

İçmesuyu Şebekelerinde Su Kayıplarının Azaltılması İçin Basınç Kontrol Yönetimi Stratejisinde Basınç Dalgalanmalarının En Uygun Seviyesinin Tanımlanması

Talha İbrahim Arduçoğlu¹, Furkan Boztaş¹, Mahmut Fırat^{2,*}

¹Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, 44100, Malatya.

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44100, Malatya.

Özet

Şebekelerde oluşan sızıntıların önemli bir kısmını yüzeye çıkmayan sızıntılar oluşturmaktadır. Sızıntılar basınç ile doğrudan ilişkili olup birçok araştırmacı basınç parametresi ile ilgili basınç yönetimi 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 pilot şebekelere 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 alanında 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.

Anahtar Sözcükler

Basınç Yönetimi, Basınç Dalgalanması, Optimizasyon, EPANET-MATLAB

Defining the Optimal Level of Pressure Fluctuations at Pressure Control Management Strategy for Reducing Water Losses in Water Networks

Abstract

A significant rate of the physical losses in networks are caused by unreported leaks. Leaks are directly related to pressure, and many public institutions and researchers are conducting management studies on pressure parameters. Pressure management methods are classified as classical and advanced pressure management. Many studies conducted worldwide have enabled the minimization of operating pressure. In this study, the hourly pressure difference was selected as the parameter to be minimized during the pressure management study, and it was aimed to minimize the pressure fluctuations of the network during the day. The data of the working networks, the hydraulic model of which was created in the EPANET program, was 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 the flow-sensitive advanced pressure management was started to be created. Genetic algorithm was used in the MATLAB environment to create the most suitable scenario. Inlet pressure was selected as the optimization variable. The sum of the hourly pressure change differences of the network during the day was selected as the objective function. As a result of the optimization, the average pressure fluctuations in the working area were reduced by 55% from 18.56 m to 8.41 m. In addition, the average pressure of the network was reduced from 48.2 m to 37.3 m.

Keywords

Pressure Management, Pressure Surge, Optimization, EPANET-MATLAB

1. Giriş

Su talebinin artması, şebekenin yaşlanması, boruların basınç dayanımının giderek azalması içmesuyu dağıtım sistemlerinin işletilmesini giderek zorlaştırmaktadır. Yerleşim yerlerinin gelişmişlik düzeyi arttıkça su talebi de artmaktadır (Sırmaz, 2019). Ülkemizin de içinde bulunduğu birçok ülke iklim değişikliği ile mücadele etmektedir. İklim değişikliğinin etkileri arasında kentsel bölgelerdeki su kaynaklarının yetersiz kalması ile tarımsal ve içme amaçlı sulara ihtiyacın artacağı değerlendirilmektedir (Türkeş vd., 2000). Yeni su kaynaklarının bulunması ve yerleşim yerlerine ulaştırılması küçük şebeke ağlarında makul maliyetlerle sağlanabilmektedir.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (422) 3774829 Faks: +90 (422) 3773041

Gönderim Tarihi / Received : 20/11/2024

E-posta: talharducoglu@gmail.com (Arduçoğlu T. İ.), furkanboztas@maski.gov.tr (Boztaş F.)
mahmut.firat@inonu.edu.tr (Fırat M.)

Kabul Tarihi / Accepted : 12/01/2025

Ancak ihtiyacın fazla olduğu büyük içmesuyu şebekelerinde ihtiyaç debisini karşılayacak bir kaynağın tespiti ve bu kaynağın şebekeye ulaştırılması, İdareler için büyük çaba ve mali kaynak gerektirmektedir. Su kaynağından alınan ve sisteme girişi sağlanan su ile faturası kesilen temiz su miktarı arasındaki fark gelir getirmeyen su ya da diğer bir tabirle kayıp su olarak adlandırılmaktadır.

