ERUH SU DAĞITIM ŞEBEKESİNİN METASEZGİSEL YÖNTEMLERLE OPTİMİZASYONU

RECEP DEMİR

HAZİRAN 2022

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ERUH SU DAĞITIM ŞEBEKESİNİN METASEZGİSEL YÖNTEMLERLE OPTİMİZASYONU

RECEP DEMİR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK HİDROLİK VE SU KAYNAKLARI ANA BİLİM DALINDA YÜKSEK LİSANS TEZİ OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

HAZİRAN 2022

DİYARBAKIR

ERUH SU DAĞITIM ŞEBEKESİNİN METASEZGİSEL YÖNTEMLERLE OPTİMİZASYONU

Recep DEMİR tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Fevzi ÖNEN
Danışman, **İnşaat Mühendisliği Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Fevzi ÖNEN **(*,**)**
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. Necati KAYAALP
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. Sadık ALASHAN
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 06 / 06 / 2022

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.
(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılayıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Recep DEMİR

İmza: …….……

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması boyunca hoşgörülü ve samimi bir şekilde desteğini eksik etmeyen sayın danışmanım Prof. Dr. Fevzi Önen'e, çalışmaya değerli fikirleriyle sunduğu katkılardan dolayı sayın hocam Doç. Dr. Necati Kayaalp'e, bu çalışmanın sonuca ulaşmasında önemli katkıları olan değerli arkadaşım Öğr. Gör. Veli Batmaz'a, bu çalışma süresince desteklerini esirgemeyen aileme özellikle de anneme, hayatımın her alanında olduğu gibi bu tez çalışmasında da bana yardımcı olan sevgili eşime vermiş oldukları katkı ve desteklerden dolayı teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vi
ŞEKİLLER LİSTESİ viii
TABLOLAR LİSTESİ ix
EKLER LİSTESİ x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ xi
ÖZET xii
ABSTRACT xiii
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK ÖZETLERİ 3
3. MATERYAL VE METOT 5
3.1 Materyal 5
3.1.1 Epanet 5
3.1.2 Epanet-Matlab araç seti 7
3.1.3 Matlab 9
3.1.4 Eruh su dağıtım şebekesi 9
3.1.4.1 Eruh genel durum 9
3.1.4.2 Coğrafi konumu 10
3.1.4.3 Topoğrafik durum 11
3.1.4.4 Sosyal ve ekonomik konumu 12
3.1.4.5 Genel jeoloji 12
3.1.4.6 İklimi 12
3.1.4.7 Nüfus hesapları 13
3.1.4.8 Su dağıtım şebekesi 18
3.2 Metod 19
3.2.1 Temel Denklemler 19
3.2.1.1 Süreklilik denklemi 19
3.2.1.2 Akışkanlarda momentumun korunması 19

3.2.1.3 Enerji denklemi 20
3.2.2 Borularda ki sürekli yük kaybının hesabı 20
3.2.2.1 Hazen-Williams formülü 21
3.2.2.2 Chezy-Manning formülü 22
3.2.2.3 Darcy-Weisbach formülü 22
3.2.3 Yersel yük kaybı hesabı 25
3.2.4 Su dağıtım şebekesinin tasarımı 26
3.2.5 Uygulamada kullanılacak şebeke 27
3.2.5.1 Eruh ilçesi içme suyu şebekesi 27
3.2.6 Epanet-Matlab araç setinin kullanılması 30
3.2.7 Optimizasyon 32
3.2.7.1 Optimizasyon değişkenleri 33
3.2.8 Metasezgisel optimazyon algoritması 34
3.2.8.1 Genetik algoritma (GA) 34
3.2.8.2 Parçacık sürü optimizayon algoritması (PSO) 39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 41
4.1 Eruh İlçesi İçme Suyu Şebekesinin Maliyet Optimizayonu Sonuçları 41
4.1.1 Genetik algoritma(GA)ile maliyet optimizsyonu 41
4.1.2 Parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritması ile maliyet optimizasyonu 43
4.1.3 Eruh ilçesi içme suyu şebekesinin optimizsyonunda kullanılan algoritmaların performanslarının değerlendirilmesi 45
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 47
KAYNAKLAR 48
EKLER 50
ÖZGEÇMİŞ 59

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 Epanet araç setinin kullanıldığı bazı yazılım programları 8
Şekil 3.2 Eruh ilçesi Genel Görünüm 10
Şekil 3.3 Eruh ilçesi su dağıtım projesinin yeri 11
Şekil 3.4 Müstakbel nufus artışları grafiği 17
Şekil 3.5 Eruh ilçesi içme suyu projesi müstakbel nüfus grafiği 17
Şekil 3.6 Eruh ilçesi içme suyu 1. kademe şebeke hatları 18
Şekil 3.7 Moody diyagramı 24
Şekil 3.8 Eruh ilçesi içme suyu şebekesinin Epanet programı ile tasarımı 28
Şekil 3.9 Optimizasyon öncesi Eruh ilçesi içme suyu şebekesi Epanet programı ile tasarımı 29
Şekil 3.10 Eruh ilçesi içme suyu şebekesi Contour-Plot Pressure grafiği 30
Şekil 3.11 Epanet-MATLAB araç seti internet adresi 31
Şekil 3.12 Epanet verilerinin şebeke verilerinin çekilmesi 31
Şekil 3.13 Epanet programından MATLAB ortamında okutulması 32
Şekil 3.14 GA akış diyagramı 36
Şekil 3.15 Rulet tekerleği seçim yöntemi 38
Şekil 4.1 Eruh ilçesi içmesuyu şebekesinin GA'ya ait maliyet değişimi 42
Şekil 4.2 GA Optimizasyonu sonrası Eruh ilçesi içmesuyu şebekesi Epanet tasarımı 42
Şekil 4.3 GA optimizasyonu sonrası Eruh ilçesi içmesuyu şebekesi Contour-Plot Pressure grafiği 43
Şekil 4.4 Eruh ilçesi içmesuyu şebekesi için PSO 'ya ait maliyet değişimi 44
Şekil 4.5 PSO Optimizasyonu sonrası Eruh ilçesi içmesuyu şebekesi Epanet tasarımı 44
Şekil 4.6 PSO optimizasyonu sonrası Eruh ilçesi içmesuyu şebekesi Contour-Plot Pressure grafiği 45
Şekil 4.7 Optimizasyon sonrası maliyet değişimi 46

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 Su dağıtım sistemlerinin maliyet dağılımı 2
Tablo 3.1 Eruh ilçesi sıcaklık durum tablosu 12
Tablo 3.2 Eruh ilçesi yıllara göre yapılan nüfus sayım sonuçları 13
Tablo 3.3 Çoğaltma katsayısı hesabı 13
Tablo 3.4 Eruh ilçesi nüfus hesabı sonuçları 15
Tablo 3.5 Eruh ilçesi nüfus hesabı 16
Tablo 3.6 Boru akış hesabında kullanılan metotların kronolojisi 21
Tablo 3.7 Hazen-Williams ve Chezy-Manning formülleri için CK değerleri 24
Tablo 3.8 Hazen-Williams, Darcy-weisbach, Chezy-Manning formüllerinde kullanılan pürüzlülük katsayısının boru malzemesine bağlı değişimi 24
Tablo 3.9 Yük kayıp katsayı değerleri 25
Tablo 3.10 Eruh ilçesi içme suyu şebekesi çap ve birim maliyet değerleri 29
Tablo 3.11 Eruh İlçesi su dağıtım şebekesi kromozom yapısı 36

EKLER LİSTESİ

Ek 1 : Eruh (SİİRT) içme suyu şebekesinin GA, PSO algoritmaları ile optimizasyonu sonucunda elde edilen sonuç değerleri..... 51

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Kısaltma	Açıklama
DP	Dinamik Programlama
GA	Genetik algoritma (Genetic algorithm)
LEOP	Lineer eğimli olmayan programlama
LP	Lineer programlama
KTA	Kural tabanlı algoritma
PSO	Parçacık sürü optimizasyonu (Particle swarm optimization)

ÖZET

ERUH SU DAĞITIM ŞEBEKESİNİN METASEZGİSEL YÖNTEMLERLE OPTİMİZASYONU

Demir, Recep
Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Danışman: Prof. Dr. Fevzi ÖNEN
Haziran 2022, 73 sayfa

Ülkemizde artan nüfusa bağlı olarak su kaynaklarının doğru kullanımı ve suyun tüketicilere ulaştırılması konuları gittikçe önemini arttırmaktadır. 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 bulunmakta olup, metasezgisel yöntemler kullanılarak boru çaplarının optimize edilmesi de bunlardan biridir. Bu çalışmada da mevcut bir içme suyu şebeke hattı, Epanet programında yeniden tasarlandıktan sonra Epanet-Matlab araç seti kullanılarak şebekedeki boruların çapları ile ilgili maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon da metasezigesel yöntemler olan genetik algoritma (GA) ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritmaları kullanılmıştır. Epanet programı ile tasarım yapılırken su dağıtım şebekesinin boru kotları ve çapları mevcut durumuna uygun bir şekilde hazırlanmıştır. 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 ve parçacık sürü optimizasyonu algoritmaları kullanılarak şebeke boruları optimize edildikten sonra elde edilen yeni boru çapları yeniden Epanet programına girilerek sistem başarılı bir şekilde çalıştırıldı. Genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu algoritmaları ile yapılan optimizasyon sonuçları karşılaştırıldı. Bu tez çalışması kapsamında ele alınan Siirt iline bağlı Eruh ilçesi içme suyu şebeke hattı ile ilgili, yapılan optimizasyonlar sonucunda şebekenin boru maliyetlerinin bir miktar düşürüldüğü görülmüştür. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde yapılan optimizasyonda kullanılan algoritmaların kontrol parametrelerinin değişkenliğine bağlı olarak ortaya çıkan maliyetin azalma miktarı da farklılık göstermiştir. Bu tez çalışmasında Epanet-Matlab araç seti kullanılarak yapılan maliyet analizinde doğru kontrol parametreleri kullanıldığında başarılı sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Epanet programı, Matlab, Epanet-MATLAB araç seti, metasezgisel optimizasyon algoritmaları, Genetik algoritma, Parçacık sürü optimizasyonu algoritması

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF ERUH WATER DISTRIBITION NETWORKS USING METAHEURISTIC METHODS

Demir, Recep
Master of Science in Department of Civil Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Fevzi ÖNEN
June 2022, 73 pages

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. There are many methods used to design and optimize the network in order to reduce the costs of network pipes, and optimizing pipe diameters using metaheuristic methods is one of them. In this study, after an existing drinking water network line was redesigned in the Epanet program, cost optimization was made regarding the diameters of the pipes in the network using the Epanet-Matlab toolkit. In the optimization, genetic algorithm (GA) and particle swarm optimization (PSO) algorithms, which are metaheuristic methods, were used. While designing with the Epanet program, the pipe elevations and diameters of the water distribution network were prepared in accordance with the current situation. 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 and particle swarm optimization algorithms, the new pipe diameters obtained were re-entered into the Epanet program and the system was operated successfully. Optimization results with genetic algorithm and particle swarm optimization algorithms were compared. It has been seen that the pipe costs of the network have been reduced somewhat as a result of the optimizations made regarding the drinking water network line of the Eruh district of the province of Siirt, which is discussed within the scope of this thesis. When the results obtained are examined, the amount of reduction in the cost due to the variability of the control parameters of the algorithms used in the optimization also differed. In this thesis study, it was determined that successful results were obtained when the correct control parameters were used in the cost analysis using the Epanet-Matlab toolkit.

Keywords: Epanet program, Matlab, Epanet-MATLAB toolset, metaheuristic optimization algorithms, Genetic algorithm, Particle swarm optimization algorithm

1. GİRİŞ

Tüm canlılar için vazgeçilmez olan su, yaşamın temel kaynaklarından birisidir. İnsanlık tarihinin başlangıcından beri 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 dağıtımı 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 km³) %2,5'i (35 milyon km³) 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 km³) 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 km³'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 kullanılabilecek 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 dağıtımı kısmının maliyeti %56'dır (Özdağlar vd., 2006).

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

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

Tablo 1.1'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. Bu tez çalışmasında 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.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İçme suyu şebekesi boru çaplarının metasezgisel yöntemlerle optimizasyonunun yapıldığı bu tez çalışmasında, daha önce yapılan tez çalışmaları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan bu optimizasyon belirli kısıtlayıcılar altında boru çaplarının minimize edilip, sistemin yeniden çalıştırılması esasına dayanmaktadır. Metasezgisel yöntemlerin geleneksel yöntemlerden daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğu bilinmektedir. Metasezgisel yöntemlerin dezavantajı ise istenen en iyi sonuca ulaşmanın uzun süreler aldığı ve çok sayıda iterasyon yapılması gerektiği Mohan ve Jinesh Babu (2009) tarafından ifade edilmiştir. Bilgisayarlı sistemlerin gelişmesi ve hızlanması sezgisel optimizasyon tekniklerinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır.

New York şebekesini ele alan Schaake 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 optimumum 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.

1990 yılında Monbaliu ve arkadaşları tarafından geliştirilen kural tabanlı algoritma (KTA) metodu kullanılarak şebeke tasarımında optimum maliyet ele alınmıştır. Geliştirilen bu algoritma metodunda öncelikle şebekedeki tüm borulara en küçük çaplar atanarak sistemde oluşacak basınç değerleri hesaplanmıştır. Eğer bir noktada istenen basınç değeri sağlanamıyorsa bu borunun çapı bir üst değerine arttırılarak basınç değeri tüm sistemde istenen seviyeye gelene dek bu işleme devam edilir. Ancak bu yöntemin etkinliği henüz kanıtlanamamıştır (Raad, 2011).

Şebeke optimizasyonlarında kullanılmaya başlanan ve metasezgisel optimizasyon yöntemlerinden Genetik Algoritma (GA) (Simpson vd., 1994; Dandy vd., 1996; Prasad ve Park, 2004; Afshar, 2009; Cisty, 2010; Costa vd., 2010; Dong vd., 2012; Hama, 2018) ile diğer bir metasezgisel optimizasyon yöntemi olan Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması (PSO) (Ezzeldin vd., 2014; Babu ve Vijayalakshmi, 2013) su dağıtım şebekelerinin optimizasyonu amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında Siirt ilinin Eruh ilçesi su dağıtım şebekesi ele alınarak yeniden tasarlanıp metasezgisel yöntemlerle şebeke üzerinde boru maliyet analizi yapılarak literatüre katkı sağlamak amaçlanmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

Yapılan bu çalışmada Eruh (SİİRT) içme suyu şebeke hatları mevcut durumuna göre Epanet programı ile yeniden modellenmiş ve Matlab programı kullanılarak boru maliyet analizi yapılmıştır. Bu bölümde ise yapılan bu optimizasyonda kullanılan materyal ile metotlar sunulmuştur.

3.1 Materyal

Eruh (SİİRT) 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.

3.1.1 Epanet

Basınçlı şebekelerde ki hidrolik davranışın ve suyun kalitesinin değişimini çok zamanlı simülasyonlarla (bir gün veya birkaç gün) gerçekleştiren bir bilgisayar programıdır. Bir ağ, 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. Epanet, bir su dağıtım şebekesinde simülasyon gerçekleştirmek için bu altı nesneyi kullanır (Niño vd., 2018).

Windows altında çalışan ve basınçlı boru sistemlerine sahip şebekelerin uzun süreli hidrolik ve su kalitesi davranışlarını inceleyebilmemize olanak sağlayan bir program olan Epanet, borularda bulunan suyun akışını, düğüm noktalarındaki basıncı, şebekede bulunan depolardaki su yüksekliğini ve zamana göre değişimini, şebeke boyunca sudaki kimyasal bileşimlerin konsantrasyonunu çoklu zaman dilimlerinde simüle edip incelememize olanak sağlamaktadır. Tüm bunlara ek olarak kaynağın takibi ve su yaşı da program kullanılarak takip edilebilir. Epanet içme suyu dağıtım şebekelerinde suyun hareketini ve sistemin basınca dayalı çalışma prensibini anlamamıza ve bununla

ilgili anlayış geliştirmemize yardımcı olur. Hidrolik modelleme kapasitesi bulunan Epanet programı, bunun yanı sıra su kalitesini modelleme yeteneğine de sahiptir. Verimli bir su kalitesi modellemesi yapmak için, buna uygun doğru hidrolik modellemeyi de yapmak zorundayız. Bundan dolayı Epanet programı hem hidrolik modelleme kapasitesi hem de su kalitesini modelleme yetenekleri sayesinde bu ihtiyaçlarımızı aynı anda karşılayabilen bir karmaşık simülasyon programıdır. Epanet'in hidrolik modelleme kabiliyetlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Rossman, 2000);

- Şebekeyi çözerken Darcy-Weisbach, Chezy-Manning yada Hazen-Williams formüllerini kullanarak yük kayıplarını hesaplar.
- Şebeke ağının boyutlarına sınır koymaz.
- Düğüm noktaları, bağlantı parçaları gibi noktalarda oluşan küçük yersel kayıplarını 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'in su kalitesini modelleme kabiliyetlerini ise şu şekilde sıralayabiliriz (Rosman, 2000);

- Suda bulunan reaktif olmayan maddelerin zamana göre hareketlerini inceler (büyüme, çürüme vb.),
- Modellenen şebeke hattı boyunca su yaşını modeller,
- Boru çeperi akışındaki reaksiyonlarını modellemek için sıfır veya birinci dereceden kinetik denklemleri kullanır,
- Akışlardaki reaksiyonları n. Dereceli denklemler kullanarak belirler.

Bir su dağıtım sistemini modellemek için EPANET kullanılırken genel olarak aşağıdaki adımlar uygulanır:

- Dağıtım sisteminin bir şebeke temsili çizilir veya bir metin dosyasına yerleştirilen şebekenin temel bir tanımı içeri alınır,
- Sistemi oluşturan nesnelerin özellikleri düzenlenir,

- Sistemin nasıl işleyeceği tanımlanır,
- Bir dizi analiz seçeneği seçilir,
- Hidrolik / Su Kalitesi Analizi yapılır,
- Analizin sonuçları görüntülenir.

Epanet programı ve kullanıcı kılavuzu T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından Türkçeye çevrilmiş olup, Bakanlığın web sayfasından[1] temin edilebilir.

