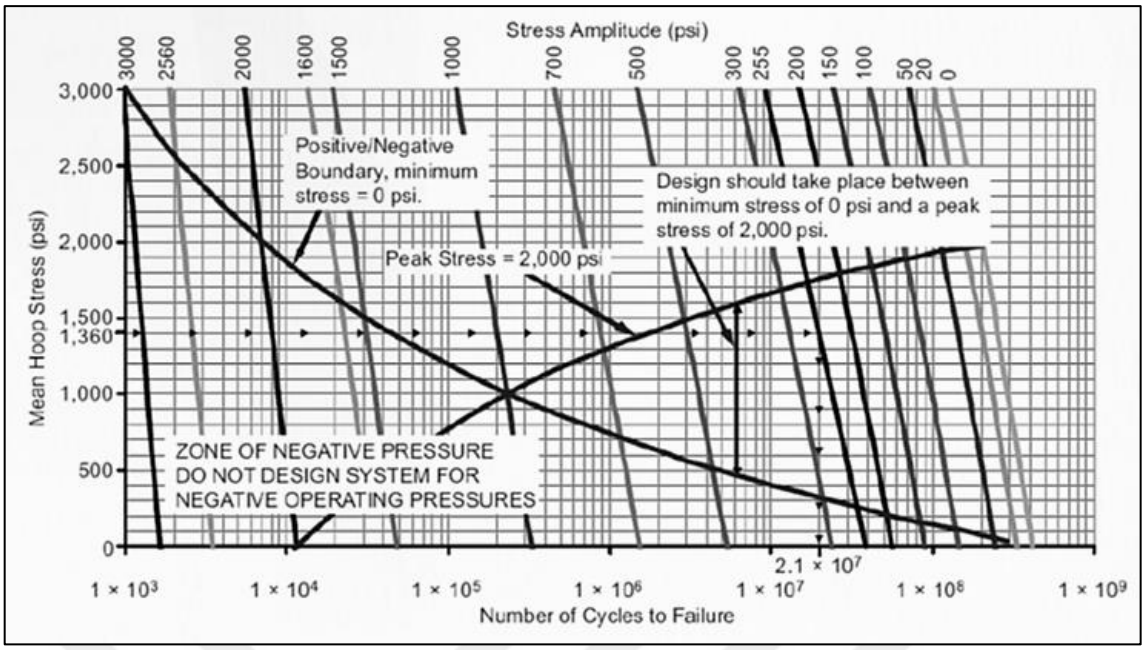
Şekil 4.7: Basınç Döngüsü (PIPA, 2018)

Boru içerisinde oluşan gerilmenin değişimi bir kuvvet oluşturarak borulara hasar verebilmektedir. Yorgunluk, basınçtaki dalgalanmaların olduğu bu tür olayların tekrarı ile ilişkilidir (Marshall vd., 1998). Malzeme bilimciler tarafından 20 psi basınç değerinden küçük basınç değişimleri, su dağıtım sistemlerinde yaygın görülmesi sebebiyle kabul edilebilir bulunmaktadır (Folkman & Parvez, 2020).



Şekil 4.8: PE SDRl I Borusunda Ani Vana Kapanmasından Kaynaklanan Tipik Basınç Dalgalanması (Marshall vd., 1998)

Yapılan çalışmalarda genellikle ani vana kapamaları ve terfili su dağıtım sistemlerindeki enerji kesintisi kaynaklı ani basınç etkisi araştırılmıştır. Bundan dolayı günlük tüketime bağlı basınç değişimi kademeli bir değişim olarak değerlendirilmiştir ve yorulmaya neden olmayacağı kabul edilmiştir (PIPA, 2018). Basıncın dalgalanması sırasında maksimum ve minimum noktalar arasındaki fark azaldıkça borunun dayanabileceği döngü sayısı yani ömrü artmaktadır. AWWA tarafından yayınlanan Şekil 4.9'da ki abakta pvc borular için maksimum ve minimum noktalardaki gerilme aralığına göre boruların dayanabileceği döngü sayısı hesaplanmaktadır.



Şekil 4.9: Döngüsel Tasarım Eğrisi (AWWA, 2007)

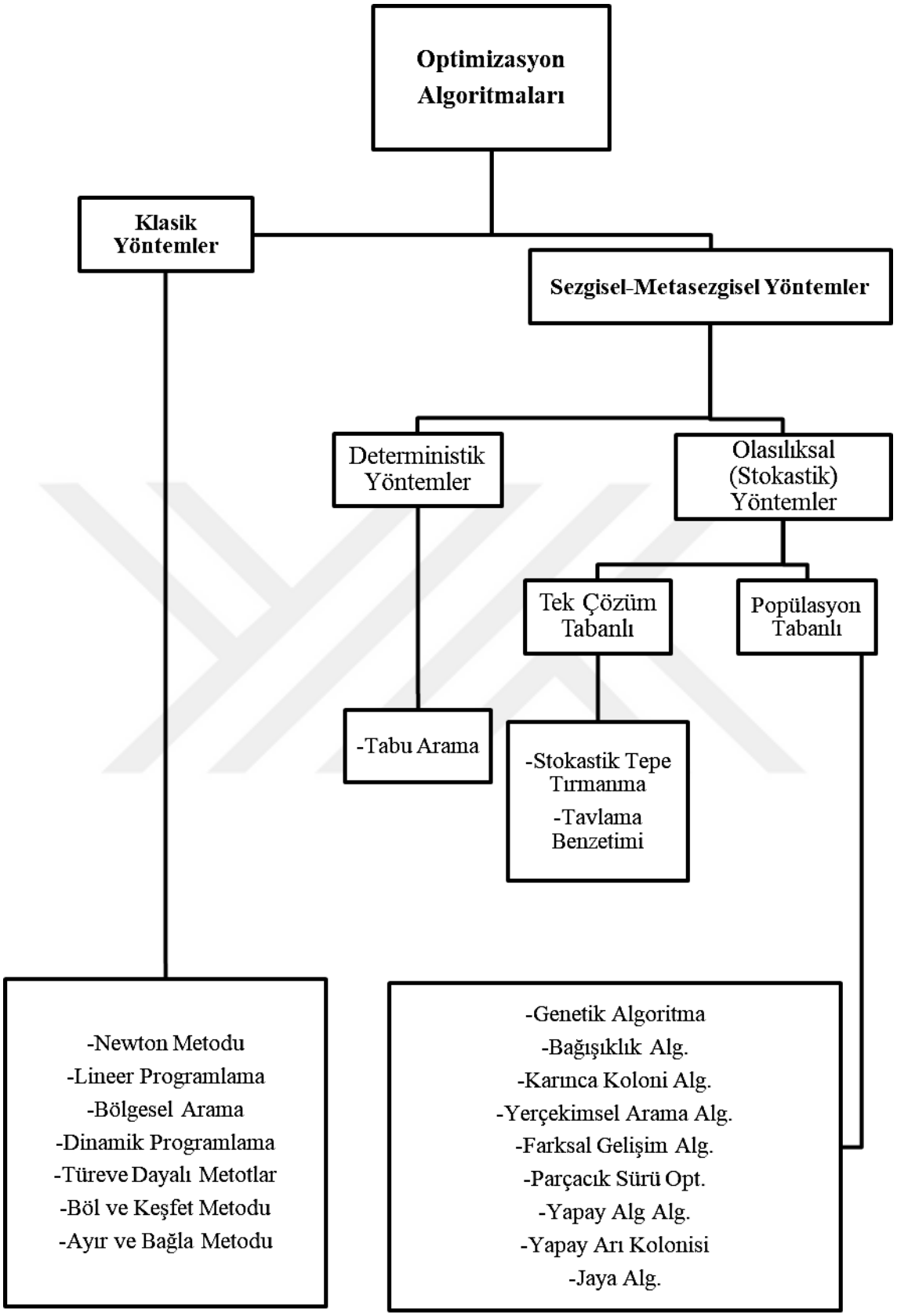
4.5. Optimizasyon Kavramı

Türkçeye en iyileme olarak çevrilen optimizasyon kavramı, bir çözüm kümesi içerisinde aranan en uygun veya en iyi değeri bulmayı ifade eder. Bir optimizasyon çözümlemesinin üç ana bileşeni vardır. Bunlar amaç fonksiyonu, bilinmeyenler(değişkenler) ve kısıtlayıcılardır (Kahraman, 2010).

Amaç Fonksiyonu: Problemde maksimizasyon veya minimizasyon yapılacak fonksiyondur(Turcan, 2023).

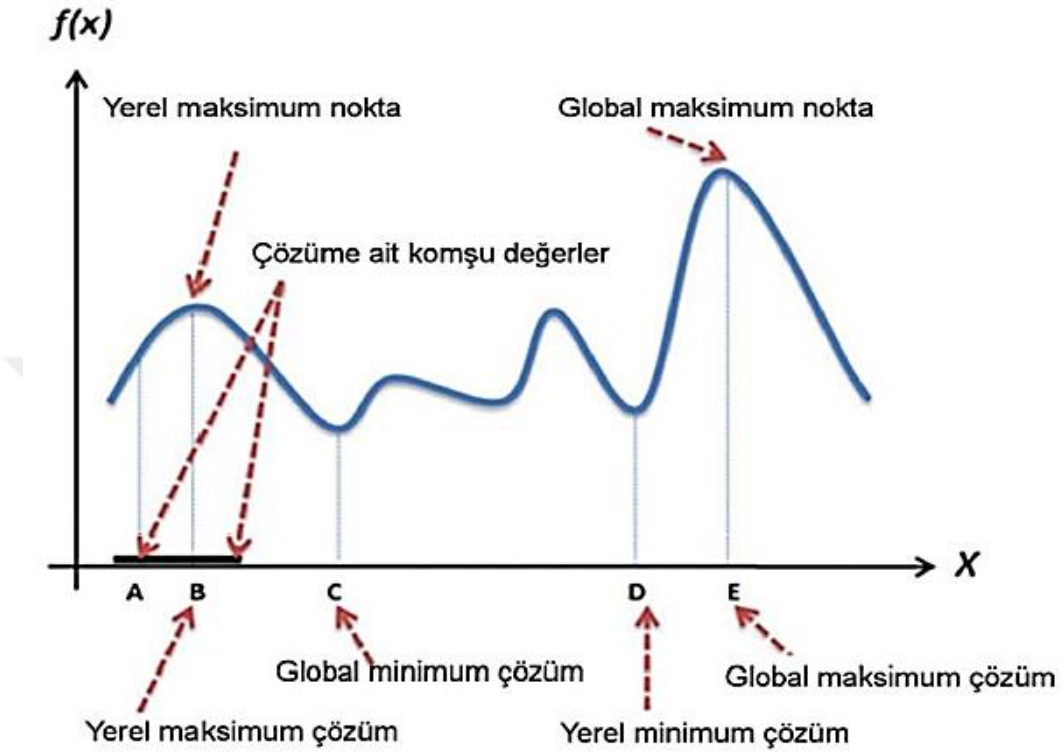
Değişken Elemanlar: Amaç fonksiyonun sonucunu etkileyen değişken kümesidir. Elemanların verilen sistem modeline uydurulması probleminde değişken elemanlar modelin parametreleri olmaktadır (Kahraman, 2010).

Kısıtlayıcılar: Dizayn kısıtları kavramı, çözüm olarak dikkate alınan parametreler tarafından sağlanması gereken koşullar olarak tanımlanmaktadır (Pehlivaoğlu, 2017).



Şekil 4.10: Optimizasyon Algoritmalarının Sınıflandırılması (Doğan, 2019).

Optimizasyon çözümlemelerininde Genel tarama ve Yerel(bölgesel) tarama metotları uygulanmaktadır. Yerel(bölgesel) tarama çözüm evreninin seçili bir bölgesindeki en uygun çözümleri taramaktadır. Global(genel) tarama genel en uygun çözüm kümesini bulmayı hedeflemektedir (Çelik vd., 2019).



Şekil 4.11: Optimizasyon Algoritmalarındaki Kavramlar (Çelik vd., 2019).

İçme suyu sistemlerinin dizaynı için kullanılmakta olan işlemlerin üstel olması ve şebeke bilinmeyenlerinin çok olması sebebiyle, matematiksel çözüm uğraştırıcı ve fazla zaman gerektiren işlemlerdir. Bu sebepten çözüm uzayına gitmek amacıyla birçok matematiksel yöntem uygulanmaktadır (Uslu, 2015). Ayrıca, dağıtım sisteminin dizaynında hidrolik olarak referans sınırlar içinde olan sayısız çözüm bulunabilmektedir.

Aşağıda verilen çizelgede optimizasyon problemi için model oluşturulmasında ana aşamalar göstermektedir:

Çizelge 4.1: Optimizasyon Modeli Oluşturma Yol Haritası (Walski vd., 2003)

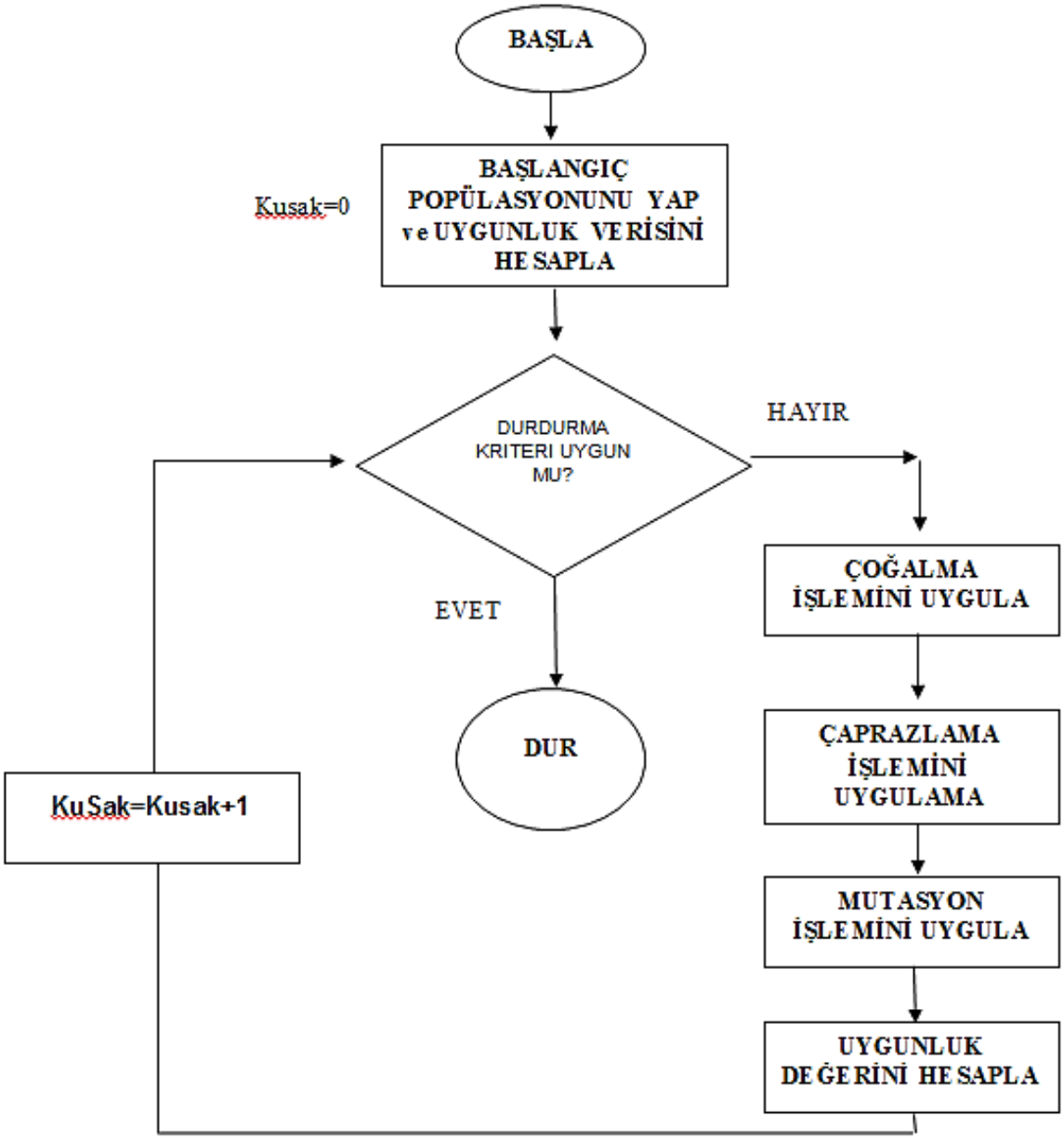
Sorulan Sorular	Örnekler	Optimizasyon Modeli
Ne değiştirilebilir?	Boru çapları	Karar değişkenleri
Sistem verimliliği nasıl ölçülmelidir?	Maliyetin azalması	Amaç fonksiyonu
Sınırlamalar nelerdir?	Düğüm işletme basınçları	Kısıtlar

MATLAB Optimization Toolbox'ta Genetik Algoritma ile optimizasyon seçeneği hazır kodlarla paket olarak sunulmaktadır. Amaç fonksiyonu ve kısıtların girilmesi sonucunda MATLAB optimizasyonu yaparak çıktıları sunmaktadır. Bundan dolayı tez kapsamında yapılacak optimizasyonlarda Genetik Algoritma tercih edilmiştir.

4.5.1. Genetik algoritma

Günümüzde çoğu problemin çözümlenmesinde farklı en iyileme algoritmaları kullanılmaktadır. Metasezgisel isimli algoritmalar, yüksek mertebeli çalışma alanında, efektif arama işlemleri kullanarak çözümleme evrenindeki en iyi çözüme daha çabuk şekilde gidilmektedir (Çelik, 2013). Bu optimizasyon algoritmalarından en bilinenleri; Genetik Algoritma (GA), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO), Elektromanyetik Alan Optimizasyonu (EFO), Diferansiyel Gelişim Algoritması (DEA), Benzetim Tavlama (SA), Yerçekimi Arama Algoritması (GSA), Isı Transferi Arama (HTS), Optikten Esinlenen Optimizasyon (OIO), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Ağırlıklı Süperpozisyon Çekimi (WSA), Orman Optimizasyonu Algoritması (FOA) olarak verilebilir(Çelik vd., 2019).

Genetik Algoritma metodunun ortaya çıkışı 1970'li yılların başında olmuştur. Holland (1975) tarafından geliştirilen Genetik Algoritma (GA), tarihte önerilen ilk popülasyon tabanlı stokastik algoritmalardan biridir. Diğer Evrimsel Algoritmalara benzer şekilde GA'nın ana operatörleri seçme, çaprazlama ve mutasyondur.



Şekil 4.12: Genetik Algoritma Metodu İlerleme Diyagramı (Emel & Taşkin, 2002).

4.5.1.1. Başlangıç nüfusu

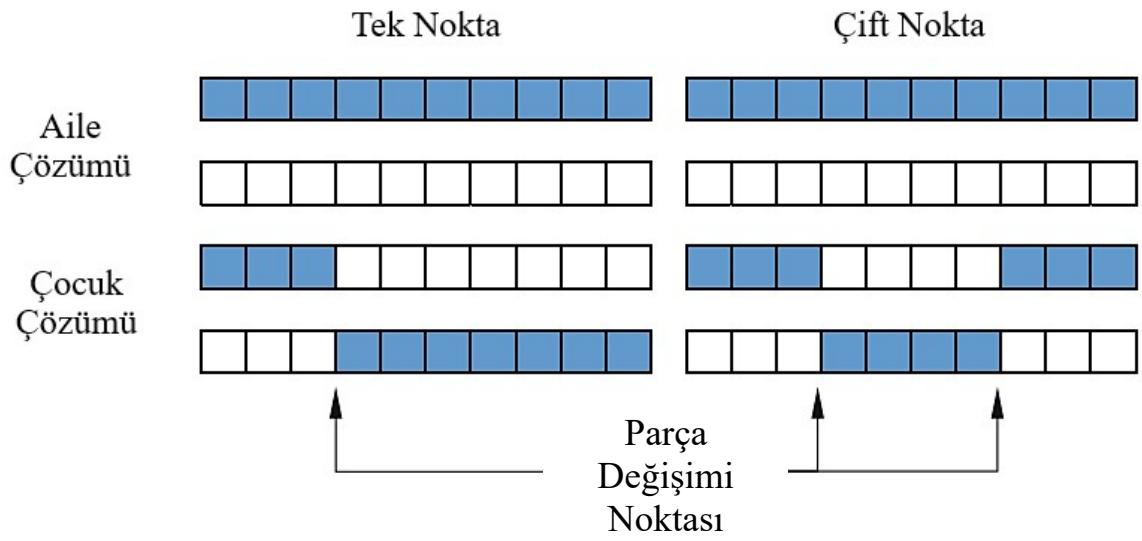
GA algoritması rastgele bir popülasyonla başlar. Bu popülasyon, çeşitliliği artırmak için Gauss rastgele dağılımından oluşturulabilir. Bu popülasyon, bireylerin kromozomlarını temsil eden birden fazla çözüm içerir. Her kromozomun genleri simüle eden bir dizi değişkeni vardır. Başlatma adımındaki temel amaç, popülasyon çeşitliliğini artırmak ve gelecek vaat eden bölgeleri bulma şansını artırmak için çözümleri arama uzayına mümkün olduğunca eşit bir şekilde yaymaktır. Sonraki bölümlerde ilk popülasyondaki kromozomları iyileştirmeye yönelik adımlar tartışılmaktadır (Emel & Taşkin, 2002).

4.5.1.2. Seçilim

Doğal seçilim, GA algoritmasının bu bileşeninin ana ilham kaynağıdır. Doğada en uygun bireylerin yiyecek alma ve çiftleşme şansı daha yüksektir. Bu da genlerinin aynı türün bir sonraki neslinin üretimine daha fazla katkıda bulunmasına neden olur. Bu basit fikirden ilham alan GA algoritması, bireylere olasılıkları atamak ve uygunluk (objektif) değerleriyle orantılı gelecek nesli oluşturmak için onları seçmek için bir rulet çarkı kullanır. En iyi bireyin rulet çarkında en büyük paya sahip olduğu, en kötü bireyin ise en düşük paya sahip olduğu görülmektedir. Bu mekanizma doğadaki en uygun bireyin doğal seçilimini simüle eder (Mirjalili, 2019).

4.5.1.3. Çaprazlama

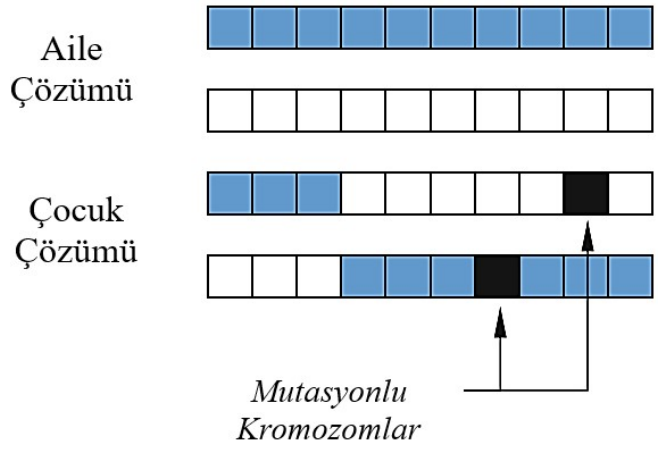
Bir seçim operatörü kullanarak bireyleri seçtikten sonra yeni nesli oluşturmak için kullanılmaları gerekir. Doğada erkek ve dişi genlerindeki kromozomlar birleşerek yeni bir kromozom üretir. Bu, GA algoritmasında iki yeni çözüm (çocuk çözümler) üretmek için rulet çarkı tarafından seçilen iki çözümün (ana çözümler) birleştirilmesiyle simüle edilir. Literatürde çaprazlama operatörü için farklı teknikler mevcuttur ve bunlardan ikisi (tek nokta ve çift nokta) Şekil 4.13'te gösterilmektedir. Tek nokta çaprazlamada, iki ana çözümün kromozomları tek bir noktadan önce ve sonra değiştirilir. Çift noktalı çaprazlamada iki çapraz geçiş noktası vardır ve bu noktalar arasındaki kromozomlar yalnızca yer değiştirir (Mirjalili, 2019).



