

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İSALE HATLARININ GENETİK ALGORİTMA İLE
TASARIMI: DENİZLİ İLİ TAVAS İLÇESİ SOLMAZ
MAHALLESİ GRUP SU DEPOSU İSALE HATTI ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NURİ BERBEROĞLU

DENİZLİ, TEMMUZ - 2024

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**İSALE HATLARININ GENETİK ALGORİTMA İLE
TASARIMI: DENİZLİ İLİ TAVAS İLÇESİ SOLMAZ
MAHALLESİ GRUP SU DEPOSU İSALE HATTI ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NURİ BERBEROĞLU

DENİZLİ, TEMMUZ - 2024

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

NURİ BERBEROĞLU

ÖZET

**İSALE HATLARININ GENETİK ALGORİTMA İLE TASARIMI:
DENİZLİ İLİ TAVAS İLÇESİ SOLMAZ MAHALLESİ GRUP SU
DEPOSU İSALE HATTI ÖRNEĞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
NURİ BERBEROĞLU
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. MAHMUD GÜNGÖR)

DENİZLİ, TEMMUZ - 2024

Su dağıtım sistemlerinin tasarım maliyetinde, iletim ve dağıtım maliyetinin diğer faktörlere göre daha fazla etkili olduğu bilinmektedir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında Denizli ili Tavas ilçesi Solmaz mahallesi grup su deposunun terfili isale hattı ve cazibeli isale hattının boru çapları yeniden tasarlanmıştır. Kaynaktan grup deposuna kadar olan kısım terfili hattır. Solmaz grup deposundan 5 köyün kendi su depolarına ve 2 köye ise depo olmadan (direkt) su iletimi cazibeli olarak sağlanmaktadır. Epanet programında mevcut terfili ve cazibeli isale hatları çizilmiştir. Mevcut düğüm noktaları basınçları ve boru hızları hesaplanmıştır. Terfili isale hattının boru çapına göre maliyeti, yatırım maliyeti ve pompa basma yüksekliğine göre yıllık elektrik maliyeti; cazibeli isale hattının boru çapına göre mevcut maliyeti hesaplanmıştır. Terfili hat İlbank şartnamesindeki Bresse ampirik formülü kullanılarak yeniden tasarlanmış ve pompa basma yükseklikleri yeniden hesaplanıp yıllık elektrik maliyetleri, boru çap maliyetleri ve yatırım maliyetleri toplamı bulunmuştur. Yeniden tasarlanan terfili hattın maliyetlerinin toplamı daha ekonomik bulunmuştur. Genetik algoritma ile optimizasyon yapıldığında da aynı çaplar bulunmuştur. Terfili hat yeni çaplarla tekrar Epanet'te tasarlanıp oluşan yeni boru hız ve düğüm noktası basınç değerleri tekrar bulunmuştur. Cazibeli isale hattında ilk önce 7 köyün olması gereken köy giriş basınç yükseklikleri hesaplanarak bulunmuştur. Matlab programına uygun basınç kısıtları ve boru hız sınırları girilmiştir. Matlab programına Epanet çağrılarak genetik algoritma ile optimizasyon yapılarak cazibeli isale hattı yeniden tasarlanmıştır. Cazibeli isale hattında boru çap maliyetinde azalma bulunmuştur. Oluşan yeni çaplar tekrar Epanet ile çizilerek yeni boru hızları ve basınçlar tekrar bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: İsale hattı, Genetik algoritma, Matlab, Epanet

ABSTRACT

DESIGN OF WATER TRANSMISSION LINES WITH GENETIC ALGORITHM: EXAMPLE OF DENİZLİ PROVINCE TAVAS DISTRICT SOLMAZ NEIGHBOURHOOD GROUP WATER TANK WATER TRANSMISSION LINE

MSC THESIS

NURİ BERBEROĞLU

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. MAHMUD GÜNGÖR)

DENİZLİ, JULY 2024

It is known that transmission and distribution costs are more effective than other factors in the design cost of water distribution systems. In this master's thesis study, the pipe diameters of the pressurized transmission line and gravity transmission line of the group water tank in Solmaz neighborhood of Tavas district of Denizli province were redesigned. The part from the source to the group water tank is the pressurized line. Water transmission is provided by gravity from the Solmaz group tank to the own water tanks of 5 villages and to 2 villages without a tank (direct). Available pressurized and gravity transmission lines have been drawn in the Epanet program. Current node pressures and pipe velocities were calculated. The cost of the pressurized transmission line according to pipe diameter, investment cost and annual electricity cost according to pump head; The current cost of the gravity transmission line was calculated according to the pipe diameter. The pressurized line was redesigned using the Bresse empirical formula in the İlbank specification and the pump head was recalculated and the sum of annual electricity costs, pipe diameter costs and investment costs was found. The total costs of the redesigned elevated line were found to be more economical. The same diameters were found when optimization was performed with the genetic algorithm. The pressurized line was designed again in Epanet with new diameters and the new pipe velocity and nodal pressure values were found again. In the gravity transmission line, first the village entrance pressure heights of 7 villages were calculated and found. Appropriate pressure constraints and pipe velocity limits were entered into the Matlab program. The gravity transmission line was redesigned by calling Epanet into the Matlab program and optimizing it with a genetic algorithm. A decrease in pipe diameter cost was found in the gravity transmission line. The resulting new diameters were drawn again with Epanet and new pipe velocities and pressures were found again.

KEYWORDS: Water transmission line, Genetic algorithm, Matlab, Epanet

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	6
1.2 Literatür Taraması	7
1.3 Tezin Organizasyonu	12
2. İÇME SUYU SİSTEMLERİNİN TASARIMINDA KULLANILAN	
TEMEL DENKLEMLER	13
2.1 Gerçek Akışkanların Bir Boyutlu Akımlarının Temel Denklemleri ..	13
2.1.1 Süreklilik Denklemi	13
2.1.2 Enerji Denklemi	14
2.1.3 İmpuls Momentum Denklemi	14
2.2 Borularda Sürekli Yük Kayıp Formülleri.....	14
2.2.1 Hazen Williams (H-W) Formülü	15
2.2.2 Darcy Weisbach (D-W) Formülü	15
2.2.3 Chezy Manning (C-M) Formülü.....	16
2.3 Yersel Yük Kayıp Hesabı	17
2.4 Kuyu Hidroliğiyle İlgili Bazı Terimler	18
2.5 Terfi Hatlarında Ekonomik Boru Çapı Tayini	19
3. OPTİMİZASYON ve GENETİK ALGORİTMALAR.....	20
3.1 Optimizasyon.....	20
3.1.1 Su Dağıtım Sistemlerinde Optimizasyon.....	20
3.2 Genetik Algoritmalar	21
4. MATERYALLER	29
4.1 Epanet.....	29
4.2 Epanet Araç Seti	30
4.3 Matlab R2018a	31
4.4 Solmaz Grup Su Deposu İsale Hattı Projesi.....	31
4.4.1 Solmaz Grup Deposunun Coğrafi Durumu	31
4.4.2 Nüfus Hesapları ve İhtiyaç Debileri	33
4.4.3 İsale Hattı Proje Bilgileri	34
4.4.4 İsale Hattının Mevcut Maliyetinin Bugünkü Değeriyle	
Hesaplanması	34
5. OPTİMİZASYON MODELİ OLUŞTURULMASI	36
5.1 Cazibeli İsale Hattı İçin Amaç Fonksiyonun Oluşturulması.....	36
5.1.1 İlbank (2013)' a Göre İsale Hattında Kullanılacak Minimum Boru	
Çapları.....	37
5.1.2 Basınç Kısıtlarının Hesaplanması	38
5.1.2.1 Solmaz Köyü İçin Basınç Kısıtlarının Hesaplanması	40

5.1.2.2	Medet Köyü İçin Basınç Kısıtlarının Hesaplanması ve Depo Yeri Kontrolü	42
5.1.2.3	Altınova Köyü İçin Basınç Kısıtlarının Hesaplanması ve Depo Yeri Kontrolü	44
5.1.2.4	Ebecik Köyü İçin Basınç Kısıtlarının Hesaplanması ve Depo Yeri Kontrolü	45
5.1.2.5	Sofular Köyü İçin Basınç Kısıtlarının Hesaplanması ve Depo Yeri Kontrolü	47
5.1.2.6	Çalıköy Köyü İçin Basınç Kısıtlarının Hesaplanması ve Depo Yeri Kontrolü	49
5.1.2.7	Çiftlikköy Köyü İçin Basınç Kısıtlarının Hesaplanması.....	51
5.2	Terfili İsale Hattı İçin Optimizasyon Modeli Oluşturulması	52
6.	EPANET İLE MEVCUT İSALE HATTININ TASARIMI	54
6.1	Mevcut İsale Hattının Tasarımının Yapılması	54
6.2	Mevcut Cazibeli ve Terfili İsale Hattının Hız ve Basınç Değerleri ...	61
7.	İSALE HATLARININ YENİDEN TASARIMI	64
7.1	Terfili İsale Hattının Yeniden Tasarımı	64
7.1.1	Terfili İsale Hattının Bresse Ampirik Formülüne Göre Yeniden Tasarımı	64
7.1.2	Terfili İsale Hattının Genetik Algoritma ile Yeniden Tasarımı...	68
7.2	Cazibeli İsale Hattının Genetik Algoritma ile Yeniden Tasarımı	69
8.	SONUÇ VE ÖNERİLER	73
8.1	Sonuçlar.....	73
8.2	Öneriler.....	74
9.	KAYNAKLAR.....	75
10.	ÖZGEÇMİŞ	81

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Cazibeli sistem (Soycan 2019)	1
Şekil 1.2: Terfili sistem (Soycan 2019)	2
Şekil 1.3: Kısmen terfili ve cazibeli sistem.....	2
Şekil 1.4: Örnek ayaklı hazne planı (Öztürk 2022).....	3
Şekil 1.5: Gömme depo (Denizli Belediyesi 2012)	4
Şekil 1.6: Maslak genel tasarım planı (Erdemgil 1995).....	4
Şekil 1.7: Cazibeli iletim hattı genel tasarım planı (Karpuzcu 2005).....	5
Şekil 1.8: İletim hattı örnek profili (İller Bankası 2013)	6
Şekil 2.1: Örnek borulu sistemde süreklilik denklemi	14
Şekil 2.2: Kuyu verimiyle ilgili terimler (Driscoll 2010)	18
Şekil 3.1: Genetik algoritmaların akış diyagramı (Şen 2004).....	22
Şekil 3.2: Rulet tekerleği yöntemi.....	25
Şekil 3.3: Tek noktalı çaprazlamadan önce gen dizilimi	26
Şekil 3.4: Tek noktalı çaprazlamadan sonra gen dizilimi	26
Şekil 3.5: İki noktalı çaprazlamadan önce gen dizilimi	27
Şekil 3.6: İki noktalı çaprazlamadan sonra gen dizilimi	27
Şekil 3.7: Mutasyondan önce gen dizilimi	27
Şekil 3.8: Mutasyondan sonra gen dizilimi.....	27
Şekil 4.1: Solmaz grup deposunun Türkiye haritasındaki konumu	32
Şekil 4.2: Solmaz grup deposu iletim hattı ve köy şebekelerinin planı	32
Şekil 4.3: Solmaz grup deposu terfili isale hattı planı	33
Şekil 5.1: Solmaz köyü şebeke planı.....	40
Şekil 5.2: İletim hattının Medet ayaklı deposuna bağlantısı	42
Şekil 5.3: Medet köyü şebeke planı	42
Şekil 5.4: Altınova köyü şebeke planı.....	44
Şekil 5.5: Ebecik köyü şebeke planı	45
Şekil 5.6: Sofular köyü şebeke planı.....	47
Şekil 5.7: Çalıköy şebeke planı.....	49
Şekil 5.8: Çiftlikköy şebeke planı	51
Şekil 6.1: Hesaplama ayarlarının Epanet'e girilmesi	54
Şekil 6.2: Düğüm nokta verilerinin Epanet'e girilmesi	55
Şekil 6.3: Boru bilgilerinin Epanet'e girilmesi.....	56
Şekil 6.4: Solmaz grup deposu projesi	57
Şekil 6.5: Epanet' e rezervuar bilgilerinin girilmesi.....	57
Şekil 6.6: Pompa eğri bilgilerinin girilmesi	58
Şekil 6.7: Epanet ile isale hattı analizi (cazibeli isale hattı).....	59
Şekil 6.8: Epanet ile isale hattı analizi (terfili isale hattı)	60
Şekil 6.9: Epanet dosyasının. inp formatında kaydedilmesi	60
Şekil 6.10: Epanet'in Matlab ortamından loadlibrary ve calllib kodlarıyla çağırılması	61
Şekil 7.1: Terfili isale hattının ekonomik çap formülüne göre yeniden tasarlanması.....	67
Şekil 7.2 GA ile terfili hat optimizasyonu	69
Şekil 7.3: GA en iyi maliyet-iterasyon grafiği	70
Şekil 7.4: Cazibeli isale hattının genetik algoritmayla yeniden tasarımı	71

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: (H-W) formülünde c katsayılarının boru cinsine göre değeri (Rossman 2000).....	15
Tablo 2.2: (D-W) formülünde c katsayılarının boru cinsine göre değeri (Rossman 2000).....	16
Tablo 2.3: (C-M) formülünde n katsayısının boru cinsine göre değeri (Rossman 2000).....	16
Tablo 2.4: Seçilen bağlantı parçaları için küçük kayıp katsayıları (Rossman 2000).....	17
Tablo 3.1: İsale hattı için örnek kromozom yapısı.....	24
Tablo 4.1: Solmaz grup deposunun proje paftasında kullanılan nüfus ve isale debi hesapları.....	33
Tablo 4.2: 10 ve 16 atü boruların birim maliyetleri (Detayplastik ve Kar-el 2023).....	34
Tablo 4.3: Cazibeli isale hattı maliyet tablosu	35
Tablo 4.4: Terfilisale hattı maliyet tablosu	35
Tablo 5.1: İçme suyu şebekelerinde kullanılacak minimum boru iç çapı (İlbank 2013).....	37
Tablo 6.1: Mevcut cazibeli isale hattı boruların verileri	61
Tablo 6.2: Mevcut cazibeli isale hattı düğüm noktalarının verileri	62
Tablo 6.3: Mevcut terfilisale hattının boru verileri.....	62
Tablo 6.4: Mevcut terfilisale hattının düğüm noktalarının verileri.....	63
Tablo 7.1: En Uygun Ekonomik Çap Bulma Hesapları	65
Tablo 7.2: Mevcut terfilisale hattının elektrik maliyetinin hesaplanması.....	66
Tablo 7.3: Mevcut terfilisale hattının çapa göre maliyeti	66
Tablo 7.4: Mevcut terfilisale hattının yatırım maliyeti	66
Tablo 7.5: En uygun ekonomik boru çapına göre isale hattının çapa göre maliyeti.....	66
Tablo 7.6: En uygun ekonomik boru çapına göre isale hattının elektrik maliyet hesaplaması	67
Tablo 7.7: En uygun ekonomik boru çapına göre yatırım maliyet hesabı	67
Tablo 7.8: Ekonomik çaplara göre terfilisale hattı borularının verileri	68
Tablo 7.9: Ekonomik çaplara göre terfilisale hattı düğüm noktalarının verileri	68
Tablo 7.10: Optimizasyon sonucu oluşan boru çapları ve maliyet hesapları....	70
Tablo 7.11: Optimizasyon sonucu oluşan boru verileri	72
Tablo 7.12: Optimizasyon sonucu oluşan düğüm nokta verileri.....	72

SEMBOL LİSTESİ

m^3	:	metreküp
m/s	:	metre/saniye
m	:	metre
z	:	Zemin kotu
Q	:	Debi
v	:	Hız
A	:	Alan
z	:	Zemin kotu
$\frac{v^2}{2g}$	:	Hız yükü
a	:	Düzeltilme katsayısı
$\frac{p}{\gamma}$	:	Basınç yükü
hk	:	Yük kaybı
F	:	Kuvvet
β	:	Momentum düzeltme faktörü
ρ	:	Özgül kütle
R	:	Hidrolik yarıçap
J	:	Sürtünmeden kaynaklı yük kaybı
C	:	Borunun akışa karşı direnci
H_f	:	Yük kaybı
f	:	Sürtünme faktörü
D	:	Çap
n	:	Boru cins katsayısı
k	:	Yük kayıp katsayısı
De	:	Ekonomik yarıçap
Qe	:	Tasarım debisi
N	:	Sarf edilen saatlik enerji
η_p	:	Pompa verimi
η_m	:	Motor verimi
H	:	Pompa basma yüksekliği
h	:	Pompa istasyonu-depo arası statik kot farkı
Σ	:	Toplam sembolü
$C(Di)$	:	i numaralı boruya karşılık gelen boru birim maliyeti
Li	:	i numaralı borunun uzunluğu
p_{ceza}	:	Basınç kısıt aralığında olmaması durumunda verilen ceza
v_{ceza}	:	Hız kısıt aralığında olmaması durumunda verilen ceza
V_{min}	:	Minumum hız
V_j	:	j borusundaki hız
V_{max}	:	Maksimum hız
P_{min}	:	Minumum basınç
P_{max}	:	Maksimum basınç
P_j	:	j düğüm noktasındaki basınç
lt/sn	:	litre/saniye
N_{2050}	:	2050 yılındaki nüfus
$\$$	:	Dolar
$C(Di)$	:	i numaralı borunun birim maliyeti

$C(D_j)$: j numaralı borunun birim maliyeti
 L_j : j numaralı borunun uzunluğu
Diç : İç çap
Dan : Anma çap
Deko : Ekonomik çap



KISALTMALAR LİSTESİ

GA	:	Genetik Algoritma
ABC	:	Yapay Arı Koloni Algoritması
PSO	:	Parçacık Sürü Optimizasyonu
HS	:	Armoni Araştırması
DE	:	Diferansiyel Evrim Algoritması
ACO	:	Karınca Koloni Optimizasyonu
BBO	:	Biyo-coğrafya Tabanlı Optimizasyon
SA	:	Tavlama Benzetimi Algoritması
IWO	:	İstilacı Ot Optimizasyon Algoritması
LP	:	Lineer Programlama
YYPE	:	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
CTP	:	Cam elyaf takviyeli polyester
PVC	:	Polivinil klorür
HDPE	:	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
H-W	:	Hazen-Williams
D-W	:	Darcy-Weisbach
C-M	:	Chezy-Manning
npop	:	Popülasyon sayısı
MaxIt	:	Maksimum iterasyon sayısı
PE	:	Polietilen
bcd	:	boru cins değişim noktası
atü	:	Atmosfer basıncı

ÖNSÖZ

Başta danışman hocam Prof. Dr. Mahmud GÜNGÖR' e tez konusunun belirlenmesi, tez sürecindeki yardımları ve tez verilerine ulaşılmasındaki katkılarından ötürü teşekkür ederim.

Sorularımı cevaplayan, özellikle optimizasyon konusundaki yardımlarından dolayı Prof. Dr. Gürhan GÜRARSLAN' a teşekkür ederim.

Tez jürimde yer alan Prof. Dr. Abdullah Cem KOÇ ve Prof. Dr. Mehmet Ali YURDUSEV' e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu tezin verilerini ve görüşlerini aldığım DESKİ (Denizli Su ve Kanalizasyon İdaresi) kurumundaki yardımcı olan herkese bir teşekkürü borç bilirim.

Bizleri yetiştiren inşaat mühendisliği bölüm hocalarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans sürecinde beraber olduğum, yardımlaştığım inşaat mühendisliği bölüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Beni her zaman destekleyen babam Erdoğan BERBEROĞLU, annem Gülden BERBEROĞLU, abim Süleyman BERBEROĞLU, anneannem Güner BEKTAŞ' a teşekkür ederim.

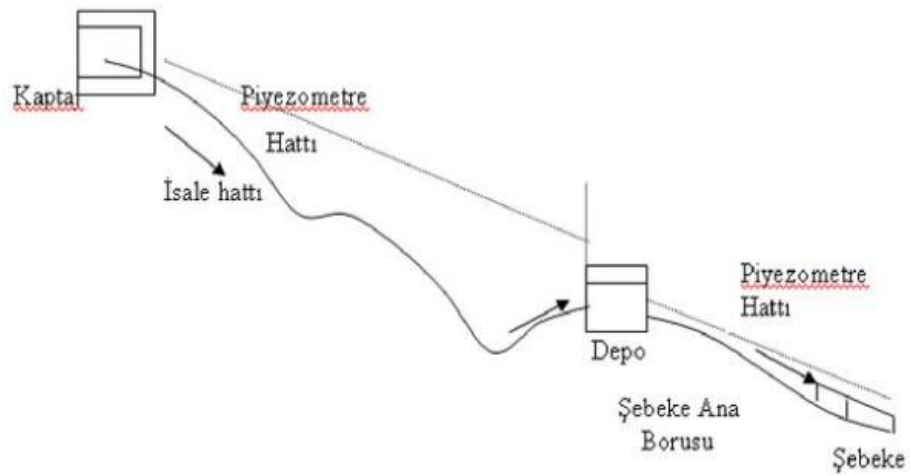
Bu tez çalışmasını rahmetli dedem Mehmet Nuri BEKTAŞ' a ithaf ederim.

1. GİRİŞ

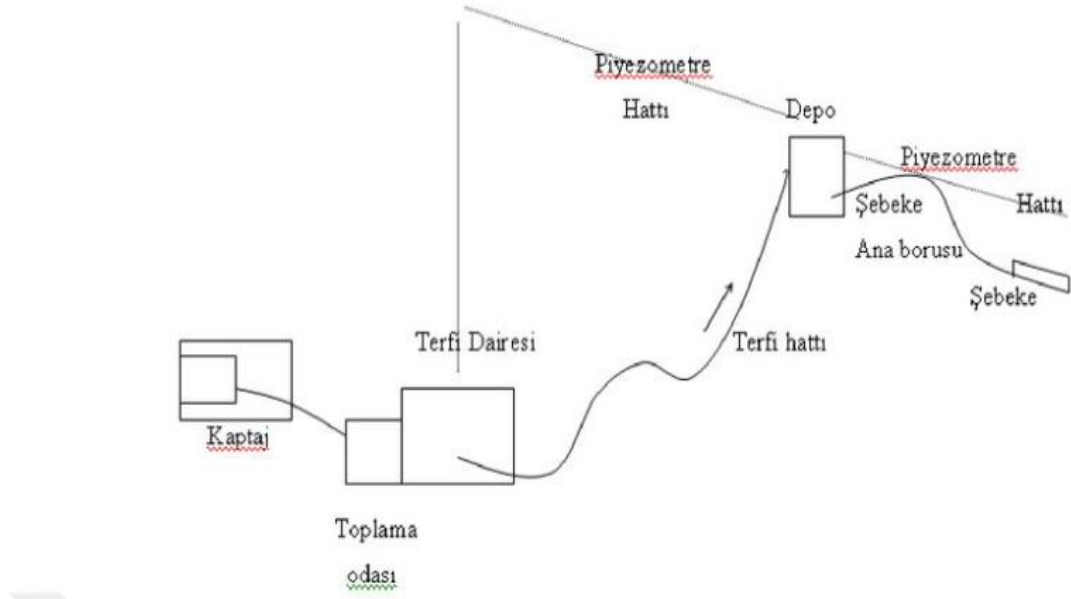
İçme suyu sistemlerinin amacı; istenilen miktarda, basınçta ve kalitede kaynaktan veya kaynaklardan getirilen suyu tüketicilere ulaştırmaktır. İçme suyu şebeke tasarımının planlanmasında su kaynağı veya kaynakların durumu, içme suyu sisteminin topografik durumu, şehrin mevcut yerleşimi ve gelecekteki şehrin yerleşim planlaması dikkate alınır (Ayvaz ve diğ. 2007).