3.1.2 Epanet-Matlab araç seti

Epanet'in kullanım şekillerini göz önüne alarak sınıflandıracak olursak;

1. Bağımsız yürütülebilir bir yazılım olarak
2. Paylaşılan bir nesne kitaplığı olarak kullanılabilir.

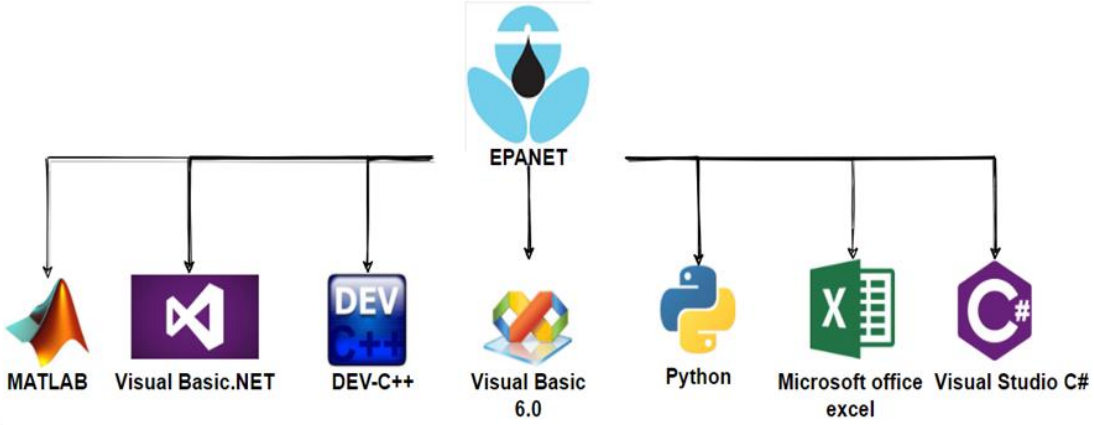
Epanet'in çağrılma yöntemleri bağımsız bir yürütülebilir yazılım olarak, standart bir kabuk (örneğin, Windows'ta Komut Satırı) aracılığıyla çağrılabilir. Paylaşılan bir nesne olarak, ör. Windows, dinamik bağlantı kitaplığı (DLL), değişik programlama dillerinde (Matlab, C^{++}, VB, Python vb.) yazılmış 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

[1] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığının internet adresi https://www.tarimorman.gov.tr/

için nesne yönelimli bir yaklaşım kullanmaktır. İşte Epanet-Matlab Toolkit bu yaklaşımı kullanır.



Şekil 3. 1 Epanet araç setinin kullanıldığı bazı yazılım programları (Batmaz, 2021)

Araç Takımı, aşağıdaki unsurlardan oluşan bir Matlab sınıfı olan epanet'i temel alır;

- Giriş ağı modelinin özellikleri
- Statik özellikler
- Kullanıcının doğrudan Matlab'de kullanabileceği genel yöntemler (işlevler)
- Toolkit'in EPANET/EPANET-MSX'e doğrudan çağrı yapmak için kullandığı yerel (dahili) işlevlerdir.

Araç Takımı, kullanıcının EPANET ve EPANET-MSX'e, paylaşılan nesne kitaplıkları ve yürütülebilir dosyaları aracılığıyla erişmesine olanak tanır. Araç seti çok çeşitli uygulamalarda kullanılabilir; örneğin, araç seti yeni izleme, kontrol ve arıza/olay tanı algoritmaları tasarlamanın yanı sıra su dağıtım şebekesi modellerine dayalı optimizasyon problemlerini formüle etmek için bir çerçeve olarak kullanılabilir. Kullanıcının yeni işlevler ekleyerek yeteneklerini kolayca genişletmesine olanak sağlamasının yanı sıra bir veri yapısı olarak araç takımı, fonksiyon modülleri arasında veri alışverişini de kolaylaştırabilir (Eliades vd., 2016).

Kıbrıs Üniversitesinin akıllı sistemler ve ağlar için KIOS araştırma merkezinde hazırlanmış olan Epanet-Matlab araç seti, Epanet'te modellenen sistemin programlama arabirimi olacak şekilde Matlab ortamında geliştirilmiş, Matlab programının Epanet programına bağlanabilmesini sağlayan Open Water Analytics şirketi tarafından oluşturulmuş bir yazılımdır (Niño vd., 2018). Bu araç seti, Epanet programında oluşturulan kitaplıklar vasıtasıyla üretilen çıktıları belirlemek, bu

çıktıları simüle edip değiştirmek gibi kullanımı rahat komutlar içerir (Eliades vd., 2016). Epanet'te oluşturduğumuz verileri Matlab aracılığı ile çağırabilmemize olanak sağlamasının yanı sıra bu verilerin okunması, işlenmesi ve oluşturduğumuz bir problem üzerine değişiklik yaparak optimizasyon işlemini gerçekleştirmemize olanak sağlayan bir arayüz programıdır. Tez çalışması kapsamında Epanet-Matlab toolkit kullanılmıştır. Bu Epanet-Matlab araç seti uygulamasına Github web sayfasından erişilebilir.

3.1.3 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).

Mathworks İncorporated firmasına ait olan Matlab programının deneme sürümüne internet[2] adresi üzerinden ulaşılabilir.

3.1.4 Eruh su dağıtım şebekesi

Bu tez kapsamında Siirt ili Eruh ilçesi içme suyu şebeke ağı kullanılmıştır.

3.1.4.1 Eruh genel durumu

Güneydoğu Anadolu bölgesinde bulunan Eruh ilçesi Siirt iline bağlı ilçe merkezidir. Siirt iline 56 km'lik asfalt yolla bağlantısı vardır. İlçenin doğusunda Şırnak

[2] Epanet-Matlab araç seti web sayfası: https://www.mathworks.com

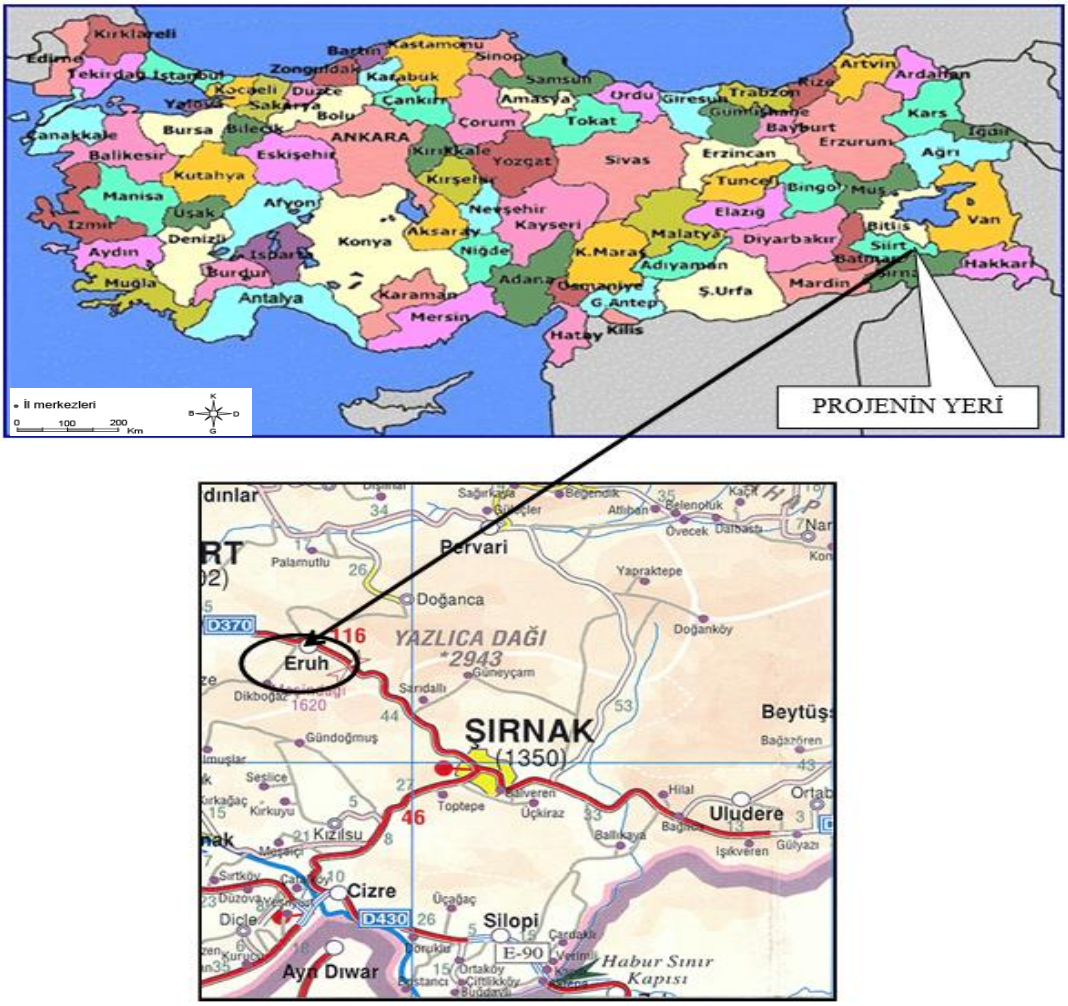
Güneydoğusunda ve batısında Siirt ili yer almaktadır. İlçede toplam 3 mahalle mevcut olup bunlar Fatih, Sarıgül ve dih mahalleleridir. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi Eruh ilçesi Güneydoğu Anadolu bölgesinde oldukça dağlık bir kesimde yer almaktadır. Eruh ilçesinin kuruluş tarihi ile ilgili kesin bir bilgi olmamasına rağmen, Uzun yıllar boyu çeşitli medeniyetlerin hâkimiyeti altında bulunan Eruh ilçesi sonrasında Osmanlı padişahı 1. Selim döneminde Osmanlı İmparatorluğunun hâkimiyeti altına girmiştir.



Şekil 3. 2 Eruh ilçesi Genel Görünüm

3.1.4.2 Coğrafi konumu

Eruh ilçesi Siirt ilini Şırnak iline bağlayan 98 km'lik yolun yaklaşık olarak orta kısmında bulunmakta; Eruh ilçesinin rakımı 1125 m. yüzölçümü de 1215 km^2'dir. Şekil 3.3'te Eruh ilçesi su dağıtım projesinin harita üzerinde yeri gösterilmiştir.



Şekil 3. 3 Eruh ilçesi su dağıtım projesinin yeri

3.1.4.3. Topoğrafik durum

Eruh, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde oldukça dağlık bir kesimde yer almaktadır. Etrafı dağlarla çevrili ilçe, çanak şeklindeki bir arazi üzerine kurulmuştur. Arazi eğimi genellikle %10 – 20 arasındadır. Etrafı dağlarla çevrili olan topraklarının büyük bir bölümünde arazi engebeli olup, dalgalı bir yapısı vardır. İlçe Güneydoğu Toroslarının devamı olan sıra dağların arasında bulunmaktadır. Hakkâri ve Siirt dağlarıyla birleşen bu dağların en yükseği 2265 metre yükseklikte bulunan Tartı (Terazın) dağı ile 2100 metre yükseklikte bulunan Tünek (Aval) dağlarıdır. Terazın ve Çirav yaylaları ilçenin kuzeyindeki Tartı (Terazın) dağında, Geri ve Kısa Çeşme yaylaları ise Cevizlik vadisinde yer almaktadır.

3.1.4.4. Sosyal ve ekonomik durum

Eruh ilçesinde tarım ve hayvancılık faaliyeti çalışma hayatının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Eruh ilçesinde bulunan arazilerin dağlık kısmı %28, dalgalı arazi %18, yayla arazisi %30, alan olarak tabir edilen arazi türü ise %24' tür. Tarım ve hayvancılık halkın geçim kaynağının önemli bir kısmını oluşturmakla beraber, bu faaliyetlerin yanı sıra fıstıkçılık faaliyetleri de önemli bir geçim kaynağı haline gelmiştir. Tarıma elverişli arazinin az olması ve arazi yapısının engebeli bir yapıya sahip olması, yapılan tarım faaliyetlerinin sadece temel ihtiyaçları karşılayabilecek düzeyde olmasına neden olmuştur. Hayvancılıkla uğraşan halkın büyük bir kısmı da küçükbaş hayvancılıkla uğraşmaktadır. Eruh ilçesinde fıstıkçılık faaliyetleri ise küçükbaş hayvancılıktan sonra gelen en önemli gelir kaynağıdır. Tüm bunların yanı sıra küçük çapta da olsa üzüm yetiştiriciliği de halkın geçim kaynakları arasında bulunmaktadır.

3.1.4.5. Genel jeoloji

Siirt İli civarında tabanda Midyat grubu içinde Hoya formasyonu, Midyat formasyonu üzerinde Oligosen Alt yaşlı Germik formasyonu ve Germik formasyonunun üzerinde Kapıkaya formasyonunun konglomeraları ile Şelmo formasyonunun kırıntılı kayaları bulunur.

3.1.4.6. İklimi

İlçenin bir kısmının Güneydoğu Anadolu bir kısmının da Doğu Anadolu bölgesinde yer almasından kaynaklı ilçe genelinde karasal iklimin etkileri görülse de bahsi geçen iki bölgeye ait iklim şartları da yaşanmaktadır. Yazları kurak ve sıcak olmakla beraber kışları ise yağışlı ve sert geçer. Aylara göre sıcaklık ortalaması ile sıcaklık değişimi tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3. 1 Eruh ilçesi sıcaklık durum tablosu (rasat süresi 29 yıl)

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)	Min Sıcaklık (°C)	Max Sıcaklık (°C)
Ocak	2.5	-19.3	16.2
Şubat	3.9	-16.5	19.6
Mart	7.6	-10.1	24.1
Nisan	13.3	-3.3	29.5
Mayıs	19.2	2.4	36.2
Haziran	25.7	8.2	39.4
Temmuz	30.4	13.1	42.7
Ağustos	30.0	14.5	42.3
Eylül	24.9	10.3	38.4

Tablo 3.1 (Devam)

Ekim	17.6	0.3	34.4
Kasım	10.6	-14.1	25.8
Aralık	4.8	-12.3	18.4
Yıllık	**15.9**	**-19.3**	**42.7**

Tablo 3.1'den anlaşılacağı üzere:

1- En yüksek sıcaklık 42.7 °C

2- En düşük sıcaklık -19.3 °C

3- Sıcaklık ortalaması 15.9 °C

4- Sıcaklık ortalama farkı 30.4 – 2.5 = 27.9°C

5- Sıcaklık ortalaması her zaman 0°C'nin üzerindedir.

6- En düşük sıcaklık değerlerine bakıldığında ise 6 ayın sıcaklık değerlerinin eksi değerlerde olduğu görülmektedir.

3.1.4.7. Nüfus hesapları

Bir yerleşim biriminin içme ve kullanma suyu ihtiyacının belirlenmesi doğrudan doğruya nüfus ile doğru orantılıdır. Dolayısı ile içme suyu ihtiyacının belirlenebilmesi beldenin gelecek nüfusunun doğru bir şekilde hesaplanıp öngörülebilmesi için o yerleşim biriminin hali hazırdaki nüfusunun bilinmesi büyük önem taşır. Geleceğe dönük nüfusu tahmin etme de birçok metot kullanılmaktadır. Bu metotların çoğu geçmişte yapılan nüfus sayımlarının artış oranlarını baz alarak nüfusun Aritmetik, Geometrik, Eksponansiyel ve bunlara benzer oranlarda artış kaydedeceğini kabul eder. Bunların yanı yerleşim yerindeki nüfusun hareketlerine etki edebilecek tüm ekonomik ve sosyal etkilerinde dikkate alınarak hesaplamanın yapılması gerekir. Tablo 3.2'de 2016 yılı nüfusu temel alınarak İller Bankası Şartnamesine göre çoğalma katsayısı hesabı yapılırken 1970 yılından 2016 yılına kadar yapılan nüfus sayım sonuçları belirlenmiştir. Belirlenen bu nüfuslar dikkate alınarak hedef yılı olan 2052 yılına ait nüfus öngörülmüştür. Tablo 3.3'te ise 2016 yılı baz alınarak nüfus sayımı yapılan yıllara ait çoğalma katsayıları belirlenmiştir. Bu çoğalma katsayıları hesaplandıktan sonra $Ç_{ortalama}$, $Ç_{minimum}$ ve $Ç_{maksimum}$ değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 3. 2 Eruh ilçesi yıllara göre yapılan nüfus sayım sonuçları

SAYIM (YIL)	NÜFUS (KİŞİ)
1970	4449
1975	5340
1980	3852
1985	4260
1990	5929
2000	7226
2007	9450
2008	9617
2009	9228
2010	8742
2011	8787
2012	8513
2013	8260
2014	8855
2015	9057
2016	8760

Tablo 3.2'deki veriler kullanılarak İller Bankası şartnamesine göre Tablo 3.3'te gösterildiği gibi her bir sayım için o yıla ait çoğaltma katsayısı belirlenir. Her yıl için çoğaltma katsayıları bulunduktan sonra ortalama bir çoğaltma katsayısı belirlenir. Belirlenecek olan bu çoğaltma katsayısına göre de gelecekteki nüfus tahminleri yapılır.

Tablo 3. 3 Çoğaltma katsayı hesabı

a = 46	yıl için	$\frac{N_{2016}}{N_{1970}}$	=	$\frac{8760}{4449}$	=	1,969	===>	Ç = 1,484
a = 41	yıl için	$\frac{N_{2016}}{N_{1975}}$	=	$\frac{8760}{5340}$	=	1,640	===>	Ç = 1,215
a = 36	yıl için	$\frac{N_{2016}}{N_{1980}}$	=	$\frac{8760}{3852}$	=	2,274	===>	Ç = 2,308
a = 31	yıl için	$\frac{N_{2016}}{N_{1985}}$	=	$\frac{8760}{4260}$	=	2,056	===>	Ç = 2,353

Tablo 3.3 (Devam)

a = 26	yıl için	$\frac{N_{2016}}{N_{1990}}$	=	$\frac{8760}{5929}$	=	1,477	===> Ç =	1,513
a = 16	yıl için	$\frac{N_{2016}}{N_{2000}}$	=	$\frac{8760}{7226}$	=	1,212	===> Ç =	1,210
a = 9	yıl için	$\frac{N_{2016}}{N_{2007}}$	=	$\frac{8760}{9450}$	=	0,927	===> Ç =	-0,839
a = 8	yıl için	$\frac{N_{2016}}{N_{2008}}$	=	$\frac{8760}{9617}$	=	0,911	===> Ç =	-1,160
a = 7	yıl için	$\frac{N_{2016}}{N_{2009}}$	=	$\frac{8760}{9228}$	=	0,949	===> Ç =	-0,741
a = 6	yıl için	$\frac{N_{2016}}{N_{2010}}$	=	$\frac{8760}{8742}$	=	1,002	===> Ç =	0,034
a = 5	yıl için	$\frac{N_{2016}}{N_{2011}}$	=	$\frac{8760}{8787}$	=	0,997	===> Ç =	-0,062
a = 4	yıl için	$\frac{N_{2016}}{N_{2012}}$	=	$\frac{8760}{8513}$	=	1,029	===> Ç =	0,718
a = 3	yıl için	$\frac{N_{2016}}{N_{2013}}$	=	$\frac{8760}{8260}$	=	1,061	===> Ç =	1,978
a = 2	yıl için	$\frac{N_{2016}}{N_{2014}}$	=	$\frac{8760}{8855}$	=	0,989	===> Ç =	-0,538
a = 1	yıl için	$\frac{N_{2016}}{N_{2015}}$	=	$\frac{8760}{9057}$	=	0,967	===> Ç =	-3,279

Tablo 3.3'de elde edilen verilere göre $Ç_{ort}$ = 0,413, $Ç_{min}$ = 0,034, $Ç_{max}$ = 2,353 olarak bulunmuştur. 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 Tablo 3.4'te sunulmuştur. 2016 yılı baz alınarak yapılan Siirt ilinin Eruh ilçesine ait gelecek nüfus hesaplamasında Ç = 1.5 alınmıştır.

