



## Eruh Su Dağıtım Şebekesinin Metasezgisel Yöntemlerle Optimizasyonu

## Optimization Of Eruh Water Distribution Networks Using Metaheuristic Methods

Recep Demir<sup>1\*</sup>, Fevzi Önen<sup>2</sup><sup>1</sup> İLBANK A.Ş. Diyarbakır Bölge Müdürlüğü, [mrcepdmr@gmail.com](mailto:mrcepdmr@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5694-2449><sup>2</sup> Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, [fonen@dicle.edu.tr](mailto:fonen@dicle.edu.tr)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2368-1035>

## MAKALE BİLGİLERİ

## Makale Geçmişi:

Geliş 25 Temmuz 2023  
Revizyon 31 Ekim 2023  
Kabul 26 Aralık 2023  
Online 31 Aralık 2023

## Anahtar Kelimeler:

Epanet programı, Matlab, Epanet-MATLAB araç seti, Genetik algoritma, optimizasyon

## ÖZ

Suyun tüketicilere ulaştırılması maliyet gerektiren birçok işlemden oluşmaktadır. Bu maliyetin büyük bir kısmını su dağıtım şebekeleri oluşturmaktadır. Bu doğrultuda suyun tüketicilere ulaştırılması için kullandığımız şebeke borularının tasarımı da önem kazanmaktadır. Şebeke borularının maliyetlerini azaltmak için şebekenin tasarımı ve optimize edilmesi amacıyla kullanılan birçok yöntem geliştirilmiştir. Metasezgisel yöntemler kullanılarak boru çaplarının optimize edilmesi de bu yöntemlerden bir tanesidir.

Bu çalışmada Siirt ilinin Eruh ilçesine ait mevcut içme suyu şebeke hattı, Epanet programında yeniden tasarlandıktan sonra Epanet-Matlab araç seti kullanılarak şebekedeki boruların çapları ile ilgili maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon da metasezgisel yöntemlerden olan genetik algoritma (GA) kullanılmıştır. Mevcut durumuna uygun bir şekilde Epanet programı yardımı ile yeniden tasarlanan şebeke hatları, Matlab programına aktarıldıktan sonra şebeke borularına belli basınç kısıtlayıcıları getirilmiştir. Bu doğrultuda genetik algoritma kullanılarak şebeke boruları optimize edildikten sonra elde edilen yeni boru çapları yeniden Epanet programına girilerek sistem başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır.

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 25 July 2023  
Received in revised form 31 October 2023  
Accepted 26 December 2023  
Available online 31 December 2023

## Keywords:

Epanet program, Matlab, Epanet-MATLAB toolset, Genetic algorithm, optimization

## ABSTRACT

Due to the increasing population in our country, the correct use of water resources and the delivery of water to consumers are becoming increasingly important. The delivery of water to consumers consists of many processes that require cost. Water distribution networks constitute a large part of this cost. In this direction, the design of the network pipes we use to deliver water to consumers also gains importance. In order to reduce the costs of network pipes, many methods have been developed to design and optimize the network. Optimizing pipe diameters using metaheuristic methods is one of them.

In this study existing drinking water network of Eruh, which is a district of Siirt province, was redesigned with the Epanet program. After that, by using the Epanet-Matlab toolkit, the cost optimization of the water network was made regarding the diameters of the pipes in the network. Genetic algorithm (GA), which is one of the metaheuristic methods, was used in the optimization. After the network lines, which were redesigned with the help of the Epanet program in accordance with the current situation, were transferred to the Matlab program, certain pressure restrictors were introduced to the network pipes. In this direction, after the network pipes were optimized using genetic algorithm, the new pipe diameters obtained were re-entered into the Epanet program and the system was operated successfully.

Doi: 10.24012/dumf.1332405

\* Sorumlu Yazar

## Giriş

Tüm canlılar için vazgeçilmez olan su, yaşamın temel kaynaklarından birisidir. İnsanlık tarihinin başlangıcından günümüze yerkürede su bulunmaktadır. Dünyanın her yerinde kurulmuş olan medeniyetler suyun var olduğu bölgelerde kurulmuşlardır. İnsanoğlunun yerleşik hayata geçmesinin temelinde de sürekli su kaynaklarına ulaşım etkili olmuştur. Medeniyetlerin kurulması, mevcudiyetini devam ettirebilmesi su kaynaklarının varlığı ile mümkündür. Suyun yeterli miktarda ve istenilen kalitede olması insanlık tarihi açısından büyük önem taşımaktadır. İnsanlık tarihinde suyun yanlış kullanımı sebebiyle çöken birçok medeniyet bulunmaktadır. Su, kalabalık toplulukların bir arada yaşamını sürdürebilmesi için gerekli en temel şarttır. Kentlerin artan nüfus ve ihtiyaçları göz önüne alındığında suyun tek başına varlığı da anlamını yitirmekte olup, suyun dağıtım ve kontrolü açısından hidrolik mühendisliğin önemi gün geçtikçe daha çok artmaktadır.

Suyun temel kaynakları ise yeraltı suları, kar ve yağmur suları, nehirler, göller, denizler, okyanuslar ve buzullar olarak sınıflandırılabilir. Dünyada bulunan suyun (1400 milyon km<sup>3</sup>) %2,5'i (35 milyon km<sup>3</sup>) tatlı su kaynakları, %97,5'lik kısmı tuzlu su kaynaklarından oluşmaktadır. Toplam suyun %2,5'lik kısmını oluşturan tatlı su kaynaklarının %0,3'ü (105 000 km<sup>3</sup>) göller ve nehirlerde kullanılabilir durumda iken, kalan büyük bir kısmı ise kutup bölgelerinde ve yüksek dağlarda buzul halinde ve yeraltı suları şeklinde bulunmaktadır (Muluk vd., 2013).

Uzaydan çekilmiş bir uydu fotoğrafından dünyamıza bakıldığında büyük bir bölümünün su olduğu görünecektir. Bunun sebebi ise Dünya yüzeyinin büyük bir kısmının okyanuslarla kaplı olmasıdır. Bu şekilde olması, Dünyada bulunan suyun sanki hiç bitmeyeceği gibi yanlış bir algı oluşturabilir. Dünyada ki suyun yaklaşık 1.338 milyar km<sup>3</sup>'lük miktarı denizler ve okyanuslarda bulunan tuzlu sudur. Bu suyun insanlar için sağlıklı bir şekilde kullanılabilmesi ekonomik değildir. Bahsi geçen miktar, yeryüzünde bulunan toplam suyun %97,5'una karşılık gelmektedir. Dünyada bulunan su kaynaklarını incelediğimizde; tarımsal, evsel ve sanayide güvenli bir şekilde kullanılabilen olan su miktarı dünyada bulunan suyun ancak %2,5'lik kısmını oluşturmaktadır (Chin, 2000).