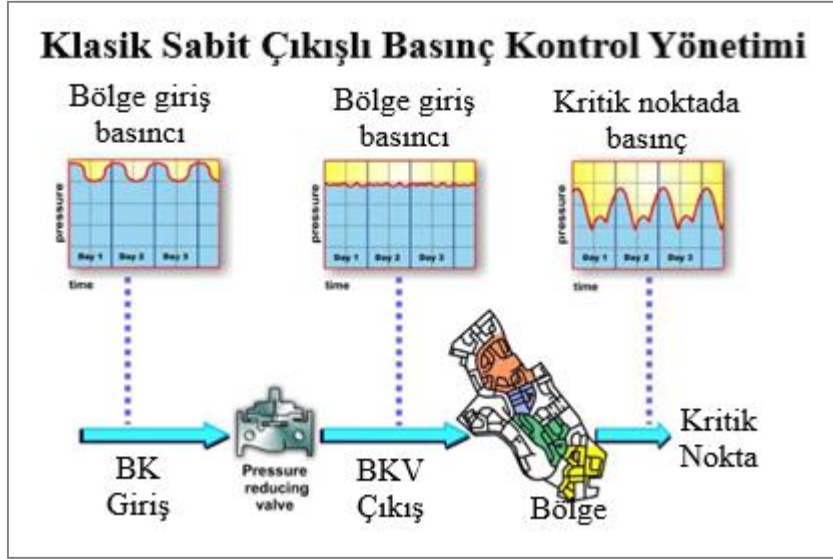
İçmesuyu şebekelerinde kayıpların azaltılması, genellikle yeni su kaynakları geliştirmekten daha ekonomik olarak görülmektedir (Fanner vd., 2007). İçme suyu dağıtım sistemlerinde oluşan su kayıpları temel olarak fiziki kayıplar (sızıntılar) ve idari kayıplar olarak iki temel bileşenden oluşmaktadır (Pearson, 2019). İdari kayıplar, sayaç hataları, veri kayıt hatalarından ve kaçak kullanımlardan kaynaklanan su kayıplarını, fiziki su kayıpları ise borularda ve bağlantı parçalarında meydana gelen kırık ve çatlaklardan, boru başı ve abone bağlantı hatalarından ve servis depolarından meydana gelen, tüketici sayacından önceki, kaçak ve taşmalardan kaynaklanan su kayıplarını ifade etmektedir (İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği, 2014). İçme suyu dağıtım sistemindeki işletme basıncı ile sızıntı arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır (May, 1994). Basınç arttıkça sızıntı artmakta, basınç azaldığında ise sızıntı azalmaktadır. Ancak basıncın fazla azalması durumunda ise kullanıcılara sağlıklı su tedariki sağlanamamaktadır. Birçok Su ve Kanalizasyon İdaresi sızıntılara karşı şebeke giriş basıncını kritik noktalara göre minimum seviyeye indirmektedir. Bu durumda gün içerisindeki su kullanımının değişkenliği sebebiyle basınç dalgalanmaları oluşmakta ve şebeke elemanları olumsuz etkilenmektedir. Malzeme bilimciler tarafından 20 m basınç değerinden küçük basınç değişimleri, su dağıtım sistemlerinde yaygın görülmesi sebebiyle kabul edilebilir bulunmaktadır (Folkman & Parvez, 2020). İşletme basıncının sızıntılara ve dalgalanmalara karşı hangi aralıkta ayarlanması gerektiği ise ortaya bir optimizasyon problemi çıkarmaktadır. 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 çalışmıştır. Araştırma neticesinde şebeke hatları değiştirilmeden yapılan izole ölçüm bölgelerinin su kayıp kaçak yönetiminde önemli faydalar sağladığı ifade edilmiştir.

Su kayıplarını etkileyen birçok parametrenin olmasının anlaşılmasıyla birlikte birçok araştırmacı farklı parametreler üzerine çalışmalar yapmıştır. İçme suyu sistemlerinde su kaybını azaltarak verimi artırmak için çalışma yapılabilecek optimizasyon çalışmaları uzun yıllardır uygulanmaktadır (Suribabu, 2012). Sangroula vd. (2022) su dağıtım şebekelerinin en düşük maliyetli tasarımı probleminde genetik algoritma yöntemini 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. Botella Langa vd.(2022) su dağıtım ağını boru çapı açısından optimize etmek için çalışmada Harmony Search adı verilen nispeten yeni bir meta-sezgisel algoritma kullanılmıştır. Negm vd. (2023), basınç kontrolü için vana ayar noktasını optimize etmek amacıyla temel takviyeli öğrenme algoritmasını kullanmıştır. Çalışmada, 26 m'lik optimize edilmiş bir ayar noktası bulunarak ve iki basınç kırıcı vanasında basit değişiklikler yapılarak ortalama sistem basıncı %2 düşürülmüştür.

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.