Şekil 4.13: GA'da İki Popüler Çaprazlama Tekniği: Tek Nokta ve Çift Nokta (Mirjalili, 2019).

4.5.1.4. Mutasyon

Mutasyon çocuk çözümleri oluşturulduktan sonra bir veya daha fazla genin değiştirildiği son evrimsel operatördür. GA'da mutasyon oranı düşük olarak ayarlanır çünkü yüksek mutasyon oranları GA'yı ilkel rastgele aramaya dönüştürür. Mutasyon operatörü, başka bir rastgelelik düzeyi getirerek popülasyonun çeşitliliğini korur. Aslında bu operatör, çözümlerin benzer hale gelmesini engeller ve GA algoritmasında yerel çözümlerden kaçınma olasılığını artırır. Bu operatörün kavramsal bir örneği Şekil 4.14'te görselleştirilmiştir. Çaprazlama (rekombinasyon) aşamasından sonra rastgele seçilen bazı genlerde hafif değişikliklerin meydana geldiği bu şekilde görülmektedir (Mirjalili, 2019).

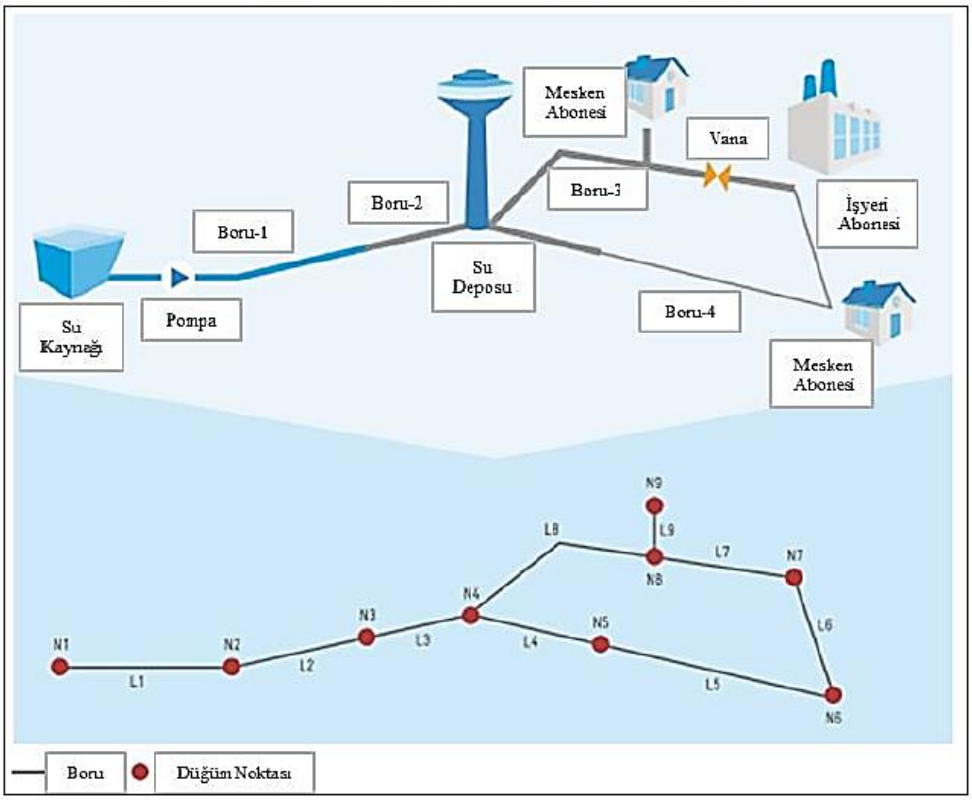


Şekil 4.14: Mutasyon operatörünün çaprazlama aşamasından sonra çocuk çözümlerindeki bir veya daha fazla geni değiştirmesi (Mirjalili, 2019).

4.6. EPANET-MATLAB Toolkit

Matematik modeller, içme suyu dağıtım şebekelerinin fiziki özelliklerini tanımlamak için türetilen eşitliklerin bir bilgisayar programına entegre edilmesi ile oluşturulan araçlardır (Kara, 2011). İçme suyu dağıtım şebekelerinin matematiksel olarak modellenmesi, hidrolik ve içme suyu kalite başlıkları olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Su kalite modelleri içme suyu şebekelerindeki kimyasalların taşınımı ve kimyasal reaksiyonlarının daha verimli anlaşılabilmesini sağlayan analiz araçlarıdır. Hidrolik modellerse genellikle sistemin daha verimli yönetilmesi için çeşitli planlamaların geliştirilebildiği modellerdir (Aydın, 2008).

Su dağıtım şebekelerinin modellemesinde yararlanılan ve küresel düzeyde kabul görmüş olan programlardan bazıları şunlardır: WATER CAD, EPANET, MIKE, WASMACS, SWS. EPANET bu alanda geliştirilen ilk hidrolik modelleme programıdır (Kara, 2011).

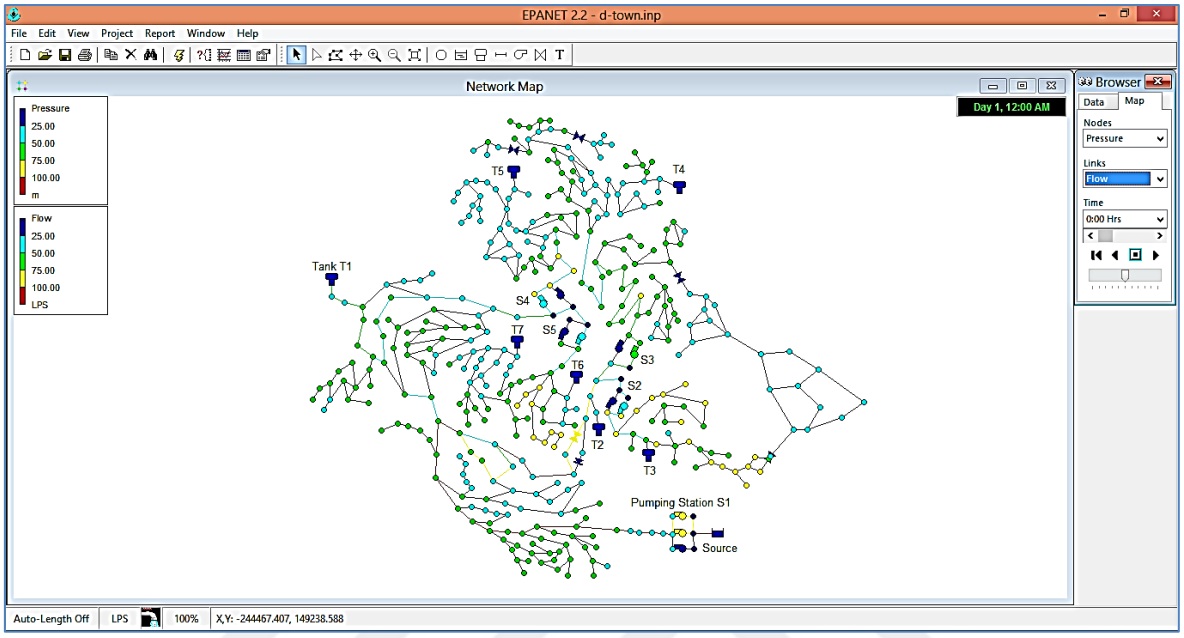


Şekil 4.15: Gerçek Sistem ve Hidrolik Model (Sınmaz, 2019)

1993 yılında EPA tarafından yazılan EPANET, basınçlı temiz su şebekelerinde hidrolik ve su kalitesi hareketinin uzun zamanlı simülasyonunu gerçekleştiren bir bilgisayar yazılımıdır. 2000 yılında versiyon 2.0 sürümü yayınlanan EPANET, zaman adımlarından oluşan bir simülasyon süresi boyunca her borudaki su akışını, her düğümdeki basıncı, her tanktaki suyun yüksekliğini ve ağdaki kimyasal türlerin konsantrasyonunu izler. Kimyasal türlerin yanı sıra su yaşı ve kaynak takibi de simüle edilebilir. EPANET, dağıtım sistemleri içindeki içme suyu bileşenlerinin hareketini analiz edebilmek için bir araştırma aracı olarak tasarlanmıştır. Dağıtım sistemleri analizinde birçok farklı uygulama için kullanılabilir. Numune alma programı tasarımı, hidrolik model kalibrasyonu, kalıntı klor analizi ve tüketici maruz kalma değerlendirmesi bazı örneklerdir (Rossman, 2000).

Günümüzde mühendisler ve danışmanlar, yeni su altyapısını tasarlamak ve boyutlandırmak, mevcut eskiyen altyapıyı yenilemek, tank ve pompaların operasyonlarını optimize etmek, enerji kullanımını azaltmak, su kalitesi sorunlarını araştırmak ve acil durumlara hazırlanmak için EPANET'i kullanmaktadır. EPANET, sistem genelinde su kalitesinin iyileştirilmesine yönelik alternatif yönetim stratejilerinin değerlendirilmesine yardımcı olabilir. Windows altında çalışan EPANET, şebeke giriş verilerini düzenlemek,

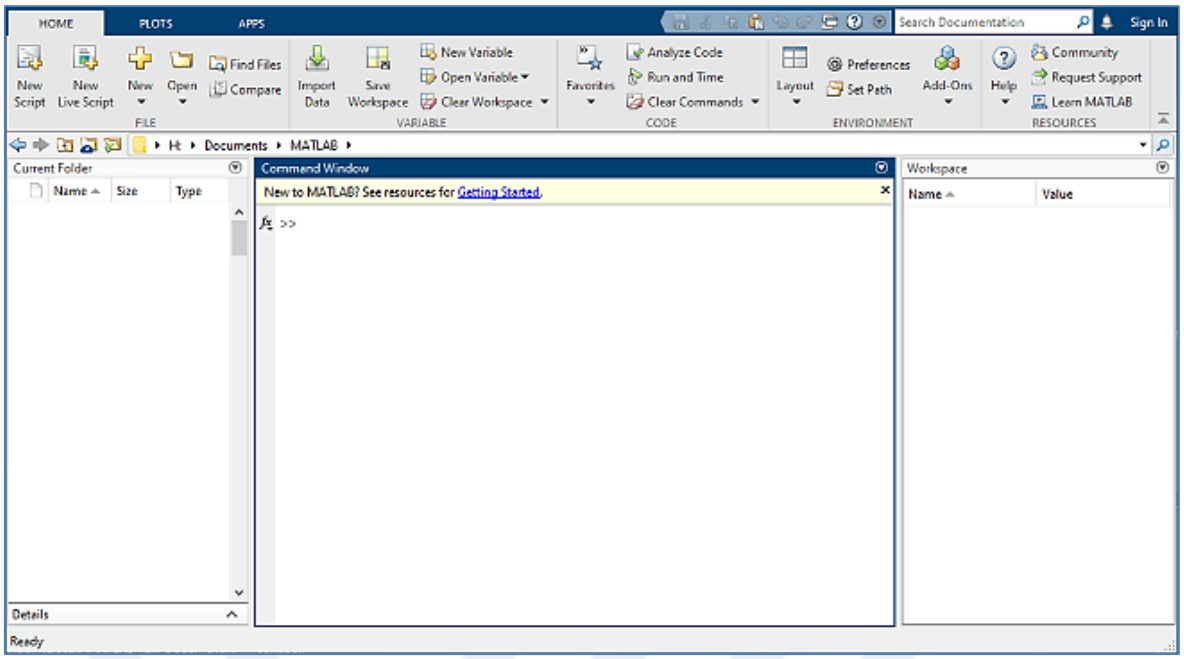
hidrolik ve kalite örneklemelerini çalıştırmak ve sonuçları çeşitli tip formlarda görüntülemek için ilişkilendirilmiş bir ortam sağlar. Bunlar arasında renk kodlu şebeke haritaları, zaman grafikleri, değer tabloları ve kontur grafikleri bulunur.



Şekil 4.16: EPANET 2.2 Program Ara Yüzü.

1970 li yıllarda Cleve Moler tarafından geliştirilen MATLAB bir sayısal hesaplama yazılımıdır. Mathworks şirketi tarafından yapılmış olup, matris verilerinin işlenmesine, veri çizilmesine, algoritmalar çalıştırılmasına, kullanıcı ara yüzü oluşturulmasına ve diğer programlar ile etkileşim gerçekleştirilmesine izin vermektedir.

MATLAB ilk olarak Fortran dili ile yazılmıştır. Şu anki sürümü ise C dili yazılmıştır. MATLAB "Araç kutusu" olarak nitelendirilen özellikleri sayesinde yazılım yazmaya ihtiyaç kalmadan içerisindeki hazır fonksiyonlarla birçok araştırma alanında kullanılmaktadır (Uzunoğlu & Onar, 2003).



Şekil 4.17: MATLAB Program Ara Yüzü.

İçme suyu şebekelerinin optimizasyonunu içeren çalışmalarda şebekeler karmaşık ve çok parametrelidir. Çok bilinmeyenli denklemlerle çözüme kavuşan hidrolik problemlerinin uygulanması sırasında optimizasyon algoritmaları ve yazılım dilleri problemlerin çözümünü önemli ölçüde kısaltmaktadır. EPANET ve MATLAB ilişkisini kullanan çalışmalar; Alhamad (2021), Batmaz (2021), Chandramouli (2019), Demir (2022), Eliades vd.(2016), Hama (2018), Kalkan (2017), Lin vd. (2009), Mehdi & Asghar (2019), Zmarzły (2010) şeklinde sıralanabilir.

(Boztaş, 2023) tarafından Malatya ili Battalgazi ilçesinde gerçekleştirilen çalışmada EPANET- MATLAB Toolkit kullanılarak hidrolik model üzerinde hesaplanan ve sahada ölçülen basınç değerleri arasındaki farkları kullanan bir optimizasyon algoritması ile sızıntı tespit problemine çözüm önerilmiştir. Çalışmanın dayandığı teori şebeke üzerinde oluşan sızıntı kaynaklı basınç düşüş verilerini kullanılarak sızıntının yerinin tespit etmek üzeredir. Analiz sonuçlarına göre algoritma 25 düğüm noktasına sahip deneysel şebekede, 12 adet düğüm noktası için %100 oranında doğru sonuç verdiğini ve her defasında doğru sızıntı noktasını tahmin edebildiğini göstermektedir. Şebekenin tamamı için ise kümülatif doğru tahmin edilme oranı %92 olmaktadır.

Eliades vd. (2016) tarafından Güney Kıbrıs'ta geliştirilen EPANET-MATLAB Toolkit, orijinal olarak MATLAB ortamında çalışan Kıbrıs Üniversitesi KIOS Araştırma Merkezi'nce geliştirilen, hidrolik bir sistem olan EPANET'in en güncel sürümü için bir programlama arayüzü oluşturmak amacıyla geliştirilen açık kaynak kodlu bir yazılım programıdır. Üst düzey bir teknik hesaplama yazılımı olan MATLAB ile US EPA tarafından oluşturulan hidrolik modelleme yazılımıdır. EPANET-MATLAB Toolkit amacı, giderek büyüyen akıllı su ağları alanında araştırma ve geliştirme için ortak bir programlama çerçevesi olarak hizmet etmektir.

EPANET-MATLAB Toolkit, EPANET veri tabanı tarafından oluşturulan sonuçları görüntülemek, revize etmek ve çizmek için kullanımı kolay komutlar içermektedir. EPANET-MATLAB Toolkit bu noktada birçok çalışmada kullanılarak araştırmacıların büyük şebekelerde optimizasyon algoritmaları ile analiz yapmasına yardımcı olmaktadır.

4.7. Uygulanan Metot

EPANET 2.2 hidrolik analiz programında modellenen referans şebekeler EPANET-MATLAB Toolkit yardımı ile modifiye edilmiş ve MATLAB yazılımına yüklenmiştir. Model 24 saatlik simülasyon ile çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Düğümlerin 24 saatlik tüketim çarpanı tanımlanmıştır. Aşağıda İLBANK "İçme suyu Tesisleri Etüt, Fizibilite Ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartnamesi"nde tanımlanan tüketim çarpanları gösterilmiştir.

Çizelge 4.2: Ortalama Gündeki Saatlik Dalgalanma (İLBANK, 2013).

Nüfus (1000 kişi)	Pik Faktör	Saatler					
		6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-6
<5	1.75	1.72	0.82	1.70	0.81	1.75	0.40
5-10	1.68	1.65	0.87	1.62	0.86	1.68	0.44
10-25	1.61	1.58	0.91	1.55	0.91	1.61	0.48
25-50	1.54	1.52	0.96	1.47	0.95	1.54	0.52
50-100	1.47	1.45	1.00	1.40	1.00	1.47	0.56
>100	1.40	1.38	1.05	1.32	1.05	1.40	0.60

Sistemin girişine yerleştirilen basınç kırıcı vana ile basınç yönetimi uygulanmıştır. Klasik basınç yönetimi sistemlerinde şebekenin minimum basınca indirilmesi

amaçlanmaktadır. Buradaki tek kısıt müşteri memnuniyeti olup, yoğun tüketim saatlerinde tüketicilerden şikayet gelene kadar şebeke basıncı düşürülmektedir. Ancak tüketimin azaldığı saatlerde basınç artmaktadır. Bundan dolayı tüketimin dalgalandığı saatlerde basınçta da dalgalanma oluşmakta ve şebeke elemanları sürekli hale gelen bir gerilmeye maruz kalmaktadır. Gerilme kaynaklı borular ve ek parçalarda yorulma meydana gelmektedir. Bundan dolayı MATLAB üzerinden yazılan kod ile şebekede zamana bağlı basınç kontrolü yöntemi ile çalışma yapılmıştır.

Epanet-MATLAB Toolkit ile yapılan analiz sonucunda hesaplanan düğüm basınç değerlerini matris düzeninde vermektedir. "n" düğümlü bir şebekenin "m" saatlik bir simülasyonunun basınç verileri $P_{(m\times n)}$ matris formunda kaydedilmektedir.

$$P_{(m\times n)} = \begin{bmatrix} P_{(1,1)} & \cdots & P_{(1,n)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{(m,1)} & \cdots & P_{(m,n)} \end{bmatrix} \tag{4.2}$$

Çalışmanın amacı klasik basınç yönetiminde olduğu üzere şebekenin işletme basıncının minimize edilmesi olarak seçilmeyip, 24 saatlik simülasyonda zaman dilimleri değiştikçe her bir düğüm noktasında oluşacak basınç dalgalanmalarının optimize edilmesi olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonu her düğüm noktasının basınç değişimlerinin toplamı fonksiyonu olarak seçilmiştir. Optimizasyon sırasında amaç fonksiyonu minimize edilerek şebeke genelinde dalgalanma dengelenecektir. Amaç fonksiyonu(object function) Denklem 4.3' te gösterilmektedir.

$$min\ OF = \sum_{i=1}^{n}\sum_{i=0}^{m}(\Delta \mathrm{P}) \tag{4.3}$$

$$min\ OF = \sum_{i=0}^{m}\left(P_{(t_{i+1},1)} - P_{(t_i,1)}\right) + \ldots. + \sum_{i=0}^{m}\left(P_{(t_{i+1},n)} - P_{(t_i,n)}\right) \tag{4.4}$$

Çalışma kapsamındaki optimizasyon probleminin değişkeni şebekeye yerleştirilen basınç kırıcı vananın çıkış basıncı olacaktır. Optimizasyon sürecinde kısıtların yetersiz

olması durumunda, algoritma basınç kırıcı vananın çıkış basıncını azaltıp artırarak amaç fonksiyonunun minimum değerini bulacaktır.

İLBANK "İçme suyu Tesisleri Etüt, Fizibilite Ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartnamesi"nde şebeke ağlarında işletme basıncının sınırları aşağıdaki şekilde belirlenmiştir: "*Şebekede minimum işletme basınçları müstakbel nüfusu 50.000'e kadar olan yerlerde 20 m, daha büyük nüfuslarda 30 m alınır. Ancak; yangın olduğu saatlerde min. basınç sınırı 15 m (Depo KK.' na göre) olabilir. Şebekenin topoğrafik durumu göz önüne alınarak maksimum statik basınç değeri ise 60 -65 m. olacak şekilde şebeke basınç zonları oluşturulur...*". Optimizasyon probleminin kısıtlayıcıları bu şartnameye göre belirlenerek işletme basıncı 20 m ve 65 m arasında seçilmiştir.

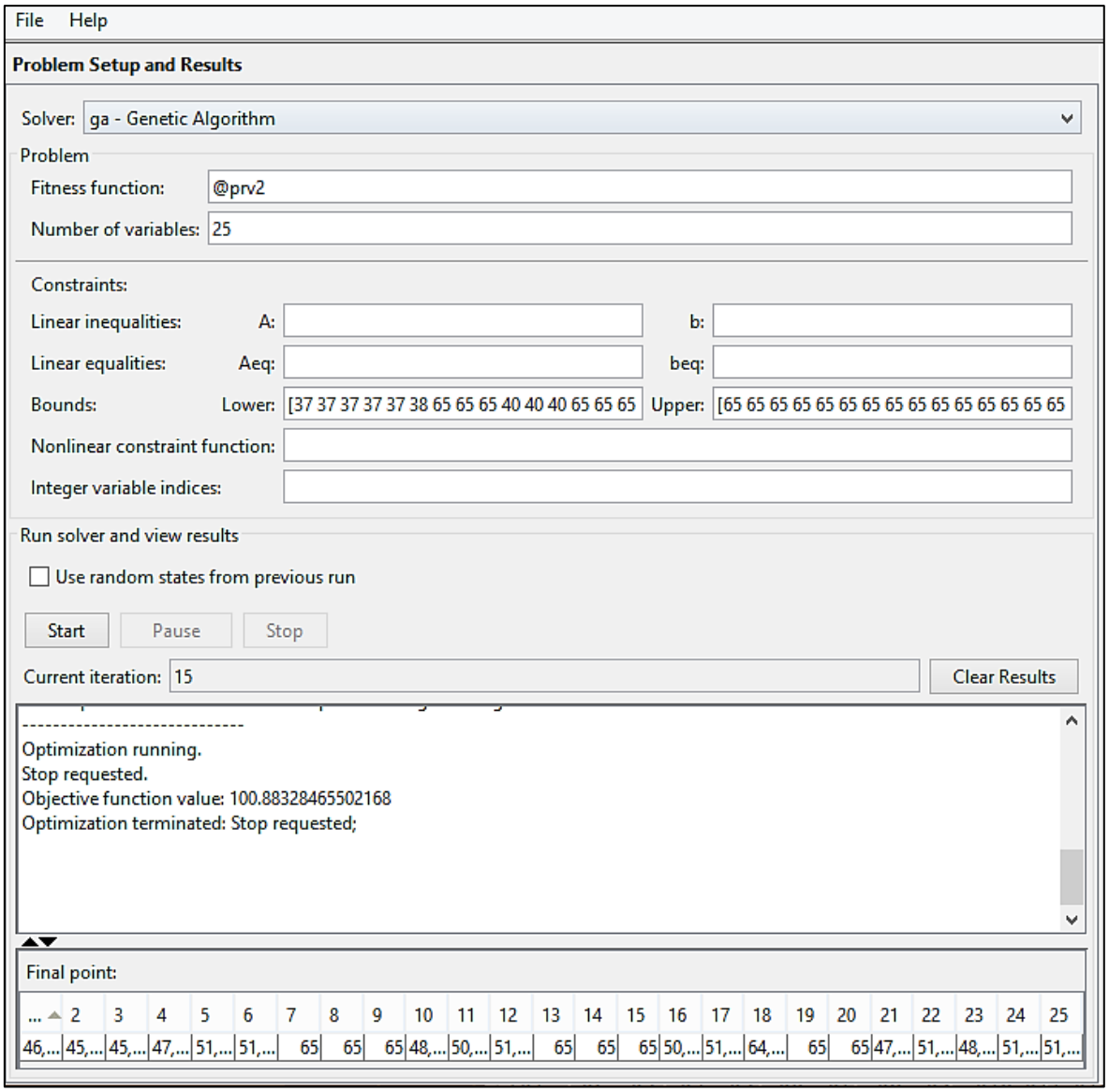
5. ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında yeniden düzenlenmiş Alperovits ve Shamir şebekesine klasik basınç yönetimi ve ileri basınç yönetimi uygulanmıştır. Klasik basınç yönetimi uygulanması durumunda, kritik noktaya kullanımın en yoğun olduğu saatte yeterli basınçta su iletilmesi için basınç kırıcı vananın çıkış basıncı 65 m seçilmiştir. Bu değer en yüksek basınç kısıtıdır. Bu yöntem sonucunda düğümlerde oluşan saatlik basınç değerleri EK-A tablosunda sunulmuştur. İleri basınç yönetimi uygulamasında ise kritik noktaya bağlı olarak ayarlanabilecek minimum BKV çıkış basınçları Çizelge 5.1 ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.1: İleri Basınç Yönetimi BKV Minimum Çıkış Basınçları

Saat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Basınç(m)	37	37	37	37	37	38	65	65	65	40	40	40
Saat	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Basınç(m)	65	65	65	40	40	40	65	65	40	38	37	37

İleri basınç yönetimi modellenmesi EPANET-MATLAB toolkit üzerinden analiz edilmiş ve MATLAB optimizasyon araç kutusu yardımıyla optimize edilmiştir. Optimizasyon yöntemi olarak genetik algoritma seçilmiştir. Şekil 5.1: Optimizasyon Penceresi'de kullanılan MATLAB optimizasyon penceresi gösterilmiştir.