İçme suyu sistemlerinin ana elemanları içme suyunun çıkartıldığı yer olan kaynak, kaynaktan suyun toplandığı yer kaptaj, kaynaktan alınan suların kullanılacak bölgeye iletilmesini sağlayan tesislere iletim hattı, kaynaktan alınan suların temizlenmesi gerekirse arıtma tesisleri, suyun tüketicilere (şebekeye) ulaşması ve sarfiyat salınımlarını dengeleyen tesislere, suyun biriktirildiği yere depo (hazne), depo ile şebeke arası şebeke ana borusu ve yerleşim yerindeki ihtiyaç bölgesine getirilmiş olan suları ihtiyaç sahiplerine dağıtan tesisler şebeke hattıdır (Karpuzcu,2005). Kaynaktaki su depoya yerçekimi yoluyla geliyorsa cazibeli, pompa yoluyla geliyorsa terfili sistemdir. Burada tüm borularda uygun basınç ve hız koşulu aranır.

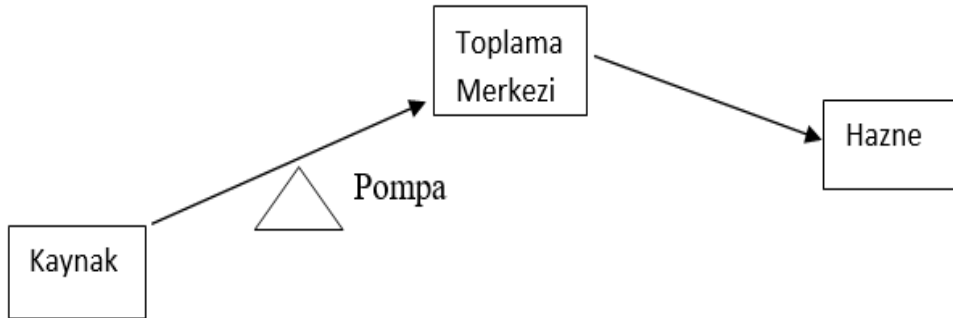
İsale hatları topografik duruma göre cazibeli, terfili, kısmen cazibeli ve terfili sistem olabilir (Şekil 1.1; Şekil 1.2; Şekil 1.3).



Şekil 1.1: Cazibeli sistem (Soycan 2019)



Şekil 1.2: Terfili sistem (Soycan 2019)

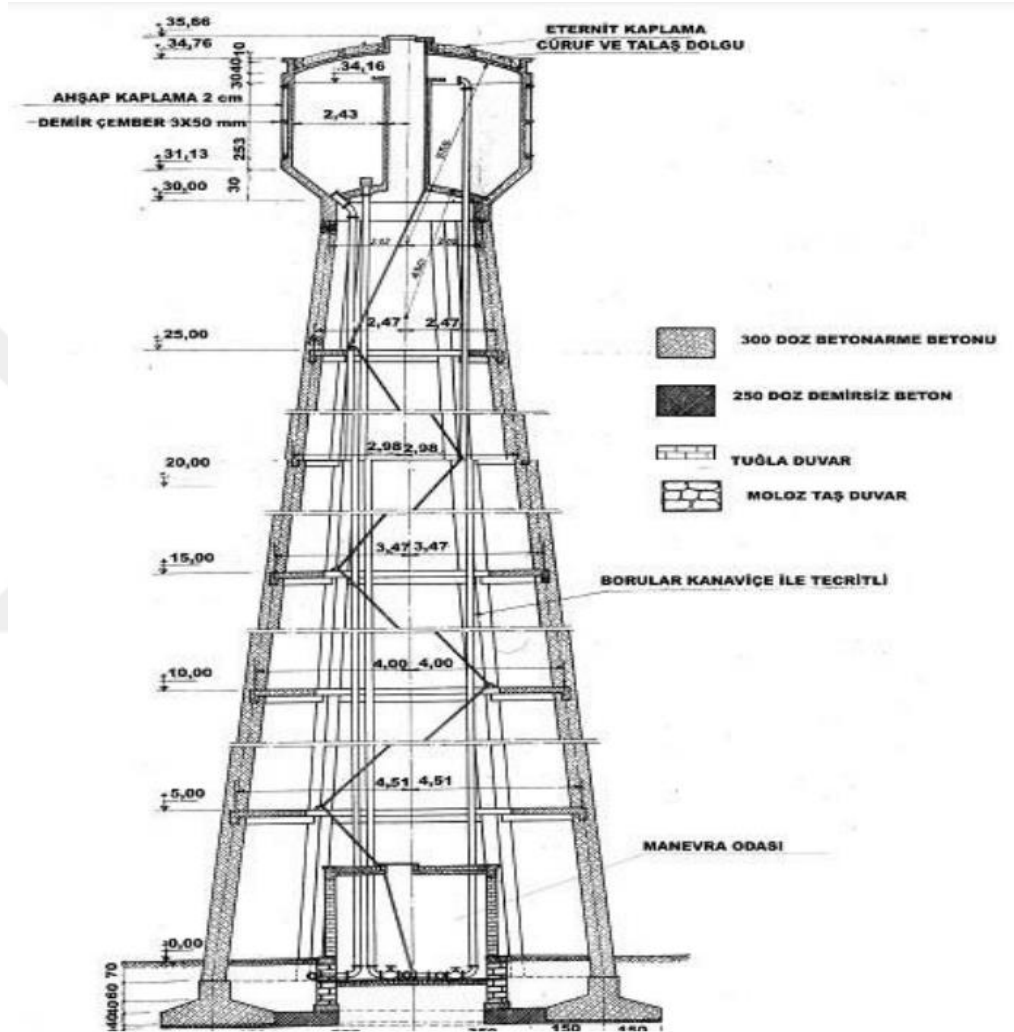


Şekil 1.3: Kısmen terfili ve cazibeli sistem

Hazneler (su depoları) hacim yönünden 500m^3 'ten düşüğe küçük hazne, 500- 5000m^3 arası orta büyüklükte hazne, 5000m^3 'ten büyükse büyük hazne olarak sınıflandırılır (Karpuzcu 2005).

Hazneler zemindeki durumu yönünden gömülü, yarı gömülü ve ayaklı hazne olarak sınıflandırılır. Yerleşme merkezinde yeterli yükseklik var ise gömülü hazne yapılır. Hazne üzeri toprakla örtülür. Hazne mimarisi kolaydır. Sıcaklıktan etkilenmezler. Yarı gömülü haznede ise haznenin bir kısmı toprak üzerinde bırakılarak

su yüzü kotu artırılmış olur. Sıcaklık bakımından özel korumalar kullanılır. Eğer yerleşim yerinde yeterli basıncı sağlayacak yüksek kotlu yer yoksa ayaklı hazne yapılır. Fakat bunların maliyeti fazladır. Hazne hacmi de küçük tutulmak zorundadır (Karpuzcu 2005).



Şekil 1.4: Örnek ayaklı hazne planı (Öztürk 2022)

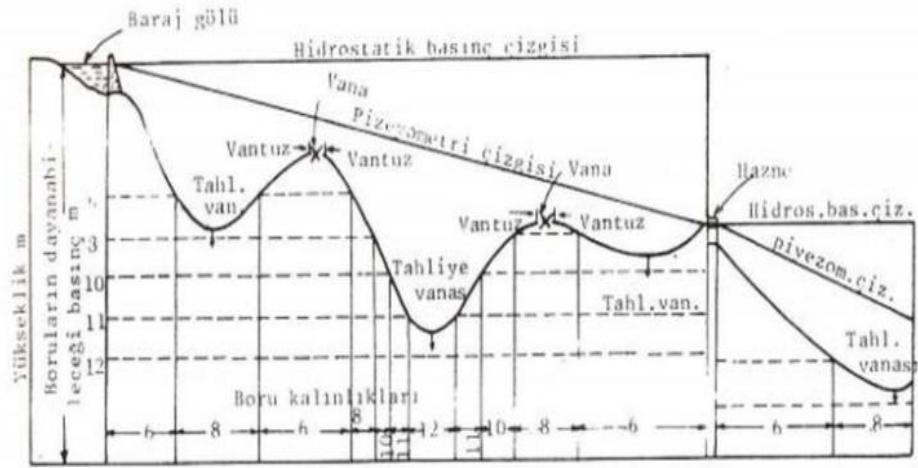


Basınç düşürücü vanalar: Maslak kullanma durumunun olmadığı basıncı düşürmek için kullanılan vanalardır (Öztürk 2022).

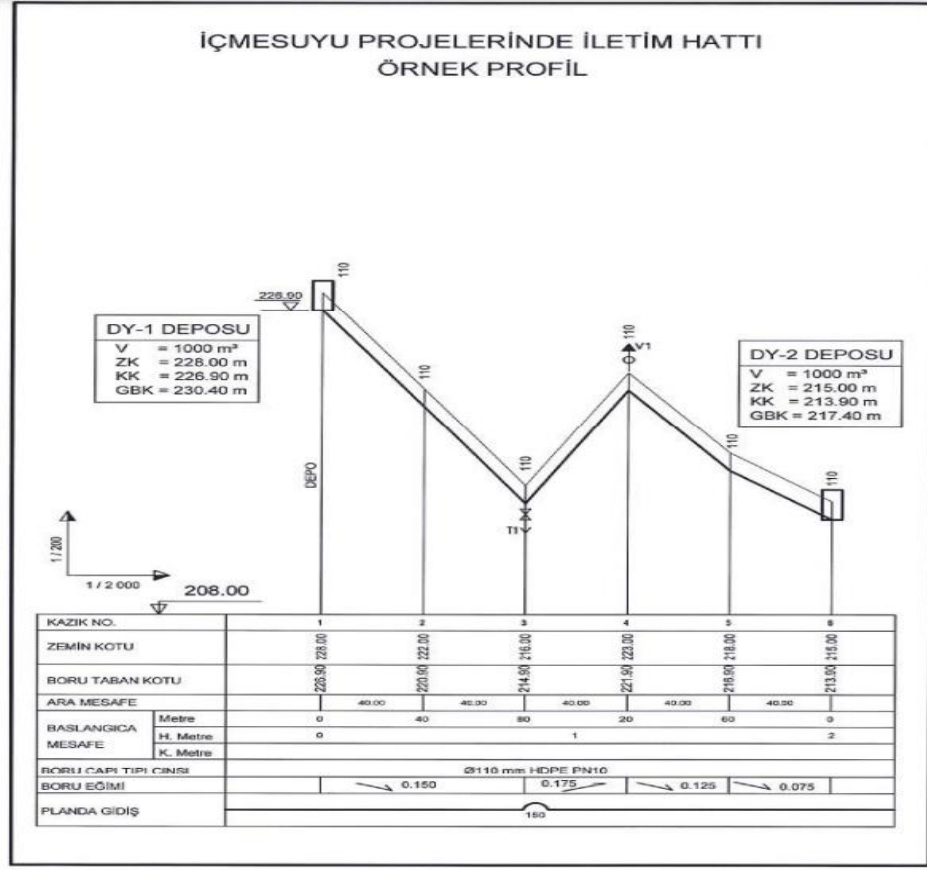
Tahliye vanaları: İletim hattının iniş ve çıkış yapan düşük kotlu noktalarında onarım sırasında borunun suyunu boşaltmak ve bu bölgelerde oluşan çökeltileri dışarı atmak için kullanılır (Karpuzcu 2005).

Vantuz: Basıncılı iletim hatlarında boruların tümsek noktalarında su akımından dolayı sürüklenen hava akımlarını çıkarmak için kullanılır (Erdemgil 1995).

Tevkif vanaları: İletim hattında oluşabilecek arızaların giderilmesi amacıyla, suyu kesmek amacıyla kullanılan vanalardır (Karpuzcu 2005).



Şekil 1.7: Cazibeli iletim hattı genel tasarım planı (Karpuzcu 2005)



Şekil 1.8: İletim hattı örnek profili (İller Bankası 2013)

1.1 Amaç ve Kapsam

İlbank (2013) şartnamesine göre; “iletim hatlarında borular üretici firmalar tarafından verilen ve borunun emniyetle çalışma sınırını gösteren basınca kadar çalıştırılabilir”. “Cazibeli iletim hatlarında statik basınçlar ve darbe durumları da dikkate alınarak boru cins ve tipleri saptanır”. “Terfi hatlarında da işletme esnasında meydana gelen darbe etkileri göz önüne alınarak boru tip ve cinsleri seçilir”. “Borularda maksimum debide en az hız 0,30 m/s, cazibeli iletim hatlarında hız en çok 3,00 m/s alınır”. “Ancak ortalama hız değerinin 1,0-1,5 m/s civarında olması önerilir”.

Şebeke işletme basıncı hesaplanırken müstakbel nüfusu 20.000-50.000 olan yerlerden 20m, 50.000’den büyük yerlerde 30 m işletme basıncı istenir. “Şebekenin topografik durumu göz önüne alınarak maksimum statik basınç değeri ise 60 -65 m olacak şekilde şebeke basınç zonları oluşturulur”. “Basınç zonları hesaplanırken, depolardaki su yükseklikleri dikkate alınır”.

İletim ve şebeke hatları tasarımları bu kurallar dikkate alınarak tasarlanır.

Su dağıtım şebekelerinin boyutlandırma problemi genel olarak karmaşık ve zaman alıcıdır. Su şebekesinin tasarımı ve inşaatının problemi, ilk kent yaşam zamanlarında ortaya çıkmıştır. Modern şebeke tasarım metodlarının teorik ifadeleri 1920-1930'lu yıllarda ortaya çıkmıştır. Ancak bu yöntemler yoğun ve zaman alıcıdır. Bu nedenle uzun yıllar bu yöntemler yerine aynı hesapları yapabilen simülasyon modellerin geliştirilmesi için çaba harcanmıştır (Karahana ve diğ. 2005).

Su dağıtım sistemlerinin maliyet dağılımına bakıldığında iletim ve dağıtım %56, arıtma %26, depolama %9, kaynak %8, diğer masraflar %1 olarak hesaplanmıştır (Özdağlar ve diğ. 2006). Bu yüzden su iletiminin ve dağıtımının uygun hız ve basınç altında, maliyeti daha az olan küçük çaplarda taşınması önem kazanmaktadır.

Genel olarak boru hatları tasarımı bir optimizasyon problemidir. Boru hatları tasarımı uygun hız ve basınç kısıtları altında optimize edilir.

Bu tez kapsamında yapılmış olan Solmaz grup su deposu iletim hattı projesine ait tasarım yeniden çizilip genetik algoritma ile boru çapları optimize edilerek maliyet karşılaştırılması yapılacaktır.

1.2 Literatür Taraması

Araştırma ve uygulayıcıların, bilgisayar yardımıyla su dağıtım şebekelerinin tasarımının çoğalmasa, tasarlanan sistemlerin ekonomiklik bakımından optimum tasarımı yönünde çalışmalara yönlendirmiştir (Ayvaz ve diğ. 2007). Su dağıtım şebeke sistemlerinin optimal tasarımı için yapılan çalışmaların başlangıcı 1960 ve 1970'li yıllardır (Suribabu, 2012). Su dağıtım şebekelerinin optimizasyon yaklaşımı ile çözümüne ilk örneklerden 8 borulu sistem Alperovits ve Shamir (Alperovits ve Shamir 1977)' in çalışması gösterilebilir. Bu çalışmada her bir boru farklı çaplardan meydana gelen boru bölümlerine ayrılmış ve her boru bölümü karar değişkeni olarak kabul edilmiş ve problem doğrusal bir problem yapılarak çözülmüştür (Ayvaz ve diğ. 2007).

İlerleyen yıllarda doğrusal programlama yöntemiyle Quindry ve diğ. (1981), Kessler ve Shamir (1989), doğrusal olmayan yöntemle Varma ve diğ. (1999) çözüm

yapılmıştır. Ancak bu yöntemlerde global optimum çözüm bulmak zayıf bir olasılık olmuştur (Ayvaz ve diğ. 2007).

Global optimum çözüm bulabilmek için metasezgisel optimizasyonlar kullanılmıştır. İlk kez Goldberg ve diğ. (1987) tarafından Genetik algoritma (GA) ile boru optimizasyonu yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda genetik algoritmanın yanında (ABC (Yapay Arı Koloni), PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu), HS (Armoni Araştırması), DE (Diferansiyel Evrim Algoritması), ACO (Karıncalar Koloni Optimizasyonu), BBO (Biyolojik Coğrafya Esaslı Optimizasyon), SA (Tavlama Benzetimi Algoritması), IWO (İstilacı Ot Optimizasyon Algoritması) optimizasyonları yapılmıştır.

Genetik Algoritma ile ilerleyen yıllarda; Simpson ve diğ. (1994), Dandy ve diğ. (1996), Savic ve Walters (1997^a), Savic ve Walters (1997^b), Castillo ve González (1998), Prasad ve Park (2004), Afshar ve Marino (2005), Koç ve diğ. (2003) G.A ve Newton Yöntemi; Kahraman ve Özdağlar (2004), Karahan ve diğ. (2005), Özdağlar ve diğ. (2006), Reca ve Martínez (2006), Guc (2006); Afshar (2009), Cisty (2010), Costa ve diğ. (2010), Zheng ve diğ. (2012), Dong ve diğ. (2012), Yılmaz (2015), Hama (2018), Batmaz (2021), Demir (2022), genetik algoritma ile boru çapı optimizasyonları yapmışlardır.

Alperovits Shamir şebekesi, Fujiwara'nın Hanoi şebekesi optimum şebeke tasarımı için örnek yerleşim yerleri olmuştur.

Alperovits ve Shamir şebekesi için Genetik Algoritma ile Afshar (2009), Afshar ve Marino (2009), Savic ve Walter (1997^a), Kahraman ve Özdağlar (2004), Yılmaz (2015), Batmaz (2021) hesaplama yapmışlardır.

Hanoi şebekesi için Genetik Algoritma ile Afshar ve Marino (2005), Cisty (2010) GA-LP, Babu ve Vijayalakshmi (2013) PSO-GA, Yılmaz (2015), Kahraman ve Özdağlar (2004), Hama (2018), Batmaz (2021) hesaplama yapmışlardır.

Yılmaz (2015) Matlab programı ile Alperovits ve Shamir, Hanoi ve New York su dağıtım şebekeleri üzerinde genetik algoritma, parçacık sürü optimizasyonu ve ABC optimizasyon yöntemiyle maliyet optimizasyonu, Ankara Akyurt ilçesi su dağıtım şebekesinin bir kısmı üzerine de aynı yöntemlerle maliyet optimizasyonu

yapmış ve sonuçları karşılaştırmıştır. Ankara Akyurt ilçesinde GA yönteminin diğer yöntemlere göre performans açısından daha başarılı bulunmuş ve mevcut duruma göre %10 daha az maliyetle tasarlanabileceği görülmüştür. Yapılan optimizasyon çalışmalarında tek bir yöntemle yetinmek yerine farklı yöntemlerin kullanılması ve sonuçların karşılaştırılmalı olarak incelenmesi ve Epanet ile Matlab'ın birlikte kullanılmasının zaman açısından tasarruf sağlayacağı söylenmiştir.

Majidi ve diğ. (2018) Epanet programında Bursa Nilüfer ilçesi Görükle mahallesinin İlbak (2013) yönetmeliğine göre 35 yıllık ihtiyaç debileri hesaplanmış ve bu debiler boruları uzunluğu kadar bir oranda boru düğüm noktalarına dağıtılmıştır. 9 ayrı basınç zonu oluşturularak şebeke tasarımı yapılmış kazı, dolgu, boru, dirsek, vana, yangın musluğu ve yangın hortumlarının birim fiyatları dikkate alınarak maliyet hesabı yapmışlardır.

Batmaz (2021) tarafından Alperovits ve Shamir ile Hanoi şehir şebekeleri Epanet-Matlab araç setiyle metasezgisel optimizasyon yöntemleriyle (ABC, PSO, GA, HS, DE, ACO, BBO, SA, IWO) kısıtlayıcılar altında boru çapları optimize edilmiştir. Literatüre göre daha az maliyetli ve daha az iterasyon sayılarıyla sonuçlar bulmuştur. Bu optimizasyon yöntemlerinin aynı kontrol parametreleriyle farklı şebekelerde aynı sonuçlar vermediği görülmüş, bütün algoritmalar için problemin yapısına ve algoritma için optimal kontrol parametrelerinin tespiti halinde başarılı sonuçlar alınabileceği gözlenmiştir.

Demir (2022) tarafından Siirt ili Erurh ilçesinin mevcut içme suyu şebeke hattının projesine kıyasla, Epanet-Matlab araç seti yardımıyla Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyonu ile yeniden tasarım ile optimize edilerek maliyet miktarında azalma sağlandığı görülmüştür. GA ile yapılan maliyet optimizasyonu sonucu yaklaşık %21,14'lük azalma, PSO ile yapılan optimizasyon sonucu ise yaklaşık %28,54'lük bir azalma gözlenmiştir.

Sadece isale hattı ile ilgili aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır:

Cumalı (1964) tarafından cazibeli isale hatlarında mevcut hesaplar yerine işletme tazyiklerine göre hesap yapmanın ve piyezometre hatlarının depodan kaptaja doğru çizilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Böylece depo ile menba arasına maslak

yapımına gerek kalmayacak, maslak yapılmadığı için basınç sıfırlanmayıp kot farkından tam istifade edildiği için çaplar küçülecektir.