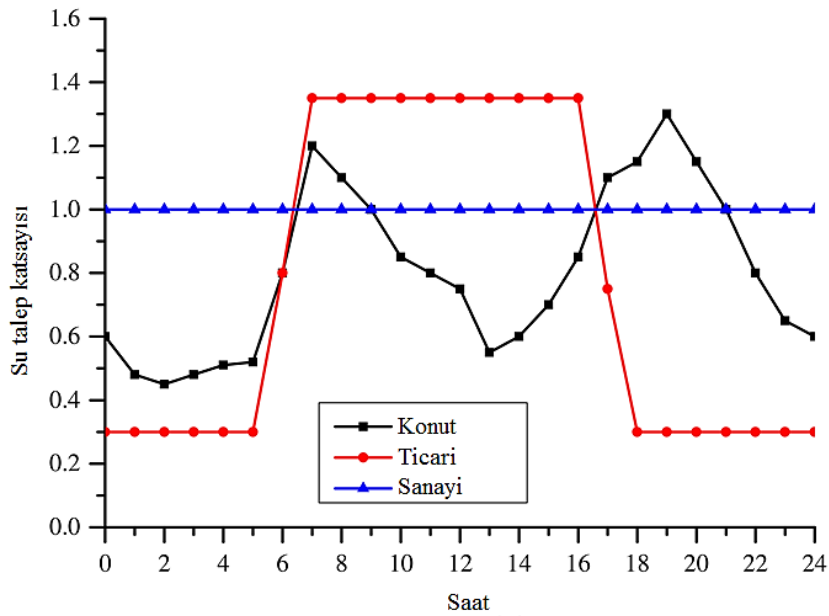
2. Materyal ve Yöntem

İçme suyu şebekelerinde sızıntıları doğrudan etkileyen en önemli parametrelerden biri de işletme basıncıdır. Basınç ile sızıntı miktarının arttığı literatürdeki birçok çalışmada geçmektedir (van Zyl & Cassa, 2014; Thornton & Lambert, 2005; Schwaller vd., 2015; Özdemir vd., 2021; Marzola vd., 2021; Lambert vd., 2017; Kabaasha vd., 2016; Dundović & Tadić, 2022; May, 1994). McKenzie & Wegelin (2009) tarafından yapılan çalışmada basınç yönetimi metotları, klasik sabit ayarlı yönetim, zaman ayarlı yönetim, debi ayarlı yönetim ve kapalı devre basınç kontrolü olarak sınıflandırılmıştır. Yapılan saha çalışmalarında basit olması nedeniyle genellikle klasik sabit ayarlı basınç yönetimi daha yaygındır. Bu yöntemde şebekenin girişine yerleştirilen bir basınç kırıcı vana yardımıyla işletme basıncı belirlenen bir değere sabitlenmektedir. Ancak sabit çıkış basıncı kullanıma ya da zamana bağlı olarak değişmemektedir. Bu yöntemdeki çıkış basıncının referansı, yalnızca şebekenin kritik noktasında oluşacak basınç değerine en yüksek tüketim saatinde minimum değerin altına inmemesidir. Bu minimum değere göre vanaya sabit bir çıkış basıncı tanımlanmaktadır.



Şekil 1: Klasik sabit basınç yönetimi (Mckenzie & Wegelin, 2009)

Klasik basınç yönetim senaryolarında giriş basıncının sabit olması nedeniyle sistemin işletme verimi düşmektedir. İleri basınç yönetim sistemlerinden olan zaman ayarlı yönetim, debi ayarlı yönetim ve kapalı devre basınç kontrolü yönetimlerinin uygulanması ile sistem verimi artmaktadır. Bu sayede şebekede tüketimin az olduğu saatlerde gerekli basınç değerinin üzerindeki basınçlar azaltılabilmektedir. İçmesuyu şebekelerinde tüketim saatlik olarak değişmekte ve bu değişim kaynaklı olarak işletme basıncında da dalgalanma oluşmaktadır. 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 2: Farklı bölgeler için 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 seçilirse genellikle sistemde ani değişimler diğer bölgelere göre daha az olmaktadır. Günümüzde çoğu problemin çözülmesinde farklı en iyileme algoritmaları kullanılmaktadır. Meta sezgisel algoritmalar, yüksek mertebeli çalışma alanında, efektif arama işlemleri kullanarak çözümleme evrenindeki en iyi çözüme daha çabuk şekilde gidilmektedir. Bir optimizasyon çözümlemesinin üç ana bileşeni vardır.

Bunlar amaç fonksiyonu, bilinmeyenler (değişkenler) ve kısıtlardır (Kahraman & Özdağlar, 2004). 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 çıkarılmıştır. İçme suyu sistemlerinde su kaybını azaltarak verimi artırmak için çalışma yapılabilecek optimizasyon çalışmaları uzun yıllardır uygulanmaktadır (Suribabu, 2012). Genetik Algoritma metodunun ortaya çıkışı 1970’li yılların başında olmuştur. Holland (1992) tarafından geliştirilen Genetik Algoritma (GA), tarihte önerilen ilk popülasyon tabanlı stokastik algoritmalarından biridir. Diğer Evrimsel Algoritmalar benzer şekilde genetik algoritmasının ana operatörleri seçme, çaprazlama ve mutasyondur. Genetik algoritma rastgele bir popülasyonla başlar. Bu popülasyon, çeşitliliği artırmak için Gauss rastgele dağılımından oluşturulabilir. Başlatma adımıdaki temel amaç, popülasyon çeşitliliğini artırmak ve gelecek vaat eden bölgeleri bulma şansını artırmak için çözümleri arama uzayına mümkün olduğunca eşit bir şekilde yaymaktır.