Tablo 3. 4 Eruh ilçesi nüfus hesabı sonuçları

Eruh (SİİRT) İlçesi Müstakbel Nüfus Hesap Yöntemi	**Esas Alınan Nüfus**	**Kişi Sayısı (N_{2052})**
İller Bankası Şartnamesine Göre	2016	20.235
Geometrik (Exponansiyel) Metoda Göre	2016	10.120

Tablo 3.4 (Devam)

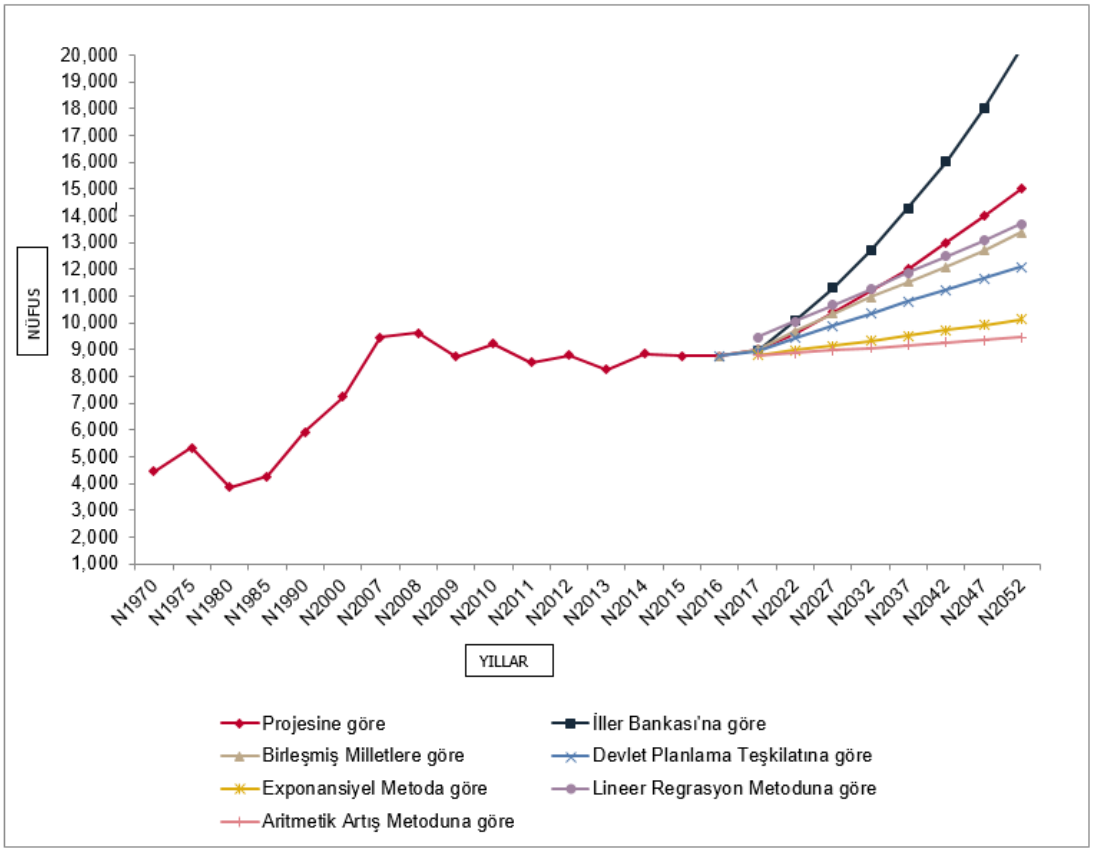
Lineer Regresyon Metoduna Göre	2016	13.687
Aritmetik Artış Metoduna Göre	2016	9.466
DPT Tarafından Yapılan Kabullere Göre	2016	12.099
BM Teşkilatı Tarafından Yapılan Kabullere Göre	2016	13.363

2016 yılı nüfusuna bağlı olarak yapılan nüfus hesapları sonucunda Eruh ilçesi içme suyu kesin projesine esas müstakbel nüfusun Ç= 1.5 kabulü ile müstakbel nüfusun N_{2052} = 15000 kişi olması esas alınmıştır. Şekil 3.4'te Eruh ilçesine ait müstakbel nüfus artışları grafiği, şekil 3.5'te ise Eruh ilçesi içme suyu projesine göre hesaplanan müstakbel nüfus artış grafiği verilmiştir.

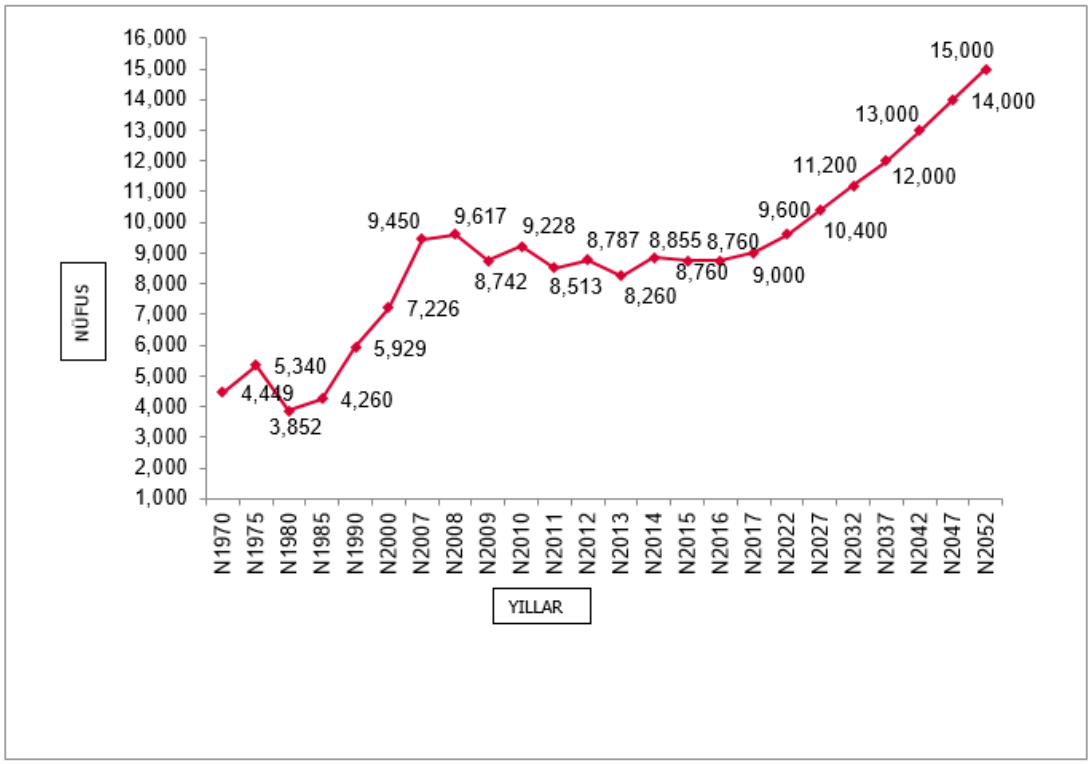
N_{2016} = 8760 kişi ve Ç = 1.5 kabulü ile Eruh ilçesine ait nüfus hesabı yapılırsa;

Tablo 3. 5 Eruh ilçesi nüfus hesabı

N_{2017}	=	8760	x (	1,015	)^{1}	=	8.892	kişi	9.000 kişi
N_{2022}	=	8760	x (	1,015	)^{6}	=	9.578	kişi	9.600 kişi
N_{2027}	=	8760	x (	1,015	)^{11}	=	10.319	kişi	10.400 kişi
N_{2032}	=	8760	x (	1,015	)^{16}	=	11.117	kişi	11.200 kişi
N_{2037}	=	8760	x (	1,015	)^{21}	=	11.976	kişi	12.000 kişi
N_{2042}	=	8760	x (	1,015	)^{26}	=	12.901	kişi	13.000 kişi
N_{2047}	=	8760	x (	1,015	)^{31}	=	13.898	kişi	14.000 kişi
N_{2052}	=	8760	x (	1,015	)^{36}	=	14.973	kişi	15.000 kişi



Şekil 3. 4 Müstakbel nüfus artışları grafiği

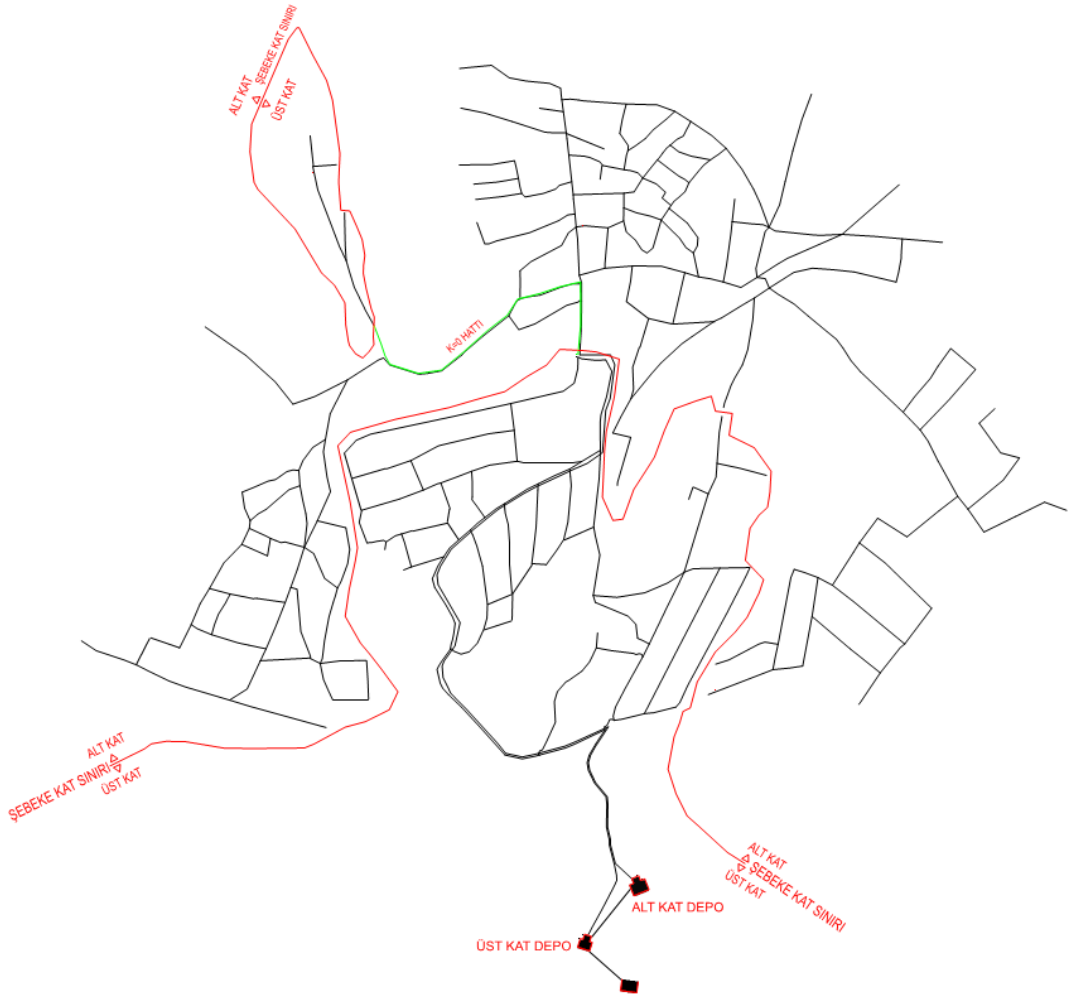


Şekil 3. 5 Eruh ilçesi içme suyu projesi müstakbel nüfus grafiği

3.1.4.8. Su dağıtım şebekesi

Projeye göre ilçenin gelecekteki içme suyu ihtiyacı Siyahçeşme kaynağından karşılanacaktır. Siyahçeşme kaynağı, Eruh'un güneydoğusunda yer alan kireçtaşlarından boşalan karstik kaynaktır. Cazibeyle gelen suyun debisi Qmaks: 110 lt/sn ve Qmin: 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 m³ depodan beslenecektir. Alt kat şebeke ise 1187,00 m krepin kotunda inşa edilecek olan V= 1500 m³ depodan beslenecektir. Şekil 3.6'da Eruh içme suyu tesisinin projesi verilmiştir.



Şekil 3. 6 Eruh ilçesi içme suyu 1. kademe şebeke hatları

3.2 Metod

Bir bölgenin altyapı sisteminin parçası olan su dağıtım şebekesinin tasarımı büyük önem arz etmektedir. Özellikle büyük şehirlerde şebeke hatlarının tasarımı bazen sorun haline gelebilmektedir. Bu tez çalışmasında kesin projesi tamamlanmış olan Eruh (SİİRT) 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.

3.2.1 Temel denklemler

Akışkanlarda akım enerji, kütle ve momentum gibi üç ana büyüklük ile ifade edilirken bu üç temel büyüklüğün sistem boyunca korunması gerekir.

3.2.1.1. Süreklilik denklemi

Sürekli akış durumunda olan bir sıvının, herhangi bir noktasından giren akış miktarının, başka bir noktasından çıkan akış miktarıyla eşit olması gerektiğini veya sıvılarda kütle akış debisinin sabit olduğunu belirtir. Süreklilik denklemi kütlenin korunumu yasasının matematiksel ifadesidir. Sıvıların bir kesit alanından daha küçük bir alanda akmaya zorlanması sonucu sıvının hızındaki değişim süreklilik denklemiyle belirlenebilir. Denklem 3.1'de süreklilik denklemi ifade edilmiştir.

$$Q = \int_A v\,dA = V_1 A_1 = V_2 A_2 \tag{3.1}$$

Bu denklemde; "Q" akışkanın debisi; ; "A" akışkanın kesit alanını "V" akışkandaki ortalama kesitsel hıza karşılık gelir.

3.2.1.2. Akışkanlarda momentumun korunması

Hareket halinde bulunan bir cismin herhangi bir andaki doğrusal hızı V, kütlesi m olsun. Eğer dt zaman aralığında cismin hızı değişiyorsa, cisim dengelenmemiş $\sum F$ toplam dış kuvvetlerin etkisi altındadır. Bu Newton'un 2. kanunu olarak bilinir. Newton'unun 2. kanununa göre (F=m.a) parçacığa etkiyen toplam kuvvet, parçacığın ivmesi ile kütlesinin çarpımından elde edilir. Hareket halinde olan akışkan parçacıklarının daima bir momentumu olup, parçacığın hızıyla kütlesinin çarpımı

sonucu (m.V) parçacığın lineer momentumunu elde edilir. Akım yönü ve hızının akım alanı içerisinde sahip oldukları yerel değişiklikler sonucu akışkan parçacıklarının da momentumları değişir.

$$\sum F_{net} = \dot{m}(V_2 - V_1) = \rho Q\ (V_2 - V_1) \tag{3.2}$$

Bu denklemde "F_{net}" net kuvvetini; "ṁ" kütlesini; "V_1" ve "V_2" girişin ve çıkışın kesitsel ortalama hızlarını; "ρ" ifadesi de özgül kütlesini gösterir.

3.2.1.3. Enerji denklemi

Enerjinin korunumu ilkesi gereği akışkanın toplam enerjisi akış çizgisi boyunca sabittir. Genel korunum ilkesi gereği toplam enerjinin korunması için enerji türlerinden birinin azalması bir diğerinin artmasını gerektirir. Bunun sonucu olarak enerji türleriin birbirine dönüşebileceği ancak enerjinin yaratılamayacağı veya yok edilemeyeceği varsayımına ulaşabiliriz. Akışkanlardaki enerji potansiyel enerjiyi, kinetik enerjiyi, basınç yükünü ve iç enerjileri kapsamaktadır. Enerji denklemi denklem 3.3'te gösterilmiştir.

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \sum h_{L_{1-2}} \tag{3.3}$$

Bu denklemde;

"$\frac{V^2}{2g}$" ifadesi hız yükünü yada birim akışkanın ağırlığına denk gelen kinetik enerjisini;

"$\frac{P}{\gamma}$" ifadesi basınç yükü yada birim akışkanın ağırlığına etkiyen basınç gerilmelerinin yaptığı işi; "z" zemin kotunu yada birim birim akışkanın ağırlığına denk gelen potansiyel enerjiyi; "$h_{L_{1-2}}$" ifadesi 1. ve 2. noktalar arası taplamda ki yük kayıplarını gösterir.

3.2.2 Borularda ki sürekli yük kaybının hesabı

Boru hattı boyunca akış uzunluğu ile doğru orantılı bir şekilde oluşan yük kayıplarına sürekli yük kaybı denir. Akışkanın boru ile sürtünmesi sonucu oluşan hidrolik yük kaybının hesabı Darcy-Weisbach, Chezy-Manning, Hazen-Williams, formülleri

kullanılarak hesaplanır. Literatürde borulardaki akışları hesaplamada kullanılan uygulama yöntemleri Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3. 6 Boru akış hesabında kullanılan metotların kronolojisi (Ramalingam vd., 2003)

YIL	**METODU BULAN KİŞİ**	**METOD/UYGULAMA**
1845	Darcy ve Weisbach	Tek bir borudan geçen akış için yük kaybı formülü
1892	Freeman	Şekil çözüm
1905	Hazen ve Williams	Tek bir borudan geçen akış için yük kaybı formülü ve eşdeğer boru yöntemi
1934	Camp ve Hazen	Elektrik ağı analizörü
1936	Cross	Gevşeme tekniği
1956	McIIroy	McIIroy akışkan analizörü
1957	Hoag ve Weinberg	Hardy Cross yönteminin dijital bilgisayara uyarlanması
1963	Martin ve Peters	Eşzamanlı düğüm noktası yöntemi
1968	Shamir ve Howard	Eşzamanlı düğüm noktası yönteminin genişletilmesi
1970	Epp ve Fowler	Eşzamanlı döngü yöntemi
1972	Wood ve Charles	Lineer yöntem
1977	Jeppson	Eşzamanlı döngü yöntemine dayalı ticari ağ analiz programı
1980	wood	KYPIPE-Ticari ağ analiz programı
1987	Todini ve Pilati	Gradyan yöntemi
1994	Rossman	Epanet-Ticari ağ analiz programı

3.2.2.1. Hazen-Williams formülü

Yaygın olarak kullanılmakta olan Hazen-Williams formülü bir yük kaybı formülüdür (Rossman, 2000). Hazen ve Williams tarafından geliştirilmiş olan C sürtünme kaybı katsayısı boru iç yüzeyinin üretim, malzeme vb. borunun iç pürüzlülüğünü gösterir. Türbülanslı akımlar içim kullanılan Hazen-Williams formülü, su dışındaki diğer sıvı akışkanlar için kullanılmaz. Yük kaybı hesabı denklem 3.4'te, yük kaybı hesaplamalarında kullanılacak K direnç katsayısı denklem 3.5'te gösterilmiştir.

$$hf = K\,Q^{n} \tag{3.4}$$

Bu denklemde;"hf " ifadesi yük kabını; "K" ifadesi direnç katsayısını; "Q" ifadesi akışkanın debisini; "n" ifadesi akışkanın kuvvet çarpanının ifade eder.

$$\boldsymbol{K = \frac{C_K\, L}{C_{HW}^{1.852}\, D^{4.87}}} \quad (3.5)$$

Bu denklemde;

"C_K" ifadesi boyut sabitini; CHW ifadesi Hazen-Williams formülünün pürüzlülük katsayısını; "D" ifadesi boru çapını ve "L" ifadesi ise boru uzunluğunu ifade eder.

3.2.2.2. Chezy-Manning formülü

Genel olarak Chezy-Manning formülü açık kanallarda akışı tahmin etmede kullanılan ampirik bir formüldür. Hazen-Williams denkleminde olduğu gibi K direnç katsayısı 3.6 eşitliğiyle hesaplanır, yük kaybının denklemi ise 3.4 eşitliği kullanılarak hesaplanır.

$$K = \frac{C_K\, n^2\, L}{D^{5.33}} \quad (3.6)$$

Bu denklemde;

"C_K" ifadesi boyut sabitini ; "n" ifadesi Chezy-Manning pürüzlülük katsayısını ifade etmektedir.