Tüm bunlar göz önüne alındığında su kaynaklarının yönetiminin yanı sıra su kaynaklarının tüketicilere uygun maliyetlerde ulaştırılması da büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde su kaynaklarının tüketiciye sağlıklı bir şekilde ulaştırılması işlemi kapalı sistemler kullanılarak yapılmaktadır. Kullanılan bu şebeke sistemlerinin uygun maliyette inşa edilmesi hidrolik mühendisliğin başlıca araştırma konusu olmuştur. İnşa edilecek su dağıtım şebekelerinin amacı talep edilen suyun en uygun maliyette belirli basınçlar altında kesintisiz bir şekilde tüketiciye ulaştırılmasıdır. Su dağıtım sistemleri içerisinde bulunan (hazne, derleme, iletim, kaynak ve dağıtım) maliyet oranlarına baktığımızda, suyunun iletimi ile dağıtım kısmının maliyeti %56'dır (Özdağlar vd., 2006).

Su Dağıtım Sistemleri	
İletim ve dağıtım	%56
Aritma	%26
Depolama	%9
Kaynak	%8
Diğerleri	%1

Tablo 1. Su dağıtım sistemlerinin maliyet dağılımı (Özdağlar vd., 2006)

Tablo 1'den de anlaşılacağı üzere iletim ve dağıtım sistemlerinin su dağıtım ve iletim maliyetinde %56 ile en büyük paya sahip olduğu görülmektedir. İletim ve dağıtım sistemlerinin içerisinde bulunan boru maliyetleri ise toplam maliyetin önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

New York şebekesini ele alan Schaaque ve Lai (1969) Dinamik Programlama (DP) yöntemini kullanarak şebekenin global optimum değeri üzerine çalışma yapmışlardır. Literatürde en çok kullanılan ve Alperovits ve Shamir (1977) tarafından oluşturulmuş, 8 adet borudan oluşan hayali bir şebeke olan Alperovits ve Shamir (1977) şebekesi üzerinde Lineer programlama (LP) yöntemiyle optimum değerin bulunduğu çalışmadır. Daha sonraki yıllarda ise Lineer programlamanın yanı sıra Lineer Eğimli Olmayan Programlama (LEOP) da birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. 1981 yılında ise Quindry ve arkadaşları (1981) New York şebekesini LP metoduyla ele alıp maliyet optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Yapılan bu optimizasyonun sonucunda şebekenin maliyet değerinin %13 oranında azaltıldığı tespit edilmiştir. Alperovits ve Shamir'in (1977) oluşturdukları gerçek olmayan bir şebeke üzerinde uyguladıkları LP yöntemini 1989 yılında Kessler ve Shamir'in amaç fonksiyonunu ve şebeke debilerinin değiştirmesi sonucu yaptıkları optimizasyonda Alperovits ve Shamir'in 1977 yılında elde ettikleri 497,525 birim maliyet değerini 417,500 birim maliyet değerine düşürmüşlerdir.

Bu çalışmada yapımı tamamlanmış olan bir şehir şebekesinin boru maliyetlerinin düşürülmesi amacıyla dağıtım şebekesi mevcut durumuna göre Epanet programında yeniden tasarlanmış, Matlab programı yardımıyla metasezgisel algoritmalar kullanılarak boru maliyet analizleri yapılmıştır. Mevcut çalışma iletim ve dağıtım sistemlerinin maliyet açısından önemli bir kısmını oluşturan boru maliyetlerinin minimize edilmesini sağlayarak toplam maliyeti azaltma imkânı sağlamıştır.

## Materyal

Siirt İlinin Erüh ilçesi içme suyu hattının tasarımı ve gerekli hidrolik hesapları Epanet programı kullanılarak yapılmıştır. Epanet ile tasarlanan sistemin çıktıları Epanet'i Matlab'a bağlamamıza yarayan bir araç seti ile Matlab'a yüklenmiştir. Matlab R2018 programı kullanılarak optimizasyon işlemi yapılmıştır.

## Eruh ilçesinin genel durumu

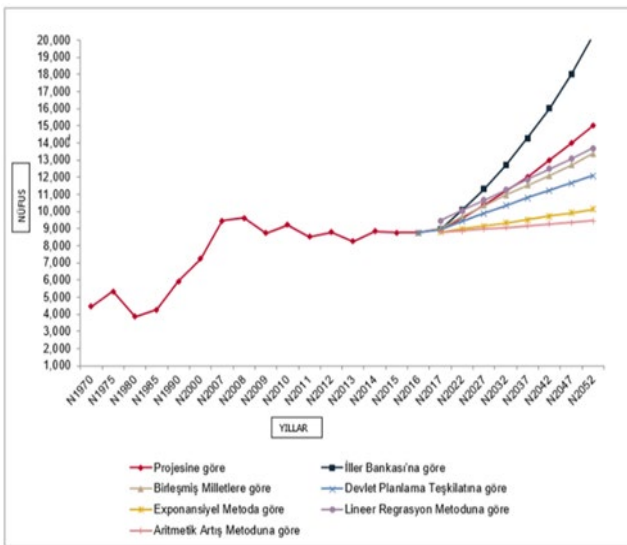
Güneydoğu Anadolu bölgesinde bulunan Eruh ilçesi Siirt iline bağlı ilçe merkezidir. İlçenin doğusunda Şırnak Güneydoğusunda ve batısında Siirt ili yer almaktadır. İlçede toplam 3 mahalle mevcut olup bunlar Fatih, Sarıgül ve diğ mahalleleridir. Şekil 1'de görüldüğü gibi Eruh ilçesi Güneydoğu Anadolu bölgesinde oldukça dağlık bir kesimde yer almaktadır (Demir, 2022).