Altınbilek (1978) tarafından isale ve terfi hatları maliyetinin en küçüklenmesi için bir doğrusal programlama modeli sunmuştur. Cazibeli ve terfili isale hatlarında ayrı denklemler oluşturmuş ve pompaj yüksekliği, boru çapları, boyları karar değişkenlerini kullanmıştır. Pompa ve depo içeren bir içme suyu ana dağıtım borusunun da çözümünü yapmıştır. Çok kaynaklı bir içme suyu ana dağıtım borusunun çözümü örneklenmiştir.

Aksu (1994) tarafından Samsun Taflan beldesinin su alma yapısı, isale hattı, arıtma tesisleri, depo projelendirilmiştir ve proje maliyeti hesaplanmıştır. Cazibeli isale hattında 25 atü'lük çelik boru kullanılmış, vantuz ve tahliye vanaları projelendirilmiştir ve ekonomik boru çapı için 2 adet maslak inşa edilmiştir. Kaynak, depo ve şebekeden alınan suların fiziksel ve kimyasal analizi yapılarak içme suyu standartlara uygun görülmüş ve gelecekteki kirlenmelere karşı arıtma tesisi inşa edilmiş, 300 m³'lük betonarme gömme depo projelendirilmiştir.

Filion (2009) gelecek için yapılan iletim hattı tasarımıyla ilgili, örneğin 20 yıl sonundaki, tasarımla ilgili problemler çıkabileceğini, bu sebeple, tasarım döneminin sonunda beklenen basınç yükünün seviyesini ve belirsizliğini değerlendiren analitik bir olasılıksal model sunmaktadır.

Gülbahar (2016) tarafından yapılan çalışmada su tedarik projelerinin en önemli kısmının iletim hattı olduğu, isale hattının arazi topoğrafyası ve zemin koşullarının dikkate alınarak güzergahın iyi belirlenmiş olması, iletim hatlarının kısa güzergahlarda ve küçük çaplarda taşınması ve yukarı ve aşağı doğru uygun eğimle tasarlanması gerektiği vurgulanmıştır. İsale hattının nehir yataklarından, bataklık ve gölden geçmemesi gerektiği ve geçmesi gerektiğinde özel projeler yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Buralarda güvenlik açısından iletim hatları çift hat tasarlanmalıdır. Sürdürülebilir bakış açısından iletim hattı özellikle inşaat ve işletme sırasında çevreye ve ekolojik dengeye zarar vermemelidir. İletim hattı ekonomik açıdan uygun olmalıdır.

Toplamacı (2017) tarafından içme suyu iletim hatlarında kullanılan; çelik, yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) cam elyaf takviyeli polyester (CTP) için farklı boru çaplarında maliyet hesapları yapılmıştır. Maliyet sıralamasında en az maliyetli sırasıyla CTP, çelik ve YYPE'dir. Ancak boru tercihi yapılırken borunun ekonomik olmasının yanında uzun ömürlü kullanım, dayanıklılık, bakım, onarım ve montaj kolaylığı gibi özelliklerin de dikkate alınması gerektiği bundan dolayı en ekonomik çözümün çelik boru olduğu görülmüştür.

Chee ve diğ. (2018) büyük su iletim sistemlerinin tasarım maliyetini tahmin etmek için çeşitli gömme koşulları altında çeşitli boru malzeme ve çapları (yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), PVC, küresel grafitli demir ve çelik su borusu) için Su borusu kurulumu İnşaat maliyeti tahmin modeli (WaterCOSTE) geliştirmişlerdir.

Burhan (2018) Hanoi şebekesi üzerinde Matlab-Epanet Toolkit yardımıyla Genetik Algoritma ile çalışmasını test etmiştir. Kıbrıs Karaoğlanoğlu bölgesi terfili iletim hattı üzerinde ise Epanet-Matlab araç seti yardımıyla Genetik algoritma ile iletim hattı ile boru çapları, maliyeti ve optimizasyonu esas alınarak ilgili 3 farklı tasarım senaryosu oluşturmuş, hesap sonucunda pompa sisteminin düzenlenmesi yapılarak (basma yüksekliği), maliyet hesapları yapıp 3 farklı senaryonun boruların toplam maliyetleri(tamir, bakım, tasarım), basma yükseklikleri, pompa elektrik güçleri, yıllık elektrik maliyetleri karşılaştırılmış ve en iyi tasarım senaryosu bulunmuştur.

Literatür taramalarında genelde su şebeke sistemlerinde optimizasyon konularına yoğunlaşıldığı, iletim hattıyla ilgili pek fazla optimizasyon çalışması olmadığı görülmüştür. Özellikle uzun mesafelerdeki iletim hattı tasarımlarında maliyetin arttığı bilinmektedir. Burada uygun maliyet açısından çap optimizasyonu önem taşımaktadır. Epanet ve Matlab yardımıyla Matlab'da bulunan Genetik Algoritma Toolbox ile Genetik Algoritma ile kolay bir şekilde optimizasyon yapılabildiği ve literatürde genetik algoritma ile yerleşim yerlerindeki su dağıtım sistemleri optimize edildiği için GA ile optimizasyon yapılarak optimum boru çapları bulunmaya çalışılacaktır.

1.3 Tezin Organizasyonu

Tezin ikinci ve üçüncü bölümlerinde temel hidrolik denklemlerden ve genetik algoritmadan bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde kullanılan materyallerden bahsedilmiştir. Beşinci bölümde cazibeli ve terfili isale hatlarının optimizasyonu için amaç fonksiyonlarının oluşturulması, altıncı bölümde isale hattının Epanet ile tasarımı, yedinci bölümde terfili ve cazibeli isale hattının yeniden tasarımı, sekizinci bölümde sonuç ve öneriler kısmı yer almaktadır.



2. İÇME SUYU SİSTEMLERİNİN TASARIMINDA KULLANILAN TEMEL DENKLEMLER

İçme suyu sistemlerinin tasarımında 2013 yılında yayınlanan İçmesuyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname dikkate alınır. Bu bölümde bu yönetmelikte kullanılan ve temel hidrolik denklemlerden bahsedilecektir.

2.1 Gerçek Akışkanların Bir Boyutlu Akımlarının Temel Denklemleri

Gerçek akışkanların viskozitesi dolayısıyla sürtünmesi sıfırdan farklıdır. Süreklilik, enerji ve impuls-momentum denklemleri olmak üzere 3 temel denklemi vardır.

2.1.1 Süreklilik Denklemi

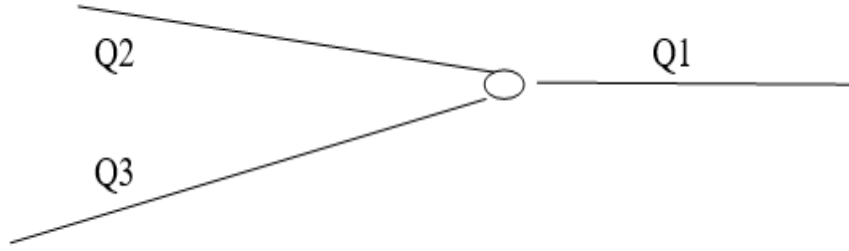
Sıkışmaz bir akışkanda;

$$Q_1 = v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (2.1)$$

Burada Q debiyi v kesitsel hızı, A kesit alanını temsil eder.

Boru düğüm noktalarında giren debilerin toplamı çıkan debiye eşit olmalıdır (Şekil 2.1).

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (2.2)$$



Şekil 2.1: Örnek borulu sistemde süreklilik denklemi

2.1.2 Enerji Denklemi

Bir boruda aynı akım çizgisi üzerinde iki nokta arasında enerji denklemi yazılabilir.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2} + h_k \quad (2.3)$$

Burada $\frac{v^2}{2g}$ hız yükünü, z zemin kotunu, α düzeltme katsayısı, $\frac{p}{\gamma}$ basınç yükünü, h_k yük kaybını temsil eder.

2.1.3 İmpuls Momentum Denklemi

$$\sum F = \rho Q (\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1) \quad (2.4)$$

Burada V kesitsel ortalama hız, β hız dağılımının üniform olmamasından kaynaklı momentum düzeltme faktörü, ρ (su için 1 alınır) özgül kütledir.

2.2 Borularda Sürekli Yük Kayıp Formülleri

Hidrolik sürekli yük kaybı Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, Chezy-Manning formülleri ile hesaplanabilir.

2.2.1 Hazen Williams (H-W) Formülü

$$Q = 0.85 * C * A * R^{0.63} * J^{0.54} \quad (2.5)$$

İletim hatlarının tasarımlarında çoğunlukla (Hazen-Williams) formülü kullanılır.

Q=Debi (m³/s)

A=Boru iç kesit alanı(m²)

R=Hidrolik yarıçap (Daire için R=D/4 alınır.)

J=Borunun 1m uzunluğundaki sürtünmeden kaynaklı yük kaybı(m/m)

C=katsayı borunun akışa gösterdiği dirençtir. Boru cinsine göre değişkenlik gösterir.

Tablo 2.1: (H-W) formülünde c katsayılarının boru cinsine göre değeri (Rossman 2000)

Boru Cinsi	C Katsayısı
PVC, PE, Çelik borular	150
Galvanizli demir borular	120
Dökme demir borular	140
Çimento borular	140

2.2.2 Darcy Weisbach (D-W) Formülü

Boruda oluşan yük kaybı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$H_f = \frac{f}{D} * \frac{v^2}{2g} * L \quad (2.6)$$

f: sürtünme faktörü

H_f: yük kaybı

D: boru çapı

g: yerçekimi ivmesi

v: boru içindeki tam dolu akış hızı

Tablo 2.2: (D-W) formülünde c katsayılarının boru cinsine göre değeri (Rossman 2000)

Boru malzemesi	Darcy Weisbach e (ft)(x10 ⁻³)
Dökme demir	0,85
Beton veya beton astarlı	1,0-10
Galvanize demir	0,5
Plastik	0,005
Çelik	0,15

2.2.3 Chezy Manning (C-M) Formülü

Daha çok açık kanal akımlarında kullanılan bir denklemdir.

$$H_k = \frac{10.27 * n^2 * L}{D^{5.33}} \quad (2.7)$$

H_k= Yük kaybı

n: boru cins katsayısı

L: boru uzunluğu

D: Boru çapı

Tablo 2.3: (C-M) formülünde n katsayısının boru cinsine göre değeri (Rossman 2000)

Boru malzemesi	Chezy-Manning n (birimsiz)
Dökme demir	0,012-0,015
Beton veya beton astarlı	0,012-0,017
Galvanize demir	0,015-0,017
Plastik	0,011-0,015
Çelik	0,015-0,017

2.3 Yersel Yük Kayıp Hesabı

Yersel yük kayıp hesapları dirseklerde, vanalarda, hazne giriş çıkışlarda meydana gelen küçük kayıplardır. Bu kayıpların hesaplanması hesap doğruluğunu artıracaktır.

$$H_{k,yersel} = k * \frac{V^2}{2g} \quad (2.8)$$

$H_{k,yersel}$: Yersel yük kayıp

k: yük kayıp katsayısı

V: kesitsel ortalama hız

g: yerçekimi ivmesi

Tablo 2.4: Seçilen bağlantı parçaları için küçük kayıp katsayıları (Rossman 2000)

Bağlantı Parçaları	Kayıp Katsayısı
Tam açık küresel vana	10,0
Tam açık açılı vana	5,0
Tam açık kelebek vana	2,5
Tam açık sürgülü vana	0,2
Kısa yarıçaplı dirsek	0,9
Orta yarıçaplı dirsek	0,8
Uzun yarıçaplı dirsek	0,6
45 derece dirsek	0,4
Kapalı dönüş bükümü	2,2
Düz doğrultuda standart t akışı	0,6
Dal doğrultuda standart t akışı	1,8
Hazne girişi	1,0
Hazne çıkışı	0,5

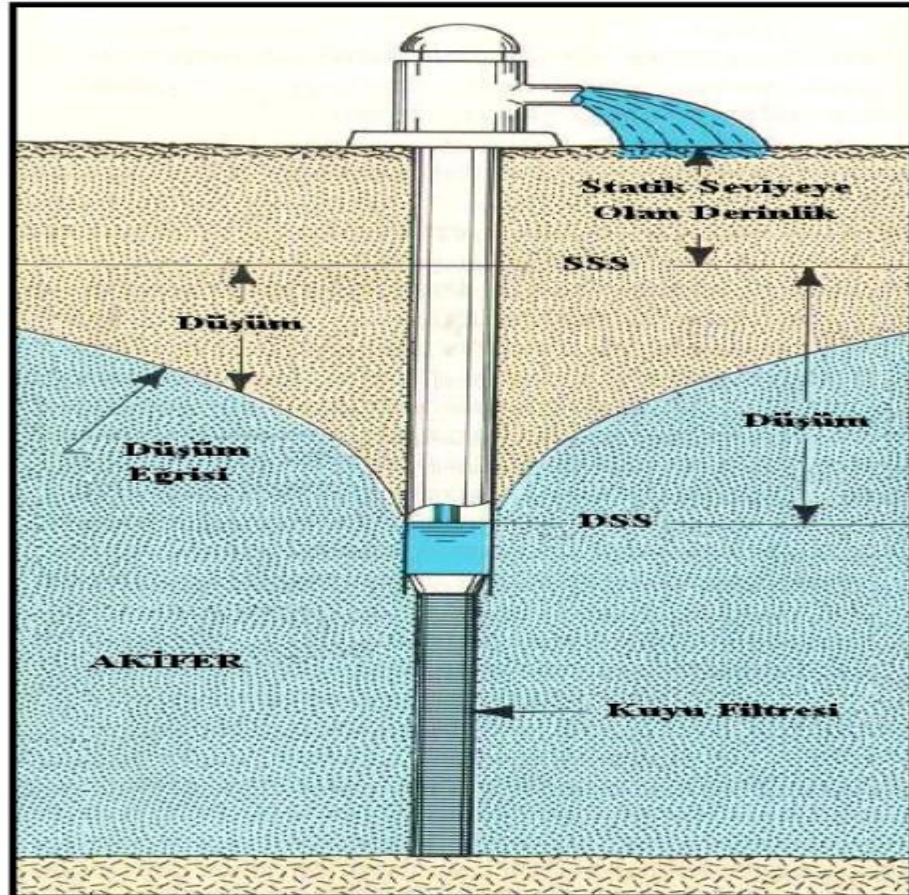
2.4 Kuyu Hidroliğiyle İlgili Bazı Terimler

Statik su seviyesi: Bir kuyu veya akiferden pompaj ya da serbest akışla su alınmadığında suyun sabit kaldığı seviyeye denir. Genel olarak yeryüzünden kuyudaki su seviyesine olan mesafe kabul edilebilir (Driscoll 2010).

Dinamik su seviyesi: Pompaj belli bir debiyle devam ederken suyun kuyuda sabit kaldığı seviyedir (Driscoll 2010).

Düşüm: Statik ve dinamik su seviyesi arasındaki farktır (Driscoll 2010).

Kuyu verimi: Bir kuyudan pompajla veya serbest akışla birim zamanda alınan su hacmine denir. Birimi $m^3/gün$ veya l/s dir (Driscoll 2010).



Şekil 2.2: Kuyu verimiyle ilgili terimler (Driscoll 2010)

2.5 Terfi Hatlarında Ekonomik Boru Çapı Tayini

“Terfi hatlarında boru çapı büyüdükçe yük kayıpları düşer, yıllık enerji giderleri azalır.” “Fakat ilk yatırım maliyetleri yükselir ve yıllık amortisman, faiz, bakım masrafları artar.” “Sonuç olarak uygun bir çap seçimi önemlidir” (İlbank,2013).

Ekonomik çap seçimi için Bresse ampirik formülü İlbank şartnamesinde verilmiştir.

$$De = 1,5\sqrt{Q_e} \quad (2.9)$$

De: Ekonomik çap (m)

Qe: Tasarım debisi(m³/s)

Gerekli enerji ise aşağıdaki gibi hesaplanır (İlbank 2013).

$$N = \frac{Q * H}{102 * \eta_p * \eta_m} \quad (2.10)$$

N: Sarf edilen saatlik enerji (kW)

Q: ortalama debi (l/s)

η_p : pompa verimi ($\approx$ %78)

η_m : motor verimi ($\approx$ %90)

H: pompa basma yüksekliği (m)

$$H = h + j * L \quad (2.11)$$

h: pompa istasyonu-depo arası statik kot farkı (m)

L: boru boyu (m)

J: hidrolik eğim (m/m)

3. OPTİMİZASYON ve GENETİK ALGORİTMALAR

Bu bölümde optimizasyon ve genetik algorithmadan bahsedilecektir.

3.1 Optimizasyon

Optimizasyon, belirli kısıtlar altında bir fonksiyonu maksimize ya da minimize etmek amacıyla çözmektir. Eniyileme de denir. Eniyileme işlemini en kısa sürede kısıtlar altında yapmayı amaçlar. Optimizasyon işlemi için programlamaya ihtiyaç duyulur. Çünkü elle optimizasyon yapmak zaman alıcı olduğu gibi programlamayla çok fazla iterasyon imkânı olacağı için doğru sonuca yaklaşmak mümkün hale gelecektir.

Çeşitli optimizasyon yaklaşımları vardır. Genel olarak klasik metodlar (doğrusal programlama, dinamik programlama, Newton metodu vb.), sezgisel yöntemler olarak ikiye ayrılabilir. Sezgisel yöntemler evrimsel algoritmalar, doğadan esinlenen algoritmalar, mantıksal tabanlı algoritmalar olarak üçe ayrılabilir.

Evrimsel algoritmalar: Genetik algoritmalar, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Diferansiyel Evrim Algoritması vb.; doğadan esinlenen algoritmalar: Tavlama Benzetimi, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Yapay Bağışıklık Algoritması vb; mantıksal tabanlı algoritmalar: Tabu Arama, Armoni Araştırma, Mayın Patlatma Algoritması vb.dir.

Su dağıtım sistemlerinde optimizasyon için en az maliyet amaç fonksiyonu olarak alınabilir. Amaç fonksiyonuna ise basınç ve hız kısıtları eklenmelidir.

3.1.1 Su Dağıtım Sistemlerinde Optimizasyon

Su dağıtım sistemi tasarlanırken amaç en uygun maliyetle içme suyunu kaynak yerinden isale hattıyla depo yerine getirip oradan yerleşim birimine suyu ulaştırmaktır. Burada en uygun maliyet bulunurken şebeke ve isale hatlarında en uygun çap seçimi önemlidir. En uygun boru çapı ile çap maliyetini çarptığımızda boru maliyetini

bulunmuş olur. Bunu da genel şebeke üzerine derlediğimiz zaman aşağıda verilen amaç fonksiyonumuz elde edilir. Amaç fonksiyonumuz belirli kısıtlar altında kalması gerekir. Amaç fonksiyonumuzun kısıt dışı sonuç bulmaması için amaç fonksiyonumuza ceza da eklenir.

$$f = \min \sum_{i=1}^n C(Di) Li + 10^8 * (Pceza + Vceza) \quad (3.1)$$

Buradaki f amaç fonksiyonu, n şebekedeki toplam boru sayısı, C(Di) seçilen i numaralı boruya karşılık gelen boru birim maliyetini, Li i numaralı borunun uzunluğunu, Pceza basınç kısıt aralığında olmaması durumunda, Vceza hız kısıt aralığında olmaması durumunda verilen cezayı ifade etmektedir.

Optimizasyon işlemi için kısıtlar aşağıda verilmiştir:

Bütün boruların uygun hız aralığında olması gerekir.

$$\begin{aligned} Vmin &\leq Vi \leq Vmax \\ i &= 1,2,3, \dots n \end{aligned} \quad (3.2)$$

Düğüm noktalarının uygun basınç aralığında olması gerekir.

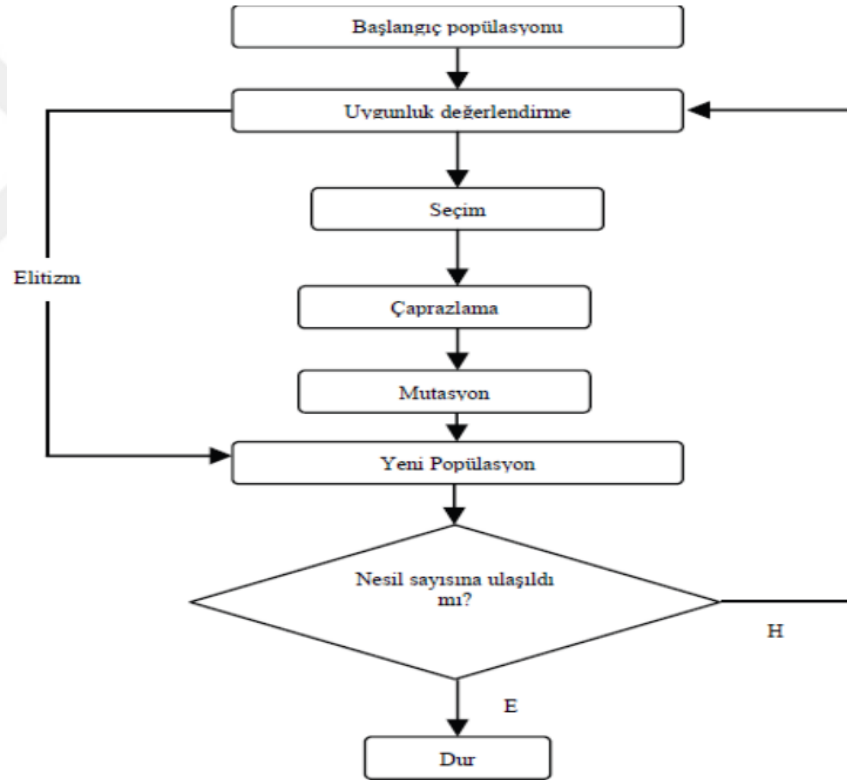
$$\begin{aligned} Pmin &\leq Pj \leq Pmax \\ j &= 1,2,3, \dots n \end{aligned} \quad (3.3)$$

3.2 Genetik Algoritmalar

“Genetik algoritmalar, biyolojik evrim teorisi kavramlarına dayanan rastlantısal optimizasyon algoritmalarıdır” (Şen 2004).