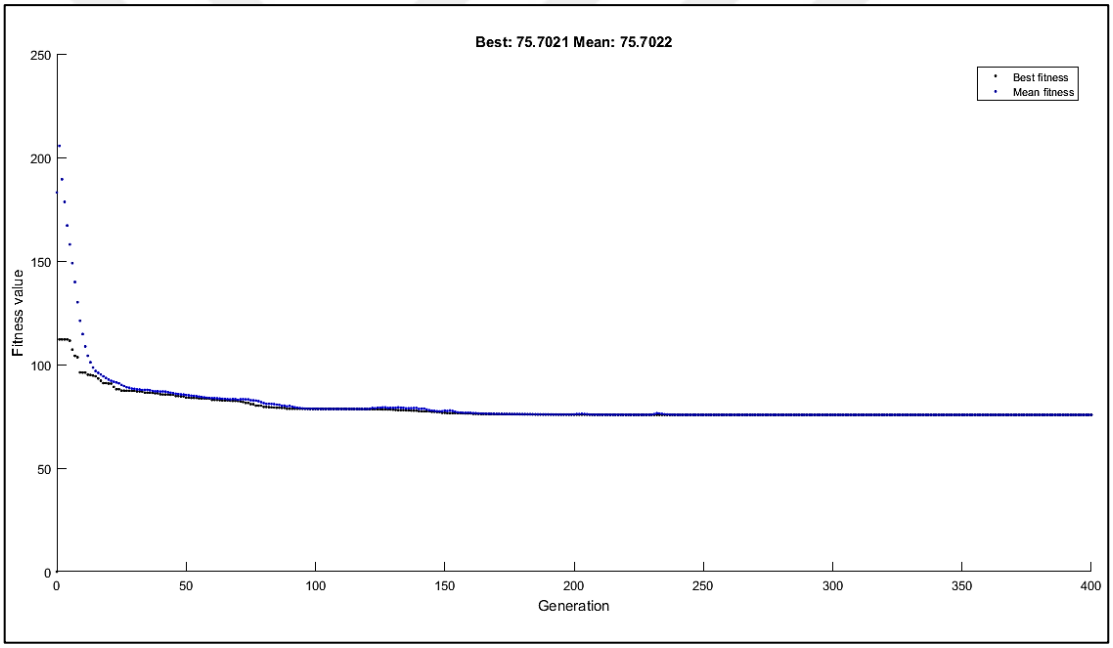


Şekil 5.1: Optimizasyon Penceresi

Optimizasyonda kullanılan iterasyon sayılarına göre amaç fonksiyonunun değişimi Çizelge 5.2'de gösterilmiştir. İterasyon sayısının artması ile bir noktaya kadar amaç fonksiyonu minimize edilmiştir. Ancak iterasyon sayısı arttırıldığında bir değerden sonra amaç fonksiyonu değerinin değişmediği ve belirli bir bölgede kaldığı anlaşılmıştır.

Çizelge 5.2: İterasyon Sayısı ve Amaç Fonksiyonu Değeri

İterasyon Sayısı	Amaç Fonksiyonun Değeri (OF)
10	104.35
50	84.58
100	75.94
211	79.78
260	77.72
271	75.69
359	75.69
400	75.70

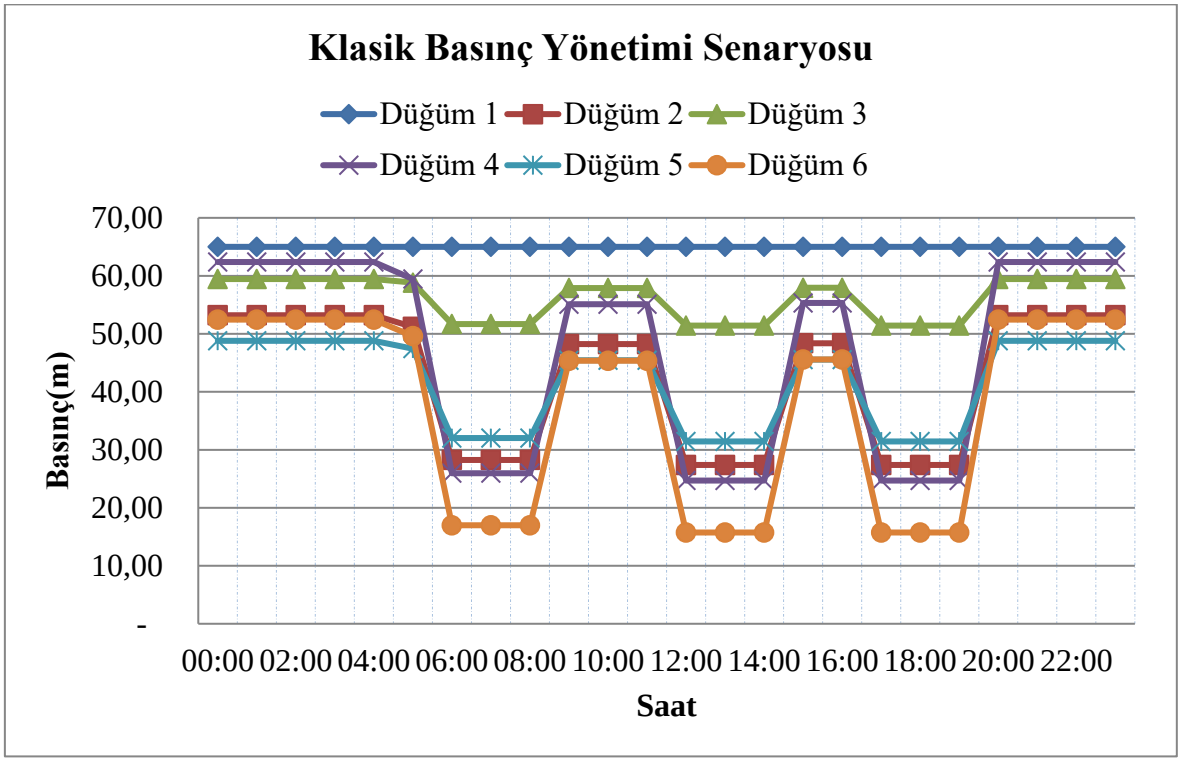


Şekil 5.2: İterasyon Sayısına Göre Amaç Fonksiyonu Değişimi

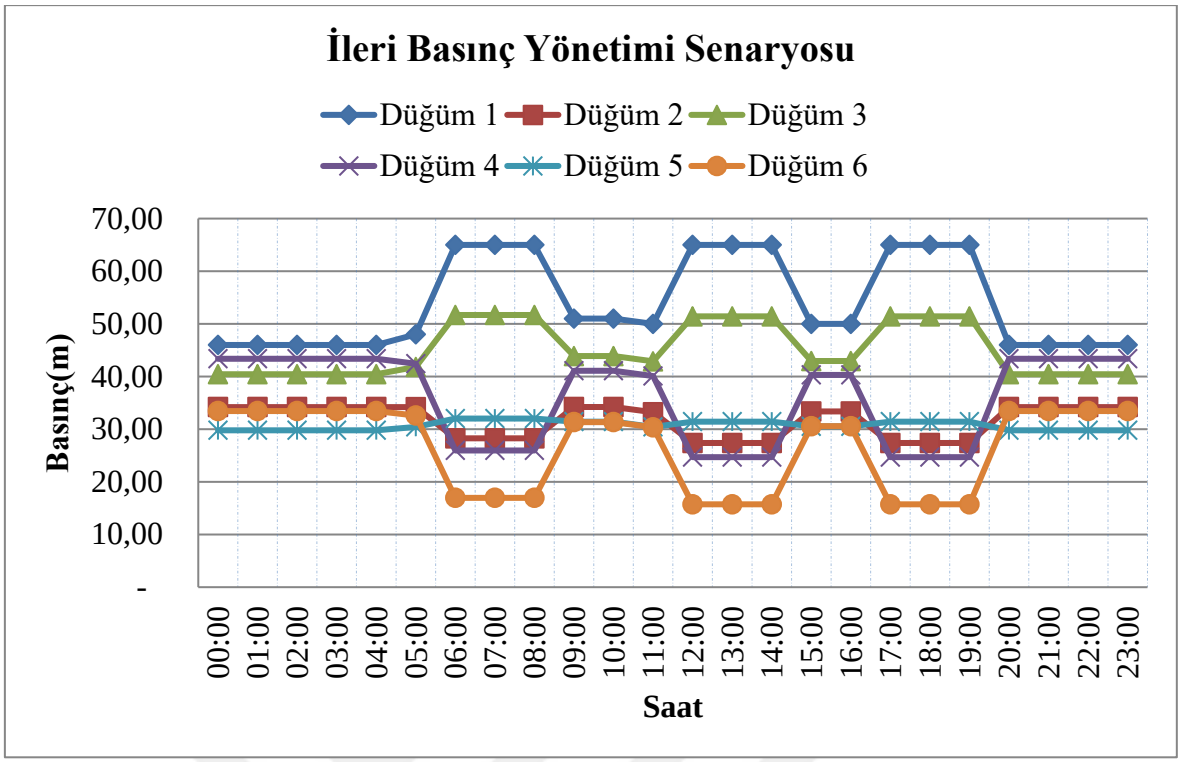
Optimizasyon sonucunda oluşan ileri basınç yönetimi senaryosuna ait BKV çıkış basınçları Çizelge 5.3'te listelenmiştir. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te klasik basınç yönetimi ve ileri basınç yönetimi uygulamalarında saatlik düğüm basınç değişim grafikleri gösterilmiştir. Grafiklerin veri değerleri ise EK-A'da çizelge şeklinde sunulmuştur.

Çizelge 5.3: İleri Basınç Yönetimi Senaryosu

Saat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Basınç(m)	40	40	40	40	40	42	65	65	65	45	44	45
Saat	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Basınç(m)	65	65	65	45	44	65	65	65	40	40	40	40

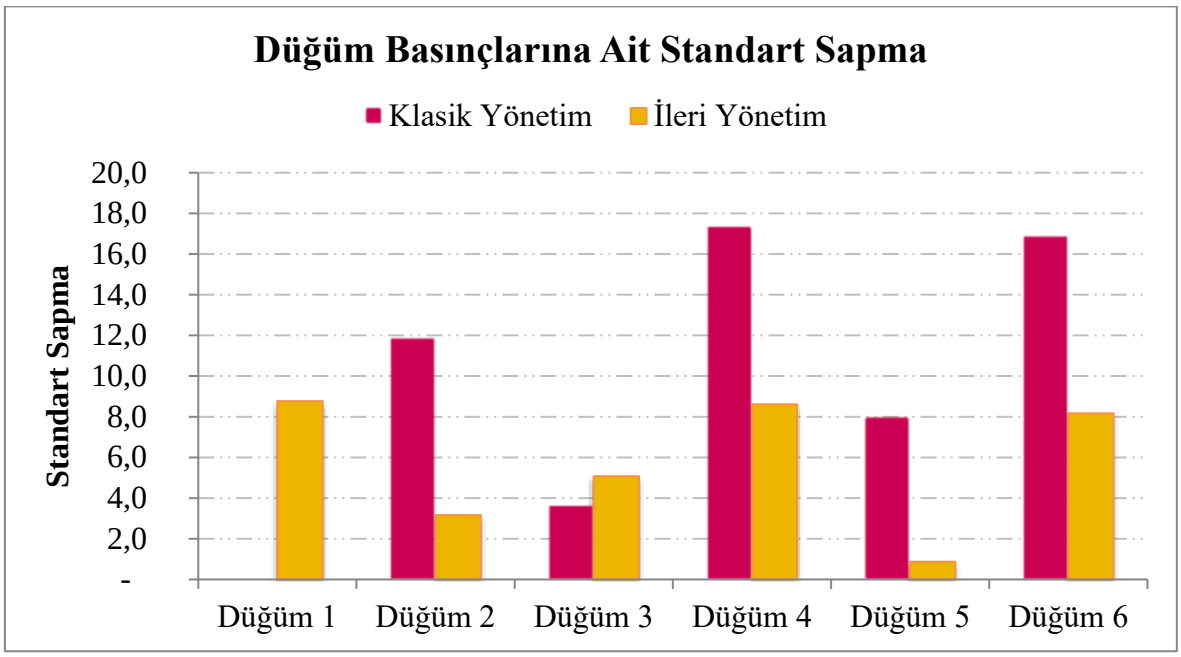


Şekil 5.3: Klasik Basınç Yönetimi Düğüm Basınç Değişimi



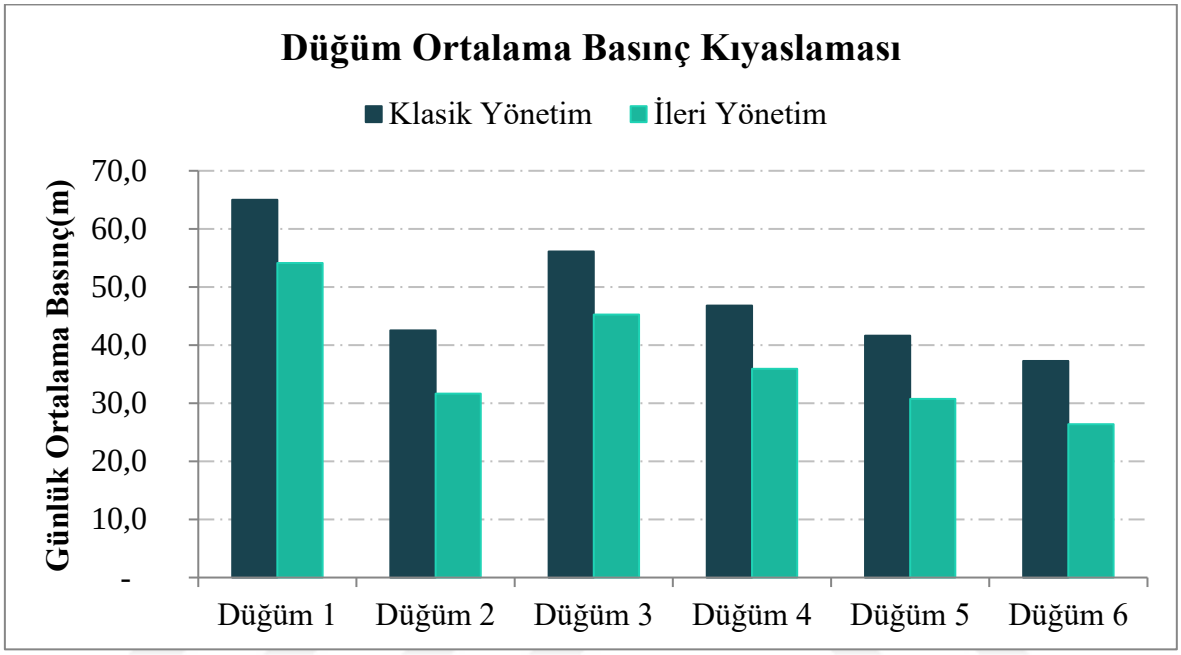
Şekil 5.4: İleri Basınç Yönetimi Düğüm Basınç Değişimi

Söz konusu çizelge ve senaryo grafikleri incelendiğinde klasik basınç yönetimi uygulanırken düğümlerde oluşan saatlik basınç değişimi 35 m'ye kadar çıkabilirken ileri basınç yönetimi ile bu değer 20 m seviyelerine indirilebilmiştir.



Şekil 5.5: Düğüm Basınçlarına Ait Standart Sapma

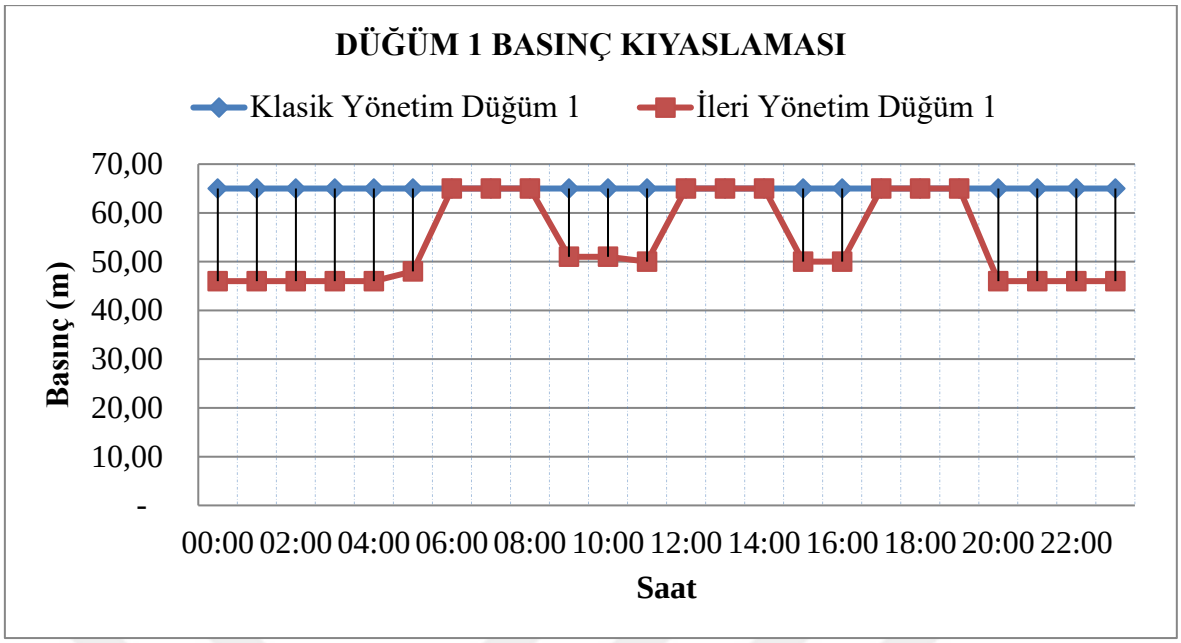
Alperovits ve Shamir şebekesinde klasik basınç yönetimi uygulamasında düğüm basınç değerlerinin gün içerisindeki standart sapması şekilde gösterilmiştir. İleri basınç yönetimi uygulandığında BKV bulunan düğüm hariç beş düğümün dört tanesinde standart sapma değeri azalmıştır.



Şekil 5.6: Düğüm Ortalama Basınç Kıyaslaması

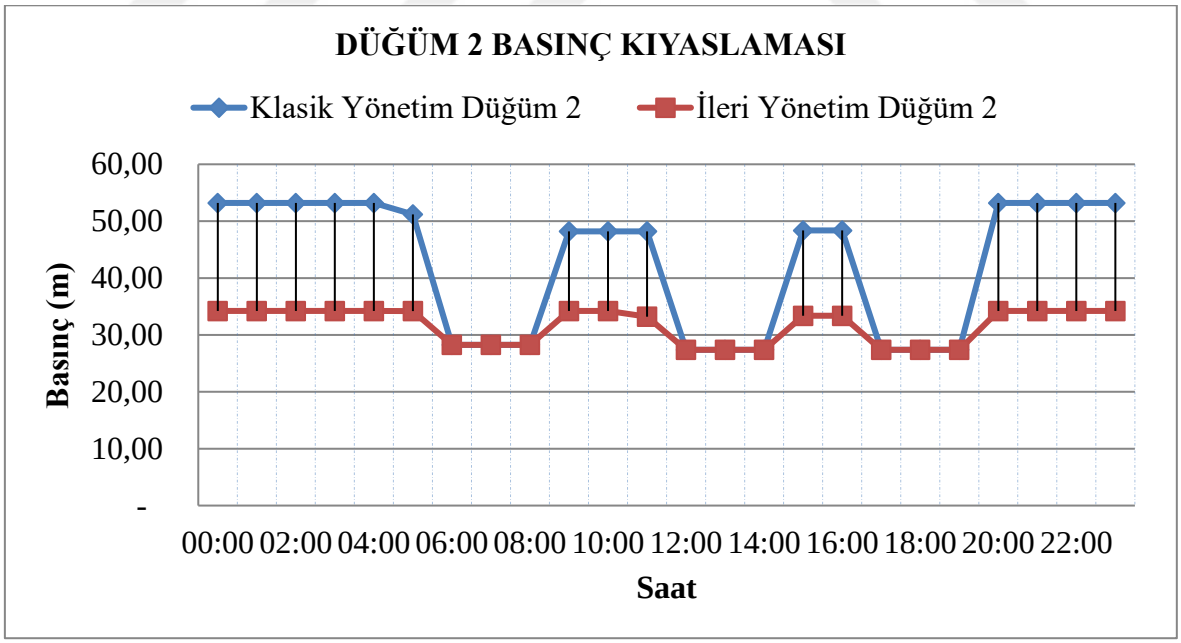
Çalışma kapsamında asıl amaç düğümlerde oluşan basınç dalgalanmalarını azaltmak olarak seçilmiş olsa da, şekilde çalışma sonucunda düğümlerde oluşacak günlük ortalama basınç değerlerinin düşürüldüğü gözlemlenmektedir.

İçme suyu talebi olan 6 düğüme ait basınç yönetimlerini kıyaslayan saatlik basınç grafikleri Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 da gösterilmiştir. Basınçlar kıyaslandığında bu şebeke karakteristiğine özel olarak basınçların ileri basınç yönetiminde azaldığı gözlemlenmiştir. Şebeke ve tüketim türüne bağlı olarak bu veri değişebilmektedir.