Şekil 1. Eruh İlçesi Genel Görünüm (Demir, 2022)

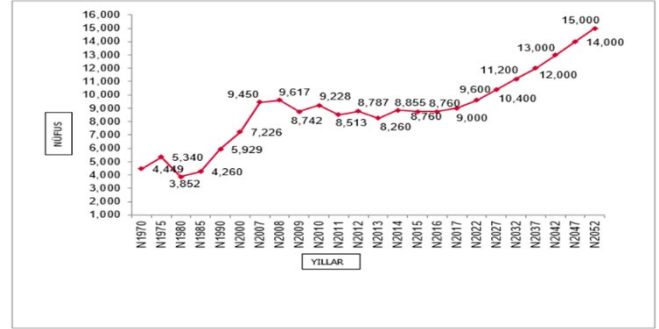
## Nüfus hesapları

Bir yerleşim biriminin içme ve kullanma suyu ihtiyacının belirlenmesi doğrudan doğruya nüfus ile doğru orantılıdır. Eruh ilçesi nüfusu İller Bankası Şartnamesine, geometrik (exponansiyel) metoda, lineer regresyon metodu ve aritmetik artış metoduna, DPT ve BM teşkilatı tarafından yapılan kabullere göre hesaplanarak Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Eruh ilçesi içme suyu projesi nüfus artışları grafiği (Özbek, 2017)

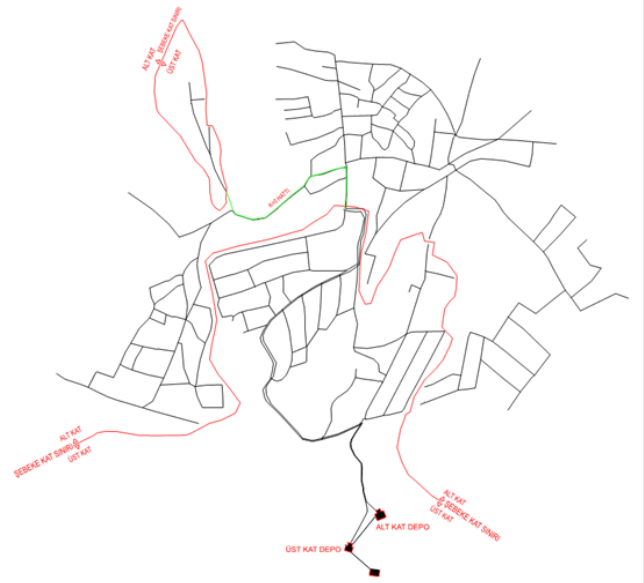
İller Bankası şartnamesine göre 2016 yılı baz alınarak yapılan Siirt ilinin Eruh ilçesine ait gelecek nüfus hesaplamasında  $\text{Ç}$  katsayısı 1.5 alınarak 2052 yılı nüfusu  $N_{2052} = 15000$  kişi olarak hesaplanarak Şekil 3 de gösterilmiştir.



Şekil 3. Eruh ilçesi içme suyu projesi İller Bankası şartnamesine esas nüfus grafiği (Özbek, 2017)

## Su dağıtım şebekesi

Eruh ilçesi içmesuyu projesine göre ilçenin gelecekteki içme suyu ihtiyacı Siyahçeşme kaynağından karşılanacaktır. Siyahçeşme kaynağı, Eruh'un güneydoğusunda yer alan kireçtaşlarından boşalan karstik kaynaktır. Cazibeyle gelen suyun debisi  $Q_{maks}$ : 110 lt/sn ve  $Q_{min}$ : 60 lt/sn'dir. Proje debisi ise,  $Q = 40$  lt/sn'dir. Siyahçeşme kaptajının kaynak krepin kotu 1271,48 m'dir. Onaylı projeye göre Eruh içme suyu şebeke tesisi 2 katlı olarak çözümlenmiştir. Üst kat şebeke 1224,00 m krepin kotunda inşa edilecek olan  $V = 400$  m<sup>3</sup> depodan beslenecektir. Alt kat şebeke ise 1187,00 m krepin kotunda inşa edilecek olan  $V = 1500$  m<sup>3</sup> depodan beslenecektir. Şekil 4.'te Eruh ilçesi içme suyu tesisinin projesi verilmiştir.



Şekil 4. Eruh ilçesi içme suyu projesi 1. kademe şebeke hatları (Demir, 2022)

## Epanet

Epanet programı basınçlı şebekelerdeki hidrolik davranışın ve suyun kalitesinin değişimini çok zamanlı simülasyonlarla (bir gün veya birkaç gün) gerçekleştiren bir bilgisayar programıdır. İçmesuyu şebekesi, borulardan, düğümlerden (boru bağlantıları) pompalardan, valflerden, depolama tanklarından ve rezervuarlardan oluşur. Epanet, birden çok zaman adımından oluşan bir simülasyon süresi boyunca borulardaki akışların gelişimini, her düğümdeki basıncı, tanklardaki su yüksekliğini ve ağdaki kimyasal türlerin konsantrasyonunu izler. Ek olarak, su yaşını simüle edebilir ve kaynak takibi yapabilir. Epanet, bir su dağıtım ağını düğüm noktalarına bağlı bir grup bağlantı olarak modeller. Bağlantılar boruları, pompaları veya kontrol valflerini temsil eder. Düğümler, su talebi olan veya olmayan tankları, rezervuarları veya boru bağlantılarını temsil eder. (Niño vd., 2018).

Epanet'in hidrolik modelleme kabiliyetleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Rossman, 2000);

- Şebekeyi çözerken Darcy-Weisbach, Chezy-Manning ya da Hazen-Williams formüllerini kullanarak yük kayıplarını hesaplar.
- Şebeke ağının boyutlarına sınır koymaz.
- Düğüm noktaları, bağlantı parçaları gibi noktalarda oluşan küçük yersel kayıpları içerir.
- Pompaları modeller ve pompalama için gereken enerjiyi hesaplar.
- Kontrol, basınç vb. vanaları modeller.
- Depolama tanklarının boyutlandırılmasına ve istediğimiz geometriye sahip olmasına imkân verir.
- Düğüm noktalarında oluşacak taleplere göre modelleme yapılmasına olanak verir.