Michigan üniversitesinde öğretim üyesi olan John Henry Holland makine öğrenmesi üzerinde araştırmalar yaparken canlılardaki genetik süreç ile ilgili sezgisel bir problemin çözüm yöntemini geliştirmeyi düşündü. Öğrenme yeteneği için tek bir yapıyı geliştirmek yerine genetik olarak kodlanmış bir topluluğu (popülasyonu) çoğalma, çaprazlama, mutasyon vb. gibi işlemlerle öğrenebilen bireylere (kromozomlara) dönüştürmek için çabaladı. Bu çalışmalarının sonuçlarını da 1975

yılında *Adaptation in Natural and Artificial Systems* kitabında yayınladı. Kitabından sonra geliştirdiği yöntemler genetik algoritmalar olarak söylenmeye başladı. Holland'ın doktora öğrencisi inşaat mühendisi David E. Goldberg 1989 yılında *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning* kitabıyla bilim dünyası tarafından kabul gören eseriyle genetik algoritmalar ile ilgili çalışmalar hız kazanmaya başladı. Bir genetik algoritma problemi rastgele üretilen kromozomlardan oluşan popülasyonla başlayıp genetik operatörlerle kromozomları iyileştirmeye yani optimize etmeye çalışır. Kromozomlar iterasyonlar sonucunda olası çözüme doğru evrimleşme gösterir. Bir seçim fonksiyonu kullanılarak ve çaprazlama, mutasyon vb. genetik operatörlerle yeni popülasyon oluşmuş olur (Şekil 3.1) (Şen 2004).



Şekil 3.1: Genetik algoritmaların akış diyagramı (Şen 2004)

Genetik algoritma yöntemine en iyi problemler, geleneksel yöntemlerle çözülemeyen, süre bakımından çözümün problemin büyüklüğüyle üstel oranda artış gösteren problemlerdir. Genetik algoritma adımlarında çözüm için daha uygun parametrelere yönlendirilmesi sağlanabilir ve mutasyon oranıyla da çözüm için yerel çözüm noktalarına sıkışıp kalması engellenebilir. Genetik algoritma her zaman en iyi

sonucu garanti etmez ve bazı zamanlarda başarısızlıkla sonuçlanabilir. Böyle durumlarda ya yeni popülasyon oluşturulur veya başka algoritma çeşitleriyle çözüm yoluna gidilir (Şen 2004).

Aşağıda genetik algoritmaya ait tanımlamalar verilmiştir: (Şen 2004)

Gen: Kendi başına anlamlı genetik bilgi taşıyan en küçük genetik yapıdır.

Kromozom: Genlerin bir araya gelmesinden oluşan ve problemin çözümü için gerekli tüm bilgiyi üzerinde taşıyan genetik yapıdır.

Popülasyon: Kromozomların oluşturduğu yapıdır.

Popülasyon sayısı (nPop): Algoritmadaki toplam kromozom sayısıdır.

Çaprazlama: İki kromozomun birbirleri arasında gen alışverişinde bulunarak iki yeni kromozom meydana getirmesidir. Genetik algoritmada çaprazlama oranı P_c ile ifade edilmektedir.

Mutasyon: Bir kromozomun taşıdığı gende sebepsiz değişiklik olmasıdır. Genetik algoritmada mutasyon oranı P_m ile ifade edilir.

Seçim: Bir popülasyonda yer alan kromozomlardan hangilerinin yeni oluşturulacak popülasyona aktarılacağını belirlenmesidir.

Maksimum iterasyon sayısı (MaxIt): Algoritmadaki toplam döngü sayısıdır.

Genetik algoritma operatörlerinin detaylı anlatımı aşağıdaki gibidir:

Başlangıç popülasyonu: İlk olası çözüm kümesidir. Rastgele olarak alınabildiği gibi problemin türüne göre bir çözüm kümesi oluşturulabilir.

Kodlama: En iyi sonuç için genetik algoritmada doğru kodlama yapmak önemlidir. Her gen yani boru çapı için kromozom oluşturulur. Bu boru çapları olası çözüm kümemizdir (Batmaz 2021).

Tablo 3.1’de her bir polietilen boru çeşidi için (10 atü ve 16 atülük) 12 çeşit boru iç çapı değerleri kullanılarak toplam boru sayısı kadar (projemizde 18 boru) örnek

kromozomlar oluşturulmuştur. Kromozom sayısı ise toplam popülasyon sayısı (npop) kadar olacaktır.

Tablo 3.1: İsale hattı için örnek kromozom yapısı

	Boru-1	Boru-2	Boru-3	Boru-4	Boru-5	Boru-6
Kromozom-1	110,2	123,4	141	158,6	176,2	198,2
.....	...	...	...	...		...
Kromozom-(npop)	...	...	...	...		...

Tablo 3.1 (devam): İsale hattı için örnek kromozom yapısı

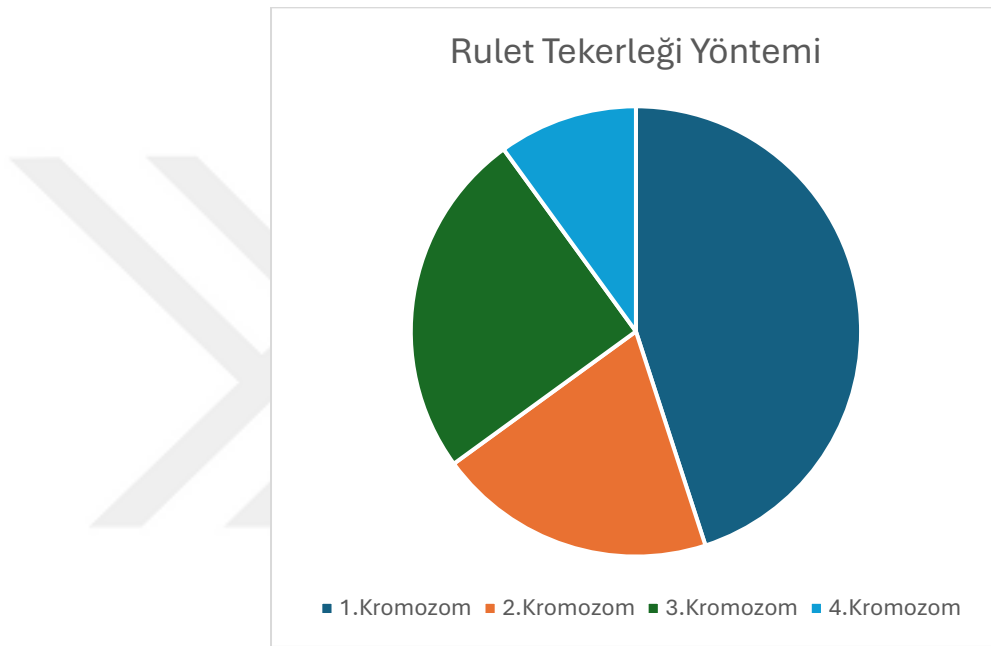
	Boru-7	Boru-8	Boru-9	Boru-10	Boru-11	Boru-12
Kromozom-1	312,2	246,8	277,6	90	352,6	277,6
.....	...	...	...	...		...
Kromozom-(npop)	...	...	...	...		...

Tablo 3.1 (devam): İsale hattı için örnek kromozom yapısı

	Boru-13	Boru-14	Boru-15	Boru-16	Boru-17	Boru-18
Kromozom-1	220,4	96,2	277,6	102,2	352,6	277,6
.....	...	...	...	...		...
Kromozom-(npop)	...	...	...	...		...

Seçme Yöntemi: Popülasyondan uygunluk fonksiyonu iyi olan kromozomların belirli bir yöntemle seçilmesidir. Rulet tekerleği, üst eş, turnuva, rastgele seçme gibi çeşitli yöntemler mevcuttur (Kahraman ve Özdağlar 2004).

Rulet tekerleđi: Kromozomlar bir rulet tekerleđine yerleřtiriliyormuř gibi dűřűnűlűr. Kromozomların uygunluk fonksiyonlarına gűre rulet tekerleđinde kaplayacakları hacim belirlenir, bűylece kromozomun uygunluk fonksiyonu yűksekse rulet tekerleđinde daha fazla hacim meydana gelmesi beklenir. Sonuđa rulet tekerleđi çevrildiđinde uygunluk fonksiyonu yűksek olan kromozomların seçilme olasılıđı artmıř olur (Kahraman ve zdađlar 2004).



řekil 3.2: Rulet tekerleđi yűntemi

Turnuva: Popűlasyondaki kromozomlar arasından tesadűfi sayıda kromozom seçilerek aralarındaki uygunluk fonksiyonu yűksek olan kromozom tutulur geriye kalan kromozom atılır. Bűylece yeni popűlasyon kromozomları, belli sayıdaki kromozom arasında yapılan yarıřma sonucu oluřturulmuř olur (Kahraman ve zdađlar 2004).

űst Eř: Popűlasyondaki kromozomlar eřler řeklindeymiř gibi dűřűnűldűđűnde ilk kromozom en iyi uygunluk fonksiyonu deđerine sahip kromozom olarak, ikincisi ise tesadűfi seçilir (Kahraman ve zdađlar 2004).

Çaprazlama: Seçilen kromozomlar birbiriyle çaprazlanarak yeni nesildeki kromozomların meydana gelmesi sağlanmış olur. Tek noktalı, iki noktalı, tek düze vb. çeşitleri mevcuttur (Kahraman ve Özdağlar 2004).

Tek noktalı: Seçilen iki kromozom dizisi, rastgele bir noktadan kesilerek iki kromozomun sağ tarafında olan genleri yer değiştirilir (Şekil 3.3; Şekil 3.4).

1.Kromozom	110.2	123.4	141	158.6	176.2	198.2	220.4	246.8	277.6
------------	-------	-------	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------

2.Kromozom	220.4	246.8	277.6	312.8	352.6	277.6	110.2	123.4	141
------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-----

Şekil 3.3: Tek noktalı çaprazlamadan önce gen dizilimi

1.Kromozom	110.2	123.4	141	158.6	352.6	277.6	110.2	123.4	141
------------	-------	-------	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-----

2.Kromozom	220.4	246.8	277.6	312.8	176.2	198.2	220.4	246.8	277.6
------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Şekil 3.4: Tek noktalı çaprazlamadan sonra gen dizilimi

İki noktalı: Seçilen iki kromozomun, kromozom dizileri rastgele iki noktadan kesilerek 1. kesim noktasının solunda kalan genler ile 2. kesim noktasının sağında kalan genler, birinci kromozom ile ikinci kromozom arasında yer değiştirilir (Şekil 3.5; Şekil 3.6).

1.Kromozom	110.2	123.4	141	158.6	352.6	277.6	110.2	123.4	141
------------	-------	-------	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-----

2.Kromozom	220.4	246.8	277.6	312.8	176.2	198.2	220.4	246.8	277.6
------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Şekil 3.5: İki noktalı çaprazlamadan önce gen dizilimi

1.Kromozom	220.4	246.8	277.6	158.6	352.6	277.6	220.4	246.8	277.6
------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

2.Kromozom	110.2	123.4	141	312.8	176.2	198.2	110.2	123.4	141
------------	-------	-------	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-----

Şekil 3.6: İki noktalı çaprazlamadan sonra gen dizilimi

Tek düze: Seçilen iki kromozomun rastgele birer geninin yer değiştirmesidir (Kahraman ve Özdağlar 2004).

Mutasyon: Seçilen bir kromozomun, mutasyon olma ihtimaline bağlı olarak kromozomlarındaki genlerin bir tanesinin değişikliğidir (Şekil 3.7; Şekil 3.8).

1.Kromozom	220.4	246.8	277.6	158.6	352.6	277.6	220.4	246.8	277.6
------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Şekil 3.7: Mutasyondan önce gen dizilimi

1.Kromozom	220.4	246.8	110.2	158.6	352.6	277.6	220.4	246.8	277.6
------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Şekil 3.8: Mutasyondan sonra gen dizilimi

Elitizm: Popülasyondaki uygunluk fonksiyonu en iyi olan kromozomun çaprazlama ve mutasyon gibi operatörlerle kaybolabilme olasılığı mevcuttur. Bunun olmaması amacıyla popülasyondaki uygunluk fonksiyonu en iyi olan kromozom hiçbir

işleme tutulmadan bir sonraki jenerasyona aktarılır. Sonuç olarak bir sonraki jenerasyondaki en iyi kromozomun bir önceki jenerasyondaki en iyi kromozomdan kötü olma olasılığı kaybolmuş olur (Kahraman ve Özdağlar 2004).

Su dağıtım şebekelerinin boyutlandırılması ve pompa çalışma zamanlarının ayarlanması, basınç vanalarının ve pompa konum ayarlanması, su kalite standartlarının sağlanması, optimum hazne yerinin belirlenmesi, su kaybının minimize edilmesinde, su dağıtım şebekesinin rehabilitasyonunda, ölçüm ve klorlama merkezlerinin optimum belirlenmesinde genetik algoritmalar kullanılabilir (Kahraman ve Özdağlar 2004).



4. MATERYALLER

DESKİ (Denizli Su ve Kanalizasyon İdaresi) kurumundan CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) (.kmz) formatlı şebeke planı (isale hattı yeri ve uzunluğu, şebeke ana boru hattı yeri ve uzunluğu, şebeke boru hatları yerleri, uzunlukları, depo tasarım planı, depo yeri, tüm boru cinsleri), isale tasarım pafta projeleri, proje debileri, depo inşaat planı; uygulama alanı olarak, birden fazla yerleşim birimini besleyen gruplu depo da denilen Tavas ilçesi Solmaz Grup Deposu isale hat planları esas alınmıştır.

İsale hat çizimi ve analizi için Epanet programından faydalanıldı. Epanet C diliyle çalışan, optimizasyon için uygun ve açık kaynak kodlu lisans programıdır.

Boruların optimizasyonu için Matlab R2018a yazılım programından faydalanıldı.

Epanet araç seti kullanıldı. Bu araç, Epanet'in Matlab tarafından çağrılmasında kullanılır.

4.1 Epanet

Epanet Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından 1991 yılında geliştirilmiştir.

Tam özellikli ve doğru hidrolik modelleme yapmayı amaçlayan bir analiz ve tasarım programıdır.

Epanet aşağıdaki özellikleri içerir: (Rossman 2000)

- Analiz edilebilecek ağın boyutu sınırsızdır.
- Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, Chezy-Manning denklemleriyle sürtünme yük kaybını hesaplayabilir.
- Bükülmeler, bağlantı parçaları gibi oluşan küçük yük kayıplarını hesaplayabilir.

- Sabit ya da değişken hızlı pompa modelleri tasarlanabilir ve pompa enerjisini ve maliyetini hesaplayabilir.

- Kapatma, kontrol, basınç düşürücü gibi farklı vana türlerini modelleyebilir.

- Depolama Depoları şekil yönünden (yükseklik, genişlik vb.) tasarlanabilir.

- Düğümlere ayrı ayrı talep debisi atanabilir.

- Sistem çalışmasını hem basit depo su seviyesi hem de zaman desenine dayandırabilir.

4.2 Epanet Araç Seti

Epanet bağımsız bir yazılım olarak kullanılabilir veya paylaşılan bir nesne kitaplığı olarak (örneğin .dll) bir programlama arayüzü olarak çağrılabilir. Epanet araç seti de .dll formatlı bir dosyadır ve programlar tarafından Epanet' in bağlantı yapılabilmesine olanak sağlar.

Epanet; Matlab, Visual Basic.Net, Dev C++, Python, Microsoft Office Excel, Visual Studio C# ile bağlantı yapabilir. (Eliades ve diğ. 2016)

Epanet'i Matlab ile çağırmanın üç yolu vardır. (Eliades ve diğ. 2016)

Epanet programlama arayüzüne kodlar yardımıyla (callib ve loadlibrary) direkt olarak çağrılabilir.

Sarmayıcılar kullanarak çağrılabilir. Ancak bu yöntemde her Epanet işlevi için bir Matlab işlevi gereklidir yani yeni algoritmaların tasarlanması gereklidir.

Matlab sınıfı tanımlayarak nesneye dayalı bir yaklaşım yoluyla çağrılabilir. KIOS Araştırma ve Yenilik Mükemmeliyet Merkezi, Kıbrıs Üniversitesi tarafından yapılan Matlab-Epanet Toolkit bu yönteme bir örnektir.

4.3 Matlab R2018a

Matlab (matris laboratuvarı) teknik hesaplamalar için yüksek performanslı bir dildir. Matlab, hesaplamayı, görselleştirmeyi, programlamayı bütünleştirir. Matlab aşağıdaki özellikleri yapar;

- Matematik ve hesaplama
- Algoritma geliştirme
- Modelleme simülasyon, prototip oluşturma
- Veri analizi, keşfi ve görselleştirmesi
- Bilimsel ve mühendislik grafikleri
- Grafik Kullanıcı Arayüzü oluşturma dahil uygulama geliştirme

C, C++, Java ve Fortran gibi diğer dillerde yazılmış programlarla ara bağlama imkânı tanır. (Matlab 2012)

4.4 Solmaz Grup Su Deposu İsale Hattı Projesi

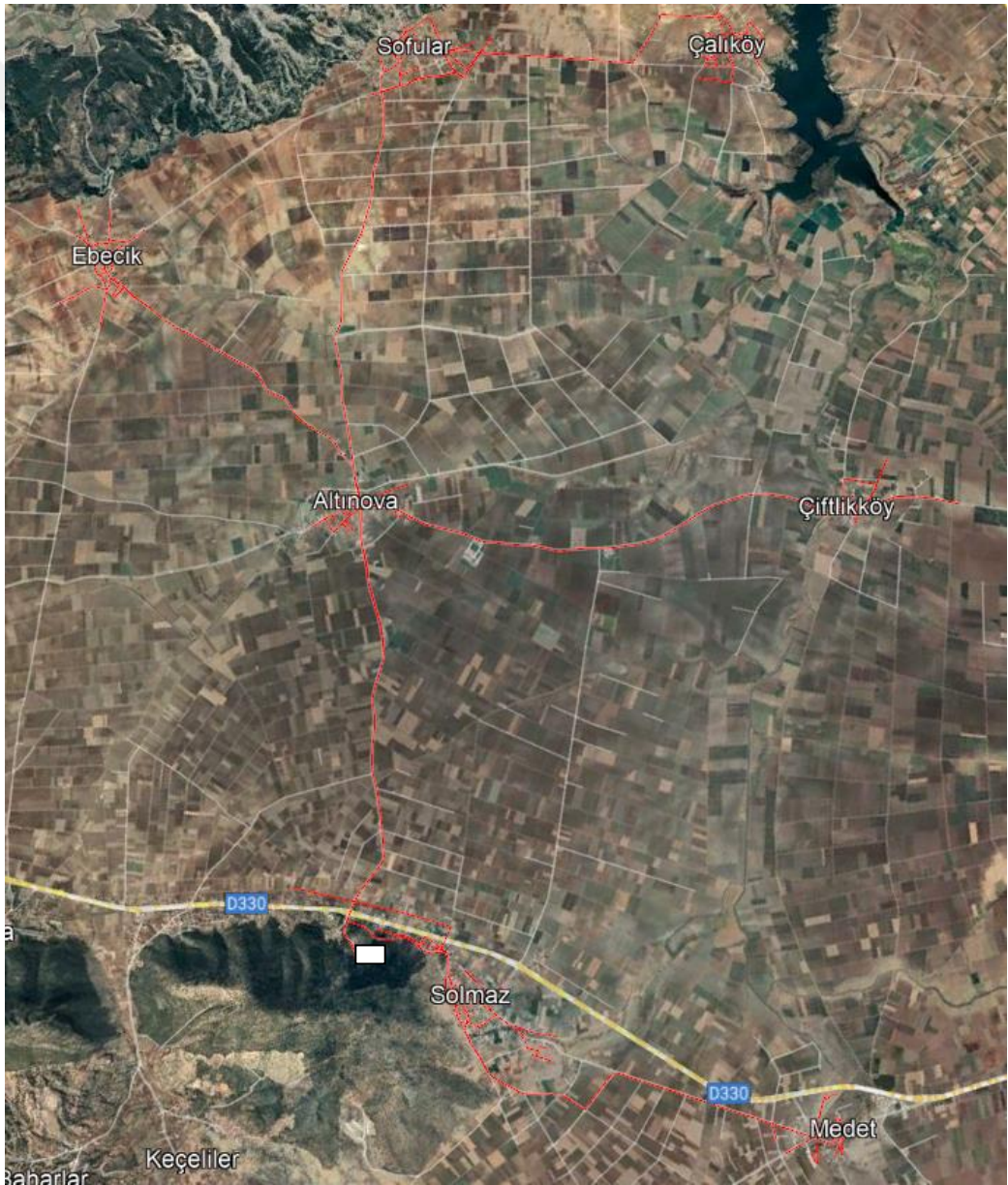
Bu tez için Denizli Tavas ilçesi Solmaz mahallesindeki gruplu depo (7 köye içme su ihtiyacı karşılayan) iletim hattı ve köylerin şebeke hattının da bulunduğu proje paftası ve .kmz formatlı proje planı kullanılmıştır.

4.4.1 Solmaz Grup Deposunun Coğrafi Durumu

Solmaz grup deposundan; Solmaz, Medet, Altınova, Çiftlikköy, Ebecik, Sofular ve Çalıköy olmak üzere 7 köye su verilmektedir. Kaynaktan grup deposuna kadar olan kısım terfili hattır. Solmaz grup deposundan 5 köyün (Medet, Altınova, Ebecik, Sofular ve Çalıköy) kendi su depolarına ve 2 köye (Solmaz, Çiftlikköy) ise depo olmadan (direkt) su iletimi cazibeli olarak sağlanmaktadır.



Şekil 4.1: Solmaz grup deposunun Türkiye haritasındaki konumu



Şekil 4.2: Solmaz grup deposu iletim hattı ve köy şebekelerinin planı



Şekil 4.3: Solmaz grup deposu terfili isale hattı planı

4.4.2 Nüfus Hesapları ve İhtiyaç Debileri

Tablo 4.1: Solmaz grup deposunun proje paftasında kullanılan nüfus ve isale debi hesapları

	N2050 (kişi)	İHTİYAÇ (lt/sn)	YANGIN (lt/sn)	TOPLAM (lt/sn)
SOLMAZ	2245	4,67	5	9,67
MEDET	1252	2,56	5	7,56
ALTINOVA	2245	4,12	5	9,12
ÇİFTLİKKÖY	969	2,21	5	7,21
EBECİK	1980	3,85	5	8,85
SOFULAR	1922	3,48	5	8,48
ÇALIKÖY	1956	3,53	5	8,53

Proje pafta hesapları 2015 yılında yapılmış olup; 35 yıl sonra için yani 2050 yılı için nüfus ve isale debi hesapları yapılmıştır.

Burada su verilecek olan toplam N2050 (2050 yılındaki gelecek nüfusumuz) 12569 kişidir.

