

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI
HİDROLİK PROGRAMI**

**AFGANİSTAN HERAT ŞEHİRİ ÖZELİNDE
KANALİZASYON SİSTEMİ TASARIMI VE
OPTİMİZASYONU**

Enes SARIKAŞ

**Danışman
Doç. Dr. Mustafa Erkan TURAN
Dr. Öğr. Üyesi Tülin ÇETİN**

MANİSA-2024

**Enes
SARIKAŞ**

**TEZ ADI AFGANİSTAN HERAT ŞEHİRİ ÖZELİNDE
KANALİZASYON SİSTEMİ TASARIMI VE OPTİMİZASYONU**

2024

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, tezin yazımında akademik ve etik kurallara aykırı herhangi bir yapay zekâ ve program kullanmadığımı beyan ederim.

Enes SARIKAŞ



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Enes SARIKAŞ
Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Erkan TURAN

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tülin ÇETİN

Kentsel altyapının temel bileşenlerinden biri olan kanalizasyon sistemleri, yaşam alanlarından atık suyun güvenli bir şekilde arıtma tesislerine taşınmasını sağlar. Ancak bu sistemler, büyük ölçekli projeler olmaları nedeniyle yüksek yatırım ve işletme maliyetleri gerektirir. Bu nedenle, kanalizasyon sistemlerinin tasarımında maliyetlerin düşürülmesi ve verimliliğin artırılması amacıyla optimizasyon yöntemlerinin kullanımı giderek daha önemli hale gelmektedir.

Bu çalışmada, kanalizasyon şebekesi bulunmayan Afganistan'ın Herat şehrine bir kanalizasyon sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, şehir nüfusunun 35 yıllık projeksiyonu yapılmış, tasarım debileri hesaplanmış ve topoğrafik özelliklere uygun bir şebeke güzergahı belirlenmiştir. Sistem, iki deşarj noktası, 27 hat ve 28 muayene bacasından oluşan, toplamda 23 kilometrelik bir ağ şeklinde tasarlanmıştır.

Tasarlanan kanalizasyon sisteminin hidrolik optimizasyonu, bu konuda literatürde ilk defa Çoklu Evren Algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Algoritmanın popülasyon büyüklüğünün sistem performansı üzerindeki etkisi detaylı şekilde incelenmiştir. En iyi sonuçların, popülasyon büyüklüğünün 50 olduğu durumda elde edildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kanalizasyon Sistemi Optimizasyonu, Kısıtlı Optimizasyon, Meta Sezgisel Algoritmalar, Çoklu Evren Algoritması, Herat.

2024, XIV + 38 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

**Enes SARIKAŞ
Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Education
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Mustafa Erkan TURAN

Co-Supervisor: Assist. Prof. Tülin ÇETİN

Sewer systems, as one of the fundamental components of urban infrastructure, ensure the safe transport of wastewater from residential areas to treatment facilities. However, due to their large-scale nature, these systems require significant investment and operational costs. Therefore, the use of optimization methods in the design of sewer systems has become increasingly important to reduce costs and enhance efficiency.

In this study, a sewer system was designed for the city of Herat, Afghanistan, which currently lacks such infrastructure. Within the scope of this project, a 35-year population projection for the city was conducted, design flows were calculated, and a sewer network layout was determined in accordance with the topographic features of the area. The system was designed as a 23-kilometer-long network consisting of two discharge points, 27 lines, and 28 manholes.

The hydraulic optimization of the designed sewer system was carried out using the Multi-Verse Optimizer for the first time in literature. The impact of the algorithm's population size on system performance was thoroughly examined. It was determined that the best results were achieved when the population size was set to 50.

Keywords: Sewer System Optimization, Constraint Optimization, Meta Heuristic Algorithms , Multi-Verse Optimizer, Herat.

2024, XIV + 38 pages

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında mevcutta herhangi bir kanalizasyon sistemi bulunmayan Afganistan'ın Herat şehrine 6 Ocak 2017 tarihli Atıksu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik'e göre kanalizasyon sistemi tasarlanmış olup tasarım aşamaları; nüfus projeksiyonu, alan, nüfus dağılımı, kanal hesapları ve hidrolik hesaplar ele alındıktan sonra literatürde kanalizasyon sistemi tasarımı konusunda daha önceden kullanılmayan çoklu evren optimizasyon algoritması metodu ile optimizasyon problemi çözülmüştür.

Tez çalışmam süresi boyunca her zaman yanımda olup desteklerini esirgemeyen, engin bilgilerini benimle paylaşan ve göstermiş oldukları ilgiden dolayı danışman hocalarım Doç. Dr. Mustafa Erkan TURAN'a ve Dr. Öğr. Üyesi Tülin ÇETİN'e, eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Enes SARIKAŞ
Manisa, 2024

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a_{maks}	Tüm borular için müsaade edilebilir maksimum doluluk oranı
a_{min}	Tüm borular için müsaade edilebilir minimum doluluk oranı
atan	Ters tanjant fonksiyonu
C	Maliyet
C_{boru}	Boru maliyeti
$C_{kazı}$	Kazı maliyeti
C_{baca}	Boruların ve muayene bacalarının yerleştirilmesi için gerekli kazı maliyeti
C_{dolgu}	Borular ve bacalar yerleştirilirken gerekli dolgu maliyeti
D	Çap
d_k	k numaralı borunun çapı
n	Pürüzlülük katsayısı
Ek_u	k numaralı borunun başlangıç noktası üzerindeki dolgu kalınlığı
Ek_d	k numaralı borunun bitiş noktası üzerindeki dolgu kalınlığını
E_{min}	Tüm borular için kabul edilebilir minimum dolgu kalınlıkları
E_{max}	Tüm borular için kabul edilebilir maksimum dolgu kalınlıkları
F	Atıksu toplama alanı (ha)
F_E	Atıksu toplama alanı (ha)
$F(\bullet)$	Boru çap, uzunluk ve kazı maliyetine göre hesaplanan toplam sistem maliyeti
$f(x)$	Maliyet fonksiyonu
g	Yerçekimi ivmesi
$g_{k,1}$	Borular içerisindeki akım debisinin proje debisine eşit veya büyük olması

$g_{k,2}, g_{k,3}$:	İçerisindeki akım hızının minimum ve maksimum hız şartlarını sağlaması
$g_{k,4}$	Borular içerisinde doluluk oranı şartının sağlanması
$g_{k,5}$	Borular için minimum eğim koşulunun sağlanması
$g_{k,6}, g_{k,8}$	Boru başlangıç ve bitiş noktaları üstündeki dolgu kalınlığının sağlanması
$g_{k,7}, g_{k,9}$	Başlangıç ve bitiş dolgu kalınlığının minimum değer üzerinde olması şartı
$g_i(x)$	Eşitsizlik kısıtları
h	Yükseklik
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen boru
$h_j(x)$	Eşitlik kısıtları
IG	Geometrik ortalama
k_a	Nüfus artış hızı
k_g	Ardışık nüfus sayımları arasındaki geometrik nüfus artış hızı
k_{ii}	Nüfus artış hızını,
$\sum k_{ii}$	Ortalama çoğalma katsayısı
$\overline{k_a}$	Nüfus sayımlarının aritmetik ortalaması
$\overline{k_g}$	Ardışık nüfus sayımları arasındaki geometrik nüfus artış hızı aritmetik ortalaması
$\overline{k_i}$	İller Bankası yöntemi nüfus artış hızı aritmetik ortalamasını
k_{ii}	İller Bankası yöntemi nüfus artış hızı
l	Mevcut iterasyon
L	Maksimum iterasyon sayısı
L_k	k numaralı borunun uzunluğu
lb_j	i 'inci evrendeki j . inci değişkenin alt sınırı

M	Eşitsizlik kısıt sayısı
min	Minimum
max	Maksimum
MVO	Çoklu Evren Optimizasyonu
N_s	Ardışık nüfus sayım yıllarının ikincisindeki nüfus
N_i	Ardışık nüfus sayım yıllarının birincisindeki nüfus
N_G	Gelecek nüfus (kişi)
N_M	Mevcut nüfus (kişi)
N_{i+1}	Ardışık nüfus sayım yıllarının ikincisindeki nüfus
N_i	Ardışık nüfus sayım yıllarının birincisindeki nüfus
$NI(U_i)$	i . Evrenin normalize edilmiş enflasyon değeri
n	Evren sayısı
n	Son nüfus sayımından projenin başlamasına kadar geçen süre
OGTevs	Evsel kullanım için ortalama günlük tüketimi
p	Sömürü doğruluğu
P	Mevcut nüfus
P_g	Gelecek nüfus
Q_d	Dolu debi
$Q_{end\ ort}$	Ortalama endüstriyel debi
$Q_{end\ pik}$	Endüstriyel pik debi
$Q_{evsel\ pik}$	Evsel pik debi
$Q_{evsel\ ort}$	Ortalama evsel debi
$Q_{sızma}$	Sızma debisi
$Q_{tasarım}$	Toplam atıksu debisi
q	Kişi başına ortalama günlük tüketimi
Q_{k^*}	k numaralı boru için kullanılan tasarım debisi

q_k	k numaralı boruda normal derinlik oluşturacak akım debisi
r_1	[0,1] aralığında rastgele bir sayı
r_2, r_3, r_4	[0, 1] aralığında rastgele sayılar
R	Hidrolik yarıçap
S	Eğim
S_k	k numaralı borunun eğimi
S_{min}	Tüm borular için tanımlanan minimum taban eğimini
S_{max}	Tüm borular için tanımlanan maksimum taban eğimini
t_s	Ardışık nüfus sayım yıllarının ikincisi
t_i	Ardışık nüfus sayım yıllarının birincisi
t_G	Gelecekteki nüfusun tahmin edildiği yıl
T	Projenin başladığı yıl
TDR	Seyahat mesafesi oranı
t_{i+1}	Ardışık nüfus sayım yıllarının ikincisi
U	Çoklu evren optimizasyonu matematiksel modeli
U_i	i . Evren
ub_j	i 'inci evrendeki j 'inci değişkenin üst sınırı
V_d	Dolu hız
V	Hız
V_k	k numaralı borudaki akış hızı
V_{min}	k numaralı boru için tanımlanmış minimum hızı
V_{max}	k numaralı boru için tanımlanmış maksimum hızı
WEP	Solucan deliği varlığı olasılığı
X_j	En iyi evrenin j 'inci değişkeni
X_i^j	i Evreninin j parametresi
X_k^j	k . evrenin j . parametresi

X_i^j	Şimdiye kadar oluşmuş en iyi evrenin j . parametresi
Z	Endüstriyel birim su tüketimi (L/sn.ha)
Z_k	k numaralı borunun yerleştirilmesi için gerekli ortalama kazı derinliği
Φ	Çap
β	Babbit katsayısı
π	Pi sayısı



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1. Kanalizasyon Profili	6
Şekil 2. Herat Şehrinin Konumu (Herat Şehri Haritası, 2020)	15
Şekil 3. Herat Şehri Ana Toplama Hatları	17
Şekil 4. Herat Şehrinde Dikkate Alınan Atık Su Toplama Bölgeleri	18
Şekil 5. Herat Şehri Nüfus Projeksiyonu	20
Şekil 6. Kazı tip kesiti (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Bakanlığı, 2011).....	23
Şekil 7. Popülasyon Büyüklüğü 50 İçin Yakınsama Grafiği	31
Şekil 8. Popülasyon Büyüklüğü 100 İçin Yakınsama Grafiği	31
Şekil 9. Popülasyon Büyüklüğü 200 İçin Yakınsama Grafiği	32
Şekil 10. Popülasyon Büyüklüğüne Göre Maliyet Değerlerinin Kutu Grafiği.....	32

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1. Ana Toplama Hatları.....	17
Tablo 2. Bacaların Zemin Kotları.....	18
Tablo 3. Bölgeler, Alanları ve Atık Suyu Verdikleri Bacalar	19
Tablo 4. Herat Şehri Merkez Nüfus Sayımları (United Nation World Urbanization Prospects; The 2018 Revision)	19
Tablo 5. Nüfusa Göre Debi Hesabı	21
Tablo 6. Kanal Hatlarının Tasarım Debileri.....	22
Tablo 7. Kullanılan Boru Çapları	23
Tablo 8. Minimum ve Maksimum Boru Eğimleri.....	24
Tablo 9. Kullanılan Pozlar ve Birim Fiyatlar	24
Tablo 10. Popülasyon Büyüklüğü 50	28
Tablo 11. Popülasyon Büyüklüğü 100	29
Tablo 12. Popülasyon Büyüklüğü 200	30
Tablo 13. En İyi Çözüm Tasarımı (Popülasyon Büyüklüğü 50).....	33

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiii
İÇİNDEKİLER	xiv
1. GİRİŞ	1
2. YÖNTEM.....	5
2.1. Kanalizasyon Sistemi Optimizasyonu	5
2.2. Kanalizasyon Sistemi Tasarımı.....	7
2.2.1. Nüfus Projeksiyonu	7
2.2.2. Tasarım Debisi	9
2.2.3. Hidrolik Tasarım	9
2.2.4. Çoklu Evren Algoritması	10
2.3. Kısıt Yönetimi.....	13
3. UYGULAMA.....	15
3.1. Herat Şehri	15
3.2. Kanalizasyon Sistemi Tasarımı.....	16
3.2.1. Herat Şehri Nüfus Projeksiyonu.....	19
3.2.2. Tasarım Debileri.....	20
3.2.3. Herat Şehri Kanalizasyon Sistemi Optimizasyonu	22
4. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	28

1. GİRİŞ

Kanalizasyon sistemi, kentsel altyapının en önemli bileşenlerinden birisidir. Atık suyun canlılara ve çevreye zarar vermeden yaşam ve çalışma alanlarından toplanarak arıtma tesislerine iletilmesi amacıyla inşa edilmektedirler.