## Epanet-MATLAB Araç Seti

Epanet'in çağrılma yöntemleri bağımsız bir yürütülebilir yazılım olarak, standart bir kabuk (örneğin, Windows'ta Komut Satırı) aracılığıyla çağrılabilir. Paylaşılan bir nesne olarak, ör. Windows, dinamik bağlantı kitaplığı (DLL), değişik programlama dillerinde (Matlab, C++, VB, Python vb.) yazılmış harici yazılımlar benzeri programlama arabirimleri vasıtasıyla çağrılabilir. Epanet'i Matlab ile ara yüzlemenin üç yöntemi bulunmaktadır;

- İlk yöntem, Matlab'ın kitaplık işlevlerini yüklemek ve çağırmak için yerleşik yöntemlerini (yani loadlibrary ve calllib işlevlerini kullanarak) kullanmayı gerektiren programlama aracının yerleşik işlevi aracılığıyla Epanet kitaplığına doğrudan çağrı yapmaktır.
- İkinci yöntem, "sarmalayıcı" kullanmaktır; Bunlar Epanet işlevleriyle benzer adlandırma kurallarını izleyen, kitaplıkla dahili olarak iletişimi yöneten Matlab yöntemleridir. Kullanıcının özel veri yapıları tasarlamasını gerektirir. Her Epanet işlevi için, karşılık gelen bir Matlab işlevi gereklidir ve bu

işlevler kullanılarak yeni algoritmalar tasarlanmalıdır.

- Üçüncü yöntem, ağ yapısını işlemek için standart bir yol sağlayan bir Matlab sınıfı tanımlayarak, birden çok işlevi kullanan prosedürlerin yanı sıra tüm işlevleri çağırmak, simüle etmek ve genel olarak farklı türleri gerçekleştirmek için nesne yönelimli bir yaklaşım kullanmaktır. İşte Epanet-Matlab Toolkit bu yaklaşımı kullanır.

Epanet'te oluşturulan verilerin Matlab aracılığı ile çağrılabilmesine olanak sağlamanın yanı sıra bu verilerin okunması, işlenmesi ve oluşturulan bir problem üzerine değişiklik yaparak optimizasyon işleminin gerçekleştirilebilmesine olanak sağlayan bir arayüz programıdır. Bu çalışma kapsamında Epanet-Matlab toolkit kullanılmıştır.

## Matlab

Matlab, 1970'lerin sonlarında Cleve Moler tarafından geliştirilmeye başlanan programın ilk sürümü Fortran programlama dilinde yazılmıştır. Jack Little ile Steve Bangert 1983 yılında C programlama dili ile tekrar yazmış ve geliştirme çalışmaları için 1984 yılında MathWorks laboratuvarını kurmuşlardır (Kubat, 2019). Matlab; kontrol, görüntü işleme, istatistik, optimizasyon, bulanık kontrol, sinir ağları, sayısal işaret işleme, güç sistemleri, filtre dizaynı, genetik algoritma, şekil, veri tabanı, web sunucusu, finans vb. gibi çeşitli birçok alanda güvenle kullanılabilen toolbox diye adlandırılan araç kutularına sahip programlama dilidir (Kubat, 2019). Matlab C, C++, Fortran ve Java benzeri dilleri farklı olan programlara bağlanma imkânı da sağlar. Gün geçtikçe özellikleri geliştirilen Matlab, değişik alanlardaki birçok problemin çözümünde de aktif olarak kullanılmaktadır. Birden fazla algoritmaya tek bir satır komutuyla ulaşabilmesi sayesinde birden çok satırda bulunan algoritmaları kısaltıp, hem algoritmanın bitiş süresini hem de bellek ihtiyacını önemli oranda azaltmaktadır (Kubat, 2019).

## Metod

Bu çalışmada kesin projesi tamamlanmış olan Eruh İlçesinin içme suyu şebeke hattı mevcut haline uygun olacak şekilde Epanet programı kullanılarak yeniden tasarlandıktan sonra Epanet-Matlab araç seti vasıtasıyla şebeke üzerinde maliyet optimizasyonu yapılmıştır.

## Su Dağıtım Şebekesinin Tasarlanması

Su dağıtım şebekelerinin ihtiyaca cevap verecek şekilde optimum bir şekilde tasarlayabilmek maliyet açısından çok ehemmiyetlidir. Şebeke içerisinde geniş boruların seçilmesi, işçilik ve nakliye maliyeti açısından çok ekonomik değildir. Geniş çaplı boruların seçilmesinin aksine yetersiz gelecek dar boruların seçilmesi aşırı yük ve hız kaybı ile yetersiz debi gibi problemleri ortaya çıkaracaktır. Bu yüzden boru çapı seçilirken hidrolik hesaplar neticesinde tüm sınırlayıcıları sağlayan, ihtiyaca cevap veren boru çapı tespit edilmelidir.

Epanet programı yardımıyla kolaylıkla tasarımı yapılan su dağıtım şebekelerinin optimum değerine Epanet ortamında ulaşılamamaktadır. Bütün ihtimalleri deneyerek optimum boru çapını bulmak özellikle büyük ve karmaşık şebekelerde neredeyse imkansızdır. Bu haliyle şebekedeki optimum çap değerine ulaşmak optimizasyon problemi haline gelmiştir (Batmaz, 2021, Batmaz ve Kayaalp, 2023). İçme suyu şebeke hatlarını optimum bir şekilde tasarlayabilmek için odaklanılan ana faktör, şebekenin ihtiyaç duyduğu miktarda suyu olabilecek en düşük maliyetle tüketiciye ulaştırmaktır. Bu çalışmada Epanet programı ile yeniden tasarlanan içme suyu şebeke hattı Matlab ile optimize edilerek, kullanılan boruların en uygun maliyetle seçilmesine odaklanılmıştır. Bu doğrultuda şebeke tasarımında kullandığımız amaç fonksiyonu;

$$f = \min \sum_{i=1}^M BD_i L_i \quad (1)$$

bu şekilde ifade edilmiştir. Bu denklemde “f” ifadesi amaç fonksiyonu; “M” ifadesi şebekede bulunan toplam boru sayısı; “BD<sub>i</sub>” ifadesi seçilmiş herhangi bir i sayılı boru birim maliyeti; “L<sub>i</sub>” ifadesi ise seçilen i sayılı borunun uzunluğu olarak ifade edilmektedir. Denklem 1’de belirtilen amaç fonksiyonu ile optimum maliyet hesaplaması yaparken tasarım kriterlerine de hizmet edecek şekilde sınırlayıcılar eklenmiştir. İller Bankasının içme suyu tesisleri etüt, fizibilite ve projelerin hazırlanmasına ait teknik şartnamesinde, içme suyu şebekelerinde işletme basınçlarının minimum ve maksimum değerleri nüfusa göre belirlenmiştir. Buna göre nüfusu 50.000 kişiye kadar olan yerlerde minimum işletme basıncı 20 metre, 50.000 kişiden fazla nüfusu olan yerlerde ise 30 metre alınır. Maksimum işletme basıncı ise şebekenin bulunduğu yerin topoğrafik durumuna da bakılarak 60 – 65 metre olarak alınır. Bu çalışma kapsamında kullanılan Eruh ilçesi içme suyu kesin projesine esas müstakbel nüfusun N<sub>2052</sub> = 15000 kişi olması sebebiyle şebeke düğüm noktalarında kullanılacak minimum basınç değeri 20 metre olarak alınmıştır. Bu basınç değerlerine uyacak şekilde bir basınç sınırlayıcısı eklenmiştir. Düğüm noktalarında basınç sınırlayıcı denklem ise;