Toplam depodan köylere götürülecek isale debisi $Q_{\text{toplam}} = 59,42 \text{ l/s}$ 'dir.

Terfili isale hattından depoya gelen debi ise $Q_{\text{terfi}} = 60 \text{ l/s}$ 'dir.

4.4.3 İsale Hattı Proje Bilgileri

Projeye göre 2 yer altı suyu kaynağından pompa yoluyla $Q_1=22\text{l/s}$ ve $Q_2=38\text{l/s}$ 'lik debilerle terfi merkezine gelen debiler; terfi merkezinden $Q_{\text{terfi}}=60\text{l/s}$ ile Solmaz grup deposuna pompa yardımıyla götürülecektir.

Solmaz grup deposundan ise 7 köy yerleşim birimine iletim hattıyla dağıtılacaktır.

Projeye göre depodan köylere iletilen isale hatlarının toplam uzunluğu 31448,42 m'dir.

Terfili isale hattının uzunluğu 2070,08 m'dir.

Toplam projedeki boru uzunluğu 33518,1 m'dir.

Projede 10 ve 16 atü' lük PE borular ve bir tane pompa sisteminde çelik boru; en az anma çapı 110 mm ve en fazla anma çapı 400 mm borular kullanılmıştır.

4.4.4 İsale Hattının Mevcut Maliyetinin Bugünkü Değeriyle Hesaplanması

Tablo 4.2: 10 ve 16 atü boruların birim maliyetleri (Detayplastik ve Kar-el 2023)

PE		PE		ÇELİK	
10 ATÜ		16 ATÜ		10 ATÜ	
ÇAP (mm)	FİYAT (\$)	ÇAP (mm)	FİYAT (\$)	ÇAP (mm)	FİYAT (\$)
110	6,5	110	10	125	22,7
125	8,5	125	13		
140	10,5	140	15		
160	13,5	160	20		
180	17	180	25		
200	21	200	31		
225	27	225	39		
250	33	250	48		
280	41	280	60		
315	52	315	78		
355	66	355	99		
400	83	400	123		

Çelik borunun maliyeti TL cinsinden olduğu için dolar kuru 20.11.2023 tarihi için 1\$=28.7TL alındığında 651,32TL=22.7 \$ bulunur.

Tablo 4.3: Cazibeli isale hattı maliyet tablosu

	Uzunluk	Çap	Pürüzlülük	Atü	Anma Çap	Birim Maliyet (\$)	Maliyet (\$)
Boru Adı	m	mm			mm		
Boru P-1	642,82	352,6	150	10	400	83	53354,06
Boru P-2	1128,74	123,4	150	10	140	10,5	11851,77
Boru P-3	1217,49	114,6	150	16	140	15	18262,35
Boru P-4	680,7	114,6	150	16	140	15	10210,5
Boru P-5	833,44	277,6	150	10	315	52	43338,88
Boru P-6	4230	257,8	150	16	315	78	329940
Boru P-7	6629,31	102,2	150	16	125	13	86181,03
Boru P-8	67,66	257,8	150	16	315	78	5277,48
Boru P-9	5,53	90	150	16	110	10	55,3
Boru P-10	491,17	257,8	150	16	315	78	38311,26
Boru P-11	3153,9	130,8	150	16	160	20	63078
Boru P-12	1358,21	141	150	10	160	13,5	18335,84
Boru P-13	2071,9	204,6	150	16	250	48	99451,2
Boru P-14	3409,1	220,4	150	10	250	33	112500,3
Boru P-15	402	141	150	10	160	13,5	5427
Boru P-16	596,3	141	150	10	160	13,5	8050,05
Boru P-17	3271,65	130,8	150	16	160	20	65433
Boru P-18	1258,5	141	150	10	160	13,5	16989,75
	31448,42						986047,8

Tablo 4.4: Terfili isale hattı maliyet tablosu

	Uzunluk	Çap	Pürüzlülük	Atü	Anma Çap	Birim Maliyet (\$)	Maliyet (\$)
Boru Adı	m	mm					
Boru P-19	5	220,4	150	10	250	33	165
Boru P-20	300,42	352,6	150	10	400	83	24934,86
Boru P-21	5	176,2	150	10	200	21	105
Boru P-22	45,16	129,7	150	10	125	22,7	1025,132
Boru P-23	441,7	327,4	150	16	400	123	54329,1
Boru P-24	1272,8	352,6	150	10	400	83	105642,4
	2070,08						186201,5

Toplam mevcut şebeke boru maliyeti ise 1.172.249,3 \$ hesaplanmıştır.

5. OPTİMİZASYON MODELİ OLUŞTURULMASI

Cazibeli ve terfili isale için amaç fonksiyonun oluşturulması işlemleri yapılmıştır.

5.1 Cazibeli İsale Hattı İçin Amaç Fonksiyonun Oluşturulması

Amaç fonksiyonumuz en az boru çapına göre maliyet üzerine kurgulanmıştır. Borular 10 atü ve 16 atü'lük borulardır. 10 atü'lük ve 16 atü'lük borular için ayrı ayrı çap maliyetleri ile boruların uzunlukları çarpımının toplamıyla toplam maliyet elde edilmiş olur.

Amaç fonksiyonumuzun kısıt dışı sonuç bulmaması için amaç fonksiyonumuza ceza da eklenir.

$$f = \min \sum_{i,j=1,1}^n C(Di) * Li + C(Dj) * Lj + 10^8(Pceza + Vceza)$$
$$i = 1,2,5,12,14,15,16,18$$
$$j = 3,4,6,7,8,9,10,11,13,17$$
(5.1)

Burada f amaç fonksiyonu, n şebekedeki toplam boru sayısı; C(Di) ve C(Dj), i numaralı (10 atü'lük boru) ve j numaralı boru (16 atü'lük boru) için seçilmiş çap maliyeti; Li ve Lj, i numaralı ve j numaralı borunun uzunluğunu, Pceza basınç kısıt aralığında olmaması durumunda, Vceza hız kısıt aralığında olmaması durumunda verilen cezayı ifade etmektedir.

Optimizasyon işlemi için kısıtlar aşağıda verilmiştir:

Bütün borular uygun hız aralığında olması gerekir.

$$0,5 \leq V_k \leq 3 \text{ (m/s); } k = 1,2,3, \dots 18$$
(5.2)

Vmin (minumum hız) İlbank 2013 şartnamesine göre isale hatlarında en yüksek debide 0,3 m/s; Vmax (en yüksek hız) ise 3 m/s olarak ifade edilmiştir. Proje tasarımında diğer debilerde Vmin 0,5 m/s olarak alınmıştır.

Düğüm noktalarının uygun basınç aralığında olması gerekir.

$$P_{min} \leq P_k \leq P_{max}(i,j) (m); k = 1,2, \dots 18 ; i,j = (100,160) \quad (5.3)$$

İlbank şartnamesine göre Pmax boru cinsine göre maksimum basınçta (100m ve 160m) çalıştırılabilir. Pmin için vantuz yerlerinde en az 6m basınç sağlanmalıdır. Minumum basınç için Solmaz ve Çiftlikköy yerleşim yerlerine deposuz su gönderileceği için minumum işletme basınç hesabı yapılarak; Altınova, Ebecik, Sofular, Medet köylerinin ayaklı depolarına suyun gidebilmesi için işletme basınç hesabı yapılarak; Çalıköy deposu gömme depo olduğu için minumum 5m işletme basınç hesabı alınarak yapılmıştır.

5.1.1 İlbank (2013)' a Göre İsale Hattında Kullanılacak Minimum Boru Çapları

İsale hatlarında nüfusa göre en az çap İlbank (2013) şartnamesine göre alınacaktır.

Tablo 5.1: İçme suyu şebekelerinde kullanılacak minimum boru iç çapı (İlbank 2013)

Basınç Bölgesi Nüfusu (kişi)	İki Katlı Binaların Olduğu Yerleşim Alanı		Üç Kat ve Üzeri Binaların Olduğu Yerleşim Alanı	
	Tali Boru (mm)	Esas ve Ana Boru (mm)	Tali Boru (mm)	Esas Boru (mm)
<5.000	65	80	80	100
5.001-10.000	65	100	80	125
10.001-25.000	80	125	100	150
25.001-50.000	100	150	125	150
50.001-100.000	125	150	125	150
>100.000	-	-	125	200

Bu tabloya göre Solmaz Grup deposu Solmaz köyü ayırımına kadar 125mm, Solmaz köyü ayırımından Medet deposuna kadar olan kısma kadar 80mm, Solmaz köyü ayırımından Altınova köyüne kadar 100mm, Çiftlikköy ayırımından Çiftlikköy'e kadar 80mm, Altınova 'dan Ebecik ayırımında kadar 100mm, Ebecik ayırımından Sofular ve Çalıköy' e giden borular için 80mm minimum iç çap değeri alınacaktır.

5.1.2 Basınç Kısıtlarının Hesaplanması

Pj (bütün düğüm noktalarında) borularımız, 10 atülük borularımızda 100m, 16 atülük borularımızda 160 m basınca kadar dayanabilir. Düğüm noktalarında en az basınç 6m alınacaktır. Köy depo giriş yerlerinde en az basınç 3-5 m alınacaktır. En fazla basınç miktarı için tahliye vanalarında boru düğüm noktalarından daha aşağıda olan yerler dikkate alınacaktır. En az olması gereken basınç içinse vantuz yerlerinde 6m basınç sağlanmalıdır. Tahliye vanaları; boru başlangıç düğüm noktalarından boru bitiş düğüm noktalarına kadar olan tahliye vanalarının düğüm noktalarından daha düşük kotta olduğu yerler için aşağıdaki hesaplar yapılmıştır.

Solmaz-Medet ayrımından Medet yerleşim yerine kadar olan isale hattı için;

Ayrılma noktası giriş kotu:933,86

En düşük tahliye vanası kotu: 932,41

Medet giriş kotu:939,71

En yüksek olması gereken statik basınç:

$$933,86 - 932,41 = 1,45 \text{ m}$$

$$160 - 1,45 = 158,55 \text{ m}$$

Altınova-Çiftlikköy ayrımından Çiftlikköy Girişine kadar olan isale hattı için;

Ayrılma noktası giriş kotu:930,93

En düşük tahliye vanası kotu: 920,60

Çiftlikköy giriş kotu:923,55

En yüksek olması gereken statik basınç: $923,55 - 920,6 = 2,95$

$$160 - 2,95 = 157,05 \text{ m}$$

Altınova-Sofular ayrımından Sofular boru cins değişim noktasına (BCD) kadar olan isale hattı için;

Ayrılma noktası giriş kotu:932,67

En düşük tahliye vanası kotu: 930,85

Sofular (BCD) kotu: 941,89

En yüksek olması gereken statik basınç: $932,67 - 930,85 = 1,82$ m

$100 - 1,82 = 98,18$ m

Çalıköy 1. BCD noktasından Çalıköy 2. BCD Noktasına kadar olan isale hattı için;

1. bcd noktası kotu:942,43

En düşük tahliye vanası kotu: 936,31

2. bcd noktası kotu: 942,26

En yüksek olması gereken statik basınç: $942,26 - 936,31 = 5,95$ m

$160 - 5,95 = 154,05$ m

Şebeke giriş noktalarında işletme basınçları dikkate alınmalıdır. Bu sistemde Solmaz, Çiftlikköy için depo kullanılmadan şebekeye; Medet' te ise ayaklı depoya gidebilmesi için işletme basınç hesabı yapılmıştır. Altınova, Ebecik, Sofular köylerinde ayaklı depoya; Çalıköy' de ise gömme depoya su iletilmiştir.

Şebeke giriş noktalarında olması gereken işletme basıncı hesaplanırken;

Ayaklı depolara suyun çıkabilmesi için işletme basınç hesabı ve depo kullanılmayan köylere suyun gidebilmesi için şebekedeki en yüksek kota göre işletme basınç hesapları yapılmıştır. Ek olarak deponun olduğu köyler için de depo yerine göre işletme basınç hesapları yapılmıştır.

Kayıp (Hk) hesaplanırken şebeke içerisindeki hızlar için 0,5 m/s - 1m/s aralık uygun görülmüştür.

Denklem (2.5) H-W formülüne göre kayıplar hesaplanmıştır.

5.1.2.1 Solmaz Köyü İçin Basınç Kısıtlarının Hesaplanması



Şekil 5.1: Solmaz köyü şebeke planı

Şebeke giriş noktası kotu 898.61m

En yüksek şebeke kot= 926m

Statik basınç farkı: 926-898,61=27,39m

En düşük olması gereken statik basınç=20m+27,39m=47,39m

İşletme basınç hesabı:

Hazen-Williams Formülü:

$$V=0.849*C*R^{0.63}*S^{0.54} \text{ (SI)}$$

$$J=V/(0.849*C*R^{0.63})^{1/0.54}$$

Solmaz'da şebeke hızlar $v=0,8$ m/s kabul edilmiştir.

Q90mm PVC boru için;

$$D_{iç}=90-8,6=81,4\text{mm}=0,0814\text{m}$$

$$L_1=5,198+98,97+62,97=167,138\text{m}$$

$$J_1=0,8/(0,849*150*(D/4)^{0,63})^{1/0,54}$$

$$J_1=0,009512$$

$$H_{k1}=J_1*L_1$$

$$H_{k1}=0,009512*167,138\text{m}=1,59\text{m}$$

$$\text{Q63mm için, } D_{iç}=63-6=57\text{mm}=0,057\text{m}$$

$$J_2=0,014415$$

$$L_2=100+79,4+56,62+7,71+108,99+143,15=495,87\text{m}$$

$$H_{k2}=0,014415*495,87=7,15\text{m}$$

$$H_{k\text{topl}}=7,15+1,59=8,74\text{m}$$

$$\text{En düşük olması gereken işletme basınç}=47,39\text{m}+8,74\text{m}=56,13\text{m}$$

5.1.2.2 Medet Köyü İçin Basınç Kısıtlarının Hesaplanması ve Depo Yeri Kontrolü



Şekil 5.2: İletim hattının Medet ayaklı deposuna bağlantısı



Şekil 5.3: Medet köyü şebeke planı

Medet deposu 934,53m yüksekliğindedir. Buraya isale hattı gelmesi için minumum işletme basınç hesabı yapılmıştır.

$$\text{Minumum Statik basınç} = 934,53 - 905,85 = 28,68\text{m}$$

$$125\text{mm PVC boru 10atülük boruda Diç} = 115,6\text{m}$$

$$L = 3695,31\text{m}$$

$$H_k = 10,583 * L * Q^{1.85} / C^{1.85} * d^{4.87}$$

$$H_k = 16,04 \text{ m}$$

Ayaklı su deposuna suyun gelmesi için en düşük olması gereken işletme basıncı = 28,68m + 16,04m + 3m = 47,72m

Depo yeri kontrolü:

$$L_{\text{boru}} = 123 + 47,45 + 42,62 + 180,11 + 13,35 + 38,11 + 17,72 + 40,79 + 410,47 = 913,62\text{m}$$

PVC Q=63mm için

$$H_k = 0,0090096 * 913,62 = 8,23\text{m}$$

$$\text{Statik basınç} = 934,53\text{m} - 910\text{m} = 24,53\text{m}$$

En yüksek kotta depo işletme basıncı: 24,53 - 8,23 = 16,30 m (En az 20m basınç için hidrofor kullanımı önerilir.)

5.1.2.3 Altınova Köyü İçin Basınç Kısıtlarının Hesaplanması ve Depo Yeri Kontrolü



Şekil 5.4: Altınova köyü şebeke planı

$$H_k = 10,583 * L * Q^{1,85} / C^{1,85} * d^{4,87}$$

$$H_k = 10,583 * 34,25 * 0,00912^{1,85} / 150^{1,85} * 0,09^{4,87}$$

$$H_k = 0,71m$$

Ayaklı su deposuna suyun gelmesi için en düşük olması gereken işletme basıncı=34,25m+0,71m+5m=39,96m

Depo yeri kontrolü: Hız 0,5 m/s alınmıştır.

En yüksek şebeke kot= 907,97m

$$L_{boru} = 596,55 + 11,71 + 71,78 = 680,04m$$

PVC 63mm için;

$$H_k = 0,0090096 * 680,04 = 6,13m$$

$$\text{Statik basınç} = 931,18 - 907,97 = 23,21m$$

En yüksek kotta depo işletme basıncı: $23,21 - 6,13 = 17,08m$ (En az 20m basınç için hidrofor kullanımı önerilir.)

5.1.2.4 Ebecik Köyü İçin Basınç Kısıtlarının Hesaplanması ve Depo Yeri Kontrolü



Şekil 5.5: Ebecik köyü şebeke planı

Depo yeri kontrolü:

$$V = 0,8m/s \text{ alınmıştır.}$$

966,25m depo su seviye kotu

939,33 en yüksek şebeke kotu

Statik basınç: $966,25 - 939,33 = 26,92\text{m}$

$L_{\text{boru}} = 28,19 + 553,06 = 581,25\text{m}$

PVC 63 mm için;

$J = 0,009512$

$H_k = J * L$

$H_k = 5,53\text{m}$

En yüksek kotta depo işletme basıncı $= 26,92 - 5,53 = 21,39\text{m}$

$H_k = 10,583 * L * Q^{1,85} / C^{1,85} * d^{4,87}$

$H_k = 10,583 * 34,25 * 0,00885^{1,85} / 150^{1,85} * 0,141^{4,87}$

$H_k = 0,08\text{ m}$

Depo girişi en az işletme basınç $= 5\text{m}$

Depo yüksekliği $= 34,16\text{m}$

Ayaklı su deposuna suyun gelmesi için en düşük olması gereken işletme basıncı $= 34,16\text{ m} + 5\text{m} + 0,08 = 39,24\text{m}$

5.1.2.5 Sofular Köyü İçin Basınç Kısıtlarının Hesaplanması ve Depo Yeri Kontrolü



Şekil 5.6: Sofular köyü şebeke planı

Depo yeri kontrolü: Hız 1 m/s alınmıştır.

Depo su yüzeyi kotu: 967,16m

En yüksek kot: 939,33m

Statik basınç farkı: 27,83m

$H_{k\text{toplam}} = 119 \cdot S(\text{pvc63}) + 182,66 \cdot S(\text{pvc140})$

Q63 için;

$S = 0,018019$

$$Hk_1 = S_1 * L_1$$

$$Hk_1 = 119 * 0,018019 = 2,144m$$

$$Q_{140} \text{ için; } Q_{iç} = 140 - 10,8 = 129,2mm$$

$$S_2 = 1 / (0,849 * 150 * (D_{iç} / 4)^{0,63})^{1/0,54}$$

$$S_2 = 0,006936$$

$$Hk_2 = S_2 * L_2 = 182,66 * 0,006936 = 1,27m$$

$$Hk_{toplam} = 1,27 + 2,14 = 3,41m$$

En yüksek kotta depo işletme basıncı: 27,83-3,41=24,42m

$$Hk = 10,583 * L * Q^{1,85} / C^{1,85} * d^{4,87}$$

$$Hk = 10,583 * 34,16 * 0,00848^{1,85} / 150^{1,85} * 0,141^{4,87}$$

$$Hk = 0,07m$$

Depo girişi en az işletme basınç=5m

$$\text{Depo yüksekliği} = 34,16m$$

Ayaklı su deposuna suyun gelmesi için en düşük olması gereken işletme basıncı = 34,16m + 5m + 0,07 = 39,23 m

5.1.2.6 alıkky Köyü İçin Basınc Kısıtlarının Hesaplanması ve Depo Yeri Kontrolü



Şekil 5.7: alıkky şebeke planı

Gömme depo yeri kontrolü:

$V=0,5$ m/s alınmıştır.

Depo kot=956m

En yüksek kot:936m

Statik kot farkı:20m

Q140mm 10 atü için;

Diç=129,2mm

$L_1=600m+26,5m+88,12m+215,55m=930,17m$

$S_1=0,5/(0,849*150*(Diç/4)^{0,63})^{1/0,54}$

$S_1=0,003468$

$Hk_1=S_1*L_1=3,23m$

Q90mm için;

Diç=81,4mm

$L_2=42,10m$

$S_2=0,005945$

$Hk_2=0,25m$

Q63mm

Diç=57mm

$S_3=0,0090096$

$L_3=172,29m+63,24m=235,53m$

$Hk_3=2,12m$

$Hk_{toplam}=2,12+0,25+3,23=5,6m$

En yüksek kotta depo işletme basıncı=20-5,6=14,4m (En az 20m basınç için hidrofor kullanımı önerilir.)

5.1.2.7 Çiftlikköy Köyü İçin Basınç Kısıtlarının Hesaplanması



Şekil 5.8: Çiftlikköy şebeke planı

Statik kot farkı: 0m

$V=1\text{m/s}$ alınmıştır.

PVC 63mm için;

$$L=1194,18+18,48+153,07+152,39=1518,12\text{m}$$

$$H_{k1}=1518,12*0,018019=27,36\text{m}$$

Pvc110 için $j=0,009181$

$$H_{k2}=358,46*0,009181=3,29\text{m}$$

$$H_{k\text{toplam}}=27,36+3,29=30,65\text{m}$$

En düşük olması gereken işletme basınç= $20+30,65=50,65\text{m}$

5.2 Terfili İsale Hattı İçin Optimizasyon Modeli Oluşturulması

Amaç fonksiyonu için (5.4) proje süresi boyunca (30 yıl) sabit debi ve elektrik maliyeti ve pompa süresinin 365 gün 24 saat çalıştığı kabul edilmiştir. 0.5m/s ve 2m/s hız aralığında optimize edilecektir. Boru cinsleri önceden belirlendiğinden basınç kısıtı amaç fonksiyonuna eklenmemiştir.

Borular için işletme (A_1) ve yatırım (A_2) maliyetleri toplandığında toplam maliyet bulunmuş olur (Şengörür,2007).

$$A_1 = \frac{Q \cdot H}{102 \cdot \eta_p \cdot \eta_m} * 0,18 * 365 * 24 \quad (5.4)$$

Pompa elektrik maliyet hesaplamasında Türkiye için kwh fiyatı olarak 0,18\$ olarak alınmıştır (Intratec Solutions,2023). Pompanın günde 24 saat 365 gün çalıştığı varsayılmıştır.

$$A_2 = \left(\frac{p}{100} \right) * P * L_{boru} \quad (5.5)$$

$p = \text{Faiz} + \text{Amortisman oranı}$

$P = \text{Borunun 1 m 'sinin maliyeti}$

Amortisman oranı olarak 30 yıl isale hattının hizmet edeceği dikkate alındığında $1/30 = \%3,3$ hesaplanır (Günay,2008).