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 (objective function) Denklem 1’de gösterilmektedir. Ayrıca optimizasyon kısıtı Denklem 3’te gösterilmektedir.

$$\min OF = \sum_{i=1}^n \sum_{t=0}^m (\Delta P) \quad (1)$$

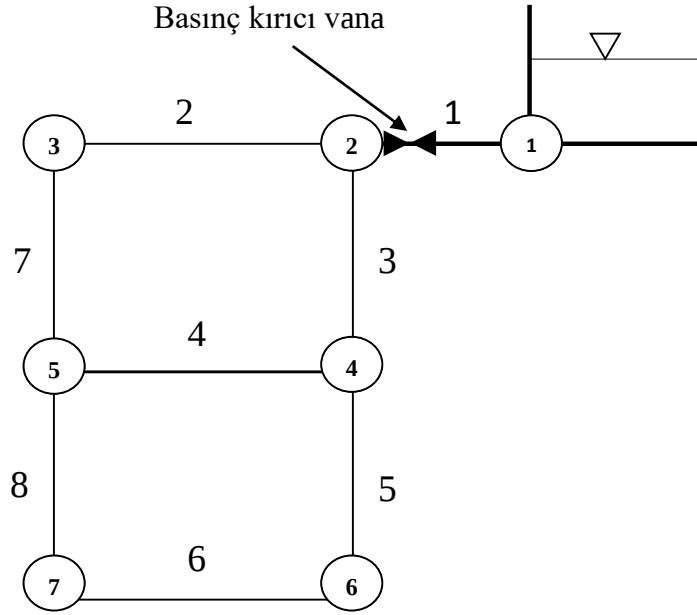
$$\min OF = \sum_{i=0}^m (P_{(t_{i+1},1)} - P_{(t_i,1)}) + \dots + \sum_{i=0}^m (P_{(t_{i+1},n)} - P_{(t_i,n)}) \quad (2)$$

$$65 \geq P \geq 15 \quad (3)$$

Burada, P ; işletme basıncı, ΔP ; basınç değişimi, n ; düğüm sayısını, m ; analiz yapılan saati, t ; zaman dilimi şeklinde tanımlanır. Çalışma kapsamındaki optimizasyon probleminin değişkeni şebekeye yerleştirilen basınç kırıcı vananın çıkış basıncı olacaktır. Optimizasyon sırasında algoritma amaç fonksiyonunu minimize etmek için çalışacaktır. Ancak şebeke kısıtlarından olan basınç değerinin tanımlanan referans değerlerin dışında kalması durumunda, algoritma basınç kırıcı vananın çıkış basıncını azaltıp artırarak tanımlanan aralık kümesinde tutacak ve amaç fonksiyonunun optimum değerini bulacaktır. 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 Şartnamesinde 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 15 m ve 65 m arasında seçilmiştir.

3. Çalışma Alanı

Bu çalışma kapsamında çalışma yürütülen alan (Alperovits & Shamir, 1977) tarafından yapılan çalışmada Şekil 2’de verilen ve 7 düğüm, bir depodan ve 8 borudan oluşan basit 2 gözlü bir şebekedir. 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. Modifiye edilmiş şebekede basınç kırıcı vana Şekil 3 te gösterilmiştir. Şekilde gösterilen ağ birçok araştırmacı tarafından en uygun tasarıma ilaveten güvenilirlik çalışması için de referans şebeke olarak 600 den fazla çalışmada kullanılmıştır. Bunlardan bazıları, Goulter ve Coals (1986), Fujiwara vd. (1987), Kessler ve Shamir (1989), Abebe ve Solomatine (1998), Cunha ve Sousa (1999), Eusuff ve Lansey (2003), Liong ve Atiquzzaman (2004), Chandramouli (2015), Van Dijk vd. (2008), Suribabu ve Neelakantan (2006), Samani ve Mottaghi (2006), Savic ve Walters (1997), Keedwell ve Khu (2005) şeklinde verilebilir.