$$P_{min} \leq P_j \leq P_{max} \quad j = 1 \dots \dots \dots N \quad (2)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Bu denklemde “N” ifadesi şebekede bulunan düğüm noktası sayısının toplamını; “P<sub>min</sub>” ifadesi şebekede bulunan düğüm noktalarının minimum basınç değerini; “P<sub>max</sub>” ifadesi şebekede bulunan düğüm noktalarının maksimum basınç değerini ve “P<sub>j</sub>” ifadesi ise şebekede bulunan j numaralı düğüm noktasının basınç değerini ifade etmektedir. Amaç fonksiyonumuz şebekede bulunan düğüm noktaları basınçlarının istediğimiz alt (P<sub>min</sub>) ve üst (P<sub>max</sub>) sınırları arasında kalmasını sağlayan bir ceza değeriyle sınırlandırılmıştır. Bu ceza değerinin denklemi de amaç fonksiyonumuza eklenmiştir.

$$f = \min \sum_{i=1}^M BD_i L_i + P_{ceza} \quad (3)$$

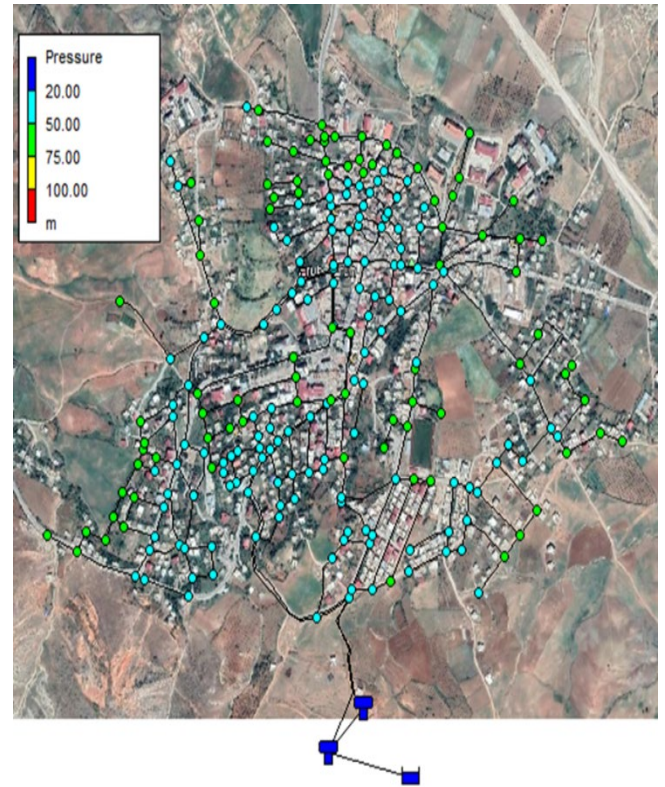
Yukarıda belirtilen denklemde düğüm noktalarındaki basınç değerleri sınırladığımız değeri aşarsa çıkacak sonuç değere ceza maliyet değeri P<sub>ceza</sub> eklenerek (9x10<sup>50</sup> gibi çok büyük bir değer) toplam şebeke maliyetinin çok büyük olması sağlanmıştır. Tekrarlayan aşamalarda çıkan çözüm fonksiyonları maliyet değerlerine göre sınırlanarak, minimum maliyet değerine tekabül edecek çözüm sonucu aslında istenen sonuç olacağından belirlenen sınırları aşan sonuçlar elenecektir.

$$Q_j^{giren} - Q_j^{cikan} - Q_j^{cekilen} = 0 \quad j = 1 \dots \dots \dots N \quad (4)$$

eşitliği yardımı ile şebekede bulunan düğüm noktalarındaki süreklilik kontrolü yapılır.

## Eruh ilçesi içme suyu şebekesi

Eruh İçme suyu tesisinin İller Bankası A.Ş. tarafından onaylanan kesin projesi MsSu programı kullanılarak hazırlanmış ve 2021 yılında ise imalatı tamamlanmış olan Eruh (SİİRT) içme suyu şebeke hattı Şekil 5’te gösterildiği gibi Epanet programı vasıtasıyla yeniden tasarlanmıştır.



Şekil 5. Eruh ilçesi içme suyu şebekesinin Epanet programı ile tasarımı

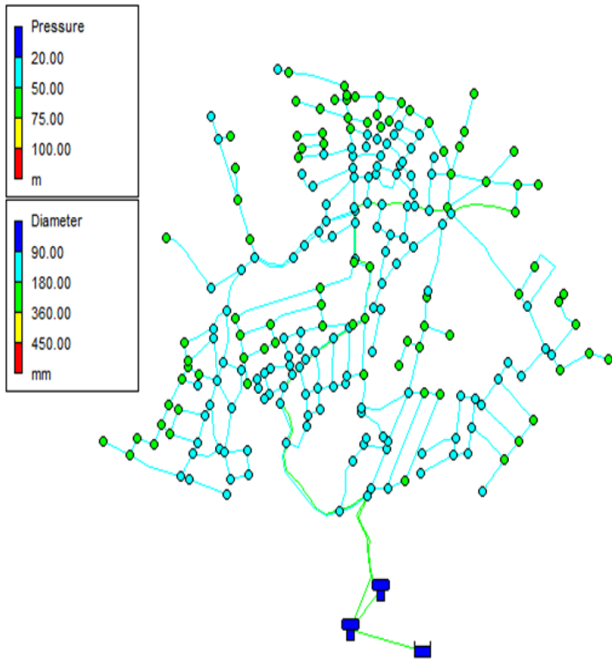
Eruh ilçesi şebeke hattı 284 adet boru, 225 adet düğüm noktası, 2 adet depo ve 1 adet rezervuardan oluşmaktadır. Şekil 5’te gösterilen ve Epanet ile yeniden tasarımı yapılan bu şebeke mevcut olan şebekeye uygun tasarlanmıştır. Şebeke düğüm noktalarındaki basınç değerleri minimum 20 m olarak belirlenmiştir. Şebekede kullanılan boru cinsleri polietilen (PE100) 10 atü olup, şebekenin optimizasyonunda kullanılacak boruların birim maliyet değerleri Tablo 2’de

gösterilen İller Bankasının 08.01.2021 onay tarihli fabrika teslim fiyatları (KDV hariç) esas alınarak yapılmıştır.