Faiz oranı olarak Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası'na göre 22.03.2024 tarihinde faiz oranı $\%47$ olarak alınmıştır.

$p = \%47 + \%3,3 = \%50$ alınmıştır.

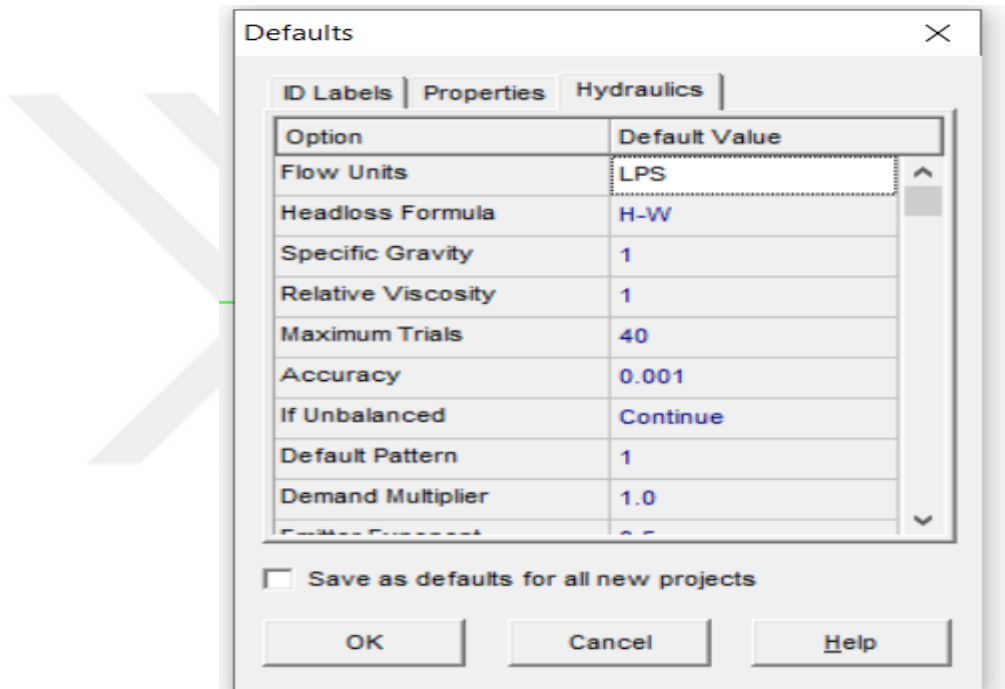
$$\begin{aligned}
f = \min \sum_{i,j=1}^n & C(Di) * Li + C(Dj) * Lj + \left(\frac{Q * H}{102 * \eta p * \eta m} * 365 * 24 * 0,18 \right) * 30 \\
& + \left(\frac{pi}{100} \right) * Pi * Li + \left(\frac{pj}{100} \right) * Pj * Lj + 10^8 (Vceza) \quad (5.6) \\
& i = 1,2,4 \\
& j = 3 \\
& H = h + Jk * Lk (m); k = 1,2,3,4 \\
& Q = (Q_1(22), Q_2(38), Q_3(60))(m^3/s) \\
& 0.5 \leq Vk \leq 2 (m/s); k = 1,2,3,4
\end{aligned}$$

Burada i ve j (10 ve 16 atü'lük) borular için boru çap maliyeti, boru işletme maliyeti ve boru yatırım maliyeti ayrı ayrı toplanıp amaç fonksiyonunda birleştirilip en uygun çap bulunacaktır. En az anma çap olarak 110mm ve 400mm arası çaplar kullanılacaktır.

6. EPANET İLE MEVCUT İSALE HATTININ TASARIMI

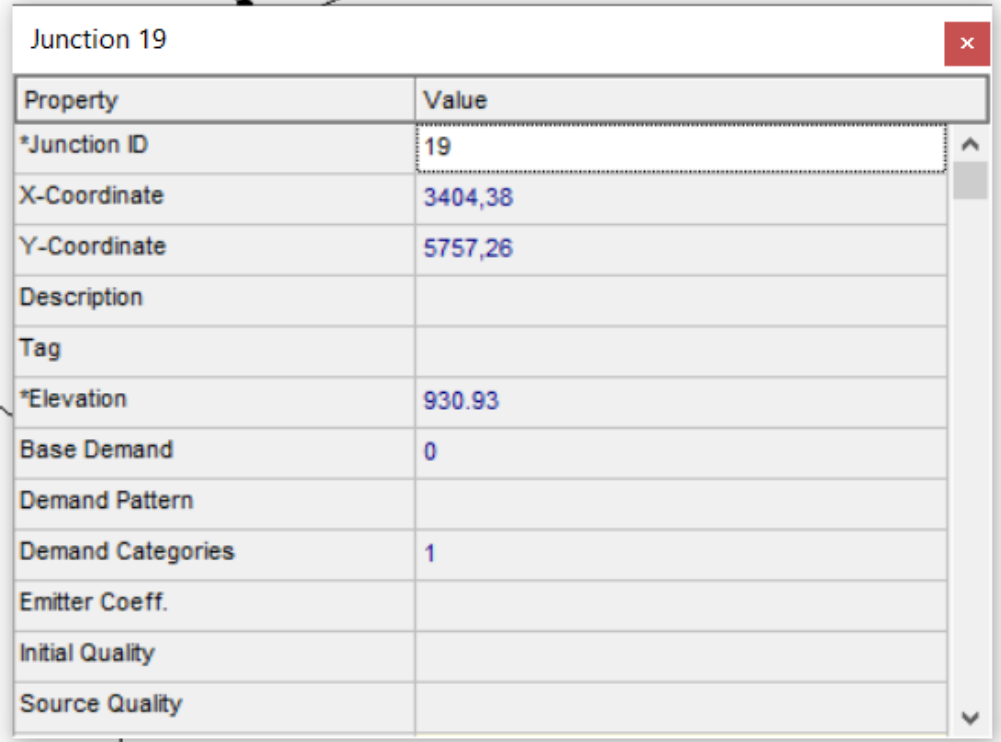
6.1 Mevcut İsale Hattının Tasarımının Yapılması

Epanet 2.0 programından isale hatlarımızın projeye paftasına göre çizimi yapılmıştır. İsale hatlarımızın çizimi yapılmadan önce hesaplama ayarları girilirken LPS(L/s) biriminde kayıp formülü olarak Hazen-Williams olarak alınmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1: Hesaplama ayarlarının Epanet'e girilmesi

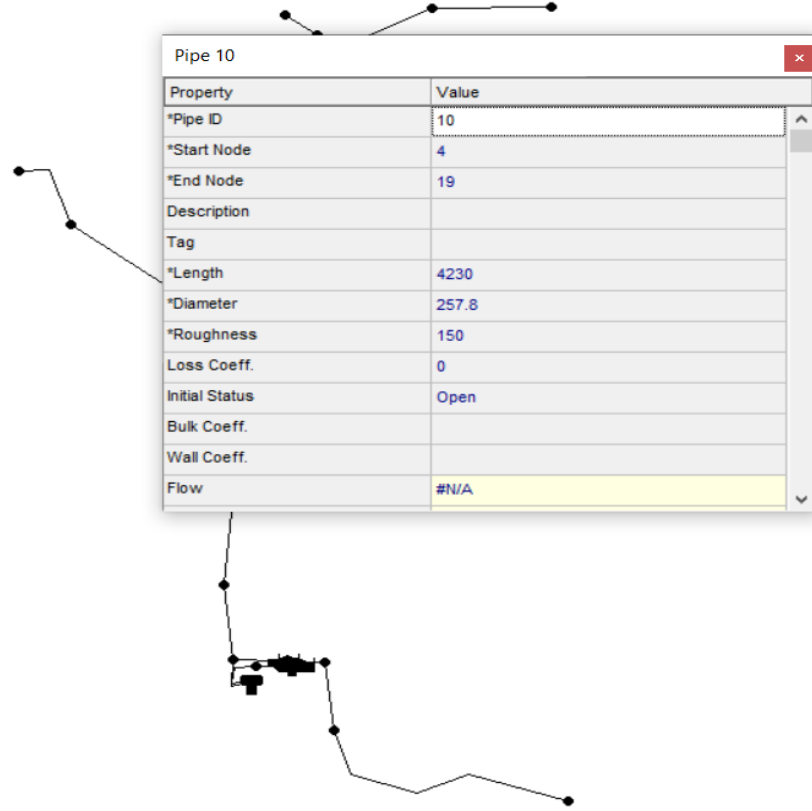
Düğüm noktalarının çiziminde kotlarımız ve köy şebeke girişlerindeki ihtiyaç debilerimiz girilmiştir (Şekil 6.2).



Property	Value
*Junction ID	19
X-Coordinate	3404,38
Y-Coordinate	5757,26
Description	
Tag	
*Elevation	930.93
Base Demand	0
Demand Pattern	
Demand Categories	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	

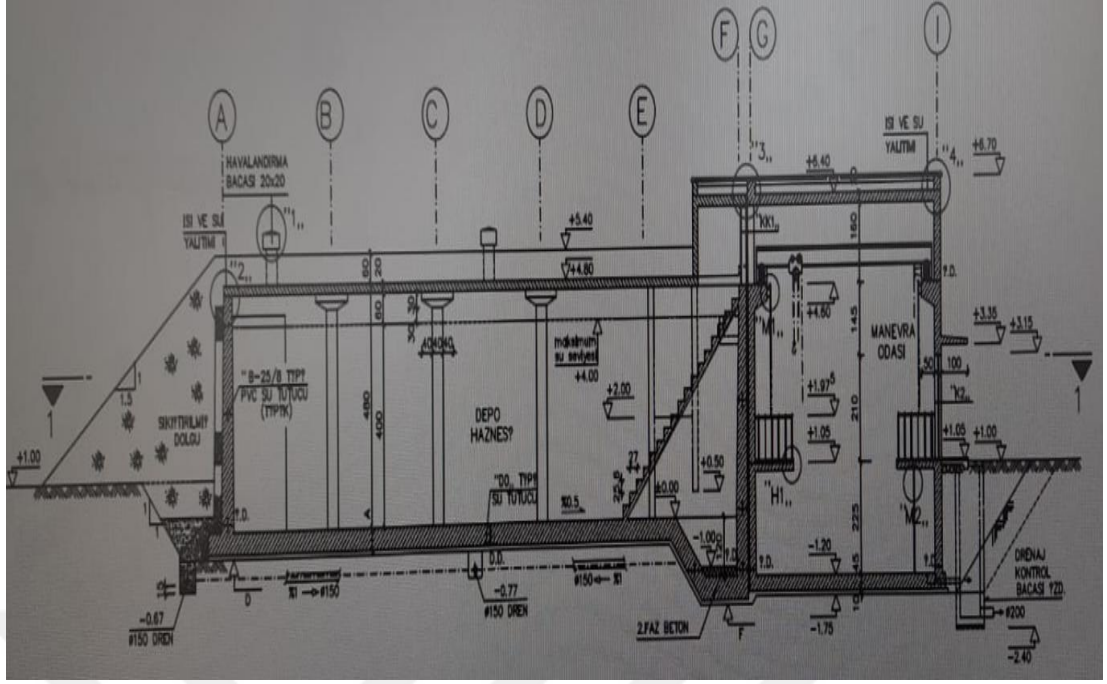
Şekil 6.2: Düğüm nokta verilerinin Epanet'e girilmesi

Boru çiziminde uzunluklarımız ve pürüzlülük katsayılarımız (PE boru için 150 alınmıştır.) girilmiştir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3: Boru bilgilerinin Epanet'e girilmesi

Depo projesinden alınan bilgilerle depo kotumuz, depo içi başlangıç, maks-min su seviyelerimiz ve depo çapı değerleri girilmiştir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4: Solmaz grup deposu projesi

Rezervuar çizimi olarak iki tane yer altı suyu, bir tane de terfi istasyonumuz vardır. Bunların çiziminde su yüzeyi kotları girilmiştir (Şekil 6.5).

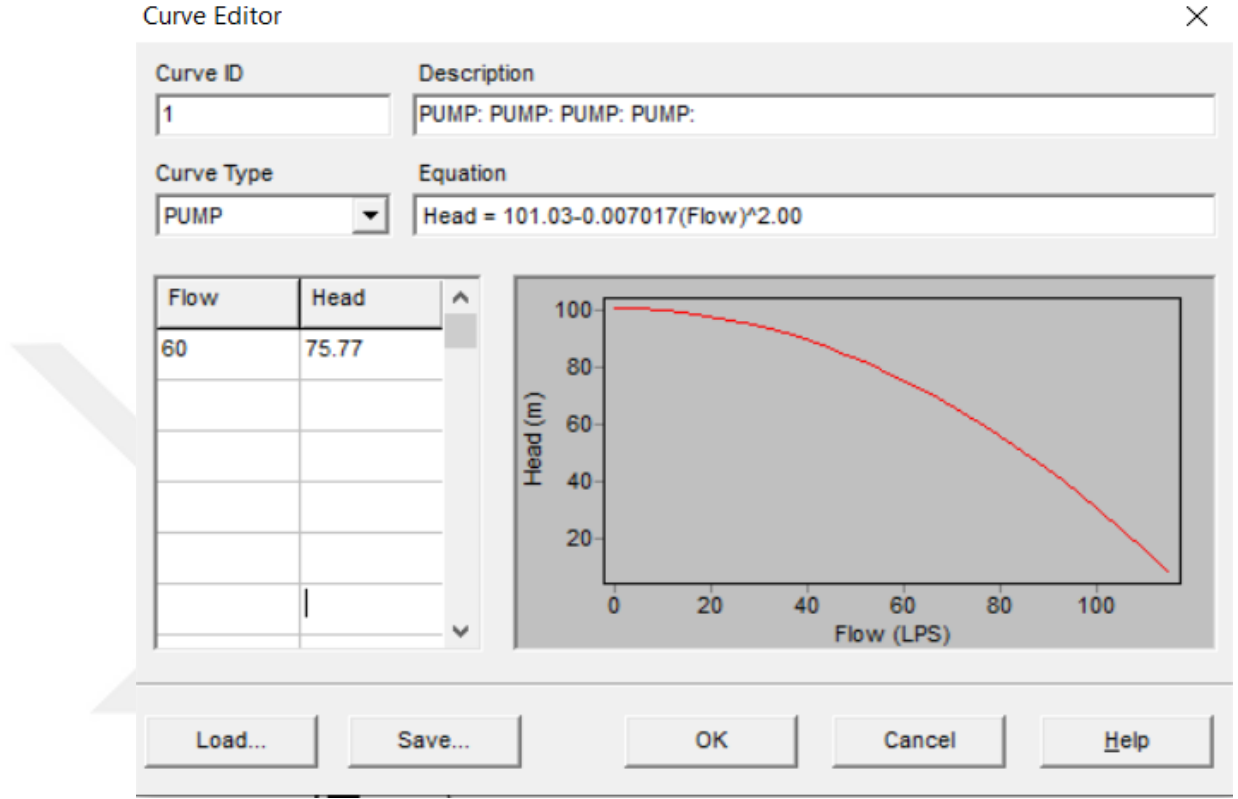
Yeraltı sularımızın statik su seviyeleri 8m, dinamik su seviyeleri 36m, 40m 'de ise dalgıç pompa kullanılmıştır.

Reservoir 10

Property	Value
*Reservoir ID	10
X-Coordinate	3795.23
Y-Coordinate	2437.41
Description	
Tag	
*Total Head	958.54
Head Pattern	
Initial Quality	
Source Quality	
Net Inflow	#N/A
Elevation	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

Şekil 6.5: Epanet' e rezervuar bilgilerinin girilmesi

Pompa çiziminde ise basılacak debi (terfi istasyonundan 60 l/s, yeraltı su kaynaklarından birisinden 38 l/s, diğerinden 22 l/s), basılacak su kot farkları girilerek pompa eğrileri oluşturulmuştur. Pompa eğrileri oluşturulurken $Q(m^3/s)$ ve H (basma yüksekliği) verileri girilmiştir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6: Pompa eğri bilgilerinin girilmesi

Q=22 l/s

Hkotfark =958,54-916=42,54m

Hbasma=43,36m

Q=60 l/s

Hkot: 1032,65-958,54=74,11m

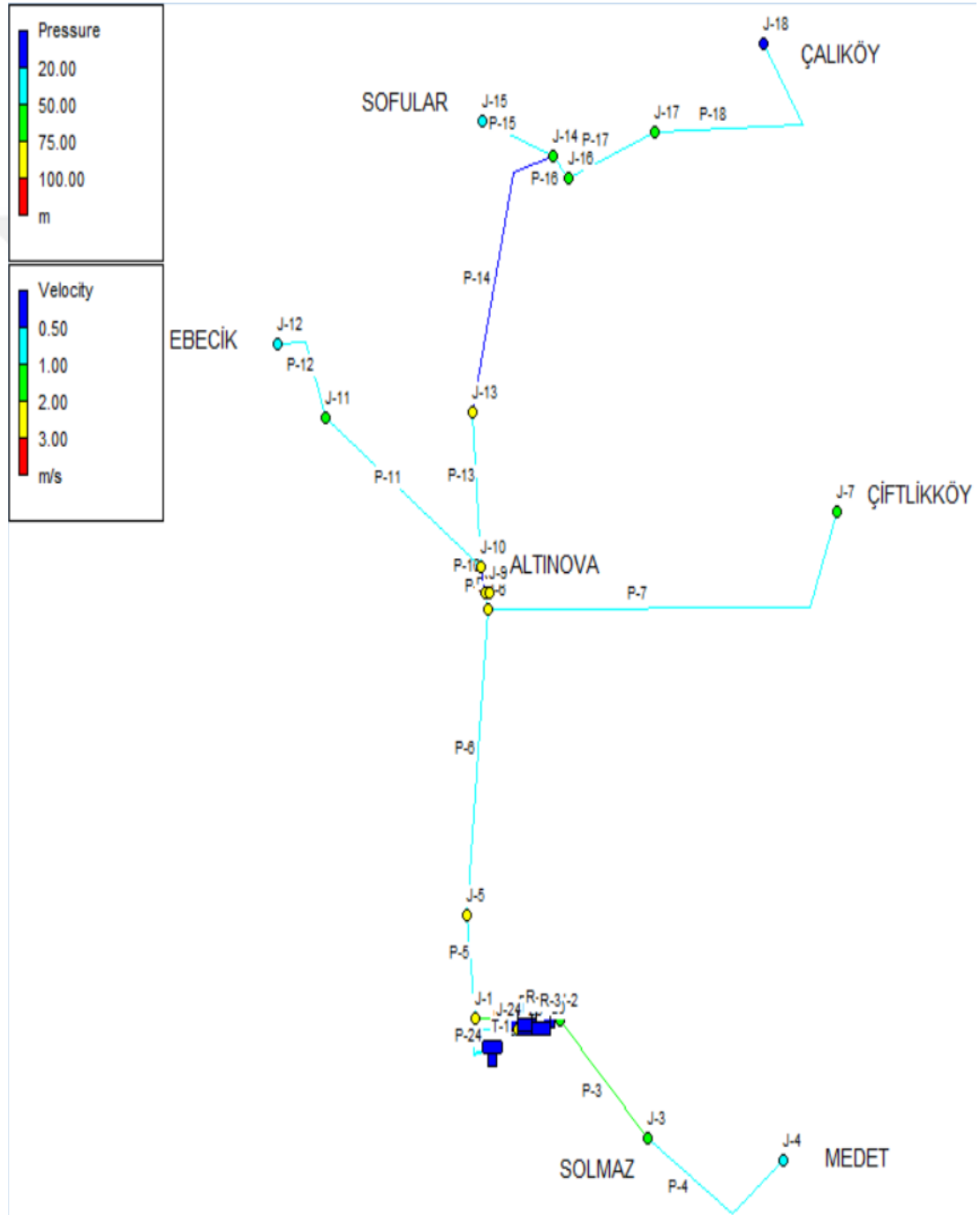
Hbasma=75,77m

Q=38 l/s

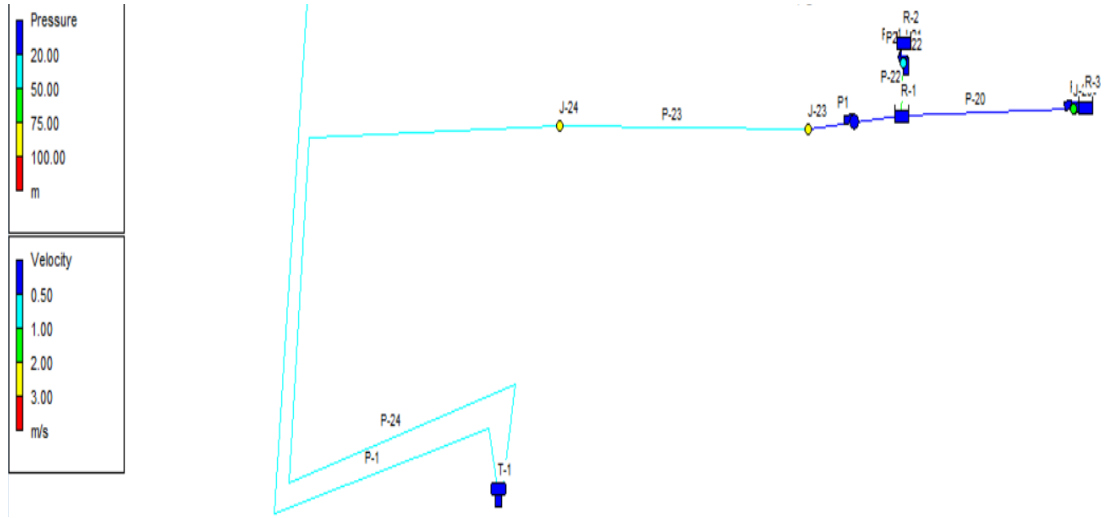
H_{kot}=958,54-898=60,54m

H_{basma}=60,67m

Şebeke çizilmiş ve analizi yapılmıştır (Şekil 6.7; Şekil 6.8).