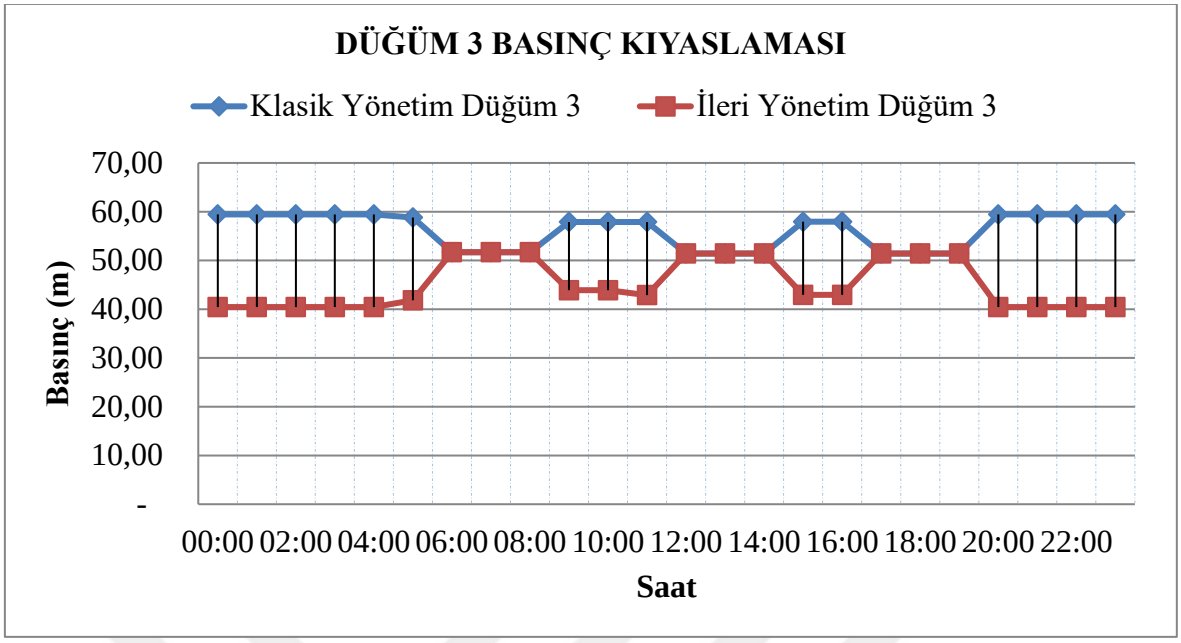
Şekil 5.7: Düğüm 1 Basınç Kıyaslaması

1 nolu düğümde BKV bulunması sebebiyle klasik yönetimde basınç değeri sabit olmakta, ileri yönetimde ise basınç değeri senaryoda ayarlanan BKV çıkış basıncı değeri ile aynı olmaktadır.



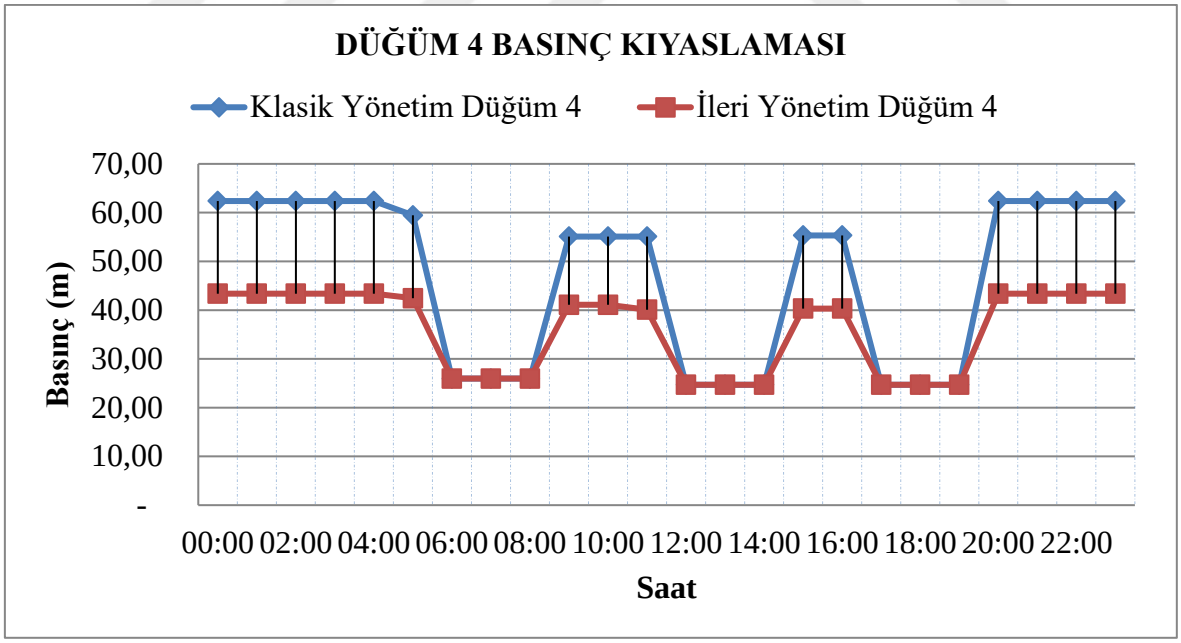
Şekil 5.8: Düğüm 2 Basınç Kıyaslaması

2 nolu düğümde ise basınç değeri, ileri basınç yönetimi sonrasında kullanımın az olduğu 0-6, 8-12, 14-16 ve 20-24 saatleri arasında düşürülmüştür.



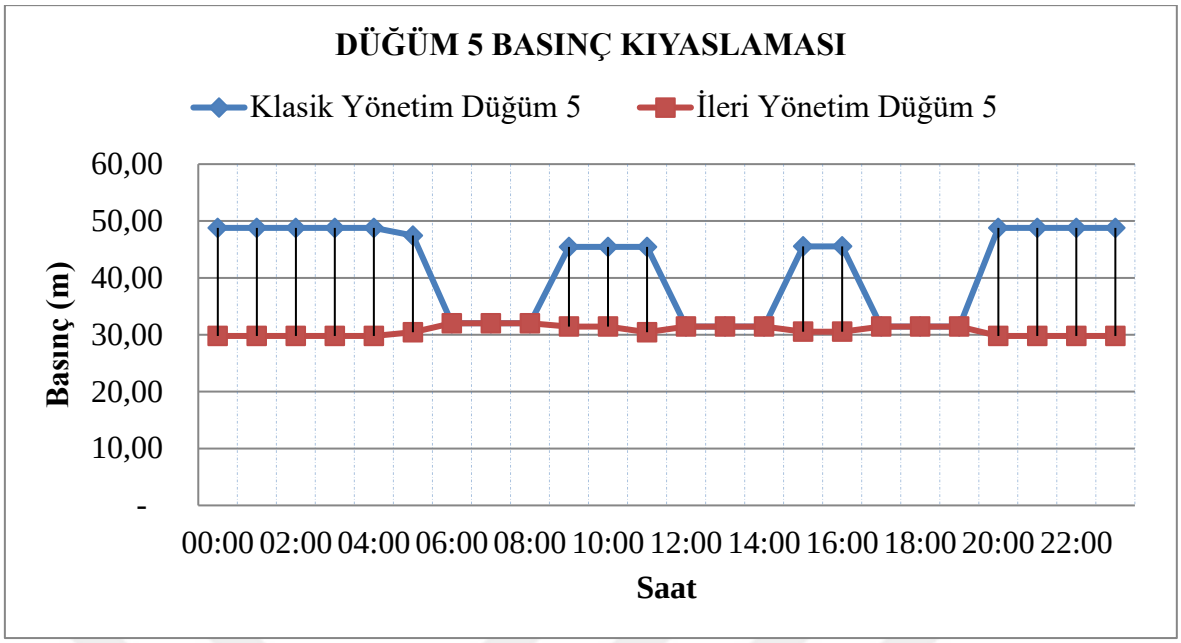
Şekil 5.9: Düğüm 3 Basınç Kıyaslaması

İleri basınç yönetimi uygulanması akabinde, 3 numaralı düğüme ait basınç değerinin 0-6, 8-12, 14-16 ve 20-24 saatleri arasında azaldığı gözlemlenmiştir.



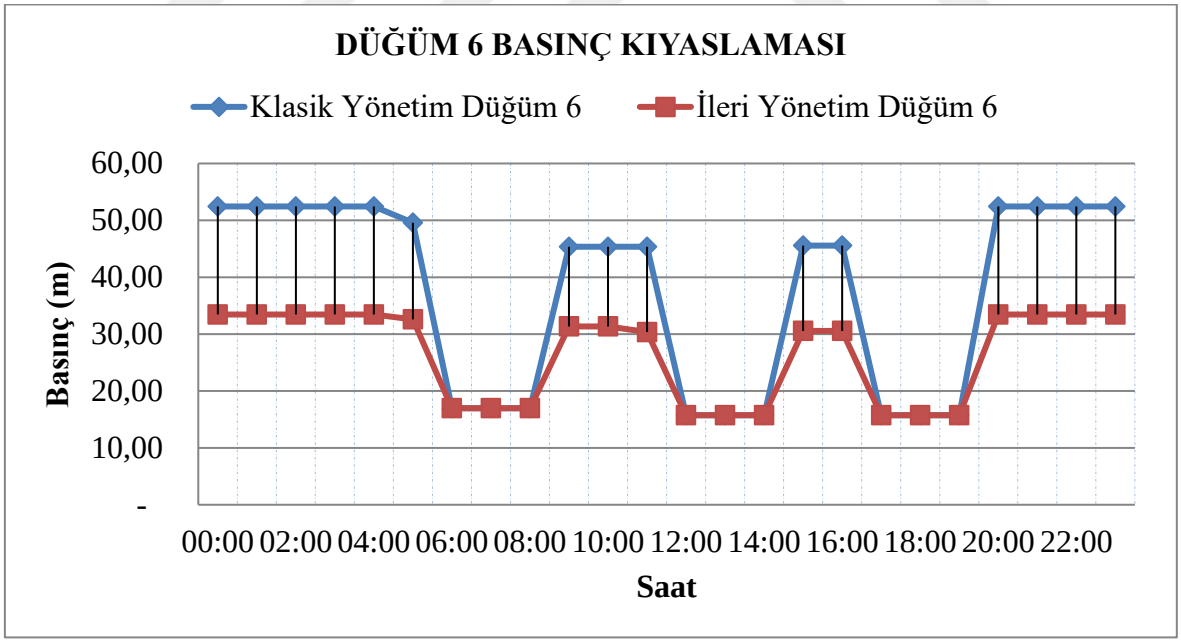
Şekil 5.10: Düğüm 4 Basınç Kıyaslaması

4 numaralı düğümde basınç değeri ileri basınç yönetimi ile 0-7, 9-11, 14-17, 19-24 saatleri arasında azalmıştır.



Şekil 5.11: Düğüm 5 Basınç Kıyaslaması

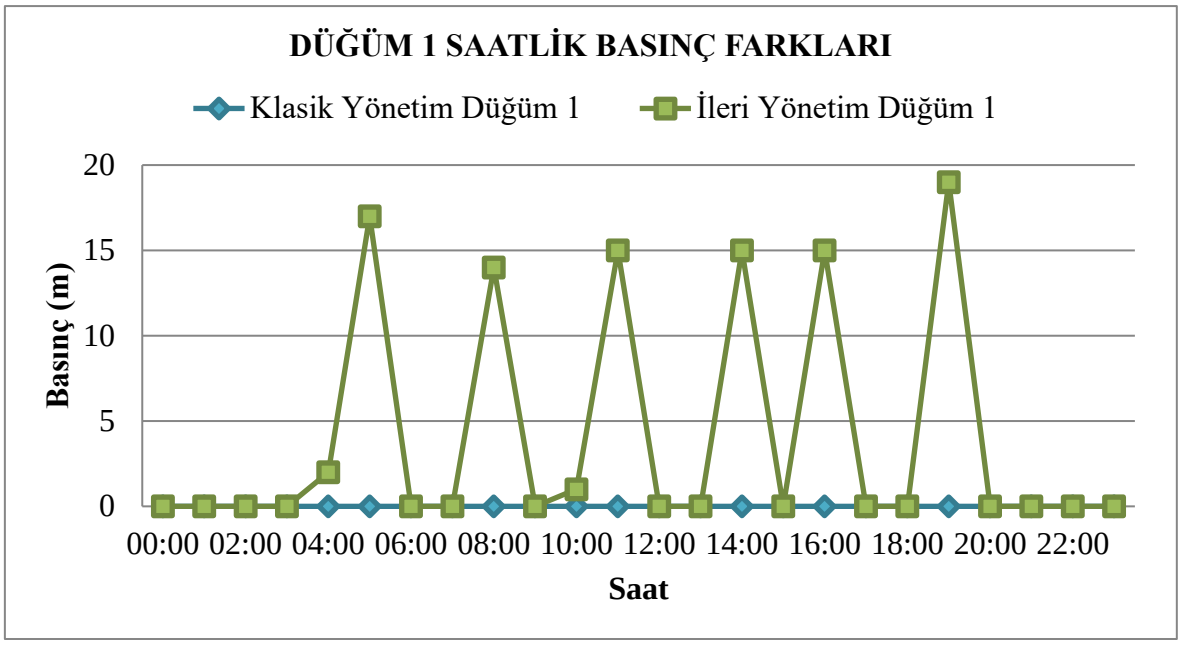
5 numaralı düğümde zaman ayarlı ileri basınç yönetimi senaryosu uygulandığında düğüm basıncı grafiğinin klasik yönetime göre daha az dalgalanmaya uğradığı ve dalgalanmanın maksimum 2 m seviyelerinde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.12: Düğüm 6 Basınç Kıyaslaması

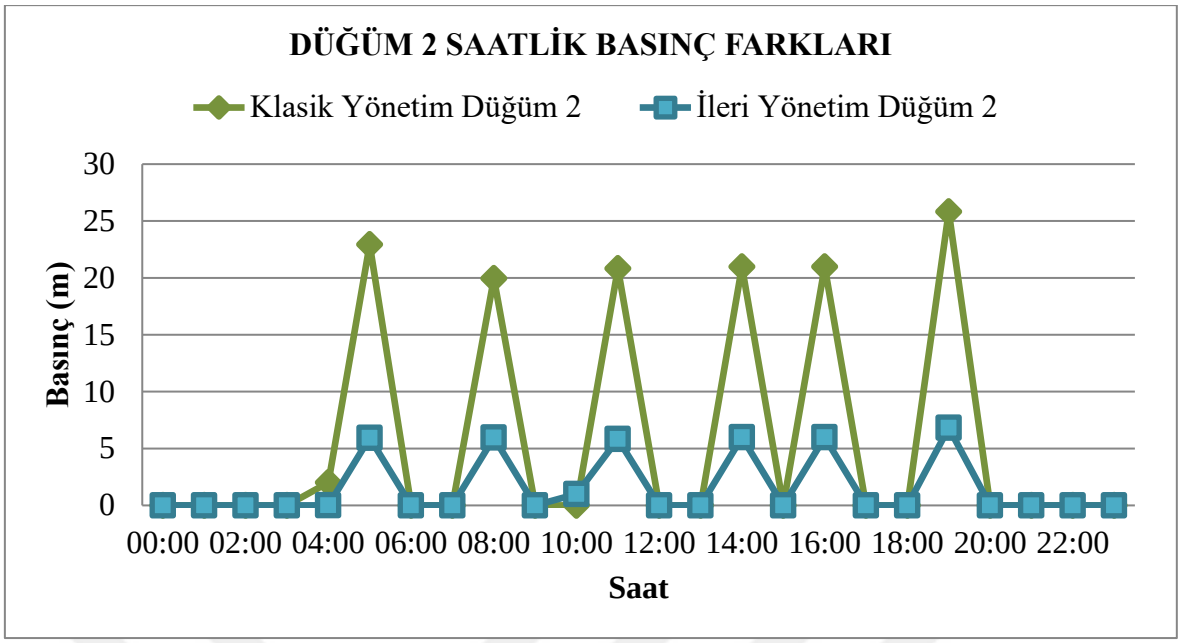
6 numaralı düğümde ileri basınç yönetimi ile basıncın 0-6, 7-13, 14-17, 19-24 saatleri arasında düşürüldüğü görülmektedir.

Uygulanan yöntemlere göre düğümlerin saatlik basınç farkı değerlerini gösteren grafikler aşağıda gösterilmektedir. İleri basınç yönetimi uygulandığında düğümlerde oluşan basınç değişimlerinin genellikle azaldığı gözlemlenmiştir. Düğüm noktasının konumuna ve karakteristiğine göre bu azalmanın oranı değişmektedir.



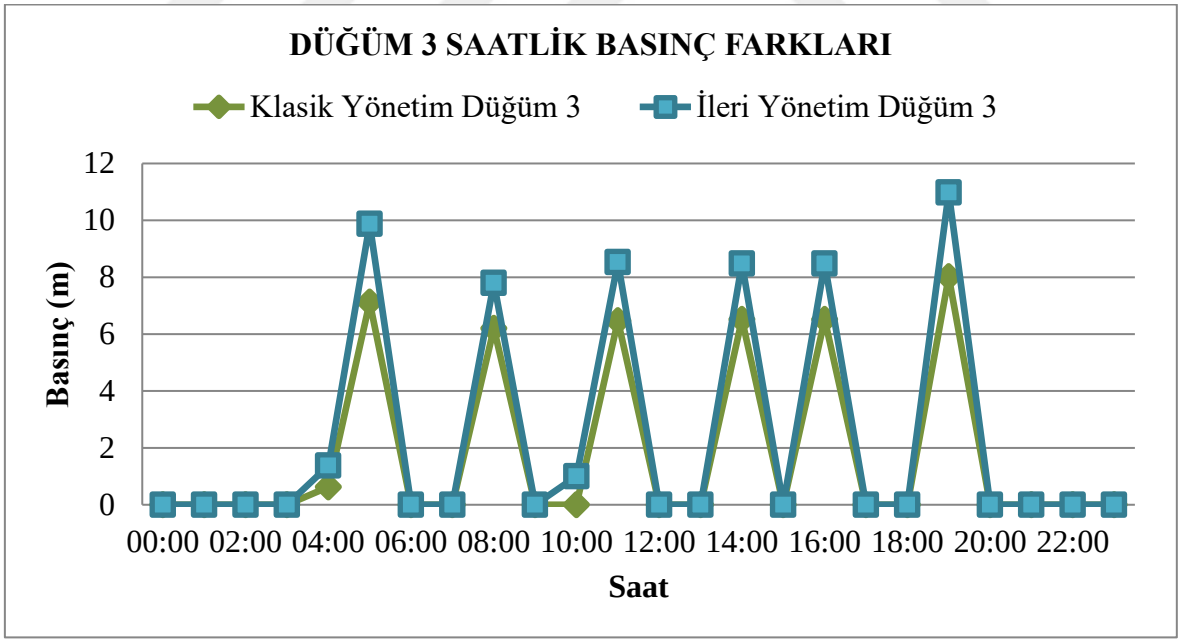
Şekil 5.13: Düğüm 1 Saatlik Basınç Farkları

1 numaralı düğüm BKV'nin bulunduğu nokta olduğundan bu noktada ileri basınç yönetimi uygulandığında farklı bir değişim oluşmaktadır. Bu düğümde kullanım olmadığından ve modelleme amaçlı konulduğundan bu değişim göz ardı edilebilir.



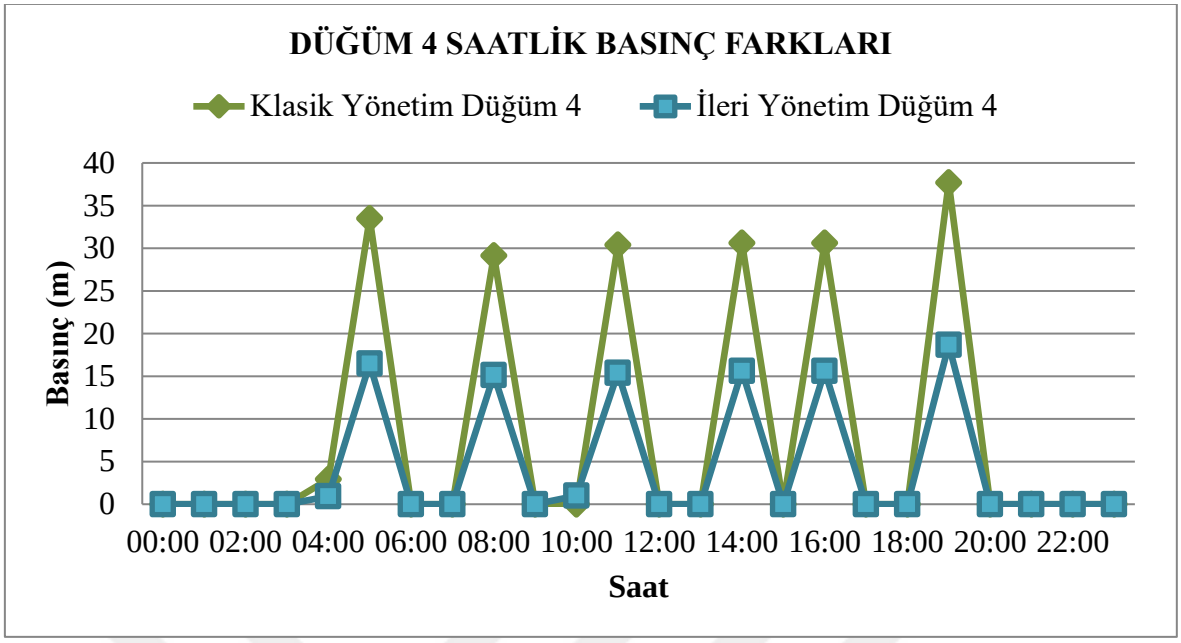
Şekil 5.14: Düğüm 2 Saatlik Basınç Farkları

2 numaralı düğümde tüketimin değiştiği saatlerde oluşan basınç dalgalanmasının 20-25 m seviyelerinden 5-6 m seviyelerine indirildiği görülmektedir. Dalgalanma kabul edilebilir çalışma için bir seviyede iken ileri basınç yönetimi ile daha da azaltılmıştır.



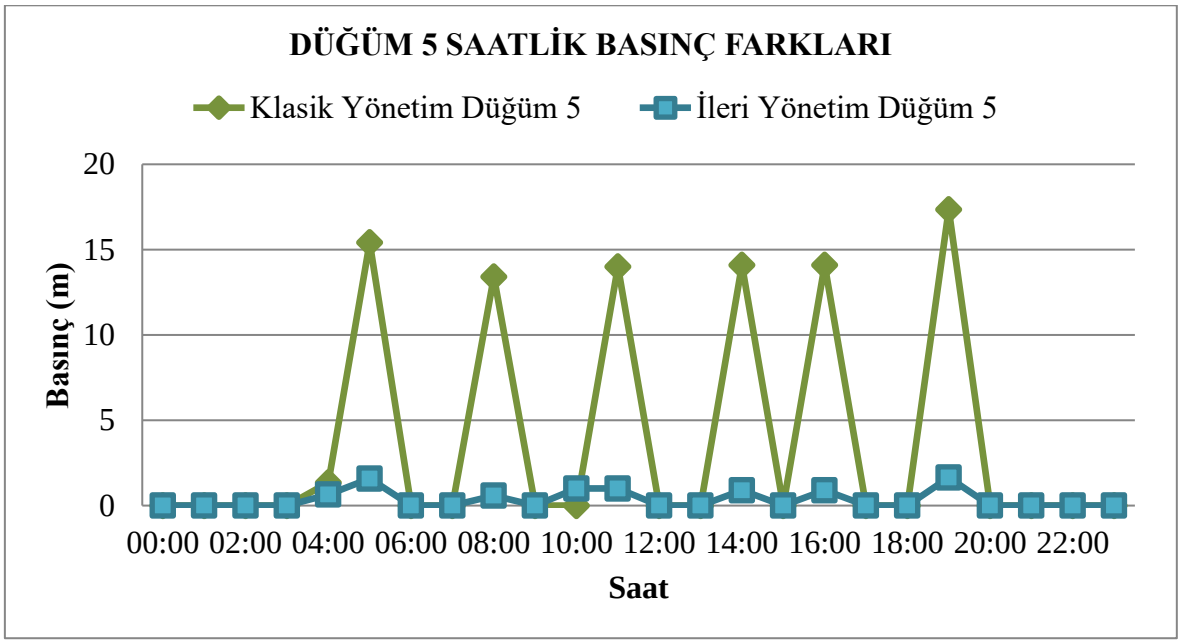
Şekil 5.15: Düğüm 3 Saatlik Basınç Farkları

Düğüm 3 te klasik yönetimde oluşan basınç dalgalanmasının düşük olması sebebiyle çok değişim olmamıştır. Ancak optimizasyon sonucunda dalgalanma bir nebze artmış ancak kabul edilebilir bir seviye içerisinde tutulmuştur.