Fabrika Teslim Boru Fiyatları		
Basınç (Atü)	Çap (mm)	Birim maliyet (Birim/TL)
10	355	355.50
10	280	220.60
10	200	114.40
10	160	73.30
10	140	56.20
10	90	23.70

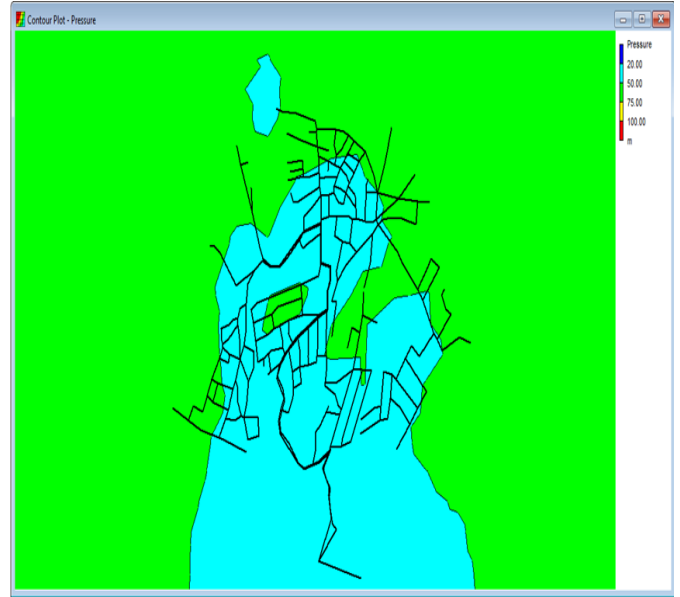
Tablo 2. İller Bankasının 08.01.2021 Onay Tarihli Fabrika Teslim Boru Fiyatları

Şebekenin optimizasyon öncesi yapılan Epanet tasarımı Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Optimizasyon öncesi Eruh ilçesi içme suyu şebekesi Epanet programı ile tasarımı

Şekil 7'de ise mevcut şebekenin basınç kontur grafiği verilmiştir. Eruh ilçesi mevcut şebekesinin Epanet programında tasarımı yapıldıktan sonra tüm düğüm noktalarında oluşan basınç değeri 20 m'lik minimum basınç sınır değerini sağlamaktadır.



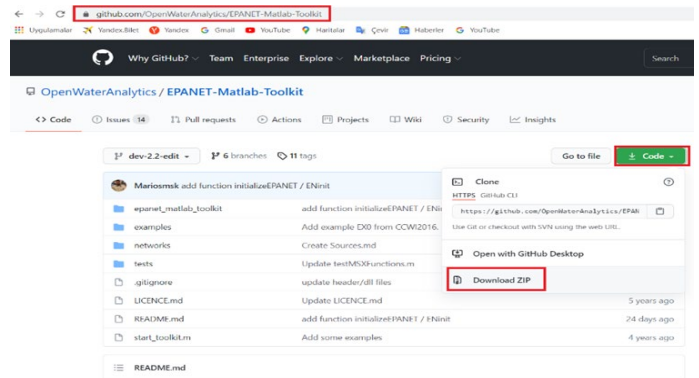
Şekil 7. Eruh ilçesi içme suyu şebekesi Epanet Programı Contour-Plot Pressure grafiği

Eruh ilçesi su dağıtım şebekesinde tüm sistem cazibeli olarak çalışıyor olup, mevcut boru çapları ve mevcut kotlar kullanılarak tasarım yapılmıştır.

## Epanet-matlab araç setinin kullanılması

Epanet-Matlab araç setinin kullanım aşamaları;

**Adım 1:** Ücretsiz portal olan Github'daki "Open Water Analytics" şirketinin kurucuları Marios Kyriakou ve Demetrios Eliades tarafından oluşturulmuş dijital bir depoda erişilebilen Matlab programının Epanet programına arayüz olmasını sağlayan Epanet-Matlab araç setinin ilgili kodları Github internet sitesinden<sup>1</sup> elde edilerek Matlab programına taşınmıştır (Şekil 8).

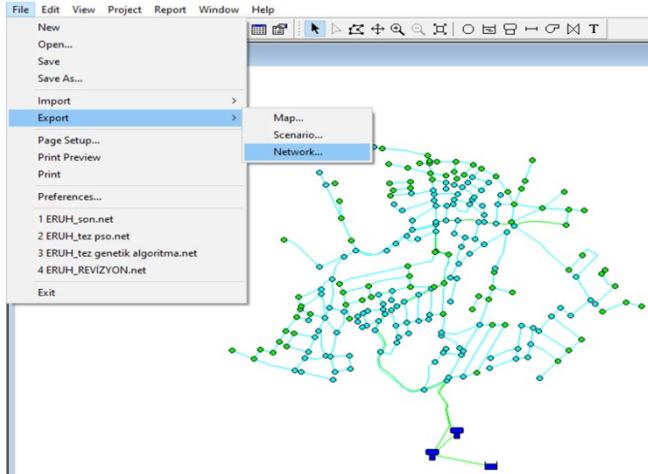


Şekil 8. Epanet-MATLAB araç seti internet adresi

**Adım 2:** Sistem şebeke boru çapları ve diğer tüm değerleri Eruh su dağıtım şebekesi verilerine uygun bir şekilde Epanet programında tasarlandıktan sonra oluşan şebeke verileri inp.

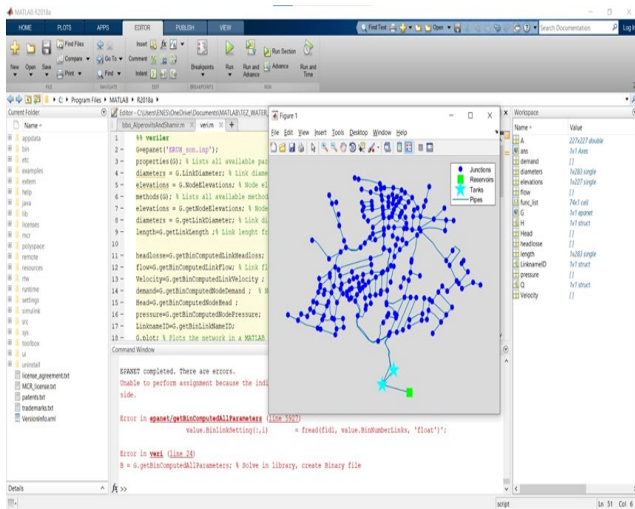
<sup>1</sup> <https://github.com/OpenWaterAnalytics/EPANET-Matlab-Toolkit>

formatıyla dışa aktarılıp Matlab programının ilgili dosya klasörüne gönderilir (Şekil 9).