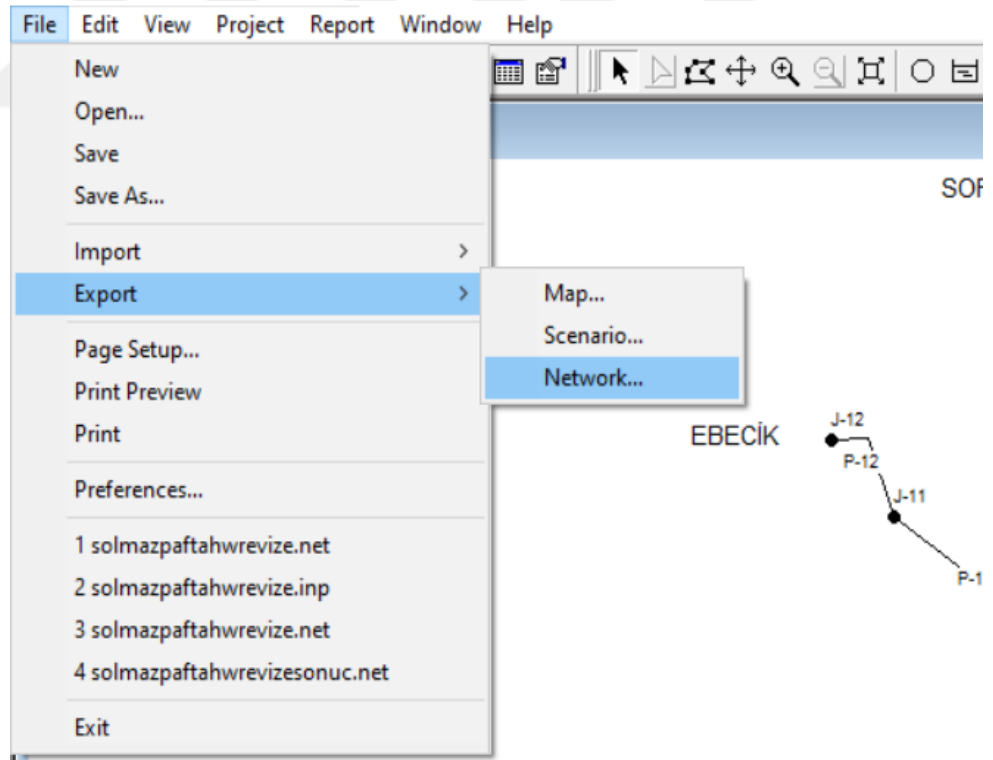


Şekil 6.7: Epanet ile isale hattı analizi (cazibeli isale hattı)



Şekil 6.8: Epanet ile isale hattı analizi (terfili isale hattı)

Şebeke. inp formatında kaydedilip Matlab ortamından loadlibrary ve calllib kodlarıyla çağırılmıştır.



Şekil 6.9: Epanet dosyasının. inp formatında kaydedilmesi

```

1 function f=solmazpaftahwrevize(x)
2 %path(path, 'D:\MatlabR2018a\extern\examples\shrlib');
3 %unloadlibrary('epanet2');
4 loadlibrary('epanet2', 'epanet2');
5 calllib('epanet2', 'ENopen', 'solmazpaftahwrevize.inp', 'report1.rpt', '');

```

Şekil 6.10: Epanet'in Matlab ortamından loadlibrary ve calllib kodlarıyla çağırılması

6.2 Mevcut Cazibeli ve Terfilî İsale Hattının Hız ve Basınç Değerleri

Mevcut isale hız ve düğüm noktalarındaki basınç değerleri aşağıda verilmiştir (Tablo 6.1; Tablo 6.2; Tablo 6.3; Tablo 6.4).

Tablo 6.1: Mevcut cazibeli isale hattı boruların verileri

	Uzunluk	Çap	Pürüzlülük	Debi	Hız	Yerel Kayıp
Boru Adı	m	mm		LPS	m/s	m/km
Boru P-1	642,82	352,6	150	59,44	0,61	0,86
Boru P-2	1128,74	123,4	150	17,23	1,44	14,38
Boru P-3	1217,49	114,6	150	17,23	1,67	20,62
Boru P-4	680,7	114,6	150	7,56	0,73	4,48
Boru P-5	833,44	277,6	150	42,21	0,70	1,46
Boru P-6	4230	257,8	150	42,21	0,81	2,09
Boru P-7	6629,31	102,2	150	7,21	0,88	7,17
Boru P-8	67,66	257,8	150	35,00	0,67	1,48
Boru P-9	5,53	90	150	9,12	1,43	20,59
Boru P-10	491,17	257,8	150	25,88	0,50	0,84
Boru P-11	3153,9	130,8	150	8,85	0,66	3,15
Boru P-12	1358,21	141	150	8,85	0,57	2,19
Boru P-13	2071,9	204,6	150	17,03	0,52	1,20
Boru P-14	3409,1	220,4	150	17,03	0,45	0,83
Boru P-15	402	141	150	8,48	0,54	2,02
Boru P-16	596,3	141	150	8,55	0,55	2,05
Boru P-17	3271,65	130,8	150	8,55	0,64	2,96
Boru P-18	1258,5	141	150	8,55	0,55	2,05

Tablo 6.2: Mevcut cazibeli isale hattı düğüm noktalarının verileri

	Kot	İhtiyaç Debisi	Piyezometre Kotu	Basınç
Düğüm Adı	m	LPS	m	m
Düğüm J-1	953,80	0,00	1032,10	78,30
Düğüm J-2	942,26	0,00	1015,87	73,61
Düğüm J-3	933,86	9,67	990,77	56,91
Düğüm J-4	939,71	7,56	987,72	48,01
Düğüm J-5	942,21	0,00	1030,89	88,68
Düğüm J-6	930,93	0,00	1022,05	91,12
Düğüm J-7	923,55	7,21	974,49	50,94
Düğüm J-8	930,28	0,00	1021,95	91,67
Düğüm J-9	930,24	9,12	1021,84	91,60
Düğüm J-10	932,67	0,00	1021,54	88,87
Düğüm J-11	942,57	0,00	1011,59	69,02
Düğüm J-12	964,03	8,85	1008,62	44,59
Düğüm J-13	941,89	0,00	1019,05	77,16
Düğüm J-14	956,66	0,00	1016,21	59,55
Düğüm J-15	970,26	8,48	1015,40	45,14
Düğüm J-16	942,43	0,00	1014,99	72,56
Düğüm J-17	942,26	0,00	1005,31	63,05
Düğüm J-18	985,56	8,55	1002,73	17,17

Tablo 6.3: Mevcut terfili isale hattının boru verileri

	Kot	İhtiyaç Debisi	Piyezometre Kotu	Basınç
Düğüm Adı	m	LPS	m	m
Düğüm J-19	893	0,00	897,98	4,98
Düğüm J-20	898	0,00	958,65	60,65
Düğüm J-21	911	0,00	915,98	4,98
Düğüm J-22	916	0,00	959,34	43,34
Düğüm J-23	958,54	0,00	1034,31	75,77
Düğüm J-24	956,57	0,00	1033,76	77,19
Rezervuar R-1	958,54	0,00	958,54	0,00
Rezervuar R-2	916	-22,00	916,00	0,00
Rezervuar R-3	898	-38,00	898,00	0,00
Depo T-1	1031,65	0,56	1032,65	1,00

Tablo 6.4: Mevcut terfili isale hattının düğüm noktalarının verileri

	Uzunluk	Çap	Pürüzlülük	Debi	Hız	Yerel Kayıp
Boru Adı	m	mm		LPS	m/s	m/km
Boru P-19	5	220,4	150	38,00	1,00	3,69
Boru P-20	300,42	352,6	150	38,00	0,39	0,37
Boru P-21	5	176,2	150	22,00	0,90	3,99
Boru P-22	45,16	129,7	150	22,00	1,67	17,74
Boru P-23	441,7	327,4	150	60,00	0,71	1,25
Boru P-24	1272,8	352,6	150	60,00	0,61	0,87
Pompa P1	#N/A	#N/A	#N/A	60,00	0,00	-75,77
Pompa P2	#N/A	#N/A	#N/A	22,00	0,00	-43,36
Pompa P3	#N/A	#N/A	#N/A	38,00	0,00	-60,67

7. İSALE HATLARININ YENİDEN TASARIMI

7.1 Terfili İsale Hattının Yeniden Tasarımı

7.1.1 Terfili İsale Hattının Bresse Ampirik Formülüne Göre Yeniden Tasarımı

İlbank yönetmeliğine göre terfili isale hatlarında Bresse ampirik formülü kullanılır. Bresse ampirik formülüne göre terfili isale hattındaki boru çaplarından en yakın 2 çap değerine ve mevcut çapa göre toplam maliyetler hesaplanmış ve en az maliyete göre yeniden tasarlanmıştır. Emme boru çapları da İlbank yönetmeliğine (2013) göre hızlar 0,8-1m/s olacak şekilde seçilmelidir.

Denklem (2.9) kullanılarak aşağıdaki değerler hesaplanmıştır.

$$Q_1=22 \text{ l/s}$$

$$De=0,222\text{m}$$

10 atü' lük PE boruda Diç=220,4mm, Dan=250mm ve Diç=246,8mm, Dan=270mm.

$$Q_2=38 \text{ l/s}$$

$$De=0,292\text{m}$$

10 atü'lük PE boruda Diç=277,6mm, Dan=315mm ve Diç=312,8mm, Dan=355mm

$$Q_{\text{terfi}}=60 \text{ l/s}$$

$$De=0,367\text{m}$$

16 atü'lük PE boruda Diç=368,2, Danma=450mm ve Diç=327,4mm Dan=400mm

10 atü'lük PE boruda Diç=352,6mm, Danma=400mm ve Diç=396,6mm, Dan=450mm.

(5.4) ve (5.5) eşitlikleriyle terfili hattın işletme ve yatırım maliyetleri hesaplanabilir.

Burada hesap kolaylığı açısından (5.4) formülünde sabitler ayrı kabul edilip, L’de 1m alınırsa $A_1 = J \cdot Q / (102 \cdot \eta_p \cdot \eta_m) \cdot 24 \cdot 365$ eşit olur (Şengörür,2007).

Tablo 7.1: En Uygun Ekonomik Çap Bulma Hesapları

	Q ₁ =22l/s			Q ₂ =38l/s		
	dmevcut	deko1	deko2	dmevcut	deko1	deko2
	125,7	220,4	246,8	352,6	277,6	312,8
A ₁	4862,965	367,6134	211,8781	177,1798	567,8845	317,5062
A ₂	512,566	745,14	925,78	12467,43	7810,92	9913,86
Atoplam	5375,531	1112,753	1137,658	12644,61	8378,805	10231,37

Tablo 7.1 (devam): En Uygun Ekonomik Çap Bulma Hesapları

	Q ₃ =60l/s(16atü)			Q ₃ =60l/s(10 atü)		
	dmevcut	deko1	deko2	dmevcut	deko1	deko2
	327,4	368,2	327,4	352,6	352,6	396,6
A ₁	935,3402	527,9039	935,3402	651,8141	651,8141	367,6134
A ₂	27164,55	34452,6	27164,55	18330,55	18330,55	23189,25
Atoplam	28099,89	34980,5	28099,89	18982,36	18982,36	23556,86

Toplam formüle göre Q₁=22 l/s’ lik debide 220,4 mm, Q₂=38 l/s’lik debide 277,6mm, Q₃=60l/s’lik debide 327,4mm ve 352,6mm çaplar kullanılacaktır.

Emme boru çapları için (2.1) eşitliğine göre;

Q₁=22 l/s’lik debide;

$$Q_1 = v_1 \cdot A_1$$

$$0,022 = 0,8 \cdot \pi \cdot D_{emme}^2 / 4 = 0,187m \text{ (10 atü’lük PE boruda 176,2mm)}$$

Q₂=38 l/s’lik debide;

$$Q_2 = v_2 \cdot A_2$$

$$0,038 = 0,8 \cdot \pi \cdot D_{emme}^2 / 4, D_{emme} = 0,245m \text{ (10 atü’lük PE boruda 220,4mm)}$$

Tablo 7.2: Mevcut terfili isale hattının elektrik maliyetinin hesaplanması

Q(lt/s)	Hbasma(m)	Dmevcut		
		N(kwh)	kwh (\$)	Yıllık elektrik maliyeti (\$)
22	43,36	13,32216	2,397989	21006,38
38	60,67	32,19736	5,795525	50768,8
60	75,77	63,49087	11,42836	100112,4
			Toplam	171887,6

Tablo 7.3: Mevcut terfili isale hattının çapa göre maliyeti

Dmevcut	Uzunluk	Çap	Pürüzlülük	Atü	Anma Çap	Birim Maliyet (\$)	Maliyet (\$)
Boru Adı	m	mm					
Boru P-19	5	220,4	150	10	250	33	165
Boru P-20	300,42	352,6	150	10	400	83	24934,86
Boru P-21	5	176,2	150	10	200	21	105
Boru P-22	45,16	129,7	150	10	125	22,7	1025,132
Boru P-23	441,7	327,4	150	16	400	123	54329,1
Boru P-24	1272,8	352,6	150	10	400	83	105642,4
	2070,08						186201,5

Tablo 7.4: Mevcut terfili isale hattının yatırım maliyeti

	p1	p2	p3	p4	Toplam
Maliyet	12467,43	512,566	27164,55	52821,2	92965,746

Toplam maliyet=171.887,6+186.201,5+92.965,746=451.054,846 \$
bulunmuştur.

Tablo 7.5: En uygun ekonomik boru çapına göre isale hattının çapa göre maliyeti

Dekonomik	Uzunluk	Çap	Pürüzlülük	Atü	Anma Çap	Birim Maliyet (\$)	Maliyet (\$)
Boru Adı	m	mm					
Boru P-19	5	220,4	150	10	250	33	165
Boru P-20	300,42	277,6	150	10	400	52	15621,84
Boru P-21	5	176,2	150	10	200	21	105
Boru P-22	45,16	220,4	150	10	125	33	1490,28
Boru P-23	441,7	327,4	150	16	400	123	54329,1
Boru P-24	1272,8	352,6	150	10	400	83	105642,4
	2070,08						177353,6

Tablo 7.8: Ekonomik çaplara göre terfili isale hattı borularının verileri

	Uzunluk	Çap	Pürüzlülük	Akış	Hız	Boru yük kaybı
Boru Adı	m	mm		LPS	m/s	m/km
Boru P-19	5	220,4	150	38,00	1,00	3,69
Boru P-20	300,42	277,6	150	38,00	0,63	1,20
Boru P-21	5	176,2	150	22,00	0,90	3,99
Boru P-22	45,16	220,4	150	22,00	0,58	1,34
Boru P-23	441,7	327,4	150	60,00	0,71	1,25
Boru P-24	1272,8	352,6	150	60,00	0,61	0,87
Pompa P1	#N/A	#N/A	#N/A	60,00	0,00	-75,77
Pompa P2	#N/A	#N/A	#N/A	22,00	0,00	-42,62
Pompa P3	#N/A	#N/A	#N/A	38,00	0,00	-60,92

Tablo 7.9: Ekonomik çaplara göre terfili isale hattı düğüm noktalarının verileri

	Kot	İhtiyaç Debisi	Piyezometre kotu	Basınç
Düğüm Adı	m	LPS	m	m
Düğüm J-19	893	0,00	897,98	4,98
Düğüm J-20	898	0,00	958,90	60,90
Düğüm J-21	911	0,00	915,98	4,98
Düğüm J-22	916	0,00	958,60	42,60
Düğüm J-23	958,54	0,00	1034,31	75,77
Düğüm J-24	956,57	0,00	1033,76	77,19
Rezervuar R-1	958,54	0,00	958,54	0,00
Rezervuar R-2	916	-22,00	916,00	0,00
Rezervuar R-3	898	-38,00	898,00	0,00
Depo T-1	1031,65	0,56	1032,65	1,00

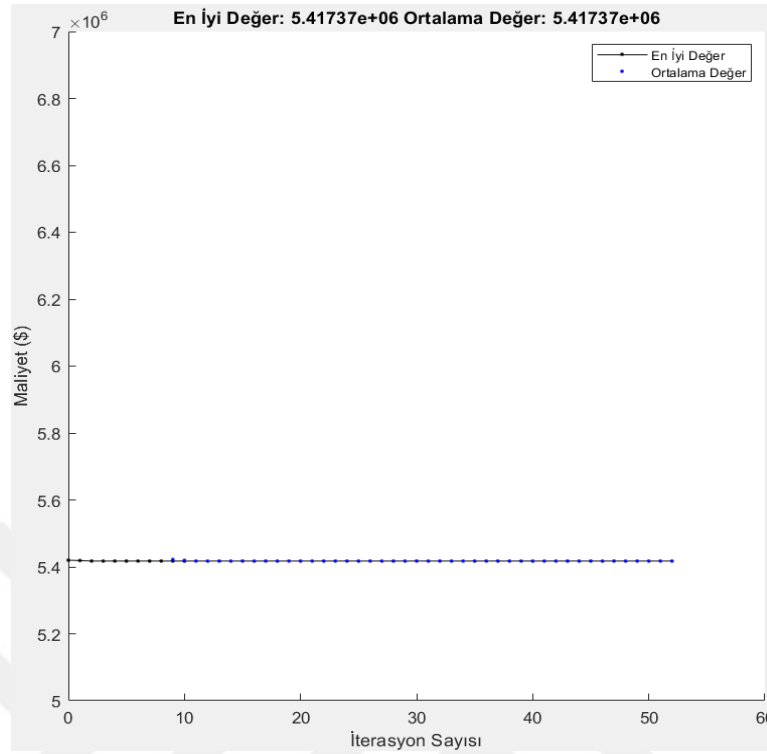
7.1.2 Terfili İsale Hattının Genetik Algoritma ile Yeniden Tasarımı

Genetik algoritma ile 4 boru, popülasyon sayısı 200, rulet metoduyla, tekli nokta ile çaprazlama, çaprazlama oranı 0,8 yapılarak, 0,5m/s ve 2m/s hız aralığında optimize edilmiştir. En iyi sonuca 2. iterasyonda ulaşılmıştır. Toplam 52 iterasyonda gerçekleşmiştir. Amaç fonksiyon değeri 5.417.374 bulunmuştur (Şekil 7.2).

Denklem (5.6) amaç fonksiyonu olarak esas alınmıştır. Boru çap maliyeti, işletme ve yatırım maliyetleri toplanıp amaç fonksiyon değeri bulunmuştur.

7.1.1. bölümde ekonomik çap formülüne göre hesaplanan aynı çaplara ulaşılmıştır. Toplam maliyet optimizasyonla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

=177.083,6+171724,95*30+88541,81=5.417.374 olarak bulunmuştur.



Şekil 7.2 GA ile terfili hat optimizasyonu

7.2 Cazibeli İsale Hattının Genetik Algoritma ile Yeniden Tasarımı

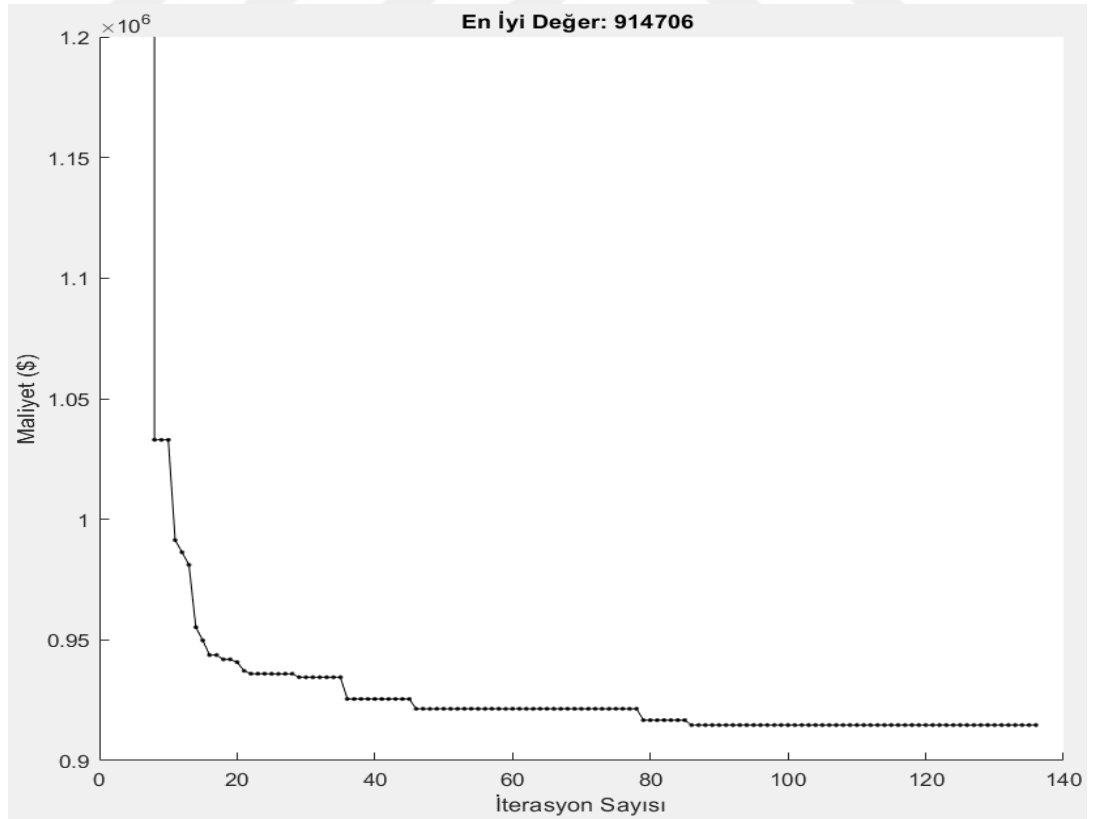
Genetik algoritma ile npop (popülasyon sayısı) =1000, iterasyon sayısı=1800, çaprazlama oranı=0,7, mutasyon oranı=0,35, başlangıç popülasyon kümesi [141 96,8 90 90 110,2 102,2 90 102,2 102,2 102,2 90 96,8 90 96,8 96,8 96,8 90 96,8] alınmıştır.

Toplam 136 iterasyonda gerçekleşen optimizasyonda optimum çözüme 86. iterasyonda ulaşıldı. Optimum çözüme ulaşana kadar sistem toplam 86*1000=86000 kez çalışmış oldu. Amaç fonksiyon değerimiz fval=914706 olarak bulundu (Şekil 7.3).