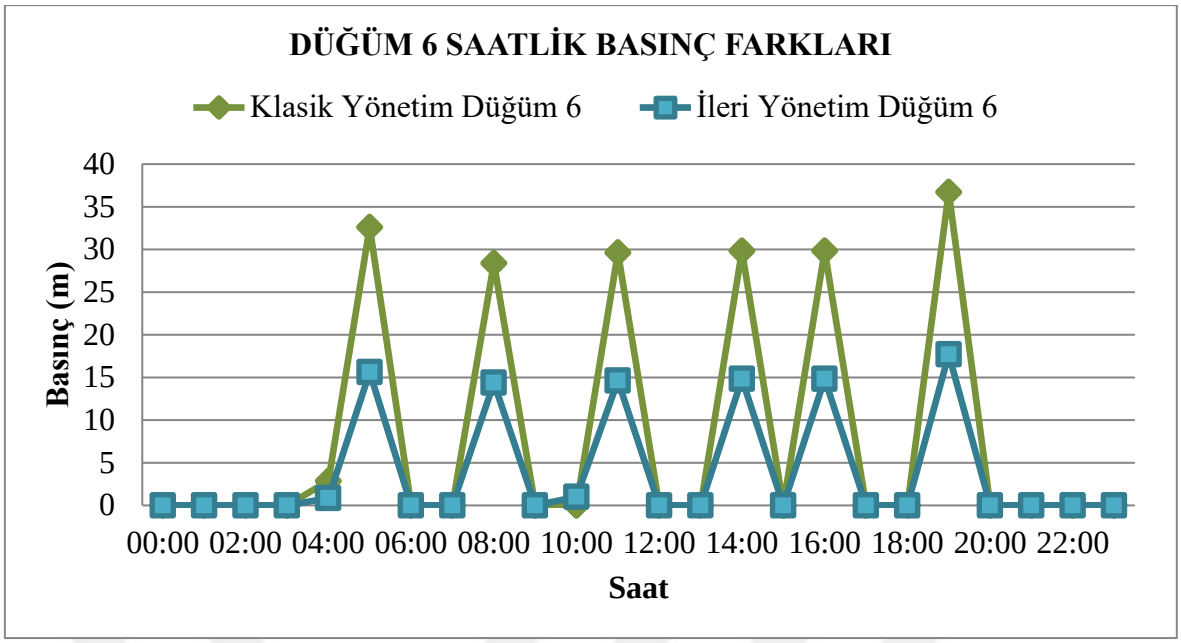


Şekil 5.16: Düğüm 4 Saatlik Basınç Farkları

4 numaralı düğümde 30-37 m arasında değişen dalgalanma 16-20 m seviyelerine indirilmiştir. Kabul edilebilir seviyenin çok üzerinde olan basınç dalgalanması ileri basınç yönetimi ile kabul edilebilir seviye olan 14 m seviyesine yaklaşmıştır.



Şekil 5.17: Düğüm 5 Saatlik Basınç Farkları



Şekil 5.18: Düğüm 6 Saatlik Basınç Farkları

5 numaralı düğümde 15-17 m arasında değişen dalgalanma 1-2 m seviyelerine indirilmiştir. 6 numaralı düğümde ise 27-37 m arasında değişen dalgalanma 14-18 m seviyelerine indirilmiştir.

Fossolo(Foss_Poly_1) Şebekesi ile yapılan ileri basınç yönetiminde kritik noktaya göre seçilebilecek minimum saatlik BKV çıkış basınçları Çizelge 5.4' te listelenmiştir.

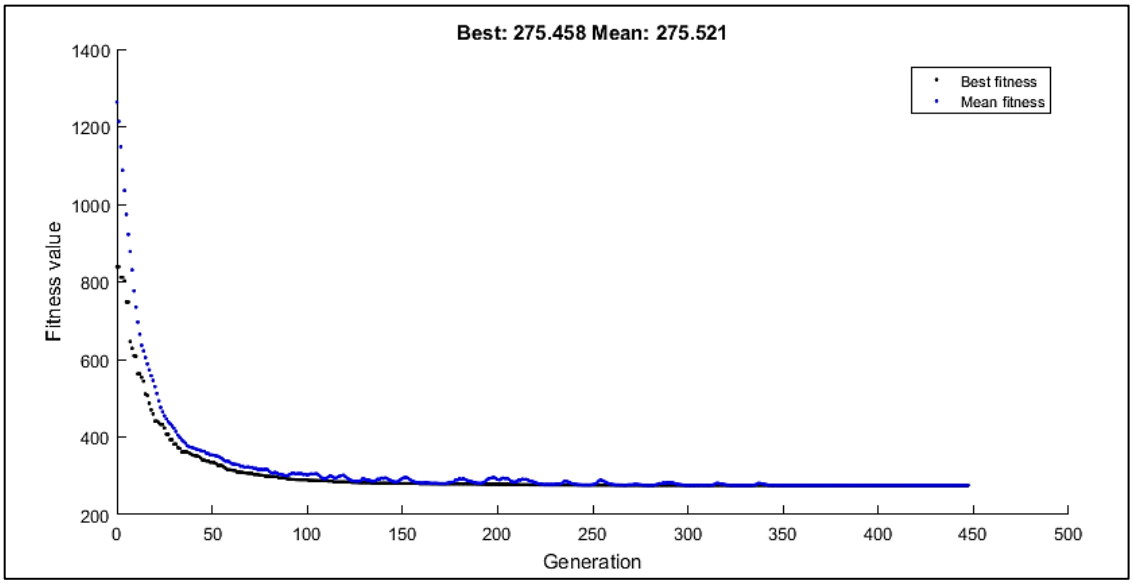
Çizelge 5.4: İleri Basınç Yönetimi Minimum BKV Basınçları

Saat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Basınç(m)	37	37	37	37	37	38	65	65	65	40	40	40
Saat	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Basınç(m)	65	65	65	40	40	40	65	65	40	38	37	37

Optimizasyonda kullanılan iterasyon sayılarına göre amaç fonksiyonunun değişimi Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5: İterasyon Sayısı ve Amaç Fonksiyonu Değeri

İterasyon Sayısı	Amaç Fonksiyonun Değeri (OF)
10	609.88
50	316.55
100	276.95
200	277.87
390	283.23



Şekil 5.19: İterasyon Sayısına Göre Amaç Fonksiyonu Değişimi

Şekil 5.19 da iterasyon sayısına göre amaç fonksiyonu değişimi görülmektedir. İterasyon sonucunda amaç fonksiyonu değeri 1300 seviyelerinden 275.458 değerine kadar düşmüştür. Ancak iterasyon sayısı arttırıldığında bir değerden sonra amaç fonksiyonu değerinin değişmediği ve belirli bir bölgede kaldığı anlaşılmıştır. Optimizasyon sonucunda oluşan ileri basınç yönetimi senaryosuna ait BKV çıkış basınçları Çizelge 5.6'da listelenmiştir.

Çizelge 5.6: İleri Basınç Yönetimi Senaryosu

Saat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Basınç(m)	52	52	52	52	52	53	63	63	63	54	54	54
Saat	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Basınç(m)	63	63	63	54	54	63	63	63	52	52	52	52

Giriş basınç değeri için oluşturulan senaryonun 52 m ile 63 m arasında olduğu anlaşılmıştır.

Fossolo şebekesinin düğüm basınç grafikleri, yönetim senaryolarına göre düğüm basınç kıyası ve düğüm basınç değişim değerlerinin grafikleri Ek-B de sunulmuştur. Çizelgelerde 26 düğüm noktası için klasik basınç yönetimi ve ileri basınç yönetimi sonrasındaki basınç değerleri verilmektedir. Fossolo şebekesinde düğümler arasındaki yükseklik farklarının az olması ve hidrolik kayıpların az olması sebebiyle basınç dalgalanma ortalaması 10.12 m'den 6.42 m'ye %27 oranında düşmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Su dağıtım sistemlerinde fiziksel su kayıpları(sızıntı) toplam su kayıplarının bazı durumlarda %60 ına kadar ulaşmaktadır (Muhammetoğlu & Muhammetoğlu, 2017). Toplam fiziksel kayıp hacmini etkileyen faktörlerden olan işletme basıncının yükselmesi yüksek sızıntı oranına sebep olur (Cinal, 2009). İşletme basıncının kontrol edilmesi amacıyla ilgili kurumlar ve araştırmacılar basınç yönetimi uygulamaları yapmaktadırlar. Basınç yönetimi klasik yönetim teknikleri ve ileri yönetim teknikleri olarak ayrılmaktadır (Bolbol, 2019).

Klasik basınç yönetim uygulamasında öncelikle şebekenin kritik noktası belirlenmektedir. Bu nokta topografik olarak en yüksek nokta veya giriş noktasına en uzak nokta olabilmektedir. Ardından tüketim debisinin en yüksek olduğu saatte kritik noktada minimum basınç değeri elde edilecek şekilde işletme basıncı minimize edilmektedir. Bu sayede basınç ile beraber sızıntılarında azaltılması planlanmaktadır. Ancak değişen tüketim talebine bağlı olarak tüketimin en aza indiği saatlerde basınç yükselmekte ve gün içerisinde işletme basıncında dalgalanmalar oluşmaktadır. Bu basınç dalgalanmaları süreklilik arz etmesi nedeniyle, şebekede kullanılan borular ve birleşim elemanları iç basınç kaynaklı bir gerilmeye maruz kalmaktadır. Bu gerilmelerin sonucunda malzemelerde yorulmaya bağlı olarak deformasyonlar oluşmaktadır. Şebeke elemanlarının kullanım ömrü belirli bir dalgalanma döngüsünün üzerine çıkamamaktadır. Tasarım kriterlerine ve malzeme tipine göre değişen döngü sayısını tamamlayan borularda ve ek parçalarda hasar meydana gelmektedir. Malzeme bilimciler tarafından 20 psi (psi = 1.4 m) basınç değerinden küçük basınç değişimleri, su dağıtım sistemlerinde yaygın görülmesi sebebiyle kabul edilebilir bulunmaktadır (Folkman & Parvez, 2020).

İleri basınç yönetimi tekniklerinin kullanıldığı uygulamalarda ise zamana veya debiye bağlı değişken şebekeler değişken basınçlarla işletilebilmektedir. Bu çalışmada optimizasyon algoritmaları kullanılarak içme suyu şebekelerinde en uygun basınç yönetimi senaryosunun oluşturulması üzerine çalışılma yapılmıştır. Bu sayede saatlik tüketim talebine bağlı olarak değişen debi kaynaklı basınç dalgalanmasının azaltılması ve malzeme ömrünün uzatılması amaçlanmaktadır. Çalışmada klasik basınç yönetimi ve ileri basınç yönetimi ile işletilen, referans şebekelerde oluşan basınç dalgalanmaları kıyaslanmıştır. Çalışma için referans şebeke olarak Alperovits-Shamir Şebekesi ve Fossolo(Foss_Poly_1) Şebekesi seçilmiştir.

Referans şebeke verileri öncelikle EPANET hidrolik modelleme programında modellenmiş ve EPANET-MATLAB Toolkit yardımı ile MATLAB yazılım programına aktarılmıştır. Çalışma için şebekeler modifiye edilerek bölgelerin girişine basınç kırıcı vanalar yerleştirilmiştir.

Ardından şebekelerin klasik basınç yönetimi ile yönetimi planlanmıştır. Kritik noktalar göz önünde bulundurularak şebekelerin girişlerinde bulunan BKV'lerde ayarlanacak minimum işletme basınçları elde edilmiştir. Bu basınç değerine göre her düğüm için 24 saatlik basınç hesaplamaları yapılmıştır. Sonraki aşamada ise tüketim talebine göre değişen debiler için zamana bağlı bir senaryo oluşturulması ve ileri basınç yönetimi uygulanması planlanmıştır.

İleri basınç yönetimi uygulamasında gün içerisindeki saatlik tüketim debisi göz önüne alınmıştır. Saatlik tüketim debisinin değişmesi kaynaklı oluşan basınç dalgalanmasının azaltılması amaçlanmıştır. Yöntem olaraksa optimizasyon algoritmalarının kullanılması düşünülmüş ve MATLAB Optimization Toolbox kullanılarak, Genetik Algoritma ile şebeke girişindeki BKV basınç değeri optimize edilmiştir. Optimizasyon probleminin kısıtlayıcısı olarak işletme basıncı 20 m ve 65 m arasında seçilmiştir. Amaç fonksiyonu olaraksa saatlik basınç dalgalanmalarının minimize edileceği bir matematiksel formül türetilmiştir. Algoritma çıktı olarak 24 sütun ve 1 satırdan oluşan bir matris sunmuştur. Bu matris elemanlarından her biri önerilen saatteki ayarlanması gereken BKV basınç değerini vermektedir.

Yapılan optimizasyon sonucunda ilk referans şebeke olan ve 6 düğümden oluşan modifiye Alperovits-Shamir şebekesinin 4 düğümünde basınç dalgalanmaları azaltılmıştır. Bir düğüm ise BKV' nin konulduğu düğümdür ve göz ardı edilebilmektedir. Basınç dalgalanmalarına ait ortalama klasik basınç yönetiminde 18.56 m iken, ileri basınç yönetimi ile 8.41 m'ye düşürülmüştür. Bu %55 oranında bir azalmaya denk gelmektedir. Ayrıca şebekenin ortalama basıncı klasik yönetimde 48.2 m, ileri yönetimde 37.3 m olarak hesaplanmıştır.

İkinci referans şebeke olan 36 düğümden oluşan Modifiye edilmiş Fossolo şebekesinde basınç dalgalanmaları 34 düğümde ileri yönetim ile azaltılmıştır. Bir düğüm ise BKV' nin konulduğu düğümdür ve göz ardı edilebilmektedir. Basınç dalgalanma ortalaması 10.12 m'den 6.42 m'ye %37 oranında düşmüştür. Ortalama işletme basınçları ise 50.12 m'den 48.17 m'ye %4 oranında düşürülmüştür.

Sonuç olarak Alperovits-Shamir şebekesinin ortalama basınç dalgalanması malzeme bilimciler için kabul edilen 14 m basıncın altına kabul edilebilir seviyeye indirilmiş ve ortalama işletme basıncıda düşürülmüştür. Ancak Fossolo şebekesi için yapılan çalışmada şebekenin basınç dalgalanması değerlerinin kabul edilebilir olduğu ve söz konusu çalışma için fayda-maliyet analizi yapılması gerekmektedir.

Yapılan çalışmanın tüm şebekelerde farklı oranlarda fayda sağlayacağı düşünülmekte ve uygulanacak şebekenin karakteristiği ile topoğrafyasına göre uygunluğu değişmektedir. Çalışmanın şebeke düğüm noktaları arasındaki yükseklik farklarının fazla olduğu, gün içerisindeki ihtiyaç debisinde oluşan dalgalanmaların fazla olduğu şebekelerde daha iyi çalışacağı düşünülmektedir. Günlük debi dalgalanmalarının az olduğu veya hidrolik kayıpların az olduğu sistemlerde çalışmanın olumlu sonuç vereceği ancak performansının düşük olacağı öngörülmektedir.

Gelecek çalışmalarda uygulama yapılmadan önce şebeke topoğrafyası ve debi dalgalanmaları incelenmeli, çalışmanın fayda-maliyet analizi yapılarak çıktılarının göz önünde bulundurulması önerilmektedir. Ayrıca debi duyarlı ve zaman ayarlı kontrolün yanı sıra kapalı devre basınç kontrolü çalışması yapılarak performansının değerlendirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Abebe, A., & Solomatine, D. (2000). Application of global optimization to the design of pipe networks. *Application of global optimization to the design of pipe networks*. https://www.semanticscholar.org/paper/Application-of-global-optimization-to-the-design-of-Abebe-Solomatine/88cb2e34fb8b50e23578bb078c4b77124262dda1

Afshar, M. (2009). Applıcatıon of a compact genetıc algorıthm to pıpe network optımızatıon problems. *Scientia Iranica*. https://www.semanticscholar.org/paper/APPLICATION-OF-A-COMPACT-GENETIC-ALGORITHM-TO-PIPE-Afshar/fa28d292eae647dc77dec708b3643eb1251f6a1c

Afshar, M. H., & Marino, M. A. (2006). A Convergent Genetic Algorithm for Pipe Network Optimization. *Scientia Iranica, 12 (4)*, 392-401.

Alhamad, A. (2021). *Optimization of Water Distribution System within Tented Camps* [Yüksek Lisans Tezi]. Gaziantep Üniversitesi.

Alperovits, E., & Shamir, U. (1977). Design of optimal water distribution systems. *Water Resources Research*, *13*(6), 885-900. https://doi.org/10.1029/WR013i006p00885

Araujo, L. S., Ramos, H., & Coelho, S. T. (2006). Pressure Control for Leakage Minimisation in Water Distribution Systems Management. *Water Resources Management*, *20*(1), 133-149. https://doi.org/10.1007/s11269-006-4635-3

Arduçoğlu, T. İ., Boztaş, F., & Fırat, M. (2023). *The Effect of Pressure Surges Due to Variable Consumption Water Networks on System Operation*. 8th International Conference on Natural and Engineering Sciences.

Aslan, B. (2016). İçmesuyu Temin Ve Dağıtım Sistemlerinde Su Kayıp Ve Kaçaklarının Tespiti [Uzmanlık Tezi]. İller Bankası Anonim Şirketi.

AWWA. (2001). *Rehabilitation of Water Mains. Manual of Water Supply Practices M28*. AWWA.

AWWA. (2007). *AWWA C900-07 Polyvinyl Chloride (PVC) Pressure Pipe and Fabricated Fittings, 4 In. Through 12 In. (100 mm Through 300 mm), for*

Water Transmission and Distribution. https://engage.awwa.org/PersonifyEbusiness/Bookstore/Product-Details/productId/18943

Aydın, D. (2008). *İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Cbs Tabanlı Su Kalitesi Yönetimi* [Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. http://hdl.handle.net/11527/8676

Ayvaz, M. T., & Karahan, H. (2007). *Su Dağıtım Şebekelerinin Armoni Araştırması Optimizasyon Tekniği İle Optimum Tasarımı*. 5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, Hatay.

Baek, C. W., Jun, H. D., & Kim, J. H. (2010). Development of a PDA model for water distribution systems using harmony search algorithm. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *14*(4), 613-625. https://doi.org/10.1007/s12205-010-0613-7

Batmaz, V. (2021). *Su dağıtım şebekelerinin metasezgisel yöntemlerle optimizasyonu* [Yüksek Lisans Tezi]. Dicle Üniversitesi.

Bi, W., Dandy, G. C., & Maier, H. R. (2015). Improved genetic algorithm optimization of water distribution system design by incorporating domain knowledge. *Environmental Modelling & Software*, *69*, 370-381. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.09.010

Bolbol, M. S. M. (2019). *İçme suyu dağıtım şebekelerinde ileri basınç yönetimi ile su kayıplarının azaltılmasına yönelik modelleme çalışması: Antalya-Kaleiçi bölgesi uygulaması* [Yüksek Lisans Tezi]. Akdeniz Üniversitesi.

Bosco, C., Campisano, A., Modica, C., & Pezzinga, G. (2020). Application of Rehabilitation and Active Pressure Control Strategies for Leakage Reduction in a Case-Study Network. *Water*, *12*(8), Article 8. https://doi.org/10.3390/w12082215

Botella Langa, A., Choi, Y.-G., Kim, K.-S., & Jang, D.-W. (2022). Application of the Harmony Search Algorithm for Optimization of WDN and Assessment of Pipe Deterioration. *Applied Sciences*, *12*(7), Article 7. https://doi.org/10.3390/app12073550

Boztaş, F. (2023). *İçmesuyu Şebekelerinde Sezgisel Ve İstatistiksel Yöntemlerle Sızıntı Tespit Modelinin Oluşturulması* [Doktora Tezi]. İnönü Üniversitesi.

Bragalli, C., D'Ambrosio, C., Lee, J., Lodi, A., & Toth, P. (2006). An MINLP Solution Method for a Water Network Problem. Içinde Y. Azar & T. Erlebach (Ed.), *Algorithms – ESA 2006* (ss. 696-707). Springer. https://doi.org/10.1007/11841036_62

Bragalli, C., D'Ambrosio, C., Lee, J., Lodi, A., & Toth, P. (2008). *IBM Research Report: Water Network Design by MINLP*. IBM. https://dominoweb.draco.res.ibm.com/ef1b90113cc7b03a852573fc00529261.html

Chandramouli, S. (2015). Reliability based optimal design of a municipal water supply pipe network. *Urban Water Journal*, *12*(5), 353-361. https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.993997

Chandramouli, S. (2019). MATLAB Code for Linking Genetic Algorithm and EPANET for Reliability Based Optimal Design of a Water Distribution Network. Içinde M. Rathinasamy, S. Chandramouli, K. B. V. N. Phanindra, & U. Mahesh (Ed.), *Water Resources and Environmental Engineering I* (ss. 183-194). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2044-6_16

Charalambous, B. (2007). Effective pressure management of district metered areas. *Water Loss Conference*.

Cinal, H. (2009). *Basınç yönetimi ile içme suyu şebeke kayıplarının azaltılması Sakarya örneği* [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi.

Cunha, M. da C., & Sousa, J. (1999). Water Distribution Network Design Optimization: Simulated Annealing Approach. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *125*(4), 215-221. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1999)125:4(215)

Çelik, Y. (2013). *Optimizasyon problemlerinde bal arıları evlilik optımızasyonu algoritmasının (marriage in honey bee optimization-MBO) performansının geliştirilmesi* [Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. http://acikerisim.selcuk.edu.tr:8080/xmlui//handle/123456789/1274

Çelik, Y., Yıldız, İ., & Karadeniz, A. T. (2019). Son Üç Yılda Geliştirilen Metasezgisel Algoritmalar Hakkında Kısa Bir İnceleme. *European Journal of Science and Technology*, 463-477. https://doi.org/10.31590/ejosat.638431

Dai, P. D. (2023). A Real Time Optimization Based Sequential Convex Program for Pressure Management in Water Distribution Systems. *Water Resources Management*, *37*(12), 4751-4768. https://doi.org/10.1007/s11269-023-03576-z

D'Ambrosio, C., Lodi, A., Wiese, S., & Bragalli, C. (2015). Mathematical programming techniques in water network optimization. *European Journal of Operational Research*, *243*(3), 774-788. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.12.039

De Corte, A., & Sörensen, K. (2015). *A lean optimization algorithm for water distribution network design optimization*. https://repository.uantwerpen.be/docman/irua/f26d1c/128994.pdf

Demir, R. (2022). *Eruh Su Dağitim Şebekesinin Metasezgisel Yöntemlerle Optimizasyonu* [Yüksek Lisans Tezi]. Dicle Üniversitesi.

Deyi, M., Van Zyl, J., & Shepherd, M. (2014). Applying the FAVAD Concept and Leakage Number to Real Networks: A Case Study in Kwadabeka, South Africa. *Procedia Engineering*, *89*, 1537-1544. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.450

Doğan, C. (2019). *Balina optimizasyon algoritması ve gri kurt optimizasyonu algoritmaları kullanılarak yeni hibrit optimizasyon algoritmalarının geliştirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Erciyes Üniversitesi.

Dundović, I., & Tadić, L. (2022). A Field Experiment Verification of Theoretical Exponent N1 for FAVAD Method in Defining the Relationship of Pressure and Water Losses. *Water*, *14*(13), Article 13. https://doi.org/10.3390/w14132067

Durmuşçelebi, F. M. (2018). *Su kayıplarının azaltılması için içme suyu dağıtım sistemlerinin rehabilitasyonu ve fayda-maliyet analizi* [masterThesis, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. http://abakus.inonu.edu.tr/xmlui/handle/11616/14817

Efiloğlu, G. (2023). *İÇME SUYU ALT YAPI İMALATLARININ HİDROLİK MODELLER İLE OPTİMİZE EDİLMESİ: SULTANBEYLİ ÖRNEĞİ* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Gelişim Üniversitesi.