Kanalizasyon sistemleri borular, muayene bacaları, pompalar vb. bileşenlerden meydana gelmektedirler. Kanalizasyon sistemleri, büyük ölçekli projeler olup çok fazla sayıda nüfusa hizmet verdikleri için yatırım ve işletme maliyeleri de yüksek olmaktadır. Kanalizasyon sistemi kendisinin oluşturan bileşenlerin maliyeti ve kazı maliyetinden meydana gelmektedir. Maliyeti oluşturan bileşenlerin maliyetlerinde sağlanabilecek küçük azalmaların etkisi büyük olmaktadır.

Kanalizasyon sistemleri genellikle projeyi yapan mühendisin deneyimine bağlı olarak öznel bir yaklaşımla tasarlanmaktadır. Maliyeti düşürmek için deneme yanılma yöntemi kullanılmaktadır. Günümüzde yapılan çalışmalar ile daha düşük maliyetli kanalizasyon sistemlerinin elde edilebilmesi amacıyla optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır.

Kanalizasyon sistemlerinin tasarımındaki optimizasyon probleminin çözümü için literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Çözüm aşamasında deterministik ve sezgisel optimizasyon teknikleriyle beraber birçok çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Kanalizasyon sisteminde kullanılan optimizasyon teknikleriyle beraber tez çalışması sırasında daha önce kanalizasyon sistemi tasarımı optimizasyonunda kullanılmamış olan çoklu evren optimizasyonu ile ilgili literatür taraması bu bölüm kapsamında verilmiştir.

Kanalizasyon sistemi tasarımı, hat şema yapısının seçilmesi ve seçilen hatta mevcut olan boruların hidrolik optimizasyon probleminin yapılması olmak üzere iki bölüm altında uygulanır (Çetin, 2014).

Kanalizasyon sistemi tasarımının optimum çözümü konusunda literatürde ilk olarak, Robinson ve Labaide (1981) dinamik optimizasyon tekniğiyle bir çözüm geliştirmişlerdir.

Dinamik optimizasyon tekniğiyle aynı şekilde cazibeli veya pompalı sistemlerde minimum maliyetli tasarım için Kulkarni ve Khanna (1985) tarafından bir

yaklaşım geliştirilmiştir. Yapılan çalışma, tasarım aşamasında kullanılan unsurlar olan boru çapı ve kazı derinliklerinin tasarım maliyetini doğrudan etkileyen faktörler olduğunu göstermektedir.

Dinamik optimizasyon tekniğinden bağımsız olarak Miles ve Heaney (1988) kanalizasyon sistemi tasarımının minimum maliyetli tasarım konusunda elektronik tablolama programları ile çözülebilecek bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu yöntem ile hidrolik tasarım sonuçları tablo halinde sunulmaktadır. İlave olarak hız, boru üst derinliği ve tasarım debisi gibi kısıtlarında kontrol edildiği sunulmuştur.

Swamee ve Sharma (2013), doğrusal programlama ile kanalizasyon sistemlerinin optimizasyonu konusunda çözüm metodu geliştirmişlerdir. Bu geliştirilen doğrusal yöntemle optimum çap ve kazı derinlikleri belirlenebilmektedir.

Cazibeli iletimle tasarlanmış kanalizasyon sistemlerinin optimizasyon problemini çözebilmek için Liang ve diğ. (2004) sezgisel genetik algoritma ve tabu arama optimizasyon teknikleri ile bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu geliştirilen yöntemlere paralel şekilde Afshar (2006), Afshar (2012), Çetin (2014) kanalizasyon ve yağmur suyu tasarımı optimizasyon problemi çözümü için genetik algoritma yöntemi ile optimum sonuca erişilebilecek yaklaşım üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmalarda optimizasyon aşamasında kısıtlar konusunda ceza fonksiyonu dikkate alınmıştır.

Weng ve Liaw (2006), tam sayılı doğrusal olmayan programlama optimizasyonu tekniğini kullanarak çözüm yaklaşımında bulunmuşlardır. Bu çözüm yaklaşımında, boru çapları karar değişkeni olarak belirlenmiş ve çaplar piyasaya uygun seçilmiştir. Bu yöntemle de boru çapları optimizasyonuna bağlı olarak tüm tasarımın maliyeti optimize edilmeye çalışılmıştır.

Pan ve Kao (2009), optimizasyon probleminin çözümü için genetik algoritma ve kuadratik programlama optimizasyon tekniklerinin bir arada kullanıldığı bir çözüm metodu geliştirmişlerdir. Bu geliştirilen yöntemde, sistem maliyetinin optimizasyonu için karar değişkeni olarak boru çapları ile pompa istasyonlarının yerleri seçilerek optimizasyon problemi çözülmüştür.

Yeh ve diğ. (2011) kanalizasyon sisteminin optimum maliyette çözümü problemini tabu arama ve tavlama benzetimi teknikleri kullanarak çözüme

ulaşmışlardır. Bu yapılan iki yöntemle çalışmalarının sonucunda, tavlama benzetimi yönteminin tabu aramaya göre daha sağlıklı sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Kanalizasyon sistemi hidrolik tasarımının optimizasyonu için Swamee vd. (2013) yapmış oldukları çalışmalarda lineer programlama yöntemini kullanmıştır. Buradaki çözüm yaklaşımında amaç fonksiyonunun lineer hale getirilmemesi yeni bir yaklaşım biçimidir.

Afshar ve diğ. (2011) kanalizasyon sistemi tasarımının optimum çözümü için hücresele otomat yaklaşımını kullanarak boru çapları ve kazı derinliklerinin belirlenmesi yaklaşımında bulunmuşlardır. Bu yaklaşımda sistemde düğüm noktasını temsil eden bacalar bu otomatın hücreleri olarak kabul edilmiştir. Buradaki amaç hücreler arasındaki komşuluk ilişkisine bağlı olarak kendini güncelleyip problemin çözümünü daha iyi hale getirmektir. Bu yaklaşıma benzer şekilde Afshar ve Rohani (2012) optimizasyon probleminin çözümünde hücresele otomat tabanlı hibrit bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemde karar değişkeni olarak çap ve boru üst değerleri seçilmiştir. Afshar ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada ise, kanalizasyon sistemi tasarımının optimum çözümünde hücresele otomat yaklaşımının performansını uyarlanabilir iyileştirme yöntemi ile arttırmışlardır (Tan, 2020)

Kanalizasyon sistemi optimizasyon problemi çözümü için Afshar (2008) ve Navin ve Mathur (2016) yaptıkları çalışmalarda, sezgisel parçacık sürü optimizasyonu tekniği kullanılarak çözüme ulaşmışlardır. Liu ve diğ. (2014) optimum tasarım için sezgisel optimizasyon yöntemlerinden biri olan diferansiyel evrim algoritması yaklaşımında bulunmuşlardır. Çalışmalarında kanalizasyon sistemi tasarımını hız, eğim, doluluk oranı gibi hidrolik kısıtları sağlayacak şekilde belirlemişlerdir.

Bu tez çalışması kapsamında mevcut kanalizasyon sistemi bulunmayan Afganistan'ın Herat şehrine kanalizasyon sistemi tasarlanması ve tasarlanan sistemin optimizasyonunun yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla öncelikle Herat Şehri nüfus projeksiyonu yapılmış ve tasarım debileri elde edilmiştir. Daha sonra şehrin topoğrafyasına uygun olacak şekilde bir şebeke güzergahı belirlenmiştir. Şebekenin hidrolik optimizasyonu için daha önce kanalizasyon sistemi optimizasyonu için kullanılmamış olan çoklu evren algoritması kullanılmıştır. Optimizasyon için gerekli çözümler MATLAB yazılımı ile elde edilmiştir.

Bu tez çalışması giriş, yöntem, uygulama ve sonuç ve öneriler bölümleri olmak üzere dört bölümden meydana gelmektedir. Birinci bölüm olan giriş bölümünde tez konusunda genel bilgiler, tezin amaç ve kapsamı ile literatürde bilgisi verilmiştir. İkinci bölüm yöntem başlığında kanalizasyon sistemi optimizasyonu, kanalizasyon sistemi tasarımı, çoklu evren algoritması ve kısıt yönetimi açıklanmıştır. Üçüncü bölüm uygulama başlığında Herat Şehri özelinde yapılan uygulama anlatılmıştır. Son bölüm sonuçlar ve öneriler başlığında elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.



2. YÖNTEM

2.1. Kanalizasyon Sistemi Optimizasyonu

Atık suları toplamak için oluşturulan kanalizasyon sistemleri, boru, pompa istasyonları, terfi hatları, menholler ve diğer tesislerden oluşur. Büyük alanlarda ve büyük miktarda nüfusa hizmet ettikleri için kanalizasyon sistemlerinin şebeke inşaat ve işletme maliyetleri de yüksek olmaktadır (Moeini ve Afshar, 2016). Bu sebeple maliyette yapılacak küçük iyileştirmelerin etkisi büyük olmaktadır. Maliyeti azaltmanın en etkin yollarından birisi sistemin optimizasyonunu yapmaktır.

Kanalizasyon sistemlerinin optimizasyonunda farklı stratejiler izlenmektedir. Bu stratejiler üç başlık altında ele alınabilir. Birinci strateji, sistem güzergahı optimizasyonudur. Bu stratejide optimum maliyeti elde edebilmek için muayene bacalarının konumları ve boruların hangi sokaktan geçeceği belirlenir. İkinci stratejide, güzergahı belli bir sistemin hidrolik olarak optimizasyonu yapılır. Bu stratejide, optimum maliyeti elde edebilmek için boru çapları ve eğimleri yani kazı derinlikleri belirlenir. Son stratejide ise, güzergâh optimizasyonu ve hidrolik optimizasyon aynı anda yapılır.

Kanalizasyon optimizasyonu, bir optimizasyon modeli olarak modellendiğinde kısıtlı bir optimizasyon modeli elde edilir. Optimizasyon modelleri, karar değişkenlerini içeren minimize veya maksimize edilecek bir amaç fonksiyonundan ve varsa kısıtlardan oluşur. En uygun maliyetli pompa istasyonu içermeyen bir kanalizasyon sistemi elde edebilmek amacıyla problemin optimizasyon modeli Denklem 1 ile ifade edilebilir.

Amaç fonksiyonu:

$$\min C = \min\{\sum_{k=1}^N F(d_k, L_k, Z_k)\} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$g_{k,1}: q_k \geq Q_k^* \quad (2)$$

$$g_{k,2}: V_k \leq V_{maks} \quad (3)$$

$$g_{k,3}: V_k \geq V_{min} \quad (4)$$

$$g_{k,4}: \frac{y_k}{dk} \leq a_{maks} \quad (5)$$

$$g_{k,5}: \frac{y_k}{d_k} \geq a_{min} \quad (6)$$

$$g_{k,6}: S_k \geq S_{min} \quad (7)$$

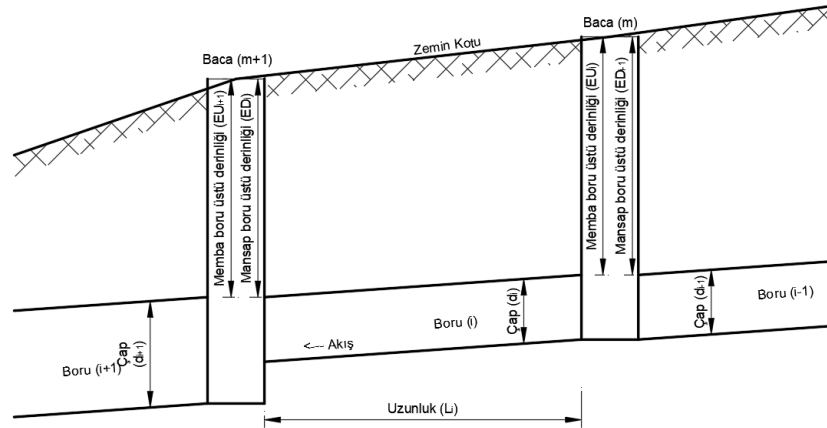
$$g_{k,7}: E_k^u \leq E_{maks} \quad (8)$$

$$g_{k,8}: E_k^u \geq E_{min} \quad (9)$$

$$g_{k,9}: E_k^d \leq E_{maks} \quad (10)$$

$$g_{k,10}: E_k^d \geq E_{min} \quad (11)$$

Verilen formülde C , amaç fonksiyonunu; N , sistemdeki boru sayısını; k dikkate alınan boruyu, d_k , k numaralı borunun çapını; L_k , k numaralı borunun uzunluğunu; Z_k , k numaralı borunun yerleştirilmesi için gerekli kazı derinliğini; $F(\bullet)$, boru çap, uzunluk ve kazı miktarlarını dikkate alarak hesaplanan toplam sistem maliyetini; q_k , k numaralı boruda normal derinlik oluşturacak akım debisini; Q_k^* , k numaralı boru için kullanılan tasarım debisini; V_k , k numaralı borudaki akış hızını; V_{maks} , k numaralı boru için tanımlanmış maksimum hızı; V_{min} , k numaralı boru için tanımlanmış minimum hızı; y_k , k numaralı borudaki su yüksekliğini; a_{maks} , tüm borular için müsaade edilebilir maksimum doluluk oranını; a_{min} , tüm borular için müsaade edilebilir minimum doluluk oranını; S_k , k numaralı borunun eğimini; S_{min} , tüm borular için tanımlanan minimum taban eğimini; E_k^u , k numaralı borunun başlangıç noktasındaki dolgu kalınlığını; E_k^d , k numaralı borunun bitiş noktasındaki dolgu kalınlığını; E_{min} ve E_{maks} tüm borular için kabul edilebilir minimum ve maksimum dolgu kalınlıklarını göstermektedir. Belirtilen bu ifadeler Şekil 1’de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Kanalizasyon Profili