3.2.2.3. Darcy-Weisbach formülü

Darcy-Weisbach denklemi, kanallar, borular veya tüplerdeki sürtünmeden kaynaklanan ana basınç ve yük kaybını hesaplamak için kullanılabilir. Teorik olarak gerçeğe en yakın formül Darcy-Weisbach formülüdür. Hazen-Williams formülünün aksine tüm akış rejimleri ile tüm sıvıların akış hesabında kullanılır. Borularda ki yük kayıpları denklem 3.7 yardımı ile hesaplanır.

$$hf = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} = f\frac{L}{D}\,\frac{Q^2}{2gA^2} \quad (3.7)$$

Bu denklemde; "f" ifadesi sürtünme faktörünü; "g" ifadesi yerçekimi ivmesini ve "hf" ifadesi yük kaybını ifade eder.

$$Re = \frac{VD}{v} \tag{3.8}$$

Bu denklemde; "Re" ifadesi Reynolds sayısını; "v" ifadesi kinematik viskoziteyi ifade etmektedir.

Epanet programı, sürtünme faktörünü (f) akış rejimine bağlı hesaplarken farklı metotları kullanarak hesaplar (Rossman, 2000):

1. Hagen-Poiseuille formülünü (Re<2000) laminer akışı hesaplamak için kullanır.

$$f = \frac{64}{Re} \tag{3.9}$$

2. Colebrook-White denklemini (Re>4 000) türbülanslı akışı hesaplamak için kullanır.

$$f = \frac{0.25}{\left(\ln\left(\frac{e}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2} \tag{3.10}$$

3. Moody Diyagramından bir kübik enterpolasyonu (2 000<Re<4 000) geçiş akışını hesaplamada kullanır.

$$f = \Big(X1 + R\big(X2 + R(X3 + X4)\big)\Big) \tag{3.11}$$

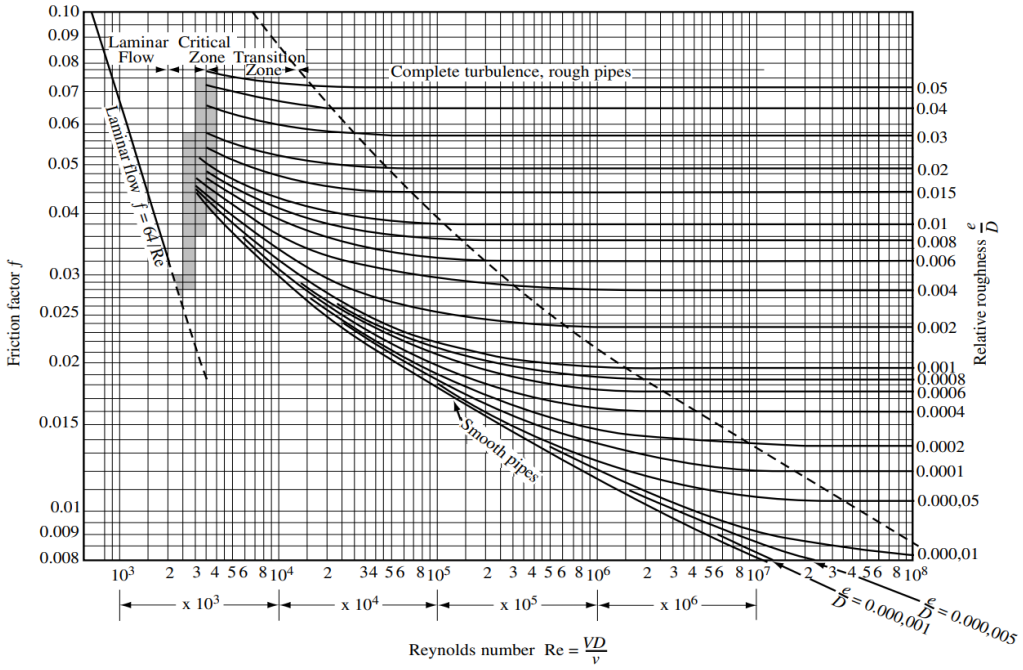
$$X1 = 7FA - FB, \qquad X2 = 0.128 - 17FA + 2.5FB$$

$$X3 = -0.128 + 13FA - 2FB, \qquad X4 = R(0.032 - FA + 0.5FB)$$

$$R = \frac{Re}{2000}$$

$$FA = (Y3)^{-2}, \quad FB = FA\left(2 - \frac{0.00514215}{(Y2)(Y3)}\right)$$

$$Y2 = \frac{e}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}, \qquad Y3 = -0.86859Ln\left(\frac{e}{3.7D} + \frac{5.74}{4000^{0.9}}\right) \tag{3.12}$$



Şekil 3. 7 Moody diyagramı (Larock vd., 1999)

Tablo 3. 7 Hazen-Williams ve Chezy-Manning formülleri için CK değerleri

Çap ve boru uzunluğu birimleri		**Hazen-Williams CK**	**Chezy-Manning CK**
D	**L**		
ft	ft	4.73	4.66
in	ft	8.53x105	2.65x106
m	m	10.67	10.29

Tablo 3.8 Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, Chezy-Manning formüllerinde kullanılan pürüzlülük katsayısının boru malzemesine bağlı değişimi (Batmaz, 2021)

Boru malzemesi	**Hazen-Williams C_{HW} (birimsiz)**	**Darcy-Weisbach e (ft)(x10^{-3})**	**Chezy-Manning n (birimsiz)**
Dökme demir	130-140	0.85	0.012-0.015
Beton veya beton astarlı	120-140	1.0-10	0.012-0.017
Galvanize demir	120	0.5	0.015-0.017
Plastik	140-150	0.005	0.011-0.015
Çelik	140-150	0.15	0.015-0.017
Vitrifiye (sirli) kil	110	-	0.013-0.015

3.2.3 Yersel yük kaybı hesabı

Dirsek, vana, çıkıntılı conta, redüksiyon vb. gibi işlemler sonucu meydana gelen akış hızının değişmesi nedeniyle oluşan yük kayıplarıdır. Bu kayıplar sürekli yük kaybına nazaran daha büyük kayıplar olduğu için tasarım yapılacak şebekeye ilave edilmesi tasarımın doğruluk oranını arttıracaktır. Bağlantı elemanlarının cinsine göre belirlenen kayıp katsayılarının bağlantılara eklenip hız yüksekliği ile çarpılmasıyla yersel yük kaybı elde edilir. Yersel yük kaybının hesabı denklem 3.13'te gösterilmiştir.

$$h_L = K\left(\frac{V^2}{2g}\right) \tag{3.13}$$

Bu denklemde; "h_L" ifadesi yersel yük kaybını; "K" ifadesi yük kayıp katsayısını; "V" ifadesi kesitsel ortalama hızını; "g" ifadesi yerçekimi ivmesini ifade eder. Seçilecek bağlantı elemanı özelliğine göre belirlenen yük kayıp katsayısı Tablo 3.9'de gösterilmiştir.

Tablo 3. 9 Yük kayıp katsayı değerleri (Rossman, 2000)

BAĞLANTI ELEMANI	**KAYIP KATSAYISI (K)**
Küresel vana (tam açık)	10.00
Açılı vana (tam açık)	5.00
Kanatlı kontrol vanası (tam açık)	2.50
Sürgülü vana (tam açık)	0.20
Kısa yarıçaplı dirsek	0.90
Orta yarıçaplı dirsek	0.80
Uzun yarıçaplı dirsek	0.60
45 derece dirsek	0.40
Kapalı dönüş bükümü	2.20
Standart t-akışı düz doğrultuda	0.60
Standart t-akışı dal doğrultuda	1.80
Hazne giriş	1.00
Hazne çıkış	0.50

3.2.4. Su dağıtım şebekesinin tasarımı

İçme suyu şebeke hatlarını optimum bir şekilde tasarlayabilmek için odaklandığımız ana faktör, şebekenin ihtiyaç duyduğu miktarda suyu olabilecek en düşük maliyetle tüketiciye ulaştırmaktır. Bu tez çalışmasında da 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 fonksiyonumuz;

$$f = \min \sum_{i=1}^{M} BD_i L_i \tag{3.14}$$

bu şekilde ifade edilmiştir. Bu denklemde "F" ifadesi amaç fonksiyonu; "M" ifadesi şebekede bulunan toplam boru sayısı; "BD_i" ifadesi seçilmiş herhangi bir i sayılı boru birim maliyeti; "L_i'' ifadesi ise seçilen i sayılı borunun uzunluğu olarak ifade edilmektedir. Denklem 3.14 te belirttiğimiz amaç fonksiyonumuz ile optimum maliyet hesaplaması yaparken tasarım kriterlerimize 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 belirlemiştir. 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 tez kapsamında kullanılan Eruh ilçesi içme suyu kesin projesine esas müstakbel nüfusun N_{2052} = 15000 kişi olması sebebiyle şebeke düğüm noktalarında kullanılacak minimum basınç değeri 20 metre olarak alınmıştır. Bu tez çalışmasında da bu basınç değerlerine uyacak şekilde bir basınç sınırlayıcısı eklenmiştir. Düğüm noktalarında basınç sınırlayıcı denklemimiz ise;

$$P_{min} \leq P_j \leq P_{max} \qquad j = 1 \ldots\ldots\ldots N \tag{3.15}$$

şeklinde ifade edilmiştir. Bu denklemde "N" ifadesi şebekede bulunan düğüm noktası sayısının toplamını; "P_{min}" ifadesi şebekede bulunan düğüm noktalarının minimum basınç değerini; "P_{max}" ifadesi şebekede bulunan düğüm noktalarının maksimum basınç değerini ve "P_j" ifadesi ise şebekede bulunan j numaralı düğüm noktasının basınç değerini ifade etmektedir. Amaç fonksiyonumuz şebekede bulunan düğüm

noktaları basınçlarının istediğimiz alt (P_{min}) ve üst (P_{max}) sınırları arasında kalmasını sağlayan bir ceza değeriyle sınırlandırılmıştır. Bu ceza değerinin denklemi 3.16 'da ki gibi amaç fonksiyonumuza eklenmiştir.

$$f = \min \sum_{i=1}^{M} BD_i L_i + P_{ceza} \tag{3.16}$$

Yukarıda belirttiğimiz denklemde düğüm noktalarındaki basınç değerleri sınırladığımız değeri aşarsa çıkacak sonuç değerimize ceza maliyet değeri P_{ceza} eklenerek ($9x10^{50}$ gibi çok büyük bir değer) toplam şebeke maliyetinin çok büyük olması sağlanmıştır. Tekrarlayan aşamalarda çıkan çözüm fonksiyonlarımız maliyet değerlerine göre sınırlanarak, minimum maliyet değerine tekabül edecek çözüm sonucu aslında istenen sonuç olacağından koyduğumuz sınırları aşan sonuçlar elenecektir.

3.17 eşitliği yardımı ile şebekede bulunan düğüm noktalarındaki süreklilik kontrolü yapılır.

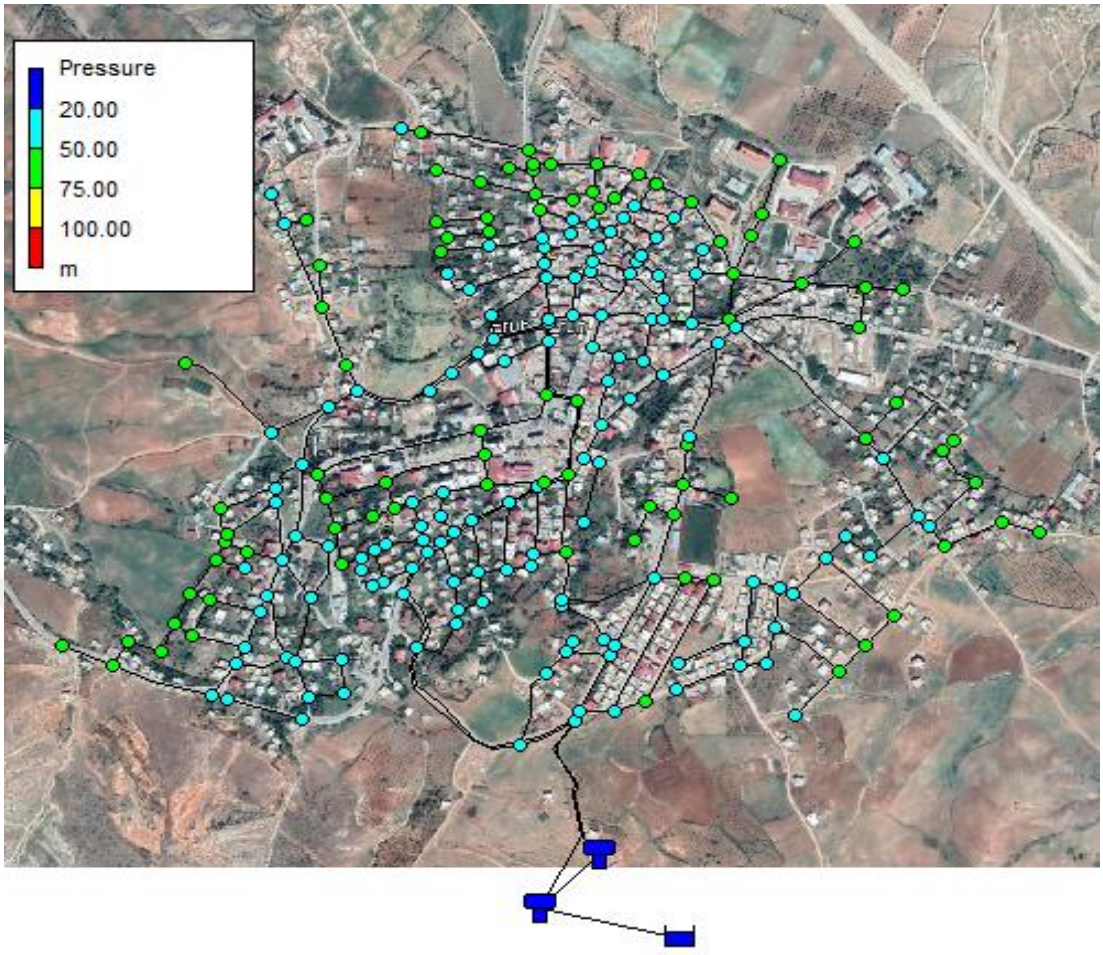
$$Q_j^{giren} - Q_j^{çıkan} - Q_j^{çekilen} = 0 \qquad j = 1 \ldots\ldots\ldots N \tag{3.17}$$

3.2.5. Uygulamada kullanılacak şebeke

Bu tez çalışması kapsamında Eruh ilçesi içme suyu şebeke hattı kullanılmıştır.

3.2.5.1. 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 3.8'de gösterildiği gibi Epanet programı vasıtasıyla yeniden tasarlanarak optimize edilmiştir.



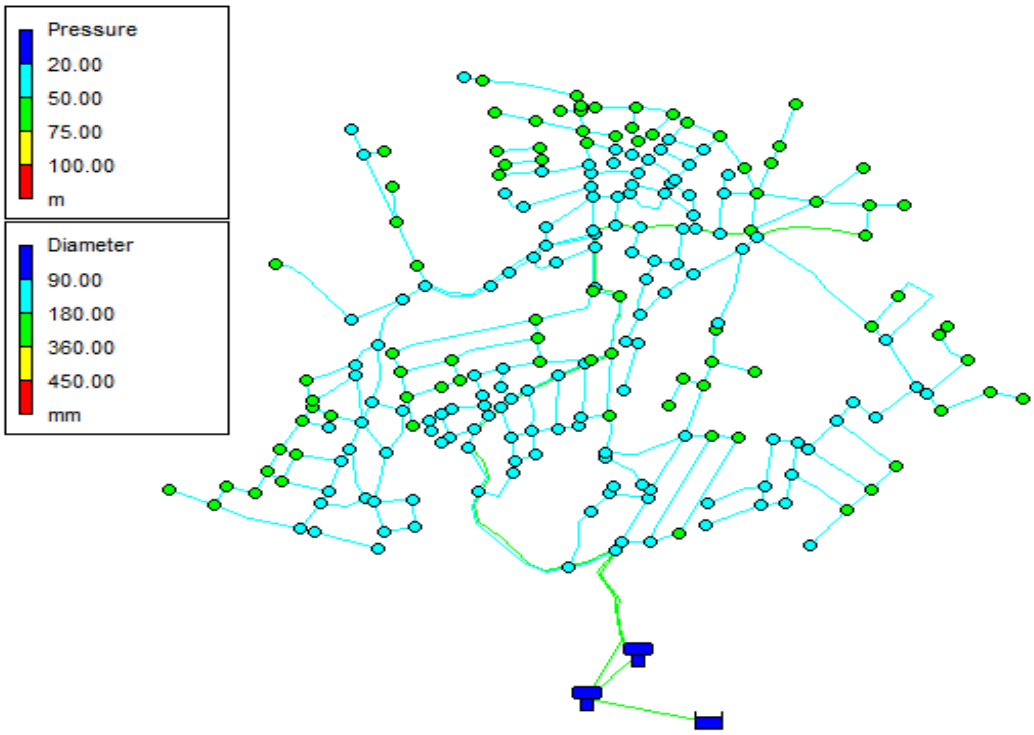
Şekil 3. 8 Eruh ilçesi içme suyu şebekesinin Epanet programı ile tasarımı

Eruh ilçesi şebeke hattı 284 adet boru, 225 adet düğüm noktası, 2 adet depo ve 1 adet rezervuardan oluşmaktadır. Şekil 3.8'de 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 3.10'da gösterilen İller Bankasının 08.01.2021 onay tarihli fabrika teslim fiyatları (KDV hariç) baz alınarak yapılmıştır.

Tablo 3. 10 Eruh ilçesi içme suyu şebekesi çap ve birim maliyet değerleri

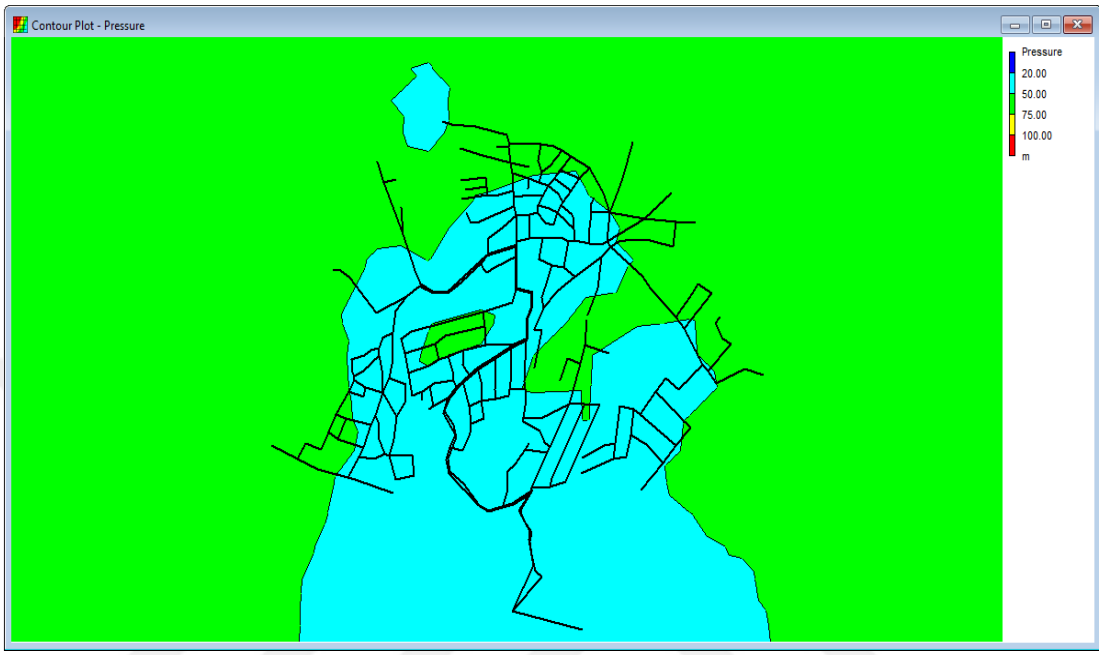
Basınç (Atü)	**Çap (mm)**	**Birim maliyet (Birim/TL)**
10	355	355.50
10	280	220.60
10	200	114.40
10	160	73.30
10	140	56.20
10	90	23.70

Tablo 3.10'da tasarımı yapılan su dağıtım şebekesinin boru çapları ve birim maliyetleri, optimizasyon öncesi yapılan Epanet tasarımı Şekil 3.9'da, Şekil 3.10'da ise mevcut şebekenin basınç kontur grafiği verilmiştir.