Ekinci, B. (2015). *SU KAYNAKLARININ VERİMLİ KULLANILMASINA YÖNELİK ÖRNEK ÜLKE UYGULAMALARI VE ÜLKEMİZDE BU ÇALIŞMALARIN UYGULANABİLİRLİĞİ* [Uzmanlık Tezi].

Eliades, D. G., Kyriakou, M., Vrachimis, S., & Polycarpou, M. M. (2016). *EPANET-MATLAB Toolkit: An Open-Source Software for Interfacing EPANET with MATLAB*. 8. https://doi.org/10.5281/zenodo.437751

Emel, G. G., & Taşkin, Ç. (2002). Genetik Algoritmalar Ve Uygulama Alanları. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *XXI*(1), 129-152.

EPANET (2.2). (2020). [En]. U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/water-research/epanet

Eusuff, M. M., & Lansey, K. E. (2003). Optimization of Water Distribution Network Design Using the Shuffled Frog Leaping Algorithm. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *129*(3), 210-225. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2003)129:3(210)

Ezzeldin, R., Djebedjian, B., & Saafan, T. (2014). Integer Discrete Particle Swarm Optimization of Water Distribution Networks. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, *5*(1), 04013013. https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000154

Fanner, V., Thornton, J., Liemberg, R., & Sturm, R. (2007). *Evaluating Water Loss and Planning Loss Reduction Strategies*. AWWA Research Foundation.

Farley, M., & Liemberger, R. (2005). Developing a non-revenue water reduction strategy: Planning and implementing the strategy. *Water Supply*, *5*(1), 41-50. https://doi.org/10.2166/ws.2005.0006

Farley, M., World Health Organization. Water, S. and H. T., & Council, W. S. and S. C. (2001). *Leakage management and control: A best practice training manual* (WHO/SDE/WSH/01.1). World Health Organization. https://apps.who.int/iris/handle/10665/66893

Farley, M., Wyeth, G., Bin Md. Ghazali, Z., İstandar, A., & Singh, S. (2008). *The Manager's Non-Revenue Water Handbook ,A Guide to Understanding Water Losses*. SAGE Publications.

Folkman, S., & Parvez, J. (2020). PVC Pipe Cyclic Design Method. *Pipelines 2020*, 304-315. https://doi.org/10.1061/9780784483213.034

Fontana, N., Giugni, M., Glielmo, L., Marini, G., & Verrilli, F. (2017). A lab prototype of pressure control in water distribution networks. *IFAC-PapersOnLine*, *50*(1), 15373-15378. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1859

Fujiwara, O., Jenchaimahakoon, B., & Edirishinghe, N. C. P. (1987). A modified linear programming gradient method for optimal design of looped water distribution networks. *Water Resources Research*, *23*(6), 977-982. https://doi.org/10.1029/WR023i006p00977

Geem, Z. W. (2009). Particle-swarm harmony search for water network design. *Engineering Optimization*, *41*(4), 297-311. https://doi.org/10.1080/03052150802449227

Gençoğlu, G., & Merzi, N. (2017). Minimizing Excess Pressures by Optimal Valve Location and Opening Determination in Water Distribution Networks. *Procedia Engineering*, *186*, 319-326. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.254

Girard, M., & Stewart, R. A. (2007). Implementation of Pressure and Leakage Management Strategies on the Gold Coast, Australia: Case Study. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *133*(3), 210-217. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2007)133:3(210)

Goulter, I. C., & Coals, A. V. (1986). Quantitative Approaches to Reliability Assessment in Pipe Networks. *Journal of Transportation Engineering*, *112*(3), 287-301. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1986)112:3(287)

Gross, M., Pfetsch, M. E., Schewe, L., Schmidt, M., & Skutella, M. (2019). Algorithmic results for potential-based flows: Easy and hard cases. *Networks*, *73*(3), 306-324. https://doi.org/10.1002/net.21865

Hafsi, Z., Elaoud, S., Mishra, M., & Akrout, M. (2018). Independent Loops Selection in a Hydraulic Looped Network. Içinde M. Haddar, F. Chaari, A. Benamara, M. Chouchane, C. Karra, & N. Aifaoui (Ed.), *Design and Modeling of Mechanical Systems—III* (ss. 235-246). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66697-6_24

Hama, B. H. (2018). *Optimal Design of Water Distribution Network System by Genetic Algorithm in EPANET-MATLAB Toolkit* [Master's Thesis]. Eastern Mediterranean University.

Hayelom, A., & Ostfeld, A. (2022). Network Subsystems for Robust Design Optimization of Water Distribution Systems. *Water*, *14*(15), Article 15. https://doi.org/10.3390/w14152443

Holland, J. H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence* (ss. viii, 183). U Michigan Press.

Hülagühanoğlu, N. (2023). *İçme Suyu Şebekelerinde Kayıp Ve Kaçakların Zft Algoritması İle Belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Dicle Üniversitesi.

IWA. (2007). *District Metered Areas Guidance Notes*.

IWSA. (1991). *18th International Water Supply Conference and Exhibition*.

İLBANK. (2013). *İçmesuyu Tesisleri Etüt, Fizibilite Ve Projelerinin Hazirlanmasina Ait Teknik Şartname*.

Johns, M., Walker, D., Keedwell, E., & Savic, D. (2018). *Interactive Visualisation of Water Distribution Network Optimisation*. 995-985. https://doi.org/10.29007/x55c

Kabaasha, A. M., van Zyl, J. E., & Piller, O. (2016). Modelling Pressure: Leakage Response in Water Distribution Systems Considering Leak Area Variation. *14th CCWI international conference, Computing and Control in Water Industry*, 7 p. https://hal.science/hal-01549955

Kahraman. (2010). *Klasik Ve Zeki Optimizasyon Teknikleri İle Problemlerin Çözümlenmesi Ve Karşılaştırılması* [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi.

Kahraman, M., & Özdağlar, D. (2004). Su Dağıtım Sistemlerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu. *DEÜ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ FEN VE MÜHENDİSLİK DERGİSİ*, *6*(3), 1-18.

Kalkan, R. (2017). *Optimum design and operation ofirrigation systems* [Yüksek Lisans Tezi]. University of Exeter.

Kara, S. (2011). *İçmesuyu dağıtım şebekelerinde basınç yönetimi ve hidrolik modellemenin entegre edilerek su kayıplarının incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Akdeniz Üniversitesi.

Karaca, Z. (2009). *İçmesuyu Şebeke Sistemlerinde Su Kayıp ve Kaçakların Tespiti* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.

Karakuş, B. (2021). *Seyhan ilçesi meskûn mahallerde su kayıplarının azaltılması için hidrolik modelleme çalışması* [Yüksek Lisans Tezi]. Çukurova Üniversitesi.

Karaş, İ. R. (2023). *GEREDE KENTİ İÇME SUYU ŞEBEKESİNDEKİ FİZİKİ SU KAYIPLARININ ARAŞTIRILMASI* [Yüksek Lisans Tezi]. Karabük Üniversitesi.

Keedwell, E., & Khu, S.-T. (2005). A hybrid genetic algorithm for the design of water distribution networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *18*(4), 461-472. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2004.10.001

Kessler, A., & Shamir, U. (1989). Analysis of the linear programming gradient method for optimal design of water supply networks. *Water Resources Research*, *25*(7), 1469-1480. https://doi.org/10.1029/WR025i007p01469

Kıran, S. (2018). *Mevcut İçme Suyu Dağıtım Şebekesinin Hidrolik Model Yardımıyla Yönetimi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Koç, A. C., Karahan, H., & Ceylan, H. (2003, Eylül 22). *Su Dağıtım Şebekelerinin Genetik Algoritma İle Tasarımı*. 1. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, İzmir.

Koşucu, M. M. (2022). *Su dağıtım şebekelerinde en uygun basınç yönetimi metodunun belirlenmesi* [Doktora Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Lambert, A., Fantozzi, M., & Shepherd, M. (2017). *CCWi2017: F100 "Pressure: Leak Flow Rates Using FAVAD: An Improved Fast-Track Practitioner's Approach"*. https://doi.org/10.15131/shef.data.5365078.v1

Lambert, A., & Taylor, R. (2010). *Water Loss Guıdelınes*. Water New Zealand.

Letting, L. K., Hamam, Y., & Abu-Mahfouz, A. M. (2017). Estimation of Water Demand in Water Distribution Systems Using Particle Swarm Optimization. *Water*, *9*(8), Article 8. https://doi.org/10.3390/w9080593

Liemberger, R. (2002, Ocak 1). *Do You Know How Misleading the Use of Wrong Performance Indicators can be?* IWA Managing Leakage Conference, Cyprus.

Liemberger, R. (2010). Recommendations for Initial Non-Revenue Water Assessment. *IWA Water Loss 2010*.

Lin, J., Sedigh, S., & Miller, A. (2009). Towards Integrated Simulation of Cyber-Physical Systems: A Case Study on Intelligent Water Distribution. *2009 Eighth IEEE International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing*, 690-695. https://doi.org/10.1109/DASC.2009.140

Liong, S., & Atiquzzaman, M. (2004). *Optımal Desıgn Of Water Dıstrıbutıon Network Usıng Shuffled Complex Evolutıon*. https://www.semanticscholar.org/paper/OPTIMAL-DESIGN-OF-WATER-DISTRIBUTION-NETWORK-USING-Liong-Atiquzzaman/edc26f277116077a56f495ba8fcdeb872dc5b046

Liu, H., Savić, D. A., Kapelan, Z., Creaco, E., & Yuan, Y. (2017). Reliability Surrogate Measures for Water Distribution System Design: Comparative Analysis. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *143*(2), 04016072. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000728

Lodi, A. (2010). Mixed Integer Programming Computation. Içinde M. Jünger, T. M. Liebling, D. Naddef, G. L. Nemhauser, W. R. Pulleyblank, G. Reinelt, G. Rinaldi, & L. A. Wolsey (Ed.), *50 Years of Integer Programming 1958-2008: From the Early Years to the State-of-the-Art* (ss. 619-645). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68279-0_16

Mahmoud, H. A., Johns, M., Keedwell, E., & Savic, D. (2019, Eylül 4). *Generalising human heuristics in augmented evolutionary water distribution network design optimisation*. https://ore.exeter.ac.uk/repository/handle/10871/39971

Malekpour, A., Karney, B., St. Aubin, R., Martino, P., & Gill, L. (2015). Exploring the Sensitivity of Fatigue Analysis with Regard to Design Parameters in PVC Pipes Subjected to Cyclic Transient Pressures. *Procedia Engineering*, *119*, 174-181. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.872

Marshall, G. P., Brogden, S., & Shepherd, M. (1998). Evaluation of surge and fatigue resistance of poly(vinyl chloride) and polyethylene pipeline materials for use in

the UK water industry. *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*. https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluation-of-surge-and-fatigue-resistance-of-and-Marshall-Brogden/285fa8ea43a6bb8689c15f9052e44f36162f2d08

Marunga, A., Hoko, Z., & Kaseke, E. (2006). Pressure management as a leakage reduction and water demand management tool: The case of the City of Mutare, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, *31*(15-16), 763-770. https://doi.org/10.1016/j.pce.2006.08.032

Marzola, I., Alvisi, S., & Franchini, M. (2021). Analysis of MNF and FAVAD Model for Leakage Characterization by Exploiting Smart-Metered Data: The Case of the Gorino Ferrarese (FE-Italy) District. *Water*, *13*(5), Article 5. https://doi.org/10.3390/w13050643

May, J. (1994). Pressure Dependent Leakage. *World Water & Environmental Engineering*.

McKenzie, R. S., Mostert, H., & De, J. T. (2004). Leakage reduction through pressure management in Khayelitsha: Two years down the line. *Water SA*, *30*(5), 13-17. https://doi.org/10.10520/EJC116217

Mckenzie, R. S., & Wegelin, W. (2009). *IMPLEMENTATION OF PRESSURE MANAGEMENT IN MUNICIPAL WATER SUPPLY SYSTEMS*.

Medjadji, A., Mazari, M., Kebir, T., & Belaziz, A. (2019). Simulation Study of Fatigue Lifetime in PE100 Pipes. *Journal Européen Des Systèmes Automatisés*, *52*(6), 649-654. https://doi.org/10.18280/jesa.520613

Mehdi, D., & Asghar, A. (2019). Pressure Management of Large-Scale Water Distribution Network Using Optimal Location and Valve Setting. *Water Resources Management*, *33*(14), 4701-4713. https://doi.org/10.1007/s11269-019-02381-x

Mirjalili, S. (2019). Genetic Algorithm. Içinde S. Mirjalili (Ed.), *Evolutionary Algorithms and Neural Networks: Theory and Applications* (ss. 43-55). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93025-1_4

Muhammetoğlu, H., & Muhamm**etoğlu, A.** (2017). *İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü El Kitabı .pdf* (1. bs). T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.

Nazif, S., Karamouz, M., Tabesh, M., & Moridi, A. (2010). Pressure Management Model for Urban Water Distribution Networks. *Water Resources Management*, *24*(3), 437-458. https://doi.org/10.1007/s11269-009-9454-x

Negm, A., Ma, X., & Aggidis, G. (2023). Water Pressure Optimisation for Leakage Management Using Q Learning. *2023 IEEE Conference on Artificial Intelligence (CAI)*, 270-271. https://doi.org/10.1109/CAI54212.2023.00120

Nicolini, M., Giacomello, C., & Deb, K. (2011). Calibration and Optimal Leakage Management for a Real Water Distribution Network. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *137*(1), 134-142. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000087

Olmuştur, M. M. (2021). *İçme suyu şebekelerinde basınç kırıcı vananın gerçek zamanlı kontrolünün su kayıpları üzerine etkisinin model analizi ve deneysel incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi.

Özdemir, Ö., Fırat, M., Yılmaz, S., & 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. https://doi.org/10.2166/wpt.2021.024

Pankaj, B. S., Jaykrishnan, G., & Ostfeld, A. (2022). Optimizing Water Quality Treatment Levels for Water Distribution Systems under Mixing Uncertainty at Junctions. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *148*(5), 04022013. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001544

Pehlivaoğlu, Y. V. (2017). *Optimizasyon: Temel Kavramlar & Yöntemler*.

PIPA. (2018). *PVC PRESSURE PIPES DESIGN FOR DYNAMIC STRESSES* (POP101; 1.4).

Raghunathan, A. U. (2013). Global Optimization of Nonlinear Network Design. *SIAM Journal on Optimization*, *23*(1), 268-295. https://doi.org/10.1137/110827387

Rajakumar, A. G., Cornelio, A. A., & Mohan Kumar, M. S. (2020). Leak management in district metered areas with internal-pressure reducing valves. *Urban Water Journal*, *17*(8), 714-722. https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1773508

Rossman, L. A. (2000). *EPANET 2 Users Manual*. U.S. Environmental Protection Agency.

Samani, H. M. V., & Mottaghi, A. (2006). Optimization of Water Distribution Networks Using Integer Linear Programming. *Journal of Hydraulic Engineering*, *132*(5), 501-509. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:5(501)

Samir, N., Kansoh, R., Elbarki, W., & Fleifle, A. (2017). Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. *Alexandria Engineering Journal*, *56*(4), 601-612. https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.07.008

S**angroula, U., Han, K.-H., Koo, K.-M., Gnawali, K., & Yum, K.-T.** (2022). Optimization of Water Distribution Networks Using Genetic Algorithm Based SOP–WDN Program. *Water*, *14*(6), Article 6. https://doi.org/10.3390/w14060851

Savaş, B. Ö. (2019). *Denizli içme suyu dağıtım şebekesinin alt ölçüm bölgelerine ayrılıp basınç yönetiminin sağlanması ve su kayıplarının incelenmesi* [Master Thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. https://gcris.pau.edu.tr/handle/11499/28189

Savic, D. A., & Walters, G. A. (1997). Genetic Algorithms for Least-Cost Design of Water Distribution Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *123*(2), 67-77. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1997)123:2(67)

Schaake, J., & Lai, D. (1969). *Linear Programming and Dynamic Programming Application to Water Distribution Network Design* (116). MIT. https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/143047

Schwaller, J., van Zyl, J. E., & Kabaasha, A. M. (2015). Characterising the pressure-leakage response of pipe networks using the FAVAD equation. *Water Supply*, *15*(6), 1373-1382. https://doi.org/10.2166/ws.2015.101

Shmaya, T., & Ostfeld, A. (2022). A Graph-Theory-Based PRV Placement Algorithm for Reducing Water Age in Water Distribution Systems. *Water*, *14*(23), Article 23. https://doi.org/10.3390/w14233796

Sınmaz, D. (2019). *İçme suyu dağıtım şebekelerinin hidrolik analizi ve su kayıplarının modellenmesi üzerine örnek bir çalışma* [Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi]. https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/79452

Simpson, A. R., Dandy, G. C., & Murphy, L. J. (1994). Genetic Algorithms Compared to Other Techniques for Pipe Optimization. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *120*(4), 423-443. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1994)120:4(423)

Suribabu, C. R. (2010). Differential evolution algorithm for optimal design of water distribution networks. *Journal of Hydroinformatics*, *12*(1), 66-82. https://doi.org/10.2166/hydro.2010.014

Suribabu, C. R. (2012). Heuristic-Based Pipe Dimensioning Model for Water Distribution Networks. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, *3*(4). https://trid.trb.org/view/1237142

Suribabu, C. R., & Neelakantan, T. R. (2006). Design of water distribution networks using particle swarm optimization. *Urban Water Journal*, *3*(2), 111-120. https://doi.org/10.1080/15730620600855928

T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı. (2019). *ULUSAL SU PLANI*.

Thornton, J., & Lambert, A. (2005). *Progress in practical prediction of pressure: Leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships*. https://www.semanticscholar.org/paper/Progress-in-practical-prediction-of-pressure%3A-burst-Thornton-Lambert/583d36afe3de60cb4e4c802b693e68255a8c4f20

Thornton, J., Sturm, R., & Kunkel, G. (Ed.). (2008). *Water Loss Control* (2nd Edition). McGraw-Hill Education. https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071499187

Tian, Y., Gao, J., Chen, J., Xie, J., Que, Q., Munthali, R. M., & Zhang, T. (2023). Optimization of Pressure Management in Water Distribution Systems Based on Pressure-Reducing Valve Control: Evaluation and Case Study. *Sustainability*, *15*(14), Article 14. https://doi.org/10.3390/su151411086

Trifunovic, N., Sharma, S., & Pathirana, A. (2009). Modelling leakage in distribution system using EPANET. *Proceedings IWA International Conference WaterLoss2009, Sao Paolo*, 482-489.

Turcan, G. (2023). Optimizasyon Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Metotların Sınıflandırılması. İçinde *TEKNOBİLİM-2023 OPTİMİZASYON MODELLEME*

VE YAPAY ZEKA OPTİMİZASYON ALGORİTMALAR. Efe Akademi Yayınları.

Uslu, A. (2015). *İçme Suyu Dağıtım Sistemi Modellenmesinde Tasarım Optimizasyonu* [Doktora Tezi]. On Dokuz Mayız Üniversitesi.

Uzunoğlu, M., & Onar, Ö. Ç. (2003). *Her Yönü ile MATLAB*. Ali KIZIL.

Van Dijk, M., van Vuuren, S., & Van Zyl, J. (2008). *Optimising water distribution systems using a weighted penalty in a genetic algorithm*. *35*, 537-538. https://doi.org/10.4314/wsa.v34i5.180651

van Zyl, J. E., & Cassa, A. M. (2014). Modeling Elastically Deforming Leaks in Water Distribution Pipes. *Journal of Hydraulic Engineering*, *140*(2), 182-189. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000813

van Zyl, J. E., & Malde, R. (2017). Evaluating the pressure-leakage behaviour of leaks in water pipes. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, *66*(5), 287-299. https://doi.org/10.2166/aqua.2017.136

Vasan, A., & Simonovic, S. P. (2010). Optimization of Water Distribution Network Design Using Differential Evolution. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *136*(2), 279-287. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2010)136:2(279)

Walski, T. M., Haestad Methods, Inc, Chase, Donald V., Savic, Dragan A., Grayman, W., Beckwith, S., & Koelle, E. (2003). *Advanced water distribution modeling and management* (1. ed). Haestad Press.

Wang, Q., Guidolin, M., Savic, D., & Kapelan, Z. (2015). Two-Objective Design of Benchmark Problems of a Water Distribution System via MOEAs: Towards the Best-Known Approximation of the True Pareto Front. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *141*(3), 04014060. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000460

Yazdi, J., Choi, Y. H., & Kim, J. (2017). Non-Dominated Sorting Harmony Search Differential Evolution (NS-HS-DE): A Hybrid Algorithm for Multi-Objective Design of Water Distribution Networks. *Water (Switzerland)*, *9*. https://doi.org/10.3390/w9080587

Yılmaz, S. (2005). Konutlarda Su Şebeke Basıncının Su Tüketimine Etkileri. *Teknoloji, 8*(2), 157-166.

Yilmaz, G. (2011). *Antalya-Konyaaltı su dağıtım şebekesi alt bölgelerinde toplam su kayıplarının bileşenlerinin değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Akdeniz Üniversitesi.

Yilmaz, V. (2015). *Su Dağıtım Şebekelerinin Metasezgisel Yöntemlerle Optimizasyonu.pdf* [Doktora Tezi]. Selçuk Üniversitesi.

Younis, M., & Dandy, G. (2020). A comparative study between three genetic algorithm software applications for optimizing water distribution systems. *Hydrology and Water Resources Symposium 2012*, 1306-1316. https://doi.org/10.3316/informit.932496862756823

Zeybekoğlu, U. (2017). Metasezgisel Optimizasyon Yöntemlerin Performanslarının Basit Bir Su Dağıtım Şebekesi Kullanılarak Araştırılması. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, *7*(2), 57-67. https://doi.org/10.31466/kfbd.338197

Zmarzły, M. (2010). Identification of water distribution systems using EPANET, MATLAB and Genetic Algorithms. *Zeszyty Naukowe. Elektryka / Politechnika Opolska, z. 63*, 67-68.