Bu kısıtlardan $g_{k,1}$, borular içerisindeki akım debisinin proje debisine eşit veya büyük olması; $g_{k,2}$ ve $g_{k,3}$, borular içerisindeki akım hızının yönetmeliklerde belirtilen minimum ve maksimum hız şartlarını sağlaması; $g_{k,4}$, doluluk oranı şartının sağlanması; $g_{k,5}$, borular için minimum eğim koşulunun sağlanması; $g_{k,6}$ ve $g_{k,8}$ boru başlangıç ve bitiş noktalarındaki dolgu kalınlığının izin verilen maksimum değer altında kalmasını; $g_{k,7}$ ve $g_{k,9}$ ise boru başlangıç ve bitiş noktalarındaki dolgu kalınlığının izin verilen minimum değer üzerinde olmasını sağlamak amacıyla tanımlanmıştır.

Elde edilen optimizasyon modeli, uygun bir optimizasyon yöntemi ile çözülerek maliyet fonksiyonunun minimum değerine karşılık gelen karar değişkenlerinin değerleri elde edilir.

2.2.Kanalizasyon Sistemi Tasarımı

Kanalizasyon sistemi tasarımı, nüfus ve tasarım debilerinin tahmini, sistem yerleşiminin yapılması yani muayene bacalarının konumlarının belirlenmesi, hatların hangi sokaklardan geçeceğine karar verilmesi, akış yönlerinin belirlenmesi, sistemin hidrolik hesaplarının yapılması yani boru çaplarının ve eğimlerinin hesaplanması aşamalarını kapsar.

2.2.1. Nüfus Projeksiyonu

Kanalizasyon sistemlerinin ömürleri boyunca istenilen koşullarda hizmet edebilmeleri için nüfus projeksiyonunun doğru bir şekilde yapılması önemli rol oynamaktadır. Bu değer genellikle 35 yıl olarak belirlenmektedir. Bu amaçla farklı yöntemler geliştirilmiş olup, aşağıda yöntemler hakkında bilgiler verilecektir.

Aritmetik Artış Yöntemi: Bu yöntemde toplum nüfusun birim zamandaki artışı geçen zaman içerisinde sabit kaldığı kabul edilerek gelecek nüfus Denklem 12 ile tahmin edilir.

$$N_G = N_{M+} \overline{k_a}(t_G - t) \quad (12)$$

$$\overline{k_a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_{ai} \quad (13)$$

$$k_{ai} = \frac{N_S - N_i}{t_S - t_i} \quad (14)$$

Geometrik Artış Yöntemi: Bu yöntemde mevcut yerleşim yerindeki nüfusun birim zamandaki artışının oradaki nüfusla orantılı olduğu kabul edilerek gelecek nüfus Denklem 15 ile tahmin edilir.

$$N_G = N_M \times e^{\overline{k}_g(t_G-t)} \quad (15)$$

$$\overline{k}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_{gi} \quad (16)$$

$$k_{gi} = \frac{\ln(N_s) - \ln(N_i)}{t_s - t_i} \quad (17)$$

İller Bankası Yöntemi: Geometrik artış yönteminin sınırlandırmalar uygulanmış bir versiyonudur.

$$N_G = N_M \times \left[1 + \frac{\overline{k}_i}{100} \right]^{(t_G-t)} \quad (18)$$

$$\overline{k}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n k_{ii} \quad (19)$$

$$k_{ii} = \left[\left(\frac{N_{i+1}}{N_i} \right)^{\frac{1}{t_{i+1}-t_i}} - 1 \right] \times 100 \quad (20)$$

$$\overline{k}_i = \begin{cases} \overline{k}_i = 1, & \overline{k}_i < 1 \\ \overline{k}_i = \overline{k}_j, & 1 \leq \overline{k}_i \leq 3 \\ \overline{k}_i = 3, & \overline{k}_i > 3 \end{cases} \quad (21)$$

Bu denklemlerde; N_G , gelecek nüfusu (kişi); N_M , mevcut nüfusu (kişi); \overline{k}_a , aritmetik nüfus artış hızı aritmetik ortalamasını; t_G , gelecekteki nüfusun tahmin edildiği yılı; t , projenin başladığı yılı; n , son nüfus sayımından projenin başlatılmasına kadar geçen süreyi; k_{ai} , dikkate alınan yıldaki aritmetik nüfus sayımı artış hızını; N_s , ardışık nüfus sayım yıllarının ikincisindeki nüfusu (kişi); N_i , ardışık nüfus sayım yıllarının birincisindeki nüfusu (kişi); t_s , ardışık nüfus sayım yıllarının ikincisini; t_i , ardışık nüfus sayım yıllarının birincisini; k_g , ardışık nüfus sayımları arasındaki geometrik nüfus artış hızını; \overline{k}_g , ardışık nüfus sayımları arasındaki geometrik nüfus artış hızı aritmetik ortalamasını; k_{gi} , dikkate alınan yıldaki geometrik nüfus sayımı artış hızını; \overline{k}_i , İller Bankası yöntemi nüfus artış hızı aritmetik ortalamasını; k_{ii} , İller Bankası yöntemi nüfus artış hızını; N_{i+1} , ardışık nüfus sayım yıllarının ikincisindeki nüfusu; N_i , ardışık nüfus sayım yıllarının birincisindeki nüfusu; t_{i+1} , ardışık nüfus sayım yıllarının ikincisini; t_i , ardışık nüfus sayım yıllarının birincisini ifade etmektedir.

2.2.2. Tasarım Debisi

Atıksu tasarım debisi 35 yıl sonraki nüfusa göre hesaplanır. Tasarım debisi, evsel atıksu debisi ve endüstriyel atıksu debilerinin pik değerleri ile sızma debisinde meydana gelir. Toplam atıksu debisi Denklem 22’de verilmiştir.

$$Q_{tasarım} = Q_{evsel\ pik} + Q_{end\ pik} + Q_{sızma} \quad (22)$$

Ortalama evsel atıksu debisi Denklem 23 ile hesaplanır.

$$Q_{evsel\ ort} = \frac{q \times P_g}{86400} \quad (23)$$

Burada; $Q_{evsel\ ort}$, ortalama günlük evsel tüketimi (l/s); q , kişi başı ortalama günlük tüketimi (l/kişi.gün); P_g , gelecek nüfus değerini (kişi) ifade etmektedir. Pik evsel atıksu debisi ise Denklem 24’te verilen Babbitt (β) katsayısı kullanılarak hesaplanır.

$$\beta = \frac{19,905}{0,2P_g} \quad (24)$$

$$Q_{evsel\ pik} = \beta \times Q_{evsel\ ort} \quad (25)$$

Ortalama endüstriyel atıksu debisi Denklem 26 ile hesaplanır.

$$Q_{end\ ort} = Z \times F_E \quad (26)$$

Burada; Z , endüstri türüne göre değişen endüstriyel birim su tüketimini (l/sn.ha); F_E , endüstriyel alanı (ha) ifade etmektedir. Pik endüstriyel atıksu debisi ise Denklem 27 ile hesaplanır.

$$Q_{end\ pik} = 0,2 \times Q_{end\ ort} \quad (27)$$

Son olarak sızma debisi ise Denklem 28 ile hesaplanır.

$$Q_{end\ ort} = 0,1 \times F \quad (28)$$

Burada; F , atık su toplama alanını (ha) ifade etmektedir.

2.2.3. Hidrolik Tasarım

Kanalizasyon sistemlerinin güzergahı belirlendikten sonra sistemin hidrolik tasarımı yapılır. Güzergâh belirlendiği için akış yönleri de belirlenmiş durumdadır. Hidrolik tasarım aşamasında boru çapları, boru eğimleri dolayısıyla kazı derinlikleri ve muayene bacalarının derinlikleri belirlenmiş olur. Bu değerler ilgili

yönetmeliklerde belirlenen sınırların içinde yani kısıtları sağlayacak şekilde belirlenirler. Bunlar borular içindeki akış hızının minimum ve maksimum değerleri, kazı derinliklerinin minimum ve maksimum değerleri, boru eğiminin minimum ve maksimum değerleri, doluluk oranının minimum ve maksimum değerleri gibi değerlerdir.

Kanalizasyon sistemleri mümkün olduğunca serbest yüzeyli olarak tasarlanırlar. Hidrolik hesaplar akımın kararlı, uniform ve türbülanslı akım olduğu kabulü ile Colebrook-White, Manning veya Kutter denklemleri ile yapılır.

Boru içi akış hızının minimum değeri, borularda ve bacalarda katı madde birikimini engellemek amacıyla, maksimum değeri ise boruların zarar görmesini engellemek amacıyla belirlenmektedir.

Boru eğiminin minimum değeri katı madde birikimini önlemek içindir.

Doluluk oranının minimum değeri borularda katı madde birikimini engellemek amacıyla, maksimum değeri ise basınçlı akışın oluşmamasını sağlamak amacıyla belirlenmektedir (de Villiers ve ark., 2017)

Boru üstü dolgu derinliklerinin minimum değeri boru üstündeki yüklerin boruya zarar vermesini engellemek, içme suyu hattı ile kot farkını sağlamak ve don etkisini önlemek amacıyla, maksimum değeri ise aşırı kazıyı önlemek için belirlenmektedir.

2.2.4. Çoklu Evren Algoritması

Büyük patlama teorisine göre evren büyük bir patlamayla başlamıştır. Çoklu evren teorisinde ise birden fazla büyük patlama olduğu ve her patlamanın bir evren oluşturduğu ifade edilmektedir. Bu teoriye göre birden fazla evren vardır ve bu evrenler birbirleriyle etkileşim halindedir.

Çoklu evren algoritması fizikteki çoklu evren teorisinden esinlenerek Mirjalili ve ark. (2016) yılında önerilmiştir. Çoklu evren algoritması, çoklu evren teorisinin üç ana kavramı olan beyaz delik, kara delik ve solucan deliği kavramlarını matematiksel olarak modellenmesi ile geliştirilmiştir.

Bulduğumuz evrende hiçbir zaman bir beyaz delik gözlemlenmemiştir, ancak büyük patlama ile bir beyaz delik olduğu kabul edilmektedir. Buna ek olarak

çoklu evren teorisinde beyaz deliklerin, evrenler arasındaki çarpışmaların meydana geldiği yerlerde oluştuğu ileri sürülmektedir. Kara delikler, beyaz deliklerin zıttı olarak kabul edilmektedir. Solucan delikleri ise bir evrenin farklı kısımlarını birbirine bağlayan delikler olup nesnelere bir evrenin bir köşesinde başka bir köşesine seyahat edebildiği tüneller olarak kabul edilmektedirler. Bunlara kavramlar ek olarak evrenin genişlediği kabul edilir. Bunun ise genişleme hızı nedeniyle gerçekleştiği ifade edilmektedir.

Keşif ve sömürü kavramları, nüfus tabanlı algoritmaların optimumu ararken kullandıkları iki kavramdır. Keşif aşamasında algoritma farklı bölgeleri ararken, sömürü aşamasında keşif aşamasında elde edilen bilgiler ile optimum olabilecek bölgelerde yerel arama yapılır. Bu iki aşama arasında kurulan denge, küresel optimuma doğru ilerlemeyi garanti edebilir.

MVO'da keşif aşaması için beyaz delik ve kara delik kavramları kullanılmaktadır. Solucan delikleri ise sömürü aşamasında kullanılmaktadır. Her olası çözüm bir evren olarak adlandırılır ve çözümdeki her karar değişkeni o evrendeki bir nesne olarak kabul edilmektedir. Ek olarak, her çözümü uygunluk fonksiyonu değerine göre bir genişleme oranı atanmaktadır.

MVO algoritmasında çözüme aşağıdaki kurallar uygulanarak ulaşılmaya çalışılır.