Şekil 3: 2 gözlü su şebekesi (Alperovits & Shamir, 1977)

4. Analiz ve Değerlendirme

Bu çalışmada hidrolik modelin oluşturulması ve kalibrasyon süreçlerine etkin bir şekilde uygulanan EPANET programı kullanılmıştır. EPANET programı, Amerikan Çevre Koruma Ajansı (US EPA) tarafından geliştirilen, ücretsiz ve açık kaynaklı kodlu bir programdır. Bu çalışmada öncelikli olarak EPANET programında hidrolik modeli oluşturulan referans şebekeler belirlenmiştir. Bu referans şebekeler EPANET-MATLAB entegrasyonu sağlanarak MATLAB programına aktarılmıştır. EPANET-MATLAB Toolkit amacı, giderek büyüyen akıllı su ağları alanında araştırma ve geliştirme için ortak bir programlama çerçevesi olarak hizmet etmektir. Model 24 saatlik simülasyon ile çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Düğümlerin 24 saatlik tüketim çarpanı tanımlanmıştır. Bundan dolayı MATLAB üzerinden yazılan kod ile şebekede zamana bağlı basınç kontrolü yöntemi ile çalışma yapılmıştır. Bu periyotta basınç dalgalanmasının optimizasyonu için bir amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Klasik basınç yönetimi uygulanması durumunda, kritik noktaya kullanımın en yoğun olduğu saatte yeterli basınçta su iletilmesi için basınç kırıcı vananın çıkış basıncının analizi 20 m ile başlamış ve 65 m olan sınır değere kadar yükseltilmesi gerekmiştir. İleri basınç yönetimi senaryosunda ise kritik noktadaki tüketici memnuniyeti için belirlenen minimum basınç kırıcı vana çıkış basıncı Tablo 1’de verilmiştir.

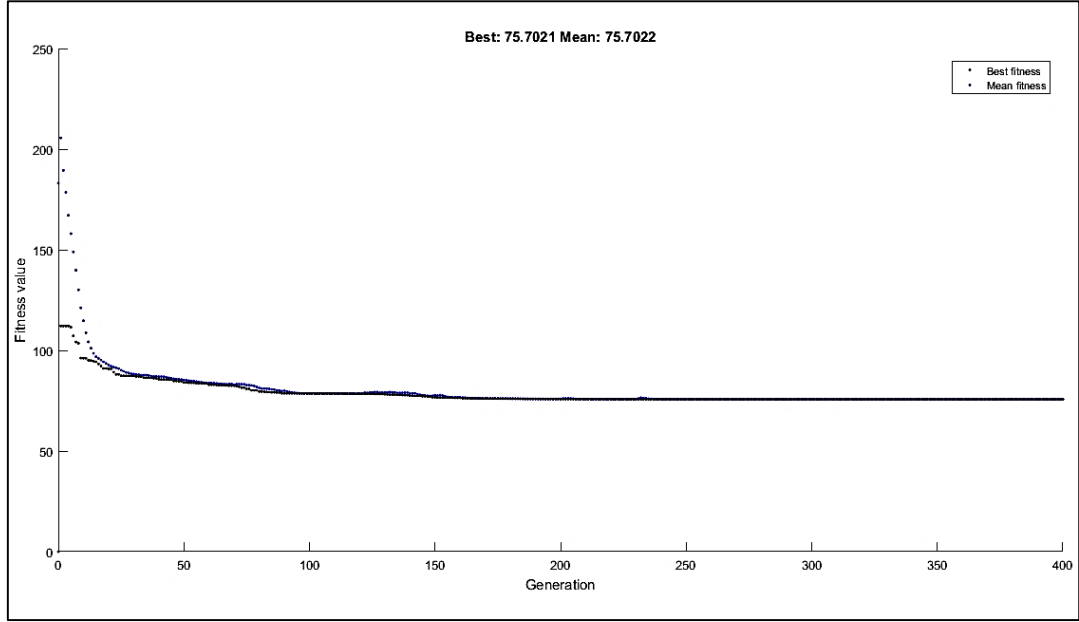
Tablo 1: İleri basınç yönetimi BKV minimum çıkış basınçları

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

MATLAB optimizasyon araç kutusu yardımıyla model çalıştırılmıştır. Optimizasyon yöntemi olarak genetik algoritma seçilmiştir. Optimizasyonda kullanılan iterasyon sayılarına göre amaç fonksiyonunun değişimi Tablo 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.