EKLER

EK A: Modifiye Alperovits ve Shamir Şebekesi Basınç Tabloları

EK A

Çizelge A-1: Klasik Basınç Yönetimi Düğüm Basınçları

Saat	Basınç(m)					
	Düğüm 1	Düğüm 2	Düğüm 3	Düğüm 4	Düğüm 5	Düğüm 6
00:00	65.00	53.21	59.44	62.38	48.79	52.45
01:00	65.00	53.21	59.44	62.38	48.79	52.45
02:00	65.00	53.21	59.44	62.38	48.79	52.45
03:00	65.00	53.21	59.44	62.38	48.79	52.45
04:00	65.00	53.21	59.44	62.38	48.79	52.45
05:00	65.00	51.20	58.82	59.45	47.44	49.59
06:00	65.00	28.26	51.69	25.97	32.03	16.98
07:00	65.00	28.26	51.69	25.97	32.03	16.98
08:00	65.00	28.26	51.69	25.97	32.03	16.98
09:00	65.00	48.22	57.89	55.10	45.44	45.36
10:00	65.00	48.22	57.89	55.10	45.44	45.36
11:00	65.00	48.22	57.89	55.10	45.44	45.36
12:00	65.00	27.39	51.42	24.70	31.44	15.74
13:00	65.00	27.39	51.42	24.70	31.44	15.74
14:00	65.00	27.39	51.42	24.70	31.44	15.74
15:00	65.00	48.37	57.94	55.32	45.54	45.57
16:00	65.00	48.37	57.94	55.32	45.54	45.57
17:00	65.00	27.39	51.42	24.70	31.44	15.74
18:00	65.00	27.39	51.42	24.70	31.44	15.74
19:00	65.00	27.39	51.42	24.70	31.44	15.74
20:00	65.00	53.21	59.44	62.38	48.79	52.45
21:00	65.00	53.21	59.44	62.38	48.79	52.45
22:00	65.00	53.21	59.44	62.38	48.79	52.45
23:00	65.00	53.21	59.44	62.38	48.79	52.45

Çizelge A- 2: İleri Basınç Yönetimi Düğüm Basınçları

Saat	Basınç(m)					
	Düğüm 1	Düğüm 2	Düğüm 3	Düğüm 4	Düğüm 5	Düğüm 6
00:00	46.00	34.21	40.44	43.38	29.79	33.45
01:00	46.00	34.21	40.44	43.38	29.79	33.45
02:00	46.00	34.21	40.44	43.38	29.79	33.45
03:00	46.00	34.21	40.44	43.38	29.79	33.45
04:00	46.00	34.21	40.44	43.38	29.79	33.45
05:00	48.00	34.20	41.82	42.45	30.44	32.59
06:00	65.00	28.26	51.69	25.97	32.03	16.98
07:00	65.00	28.26	51.69	25.97	32.03	16.98
08:00	65.00	28.26	51.69	25.97	32.03	16.98
09:00	51.00	34.22	43.89	41.10	31.44	31.36
10:00	51.00	34.22	43.89	41.10	31.44	31.36
11:00	50.00	33.22	42.89	40.10	30.44	30.36
12:00	65.00	27.39	51.42	24.70	31.44	15.74
13:00	65.00	27.39	51.42	24.70	31.44	15.74
14:00	65.00	27.39	51.42	24.70	31.44	15.74
15:00	50.00	33.37	42.94	40.32	30.54	30.57
16:00	50.00	33.37	42.94	40.32	30.54	30.57
17:00	65.00	27.39	51.42	24.70	31.44	15.74
18:00	65.00	27.39	51.42	24.70	31.44	15.74
19:00	65.00	27.39	51.42	24.70	31.44	15.74
20:00	46.00	34.21	40.44	43.38	29.79	33.45
21:00	46.00	34.21	40.44	43.38	29.79	33.45
22:00	46.00	34.21	40.44	43.38	29.79	33.45
23:00	46.00	34.21	40.44	43.38	29.79	33.45

EK B: Fossolo(Foss_Poly_1) Şebekesi Basınç Tabloları

EK B

Çizelge B- 1: Klasik Basınç Yönetimi Düğüm Basınçları

Saat	Basınç(m)																	
	Düğüm 1	Düğüm 2	Düğüm 3	Düğüm 4	Düğüm 5	Düğüm 6	Düğüm 7	Düğüm 8	Düğüm 9	Düğüm 10	Düğüm 11	Düğüm 12	Düğüm 13	Düğüm 14	Düğüm 15	Düğüm 16	Düğüm 17	Düğüm 18
00:00	55.85	55.77	56.74	57.56	57.25	53.22	51.20	52.95	53.66	56.63	56.97	57.65	57.49	57.23	56.88	56.08	54.90	56.59
01:00	55.85	55.77	56.74	57.56	57.25	53.22	51.20	52.95	53.66	56.63	56.97	57.65	57.49	57.23	56.88	56.08	54.90	56.59
02:00	55.85	55.77	56.74	57.56	57.25	53.22	51.20	52.95	53.66	56.63	56.97	57.65	57.49	57.23	56.88	56.08	54.90	56.59
03:00	55.85	55.77	56.74	57.56	57.25	53.22	51.20	52.95	53.66	56.63	56.97	57.65	57.49	57.23	56.88	56.08	54.90	56.59
04:00	55.85	55.77	56.74	57.56	57.25	53.22	51.20	52.95	53.66	56.63	56.97	57.65	57.49	57.23	56.88	56.08	54.90	56.59
05:00	55.85	54.83	55.72	56.50	54.44	50.56	49.06	51.21	52.16	56.41	56.60	56.85	55.68	55.93	56.19	55.39	54.23	56.24
06:00	55.84	44.18	44.07	44.47	22.35	20.13	24.72	31.37	35.03	53.89	52.38	47.71	35.06	41.01	48.27	47.48	46.57	52.24
07:00	55.84	44.18	44.07	44.47	22.35	20.13	24.72	31.37	35.03	53.89	52.38	47.71	35.06	41.01	48.27	47.48	46.57	52.24
08:00	55.84	44.18	44.07	44.47	22.35	20.13	24.72	31.37	35.03	53.89	52.38	47.71	35.06	41.01	48.27	47.48	46.57	52.24
09:00	55.85	53.45	54.21	54.94	50.27	46.60	45.90	48.63	49.94	56.08	56.05	55.66	53.00	53.99	55.16	54.36	53.23	55.72
10:00	55.85	53.45	54.21	54.94	50.27	46.60	45.90	48.63	49.94	56.08	56.05	55.66	53.00	53.99	55.16	54.36	53.23	55.72
11:00	55.85	53.45	54.21	54.94	50.27	46.60	45.90	48.63	49.94	56.08	56.05	55.66	53.00	53.99	55.16	54.36	53.23	55.72
12:00	55.84	43.77	43.63	44.01	21.13	18.97	23.80	30.62	34.38	53.79	52.22	47.37	34.28	40.44	47.97	47.18	46.28	52.09
13:00	55.84	43.77	43.63	44.01	21.13	18.97	23.80	30.62	34.38	53.79	52.22	47.37	34.28	40.44	47.97	47.18	46.28	52.09
14:00	55.84	43.77	43.63	44.01	21.13	18.97	23.80	30.62	34.38	53.79	52.22	47.37	34.28	40.44	47.97	47.18	46.28	52.09
15:00	55.85	53.52	54.28	55.02	50.48	46.81	46.06	48.77	50.05	56.10	56.08	55.72	53.14	54.09	55.21	54.41	53.29	55.74
16:00	55.85	53.52	54.28	55.02	50.48	46.81	46.06	48.77	50.05	56.10	56.08	55.72	53.14	54.09	55.21	54.41	53.29	55.74
17:00	55.84	43.77	43.63	44.01	21.13	18.97	23.80	30.62	34.38	53.79	52.22	47.37	34.28	40.44	47.97	47.18	46.28	52.09
18:00	55.84	43.77	43.63	44.01	21.13	18.97	23.80	30.62	34.38	53.79	52.22	47.37	34.28	40.44	47.97	47.18	46.28	52.09
19:00	55.84	43.77	43.63	44.01	21.13	18.97	23.80	30.62	34.38	53.79	52.22	47.37	34.28	40.44	47.97	47.18	46.28	52.09
20:00	55.85	55.77	56.74	57.56	57.25	53.22	51.20	52.95	53.66	56.63	56.97	57.65	57.49	57.23	56.88	56.08	54.90	56.59
21:00	55.85	55.77	56.74	57.56	57.25	53.22	51.20	52.95	53.66	56.63	56.97	57.65	57.49	57.23	56.88	56.08	54.90	56.59
22:00	55.85	55.77	56.74	57.56	57.25	53.22	51.20	52.95	53.66	56.63	56.97	57.65	57.49	57.23	56.88	56.08	54.90	56.59
23:00	55.85	55.77	56.74	57.56	57.25	53.22	51.20	52.95	53.66	56.63	56.97	57.65	57.49	57.23	56.88	56.08	54.90	56.59

Çizelge B- 1: Klasik Basınç Yönetimi Düğüm Basınçları(Devamı)

Saat	Basınç(m)																	
	Düğüm 19	Düğüm 20	Düğüm 21	Düğüm 22	Düğüm 23	Düğüm 24	Düğüm 25	Düğüm 26	Düğüm 27	Düğüm 28	Düğüm 29	Düğüm 30	Düğüm 31	Düğüm 32	Düğüm 33	Düğüm 34	Düğüm 35	Düğüm 36
00:00	57.54	57.15	56.84	56.30	55.80	51.69	55.74	57.16	56.72	53.55	55.16	54.98	56.55	56.55	56.20	56.17	54.55	54.41
01:00	57.54	57.15	56.84	56.30	55.80	51.69	55.74	57.16	56.72	53.55	55.16	54.98	56.55	56.55	56.20	56.17	54.55	54.41
02:00	57.54	57.15	56.84	56.30	55.80	51.69	55.74	57.16	56.72	53.55	55.16	54.98	56.55	56.55	56.20	56.17	54.55	54.42
03:00	57.54	57.15	56.84	56.30	55.80	51.69	55.74	57.16	56.72	53.55	55.16	54.98	56.55	56.55	56.20	56.17	54.55	54.42
04:00	57.54	57.15	56.84	56.30	55.80	51.69	55.74	57.16	56.72	53.55	55.16	54.98	56.55	56.55	56.20	56.17	54.55	54.42
05:00	56.92	56.02	55.33	55.41	54.68	49.67	54.78	56.66	56.30	51.54	53.66	52.84	56.50	56.26	55.97	56.03	53.40	53.65
06:00	49.81	43.04	38.01	45.21	41.91	26.60	43.79	51.00	51.47	28.58	36.55	28.34	55.88	53.01	53.36	54.39	40.30	44.89
07:00	49.81	43.04	38.01	45.21	41.91	26.60	43.79	51.00	51.47	28.58	36.55	28.34	55.88	53.01	53.36	54.39	40.30	44.89
08:00	49.81	43.04	38.01	45.21	41.91	26.60	43.79	51.00	51.47	28.58	36.55	28.34	55.88	53.01	53.36	54.39	40.30	44.89
09:00	56.00	54.33	53.08	54.09	53.02	46.68	53.35	55.93	55.67	48.56	51.44	49.66	56.42	55.84	55.63	55.82	51.70	52.51
10:00	56.00	54.33	53.08	54.09	53.02	46.68	53.35	55.93	55.67	48.56	51.44	49.66	56.42	55.84	55.63	55.82	51.70	52.51
11:00	56.00	54.33	53.08	54.09	53.02	46.68	53.35	55.93	55.67	48.56	51.44	49.66	56.42	55.84	55.63	55.82	51.70	52.51
12:00	49.54	42.55	37.35	44.83	41.42	25.73	43.37	50.79	51.29	27.71	35.90	27.41	55.86	52.88	53.26	54.33	39.80	44.56
13:00	49.54	42.55	37.35	44.83	41.42	25.73	43.37	50.79	51.29	27.71	35.90	27.41	55.86	52.88	53.26	54.33	39.80	44.56
14:00	49.54	42.55	37.35	44.83	41.42	25.73	43.37	50.79	51.29	27.71	35.90	27.41	55.86	52.88	53.26	54.33	39.80	44.56
15:00	56.05	54.42	53.19	54.15	53.11	46.83	53.42	55.96	55.70	48.71	51.55	49.82	56.42	55.86	55.65	55.83	51.78	52.57
16:00	56.05	54.42	53.19	54.15	53.11	46.83	53.42	55.96	55.70	48.71	51.55	49.82	56.42	55.86	55.65	55.83	51.78	52.57
17:00	49.54	42.55	37.35	44.83	41.42	25.73	43.37	50.79	51.29	27.71	35.90	27.41	55.86	52.88	53.26	54.33	39.80	44.56
18:00	49.54	42.55	37.35	44.83	41.42	25.73	43.37	50.79	51.29	27.71	35.90	27.41	55.86	52.88	53.26	54.33	39.80	44.56
19:00	49.54	42.55	37.35	44.83	41.42	25.73	43.37	50.79	51.29	27.71	35.90	27.41	55.86	52.88	53.26	54.33	39.80	44.56
20:00	57.54	57.15	56.84	56.30	55.80	51.69	55.74	57.16	56.72	53.55	55.16	54.98	56.55	56.55	56.20	56.17	54.55	54.42
21:00	57.54	57.15	56.84	56.30	55.80	51.69	55.74	57.16	56.72	53.55	55.16	54.98	56.55	56.55	56.20	56.17	54.55	54.42
22:00	57.54	57.15	56.84	56.30	55.80	51.69	55.74	57.16	56.72	53.55	55.16	54.98	56.55	56.55	56.20	56.17	54.55	54.42
23:00	57.54	57.15	56.84	56.30	55.80	51.69	55.74	57.16	56.72	53.55	55.16	54.98	56.55	56.55	56.20	56.17	54.55	54.42

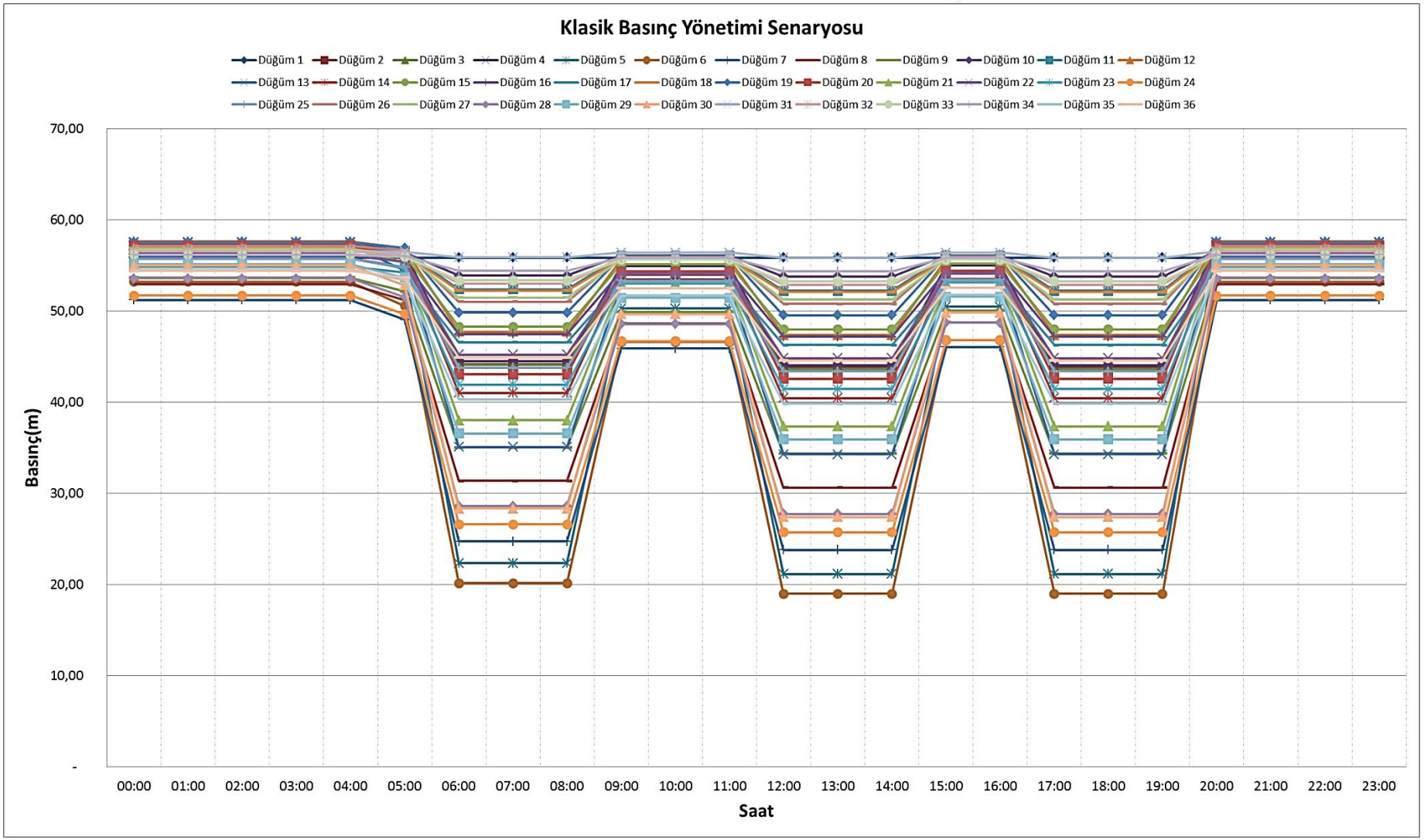
Çizelge B- 2: İleri Basınç Yönetimi Düğüm Basınçları

Saat	Basınç(m)																	
	Düğüm 1	Düğüm 2	Düğüm 3	Düğüm 4	Düğüm 5	Düğüm 6	Düğüm 7	Düğüm 8	Düğüm 9	Düğüm 10	Düğüm 11	Düğüm 12	Düğüm 13	Düğüm 14	Düğüm 15	Düğüm 16	Düğüm 17	Düğüm 18
00:00	52.00	51.92	52.89	53.71	53.40	49.37	47.35	49.10	49.81	52.78	53.12	53.80	53.64	53.38	53.03	52.23	51.05	52.74
01:00	52.00	51.92	52.89	53.71	53.40	49.37	47.35	49.10	49.81	52.78	53.12	53.80	53.64	53.38	53.03	52.23	51.05	52.74
02:00	52.00	51.92	52.89	53.71	53.40	49.37	47.35	49.10	49.81	52.78	53.12	53.80	53.64	53.38	53.03	52.23	51.05	52.74
03:00	52.00	51.92	52.89	53.71	53.40	49.37	47.35	49.10	49.81	52.78	53.12	53.80	53.64	53.38	53.03	52.23	51.05	52.74
04:00	52.00	51.92	52.89	53.71	53.40	49.37	47.35	49.10	49.81	52.78	53.12	53.80	53.64	53.38	53.03	52.23	51.05	52.74
05:00	53.00	51.98	52.87	53.66	51.59	47.71	46.21	48.36	49.31	53.56	53.75	54.00	52.83	53.08	53.34	52.54	51.38	53.39
06:00	55.84	44.18	44.07	44.47	22.35	20.13	24.72	31.37	35.03	53.89	52.38	47.71	35.06	41.01	48.27	47.48	46.57	52.24
07:00	55.84	44.18	44.07	44.47	22.35	20.13	24.72	31.37	35.03	53.89	52.38	47.71	35.06	41.01	48.27	47.48	46.57	52.24
08:00	55.84	44.18	44.07	44.47	22.35	20.13	24.72	31.37	35.03	53.89	52.38	47.71	35.06	41.01	48.27	47.48	46.57	52.24
09:00	54.00	51.60	52.36	53.09	48.42	44.75	44.05	46.79	48.09	54.23	54.20	53.81	51.16	52.14	53.31	52.51	51.39	53.87
10:00	54.00	51.60	52.36	53.09	48.42	44.75	44.05	46.79	48.09	54.23	54.20	53.81	51.16	52.14	53.31	52.51	51.39	53.87
11:00	54.00	51.60	52.36	53.09	48.42	44.75	44.05	46.79	48.09	54.23	54.20	53.81	51.16	52.14	53.31	52.51	51.39	53.87
12:00	55.84	43.77	43.63	44.01	21.13	18.97	23.80	30.62	34.38	53.79	52.22	47.37	34.28	40.44	47.97	47.18	46.28	52.09
13:00	55.84	43.77	43.63	44.01	21.13	18.97	23.80	30.62	34.38	53.79	52.22	47.37	34.28	40.44	47.97	47.18	46.28	52.09
14:00	55.84	43.77	43.63	44.01	21.13	18.97	23.80	30.62	34.38	53.79	52.22	47.37	34.28	40.44	47.97	47.18	46.28	52.09
15:00	54.00	51.67	52.43	53.17	48.64	44.96	44.22	46.92	48.20	54.25	54.23	53.87	51.29	52.24	53.36	52.57	51.44	53.90
16:00	54.00	51.67	52.43	53.17	48.64	44.96	44.22	46.92	48.20	54.25	54.23	53.87	51.29	52.24	53.36	52.57	51.44	53.90
17:00	55.84	43.77	43.63	44.01	21.13	18.97	23.80	30.62	34.38	53.79	52.22	47.37	34.28	40.44	47.97	47.18	46.28	52.09
18:00	55.84	43.77	43.63	44.01	21.13	18.97	23.80	30.62	34.38	53.79	52.22	47.37	34.28	40.44	47.97	47.18	46.28	52.09
19:00	55.84	43.77	43.63	44.01	21.13	18.97	23.80	30.62	34.38	53.79	52.22	47.37	34.28	40.44	47.97	47.18	46.28	52.09
20:00	52.00	51.92	52.89	53.71	53.40	49.37	47.35	49.10	49.81	52.78	53.12	53.80	53.64	53.38	53.03	52.23	51.05	52.74
21:00	52.00	51.92	52.89	53.71	53.40	49.37	47.35	49.10	49.81	52.78	53.12	53.80	53.64	53.38	53.03	52.23	51.05	52.74
22:00	52.00	51.92	52.89	53.71	53.40	49.37	47.35	49.10	49.81	52.78	53.12	53.80	53.64	53.38	53.03	52.23	51.05	52.74
23:00	52.00	51.92	52.89	53.71	53.40	49.37	47.35	49.10	49.81	52.78	53.12	53.80	53.64	53.38	53.03	52.23	51.05	52.74

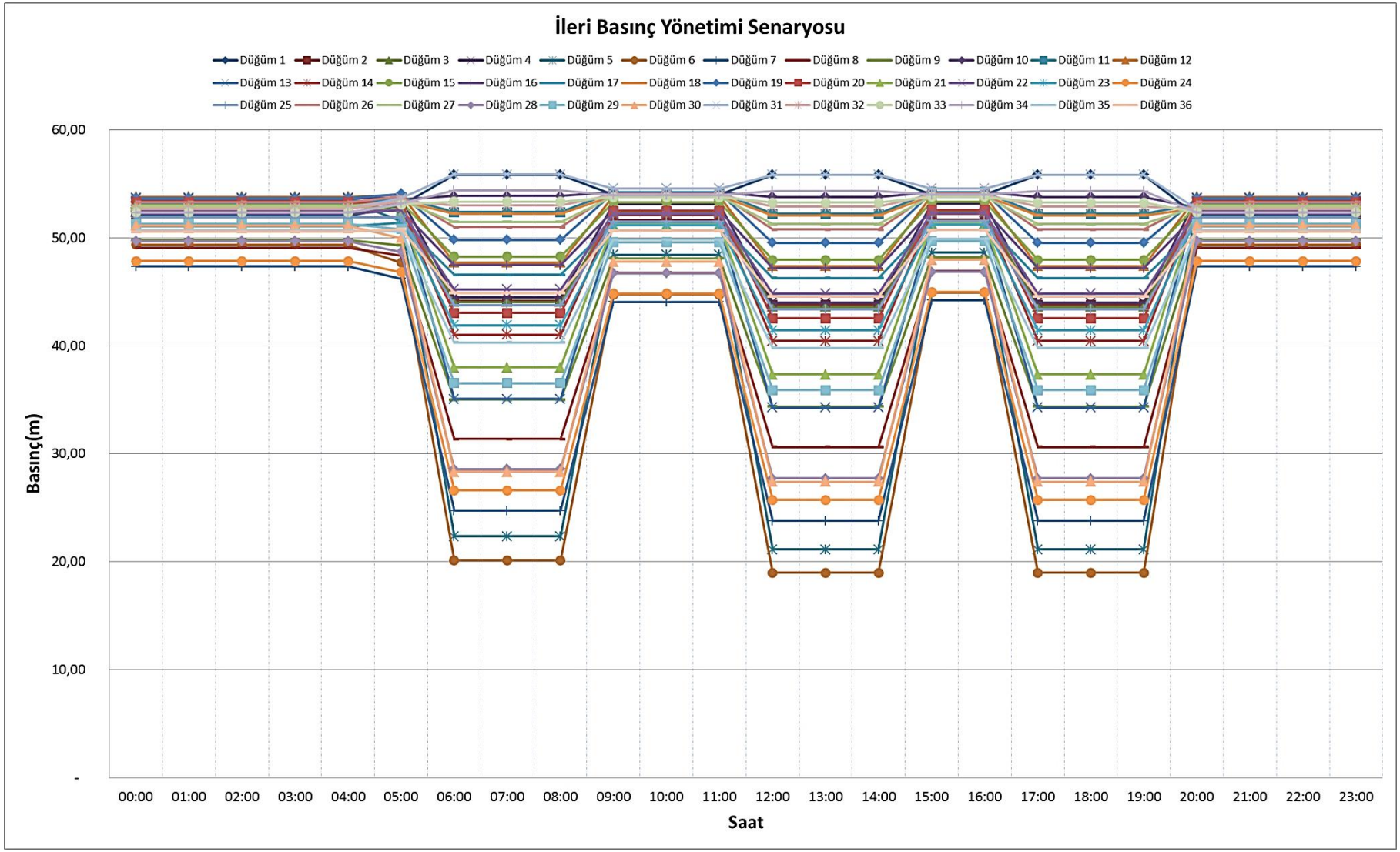
Çizelge B- 2: İleri Basınç Yönetimi Düğüm Basınçları(Devamı)