Şekil 3. 9 Optimizasyon öncesi Eruh ilçesi içme suyu şebekesi Epanet programı ile tasarımı

Şekil 3.9'da gösterilen grafikte Eruh ilçesi mevcut şebekesinin Epanet programında tasarımı yapıldıktan sonra tüm düğüm noktalarında oluşan basınç değeri 20 m'lik minimum basınç sınır değerini sağlamaktadır.



Şekil 3. 10 Eruh ilçesi içme suyu şebekesi Contour-Plot Pressure grafiği

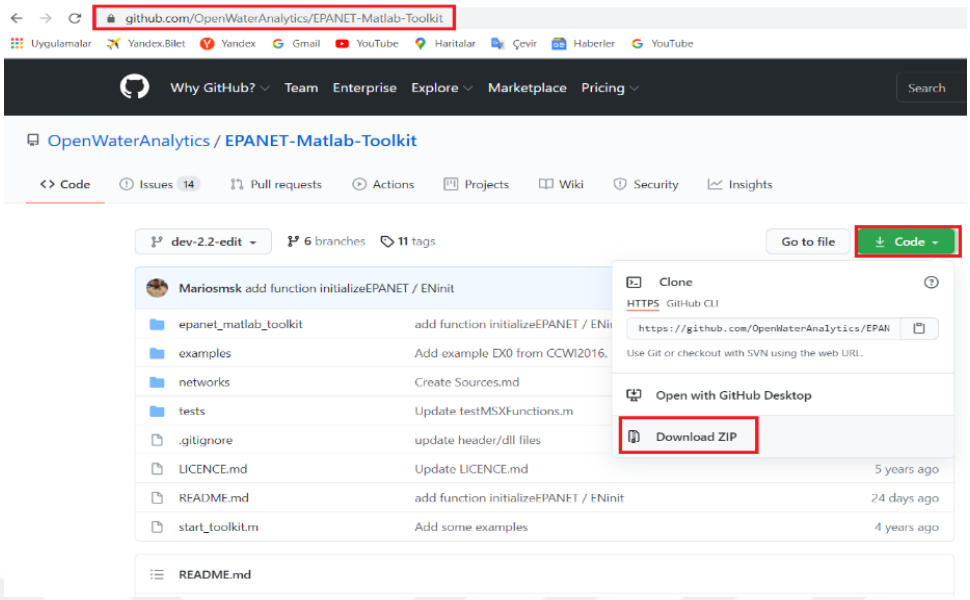
Eruh su dağıtım şebekesin de tüm sistem cazibeli olarak çalışıyor olup, mevcut boru çapları ve mevcut kotlar kullanılarak tasarım yapılmıştır.

3.2.6. Epanet-matlab araç setinin kullanılması

Epanet-Matlab araç setininin kullanım aşamalarını gösterecek olursak;

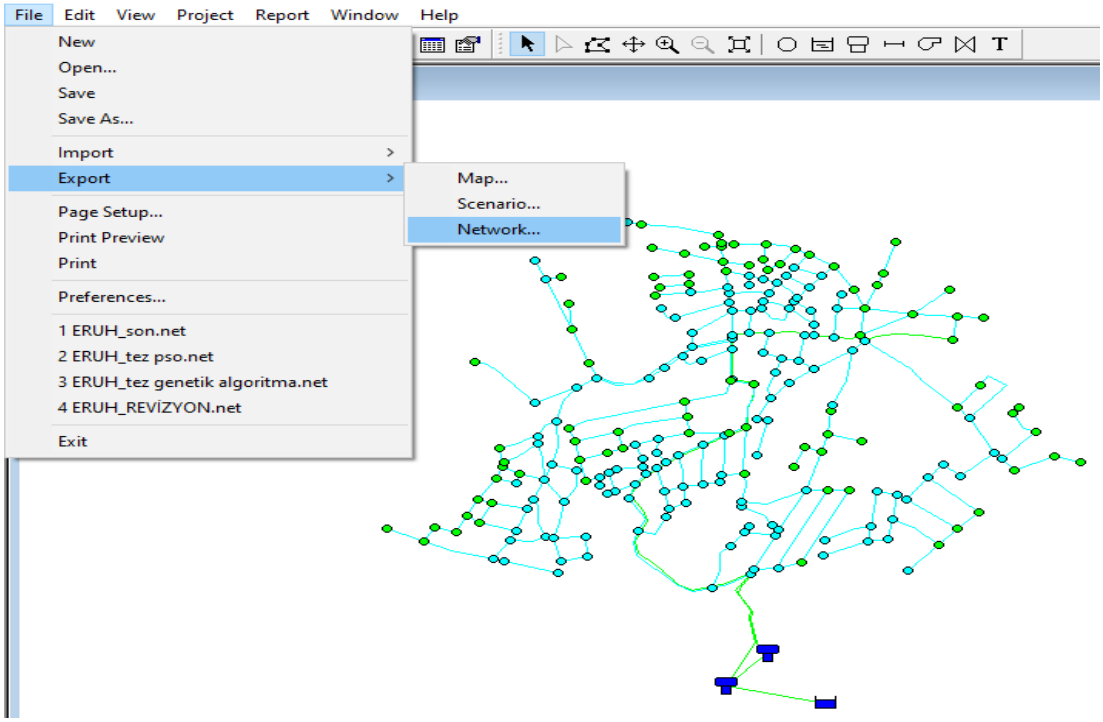
Adım 1: Ücretsiz portal olan Github'daki "Open Water Analytics" şirketinin kurucuları Marios Kyriakou ve Demetrios Eliades tarafından oluşturulmuş dijital bir depoda erişebileceğimiz Matlab programının Epanet programına arayüz olmasını sağlayan Epanet-Matlab araç setinin ilgili kodları Github internet sitesinden[3] elde edilerek Matlab programına taşınmıştır (Şekil 3.11).

[3] https://github.com/OpenWaterAnalytics/EPANET-Matlab-Toolkit



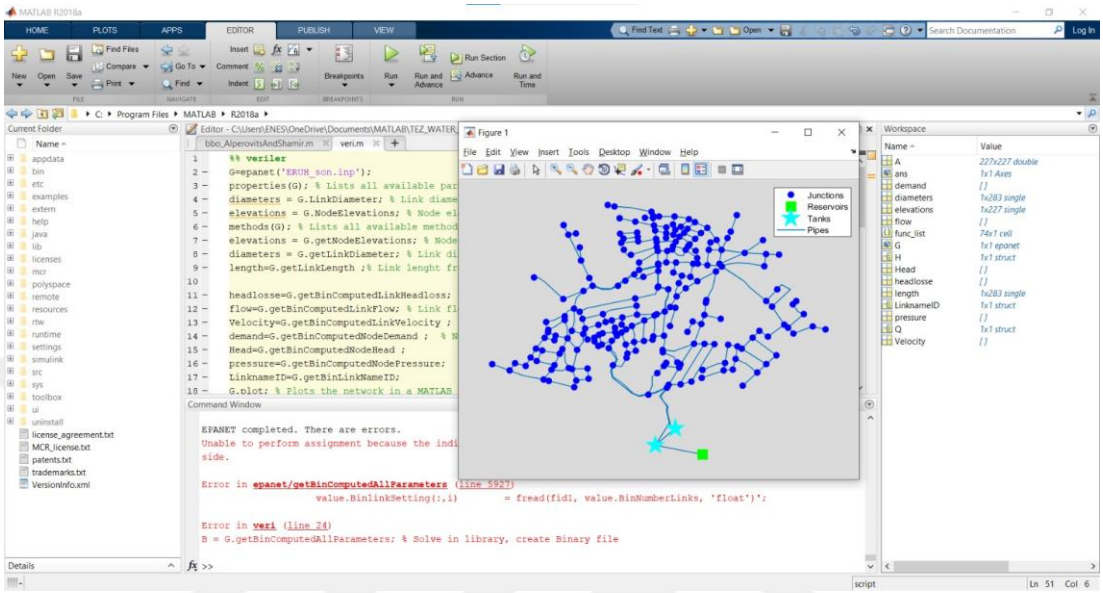
Şekil 3. 11 Epanet-MATLAB araç seti internet adresi

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. formatıyla dışa aktarılıp Matlab programının ilgili dosya klasörüne gönderilir (Şekil 3.12).



Şekil 3. 12 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 3.13).



Şekil 3. 13 Epanet verilerinin MATLAB ortamında okutulması

3.2.7. 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 cinsine göre minimum yada maksimum değerler olabilir. Optimize işlemlerinde kullanılan yöntemler ise analitik yöntemler (matematiksel modelleme, dal-sınır algoritması, vb.), sezgisel yöntemler ve metasezgisel yöntemler olarak üç ana başlığa ayrılır. Bu tez çalışmasında metasezgisel yöntemler kullanılmıştır. Bu metasezgisel yöntemler, kullandığımız algoritmaların çözeceğimiz problem yapısına uyarlanması ile elde edilen çözüm yöntemleridir. Örneğin Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Karınca Koloni Algoritması (ACO), Tavlama Benzetimi Algoritması (SA), vb. yöntemlerdir.

Optimize işlemi belirlediğimiz problemin cinsine bağlı olarak oluşturduğumuz kısıtlayıcılar altında bulunacak çözüm kümelerinden amaca en uygun olanını mümkün olan en kısa zamanda bize vermesi açısından oldukça kolaylık sağlamaktadır. Mühendisler devamlı olarak amaca hizmet edecek ürünü en kısa zamanda ve maliyette elde etmenin yollarını arar. Bunu da belli koşullar altında yapmaları gerekir. İşte bu noktada sınırlayıcıların olduğu bir ortamda verimi en yüksek oranda karşılayabilmek için optimizasyon tekniklerini kullanırlar.

3.2.7.1. Optimizasyon değişkenleri

Bu çalışmada optimizasyon işlemi yapılırken metasezgisel yöntemlerden yararlanılmıştır. Bu teknik içme suyu şebekesinde boru çaplarını değiştirmek amacıyla ele alınmıştır. Olasılık temeline dayanan metasezgisel yöntemler belli bir mantık çerçevesinde çalışmaktadır. Seçeceğimiz katsayılar ulaşmak istediğimiz optimum sonuca gitme süresini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında algoritmalarda kullanılmış (nPop) ifadesi popülasyonun sayısını, (MaxIt) ifadesi iterasyonların maksimum sayısını gösterirken, kullanılan algortima yapısına uygun değişebilen kontrol parametrelerini ise kullanıcı belirlemektedir.

Popülasyon sayısı (nPop): Algoritmada bulunan bireylerin en uygun değerleri problemin muhtemel çözümüne karşılık gelecektir**.** Bu bireyler farklı algoritma türlerinde farklı isimler alacaktır. (GA=Kromozom, PSO=Parçacık).

Maksimum iterasyon sayısı (MaxIt): 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. Kullandığımız algoritmaların cinsine göre diğer kontrol parametreleri değişiklik gösterebilir. Örnek verecek olursak; Genetik Algoritma kullanılan işlemlerde mutasyon oranı (Pm), çaprazlama oranı (Pç) alınırken, Parçacık Sürü Algoritmasında ise atalet ağırlığı (w) gibi bir değer alır. Kullanılan her bir algoritma için oluşturulacak kontrol parametre değerleri kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Sonuca ulaşma süresi problemin yapısına uygun değer kümesinin seçilmesi ile ilgilidir. Bu nedenle bu çalışmada algoritmalar için uygun değerlerin belirlenmesi deneme yanılma yolu ile yapılmaya çalışılmıştır.

3.2.8. Metasezgisel optimizasyon algoritmaları

Çalışmada kullanılmış optimizasyon tekniklerinden metasezgisel algoritma olan Genetik Algoritma ile Parçacık Sürü Algoritması bu bölümde anlatılmıştır.

3.2.8.1. Genetik algoritma (GA)

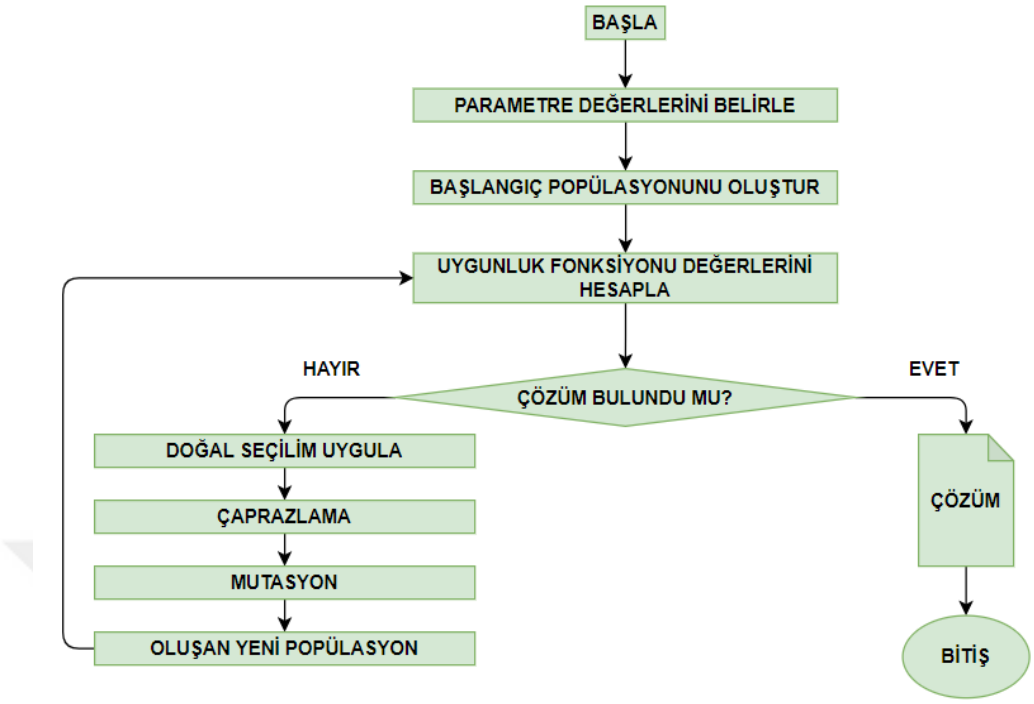
Doğal seçilim ve doğal genetiğin mekaniğine dayanan olasılıksal bir arama algoritması olan genetik algoritma, popülasyon adı verilen bir dizi çözümle başlatılır. Çözüm, bir kromozom ile temsil edilir. Popülasyon büyüklüğü her nesil boyunca korunur. Her nesilde, her bir kromozomun uygunluğu değerlendirilir ve daha sonra bir sonraki nesil için kromozomlar uygunluk değerlerine göre olasılıksal olarak seçilir. Seçilen kromozomlardan bazıları rastgele çiftleşir ve yavru üretir. Yavru üretirken çaprazlama ve mutasyon rastgele gerçekleşir. Kromozomlardan uygunluk değeri yüksek olanlarının seçilme olasılığı yüksek olduğundan, oluşacak yeni nesillerin kromozomları önceki nesil kromozomlara göre daha fazla ortalama uygunluk değerine sahip olabilir. Evrim süreci, koşulların tamamı sağlanana dek tekrarlanır. Genetik algoritmalardaki çözümlere kromozomlar veya diziler denir. Çoğu durumda, kromozomlar listeler veya diziler ile temsil edilir. Bu nedenle, genetik algoritmadaki birçok işlem, listeler veya diziler üzerinde yapılan işlemlerdir. Python veya Perl gibi çok yüksek seviyeli diller, liste işlemede veya dizi işlemede C/C++/Java'dan daha üretkendir. Bu algoritma, arama problemleri ve optimizasyon işlemlerinde yaklaşık yada kesin çözümleri bulma amacıyla hesaplamalarda kullanılan bir arama yöntemidir. Genetik algoritmalar, mutasyon, kalıtım, seçim ve çaprazlama gibi evrimsel biyolojiden ilham alan teknikleri kullanan belirli bir evrimsel algoritmalar sınıfıdır. Genetik algoritmalar biyoloji, mühendislik, bilgisayar bilimi ve sosyal bilimler gibi çeşitli alanlardaki karmaşık problemlere optimal çözümler bulmak için kullanılmıştır. Yerel arama yöntemlerinin aksine, genetik algoritmalar, olasılıksal bir strateji tarafından kontrol edilen bir dizi bağımsız hesaplamaya dayanır. Bu, birbirini izleyen nesiller içinde en iyi bireylerin doğal seçiliminin bir simülasyonudur. Klasik terminolojiye göre, ele alınan bir problemin çözümüne birey denir. Ele alınan bireylerin oluşturduğu kümeye popülasyon denir. Her bireyin veri özelliklerini kodlayan bir kromozom dizisi vardır (Kumar vd., 2010).

G.A.'nın kurucusu olarak kabul edilen Holland, öğrencileri ve arkadaşlarıyla oluşturduğu 'Genetik Algoritma' kavramını "Doğal ve Yapay Sistemlerde Uyarlama"

kitabıyla literatüre kazandırmıştır (Karaboğa, 2018). Goldberg ise Holland'ın ardından bunu devam ettirmiş, genetik algoritmanın pratiğe dönüşmesini sağlamış ve 1989 yılında yayınlanmış olan "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning" adlı kitabında genetik algoritma içeren 83 adet uygulamaya yer vermiştir (Altay, 2007). Goldberg'in bu çalışmasından sonra genetik algoritma çalışmaları oldukça geniş kullanım alanlarına yayılmış ve genetik algoritma kodları kullanabilen bilgisayar programları geliştirilmiştir. Bu programlardan en dikkat çekeni 1992 yılında John Koza tarafından LISP ile yazılmış bilgisayar programıdır (Altay, 2007). Genetik algortima evrim teorisine dayanarak problemin çözüm kümesini oluşturur. Burada ki ana amaç toplumu oluşturan bireylerin nesilden nesile aktarılıp kötü çözümlerin elenmesini sağlayarak ulaşılabilecek en iyi çözüme gitmektir. Genetik algoritmada bulunan genler problemdeki değişkenleri temsil eder ve bu genler bir araya gelerek kromozomları oluşturur. Bu kromozomlar problemlerde ki değişken sayısını temsil eden genlerden oluşur. Örneğin, 5 değişken içeren bir problemde kromozomların her birinde 5 gen bulunur ve problem 5 boyutlu bir matris şeklinde tanımlanır.