- Genişleme oranının yüksek olması beyaz delik oluşma olasılığını arttırırken kara delik oluşma olasılığını azaltır.
- Yüksek genişleme oranına sahip evrenler, nesnelere beyaz deliklerden geçirme eğilimindedir.
- Düşük genişleme oranına sahip evrenler, kara delikler ile daha fazla nesnelere alma eğilimindedir.
- Nesnelere tüm evrenlerde, solucan delikleri ile en iyi evrene doğru rastgele geçiş yapabilirler. Bu durum genişleme oranından bağımsızdır.

Anlaşılabileceği gibi nesnelere beyaz / kara delik ve solucan delikleri ile farklı evrenler arasında geçiş yapabilirler. Yöntemde evrenlerin genişleme oranlarını arttırmak için, yüksek genişleme oranlarına sahip evrenlerin beyaz deliklere sahip olma olasılıklarının yüksek olduğunu varsayılır. Bu durum, evrenlerin ortalama genişleme oranlarının iyileştirilmesini yinelemeler boyunca garanti edebilir.

Nesnelerin evrenler arasındaki geçişini yani beyaz / kara delik tünellerini matematiksel olarak modellemek ve evrenlerin nesnelere değişimini için bir rulet çarkı mekanizması kullanılmıştır.

Denklem 29’da verilen U matrisinde her satır bir evreni yani aday çözümlerini, her satırdaki terimler ise değişkenleri ifade eder. Denklem 30 ile rulet tekeri seçimi modellenmiş olur.

$$U = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_1^2 & \dots & x_1^d \\ x_2^1 & x_2^2 & \dots & x_2^d \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n^1 & x_n^2 & \dots & x_n^d \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$x_i^j = \begin{cases} x_k^j & r_1 < NI(U_i) \\ x_i^j & r_1 \geq NI(U_i) \end{cases} \quad (30)$$

Burada; d , değişken sayısını; n , evren sayısını; x_i^j , i ’inci evrendeki j ’inci değişkeni; U_i , i ’inci evreni; $NI(U_i)$, i ’inci evrenin normalize şişme değerini; r_1 , [0-1] aralığında rastgele sayıyı; x_k^j , rulet tekeri seçimi ile seçilmiş k ’inci evrendeki j ’inci parametreyi ifade etmektedir. Böylece beyaz delikler rulet tekeri seçimi ile belirlenmiş olur. Bu aşama keşif aşamasıdır.

Sömürü aşaması için solucan delikleri kullanılarak evrenlerin çeşitliliği korunur. Bu mekanizma Denklem 31 ile modellenmiştir.

$$x_i^j = \begin{cases} \begin{cases} X_j + TDR \times ((ub_j - lb_j) \times r_4 + lb_j) & r_3 < 0.5 \\ X_j + TDR \times ((ub_j - lb_j) \times r_4 + lb_j) & r_3 \geq 0.5 \end{cases} & r_2 < WEP \\ x_i^j & r_2 \geq WEP \end{cases} \quad (31)$$

Burada; X_j , en iyi evrenin j ’inci değişkenini; TDR , seyahat uzaklığı oranı parametresini; WEP , solucan deliği oluşma olasılığı parametresini; ub_j , i ’inci evrendeki j ’inci değişkenin üst sınırını; lb_j , i ’inci evrendeki j ’inci değişkenin alt sınırını ve r_2, r_3, r_4 [0, 1] aralığında rastgele sayıları ifade etmektedir.

Solucan deliği oluşma olasılığı (WEP) Denklem 32 ile ve seyahat uzaklığı oranı (TDR) Denklem 33 ile hesaplanır.

$$WEP = min + l \times \left(\frac{max-min}{L} \right) \quad (32)$$

$$TDR = 1 - \frac{l^{1/p}}{L^{1/p}} \quad (33)$$

Burada; *min*, minimumu, *max*, maksimumu; *l*, mevcut iterasyonu; *L*, maksimum iterasyon sayısını; *p* ise sömürü doğruluğunu ifade etmektedir.

Algoritmanın parametreleri olan maksimum iterasyon sayısı (*L*), evren sayısı, *min*, *max*, *p* sömürü doğruluğu değerlerinin başlangıçta belirlenmesi gerekmektedir.

MVO algoritmasının sözde kodu aşağıda verilmiştir.

```

Rastgele evrenler oluştur (U)
WEP, TDR ve En iyi evren değerlerini hesapla
SU=Sıralanmış Evreler
NI=Evrenlerin normalize edilmiş şişme (uygunluk) değerleri
while sonlandırma kriteri sağlanmadığı sürece
  Tüm evrenlerin uygunluk değerlerini hesapla
  for i ile indekslenen her evren
    WEP ve TDR değerlerini güncelle
    Kara_Delik_İndeksi = i
    for i ile indekslenen her nesne
      r1 = random([0,1]);
      if r1 < NI(Ui)
        Beyaz_Delik_İndeksi = Rulet Tekerini Seçimi (-NI);
        U(Kara_Delik_İndeksi,j) = SU(Beyaz_Delik_İndeksi,j);
      end if
      r2 = random([0,1]);
      if r2 < Solucan Deliği Oluşma Olasılığı
        r3 = random([0,1]);
        r4 = random([0,1]);
        if r3 < 0.5
          U(i,j) = En_İyi_Evren(j) + TDR * ((Ub(j)-Lb(j)) * r4 + Lb(j));
        else
          V(i,j) = En_İyi_Evren(j) - TDR * ((Ub(j)-Lb(j)) * r4 + Lb(j));
        end if
      end if
    end for
  end for
end while

```

2.3.Kısıt Yönetimi

Meta sezgisel optimizasyon yöntemleri kısıt içermeyen optimizasyon problemlerini çözmek için önerilmektedirler. Ancak bu yöntemler uygulanan farklı stratejiler ile kısıtlı optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilirler. Denklem 34 – 36 arasında amaç fonksiyonu ile kısıtların gösterimi bulunmaktadır.

$$\min f(x) \quad (34)$$

$$g_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, m \quad (35)$$

$$h_j(x) = 0, j = 1, \dots, p \quad (36)$$

Burada; $f(x)$, maliyet fonksiyonunu; $g_i(x)$, eşitsizlik kısıtlarını; $h_j(x)$, eşitlik kısıtlarını; m , eşitsizlik kısıt sayısını; p , eşitlik kısıt sayısını; x , çözüm vektörünü ifade etmektedir.

Denklem 37, kısıtların tümünü sağlayan uygun çözüm kümesini ifade etmektedir. Denklem 38 ise kısıtlardan en az bir veya birden fazlasını sağlamayan uygun olmayan çözüm kümesini ifade etmektedir.

$$\mathcal{F} = \{x: g_i(x) \leq 0 \wedge h_j(x) = 0, \forall i, j\} \quad (37)$$

$$\mathcal{F} = \{x: x \notin \mathcal{F}\} \quad (38)$$

Kısıtlı optimizasyon problemlerinin çözümünde metasezgisel optimizasyon yöntemlerini kullanmak için geliştirilen stratejilerden bir tanesi, ters tanjant yöntemidir. Bir iterasyonda kısıtları ihlal eden bireylerin bulunması durumunda, ihlal edilen kısıtların en büyük değeri ($g_{max}(\vec{x})$) uygunluk değeri olarak belirlenir. Bir iterasyonda kısıtları ihlal eden bireylerin bulunmaması durumunda ise uygunluk değeri amaç fonksiyonunun ters tanjant değeri olarak hesaplanır. Ters tanjant yöntemi Denklem 39'da verildiği gibi ifade edilebilir.

$$f(\vec{x}) = \begin{cases} \hat{g}(\vec{x}) = g_{max}(\vec{x}), & g_{max}(\vec{x}) > 0 \\ \hat{f}(\vec{x}) = atan[f(\vec{x})] - \frac{\pi}{2}, & \text{diğer} \end{cases} \quad (39)$$

Burada $atan[.]$ ters tanjant fonksiyonunu ifade etmektedir (Kim vd., 2010).

3. UYGULAMA

3.1. Herat Şehri

Afganistan İslam Cumhuriyeti, Asya kıtasında denize kıyısı olmayan bir ülkedir. Batısında İran İslam Cumhuriyeti, kuzeyinde Türkmenistan, Özbekistan Cumhuriyeti ve Tacikistan Cumhuriyeti, doğusu ve güneyinde Pakistan İslam Cumhuriyeti, kuzeydoğusunda ise Çin Halk Cumhuriyeti bulunmaktadır. Yüz ölçümü 652.864 km²'dir. Yaklaşık nüfus tahmini 2022 sayımlarına göre 41.100.000'dir. (Wikipedia Afganistan Herat Şehri Hakkında, 2020)

Herat, Afganistan'ın en batısında olup ülkenin İran sınırında olan, Afganistan'ın nüfusa göre ikinci büyük şehirdir. Şekil 2'de Herat şehrinin konumu verilmiştir.



Şekil 2. Herat Şehrinin Konumu (Herat Şehri Haritası, 2020)

Şehrin toplam yüz ölçümü 143 km² olup rakım ise 920 m'dir. Herat şehrinin 2013 nüfus tahminlerine göre nüfusu 1.436.300 kişidir.

Herat şehrinde yaklaşık 750.000 m² hektarlık alanda tarımsal faaliyet sürdürülmektedir. Aynı zamanda dünyaca ünlü olan Afgan safranının %90'ından fazlası bu şehirde üretilmektedir. Üretimin ve tarımsal faaliyetin bu kadar fazla oranda olmasının yanı sıra şehirde altyapı mevcut değildir.

Afganistan'da mevcut olarak verimli şekilde bulunan bir alt yapı sistemi bulunmamaktadır. Ülkenin belirli kısımlarında belirli saatlerde hizmet veren borulu sistemler bulunmaktadır. Bu belirli saatlerde verilen hizmetlerde ise sağlık kalitesi standartları karşılamamakla beraber hizmetin kalitesi oldukça düşüktür. Bundan kaynaklı olarak ise foseptik çukurları tercih edilmiştir (T.C Kabil Büyükelçiliği Ticaret Müşavirliği Afganistan Ülke Raporu, 2017.)

3.2.Kanalizasyon Sistemi Tasarımı

Afganistan'a ait kanalizasyon sistemlerinin tasarımı hakkında bir düzenlemeye ulaşamadığı için kanalizasyon sistemi tasarımı için 6 Ocak 2017 tarihli Atıksu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik kullanılmıştır.

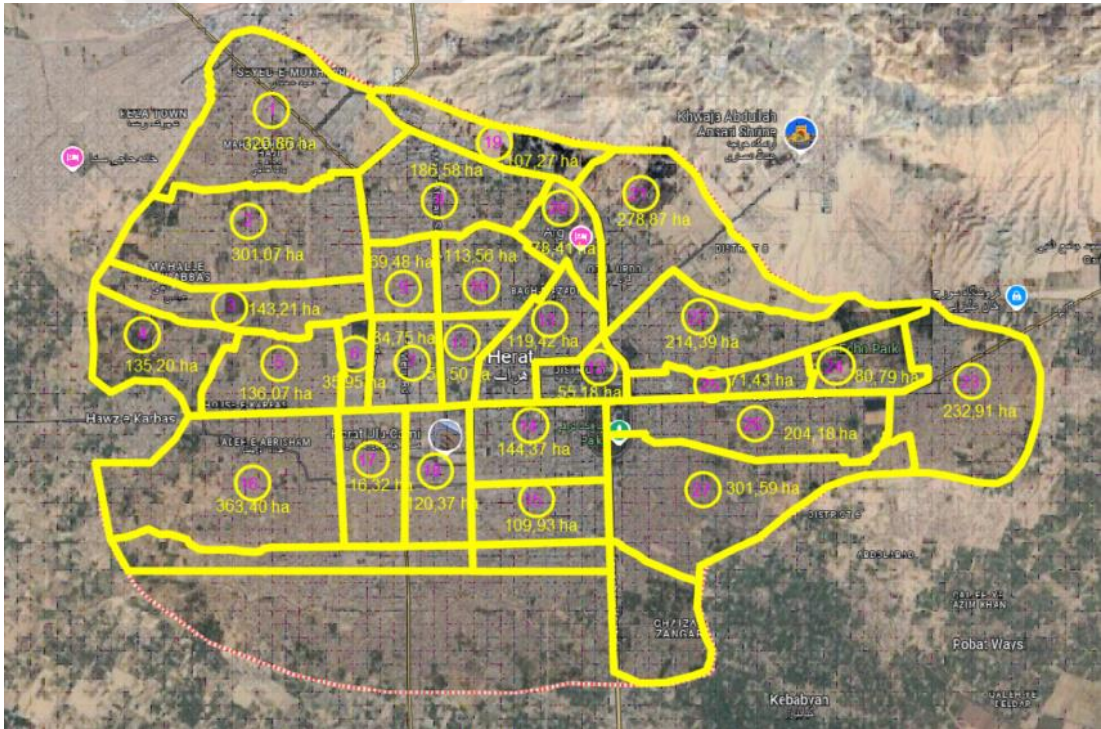
Kanalizasyon sistemi tasarımının ilk aşamasında Herat Şehrinin uydu görüntüleri ile caddeleri belirlenmiş ve yine uydudan verilerinden kot değerleri elde edilmiştir. Bu veriler yardımıyla kanalizasyon sisteminin güzergahına karar verilmiştir. Güzergâh belirleme işleminde tüm şehirde oluşacak atık su dikkate alınmıştır. Ancak sadece ana toplama hatlarının tasarımı yapılacağından, bu hatların güzergahları belirlenmiştir. Şehir topografik veriler doğrultusunda atık suyun cazibeli şekilde toplanacağı alanlara bölünmüştür. Bu alanlardan ana toplama kanallarına nerede katılacağı yine topografik verilere göre karar verilmiştir. Sonuç olarak şehrin geniş caddelerinde geçen ve tüm şehrin atık suyunu toplayan ana toplama hatları Şekil 3'te verildiği gibi elde edilmiştir. Elde edilen şebeke yaklaşık 23 km uzunluğundadır. Şekil 3'ten de görüleceği üzere şebekede iki deşarj noktası bulunmaktadır.