Şekil 9. Epanet programından şebeke verilerinin çekilmesi

**Adım 3:** Epanet programında tasarlanan şebeke verileri, Matlab ortamında açılacak yeni bir editörde kodlar yardımıyla çağrılarak, veriler üzerinde istenen işlemler yapılır (Şekil 10).



Şekil 10. Epanet verilerinin MATLAB ortamında okutulması

## Optimizasyon

Optimizasyon işlemi, ele alınan bir sistemde belirlediğimiz belli kısıtlar altında, oluşturduğumuz bir amaç fonksiyonu çıktı değerinin optimum olması amacıyla karar değişkenlerine gelecek değerleri belirleme işlemidir. Başka bir deyişle, eldeki kaynakların (zaman, para, malzeme vb.) en uygun biçimde kullanılması amacıyla, belli kısıtlayıcılar altında istenen maksimum verimin alınmasını sağlayan bir teknolojidir. İstenen optimum sonuca ulaşmak amacıyla sisteme giren değerleri ve bu değerlerin ne olacağını belirleme süreci olan optimizasyonda, amacı ifade eden fonksiyonun optimum olması, problemin çeşidine göre minimum yada maksimum değerler olabilir. Bu çalışmada metasezgisel yöntemlerden olan Genetik Algoritma (GA) yöntemi kullanılmıştır. Bu metasezgisel yöntem,

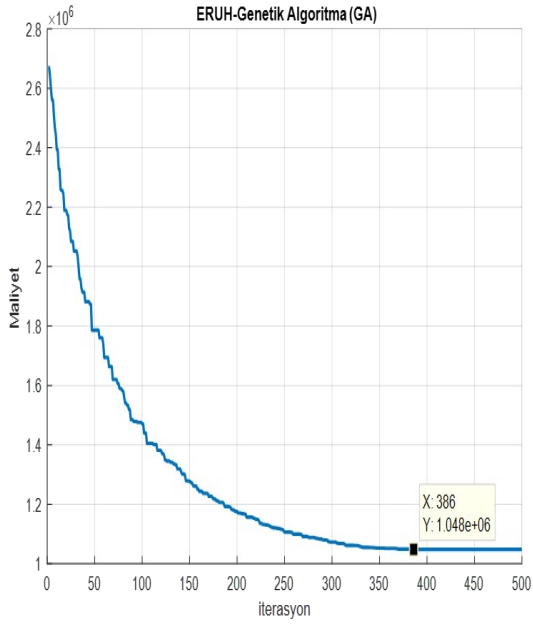
kullandığımız algoritmaların çözeceğimiz problem yapısına uyarlanması ile elde edilen çözüm yöntemlerden biridir.

## Optimizasyon değişkenleri

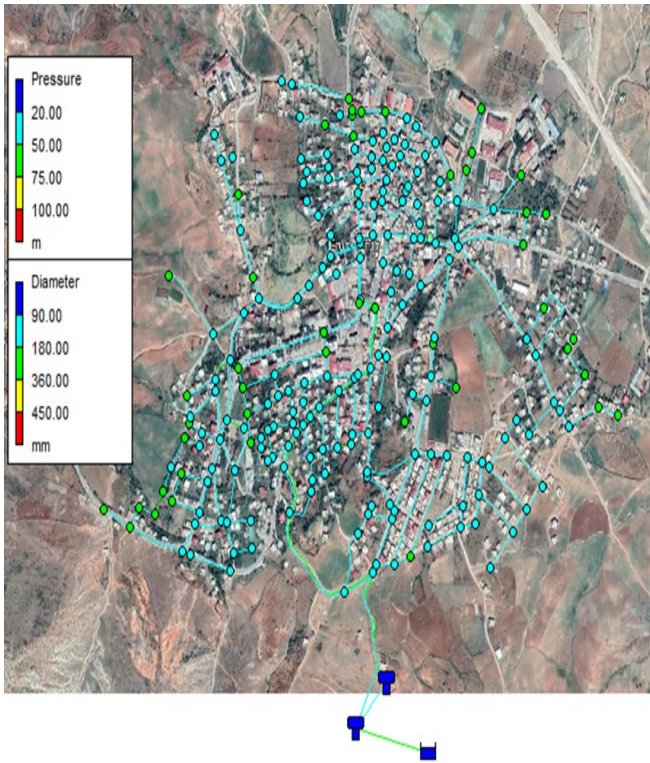
Bu çalışma kapsamında algoritmalarda kullanılmış (nPop) ifadesi popülasyonun sayısını, (MaxIt) ifadesi iterasyonların maksimum sayısını gösterirken, algoritmanın yapısına uygun değişebilen kontrol parametrelerini ise kullanıcı belirlemektedir. Popülasyon sayısı (nPop), algoritmada bulunan bireylerin en uygun değerleri problemin muhtemel çözümüne karşılık gelecektir. Maksimum iterasyon sayısı (MaxIt) ise algoritmada bulunan döngülerin toplam sayısı olarak ifade edilebilir. Yapılacak döngülerin her biri kendi içerisinde popülasyonun sayısına denk sayıda çözümler üretir. Kullanılan algoritmada farklı bir alt döngü yok ise popülasyon sayısının iterasyon sayısı ile çarpılmasıyla değerlendirme sayısına ulaşılır. Kullanılan algoritmaların cinsine göre diğer kontrol parametreleri değişiklik gösterebilir. genetik algoritmada kullanılan işlemlerde mutasyon oranı (Pm), çaprazlama oranı (Pc) gibi bir değer alır. Sonuca ulaşma süresi problemin yapısına uygun değer kümesinin seçilmesi ile ilgilidir. Bu nedenle bu çalışmada algoritma için uygun değerlerin belirlenmesi deneme yanılma yolu ile yapılmaya çalışılmıştır.