Oluşan bu kromozomlar problemde olası çözümü ifade ederken, bunların sayısı kadar da çözüm elde edilir. Genler bir araya gelerek kromozomları, kromozomlar bir araya gelerek popülasyonları meydana getirir. Genetik Algoritmada amaç bu genetik şifreler kullanılarak en ideal kromozoma ulaşmaktır. Burada oluşan doğal seleksiyon sonucu zayıf bireyler yok olurken, güçlü bireyler hayatta kalır. İşte bu evrimin sonucunda hayatta kalan güçlü bireyler problemin en iyi sonucu olarak ele alınır.

GA, özellikleri ve sayısı rassal olarak belli olan bireylerin genetik işlemlerle üremesine müteakip oluşan yeni ve güçlü çocuklardan yeni ebeveynler rassal olarak eşleştirilip yeni bireyler oluşturulur. Bu yeni bireyler de seleksiyon, çaprazlama, mutasyon gibi genetik işlemlerden geçer. Genetik algoritmanın bitirilmesi ise istenen sonuçların gerçekleşip gerçekleşmemesine bağlıdır. Şekil 3.14'te genetik algoritmanın akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3. 14 GA akış diyagramı (Batmaz, 2021)

GA Algoritmasının İşlem Adımları:

GA algoritmasının işlem adımlarını sıralayacak olursak;

1. Kodlama:

GA' da kullanılacak çözümleri ve problemi doğru bir şekilde tanımlayacak kodlamalar büyük önem taşır. Bu safhada genlerden oluşan kromozomlar problemin olası çözüm kümesini oluşturur.

Tablo 3. 11. Eruh İlçe su dağıtım şebekesi kromozom yapısı

	Boru-1	**Boru-2**	**Boru-3**	**Boru-4**	**Boru-5**	**Boru-6**
Kromozom 1	90	140	160	200	280	355
…	…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…	…
Kromozom n	…	…	…	…	…	…

Şebekede boru çap değeri üzerinden optimum maliyet elde edilmeye çalışılırken, her bir kromozom uzunluğu şebekede ki boru sayısı ile belirlenir. Sütunların her biri (gen)

tasarımda kullanılan boruların çap değerine denk gelmekte ve boru sayısına eşit miktarda gen bulunması gerekir. Tablo 3.11'de Eruh ilçesine ait su dağıtım şebekesinin örnek bir genetik kodlaması gösterilmiştir.

2. Başlangıç popülasyonunu oluşturulması:

Tablo 3.11' de gösterildiği üzere oluşturduğumuz popülasyon rastgele oluşturulan bir kromozom kümesinden oluşur. Genler boru çaplarını temsil ederken bu genlerin yani rastgele dizilmiş boru çaplarının bir araya gelmesiyle de kromozomlar meydana gelir. Boru çapları olarak ifade edilen genler bir araya gelerek kromozomları oluşturur. Bu kromozomların bir araya gelmesiyle de popülasyon meydana gelir.

3. Uygunluk fonksiyonu değerlerinin hesaplanması:

Kromozomların uygunluk değerleri amaç fonksiyonunu temsil ederken, amaç fonksiyonu her boru cinsinin fiyatının uzunluğu ile çarpılması sonucu elde edilir. Bu işlem yapılırken koyduğumuz sınırlayıcılar ihlal edilirse oluşturduğumuz amaç fonksiyonuna eklediğimiz ceza işlemi uygulanır. Boru çapları hidrolik hesaplar yapmak için Epanet-Matlab araç seti vasıtasıyla Epanet programına aktarılır. Boru çapı dışındaki değişkenler sabit kalarak, oluşturulan su dağıtım şebekesinin yeni parametreleri Epanet programı tarafından hesaplanır. Elde edilen sonuçlar ise Matlab programında algoritma vasıtasıyla döndürülerek kullanılır. Yapılan döngüler, programa göre sistem için en makul maliyet bulunana dek devam eder.

4. Yeni nesillerin oluşturulması

Yeni nesillerin seçilimi yapılırken kullanılacak birkaç yöntem bulunmaktadır. Bunlar;

- Doğal seçilim:

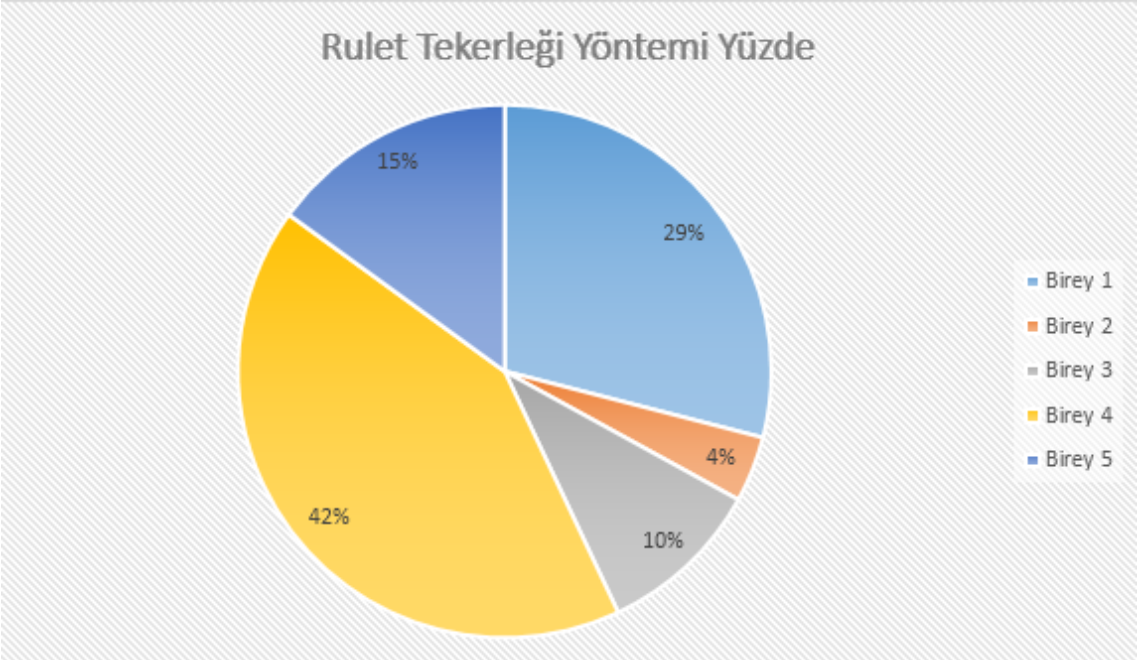
Doğal seçilim özünde, etrafına daha iyi uyum sağlayan bireylerin, bu uyumu yakalayamayan bireylere göre yaşamda kalma ve üreme olasılıklarının daha yüksek olması ve bunun doğal bir sonucu olarak genlerinin yeni kuşaklara aktarabilmelerini sağlayan evrimsel bir süreçtir. Genetik algoritma metodunda gerçekleştirilecek iterasyon döngüleri sonucu oluşan kromozomların bulunduğu çözüm kümelerinin oluşturduğu havuzdan yeni ve daha iyi çözüm kümeleri oluşturabilmek için seçim yapılmalıdır. Bunun için de uygunluk değerlerinin her biri için bir seçilme olasılığı hesaplanmalıdır.

$$\emptyset_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^{N} f_i} \qquad 3.18$$

Denklem 3.18 yardımı ile belirlenen seçilme olasılığı, popülasyonda bulunan bir bireyin uygunluk değerinin popülasyondaki tüm bireylerin uygunluk değerlerinin toplamına bölünmesiyle bulunur. Bu seçim işlemiyle ilgili birçok seçim yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan en çok kullanılan rulet tekerleği yöntemi, turnuva seçim ve rastgele seçim yöntemleridir (Yılmaz, 2015). Bir sonraki kuşak için yapılacak seçim işlemi, doğal seçilimde en uygun bireylerin hayatta kalması diğer bireylerin ise yok olmasıyla devam eder (Emel ve Taşkın, 2002).

- Rulet tekerleği seçim yöntemi:

Şekil 3.15'da gösterildiği gibi bir rulet tekerleğine bireyler uygunluk fonksiyonlarına göre kaplayacakları hacimler belirlenerek o oranda yerleştirilir. Rulet tekerleği çevrilerek seçim yapılır. Uygunluk fonksiyonu değeri yüksek olan bireyler tekerlekte daha fazla yer kapladığından seçilme şansları yüksek olur (Kahraman ve Özdağlar, 2004).



Şekil 3. 15. Rulet tekerleği seçim yöntemi

- Turnuva seçim yöntemi:

Toplulukta bulunan bireylerden rastgele örneklemler alınarak, bu örneklemlerdeki uygunluk değeri yüksek olan bireylerin seçilmesi ve diğerlerinin elenmesiyle oluşur. Oluşturulacak yeni topluluğun bireyleri, bireyler arası yapılacak yarışma sonucu belirlenir.

- Rastgele seçim yöntemi:

Toplulukta bulunan bireylerin belli bir kural olmadan rastgele seçilmesi yöntemidir.

3.2.8.2. Parçacık sürü optimizasyon algoritması (PSO)

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) başlangıçta Eberhart ve Kennedy tarafından tasarlanmıştır. PSO kuşların, arıların veya balıkların bir sürü halinde sosyal davranışlarının simülasyonu üzerine inşa edilmiş bir algoritmadır. PSO algoritmasındaki parçacıklar sürüde bulunan bir kuşu, arıyı, balığı veya sürü halinde hareket etme davranışı gösteren canlılardan herhangi birini ifade etmektedir. Parçacık sürü algoritması popülasyona dayalı bir optimizasyon algoritması olup, parçacık (particle) şeklinde ifade edilen bireyler (Npop) diye adlandırılan sürüyü yada popülasyonu oluşturmaktadır. Sürü içerisinde bulunan her bir parçacık mevcut problemin muhtemel bir çözümünü ifade eder. Yapılacak optimizasyon süreci boyunca parçacıklar arama uzayında uçarken kendi uçuş yörüngelerini seçmelerini sağlayan hız vektörü (vij) ve konum vektörüne (xij) sahip olurlar (Batmaz, 2021).

Parçacıkların her birinin konum ve hız vektörlerine dayalı uygunluk değeri (p_{ij}) bulunur. Bulunan uygunluk değeri optimize edilen problemin tanımlı olan fonksiyonunu ifade etmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında su şebekesi dağıtım maliyetinin minimum olması istendiği için amaç fonksiyonumuz 3.14 eşitliğinde gösterildiği üzere aynı kalacaktır. Probleme tanımlı olan kısıtlayıcılar, konum vektörleri ve parçacık hız vektörleri belirlenmiş maksimum değer (x_{max}, v_{max}) ve minimum (x_{min}, v_{min}) değerleri geçtiğinde GA'da olduğu gibi belirlediğimiz ceza değeri ile karşılaşır. Bu ceza değeri büyük bir değer olacak ve istenen en iyi sonuçtan uzaklaşacağı için kısıtlayıcıları ihlal etmesi engellenir.

Denklem 3.19'da parçacık sürü algoritmasında bulunan sürüdeki parçacıkların konum vektör matrisi gösterilmiştir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1N} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ x_{M1} & x_{M2} & \cdots & x_{MN} \end{bmatrix} \qquad 3.19$$

3.19'da verilen denklemde "X" ifadesi konum vektörünün matrisini; "x_{ij}" ifadesi şebekede bulunan boru çap değerini; "N" ifadesi şebekede bulunan boru sayısın; "M"

ifadesi değişik maliyetli olacak çözüm sayısını temsil etmektedir. Aynı şekilde 3.20 eşitliğinde ise hızı temsil eden vektör matrisi verilmiştir.

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1N} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ v_{M1} & v_{M2} & \cdots & v_{MN} \end{bmatrix} \quad 3.20$$

Denklem 3.21'de gösterilen "p_{ij}" şebekedeki her bir borunun maliyetini; "MxN" ise amaç fonksiyonunun değerini belirtir.

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1N} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ p_{M1} & p_{M2} & \cdots & p_{MN} \end{bmatrix} \quad 3.21$$

Denklem 3.22'de gösterilen G_{best} (küresel en iyi uygunluk değerleri) değerleri ile P_{best} (yerel en iyi değerler) değerleri bir vektör oluşturur. Bu vektör içinde bulunacak en iyi sonuç ise problemin optimum sonuç değerine tekabül eder.

$$G = [g_1 \ g_2 \ g_3 \ \ldots\ldots \ g_N] \quad 3.22$$

3.19, 3.20, 3.21 ve 3.22 denklemleri ile gösterdiğimiz X, V, P,G değerleri PSO algoritmasının verilerini içermektedir. PSO algoritmasının temelini oluşturan bu dört denklem güncellenerek bulunduğu arama uzayında kısa zamanda optimum sonuca ulaşmamızı sağlar.

Hem GA hem de PSO, verilen problem için bir grup aday çözümle çalışan ve onları optimuma doğruya yönlendiren popülasyon tabanlı tekniklerdir. GA, uygunluğa dayalı çaprazlama, mutasyon ve seçim gibi biyoevrim mekanizmalarını kullanarak türlerin doğal evrimini simüle eder. PSO, uçan kuş sürüleri veya balık okulları gibi sosyal davranışa veya büyük gruplara dayanır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

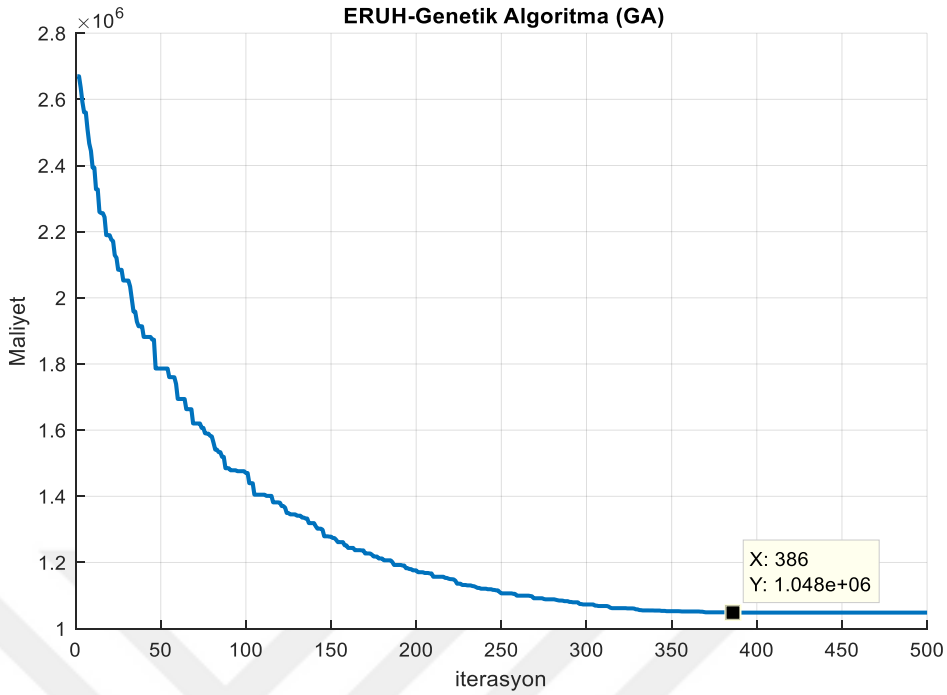
Yapılan bu tez çalışmasıyla, Eruh ilçesi içme suyu mevcut şebeke hattı Epanet programında yeniden tasarlanmıştır. Metasezgisel algoritmalar olan genetik algoritma (GA) ile parçacık sürü algoritması (PSO) kullanılıp ilçenin su dağıtım şebekesi maliyet boyutunda (boru çapları minimize edilmesi) optimize edilerek sonuç değerleri bu kısımda gösterilmiştir. Optimizasyon işlemleri 2.5 GHz hızında DELL G3 15 INTEL CORE bilgisayar kullanılarak yapılmış olup, Eruh şebekesi için optimizasyon sonucu oluşan yeni çaplar sonuçlar karşılaştırılmak üzere Ek 1'de sunulmuştur.

4.1 Eruh İlçesi İçme Suyu Şebekesinin Maliyet Optimizasyonu Sonuçları

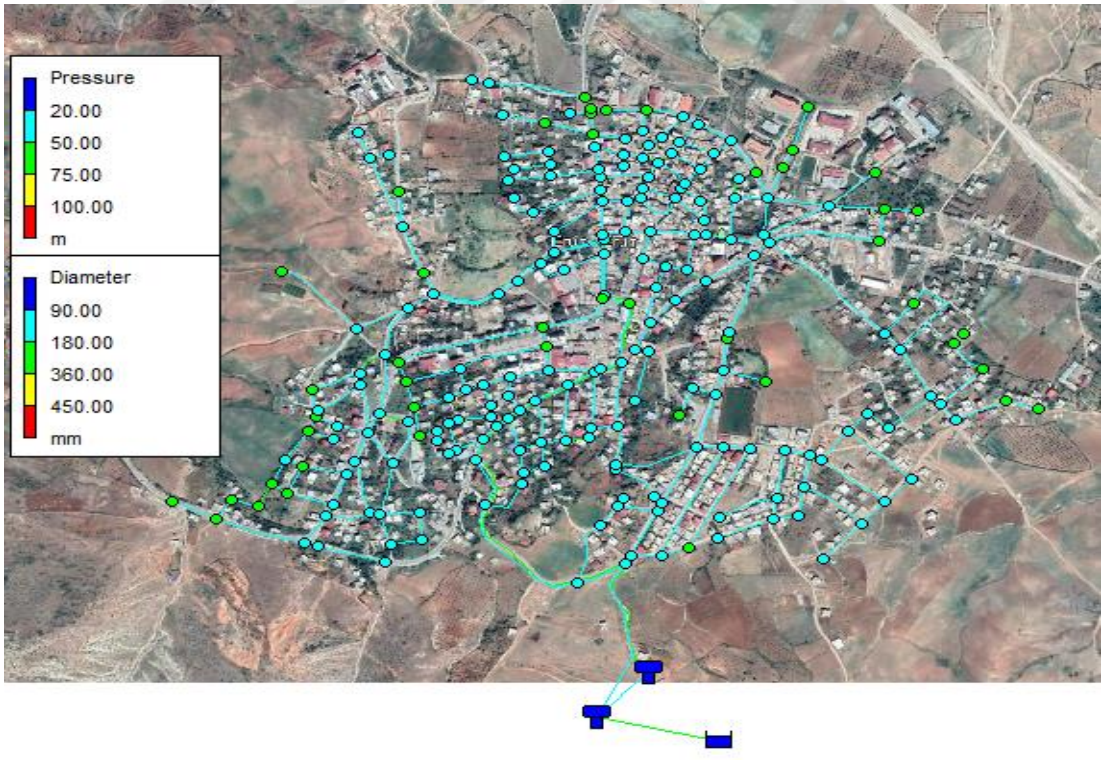
Eruh ilçesi içme suyu şebekesi Epanet-Matlab araç seti kullanılarak Matlab programına aktarıldıktan sonra iki ayrı (GA, PSO) metasezgisel algoritma ile Matlab programı kullanılarak optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. GA ve PSO algoritmaları kullanılarak optimizasyon sonucu elde edilen veriler bu kısımda gösterilmiştir.