Tablo 2: İleri basınç yönetimi BKV minimum çıkış basınçları

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

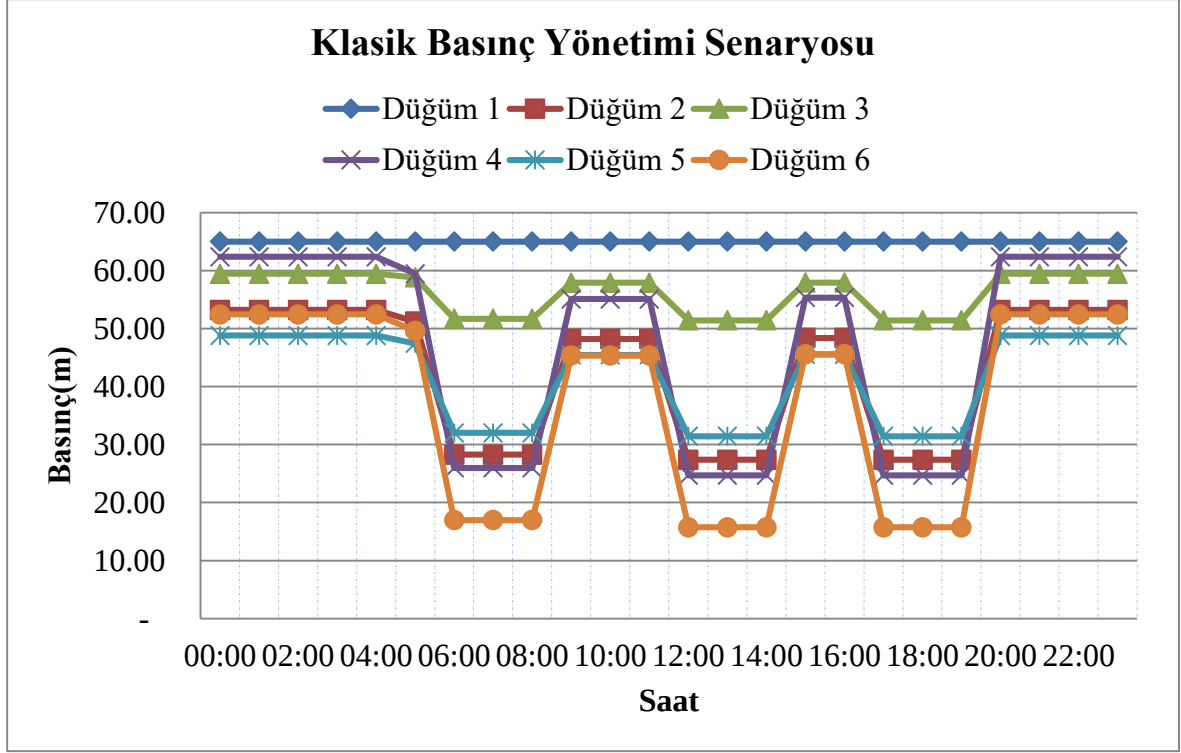


Şekil 4: İterasyon sayısına göre amaç fonksiyonu değişimi

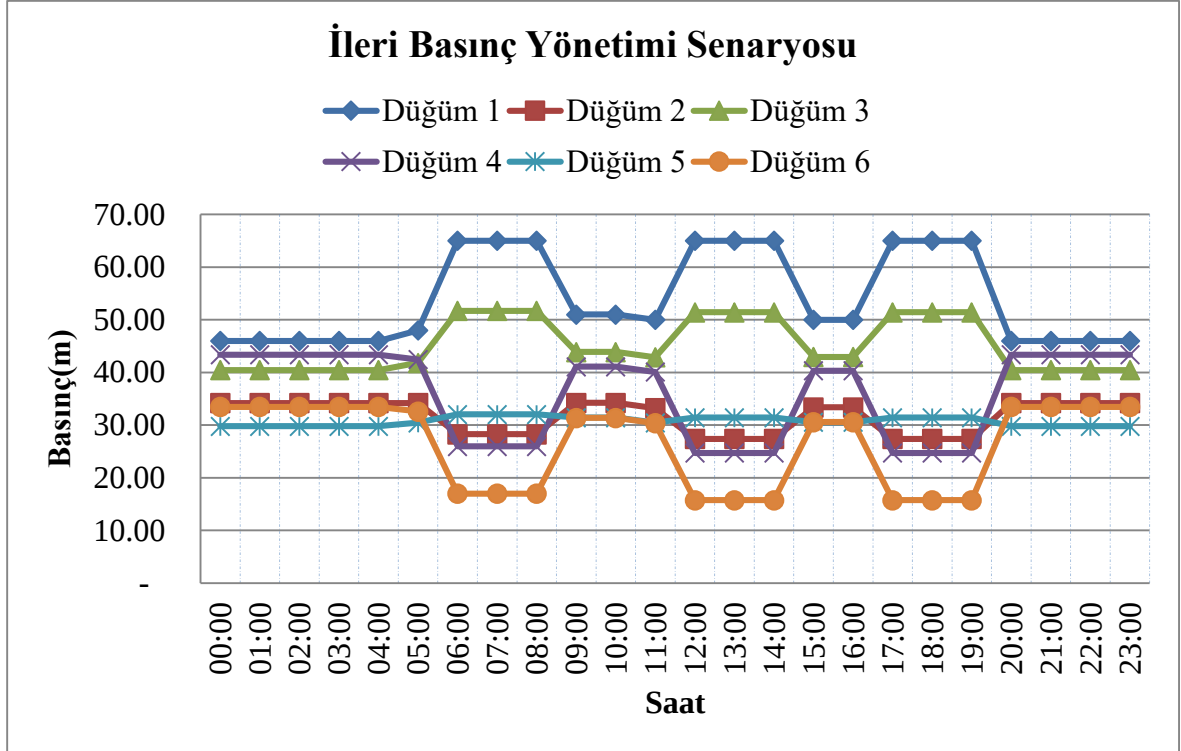
Genetik algoritma ile yapılan optimizasyonda popülasyon büyüklüğü çalışma saati sayısı olan 25 ve maksimum iterasyon sayısı ise 400 olarak seçilmiştir. Optimizasyon sonucunda oluşan ileri basınç yönetimi senaryosuna ait BKV çıkış basınçları Tablo 3'te listelenmiştir. Şekil 5 ve Şekil 6'da klasik basınç yönetimi ve ileri basınç yönetimi uygulamalarında saatlik düğüm basınç değişim grafikleri gösterilmiştir.