## Genetik algoritma (GA) ile maliyet optimizasyonu

Eruh ilçesi su dağıtım şebekesinde genetik algoritma (GA) ile yapılan optimizasyon işleminde kullanılmak üzere kontrol parametreleri; mutasyon oranı (Pm) 0.93, popülasyon sayısı (nPop) 500, çaprazlama oranı (Pc) 0.25, ve seçim yöntemi olarak da rulet tekerleği yöntemi seçilmiştir. Toplamda 500 iterasyon yapılarak gerçekleşen optimizasyon işleminde optimum maliyet değeri olan  $1,048 \times 10^6$  TL değere 386. iterasyonda ulaşılmıştır. Amaç fonksiyonu optimum maliyet değerine ulaşana kadar  $386 \times 500 = 193000$  kez çalıştırılmıştır. Optimizasyon sonucunda maliyet değerinin yapılan iterasyonlar boyunca değişimi Şekil 11'de, optimizasyon sonucu elde edilen yeni boru çapları kullanılarak yeniden Epanet programında tasarlanan Eruh ilçesi içmesuyu şebekesinin düğüm noktalarındaki basınç değerleri ise Şekil 12'de gösterilmektedir.

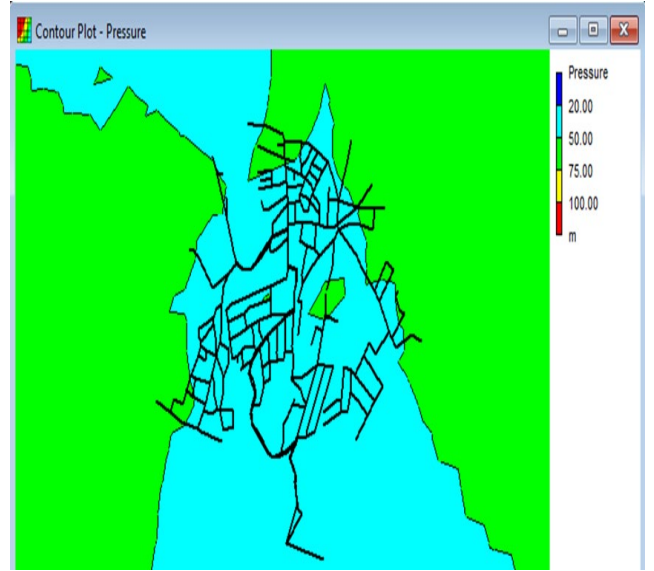


Şekil 11. Eruh ilçesi içme suyu şebekesinin GA'ya ait maliyet değişimi



Şekil 12. GA Optimizasyonu sonrası Eruh ilçesi içme suyu şebekesi Epanet tasarımı

Şekil 12'den de anlaşıldığı üzere GA ile yapılan optimizasyon sonucu elde edilen veriler (boru çapları) Epanet programına tekrardan girilmiş ve sistem başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır. Şekil 13'te ise GA optimizasyonu sonucu oluşan şebekenin basınç kontur grafiği verilmiştir.



Şekil 13. GA optimizasyonu sonrası Eruh ilçesi içme suyu şebekesi Contour-Plot Pressure grafiği

## Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında mevcut Eruh ilçesi su dağıtım şebekesi Epanet ortamında yeniden tasarlanıp, metasezgisel yöntemlerden olan GA algoritması ile şebekesinin boru maliyeti optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan optimizasyon işlemi Epanet araç setinin Matlab yazılımı ile kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Mevcut şebekesinin kotları ve çap değerleri kullanılarak Epanet ortamında yeniden modellenmiş, Epanet-Matlab araç seti kullanılarak Matlab ortamına atılmış, Matlab programında belirli kısıtlayıcılar altında optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sonucu elde edilen yeni boru çap değerleri yeniden Epanet ortamına aktarılmış, sistem başarılı bir şekilde tekrardan çalıştırılmıştır. Toplamda 500 iterasyonda gerçekleşen optimizasyonda 386. iterasyonda optimum maliyet değerine ulaşılmıştır. Eruh ilçesi içme suyu şebekesinin İller Bankasının 08.01.2021 onay tarihli fabrika teslim fiyatları (KDV hariç) baz alınarak yapılan boru maliyetlerinde GA ile yapılan maliyet optimizasyonu sonucu yaklaşık %21.14'lük bir azalma meydana gelmiştir. Dünyada artan nüfusla birlikte yerleşim yerleri her geçen gün daha da genişlemektedir. Bu nedenle su dağıtım sistemlerinin optimum maliyetle tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Bu noktada su dağıtım şebekeleri metasezgisel yöntemlerle optimize edilerek, suyun iletilmesi için ihtiyaç duyulan şebekesinin optimum maliyetle inşa edilmesi sağlanabilir.

## Kaynaklar

- [1] Muluk, Ç. ., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Çalışkan, M. ., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G. ve Zeydanlı, U (2013). Türkiye'de suyun durumu ve su yönetiminde yeni yaklaşımlar: çevresel perspektif. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği: Doğa Koruma Merkezi.
- [2] Chin, D. A. (2000). *Water-Resources Engineering*, Prentice Hall, New Jersey, USA.



- [3] Özdağlar, D., Benzeden, E. ve Kahraman, A. M. (2006). Kompleks Su Dağıtım Şebekelerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu. *İMO Teknik Dergisi*, 3851–3867.
- [4] Niño, O. T. V., Alzamora, F. M., Campos, J. C. A. ve Tzatchkov, V. G. (2018). Using the Epanet Toolkit v2.00.12 with Different Programing Environments. *Mexican Institute of Water Technology*.
- [5] Rossman, L. A. (2000). Epanet 2 user's manual. *United States Environmental Protection Agency (EPA)*, 1–200.
- [6] Kubat, C. (2019). *MATLAB Yapay Zeka ve Mühendislik Uygulamaları* (4. bs.). Abaküs Kitap Yayın Dağıtım Hizmetleri.
- [7] Demir, R. (2022). *Eruh Su Dağıtım Şebekelerinin Metasezgisel Yöntemlerle Optimizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi). Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- [8] Batmaz, V. (2021). *Su Dağıtım Şebekelerinin Metasezgisel Yöntemlerle Optimizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi). Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- [9] Batmaz, V., & Kayaalp, N. (2023). Optimization of water distribution networks using hybrid BBO-IWO algorithm. *Urban Water Journal*, 20(2), 205-222.
- [10] Özbek, O. (2017). *ERUH (Siirt) İçmesuyu Kesin Projesi*