4.1.1 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 386x500=193000 kez çalıştırılmıştır. Optimizasyon sonucunda maliyet değerinin yapılan iterasyonlar boyunca değişimi Şekil 4.1'de; değişen boru çaplarıyla yeniden Epanet programında tasarlanan şebekenin boru çapları ve düğüm noktalarındaki basınç değerleri Şekil 4.2'de gösterilmektedir



Şekil 4. 1 Eruh ilçesi içme suyu şebekesinin GA'ya ait maliyet değişimi



Şekil 4. 2 GA Optimizasyonu sonrası Eruh ilçesi içme suyu şebekesi Epanet tasarımı

Şekil 4.2'den de anlaşıldığı üzere GA ile yapılan optimizasyon sonucu elde edilen veriler (boru çapları) Epanet programına tekrardan girilmiş ve sistem başarılı bir

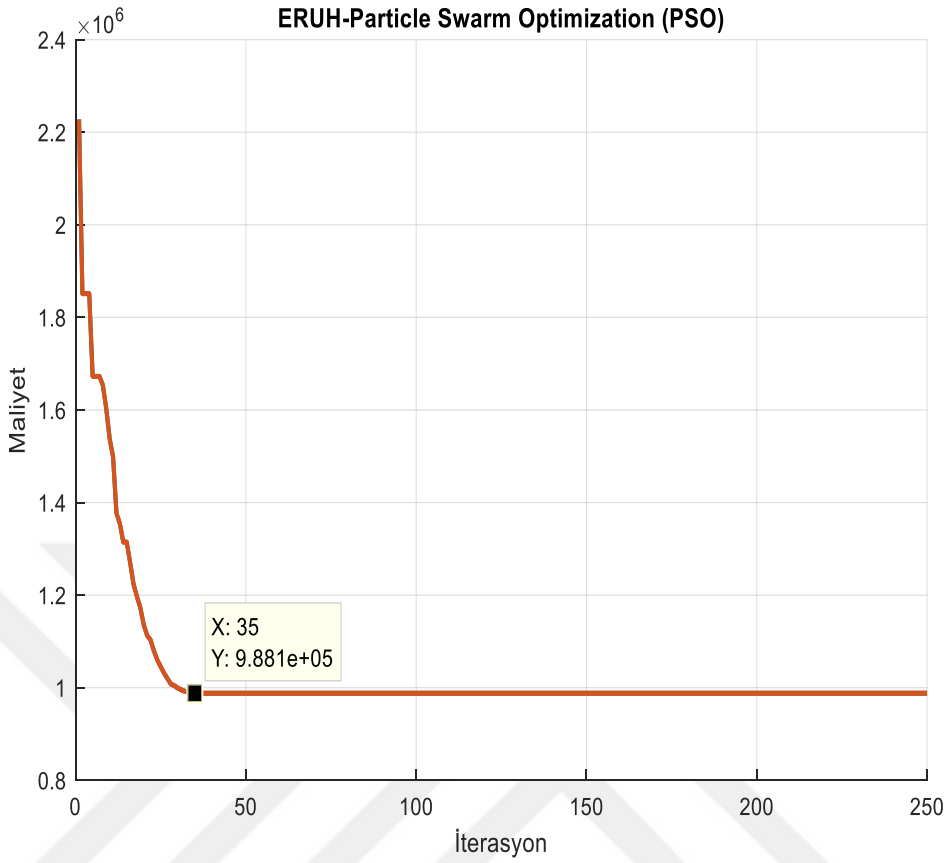
şekilde çalıştırılmıştır. Şekil 4.3'de ise GA optimizasyonu sonucu oluşan şebekenin basınç kontur grafiği verilmiştir.



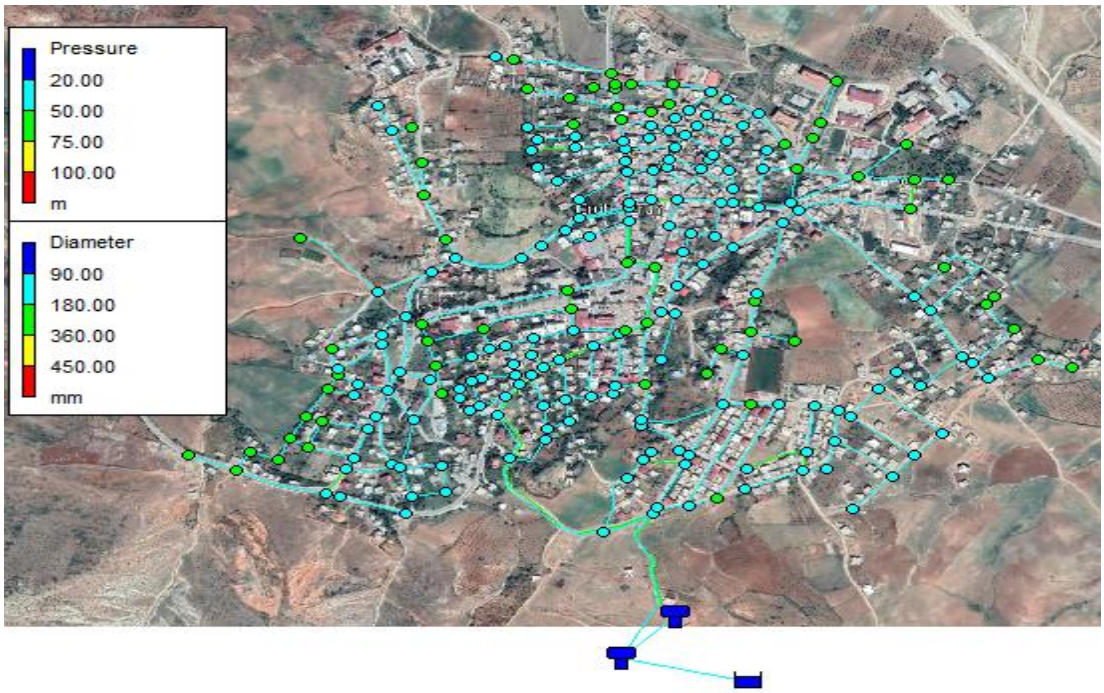
Şekil 4. 3 GA optimizasyonu sonrası Eruh ilçesi içme suyu şebekesi Contour-Plot Pressure grafiği

4.1.2 Parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritması ile maliyet optimizasyonu

Eruh ilçesi su dağıtım şebekesinde parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile yapılan optimizasyon işleminde kullanılan kontrol parametreleri; sosyal öğrenme katsayısı (C2) 1.5, atalet ağırlığı (w) 1, parçacık maksimum hız ve minimum hız vektörü sırasıyla 2 ve -2 (VelMax, VelMin), bilişsel öğrenme katsayısı (C1) 1.5, ve popülasyonun sayısı (nPop) 100 olarak seçilmiştir. Toplamda 250 iterasyon yapılarak gerçekleşen optimizasyon işleminde optimum maliyet değeri olan 9,881x 10^5 TL değere 35. iterasyonda ulaşılmıştır. Amaç fonksiyonu optimum maliyet değerine ulaşana kadar 35x100=3500 kez çalıştırılmıştır. Optimizasyon sonucunda maliyet değerinin yapılan iterasyonlar boyunca değişimi Şekil 4.4'te; değişen boru çaplarıyla yeniden Epanet programında tasarlanan şebekenin boru çapları ve düğüm noktalarındaki basınç değerleri Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4. 4 Eruh ilçesi içme suyu şebekesi için PSO 'ya ait maliyet değişimi



Şekil 4. 5 PSO Optimizasyonu sonrası Eruh içme suyu şebekesi Epanet tasarım

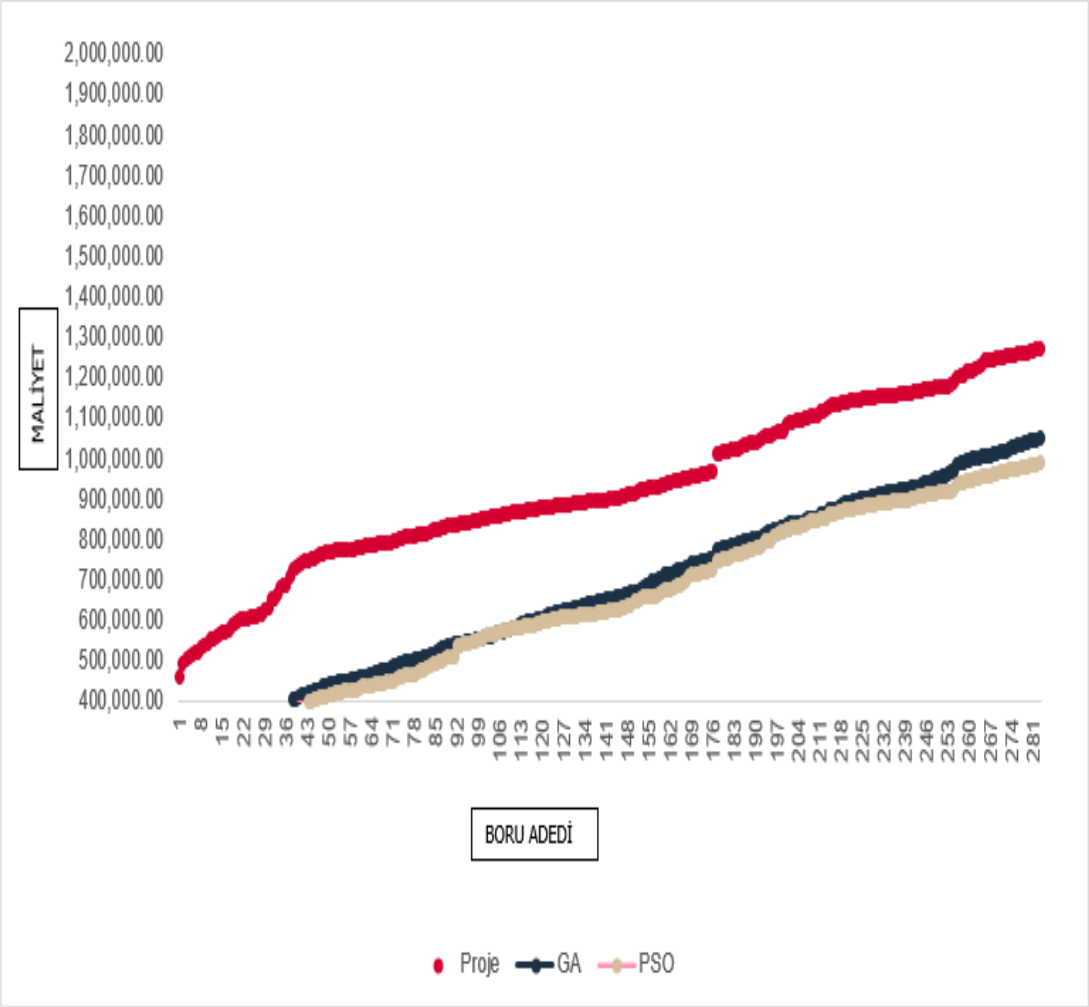
Şekil 4.5'ten de anlaşıldığı üzere PSO ile yapılan optimizasyon sonucu elde edilen veriler (boru çapları) Epanet programına tekrardan girilmiş ve sistem başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır. Şekil 4.6'da ise PSO optimizasyonu sonucu oluşan şebekenin basınç kontur grafiği verilmiştir.



Şekil 4. 6 PSO optimizasyonu sonrası Eruh içme suyu şebekesi Contour-Plot Pressure grafiği

4.1.3 Eruh ilçesi içme suyu şebekesinin optimizasyonunda kullanılan algoritmaların performanslarının değerlendirilmesi

Eruh ilçesi içme suyu şebekesini maliyet açısından optimize ederken kullandığımız metasezgisel algoritmalar olan GA, PSO algoritmalarının sonuçlarını inceleyecek olursak, aynı sınırlayıcılar altında 1,270,070.49 TL olan toplam maliyet, GA ile yapılan optimizasyon sonucunda 1,048,400.00 TL, PSO ile yapılan optimizasyon sonucunda ise 988,100.00 TL olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.7'de ise optimizasyon sonucunda toplam boru sayısına bağlı maliyet değişimleri görülmektedir.



Şekil 4. 7 Optimizasyon sonrası maliyet değişimi

Bu tez çalışmasında kullanılan GA ile PSO algoritmalarını kıyaslayacak olursak, PSO ile yapılan optimizasyonda GA ile yapılan optimizasyona göre daha az değerlendirme sayısı ile daha düşük maliyete ulaşılmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında mevcut Eruh ilçesi su dağıtım şebekesi Epanet ortamında yeniden tasarlanıp, metasezgisel yöntemler olan GA ve PSO algoritmalarıyla şebekenin boru maliyeti optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan optimizasyon işlemi Epanet araç setinin Matlab yazılımı ile kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Mevcut şebekenin kotları ve çap değerleri kullanılarak Epanet ortamında yeniden modellenmiş, Epanet-Matlab araç seti kullanılarak Matlap 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. GA ile toplam 500 iterasyonda gerçekleşen optimizasyonda 386. iterasyonda optimum maliyet değerine ulaşılmış, PSO ile toplam 250 iterasyonda gerçekleşen optimizasyonda 35. iterasyonda optimum maliyet değerine ulaşmıştır.

Bu tez çalışmasında Eruh 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 azalma, PSO ile yapılan optimizasyon sonucu ise yaklaşık %28,54'lük bir azalma meydana gelmiştir. Sonuç olarak kullanılan iki algoritmadan da yapılarına uygun parametre eşleştirmelerinin yapılması ve problemin yapısına uygun parametrelerin seçilmesi halinde verimli sonuçların alınabileceği gözlemlenmiştir. Yapılan bu tez çalışmasıyla Eruh içme suyu şebeke hattının sadece boru çap değerleri baz alınarak maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Ancak su dağıtım şebekelerinde maliyeti etkileyen işçilik, işletme, malzeme vb. birden fazla parametre bulunduğundan sistemi komple ele alacak bir yaklaşımla Epanet-Matlab araç seti yardımıyla maliyet analizi yapılması gerçeğe daha yakın sonuçlar verecektir.

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 şebekenin optimum maliyetle inşa edilmesi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

Afshar, M. H. (2009). Application of a compact genetic algorithm to pipe network optimization problems. *Scientia Iranica*, *16*(3), 264–271.

Altay, A. (2007). *Genetik Algoritma ve Bir Uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Batmaz, V. (2021). *Su Dağıtım Şebekelerinin Metasezgisel Yöntemlerle Optimizasyonu.* (Yüksek Lisans Tezi). Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Babu, K. S. J. ve Vijayalakshmi, D. P. (2013). Self-adaptive PSO-GA hybrid model for combinatorial water distribution network design. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, *4*(1).

Chin, D. A. (2000). *Water-Resources Engineering*, Prentice Hall, New Jersey, USA.

Cisty, M. (2010). Hybrid genetic algorithm and linear programming method for least-cost design of water distribution systems. *Water Resources Management*, *24*(1), 1–24.

Costa, L., H., M., vd., (2010). Hybrid genetic algorithm in the optimization of energy costs in water supply networks. *Water Science and Technology: Water Supply*, *10*(3), 315–326.

Dandy, G., C., vd., (1996). An improved genetic algorithm for pipe network optimization. *Water Resources Research*, *32*(2), 449–458.

Dong, X., L., vd., (2012). A comparative study of differential evolution and genetic algorithms for optimizing the design of water distribution systems. *Journal of Zhejiang University: Science A*, *13*(9), 674–686.

Eliades, D., G., vd., (2016). Epanet-Matlab Toolkit : An open-source software for ınterfacing epanet with matlab. *Computing and Control for the Water Industry CCWI*, 1–8.

Emel, G. G. ve Taşkın, Ç. (2002). Genetik algoritmalar ve uygulama alanları. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *21*(1), 129–152.

Ezzeldin, R., vd., (2014). Integer discrete particle swarm optimization of water distribution networks. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, *5*(1), 04013013.

Hama, B. H. (2018). *Optimal design of water distribution network system by genetic algorithm in EPANET-MATLAB toolkit*. Eastern Mediterranean University. KKTC.

Kahraman, A. M. ve Özdağlar, D. (2004). Su dağıtım sistemlerinin genetik algoritma ile optimizasyonu. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, *6*(3), 1–18.

Karaboğa, D. (2018). *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları* (6. bs.). Nobel Akademik Yayıncılık.

Kubat, C. (2019). *MATLAB Yapay Zeka ve Mühendislik Uygulamaları* (4. bs.). Abaküs Kitap Yayın Dağıtım Hizmetleri.

Larock, B., E., vd., (1999). *Hydraulics of Pipeline Systems*. *Hydraulics of Pipeline Systems*. doi:10.1201/9780367802431

Kumar, M., vd., (2010). International Journal of Information Technology and Knowledge Management, Volume 2, No. 2, pp. 451-45.

Muluk, Ç., vd, (2013). *Türkiye'de suyun durumu ve su yönetiminde yeni yaklaşımlar: çevresel perspektif*. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği: Doğa Koruma Merkezi.

Niño, O., T., V., vd., (2018). Using the Epanet Toolkit v2.00.12 with Different Programing Environments. *Mexican Institute of Water Technology*.

Özdağlar, D., vd., (2006). Kompleks Su Dağıtım Şebekelerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu. *İMO Teknik Dergisi*, 3851–3867.

Prasad, T. D. ve Park, N. S. (2004). Multiobjective genetic algorithms for design of water distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *130*(1), 73–82.

Raad, D.N. (2011). *Multi-objective optimization of water distribution systems design using metaheuristics*. (PhD Thesis). Faculty of Economic and Management Sciences, University of Stellenbosch. South Africa.

Ramalingam, D., vd., (2003). History of water distribution network analysis: Over 100 years of progress. *In Environmental and Water Resources History*, 55–67.

Rossman, L. A. (2000). Epanet 2 users manual. *Uneted States Environmental Protection Agency (EPA)*, 1–200.

Simpson, A., R., vd., (1994). Genetic Algorithms Compared to Other Techniques for Pipe Optimization. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *120*(4), 423–443.