Tablo 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

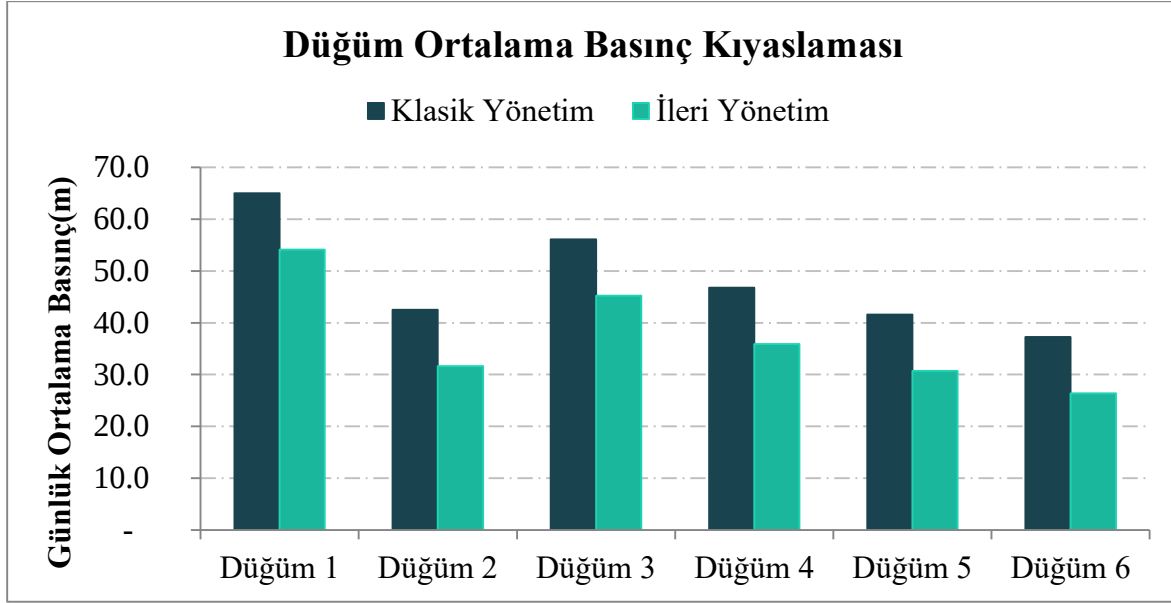


Şekil 5: Klasik basınç yönetimi düğüm basınç değişimi



Şekil 6: 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 7: 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. Basınçlar kıyaslandığında bu şebeke karakteristiğine özel olarak basınçların ileri basınç yönetiminde azaldığı gözlemlenmiştir. Şebeke ve tüketim türüne bağlı olarak bu veri değişebilmektedir. Uygulanan yöntemlere göre düğümlerin saatlik basınç farkı değerlerini gösteren grafikler EK’te gösterilmektedir. İleri basınç yönetimi uygulandığında düğümlerde oluşan basınç değişimlerinin genellikle azaldığı gözlemlenmiştir. Düğüm noktasının konumuna ve karakteristiğine göre bu azalmanın oranı değişmektedir.