Saat	Basınç(m)																	
	Düğüm 19	Düğüm 20	Düğüm 21	Düğüm 22	Düğüm 23	Düğüm 24	Düğüm 25	Düğüm 26	Düğüm 27	Düğüm 28	Düğüm 29	Düğüm 30	Düğüm 31	Düğüm 32	Düğüm 33	Düğüm 34	Düğüm 35	Düğüm 36
00:00	53.69	53.30	53.00	52.45	51.95	47.85	51.89	53.31	52.87	49.70	51.31	51.13	52.70	52.70	52.35	52.32	50.70	50.57
01:00	53.69	53.31	53.00	52.45	51.95	47.85	51.89	53.31	52.87	49.70	51.31	51.13	52.70	52.70	52.35	52.32	50.70	50.57
02:00	53.69	53.31	53.00	52.45	51.95	47.85	51.89	53.31	52.87	49.70	51.31	51.13	52.70	52.70	52.35	52.32	50.70	50.57
03:00	53.69	53.31	53.00	52.45	51.95	47.85	51.89	53.31	52.87	49.70	51.31	51.13	52.70	52.70	52.35	52.32	50.70	50.57
04:00	53.69	53.31	53.00	52.45	51.95	47.85	51.89	53.31	52.87	49.70	51.31	51.13	52.70	52.70	52.35	52.32	50.70	50.57
05:00	54.07	53.17	52.48	52.56	51.83	46.83	51.93	53.81	53.45	48.69	50.81	49.99	53.65	53.41	53.12	53.18	50.55	50.80
06:00	49.81	43.04	38.01	45.21	41.91	26.60	43.79	51.00	51.47	28.58	36.55	28.34	55.88	53.01	53.36	54.39	40.30	44.89
07:00	49.81	43.04	38.01	45.21	41.91	26.60	43.79	51.00	51.47	28.58	36.55	28.34	55.88	53.01	53.36	54.39	40.30	44.89
08:00	49.81	43.04	38.01	45.21	41.91	26.60	43.79	51.00	51.47	28.58	36.55	28.34	55.88	53.01	53.36	54.39	40.30	44.89
09:00	54.15	52.48	51.23	52.24	51.17	44.83	51.50	54.08	53.82	46.71	49.59	47.81	54.57	53.99	53.78	53.97	49.85	50.66
10:00	54.15	52.48	51.23	52.24	51.17	44.83	51.50	54.08	53.82	46.71	49.59	47.81	54.57	53.99	53.78	53.97	49.85	50.66
11:00	54.15	52.48	51.23	52.24	51.17	44.83	51.50	54.08	53.82	46.71	49.59	47.81	54.57	53.99	53.78	53.97	49.85	50.66
12:00	49.54	42.55	37.35	44.83	41.42	25.73	43.37	50.79	51.29	27.71	35.90	27.41	55.86	52.88	53.26	54.33	39.80	44.56
13:00	49.54	42.55	37.35	44.83	41.42	25.73	43.37	50.79	51.29	27.71	35.90	27.41	55.86	52.88	53.26	54.33	39.80	44.56
14:00	49.54	42.55	37.35	44.83	41.42	25.73	43.37	50.79	51.29	27.71	35.90	27.41	55.86	52.88	53.26	54.33	39.80	44.56
15:00	54.20	52.57	51.35	52.30	51.26	44.98	51.58	54.12	53.86	46.87	49.71	47.97	54.57	54.01	53.80	53.98	49.94	50.72
16:00	54.20	52.57	51.35	52.30	51.26	44.98	51.58	54.12	53.86	46.87	49.71	47.97	54.57	54.01	53.80	53.98	49.94	50.72
17:00	49.54	42.55	37.35	44.83	41.42	25.73	43.37	50.79	51.29	27.71	35.90	27.41	55.86	52.88	53.26	54.33	39.80	44.56
18:00	49.54	42.55	37.35	44.83	41.42	25.73	43.37	50.79	51.29	27.71	35.90	27.41	55.86	52.88	53.26	54.33	39.80	44.56
19:00	49.54	42.55	37.35	44.83	41.42	25.73	43.37	50.79	51.29	27.71	35.90	27.41	55.86	52.88	53.26	54.33	39.80	44.56
20:00	53.69	53.31	53.00	52.45	51.95	47.85	51.89	53.31	52.87	49.70	51.31	51.13	52.70	52.70	52.35	52.32	50.70	50.57
21:00	53.69	53.31	53.00	52.45	51.95	47.85	51.89	53.31	52.87	49.70	51.31	51.13	52.70	52.70	52.35	52.32	50.70	50.57
22:00	53.69	53.31	53.00	52.45	51.95	47.85	51.89	53.31	52.87	49.70	51.31	51.13	52.70	52.70	52.35	52.32	50.70	50.57
23:00	53.69	53.31	53.00	52.45	51.95	47.85	51.89	53.31	52.87	49.70	51.31	51.13	52.70	52.70	52.35	52.32	50.70	50.57

Şekil B- 1: Klasik Basınç Yönetimi Senaryosu



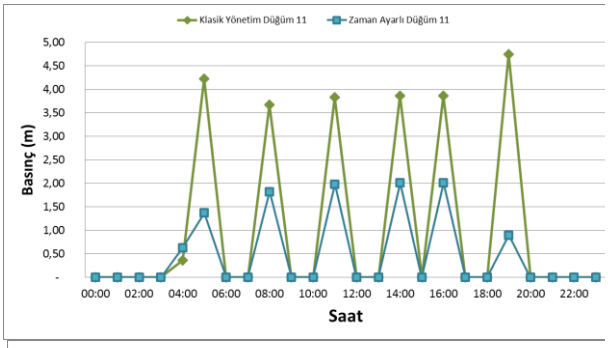
Şekil B- 2: İleri Basınç Yönetimi Senaryosu

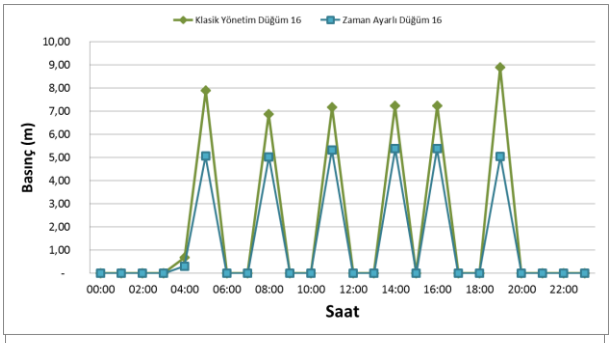


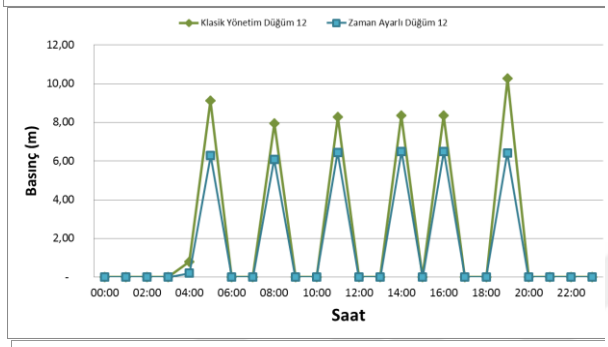
Şekil B- 3: Düğüm Basınç Farkları

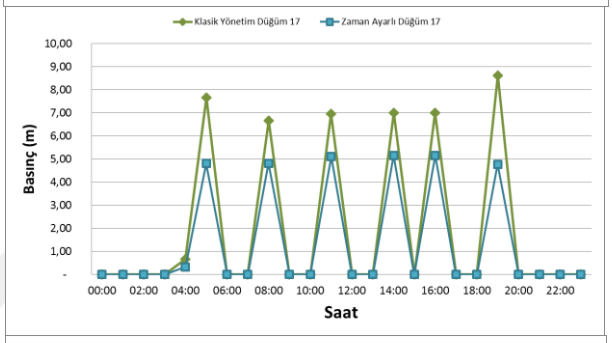


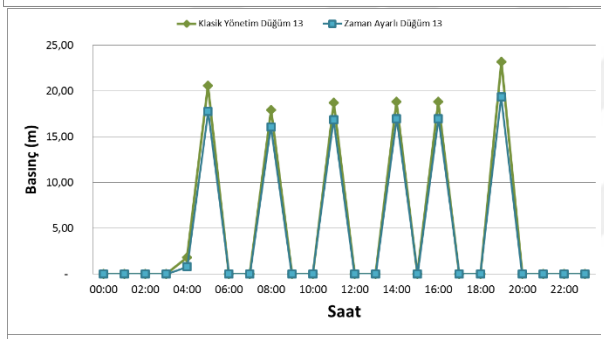
Şekil B- 3: Düğüm Basınç Farkları(Devamı)

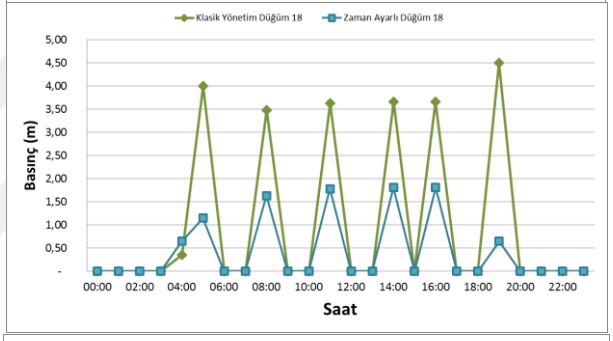


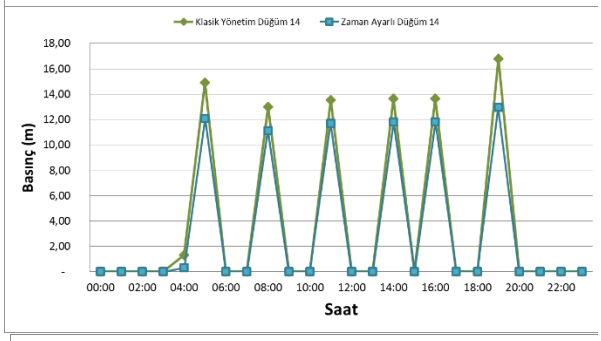


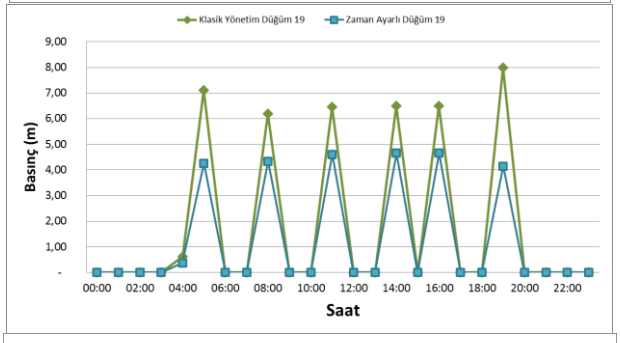


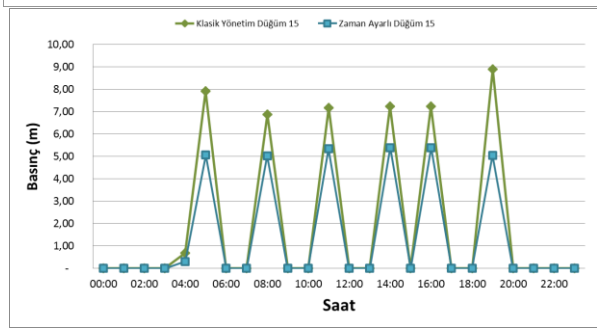


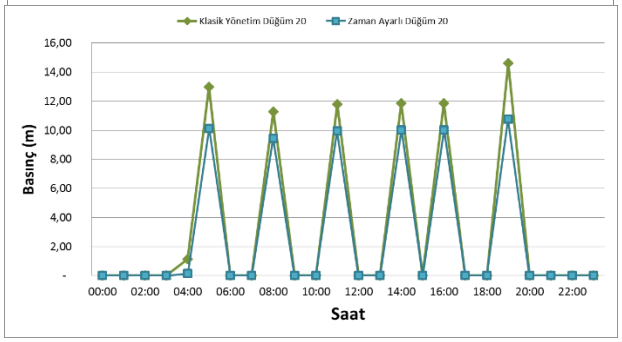




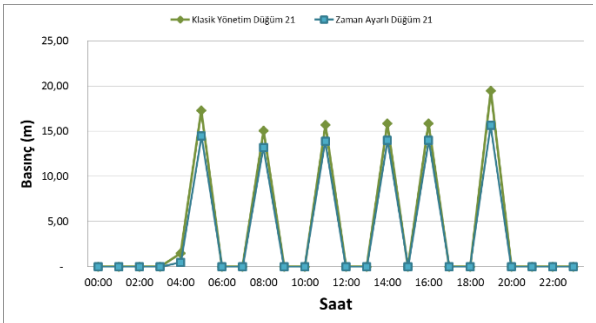


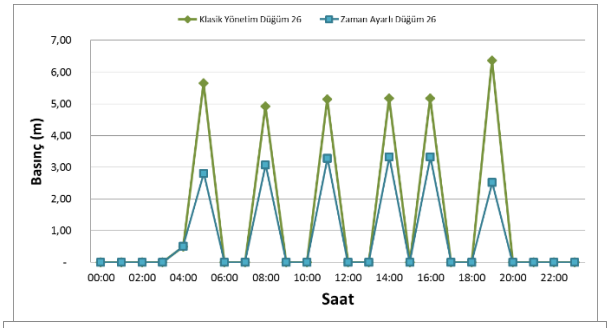


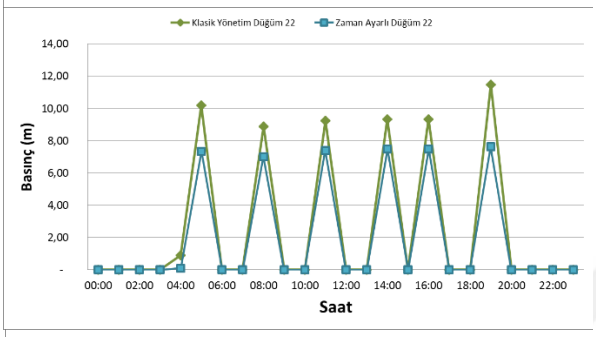


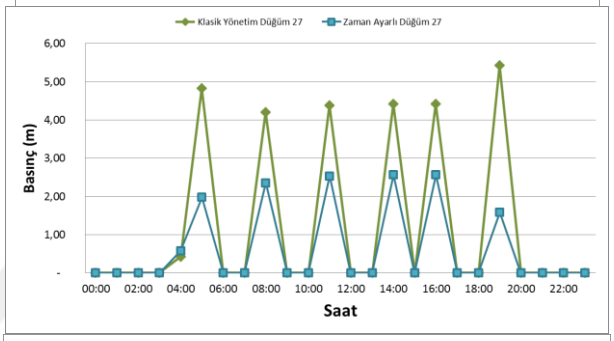


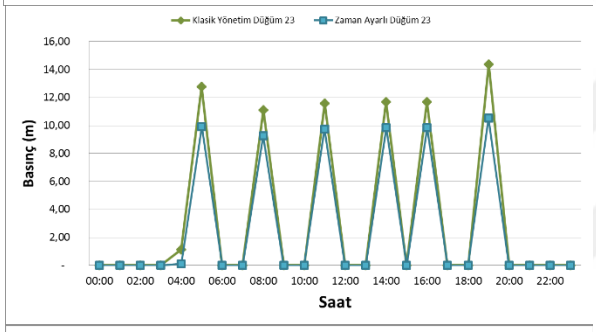
Şekil B- 3: Düğüm Basınç Farkları(Devamı)

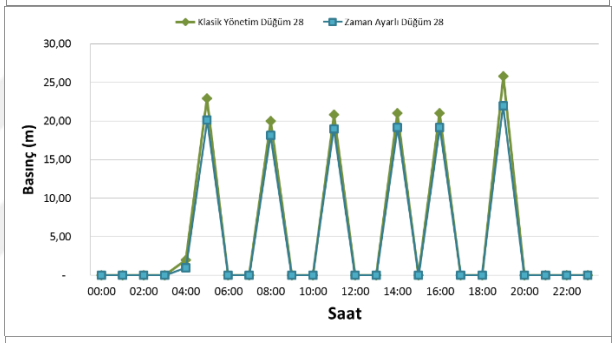


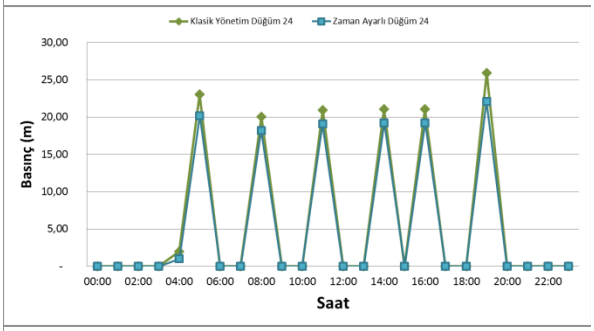


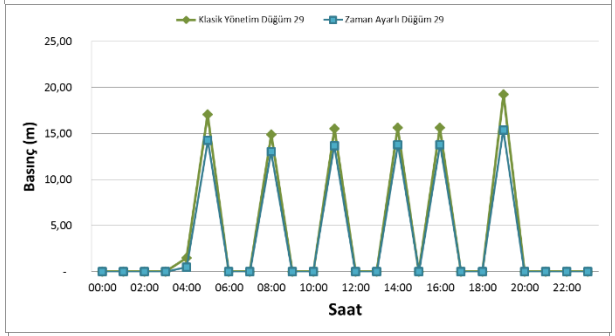


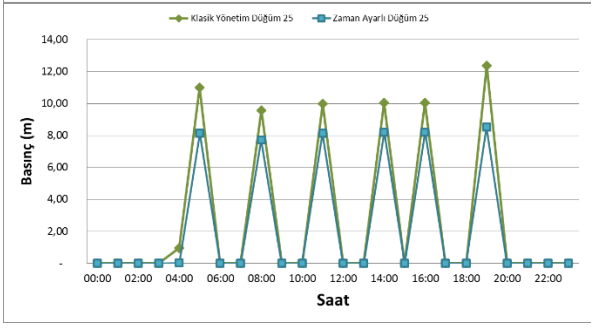


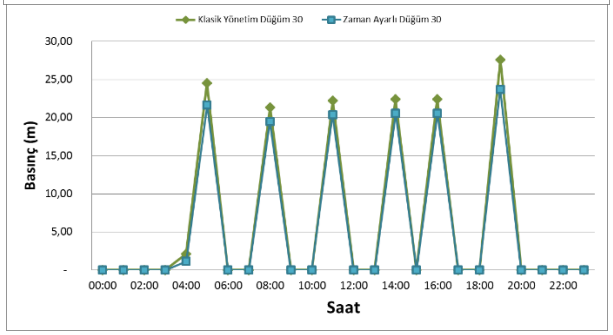




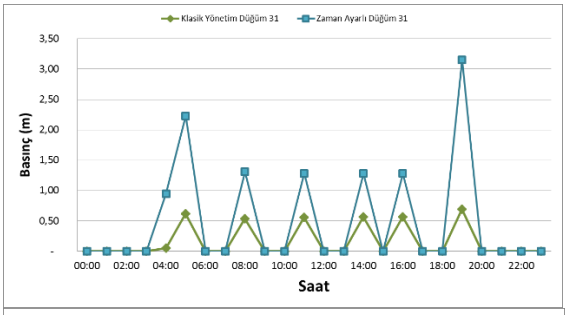


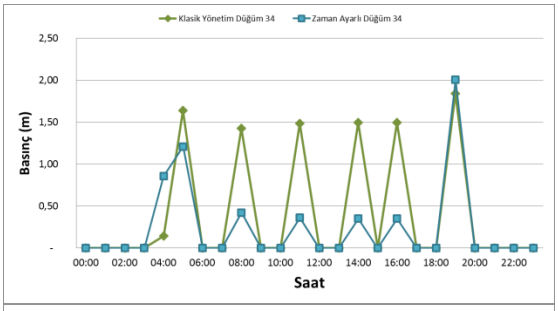


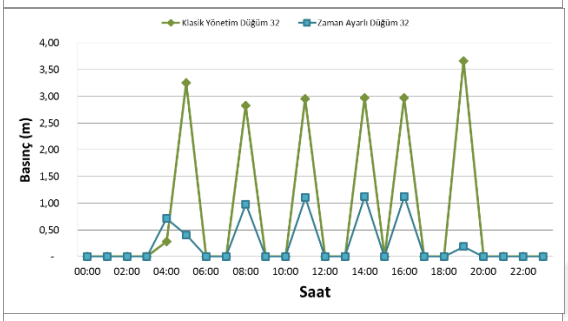


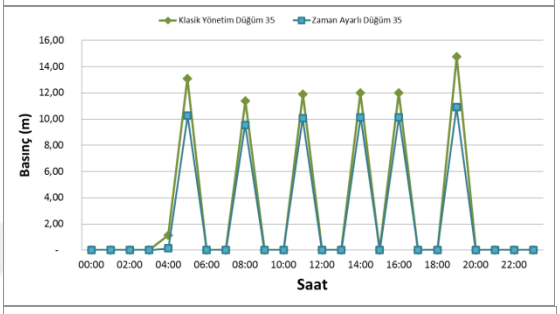


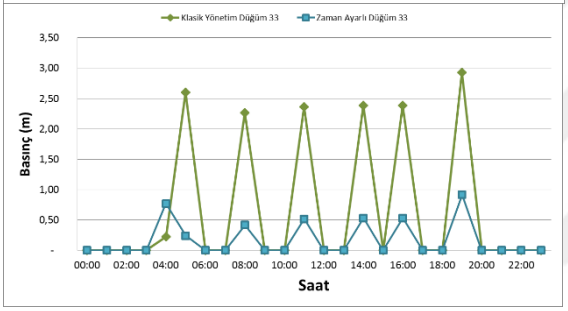
Şekil B- 3: Düğüm Basınç Farkları(Devamı)

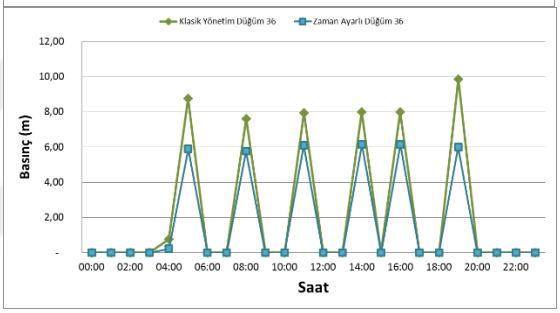












ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Talha İbrahim ARDUÇOĞLU

ÖĞRENİM DURUMU:

Derece	Üniversite	Fakülte-Enstitü	Bölüm-Ana Bilim Dalı
Lisans	Gazi Üniversitesi	Mühendislik Fakültesi	İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	İnönü Üniversitesi	Fen Bilimleri Enstitüsü	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

Yıl	Kurum-Kuruluş	Pozisyon
2018-2020	Hüdayi İnşaat	İnşaat Mühendisi
2020-2020	Tesa Proje	Saha Mühendisi
2021-2022	Gürbağ İnşaat	Saha Mühendisi-Teknik Ofis Mühendisi
2022-Devam	MASKİ Genel Müdürlüğü	Proje Mühendisi- Kontrol Mühendisi

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR (Makaleler, Bildiriler, Patentler v.b.)

- **Arduçoğlu, T. İ., Boztaş, F., & Fırat, M. (2023).** The Effect of Pressure Surges Due to Variable Consumption Water Networks on System Operation. *8th International Congress On Natural and Engineering Sciences*, (pp.130-140). November 21-23.