Muayene bacalarının sadece kanal hatlarının kesişim noktalarında bulunduğu kabul edilmiştir. Belirlenen ana toplama hatlarında toplam kanal hattı sayısı 27, toplam baca sayısı ise 28'dir. Ana toplama hatlarının özellikleri Tablo 1'de, bacaların zemin kotları ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Bacaların Zemin Kotları

Baca No	Kot (m)	Baca No	Kot (m)	Baca No	Kot (m)	Baca No	Kot (m)
1	957	8	942	15	918	22	936
2	938	9	935	16	922	23	943
3	935	10	923	17	916	24	940
4	930	11	932	18	962	25	934
5	927	12	926	19	956	26	931
6	925	13	927	20	939	27	929
7	924	14	922	21	937	28	928

Şekil 4'te ise bu kanallara atık su veren toplamda 27 adet bölge ve alanları gösterilmiştir. Bölgelerin numaraları, ha cinsinden alan değerleri ve bölgenin atık suyu verdiği baca numarası Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 4. Herat Şehrinde Dikkate Alınan Atık Su Toplama Bölgeleri

Tablo 3. Bölgeler, Alanları ve Atık Suyu Verdikleri Bacalar

Bölge No	Alan (ha)	Baca No	Bölge No	Alan (ha)	Baca No
1	320,86	1	15	109,93	16
2	301,07	2	16	363,4	14
3	143,21	3	17	116,32	15
4	135,2	4	18	120,37	16
5	136,07	5	19	107,27	18
6	35,95	6	20	78,41	20
7	84,75	7	21	278,87	21
8	186,58	8	22	214,39	22
9	69,48	9	23	232,91	23
10	113,56	9	24	80,79	24
11	56,5	10	25	71,43	25
12	55,18	11	26	204,18	26
13	119,42	12	27	301,59	27
14	144,37	13	Σ	4.182,06	

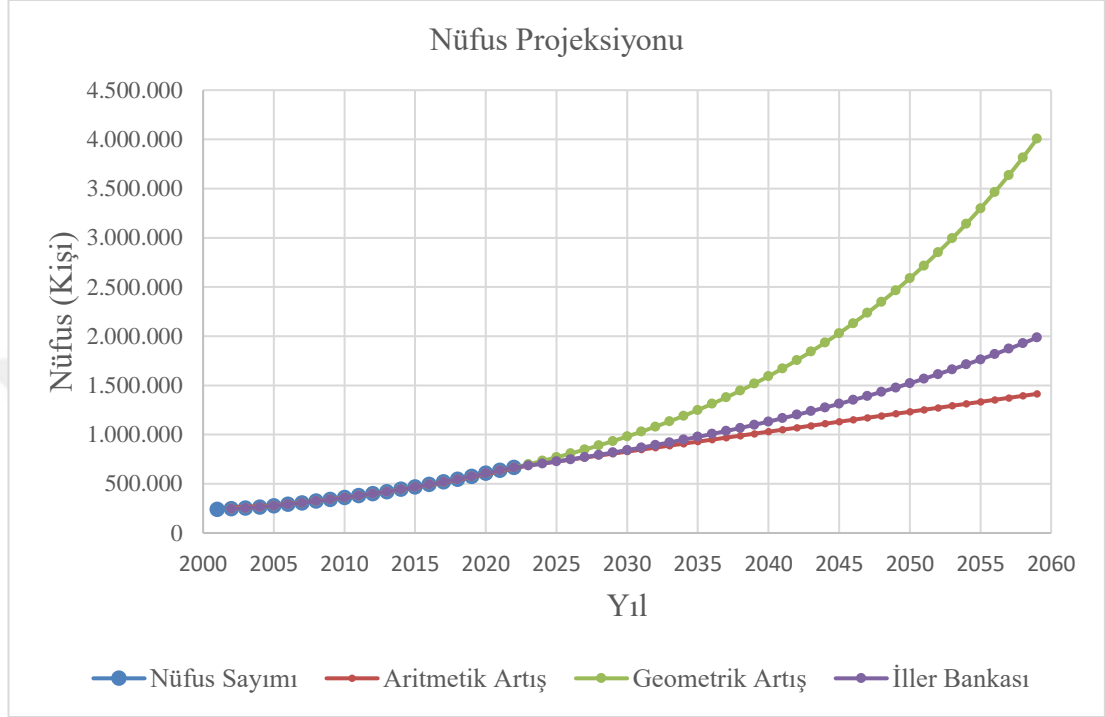
3.2.1. Herat Şehri Nüfus Projeksiyonu

Tasarımın ikinci aşamasında tasarım debileri hesaplanmıştır. Bu amaçla öncelikle 35 yıllık nüfus projeksiyonu yapılmıştır. Nüfus projeksiyonunda aritmetik artış, geometrik artış, iller bankası yöntemi ve Tablo 4’te verilen Afganistan Herat Şehrinin merkezine ait nüfus değerleri kullanılmıştır. Nüfus verileri 2001 ile 2022 yılları arasındaki yılları kapsamaktadır.

Tablo 4. Herat Şehri Merkez Nüfus Sayımları (United Nation World Urbanization Prospects; The 2018 Revision)

Yıllar	Nüfus Sayımları (Kişi)	Yıllar	Nüfus Sayımları (Kişi)
2001	240.000	2012	399.000
2002	246.000	2013	420.000
2003	252.000	2014	443.000
2004	262.000	2015	467.000
2005	276.000	2016	492.000
2006	291.000	2017	519.000
2007	306.000	2018	547.000
2008	323.000	2019	576.000
2009	340.000	2020	606.000
2010	359.000	2021	636.000
2011	378.000	2022	665.000

Nüfus projeksiyonunun aritmetik artış, geometrik artış ve iller bankası yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlere göre elde edilen değerler Şekil 5'teki grafikte verilmiştir.



Şekil 5. Herat Şehri Nüfus Projeksiyonu

Şekil 5'e göre İller Bankası Yöntemi seçilmiş olup 35 yıl sonraki nüfus değerleri bu yöntemle hesaplanmıştır. İller Bankası Yöntemine göre 2059 yılında nüfus 1.985.176 kişi olarak tahmin edilmiştir. Daha sonra birim alana düşen nüfus değeri hesaplanmıştır. Ancak Şekil 3 ve Şekil 4'ten görülmekte olduğu gibi, tasarlanan ana toplayıcı hatlar şehrin tümüne hizmet etmemektedir. Bu yüzden hesaplarda kullanılan nüfus değeri 1.622.639'dur.

3.2.2. Tasarım Debileri

Nüfus projeksiyonu tamamlandıktan sonra debiler hesaplanmıştır. Bölgelere göre nüfuslar ve hesaplanan debiler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Nüfusa Göre Debi Hesabı

Bölge No	Nüfus	Ortalama Eysel (l/s)	Eysel Pik Debi (l/s)	Sızma Debisi (l/s)	Toplam Debi (l/s)	Toplam Debi (m³/s)
1	124.494	201,73	220,88	32,09	252,97	0,253
2	116.815	189,28	207,26	30,11	237,37	0,237
3	55.565	90,04	98,59	14,32	112,91	0,113
4	52.458	85,00	93,07	13,52	106,59	0,107
5	52.795	85,55	93,67	13,61	107,28	0,107
6	13.949	22,60	24,75	3,60	28,34	0,028
7	32.883	53,28	58,34	8,48	66,82	0,067
8	72.393	117,30	128,44	18,66	147,10	0,147
9	26.958	43,68	47,83	6,95	54,78	0,055
10	44.061	71,40	78,18	11,36	89,53	0,090
11	21.922	35,52	38,90	5,65	44,55	0,045
12	21.410	34,69	37,99	5,52	43,50	0,044
13	46.335	75,08	82,21	11,94	94,15	0,094
14	56.016	90,77	99,39	14,44	113,82	0,114
15	42.653	69,11	75,68	10,99	86,67	0,087
16	140.999	228,47	250,17	36,34	286,51	0,287
17	45.132	73,13	80,08	11,63	91,71	0,092
18	46.704	75,68	82,86	12,04	94,90	0,095
19	41.621	67,44	73,85	10,73	84,57	0,085
20	30.423	49,30	53,98	7,84	61,82	0,062
21	108.202	175,33	191,98	27,89	219,86	0,220
22	83.183	134,79	147,59	21,44	169,03	0,169
23	90.369	146,43	160,34	23,29	183,63	0,184
24	31.347	50,79	55,62	8,08	63,70	0,064
25	27.715	44,91	49,17	7,14	56,32	0,056
26	79.222	128,37	140,56	20,42	160,98	0,161
27	117.017	189,61	207,62	30,16	237,78	0,238
Σ	1.622.639					

Tablo 5'te bölgelere göre hesaplanan toplam debilerinin kanal hatlarına aktarımı ile elde edilen tasarım debileri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Kanal Hatlarının Tasarım Debileri

Kanal Hat No	Baca No		Kendi Debisi (m ³ /s)	Tasarım Debisi (m ³ /s)
	Baş	Son		
1	1	2	0,253	0,253
2	2	3	0,237	0,490
3	3	6	0,113	0,603
4	4	5	0,107	0,107
5	5	6	0,107	0,214
6	6	7	0,028	0,845
7	7	10	0,067	0,912
8	8	9	0,147	0,147
9	9	10	0,144	0,291
10	10	12	0,045	1,248
11	11	12	0,044	0,044
12	12	13	0,094	1,386
13	13	16	0,114	1,500
14	14	15	0,287	0,287
15	15	16	0,092	0,378
16	16	17	0,182	2,060
17	18	19	0,085	0,085
18	19	20		0,085
19	20	21	0,062	0,146
20	21	22	0,220	0,366
21	22	25	0,169	0,535
22	23	24	0,184	0,184
23	24	25	0,064	0,247
24	25	11	0,056	0,839
25	11	26		0,839
26	26	27	0,161	1,000
27	27	28	0,238	1,238
Σ			3,297	

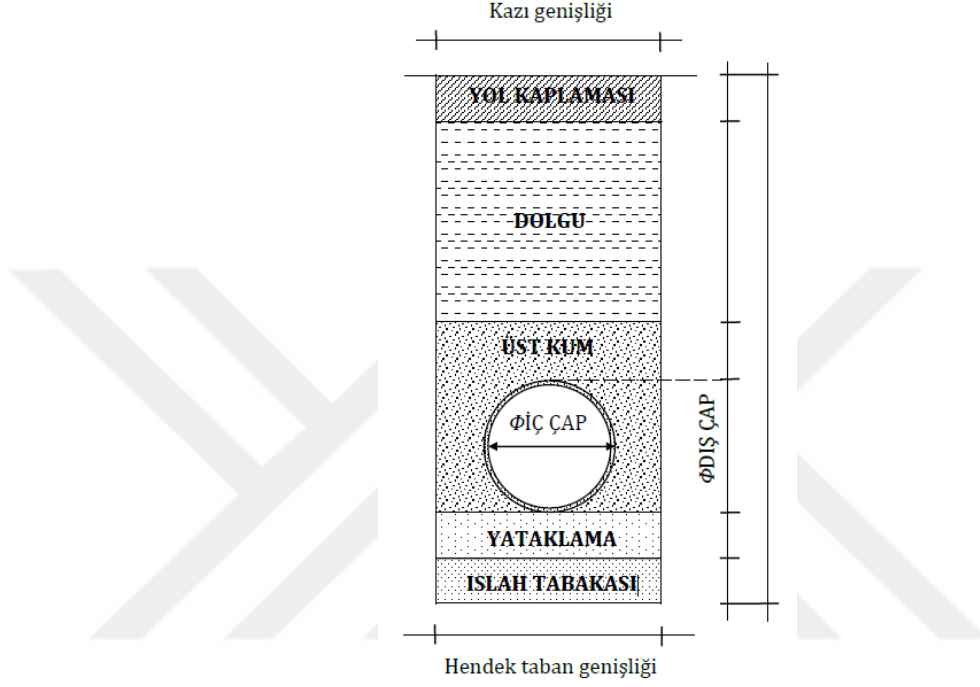
3.2.3. Herat Şehri Kanalizasyon Sistemi Optimizasyonu

Kanalizasyon sisteminin güzergahı ve tasarım debileri belirlendikten sonra optimizasyon aşamasına geçilmiştir. Öncelikle amaç fonksiyonu yani maliyet fonksiyonu seçilip Denklem 40'taki gibi ifade edilebilir.

$$\min C = C_{boru} + C_{kazı} + C_{baca} + C_{dolgu} \quad (40)$$

Burada; C_{boru} , boru maliyetini; $C_{kazı}$, boruların ve muayene bacalarının yerleştirilmesi için gerekli kazını maliyetini; C_{baca} , muayene bacalarının maliyetini; C_{dolgu} , borular ve bacalar yerleştirildikten gerekli dolgunun maliyetini ifade eder.

Maliyet hesabında için Şekil 3’te verilen şebeke planı ve Şekil 6’da verilen kazı tip kesiti kullanılmıştır.



Şekil 6. Kazı tip kesiti (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Bakanlığı, 2011)

Optimizasyon probleminin çözümünde kısıt değerleri Atıksu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik’te belirtildiği gibi, maksimum akım hızı (V_{max}) 3,5 m/s, minimum akım hızı (V_{min}) 0,5 m/s, maksimum doluluk oranı (a_{maks}) 0,50, minimum su derinliği 2 cm, minimum örtü kalınlığı 2,70 m, üst kum tabakası 20 cm, yataklama tabakası 10 cm, ıslah tabakası 10 cm ve hendek genişliği boru çapı+1m olarak alınmıştır. Şebeke çözümünde kullanılan boru çapları Tablo 7’de gösterilmiştir. Minimum eğim (S_{min}) ve maksimum eğim (S_{maks}) değerleri ise boru çaplarına göre değişmekte olup, bu değerler Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 7. Kullanılan Boru Çapları

300	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400
-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------

Tablo 8. Minimum ve Maksimum Boru Eğimleri

Kanal Tipi	Minimum Eğim	Maksimum Eğim
Bağlantı kanalları (Φ300)	1/300	1/15
Tali kanallar (Φ350 – Φ600)	1/500	1/25
Ana kanallar (Φ650 – Φ1000)	1/1000	1/50
Ana kolektörler (>Φ1000)	1/3000	1/75

Boru, kazı, baca ve dolgu maliyetleri, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı tarafından yayımlanan 2024 İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları kitabı (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı, 2024) ile İLBANK tarafından yayımlanan 2024 Yılı Altyapı Tesisleri Birim Fiyatları (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı, 2024) kitabından alınmıştır. Kullanılan pozlar ve birim fiyatları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Kullanılan Pozlar ve Birim Fiyatlar

Poz No	İşin Adı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)
43.650.1005	Asfalt, kırmataş ve şose sökülmesi (Ölçü: kalınlık x uzunluk)	m ³	852,5
43.665.1051	Sfero döküm, çerçeveli baca kapağının yerleştirilmesi(55 kg, İller Bankası KNL-TP-23/C tip projesine uygun boyut ve özelliklere sahip, kapak bedeli dahil)	Adet	5943,86
43.560.1460	Prefabrik muayene bacası beton çerçeve montaj elemanının yerleştirilmesi(h: 0,29 m, Çapı: 0,62 m, et kalınlığı: 0,15 m, 500 dozlu, buhar kürlü, baca elemanları arası bağlantılar entegre contalı, sızdırmazlık test bedeli dahil)	Adet	1499,43
43.560.1459	Prefabrik muayene bacası beton boyun bileziği elemanının yerleştirilmesi(h: 0,15 m, Çapı: 0,62 m, et kalınlığı: 0,15 m, 500 dozlu, buhar kürlü, baca elemanları arası bağlantılar entegre contalı, sızdırmazlık test bedeli dahil)	Adet	1303,6
43.560.1458	Prefabrik muayene bacası beton konik elemanının yerleştirilmesi(h: 0,78 m, Çapı: 1,20 m, et kalınlığı: 0,15 m, 500 dozlu, buhar kürlü, baca elemanları arası bağlantılar entegre contalı, sızdırmazlık test bedeli dahil)	Adet	4157,3
43.560.1456	Prefabrik muayene bacası beton gövde yüksekliği ayar bileziği elemanının yerleştirilmesi(h: 0,15 - 0,60 m değişken, Çapı: 1,20 m, et kalınlığı: 0,15	m	5859,3

	m, 500 dozlu, buhar kürlü, baca elemanları arası bağlantılar entegre contalı, sızdırmazlık test bedeli dahil)		
43.560.1454	Prefabrik muayene bacası beton gövde bileziği elemanının yerleştirilmesi(h: 0,35 m, Çapı: 1,20 m, et kalınlığı: 0,15 m, 500 dozlu, buhar kürlü, baca elemanları arası bağlantılar entegre contalı, sızdırmazlık test bedeli dahil)	Adet	3164
43.560.1453	Prefabrik muayene bacası beton gövde bileziği elemanının yerleştirilmesi(h: 0,60 m, Çapı: 1,20 m, et kalınlığı: 0,15 m, 500 dozlu, buhar kürlü, baca elemanları arası bağlantılar entegre contalı, sızdırmazlık test bedeli dahil)	Adet	4239,7
43.560.1418	Çıkış çapı 700 - 800 mm muayene bacası taban elemanı üzerine betonarme baca kapağı ile sfero döküm ızgaranın yerleştirilmesi(C35/45 betonu ile yapılmış sfero döküm ızgaralı betonarme kapak, sfero döküm ızgara bedeli hariç)	Adet	4431,21
43.560.1417	Çıkış çapı 800 mm, 1 giriş, 1 çıkışlı prefabrik muayene bacası beton taban elemanının yerleştirilmesi (h: 1,40 m, 500 dozlu, buhar kürlü, taban elemanı boru girişleri ve baca elemanları arası bağlantılar entegre contalı, sızdırmazlık test bedeli dahil)	Adet	11620,68
15.120.1101	Makine ile her derinlik ve her genişlikte yumuşak ve sert toprak kazılması (derin kazı)		44,06
43.100.1312	Makine ile yapılan geniş derin kazılarda dolgu karşılığı düşülecek bedel		4,86
43.610.1004	Kazı malzemesinden makine ile hendek ve temel dolgusu yapılması	m ³	174,69
43.610.1081	Tüvenan kum-çakılın kompaktörle sıkıştırılarak hendek ve temel taban ıslahı, boru tabanı yataklaması, borunun gömlekleme hendek ve temel dolgusu yapılması	m ³	241,23
43.527.1003	Çapı 300 mm HDPE Koruge boru döşenmesi (SN 8, lastik conta, boru ve sızdırmazlık bedelleri dahil)	m	459,83
43.527.1004	Çapı 400 mm HDPE Koruge boru döşenmesi (SN 8, lastik conta, boru ve sızdırmazlık bedelleri dahil)	m	670,3
43.527.1005	Çapı 500 mm HDPE Koruge boru döşenmesi (SN 8, lastik conta, boru ve sızdırmazlık bedelleri dahil)	m	962,86
43.527.1006	Çapı 600 mm HDPE Koruge boru döşenmesi (SN 8, lastik conta, boru ve sızdırmazlık bedelleri dahil)	m	1328,01

43.527.1008	Çapı 800 mm HDPE Koruge boru döşenmesi (SN 8, lastik conta, boru ve sızdırmazlık bedelleri dahil)	m	2071,83
43.527.1010	Çapı 1000 mm HDPE Koruge boru döşenmesi (SN 8, lastik conta, boru ve sızdırmazlık bedelleri dahil)	m	3169,61
43.527.1505	Çapı 1200 mm Spiral sarımlı HDPE boru döşenmesi (Tip 5, boru bedeli dahil)	m	6295,61
43.527.1506	Çapı 1400 mm Spiral sarımlı HDPE boru döşenmesi (Tip 5, boru bedeli dahil)	m	8786,38
43.527.1507	Çapı 1600 mm Spiral sarımlı HDPE boru döşenmesi (Tip 5, boru bedeli dahil)	m	12903,14
43.527.1508	Çapı 1800 mm Spiral sarımlı HDPE boru döşenmesi (Tip 5, boru bedeli dahil)	m	18802,66
43.527.1509	Çapı 2000 mm Spiral sarımlı HDPE boru döşenmesi (Tip 5, boru bedeli dahil)	m	24262,69
43.527.1508	Çapı 2200 mm Spiral sarımlı HDPE boru döşenmesi (Tip 5, boru bedeli dahil)	m	29006,46
43.527.1509	Çapı 2400 mm Spiral sarımlı HDPE boru döşenmesi (Tip 5, boru bedeli dahil)	m	36810,24
	İksasız Hendek Kazıları	m ³	39,2
	İksasız Temel Kazısı	m ³	39,2

Sistemdeki üniform ve kararlı, türbülanslı akım için Manning denklemi kullanılarak akım hızı değerleri hesaplanmıştır. Manning denklemi Denklem 41’de verilmiştir.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (41)$$

Burada; V , akım hızını; n , Manning sürtünme katsayısını; R , hidrolik yarıçapı; S , eğimi ifade etmektedir. Boru cinsi olarak HDPE boru kullanılacağı için n değeri 0,009 olarak alınmıştır.

Bir sonraki aşama karar değişkenlerinin ve optimizasyon algoritmasının parametrelerinin belirlenmesidir. Modelde bacalardaki derinlikleri karar değişkeni olarak seçilmiştir. Buna göre toplamda 28 adet karar değişkeni bulunmaktadır.

Optimizasyon probleminin çözüm aşamasında kullanılacak Çoklu Evren Algoritması parametreleri $min=0,2$ $max=1$, $p=6$ olarak Mirjalili ve ark. (2015)’larının çalışmasındaki değerler alınmıştır. Diğer parametre olan popülasyon büyüklüğünün etkisinin sonuca etkisinin incelenmesi amaçlandığından popülasyon büyüklüğü

değerleri 50, 100 ve 200 olarak alınmıştır. Adil bir karşılaştırma için ise fonksiyon değerlendirme değeri 20×10^6 sabit tutularak popülasyon (50, 100, 200) değerlerine göre iterasyon sayıları (400000, 200000, 100000) olarak belirlenmiştir.

Sonuçları istatistiksel olarak değerlendirmek için tüm durumlar 30 defa çalıştırılmıştır. Çözüm aşamasında MATLAB yazılımı kullanılmıştır.



4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu başlık altında Herat şehri kanalizasyon optimizasyonundan elde edilen sonuçlar, yorumlar ve öneriler yer almaktadır.

Popülasyon büyüklüğü 50 olan 30 denemeye ait minimum, ortalama, maksimum maliyet değerleri ile, sonuçların standart sapmaları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Popülasyon Büyüklüğü 50

Deneme	Minimum (TL)	Ortalama (TL)	Maksimum (TL)	Standart Sapma (TL)
1	101.890.700,6	114.491.943,0	162.624.147,8	12.423.028,1
2	102.696.992,7	114.010.562,7	150.462.492,2	10.979.479,5
3	102.044.023,6	110.838.636,9	152.698.780,6	7.725.624,4
4	101.532.281,4	108.390.244,9	163.940.089,6	8.426.423,3
5	102.921.603,8	115.040.952,4	150.681.175,8	14.718.215,2
6	103.892.687,1	112.553.293,1	163.700.695,4	13.764.571,6
7	103.596.981,8	113.882.349,3	170.244.095,4	12.545.887,0
8	102.008.409,3	128.230.181,2	173.038.129,6	25.861.997,3
9	102.758.913,9	113.161.656,4	157.319.081,2	11.673.937,8
10	103.861.028,0	113.819.138,7	158.790.624,2	14.224.257,0
11	104.189.930,6	115.305.407,3	156.424.975,6	14.088.529,5
12	103.005.256,8	114.676.362,5	158.292.960,0	14.978.232,5
13	102.831.619,6	114.381.604,0	166.198.146,4	16.743.195,5
14	101.906.286,7	111.056.377,0	163.546.477,1	9.800.831,8
15	103.738.050,7	110.219.254,5	165.311.656,4	7.790.074,4
16	103.866.703,0	117.198.142,2	145.099.927,9	12.792.139,8
17	102.427.763,7	115.839.801,0	163.160.307,9	17.435.055,3
18	102.527.536,6	113.860.133,2	155.491.361,8	13.127.257,2
19	104.432.668,5	116.383.487,3	154.451.947,2	12.696.378,3
20	102.210.574,0	112.379.580,4	166.779.175,3	12.393.233,9
21	102.416.620,0	117.353.031,0	167.026.206,4	14.594.142,8
22	102.512.809,3	114.145.404,4	153.799.233,5	13.739.979,3
23	102.743.308,8	115.224.627,0	163.504.022,5	11.324.171,9
24	102.422.920,4	112.885.576,6	163.781.760,8	12.796.874,0
25	102.788.035,4	111.020.949,0	165.764.492,9	9.911.974,9
26	101.657.984,4	115.941.524,8	167.227.495,1	16.932.738,8
27	102.467.789,8	114.328.256,0	156.449.945,4	11.500.609,1
28	102.447.265,0	119.846.649,8	170.557.219,0	15.925.250,6
29	102.697.726,5	116.400.567,7	160.546.474,1	15.069.994,7
30	104.196.083,4	114.181.799,9	144.629.388,8	11.387.926,3

Tablo 10'a göre minimum maliyet, 101.532.281,4 TL olarak 4.denemede elde edilmiştir. Denemeler içinde en düşük ortalama maliyet, 108.390.244,9 TL ile yine aynı denemeye aittir.

Popülasyon büyüklüğü 100 olan 30 denemeye ait minimum, ortalama, maksimum maliyet değerleri ile, sonuçların standart sapmaları Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Popülasyon Büyüklüğü 100

Deneme	Minimum (TL)	Ortalama (TL)	Maksimum (TL)	Standart Sapma (TL)
1	104.036.581,6	111.816.402,6	152.343.123,0	8.727.738,9
2	103.989.360,9	115.308.658,2	162.928.723,0	16.661.605,3
3	104.140.050,1	116.358.630,6	161.705.924,6	15.907.043,2
4	106.917.442,4	121.038.865,7	158.521.943,0	17.083.434,0
5	103.634.153,0	118.576.204,8	156.561.120,3	17.426.419,6
6	103.982.351,5	116.712.521,1	155.819.472,5	14.885.376,0
7	102.540.627,8	113.818.442,3	145.293.399,2	9.828.237,0
8	102.259.587,4	115.838.302,1	158.377.866,5	15.224.611,1
9	103.903.590,5	116.524.501,5	148.512.282,1	14.497.455,1
10	103.892.304,2	117.862.999,6	161.700.015,5	16.434.979,8
11	102.828.187,5	120.881.460,7	160.552.568,4	18.889.423,3
12	103.286.954,9	122.399.124,5	157.315.121,3	16.256.494,8
13	102.536.303,7	119.919.470,7	153.782.205,3	17.264.810,1
14	103.117.902,3	120.928.980,3	167.738.045,2	20.288.297,9
15	102.036.828,2	113.433.382,0	153.208.182,5	11.434.166,0
16	102.479.635,8	118.573.308,5	156.606.082,1	17.536.806,1
17	103.368.882,6	117.246.652,0	153.351.336,2	14.957.978,0
18	103.625.840,6	117.797.348,9	150.862.794,5	14.205.861,4
19	105.096.181,4	121.784.184,1	157.766.737,8	14.607.799,0
20	103.032.399,4	122.674.024,2	156.705.020,7	18.564.088,2
21	104.309.538,0	120.715.611,3	166.330.227,0	16.953.367,9
22	105.353.543,0	122.304.059,5	156.743.901,1	12.823.678,4
23	102.877.117,0	123.650.122,3	160.308.415,8	22.270.065,5
24	105.882.256,7	118.399.972,7	154.499.977,6	13.637.710,3
25	104.354.637,7	115.327.225,9	162.246.273,1	13.542.054,6
26	102.169.699,2	119.014.886,1	157.764.233,7	16.859.693,9
27	104.184.194,7	121.193.542,5	160.565.071,7	19.640.656,0
28	103.764.806,7	121.232.630,1	164.221.338,5	19.910.765,5
29	103.544.703,9	117.086.484,6	160.565.071,7	16.375.371,4
30	103.001.392,0	117.804.571,7	155.457.901,2	16.259.088,2

Tablo 11'e göre minimum maliyet, 102.036.828,2 TL olarak 15.denemede elde edilmiştir. Denemeler içinde en düşük ortalama maliyet ise 111.816.402,6 TL ile 1. denemeye aittir.

Popülasyon büyüklüğü 200 olan 30 denemeye ait minimum, ortalama, maksimum maliyet değerleri ile, sonuçların standart sapmaları Tablo 12'de verilmiştir.

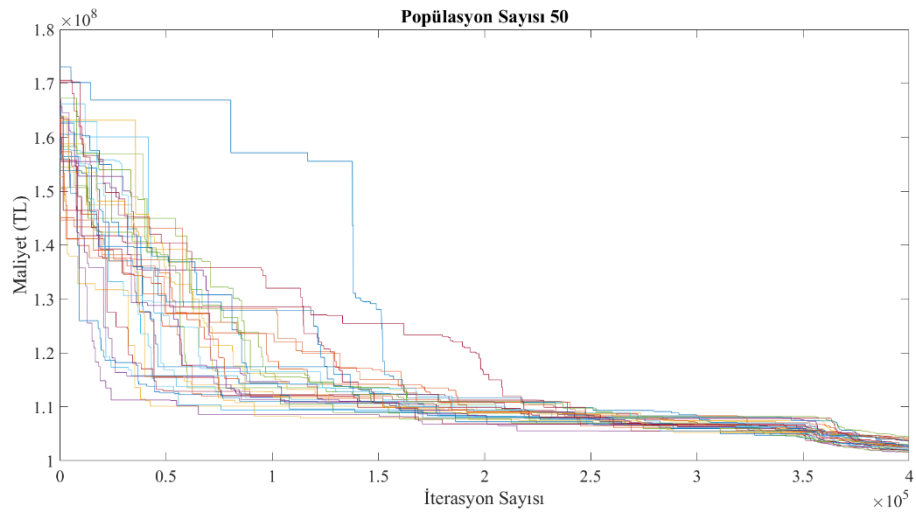
Tablo 12. Popülasyon Büyüklüğü 200

Deneme	Minimum (TL)	Ortalama (TL)	Maksimum (TL)	Standart Sapma (TL)
1	103.314.323,6	120.384.213,3	155.254.203,5	16.676.716,8
2	106.322.855,3	119.805.147,0	153.481.188,5	14.508.898,0
3	105.656.194,8	121.742.121,4	153.807.741,6	17.379.452,9
4	103.823.878,8	119.771.742,1	144.157.756,8	14.262.239,1
5	104.475.225,1	119.976.843,6	148.946.840,4	15.945.166,1
6	103.130.117,3	118.961.190,2	164.156.516,6	16.789.381,1
7	104.789.009,1	122.086.112,2	156.652.268,3	15.652.577,5
8	103.294.896,0	116.366.044,8	152.647.302,1	14.359.767,9
9	104.233.347,1	119.443.167,4	157.798.596,0	14.469.677,8
10	103.803.728,1	119.874.557,1	145.819.253,4	15.302.427,5
11	101.788.695,3	123.156.645,3	157.349.765,2	22.436.712,6
12	102.594.014,9	120.890.494,4	154.048.862,0	17.632.680,1
13	103.028.499,1	122.191.489,1	155.496.491,3	19.059.344,6
14	105.191.705,7	118.745.260,8	147.976.721,6	12.949.649,7
15	103.505.195,8	118.845.674,0	161.010.276,5	16.442.379,1
16	101.793.278,6	121.862.940,1	149.367.955,4	18.001.353,1
17	103.269.598,2	113.532.893,0	150.829.524,3	9.946.430,3
18	102.079.073,6	117.990.535,6	149.367.955,4	16.059.747,0
19	103.672.541,4	120.774.528,6	144.874.978,9	14.631.928,4
20	102.544.150,6	121.831.664,2	155.086.056,3	19.015.475,1
21	105.246.253,9	121.641.736,1	146.021.418,6	14.723.647,7
22	104.781.826,6	118.995.922,2	144.874.978,9	15.145.132,2
23	102.346.603,6	120.091.841,2	157.727.706,7	17.542.804,7
24	102.916.610,3	120.162.131,0	156.214.130,3	18.387.983,6
25	104.311.481,8	115.761.170,5	150.637.218,2	8.808.826,8
26	102.286.254,1	122.440.164,9	158.171.231,3	19.878.503,2
27	103.977.310,3	120.573.208,0	148.746.269,8	15.622.293,7
28	101.777.557,1	117.911.435,2	153.820.008,3	16.801.518,0
29	102.173.182,2	122.023.558,4	153.367.320,8	18.167.551,2
30	102.132.395,4	118.971.629,3	153.997.794,0	16.120.414,1

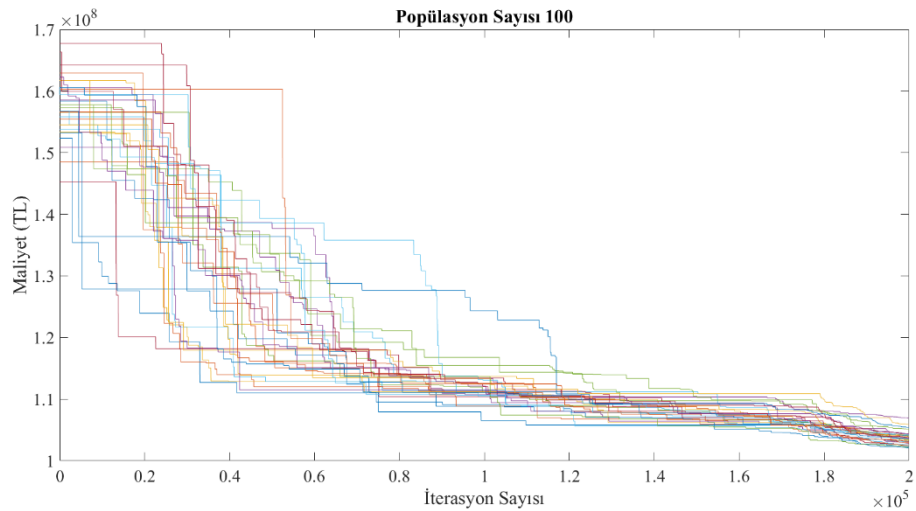
Tablo 12'ye göre minimum maliyet, 101.777.557,1 TL olarak 28.denemede elde edilmiştir. Denemeler içinde en düşük ortalama maliyet ise 113.532.893,0 TL ile 17. denemeye aittir.

Minimum maliyetler, popülasyon büyüklüğü 50 için 101.532.281,4 TL, popülasyon büyüklüğü 100 için 102.036.828,2 TL, popülasyon büyüklüğü 200 için ise 101.777.557,1 TL'dir. Buna göre tüm denemeler içinde en düşük maliyetli deneme popülasyon büyüklüğü 50'ye ait olan değerdir.

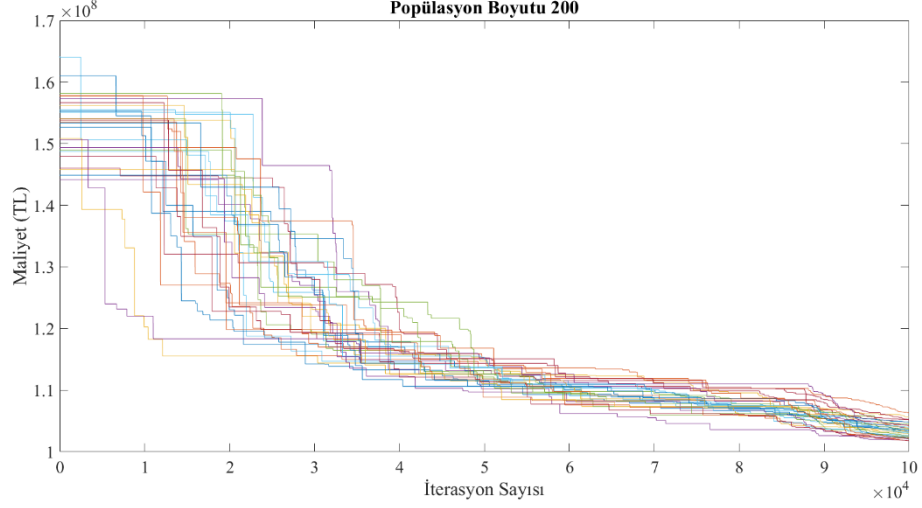
30 denemeye ait yakınsama grafikleri popülasyon büyüklüğü 50 için Şekil 7'de, popülasyon büyüklüğü 100 için Şekil 8'de ve popülasyon büyüklüğü 200 için Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 7. Popülasyon Büyüklüğü 50 İçin Yakınsama Grafiği



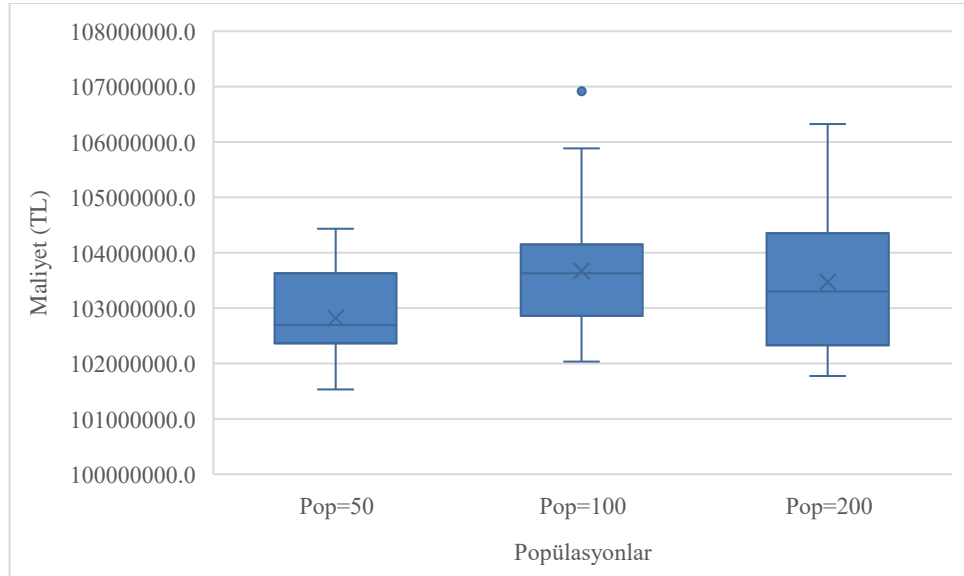
Şekil 8. Popülasyon Büyüklüğü 100 İçin Yakınsama Grafiği



Şekil 9. Popülasyon Büyüklüğü 200 İçin Yakınsama Grafiği

Şekiller incelendiğinde her popülasyon büyüklüğü için toplam iterasyon sayısının yarısına erişildiğinde, yakınsama grafiklerinde değişimin azaldığı görülmektedir.

Her popülasyon büyüklüğü için yapılan 30 denemenin ortalama değerleri kullanılarak oluşturulan kutu grafiği Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. Popülasyon Büyüklüğüne Göre Maliyet Değerlerinin Kutu Grafiği

Şekil 10'a göre popülasyon büyüklüğünün 50 olduğu denemelerin daha tutarlı sonuç verdiği ve en düşük maliyetli sonucun popülasyon büyüklüğünün 50 elde edildiği görülmektedir. Çoklu evren algoritmasının kullanıldığı kanalizasyon optimizasyonu probleminde en düşük maliyetli sonuç ve en tutarlı sonuçlar popülasyon büyüklüğünün az olduğu durumda elde edilmiştir. Bunun aksine popülasyon büyüklüğü arttıkça tutarlılığın azaldığı görülmektedir.

Tablo 13. En İyi Çözüm Tasarımı (Popülasyon Büyüklüğü 50)

Kanal Hat No	Baca No		Zemin Kotu		Ara Mesafe	Debi	Çap	Boru Üstü Derinlik		Eğim	Doluluk Oranı	Hız
	Baş	Son	Baş (m)	Son (m)	L (m)	Q (m ³ /s)	D (m)	Baş (m)	Son (m)	S (1/)	h/D (%)	V (m/s)
1	1	2	957	938	1.218,47	0,253	0,5	2,70	2,70	64	42,19%	3,21
2	2	3	938	935	412,45	0,490	0,8	2,70	2,80	133	37,29%	2,87
3	3	6	935	925	1.102,39	0,603	0,8	2,80	2,70	111	39,75%	3,24
4	4	5	930	927	1.551,45	0,107	0,5	2,70	2,81	500	46,22%	1,20
5	5	6	927	925	351,57	0,214	0,6	2,81	2,70	186	39,44%	2,06
6	6	7	925	924	430,72	0,845	1	2,70	2,73	419	49,99%	2,15
7	7	10	924	923	426,53	0,912	1	2,73	2,91	360	49,99%	2,32
8	8	9	942	935	939,83	0,147	0,5	2,70	2,70	134	38,39%	2,12
9	9	10	935	923	1.040,70	0,291	0,5	2,70	2,91	85	49,59%	3,00
10	10	12	923	926	306,68	1,248	1,2	2,91	6,51	509	49,98%	2,21
11	11	12	932	926	1.564,57	0,044	0,3	2,70	6,51	159	43,55%	1,47
12	12	13	926	927	903,73	1,386	1,2	6,51	9,89	381	48,83%	2,53
13	13	16	927	922	694,30	1,500	1,2	9,89	9,06	166	40,42%	3,50
14	14	15	922	918	843,53	0,287	0,6	2,83	2,70	218	48,61%	2,10
15	15	16	918	922	1.503,32	0,378	0,8	2,70	9,06	638	49,99%	1,50
16	16	17	922	916	536,52	2,060	1,4	9,06	4,41	396	48,97%	2,75
17	18	19	962	956	474,45	0,085	0,4	2,90	2,82	80	34,18%	2,23
18	19	20	956	939	1.027,05	0,085	0,4	2,82	2,70	61	31,80%	2,46
19	20	21	939	937	297,85	0,146	0,5	2,70	2,70	149	39,36%	2,04
20	21	22	937	936	484,12	0,366	0,8	2,70	2,72	475	45,08%	1,67
21	22	25	936	934	345,68	0,535	0,8	2,72	3,21	139	39,58%	2,89
22	23	24	943	940	1.087,97	0,184	0,6	2,71	2,70	363	43,64%	1,55
23	24	25	940	934	2.091,41	0,247	0,6	2,70	3,21	321	49,99%	1,75
24	25	11	934	932	247,64	0,839	1	3,21	2,70	166	38,34%	3,03
25	11	26	932	931	377,40	0,839	1	2,70	2,70	377	48,25%	2,24
26	26	27	931	929	1.216,36	1,000	1	2,70	4,76	300	49,99%	2,55
27	27	28	929	928	1.504,57	1,238	1,2	4,76	6,66	517	49,98%	2,19

Popülasyon büyüklüğünün 50 olduğu denemelerdeki 4.denemede, yani tüm denemeler içinde en düşük maliyetli denemede elde edilen sonuçlar Tablo 13'te verilmiştir. Tablo 13 incelendiğinde tüm tasarım kısıt değerlerinin sağlandığı görülmektedir.

Kanalizasyon sistemleri büyük yatırımlar gerektirdiği için yapılacak küçük iyileştirmelerin maliyete etkisi büyük olabilmektedir. Maliyeti minimum yapmanın etkin yollarından birisi de meta sezgisel optimizasyon algoritmaları ile şebekenin optimizasyonunu yapmaktır. Bu tez çalışmasında Afganistan'ın Herat Şehri özelinde oluşturulan kanalizasyon sisteminin hidrolik optimizasyonu Çoklu Evren Algoritması kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle şehre ait nüfus verileri kullanılarak 35 yıllık bir nüfus projeksiyonu yapılmıştır. Yapılan nüfus projeksiyonuna göre tasarım debileri belirlenmiştir. Uydu verilerine göre tasarlanan şebeke iki deşarj noktası, 27 hattan ve 28 muayene bacasından oluşmakta olup toplamda yaklaşık 23 km'dir.

Yapılan uygulama şebekenin hidrolik optimizasyonu sonucunda istenilen kısıtların sağlandığı bir kanalizasyon sistemi elde edilmiştir. Fonksiyon değerlendirmesi sabit tutularak değiştirilen popülasyon sayısı ile popülasyon büyüklüğünün sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Yapılan çalışma uygulama alanı olarak Herat Şehrinin seçilmesi ve kanalizasyon optimizasyonunda ilk defa Çoklu Evren Algoritmasının kullanılması açısından literatüre katkı sağlamıştır.

Yapılacak yeni çalışmalarda farklı algoritmaların etkinliği araştırılarak literatüre katkı yapılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Afshar, M. H. (2006). Improving the efficiency of ant algorithms using adaptive refinement: Application to storm water network design. *Advances in Water Resources*, 29, 1371-1382.
<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.10.013>
2. Afshar, M. H. (2008). Rebirting particle swarm optimization algorithm: application to storm water network design. *Can. J. Civ. Eng.*, 35, 1120-1127.
<https://doi.org/10.1139/L08-056>
3. Afshar, M., Shahidi, M., Rohani, M. and Sargolzaei, M. (2011). Application of cellular automata to sewer network optimization problems. *Scientia Iranica*, 18 (3), 304-312.
<https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.05.037>
4. Afshar, M. and Rohani, M. (2012). Optimal design of sewer networks using cellular automata-based hybrid methods: Discrete and continuous approaches. *Engineering Optimization*, 44 (1), 1-22.
<https://doi.org/10.1080/0305215X.2011.557071>
5. Afshar, M. (2012). Rebirthing genetic algorithm for storm sewer network design. *Scientia Iranica*. 19 (1), 11-19.
<https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.12.005>
6. Afshar, M., Zaheri, M. and Kimb, J. (2016). Improving the efficiency of cellular automata for sewer network design optimization problems using adaptive refinement. *Procedia Engineering*, 154, 1439-1447.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.517>
7. Çetin, T. (2014). *Kentsel yağmur suyu ve kanalizasyon sistemlerinin optimizasyonu*, (Doktora tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa).
https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=zWK_Hn2aw1IpqykUJ_yU2Q&no=SSom6h-NNvfen5_-ZtUq1A
8. de Villiers, N., van Rooyen, G.C., Middendorf, M. (2017). Sewer network design: Heuristic algorithm for hydraulic optimisation. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 59 (3) 48–56
<http://dx.doi.org/10.17159/2309-8775/2017/v59n3a6>
9. Herat Şehri Haritası. Erişim adresi

https://www.google.com.tr/maps/place/Herat,+Afganistan/@34.35352,62.1698705,13z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x3f3ce6a894be6cf7:0x9db9f81752d677c4!8m2!3d34.352865!4d62.2040287!16zL20vMDNudHY?hl=tr&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTAyOS4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D

10. Kulkarni, V. S. and Khanna, (1985). Pumped wastewater collection systems optimization, *Journal of Environmental Engineering*, 111, 589-601.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1985\)111:5\(589\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1985)111:5(589))
11. Liu, C., Han, H., Wang, C. and Qiao, J. (2014). An adaptive differential evolution algorithm for sewer networks design. *Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation, Shenyang*, 3577-3583.
<https://doi.org/10.1109/WCICA.2014.7053311>
12. Liang, L. Y., Thompson, R. G. and Young, D. M. (2004). Optimising the design of sewer networks using genetic algorithms and tabu search. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 11 (2), 101-112,
<https://doi.org/10.1108/09699980410527849>
13. Miles, S. W. and Heaney, J. P. (1988). Better than optimal method for designing drainage systems. *J. Water Resour. Plann. Manage*, 114 (5), 477-499
14. Moeini, R. and Afshar, M. (2016). Arc based ant colony optimization algorithm for optimal design of gravitational sewer networks. *Ain Shams Engineering j.* 8 (2), 207-223.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.03.003>
15. Mirjalili, S., Mirjalili, S. M. and Hatamlou, A. (2016), Multi-Verse Optimizer: a nature-inspired algorithm for global optimization. *Neural Computing & Applications*, 27 (2), 495-513.
<https://doi.org/10.1007/s00521-015-1870-7>
16. Navin, P. K. and Mathur, Y. P. (2016). Layout and component size optimization of sewer network using spanning tree and modified pso algorithm. *Water Resour Manage*, 30 (10), 3627-3643.
<https://doi.org/10.1007/s11269-016-1378-7>
17. Pan, T.C. and Kao, J.J., (2009). GA-QP model to optimize sewer system design, *Journal of Environmental Engineering*, 135:1(17).
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2009\)135:1\(17\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2009)135:1(17))

18. Robinson, D. K. and Labadie, J. W. (1981). Optimal design of urban storm water drainage system, *Int. Symposium on Urban Hydrology, Hydraulics and Sediment Control*, 145-156.
19. Swamee, P. K. and Sharma, A. K. (2013). Optimal design of a sewer line using linear programming. *Applied Mathematical Modelling*, 37 (6), 4430-4439. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.09.041>
20. T.C Kabil Büyükelçiliği Ticaret Müşavirliği, *Afganistan Ülke Raporu*, 2017.
21. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2011). *Ek-1, Kanalizasyon Sistemlerinin Etüt, Planlama ve Projelendirilmesine İlişkin Teknik Esaslar.2011*. Ankara.
22. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İbank (2017). *Atıksu toplama ve uzaklaştırma sistemleri hakkında yönetmelik, 06 Ocak 2017*. Ankara
23. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2024) *İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatlar, 2024*. Ankara.
24. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İLBANK (2024). *Altyapı Tesisleri Birim Fiyatları, 2024*. Ankara.
25. Tan, E., Sadak D. and Ayvaz T.M. (2020). Kanalizasyon sistemlerinin diferansiyel evrim algoritması kullanılarak optimum tasarımı. *Teknik Dergi* 31 (5) 10229-20250 <https://doi.org/10.18400/tekderg.541507>
26. T. H. Kim, I. Maruta, and T. Sugie (2010) A simple and efficient constrained particle swarm optimization and its application to engineering design problems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 224(2), 389-400. <https://doi.org/10.1243/09544062JMES1732>.
27. United Nations Population Division Department of Economic and Social Affairs World Urbanization Prospects: The 2018 Revision *File 22: Annual Population of Urban Agglomerations with 300,000 Inhabitants or More in 2018, by Country, 1950-2035 (thousands)*. Erişim Tarihi: 2022, Erişim adresi: <https://population.un.org/wup/download/>
28. Wikipedia, Afganistan Ülkesi Hakkında. 2024. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Afganistan>
29. Weng, H. T. and Liaw, S. L. (2006). A sewer system optimization hydraulic design model. *Journal of Environmental Informatics*, 7 (2), 66-74

[https://doi.org/ 10.3808/jei.200600068](https://doi.org/10.3808/jei.200600068)