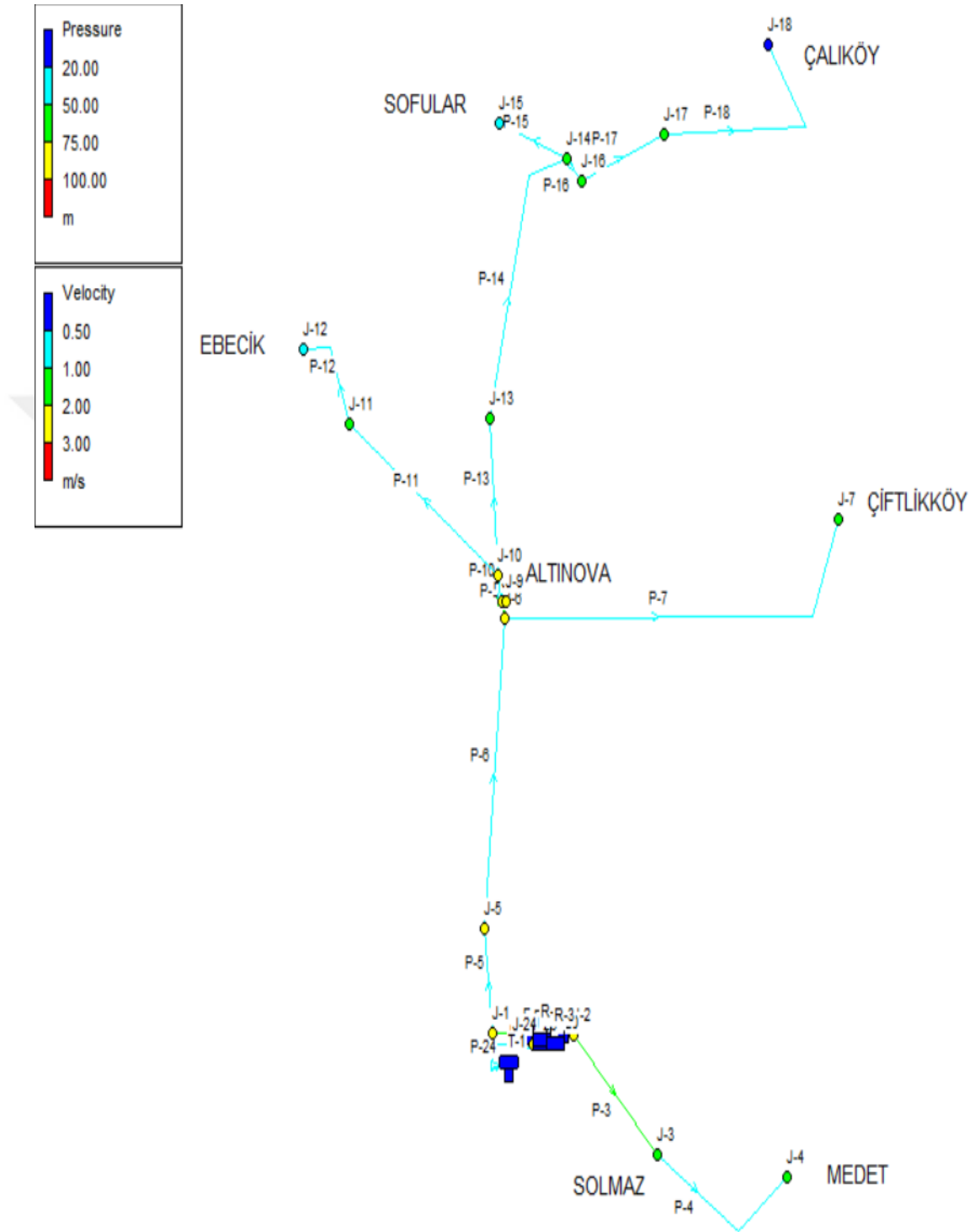
Toplam çapa göre boru maliyeti 914705,6 \$ hesaplanmıştır (Tablo 7.10).

Tablo 7.10: Optimizasyon sonucu oluşan boru çapları ve maliyet hesapları

	Uzunluk	Çap	Pürüzlülük	Atü	Anma Çap	Birim Maliyet	Maliyet
Boru Adı	m	mm				\$	\$
Boru P-1	642,82	277,6	150	10	315	52	33426,64
Boru P-2	1128,74	141	150	10	160	13,5	15237,99
Boru P-3	1217,49	114,6	150	16	140	15	18262,35
Boru P-4	680,7	102,2	150	16	125	13	8849,1
Boru P-5	833,44	277,6	150	10	315	52	43338,88
Boru P-6	4230	257,8	150	16	315	78	329940
Boru P-7	6629,31	114,6	150	16	140	15	99439,65
Boru P-8	67,66	204,6	150	16	250	48	3247,68
Boru P-9	5,53	90	150	16	110	10	55,3
Boru P-10	491,17	204,6	150	16	250	48	23576,16
Boru P-11	3153,9	130,8	150	16	160	20	63078
Boru P-12	1358,21	123,4	150	10	140	10,5	14261,21
Boru P-13	2071,9	184	150	16	225	39	80804,1
Boru P-14	3409,1	198,2	150	10	225	27	92045,7
Boru P-15	402	141	150	10	160	13,5	5427
Boru P-16	596,3	110,2	150	10	125	8,5	5068,55
Boru P-17	3271,65	130,8	150	16	160	20	65433
Boru P-18	1258,5	123,4	150	10	140	10,5	13214,25
Toplam	31448,42						914705,6

**Şekil 7.3:** GA en iyi maliyet-iterasyon grafiği

Optimizasyon sonucundaki çaplar tekrar Epanet programına girilip analiz yaptırılmıştır (Şekil 7.4).



Şekil 7.4: Cazibeli isale hattının genetik algoritmayla yeniden tasarımı

Tablo 7.11: Optimizasyon sonucu oluşan boru verileri

	Uzunluk	Çap	Pürüzlülük	Debi	Hız	Yerel Kayıp
Boru Adı	m	mm		LPS	m/s	m/km
Boru P-1	642,82	277,6	150	59,44	0,98	2,75
Boru P-2	1128,74	141	150	17,23	1,10	7,51
Boru P-3	1217,49	114,6	150	17,23	1,67	20,62
Boru P-4	680,7	102,2	150	7,56	0,92	7,83
Boru P-5	833,44	277,6	150	42,21	0,70	1,46
Boru P-6	4230	257,8	150	42,21	0,81	2,09
Boru P-7	6629,31	114,6	150	7,21	0,70	4,11
Boru P-8	67,66	204,6	150	35,00	1,06	4,55
Boru P-9	5,53	90	150	9,12	1,43	20,60
Boru P-10	491,17	204,6	150	25,88	0,79	2,60
Boru P-11	3153,9	130,8	150	8,85	0,66	3,15
Boru P-12	1358,21	123,4	150	8,85	0,74	4,19
Boru P-13	2071,9	184	150	17,03	0,64	2,01
Boru P-14	3409,1	198,2	150	17,03	0,55	1,40
Boru P-15	402	141	150	8,48	0,54	2,02
Boru P-16	596,3	110,2	150	8,55	0,90	6,81
Boru P-17	3271,65	130,8	150	8,55	0,64	2,96
Boru P-18	1258,5	123,4	150	8,55	0,71	3,93

Tablo 7.12: Optimizasyon sonucu oluşan düğüm nokta verileri

	Kot	İhtiyaç Debisi	Piyezometre kotu	Basınç
Düğüm Adı	m	LPS	m	m
Düğüm J-1	953,80	0,00	1030,89	77,09
Düğüm J-2	942,26	0,00	1022,41	80,15
Düğüm J-3	933,86	9,67	997,31	63,45
Düğüm J-4	939,71	7,56	991,98	52,27
Düğüm J-5	942,21	0,00	1029,67	87,46
Düğüm J-6	930,93	0,00	1020,84	89,91
Düğüm J-7	923,55	7,21	993,61	70,06
Düğüm J-8	930,28	0,00	1020,53	90,25
Düğüm J-9	930,24	9,12	1020,42	90,18
Düğüm J-10	932,67	0,00	1019,25	86,58
Düğüm J-11	942,57	0,00	1009,31	66,74
Düğüm J-12	964,03	8,85	1003,62	39,59
Düğüm J-13	941,89	0,00	1015,09	73,20
Düğüm J-14	956,66	0,00	1010,32	53,66
Düğüm J-15	970,26	8,48	1009,50	39,24
Düğüm J-16	942,43	0,00	1006,25	63,82
Düğüm J-17	942,26	0,00	996,58	54,32
Düğüm J-18	985,56	8,55	991,63	6,07

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında genetik algoritma ile Solmaz grup deposu iletim hattı tasarımı yapılmıştır. Grup deposuna terfili isale hattıyla su gelip cazibe ile 5 köyün su depolarına ve 2 köye ise direkt olarak su dağıtılmıştır.

Mevcut terfili isale hattı çapa göre boru maliyeti 186.201 \$'dır. Yıllık elektrik enerji maliyeti 171.887 \$'dır. Terfili isale hattı mevcut boru ve Bresse ampirik formülle maliyetleri karşılaştırılmış ve en uygun ekonomik boru çapı bulunmuştur. En uygun ekonomik çaplarla tekrar maliyet hesabı yapıldığında yıllık elektrik enerji maliyeti 171.738 \$, çapa göre boru maliyeti 177.353 \$'dır. Toplam maliyet açısından yatırım masrafları da eklendiğinde mevcut boru çaplarıyla maliyet 451.054, ekonomik çaplara göre maliyet 437.633 \$ olarak bulunmuştur. Yaklaşık 14000 \$ daha az maliyet hesaplanmıştır. Terfili hat GA ile 30 yıllık debi ve elektrik maliyeti sabit kabul edilerek optimizasyon yapılmıştır. Bresse ampirik formülündeki aynı çaplar optimizasyon sırasında bulunmuştur.

Cazibeli isale hattı mevcut maliyeti 986.047 \$'dır. Epanet araç seti yardımıyla Matlab tarafından Epanet çağırılarak optimizasyon yapılmıştır. Toplam 136 iterasyonda gerçekleşen optimizasyonda optimum çözüme 86. iterasyonda ulaşılmıştır. Genetik algoritma ile maliyet 914.706 \$ bulunmuştur. İsale hattı tasarımlarında genetik algoritma ile yapılan tasarımda %7 daha az maliyet hesaplanmıştır. Su şebeke tasarımlarında optimizasyon yöntemleri kullanılabildiği gibi isale hatlarında da kullanılabilir.

Genetik algoritmada uygun parametreleri (popülasyon sayısı, çaprazlama oranı, seçim yöntemi, mutasyon oranı vb.) seçmek önemlidir. Uygun parametreler bulunmazsa optimizasyon ceza değerlerini aşamayıp optimum sonuca yaklaşamayacak veya daha iyi optimum değer bulunamayabilecektir.

İsale hatları tasarımında su şebeke hatlarından farklı olarak; şebeke hatlarında genellikle tek tip boru (örneğin PE100) kullanılır. İsale hatlarında ise topografya gereği

değişik tipte (örneğin PE100, PE160) borular kullanılabilir. Her boru için tahliye vanaları eğer boru düğüm noktalarından daha aşağı kotta ise güvenli tarafta kalmak adına ve vantuz noktalarının düğüm noktalarından daha yukarıda olduğu yerler dikkate alınır. Bunlardan dolayı bu çalışmada optimizasyon sırasında her boruya özel basınç, maliyet, çap yuvarlama koşulu eklenmiştir.

Terfili isale hattımızda optimizasyon yaparken boru çap boyutları azalabileceği için basma yüksekliği de artacaktır dolayısıyla elektrik maliyetleri artabilecektir. Burada ekonomik boru çapı tayini önemlidir. Bir tarafta büyük çap seçiminden dolayı maliyet artışı olacaktır veya küçük çap seçiminden dolayı basma yüksekliği artacak ve pompa elektrik masrafları artacaktır. İlbank (2013) şartnamesine göre Bresse ampirik formülü ile en uygun çap bulunmaya çalışılmalıdır. Burada işletme ile yatırım maliyetinin toplamı en az olan çap ekonomik çap olacaktır.

8.2 Öneriler

Genel olarak su dağıtım sistemlerinde optimizasyon yapıldığında daha ekonomik sonuçlar elde edilebilir. Amaç fonksiyonuna işçilik maliyetleri, kazı maliyetleri, vana maliyetleri vb. eklenerek gerçeğe daha yakın sonuçlar bulunabilir. İsale hatlarında farklı cinsteki borular için de maliyet karşılaştırılması yapıp en uygun boru cinsi seçilebilir. İsale hatları için farklı tasarım senaryoları oluşturulup en uygun maliyetli senaryo ile tasarım yapılması sağlanabilir. İsale hattı için en uygun depo yeri veya terfili isale hatlarında pompa konumu optimizasyonları yapılabilir. Farklı optimizasyon yöntemleri (PSO, Armoni Araştırması vb.) ile de iletim hattı tasarımı yapıp sonuçlar karşılaştırılabilir. Genetik algoritmalar ile hibrit fonksiyonlar kullanılarak daha optimum ve daha hızlı sonuçlar bulunabilir.

9. KAYNAKLAR

Afshar, M. H. and Marino, M. A., “A convergent genetic algorithm for pipe network optimization”, *Sci. Iran*, 12 (4), 392–401, (2005).

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

Aksu, M.S., “Taflan beldesi içme suyu projesi”, Yüksek Lisans Tezi, *On dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim dalı*, Samsun, (1994).

Alperovits, E., and Shamir, U., “Design of Optimal Water Distribution Systems”, *Water Resour. Res.*, 13 (6), 885–900, (1977).

Altınbilek, D., “Su İletim Borularının Maliyetinin Doğrusal Programlama Yöntemi ile Enküçüklemesi”, *Türkiye İnşaat Mühendisliği 7. Teknik Kongresi*, 435-453, (1978).

Anonim, “Şirinköy'ün İçmesuyu Sorununa Köklü Çözüm [online]”, (02.01.2024), <https://www.denizli.bel.tr/Default.aspx?k=altyapi&id=12540>, (2012).

Anonim, “İçmesuyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname [online]”, (02.01.2024), <https://www.ilbank.gov.tr/storage/uploads/files/icmesuyu-etut-fizb-tekn-sart.pdf>, (2013).

Anonim, “Çelik çekme boru listesi [online]” (25.12.2023), <https://www.karel.com.tr/fliste2.aspx?id=102>, (2023).

Anonim, “Hdpe Boru Fiyatları – 2023 Fiyat Listesi [online]”, (02.01.2024), <https://www.detayplastik.com.tr/hdpe-boru-fiyatlari/>, (2023).

Anonim, “TCMB Faiz Oranları (%) Gecelik (O/N) [online]”, (12.05.2024), <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/tr/tcmb+tr/main+menu/temel+faal+iyetler/para+politikasi/merkez+bankasi+faiz+oranlari/faiz-oranlari>, (2024).

Anonymous, “Metric Grey PVC Pipe [online]” (26.12.2023), https://www.plasticpipeshop.co.uk/Metric-PVC-Pipe_c_582.html, (2023).

Ayvaz, M.T., Karahan, H. ve Gürarlan, G., “Su dağıtım şebekelerinin armoni araştırması optimizasyon tekniği ile optimum tasarımı”, 5. *Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu*, Hatay, (2007).

Batmaz, V., “Su Dağıtım Şebekelerinin Metasezgisel Yöntemlerle Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, Diyarbakır, (2021).

Castillo, L. and González, A., “Distribution network optimization: Finding the most economic solution by using genetic algorithms”, *Eur.J.Oper.Res.*, 108 (3), 527–537, (1998).

Chandramouli S., “A MATLAB code for linking Genetic Algorithm and EPANET for reliability based optimal design of a water distribution network” *International Conference on Emerging Trends in Water Resources and Environmental Engineering*, MVGR College of Engineering, Vizianagaram, (2017).

Chee, R., Lansey, K. and Chee E., “Estimation of Water Pipe Installation Construction Costs” *J. Pipeline Syst. Eng. Pract.*, 9 (3), (2018).

Cisty, M., “Hybrid genetic algorithm and linear programming method for least cost design of water distribution systems”, *Water Resour. Manag.*, 24 (1), 1–24, (2010).

Costa, L., H., M., Ramos, H.M., and Castro M.A.H., “Hybrid genetic algorithm in the optimization of energy costs in water supply networks”, *Water Sci. Technol.*, 10 (3), 315–326, (2010).

Cumalı, A., “Cazibe ile Gelmekte Olan İçmesuyu İsale Hatlarının İşletme Tazyiklerine Göre İktisadi Çözüm Tarzı”, *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, No 98, 41-47, (1963).

Dandy, G. C., Simpson, A. R. and Murphy, L. J., “An improved genetic algorithm for pipe network optimization”, *Water Resour. Res.*, 32 (2), 449–458, (1996).

Demir R., “Eruh Su Dağıtım Şebekesinin Metasezgisel Yöntemlerle Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, Diyarbakır, (2022).

Dong, X. L., Liu, S. Q., Tao, T., Li, S. P. and Xin, K. L., “A comparative study of differential evolution and genetic algorithms for optimizing the design of water distribution systems”, *J. Zhejiang Univ. Sci.*, 13(9), 674–686, (2012).

Driscoll, F.G., *Kuyu Hidroliği*, (Çev:A. F. Öztan), DSİ yayıncılık, 1-3, (2010)

Eliades, D. G., Kyriakou, M., Vrachimis, S. G. and Polycarpou, M. M. “Epanet-Matlab Toolkit : An open-source software for interfacing epanet with matlab”, *Computing and Control for the Water Industry Conference (CCWI)*, 1–8, (2016).

Erdemgil, M.N., *Su Getirme ve Kanalizasyon*, İstanbul: Birsen Kitabevi Yayınları, (1995).

Filion Y.R., “Design of a water transmission pipeline with an analytical probabilistic model”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Advance online publication, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2009\)135:1\(34\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2009)135:1(34)), (2009).

Goldberg, D.E. and Kuo C.H., “Genetic algorithms in Pipeline Optimization”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 1, (2), 128–141, (1987).

Guc, G. Optimization of water distribution networks using Genetic Algorithm, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, Ankara, (2006).

Gülbahar, N. “Planning and Design Principles of Transmission Line in Water Supply Project”, *Int. J. Eng. Tech. Mgmt. Res.*, 2 (1), (2016).

Günay, A., “Su Temini Sistemlerinin Tasarımı[online]”,(12.05.2024), https://cevre.balikesir.edu.tr/wp-content/uploads/2021/01/06_07_08_Prof-Dr-Ahmet-GÜNAY-Su-Tem-Sis-Tas-İSALE-1.pdf,(2008).

Hama, B. H., “Optimal design of water distribution network system by genetic algorithm in EPANET-MATLAB toolkit”, Master’s Thesis, *Eastern Mediterranean University Institute of Graduate Studies and Research*, Department of Civil Engineering, North Cyprus, Gazimağusa, (2018).

Intratec Solutions, “Electricity Price | Turkey — Q1 2023 [online]”, (20.12.2023), <https://medium.com/intratec-products-blog/electricity-price-turkey-q1-2023-e641ecad5886>,(2023).

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

Karahan, H. Ayvaz, M.T. ve Ceylan, H., “Su Dağıtım Şebekelerinin Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı”, *II. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, İzmir, 577-587, (2005).

Karpuzcu M., *Su Temini ve Çevre Sağlığı*, İstanbul: Kubbealtı Neşriyat, (2005).

Kessler, A. and Shamir, U., “Analysis of the Linear Programming Gradient Method for Optimal Design of Water Supply Networks”, *Water Resour. Res.*, 25(7), 1469–1480, (1989).

Koç, A.C., Karahan, H. ve Ceylan, H., “Su Dağıtım Şebekelerinin Genetik Algoritma İle Tasarımı”, *I. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, İzmir, (2003).

Majidi, A.G., Korkmaz, S., ve Marrouchi, Y., “Bilgisayar Programı ile İçmesuyu Dağıtım Şebekesi Tasarımı: Bursa, Görükle Mahallesi Uygulaması”, *Su Kaynakları*, 3, (1) 24–33, (2018).

Matlab, S., “Matlab”, *Natick: The MathWorks*, 2, (2012).

Özdağlar, D., Benzeden E., Kahraman M.A., “Kompleks Su Dağıtım Şebekelerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu”, *İMO Teknik Dergisi*, 3851–3867, (2006).

Öztürk M. “,2021-22 Bahar Yarıyılı Kentsel Altyapı Sistemlerinin Hidroliği Ders Notları[online]”, (02.01.2024), <https://avesis.yildiz.edu.tr/meozturk/dokumanlar>, (2022).

Prasad, T. D. and Park, N.-S., “Multiobjective genetic algorithms for design of water distribution networks”, *J. Water Resour. Plan. Manag.*, 130(1), 73–82., (2004).

Quindry, G.E., Brill, E.D. and Liebman, J.C., “Optimization of Looped Water Distribution Systems, *Int. J. Environ. Eng.*, 107 (4), 665–679, (1981).

Reca, J. and Martínez, J., “ Genetic algorithms for the design of looped irrigation water distribution networks”, *Water Resources Research*, 42(5), 1–9, (2006).

Rossman, L. A., “ Epanet 2 users manual”, *United States Environmental Protection Agency (EPA)*, (2000).

Savic, D. A. and Walters, G. A., “Genetic algorithms for least-cost design of water”, *J. Water Resour. Plan. Manag.*, 123(2), 67–77, (1997^a).

Savic, D. A. and Walters, G. A., “Genetic algorithms for least-cost design of water distribution networks”, *J. Water Resour. Plan. Manag.*, 123(2), 67–77, (1997^b).

Simpson, A.R., Dandy, G.C., and Murphy, L.J. “Genetic algorithms compared to other techniques for pipe optimization”, *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 120(4), 423–443, (1994).

Soycan, A., “Teknik Altyapı Ölçmeleri [online]”, (02.01.2024), <https://slideplayer.biz.tr/slide/14065308/>, (2019).

Suribabu, C.R., “Heuristic-Based Pipe Dimensioning Model for Water Distribution Networks”, *J. Pipeline Syst. Eng. Pract.*, 3(4), 115-124, (2012).

Şen, Z., *Genetik Algoritmalar ve En İyileme Yöntemleri*, İstanbul: Su Vakfı Yayınları, (2004).

Şengörür, B., “Bölüm 3-İsale Hattı [online]”, (12.05.2024),
http://www.sutemini.sakarya.edu.tr/Su_Temini/H05/ICERIK/s03.htm, (2007).

Toplamacı M.M., “İçme suyu iletim hatlarında kullanılan boru tiplerinin ekonomik analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, Şanlıurfa, (2017).

Varma, K.V.K., Narasimhan, S. and Bhallamudi, S.M., “Optimal Design of Water Distribution Systems Using an NLP Method”, *J. Environ. Eng. Landsc.*, 123(4), 381-388, (1997).

Yılmaz, V., “Su dağıtım şebekelerinin metasezgisel yöntemlerle optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, Konya, (2015).

Zheng, F., Simpson, A. R. and Zecchin, A., “A performance comparison of differential evolution and genetic algorithm variants applied to water distribution system optimization”, *World Environmental and Water Resources Congress*, Albuquerque New Mexico, 2954–2963, (2012).