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. 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. 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. 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. 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.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada ile 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 referans şebekeye ait veriler EPANET-MATLAB Toolkit ile MATLAB ortamına aktarılmıştır. Çalışma yapılan optimizasyon sonucunda 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. 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. 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. J., & Solomatine, D. P. (1998, August 24–26). *Application of global optimization to the design of pipe networks* [Conference presentation]. 3rd International Conference on Hydroinformatics, Copenhagen, Denmark.
- Alperovits, E., & Shamir, U. (1977). Design of optimal water distribution systems. *Water Resources Research*, 13(6), 885–900. <https://doi.org/10.1029/WR013i006p00885>
- 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 3550. <https://doi.org/10.3390/app12073550>
- 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>
- 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\(215\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1999)125:4(215))
- 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* [Yüksek lisans tezi, İnönü Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- 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\(210\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2003)129:3(210))
- Fanner, P., Thornton, J., & Liemberger, L. (2007). *Evaluating water loss and planning loss reduction strategies*. Awwa Research Foundation.
- Folkman, S., & Parvez, J. (2020). PVC pipe cyclic design method. *Pipelines*, 2020, 304–315. <https://doi.org/10.1061/9780784483213.034>
- Fujiwara, O., Jenchaimahakoon, B., & Edirisinghe, 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.
- 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\(287\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1986)112:3(287))
- Holland, J. H. (1992). *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. The MIT Press.
- İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği. (2014, 8 Mayıs). *Resmi Gazete* (Sayı: 28994). <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=19651&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- Kabaasha, A. M., van Zyl, J. E., & Piller, O. (2016, November 7–9). *Modelling pressure: Leakage response in water distribution systems considering leak area variation* [Conference presentation]. 14th CCWI International Conference, Computing and Control in Water Industry, Amsterdam, Netherlands.
- Kahraman, A. M., & Özdağlar, D. (2004). Su dağıtım sistemlerinin genetik algoritma ile optimizasyonu. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(3), 1–18.
- 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>
- Lambert, A., Fantozzi, M., & Shepherd, M. (2017, September 5–7). *Pressure: Leak flow rates using FAVAD: An improved fast-track practitioner's approach* [Conference presentation]. CCWI 2017 – 15th International Computing & Control for the Water Industry Conference, University of Sheffield.
- 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>
- Liong, S., & Atiquzzaman, M. (2004). Optimal design of water distribution networks using shuffled complex evolution. *Journal of The Institution of Engineers*, 44(1), 93–107.
- 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*. <http://www.leakssuite.com/wpcontent/uploads/2016/10/JOHN-MAYSEMINAL-1994-ARTICLE-4.pdf>
- Mckenzie, R., & Wegelin, W. (2009, February 21). *Implementation of pressure management in municipal water supply systems*. https://www.miya-water.com/fotos/artigos/03_implementation_of_pressure_management_in_municipal_water_supply_systems_3323280065a328bc009ead_9613006875f18100f66a3f.pdf
- Negm, A., Ma, X., & Aggidis, G. (2023). Review of leakage detection in water distribution networks. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1136(1), Article 012052. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1136/1/012052>
- 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>
- Pearson, D. (2019). *Standard definitions for water losses*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781789060881>
- Sangroula, 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 851. <https://doi.org/10.3390/w14060851>
- 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\(501\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:5(501))
- 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\(67\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1997)123:2(67))
- Schwaller, J., van Zyl, J. E., & Kabaasha, A. M. (2015). Characterizing 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>

- Sınnmaz, D. (2019). *İçme suyu dağıtım şebekelerinin hidrolik analizi ve su kayıplarının modellenmesi üzerine örnek bir çalışma* [Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- 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>
- Suribabu, C. R. (2012). Heuristic-based pipe dimensioning model for water distribution networks. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 3(4), 115–124. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000104](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000104)
- Thornton, J., & Lambert, A. (2005, September 12–14). *Progress in practical prediction of pressure: Leakage, pressure: Burst frequency, and pressure: Consumption relationships* [Conference presentation]. IWA Special Conference 'Leakage 2005', Halifax, Nova Scotia, Canada.
- Türkeş, M., Sümer, U. M., & Çetiner, G. (2000, 13 Nisan). *Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri*. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yayinlar/iklimetkileri.pdf>.
- Van Dijk, M., van Vuuren, S., & Van Zyl, J. (2008). Optimizing water distribution systems using a weighted penalty in a genetic algorithm. *Water SA*, 35(5), 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](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000813)

EKLER**EK-1:** Saatlik Basınç Farkı Grafikleri