Yılmaz, V. (2015). *Su dağıtım şebekelerinin metasezgisel yöntemlerle optimizasyonu*. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

EKLER

Ek 1: Eruh (SİİRT) içme suyu şebekesinin GA, PSO algoritmaları ile optimizasyonu sonucunda elde edilen sonuç değerleri

Boru No	Uzunluk (m)	Çap (mm)	Birim Maliyet (TL)	Maliyet (TL)	GA (Çap mm)	PSO (Çap mm)
Boru-1	1,300.00	355	355.50	462,150.00	280	280
Boru-2	89.13	355	355.50	31,685.72	140	200
Boru-3	32.04	355	355.50	11,390.22	200	140
Boru-4	93.32	160	73.30	6,840.36	90	90
Boru-5	34.04	160	73.30	2,495.13	90	90
Boru-6	54.78	160	73.30	4,015.37	140	90
Boru-7	44.82	160	73.30	3,285.31	90	90
Boru-8	127.97	160	73.30	9,380.20	90	90
Boru-9	51.49	160	73.30	3,774.22	140	90
Boru-10	113.52	160	73.30	8,321.02	90	90
Boru-11	127.69	160	73.30	9,359.68	140	140
Boru-12	47.22	160	73.30	3,461.23	90	90
Boru-13	65.79	160	73.30	4,822.41	160	140
Boru-14	29.29	160	73.30	2,146.96	160	90
Boru-15	69.75	160	73.30	5,112.68	160	90
Boru-16	29.29	160	73.30	2,146.96	90	90
Boru-17	67.03	160	73.30	4,913.30	160	200
Boru-18	166.97	160	73.30	12,238.90	90	90
Boru-19	88.59	160	73.30	6,493.65	140	90
Boru-20	8.60	355	355.50	3,057.30	200	355
Boru-21	73.04	160	73.30	5,353.83	90	90
Boru-22	24.02	160	73.30	1,760.67	160	90
Boru-23	27.33	160	73.30	2,003.29	160	90
Boru-24	18.12	160	73.30	1,328.20	160	90
Boru-25	48.24	140	56.20	2,711.09	140	90
Boru-26	29.29	140	56.20	1,646.10	160	140
Boru-27	43.08	140	56.20	2,421.10	140	90
Boru-28	10.85	140	56.20	609.77	200	90
Boru-29	38.99	280	220.60	8,601.19	90	140
Boru-30	45.23	280	220.60	9,977.74	160	280
Boru-31	81.45	280	220.60	17,967.87	90	90
Boru-32	20.73	280	220.60	4,573.04	200	90
Boru-33	46.01	280	220.60	10,149.81	90	90
Boru-34	59.07	280	220.60	13,030.84	160	140
Boru-35	79.76	140	56.20	4,482.51	90	90
Boru-36	18.84	280	220.60	4,156.10	355	90
Boru-37	202.55	200	114.40	23,171.72	90	90

Ek 1 (Devam)

Boru No	Uzunluk (m)	Çap (mm)	Birim Maliyet (TL)	Maliyet (TL)	GA (Çap mm)	PSO (Çap mm)
Boru-38	285.72	140	56.20	16,057.46	140	90
Boru-39	42.47	140	56.20	2,386.81	90	90
Boru-40	116.82	140	56.20	6,565.28	140	160
Boru-41	102.39	140	56.20	5,754.32	90	90
Boru-42	51.82	140	56.20	2,912.28	140	90
Boru-43	50.25	140	56.20	2,824.05	140	160
Boru-44	80.42	140	56.20	4,519.60	90	90
Boru-45	24.17	140	56.20	1,358.35	140	200
Boru-46	72.11	140	56.20	4,052.58	90	90
Boru-47	128.00	140	56.20	7,193.60	90	90
Boru-48	70.70	90	23.70	1,675.59	200	90
Boru-49	17.27	90	23.70	409.30	160	140
Boru-50	94.60	90	23.70	2,242.02	90	90
Boru-51	53.75	90	23.70	1,273.88	140	90
Boru-52	95.89	90	23.70	2,272.59	90	160
Boru-53	32.24	90	23.70	764.09	90	90
Boru-54	15.10	90	23.70	357.87	140	90
Boru-55	54.23	90	23.70	1,285.25	90	90
Boru-56	28.00	90	23.70	663.60	140	90
Boru-57	40.06	90	23.70	949.42	140	90
Boru-58	28.00	90	23.70	663.60	90	160
Boru-59	45.00	90	23.70	1,066.50	90	90
Boru-60	87.00	90	23.70	2,061.90	140	140
Boru-61	89.38	90	23.70	2,118.31	90	90
Boru-62	34.00	90	23.70	805.80	90	90
Boru-63	71.73	90	23.70	1,700.00	90	90
Boru-64	64.48	90	23.70	1,528.18	140	90
Boru-65	42.00	90	23.70	995.40	200	90
Boru-66	47.65	90	23.70	1,129.31	90	90
Boru-67	43.80	90	23.70	1,038.06	90	90
Boru-68	89.13	90	23.70	2,112.38	90	90
Boru-69	30.17	90	23.70	715.03	160	90
Boru-70	47.54	90	23.70	1,126.70	200	90
Boru-71	100.28	90	23.70	2,376.64	90	90
Boru-72	86.00	90	23.70	2,038.20	90	160
Boru-73	99.87	90	23.70	2,366.92	90	90
Boru-74	123.18	90	23.70	2,919.37	90	90
Boru-75	103.25	90	23.70	2,447.03	90	90
Boru-76	17.00	90	23.70	402.90	200	90

Ek 1 (Devam)

Boru No	Uzunluk (m)	Çap (mm)	Birim Maliyet (TL)	Maliyet (TL)	GA (Çap mm)	PSO (Çap mm)
Boru-77	62.18	90	23.70	1,473.67	90	90
Boru-78	61.78	90	23.70	1,464.19	90	90
Boru-79	73.21	90	23.70	1,735.08	90	160
Boru-80	57.13	90	23.70	1,353.98	90	90
Boru-81	34.00	90	23.70	805.80	160	200
Boru-82	126.15	90	23.70	2,989.76	90	90
Boru-83	98.44	90	23.70	2,333.03	90	160
Boru-84	194.36	90	23.70	4,606.33	90	90
Boru-86	79.15	90	23.70	1,875.86	140	90
Boru-87	52.46	90	23.70	1,243.30	140	140
Boru-88	112.43	90	23.70	2,664.59	140	90
Boru-89	48.89	90	23.70	1,158.69	90	160
Boru-90	133.55	90	23.70	3,165.14	90	90
Boru-91	53.00	90	23.70	1,256.10	140	140
Boru-92	84.82	90	23.70	2,010.23	90	90
Boru-93	71.21	90	23.70	1,687.68	90	355
Boru-94	26.38	90	23.70	625.21	90	90
Boru-95	27.79	90	23.70	658.62	90	160
Boru-96	68.67	90	23.70	1,627.48	140	90
Boru-97	80.66	90	23.70	1,911.64	90	90
Boru-98	90.97	90	23.70	2,155.99	90	90
Boru-99	80.03	90	23.70	1,896.71	90	140
Boru-100	38.95	90	23.70	923.12	90	90
Boru-102	28.73	140	56.20	1,614.63	140	90
Boru-103	176.78	90	23.70	4,189.69	90	140
Boru-104	29.64	90	23.70	702.47	140	160
Boru-105	25.09	90	23.70	594.63	90	90
Boru-106	78.13	90	23.70	1,851.68	140	90
Boru-107	69.96	90	23.70	1,658.05	90	90
Boru-108	35.88	90	23.70	850.36	160	200
Boru-109	71.88	90	23.70	1,703.56	90	90
Boru-110	62.24	90	23.70	1,475.09	160	90
Boru-111	54.51	90	23.70	1,291.89	90	90
Boru-112	92.08	90	23.70	2,182.30	90	90
Boru-113	48.89	90	23.70	1,158.69	140	90
Boru-114	71.06	90	23.70	1,684.12	160	90
Boru-115	25.85	90	23.70	612.65	160	160
Boru-116	20.43	90	23.70	484.19	200	90
Boru-117	114.67	90	23.70	2,717.68	90	90

Ek 1 (Devam)

Boru No	Uzunluk (m)	Çap (mm)	Birim Maliyet (TL)	Maliyet (TL)	GA (Çap mm)	PSO (Çap mm)
Boru-118	23.03	90	23.70	545.81	90	140
Boru-119	39.60	90	23.70	938.52	90	90
Boru-120	72.69	90	23.70	1,722.75	160	140
Boru-121	53.13	90	23.70	1,259.18	90	90
Boru-122	35.86	90	23.70	849.88	140	90
Boru-123	23.07	90	23.70	546.76	140	90
Boru-124	94.97	90	23.70	2,250.79	140	90
Boru-125	35.12	90	23.70	832.34	200	160
Boru-126	56.64	90	23.70	1,342.37	90	160
Boru-127	9.82	90	23.70	232.73	200	90
Boru-128	68.37	90	23.70	1,620.37	90	90
Boru-129	33.06	90	23.70	783.52	200	90
Boru-130	31.84	90	23.70	754.61	90	90
Boru-131	59.42	90	23.70	1,408.25	90	90
Boru-132	26.46	90	23.70	627.10	200	90
Boru-133	32.84	90	23.70	778.31	140	90
Boru-134	43.66	90	23.70	1,034.74	90	90
Boru-135	45.43	90	23.70	1,076.69	160	90
Boru-136	41.69	90	23.70	988.05	140	90
Boru-137	47.48	90	23.70	1,125.28	140	90
Boru-138	26.97	90	23.70	639.19	200	90
Boru-139	19.06	90	23.70	451.72	90	90
Boru-140	64.67	90	23.70	1,532.68	90	90
Boru-141	50.46	90	23.70	1,195.90	160	90
Boru-142	37.51	90	23.70	888.99	90	90
Boru-143	29.72	90	23.70	704.36	140	90
Boru-144	62.35	90	23.70	1,477.70	140	140
Boru-145	26.16	90	23.70	619.99	90	140
Boru-146	46.21	90	23.70	1,095.18	90	90
Boru-147	57.73	90	23.70	1,368.20	90	90
Boru-85	94.17	90	23.70	2,231.83	90	90
Boru-148	120.18	90	23.70	2,848.27	90	90
Boru-149	124.74	90	23.70	2,956.34	90	90
Boru-150	65.04	90	23.70	1,541.45	90	90
Boru-151	75.57	90	23.70	1,791.01	90	200
Boru-152	91.04	90	23.70	2,157.65	90	90
Boru-153	204.78	90	23.70	4,853.29	90	90
Boru-154	110.82	90	23.70	2,626.43	140	90
Boru-155	77.72	90	23.70	1,841.96	90	90

Ek 1 (Devam)

Boru No	Uzunluk (m)	Çap (mm)	Birim Maliyet (TL)	Maliyet (TL)	GA (Çap mm)	PSO (Çap mm)
Boru-156	33.03	90	23.70	782.81	160	140
Boru-157	23.78	90	23.70	563.59	355	90
Boru-158	29.68	90	23.70	703.42	160	90
Boru-159	101.76	90	23.70	2,411.71	90	90
Boru-160	92.59	90	23.70	2,194.38	90	160
Boru-161	155.98	90	23.70	3,696.73	140	90
Boru-162	71.72	90	23.70	1,699.76	90	90
Boru-163	57.14	90	23.70	1,354.22	140	90
Boru-164	165.55	90	23.70	3,923.54	90	90
Boru-165	111.49	90	23.70	2,642.31	90	90
Boru-166	44.95	90	23.70	1,065.32	140	90
Boru-167	92.88	90	23.70	2,201.26	90	160
Boru-168	51.82	90	23.70	1,228.13	140	200
Boru-169	108.04	90	23.70	2,560.55	90	200
Boru-170	110.20	90	23.70	2,611.74	140	90
Boru-171	80.08	90	23.70	1,897.90	90	90
Boru-172	48.17	90	23.70	1,141.63	90	90
Boru-173	61.94	90	23.70	1,467.98	160	90
Boru-101	77.00	90	23.70	1,824.90	90	90
Boru-174	50.00	90	23.70	1,185.00	90	140
Boru-175	94.00	90	23.70	2,227.80	90	90
Boru-176	120.00	90	23.70	2,844.00	90	90
Boru-177	392.00	200	114.40	44,844.80	140	140
Boru-178	5.59	160	73.30	409.75	90	200
Boru-179	33.39	160	73.30	2,447.49	160	90
Boru-180	20.00	160	73.30	1,466.00	90	90
Boru-181	23.00	140	56.20	1,292.60	90	90
Boru-182	78.00	90	23.70	1,848.60	140	200
Boru-183	44.00	90	23.70	1,042.80	160	90
Boru-184	161.00	90	23.70	3,815.70	90	90
Boru-185	24.00	90	23.70	568.80	90	90
Boru-186	96.00	140	56.20	5,395.20	90	140
Boru-187	11.00	140	56.20	618.20	200	160
Boru-188	97.00	140	56.20	5,451.40	90	90
Boru-189	126.00	90	23.70	2,986.20	90	90
Boru-190	49.00	90	23.70	1,161.30	90	160
Boru-191	51.00	90	23.70	1,208.70	90	90
Boru-192	260.00	90	23.70	6,162.00	90	90
Boru-193	261.00	90	23.70	6,185.70	90	90

Ek 1 (Devam)

Boru No	Uzunluk (m)	Çap (mm)	Birim Maliyet (TL)	Maliyet (TL)	GA (Çap mm)	PSO (Çap mm)
Boru-194	60.00	90	23.70	1,422.00	90	90
Boru-195	49.00	90	23.70	1,161.30	140	90
Boru-196	153.00	90	23.70	3,626.10	90	140
Boru-197	130.00	90	23.70	3,081.00	90	160
Boru-198	51.00	90	23.70	1,208.70	90	90
Boru-199	75.00	90	23.70	1,777.50	90	90
Boru-201	270.00	140	56.20	15,174.00	90	90
Boru-202	115.00	140	56.20	6,463.00	90	90
Boru-203	39.00	140	56.20	2,191.80	140	160
Boru-204	37.00	140	56.20	2,079.40	90	90
Boru-205	24.00	140	56.20	1,348.80	90	140
Boru-206	29.00	140	56.20	1,629.80	90	90
Boru-207	38.00	140	56.20	2,135.60	160	90
Boru-208	62.00	140	56.20	3,484.40	140	200
Boru-209	55.00	140	56.20	3,091.00	90	140
Boru-210	22.00	140	56.20	1,236.40	90	160
Boru-211	35.00	140	56.20	1,967.00	90	90
Boru-212	147.00	140	56.20	8,261.40	140	90
Boru-213	45.00	140	56.20	2,529.00	90	90
Boru-214	149.00	90	23.70	3,531.30	90	90
Boru-215	279.00	90	23.70	6,612.30	90	90
Boru-216	102.00	90	23.70	2,417.40	90	90
Boru-217	49.00	90	23.70	1,161.30	90	90
Boru-218	74.00	90	23.70	1,753.80	160	90
Boru-219	172.00	90	23.70	4,076.40	90	90
Boru-220	52.00	90	23.70	1,232.40	160	90
Boru-221	30.00	90	23.70	711.00	140	90
Boru-222	40.00	90	23.70	948.00	90	90
Boru-223	62.00	90	23.70	1,469.40	140	90
Boru-224	94.00	90	23.70	2,227.80	90	90
Boru-225	51.00	90	23.70	1,208.70	160	90
Boru-226	44.00	90	23.70	1,042.80	90	160
Boru-227	54.00	90	23.70	1,279.80	90	90
Boru-228	52.00	90	23.70	1,232.40	90	90
Boru-229	40.00	90	23.70	948.00	160	140
Boru-230	40.00	90	23.70	948.00	90	90
Boru-231	32.00	90	23.70	758.40	160	90
Boru-232	20.00	90	23.70	474.00	140	90
Boru-233	44.00	90	23.70	1,042.80	140	140

Ek 1 (Devam)

Boru No	Uzunluk (m)	Çap (mm)	Birim Maliyet (TL)	Maliyet (TL)	GA (Çap mm)	PSO (Çap mm)
Boru-234	62.00	90	23.70	1,469.40	90	90
Boru-235	18.00	90	23.70	426.60	90	90
Boru-236	54.00	90	23.70	1,279.80	90	90
Boru-237	16.00	90	23.70	379.20	140	90
Boru-238	55.00	90	23.70	1,303.50	140	90
Boru-239	28.00	90	23.70	663.60	200	90
Boru-240	12.00	90	23.70	284.40	90	90
Boru-241	31.00	90	23.70	734.70	90	90
Boru-242	95.00	90	23.70	2,251.50	90	140
Boru-243	50.00	90	23.70	1,185.00	90	90
Boru-244	20.00	90	23.70	474.00	140	90
Boru-245	102.00	90	23.70	2,417.40	90	90
Boru-246	118.00	90	23.70	2,796.60	140	90
Boru-247	87.00	90	23.70	2,061.90	90	90
Boru-248	48.00	90	23.70	1,137.60	90	90
Boru-249	45.00	90	23.70	1,066.50	200	90
Boru-250	40.00	90	23.70	948.00	160	90
Boru-251	43.00	90	23.70	1,019.10	160	90
Boru-252	53.00	90	23.70	1,256.10	160	90
Boru-253	22.00	90	23.70	521.40	160	90
Boru-254	43.00	90	23.70	1,019.10	160	90
Boru-255	61.00	90	23.70	1,445.70	160	90
Boru-256	121.00	140	56.20	6,800.20	90	90
Boru-257	539.00	90	23.70	12,774.30	90	90
Boru-258	114.00	90	23.70	2,701.80	140	90
Boru-259	76.00	140	56.20	4,271.20	90	90
Boru-260	158.00	140	56.20	8,879.60	90	90
Boru-261	48.00	90	23.70	1,137.60	90	90
Boru-262	38.00	90	23.70	900.60	160	90
Boru-263	111.00	140	56.20	6,238.20	90	90
Boru-264	43.00	90	23.70	1,019.10	90	200
Boru-200	20.00	355	355.50	7,110.00	200	90
Boru-265	90.00	200	114.40	10,296.00	90	90
Boru-266	17.83	90	23.70	422.57	90	90
Boru-268	31.26	90	23.70	740.86	90	160
Boru-269	83.07	90	23.70	1,968.76	90	90
Boru-270	45.78	90	23.70	1,084.99	160	90
Boru-271	84.25	90	23.70	1,996.73	90	140
Boru-272	29.10	90	23.70	689.67	90	90

Ek 1 (Devam)

Boru No	Uzunluk (m)	Çap (mm)	Birim Maliyet (TL)	Maliyet (TL)	GA (Çap mm)	PSO (Çap mm)
Boru-273	116.70	90	23.70	2,765.79	90	90
Boru-274	64.75	90	23.70	1,534.58	140	90
Boru-275	74.85	90	23.70	1,773.95	160	90
Boru-276	62.52	90	23.70	1,481.72	140	90
Boru-277	14.20	90	23.70	336.54	160	90
Boru-278	149.80	90	23.70	3,550.26	90	90
Boru-279	30.85	90	23.70	731.15	140	90
Boru-280	29.70	90	23.70	703.89	140	90
Boru-281	153.00	90	23.70	3,626.10	90	90
Boru-282	78.26	90	23.70	1,854.76	90	90
Boru-283	45.40	90	23.70	1,075.98	90	90
Boru-284	54.21	90	23.70	1,284.78	140	90
Toplam Maliyet=				1,270,070.49 TL	1,048,400.00 TL	988,100.00 TL

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad	Demir, Recep
Web sayfası (Research Gate, Academia, vs.)	

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi	2022
Lisans	Bingöl Üniversitesi	2016
	Marmara Üniversitesi	2009
Lise	Nurullah Eren A.Ö.L.	2004

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2010 - 2018	MEB	Matematik Öğretmeni
2018 – Devam ediyor	İller Bankası A.Ş.	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1.

2.

3.

4.

Özel İlgiler

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Recep DEMİR		
Öğrenci No	19806001		
Ana Bilim Dalı	İnşaat Mühendisliği		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Fevzi ÖNEN		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	Eruh Su Dağıtım Şebekesinin Metasezgisel Yöntemlerle Optimizasyonu		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	73		
Raporlama Tarihi	08.06.2022		
Benzerlik Oranı (%)	13		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 73 sayfalık kısmına ilişkin, 08.06.2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 13 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç

☐Kaynaklar hariç

☐Alıntılar hariç/dâhil

☒Diğer (Her şey dahil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir,
gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Recep DEMİR
Tarih: 15.06.2022
İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Prof. Dr. Fevzi ÖNEN Tarih: 15.06.2022	İmza:
Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK Tarih: 15.06.2022	İmza: