

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL SU DAĞITIMININ LİNEER PROGRAMLAMA İLE
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur SÜZER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL SU DAĞITIMININ LİNEER PROGRAMLAMA İLE
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Onur SÜZER
(501201519)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet ÖZGER

HAZİRAN 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**OPTIMIZATION OF WATER DISTRIBUTION OF ISTANBUL WITH
LINEAR PROGRAMMING**



M.Sc. THESIS

**Onur Süzer
(501201519)**

Department of Civil Engineering

Hydraulics and Water Resources Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Mehmet ÖZGER

JUNE 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501201519 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Onur SÜZER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "İSTANBUL SU DAĞITIMININ LİNEER PROGRAMLAMA İLE OPTİMİZASYONU" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Mehmet ÖZGER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Tarkan ERDİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Tarkan ERDİK**
İstanbul Gelişim Üniversitesi

Teslim Tarihi : **23 Mayıs 2024**
Savunma Tarihi : **11 Haziran 2024**





Eşime,



ÖNSÖZ

Öncelikle, lisans ve yüksek lisans eğitimi sürecimde bana her zaman yol gösteren, tez danışmanım Prof. Dr. Mehmet ÖZGER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Başta lisans bitirme projesiyle ana bilim dalını sevdiren danışmanlarım Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ, Prof. Dr. Şevket ÇOKGÖR ve Prof. Dr. Oral YAĞCI, yüksek lisans eğitim sürecinde desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Abdüsselam ALTUNKAYNAK ve diğer tüm öğretim üyelerimize saygılarımı sunarım.

Lisans sürecinden yüksek lisans tez sürecine kadar İTÜ İnşaat Fakültesi serüvenini birlikte yaşadığımız yol arkadaşım İnşaat Mühendisi Barış ULUTAŞ'a desteğini hiçbir zaman esirgemediği için teşekkürü borç bilirim.

Süreç boyunca yanımda olan ve bana destek olan eşim Yüksek Mühendis Ece Tunçyürek SÜZER'e, aileme, arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Mayıs 2024

Onur SÜZER
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMA ALANI OLARAK İSTANBUL İLİ	3
2.1. İstanbul İli Su Kaynakları.....	5
2.1.1. Elmalı Barajı	6
2.1.2. Terkos Barajı.....	6
2.1.3. Alibeyköy Barajı.....	7
2.1.4. Ömerli Barajı	7
2.1.5. Büyükçekmece Barajı	7
2.1.6. Darlık Barajı	8
2.1.7. Sazlıdere Barajı.....	8
2.1.8. Yeşilçay Regülatörleri	8
2.1.9. Istranca Sistemi.....	8
2.1.10. Melen Sistemi	9
2.1.11. YAS Kuyuları	9
2.2. İstanbul İli İçme Suyu Arıtma Tesisleri	10
2.2.1. Ömerli Su Arıtma Tesisi	11
2.2.2. Elmalı Su Arıtma Tesisi.....	12
2.2.3. Büyükçekmece Su Arıtma Tesisi.....	12
2.2.4. Terkos Su Arıtma Tesisi	12
2.2.5. Kağıthane Su Arıtma Tesisi.....	12
2.2.6. İkitelli Su Arıtma Tesisi.....	12
2.2.7. Taşoluk Su Arıtma Tesisi	13
2.2.8. Cumhuriyet Su Arıtma Tesisi	13
2.2.9. Ağva Su Arıtma Tesisi.....	13
2.2.10. Bıçkıdere Su Arıtma Tesisi.....	13
2.2.11. Şile Su Arıtma Tesisi	13
2.2.12. Sazlıdere Su Arıtma Tesisi	13
2.2.13. Yeşilçay Su Arıtma Tesisi	14
2.2.14. Darlık Su Arıtma Tesisi	14
2.2.15. Yalıköy Su Arıtma Tesisi	14
2.2.16. İhsaniye Su Arıtma Tesisi.....	14
2.2.17. Hallaçlı Su Arıtma Tesisi.....	14
2.2.18. Danamandıra Su Arıtma Tesisi.....	14
2.3. İstanbul İlindeki Su Besleme Bölgeleri.....	15

3. LİNEER PROGRAMLAMA İLE OPTİMİZASYON.....	17
3.1. Lineer Programlama ile Optimizasyon Modelinin Kurulması	17
3.1.1. Karar değişkenleri	18
3.1.2. Hedef fonksiyonu	18
3.1.3. Kısıtlar	19
3.2. Lineer Optimizasyon Modelinin Çözüm Yöntemi	20
3.3. Lineer Optimizasyon Modelinin Sonuçlarının Analizi ve Uygulaması	20
3.4. Su Dağıtımında Lineer Programlama ve Diğer Algoritmalarla Optimizasyonun Literatürdeki Yeri	21
4. İSTANBUL İLİ İÇİN LİNEER OPTİMİZASYON MODELİ KURULUMU	27
4.1. 2025 Yılı İçin Lineer Programlama İle İstanbul'da Su Dağıtımı	29
4.2. 2040 Yılı İçin Lineer Programlama İle İstanbul'da Su Dağıtımı	34
4.3. 2053 Yılı İçin Lineer Programlama İle İstanbul'da Su Dağıtımı	40
5. MODEL SONUÇLARININ ANALİZ EDİLMESİ VE SENARYOLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	47
5.1. 2025 Yılı İçin Sonuçlar	47
5.2. 2040 Yılı İçin Sonuçlar	49
5.3. 2053 Yılı İçin Sonuçlar	52
6. GENEL SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ	77

KISALTMALAR

ACO	: Ant Colony Optimization
DEA	: Differential Evolution Algorithms
DP	: Dinamik Programlama
DR	: Demand Response (Talep Yanıtı)
GA	: Genetik Algoritma
LP	: Lineer Programlama





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: İstanbul ili mevcut su kaynakları ve günlük entegre işletme çalışması (m ³ /gün). [18].....	6
Çizelge 2.2: Su kaynakları ve entegre işletme çalışmaları tablosu. [18].....	11
Çizelge 3.1: Literatür çalışmasına ait özet tablo ve özellikleri.....	25
Çizelge 4.1: 2025 yılı için su kaynakları ve entegre işletme çalışmaları.....	30
Çizelge 4.2: 2025 yılı içme suyu arıtma tesisleri ve onlara ait işletme kapasiteleri..	31
Çizelge 4.3: 2025 yılı için besleme bölgeleri ve su ihtiyaçları.....	31
Çizelge 4.4: 2025 yılında Akış 1 için değişkenlerin tanımlanması.	32
Çizelge 4.5: 2025 yılında akış 2 için değişkenlerin tanımlanması	32
Çizelge 4.6: Akış 1 için kısıtlar.	33
Çizelge 4.7: Akış 1 ve 2 için kısıtlar.	33
Çizelge 4.8: Akış 2 için kısıtlar	34
Çizelge 4.9: 2040 yılı için su kaynakları ve entegre işletme çalışmaları.....	36
Çizelge 4.10: 2040 yılı için içme suyu arıtma tesisleri ve işletme kapasiteleri.	36
Çizelge 4.11: 2040 yılı için besleme bölgeleri ve ihtiyaçları	37
Çizelge 4.12: 2040 yılında Akış 1 için değişkenlerin tanımlanması.	37
Çizelge 4.13: 2040 yılında Akış 2 için değişkenlerin tanımlanması.	38
Çizelge 4.14: 2040 yılında Akış 1 için kısıtlar	38
Çizelge 4.15: 2040 yılında Akış 1 ve Akış 2 için kısıtlar.....	39
Çizelge 4.16: 2040 yılında Akış 2 için kısıtlar.	39
Çizelge 4.17: 2053 yılı için su kaynakları ve entegre işletme çalışmaları.....	41
Çizelge 4.18: 2053 yılı için içme suyu arıtma tesisleri ve işletme kapasiteleri.....	42
Çizelge 4.19: 2053 yılı için besleme bölgeleri ve ihtiyaçları.	42
Çizelge 4.20: 2053 yılında Akış 1 için değişkenlerin tanımlanması.	43
Çizelge 4.21: 2053 yılında Akış 2 için değişkenlerin tanımlanması.	43
Çizelge 4.22: 2053 yılında Akış 1 için kısıtlar.	44
Çizelge 4.23: 2053 yılında Akış 1 ve 2 için kısıtlar.	44
Çizelge 4.24: 2053 yılında Akış 2 için kısıtlar.	45
Çizelge 5.1: 2025 yılında akış 1 için sonuçlar.....	47
Çizelge 5.2: 2025 yılında Akış 2 için sonuçlar.....	48
Çizelge 5.3: 2025 yılı için Akış 1 sonuçlarının kaynaktan çıkan toplam su miktarları ile mukayesesi.....	48
Çizelge 5.4: 2025 yılı için Akış 2 sonuçlarının tesisten çıkan toplam su miktarları ile mukayesesi.....	49
Çizelge 5.5: 2040 yılında Akış 1 için sonuçlar.....	50
Çizelge 5.6: 2040 yılında Akış 2 için sonuçlar.....	50
Çizelge 5.7: 2040 yılı için Akış 1 sonuçlarının kaynaktan çıkan toplam su miktarları ile mukayesesi.....	51
Çizelge 5.8: 2040 yılı için Akış 2 sonuçlarının tesisten çıkan toplam su miktarları ile mukayesesi.....	51
Çizelge 5.9: 2053 yılında Akış 1 için sonuçlar.....	52

Çizelge 5.10: 2053 yılında Akış 2 için sonuçlar.....	52
Çizelge 5.11: 2053 yılı için Akış 1 sonuçlarının kaynaktan çıkan toplam su miktarları ile mukayesesi.....	53
Çizelge 5.12: 2053 yılı için Akış 2 sonuçlarının tesisten çıkan toplam su miktarları ile mukayesesi.....	53
Çizelge 6.1: Temel kavramların üç ayrı projeksiyondaki değişimi.	55



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: İstanbul'un yıllara göre artan nüfus grafiği.[10]	4
Şekil 2.2: İstanbul ili mevcut su kaynakları, ana isale hatları, içme suyu arıtma tesisleri. [18].....	15
Şekil 4.1: Modelde kullanılan akışların şematik gösterimi.	27
Şekil 4.2: 2025 yılı için içme suyu arıtma tesisleri besleme bölgeleri haritası.[18]..	29
Şekil 4.3: 2025 yılı için lineer programlama modelinde kullanılan içme suyu dağıtım sistemi.	30
Şekil 4.4: 2040 yılı için içme suyu arıtma tesisleri besleme bölgeleri haritası.[18]..	34
Şekil 4.5: 2040 yılı için LP modelinde kullanılan içme suyu dağıtım sistemi.	36
Şekil 4.6: 2053 yılı için içme suyu arıtma tesisleri besleme bölgeleri haritası.[18]..	40
Şekil 4.7: 2053 yılı için lineer programlama modelinde kullanılan içme suyu dağıtım sistemi.	41
Şekil 6.1: Kaynakların yıllara göre işletme kapasiteleri.	56
Şekil 6.2: Tesis kapasitelerinin yıllara göre değişimi.....	56
Şekil 6.3: Melen Barajı yıllık ortalama enerji üretimleri [18].....	57



İSTANBUL SU DAĞITIMININ LİNEER PROGRAMLAMA İLE OPTİMİZASYONU

ÖZET

İstanbul, Türkiye'nin en büyük ve en kalabalık şehri olarak, hızlı nüfus artışı ve kentselleşme nedeniyle ciddi su yönetimi zorluklarıyla karşı karşıya kalmaktadır. Şehir, Ömerli, Melen, Terkos, Büyükçekmece, Istranca, Sazlıdere, Darlık, Yeşilçay ve Alibeyköy gibi önemli rezervuarlara bağlıdır. Bu rezervuarlar, artan nüfus baskısı, kentsel gelişim ve iklim değişikliğinin getirdiği belirsizlikler nedeniyle giderek daha fazla zorlanmaktadır. Mevcut su kaynaklarının yönetimi, yağışlardaki dalgalanmalar ve su seviyelerindeki mevsimsel değişikliklerle daha da karmaşık bir hâl almaktadır. Bu durum, İstanbul'da su dağıtım uygulamalarının yeniden değerlendirilmesini ve optimizasyonunu zorunlu kılmaktadır.

Bu tezin temel amacı, İstanbul şehrinin su dağıtımının yeterliliğini yakın (2025), orta (2040) ve uzun (2053) dönem çerçevesinde değerlendiren bir projeksiyon sağlamaktır. Aynı zamanda ileride gerçekleştirilecek çalışmalara referans olarak su israfını en aza indirmek, tüm bölgelere gerekli temiz su dağıtımını en ekonomik şekilde sağlamak amaçlanmaktadır. Bu tezde kullanılan optimizasyon modeli lineer programlamadır.

Bu model, su kaynaklarından arıtma tesislerine ve oradan bölgelere su akışını minimize etmeyi amaçlanmaktadır. Bunu yaparken kullanılan kısıtlar; su kaynaklarının ve arıtma tesislerinin ulaşabileceği maksimum çalışma kapasiteleri, ve bölgelerin karşılanması gereken minimum su ihtiyacı olmuştur. Ayrıca modelleme, ideal durumu değerlendirmek adına yapılmış olup kaynaklarda yeterli suyun bulunduğu ve kayıpların ihmal edildiği varsayımı ile değerlendirilmiştir.

Çalışmada, Büyükçekmece gibi kendi kendine yetebilen bağımsız sistemler dışarıda tutulurken, Terkos ve Istranca sistemlerini birleştirilmiş olup kapatılması planlanan Sazlıdere Barajı sadece 2025 yılı için sistemde yer almıştır. Bu varsayımlara istinaden istinaden indirgenmiş bir su dağıtım haritası oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında İSKİ Master Plan'dan 2025, 2040 ve 2053 yılı için olan veriler kullanılmış olup kurgulanan bu lineer modelde kaynaklardaki suyun yeterli olduğu durumlarda tüm bölgelerin minimum su ihtiyaçlarını karşılayabildiğini göstermektedir. İSKİ'nin Master Plan çalışmasında olduğu gibi günlük kişi başına düşen su tüketimi 2025 yılı için 190 litre, 2040 yılı için 200 litre ve 2053 yılı için 210 litre olarak dikkate alınmıştır.

Model, çeşitli su kaynaklarından arıtma tesislerine ve oradan bölgesel dağıtım merkezlerine olan optimal su dağıtımını sağlamıştır. 2025 yılı için bölge ihtiyaçları karşılanırken en büyük çalışma kapasitesine sahip Melen kaynağı hariç su kaynaklarının kapasitelerinin tamamını kullandığı saptanmaktadır. Melen'de günlük çalışma kapasitesinin 885.284 m³'ünün kullanılmadığı gözlemlenmektedir. Bu değer kapatılması gündemde olan Sazlıdere Barajı kapatıldığında dahi sisteme yeterli suyu sağlayabilecek bir miktardır. Melen'de artan miktarın temel sebebi algoritma ve model birleştirilirken herhangi bir öncelik bilgisi verilmemesidir. İlerleyen çalışmalarda, özellikle yakın dönem analizlerinde, mevcut su kaynaklarının durumuna göre

algoritmaya önceliklendirme koşulu eklenmesi mümkündür. Bunun yanı sıra arıtma tesisi işletme kapasitelerinin yeterli olduğu ve ağırlıklı ortalama %64 kullanım olduğu gözlemlenmektedir.

2040 ve 2053 yılları için yapılan projeksiyonda ise İSKİ'nin arıtma tesisi ve bölge ihtiyaçlarına ait verilerine sadık kalınmış ve buna rağmen en büyük çalışma kapasitesine sahip Melen kaynağı dahil tüm su kaynaklarının tam kapasite çalıştığı saptanmaktadır. 2040 yılı verileri için arıtma tesislerinin, ağırlıklı ortalama, kapasitesinin %62'si kullanılmıştır. Tesisler için öngörülen kapasite artışının olumlu sonuç verebileceği gözlemlenmektedir. Buna karşın, 2053 yılı için öngörülen tesis kapasitelerinde kullanım %68'e çıkmaktadır. Besleme bölgelerindeki su ihtiyacının artışı, öngörülen kapasite artışının önüne geçmiş gözükmektedir. Bununla birlikte, kaynakların 2040 ve 2053 projeksiyolarda %100 kapasite ile çalışıyor olması problem teşkil edebilecek bir konudur. Kapanması gündemde olan Sazlıdere Barajı bu orta ve uzun dönem analizlerine dahil edilmemiştir. Sazlıdere Barajı'nın kapasitesinin artırılıp sisteme dahil edilmesi, efektif bir sonuç elde edilmesini sağlayabilecektir.

Bu yaklaşım, mevcut ve yakın dönemdeki altyapı planlamasına yardımcı olmanın yanı sıra, gelecekteki gelişmeler ve talepler için strateji geliştirilmesine de katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, bu yöntem yeni su tesisleri ve kaynakları için ihtiyaçların verimli bir şekilde belirlenmesini sağlayarak, artan nüfus ve çevresel zorluklarla başa çıkabilecek şekilde sürdürülebilir ve iyi donanımlı kentsel planlama sağlamaktadır.

İleride yapılacak araştırmalar, su kalitesini iyileştirme rolünü ve miktar yönetimi yeteneklerini araştırabilir. Bu çift odaklı yaklaşım, su kalitesinin önemli bir endişe kaynağı olduğu alanlarda daha bütünsel su yönetimi stratejilerine destek olabilir. Ayrıca, mevcut kaynakların verimli kullanımını maksimize ederken tek bir alana aşırı yüklenmeden fazla suyun bölgeler arasında yeniden dağıtılmasını sağlayacak yöntemler geliştirilebilir. Arıtma sistemlerinin verimliliğinde yapılacak ayarlamalar da araştırılabilir, bu da su kaynaklarının yönetiminde genel sürdürülebilirliği ve etkinliği artırabilir.

OPTIMIZATION OF WATER DISTRIBUTION OF ISTANBUL WITH LINEAR PROGRAMMING

SUMMARY

Water is essential for life on Earth, playing a crucial role in various biological, environmental, and economic processes. It constitutes a significant portion of the human body, facilitating metabolic reactions and maintaining homeostasis. In ecosystems, water supports plant and animal life, contributing to biodiversity and ecological balance. Economically, water is vital for agriculture, industry, and energy production, influencing food security and economic stability. Additionally, access to clean water is a fundamental human right, impacting public health and socio-economic development. The sustainable management of water resources is therefore imperative to ensure the well-being of current and future generations.

Optimization is a critical tool for addressing the challenges posed by population growth, urbanization, and climate change. One of its paramount benefits is ensuring equitable access to clean water across all regions. Linear programming is a mathematical optimization technique used to achieve the best possible outcome, such as maximizing profit or minimizing cost, within a given model defined by linear relationships. The key components of linear programming include decision variables, constraints (which are restrictions or limitations), and an objective function that needs to be maximized or minimized. In practice, linear programming finds applications across various fields such as manufacturing, transportation, finance, and resource allocation.

Istanbul, as Turkey's most populous city and a significant urban center, plays a pivotal role both nationally and internationally. It ranks as one of Europe's largest agglomerations and the fifth most populous city globally within its municipal boundaries. Projections estimate Istanbul's 2025 population at approximately 16,495,461, indicating substantial growth. This demographic expansion necessitates a corresponding increase in water demand, with an anticipated daily consumption of around 3 million cubic meters by 2025. Effective water resource management is thus critical to accommodate the city's burgeoning population and ensure sustainable development and quality of life for its residents. Istanbul, Turkey's largest and most populous city, faces significant water management challenges due to rapid population growth and urbanization. The city relies on key reservoirs such as Ömerli, Melen, Terkos, Büyükçekmece, Istranca, Sazlıdere, Darlık, Yeşilçay, and Alibeyköy. These reservoirs are increasingly strained by population pressure, urban development, and the uncertainties brought about by climate change. The management of existing water resources is further complicated by fluctuations in rainfall and seasonal changes in water levels, necessitating the reevaluation and optimization of water distribution practices in Istanbul.

The primary objective of this thesis is to provide a projection evaluating the adequacy of Istanbul's water distribution in the near (2025), medium (2040), and long (2053)

terms. Additionally, this study aims to minimize water wastage and ensure the most economical distribution of clean water to all regions, serving as a reference for future studies. The optimization model used in this thesis is linear programming. This model aims to minimize the flow of water from sources to treatment plants and from there to regions. Constraints used include the maximum operational capacities of water sources and treatment plants, as well as the minimum water needs that must be met in the regions. The modeling assumes an ideal scenario where sufficient water is available in the sources, and losses are neglected. The study excludes independent systems like Büyükçekmece, while combining the Terkos and Istranca systems. The Sazlıdere Dam, planned to be decommissioned, is only included in the system for the year 2025. Based on these assumptions, a reduced water distribution map has been created. The study uses data from the ISKI Master Plan for the years 2025, 2040, and 2053. The linear model shows that all regions' minimum water needs can be met when water sources are sufficient. Daily per capita water consumption is considered to be 190 liters for 2025, 200 liters for 2040, and 210 liters for 2053, as in ISKI's Master Plan.

The model provided optimal water distribution from various sources to treatment plants and from there to regional distribution centers. For 2025, while meeting regional needs, all sources except the largest capacity Melen source were found to be operating at full capacity. It was observed that 885,284 cubic meters of Melen's daily operational capacity was unused. This amount would be sufficient even if the Sazlıdere Dam, planned to be closed, were decommissioned. The reason for the increased amount in Melen is that no priority information was provided when combining the algorithm and the model. In future studies, prioritization conditions can be added to the algorithm based on the current status of water sources, especially in near-term analyses. It was also observed that the operating capacities of treatment plants were sufficient, with an average usage of 64%.

For the projections for 2040 and 2053, the data for treatment plants and regional needs from ISKI was adhered to, and all water sources, including the largest capacity Melen source, were found to be operating at full capacity. For the 2040 data, treatment plants were used at 62% of their capacity on average. It was observed that the projected increase in capacity for the plants would yield positive results. However, for 2053, the usage in the projected plant capacities rises to 68%. The increase in water demand in the supply regions appears to surpass the projected capacity increase. Additionally, the fact that sources are operating at 100% capacity in the 2040 and 2053 projections could pose a problem. The Sazlıdere Dam, planned to be closed, was not included in these medium and long-term analyses. Increasing the capacity of the Sazlıdere Dam and including it in the system could yield effective results.

This approach not only aids in current and near-term infrastructure planning but also contributes to strategy development for future developments and demands. Additionally, this method allows for the efficient determination of needs for new water facilities and resources, ensuring sustainable and well-equipped urban planning capable of coping with increasing population and environmental challenges.

Future research could explore the role of water quality improvement and quantity management capabilities. This dual-focused approach could support more holistic water management strategies in areas where water quality is a significant concern. Furthermore, methods could be developed to redistribute excess water between regions without overloading a single area while maximizing the efficient use of existing

resources. Adjustments in the efficiency of treatment systems could also be researched, increasing overall sustainability and efficiency in water resource management.

The importance of water cannot be overstated, as it is the foundation of life and civilization. The health of ecosystems, the sustainability of agriculture, and the stability of economies are all intricately linked to water availability and quality. For Istanbul, a city of great historical and economic significance, managing water resources effectively is not just a logistical challenge but a necessity for ensuring the city's future. The population growth and urbanization trends make it clear that traditional methods of water management will not suffice. Innovative approaches, such as the optimization models discussed in this study, provide a pathway to more sustainable and equitable water distribution systems.

In the context of Istanbul, the application of linear programming for water distribution optimization represents a significant advancement in urban planning and resource management. By focusing on minimizing the flow from sources to treatment plants and regions, this method ensures that water is used as efficiently as possible, reducing waste and ensuring that all areas receive adequate supplies. The constraints considered in the model, such as the maximum operational capacities and minimum needs, reflect a realistic approach to managing a finite resource under growing demand.

The findings of this study underscore the importance of considering future scenarios in urban water management. The projections for 2025, 2040, and 2053 demonstrate that while current resources may suffice in the near term, long-term planning must account for increasing demands and potential constraints. The unused capacity in the Melen source for 2025 suggests that there is room for optimizing the allocation of resources, possibly by incorporating prioritization in the algorithms used. As the city continues to grow, such optimizations will become increasingly critical.

Moreover, the study highlights the need for a dynamic approach to infrastructure development. The potential closure of the Sazlıdere Dam and the variations in treatment plant capacities over time indicate that water management strategies must be flexible and responsive to changing conditions. Including the Sazlıdere Dam in future projections and planning for capacity increases where necessary will help ensure that Istanbul can meet its water needs even as the population grows and environmental conditions fluctuate. Future research directions suggested by this study are particularly relevant in the context of global water challenges. Improving water quality and developing efficient quantity management strategies are essential for addressing the broader issues of water scarcity and environmental degradation. By focusing on both the quality and quantity of water, future studies can contribute to more holistic water management practices that benefit both human populations and natural ecosystems. Furthermore, exploring methods for redistributing excess water between regions without overloading any single area can provide insights into more equitable water management practices. This approach can help mitigate the effects of regional disparities in water availability, ensuring that all areas have sufficient access to this vital resource. The potential adjustments in the efficiency of treatment systems also offer a promising avenue for enhancing the overall sustainability of water management practices.

In conclusion, the sustainable management of water resources in Istanbul requires a multifaceted approach that incorporates optimization techniques, future scenario planning, and continuous improvement in infrastructure and management practices. By addressing these challenges proactively, Istanbul can ensure that it meets the water

needs of its growing population while preserving the ecological and economic stability of the region. The insights gained from this study provide a valuable foundation for future research and practical applications in urban water management.



1. GİRİŞ

Su, çeşitli biyolojik, çevresel ve ekonomik süreçlerde çok önemli bir rol oynayan, dünya üzerindeki yaşam için gerekli olan en önemli maddedir. Sadece insanları yaşamı için değil, ekosistemlerde bitki ve hayvan yaşamını destekleyerek biyolojik çeşitliliğe ve ekolojik dengeye katkıda bulunur. Ekonomik açıdan su tarım, sanayi ve enerji üretimi için hayati öneme sahiptir ayrıca gıda güvenliğini ve ekonomik istikrarı etkiler. Bir diğer yandan temiz suya erişim, halk sağlığını ve sosyo-ekonomik kalkınmayı etkileyen temel bir insan hakkıdır. Bu nedenle su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, mevcut ve gelecek nesillerin refahını sağlamak için zorunludur.[1]

İstanbul, Türkiye'nin en kalabalık şehri ve önemli bir kent merkezi olarak hem ulusal hem de uluslararası alanda önemli bir rol oynamaktadır. Avrupa'nın en büyük yerleşim yerlerinden biri ve dünyanın en kalabalık beşinci şehri olarak bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda, İstanbul'un 2025 nüfusunun yaklaşık 16.495.461 olacağını tahmin edilmektedir. Bu nüfus artışı, su talebinde de bir artışı gerektirmektedir. Bu nedenle etkili su kaynakları yönetimi, şehrin artan nüfusuna uyum sağlamak ve İstanbul sakinlerinin sürdürülebilir kalkınmasını ve yaşam kalitesini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Optimizasyon modelleme, İstanbul'un karşılaştığı nüfus artışı, kentleşme ve iklim değişikliği gibi zorlukların çözümünde kritik bir araçtır.[2]

Optimizasyon, gelişmiş algoritmalarından ve hesaplama tekniklerinden yararlanarak süreçlerin kolaylaştırılmasına, israfın azaltılmasına ve maliyetlerin en aza indirilmesine yardımcı olur. En önemli faydalarından biri, tüm bölgelerde temiz suya eşit erişimin sağlanmasıdır. Lineer programlama (LP), doğrusal ilişkilerle tanımlanan belirli bir model içerisinde tanımlanan fonksiyonda örneğin karı en üst düzeye çıkarmak veya maliyeti en aza indirmek gibi mümkün olan en iyi sonucu elde etmek için kullanılan matematiksel bir optimizasyon tekniğidir. Lineer programlamanın temel bileşenleri karar değişkenlerini, kısıtlamalar veya sınırlamalar ve maksimuma çıkarılması veya minimuma indirilmesi gereken bir amaç fonksiyonundan oluşmaktadır. Pratikte LP, üretim, ulaşım, finans ve kaynak tahsisi gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir.[3]

Bu çalışma, Python'a ait PuLP kütüphanesi aracılığıyla LP kullanarak İstanbul'daki su dağıtımını 2025, 2040 ve 2053 yılı için optimize etmeyi amaçlamaktadır. Şehir genelinde verimli su dağıtımının sağlanması, çeşitli bölgelerde su kullanımının azaltılması ve genel sürdürülebilirliğin iyileştirilmesini hedeflemektedir. LP uygulayarak, çalışma su arıtma tesislerinin kullanımını optimize etmeyi, böylece kaynak verimliliğini ve çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Bu metodolojik yaklaşım, nüfus artışına bağlı olarak su talebinde beklenen artışı ele alacak ve dolaylı olarak su kaynaklarının atık ve işletme maliyetlerini en aza indirirken gelecekteki ihtiyaçları karşılayarak etkin bir şekilde yönetilmesini sağlayacaktır. Temel değişkenler kaynaklardan tesislere ve tesislerden bölgelere su akışını içerir. Kısıtlamalar, su kaynaklarının işletme kapasitesi, su çıkarmanın sürdürülebilir verimi aşmamasını sağlayacak şekilde, su arıtma tesislerinin kapasitesi, operasyonların tesis sınırları dahilinde kalmasının sağlanması ve nüfus yoğunluğuna bağlı olarak değişen talepleri yansıtan farklı bölgelerin spesifik su gereksinimleri temel alınarak oluşturulmaktadır. Bu model çeşitli varsayımlar altında çalışmaktadır bunlar; kaynaklarda talebi karşılayacak yeterli su varlığı, analizi kolaylaştırmak için Büyükçekmece, YAS ve Elmalı gibi bazı bağımsız sistemlerin hariç tutulması ve Terkos ve Istranca sistemlerini tek bir sistem olarak ele almaktır. Kapatılması planlanan ve İSKİ'nin yayınladığı master planda 2025 yılı için yer almayan Sazlıdere Barajı bu modelde varlığını sürdürmektedir. Bu varsayımlar ve kısıtlamalar toplu olarak İstanbul'un su dağıtımını yönetmeye odaklanmış ve etkili bir yaklaşımı kolaylaştırarak hem mevcut hem de gelecekteki ihtiyaçların sürdürülebilir bir şekilde karşılanmasını sağlamayı vadetmektedir.

2. ÇALIŞMA ALANI OLARAK İSTANBUL İLİ

İstanbul, Türkiye'nin en büyük metropolü olup, aynı zamanda tarihi ve kültürel önemiyle dünya çapında bir cazibe merkezidir. Stratejik konumu, İstanbul'u hem Asya hem de Avrupa kıtaları arasında bir köprü görevi gören bir şehir yapmaktadır. Bu durum, İstanbul'un tarih boyunca pek çok medeniyete ev sahipliği yapmasına olanak tanımış ve şehri, küresel ticaret ve diplomasi için stratejik bir merkez haline getirmiştir. Jeopolitik konumu itibarıyla İstanbul, Karadeniz ile Akdeniz'i birbirine bağlayan Boğaziçi'nin kontrol noktasında yer almakta ve bu da şehrin uluslararası deniz ticaretinde önemli bir rol oynamasını sağlamaktadır. [4]

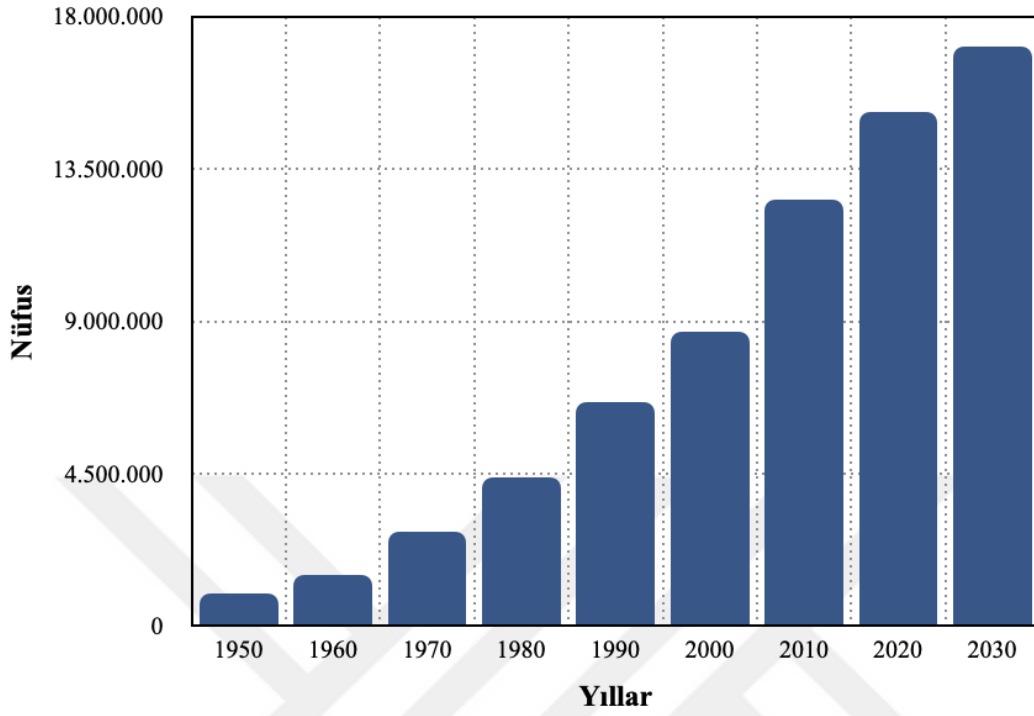
İstanbul, Türkiye'nin sanayi üretiminin merkezi olarak kabul edilebilir ve şehirde tekstil, gıda, otomotiv, elektronik ve kimya gibi çeşitli sektörlerde üretim yapılmaktadır. Ancak, şehirdeki bu tür sanayi faaliyetleri su kullanımını artırmakta ve su kaynakları üzerinde baskı oluşturmaktadır. [5]

İstanbul, Türkiye'nin toplam ekonomik faaliyetlerinin yaklaşık üçte birini kapsamakta, özellikle endüstri ve hizmet sektörleri içinde önemli katkı payına sahip olduğu bilinmektedir. [6]

İstanbul, Avrupa'yı Asya'dan ayıran Boğaziçi Boğazı'nın her iki yakasında yer alır. [7] Şehrin dinamik ve çok kültürlü ortamı, yaratıcı girişimcileri teşvik eder ve İstanbul'u yaratıcı endüstriler için bölgesel bir merkez haline getirir. [8] İstanbul'da su tüketimi, endüstriyel, ticari ve tarımsal faaliyetlerle ilgili su kullanımının, konut kullanımına kıyasla görece daha düşük olduğunu göstermektedir. [9]

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) verilerine göre İstanbul'un 2020 yılı itibarıyla nüfusu yaklaşık 15 milyon kişidir. Bu nüfusla İstanbul, Türkiye'nin en kalabalık şehri olmakla kalmayıp, aynı zamanda Avrupa'nın da en büyük metropollerinden biri olarak ön plana çıkmaktadır. Şehrin dinamik nüfus yapısı, iç göç ile sürekli şekillenen bir karakter sergilemekte ve bu durum, sosyal, ekonomik ve altyapısal dinamikler üzerinde doğrudan etkiler yaratmaktadır. İstanbul'un yıllara göre artan nüfus grafiği

şekil 2.1' de verilmiştir. Araştırmalara göre 2025'de İstanbul'un nüfusunun 16 milyonu aşması beklenmektedir. [10]



Şekil 2.1: İstanbul'un yıllara göre artan nüfus grafiği.[10]

İstanbul'da su tüketimi son yirmi yılda artmıştır ve Covid-19 pandemisinin erken dönemlerinde su tüketiminde artışlar yaşanmıştır. Ayrıca, yağışlardaki artışa rağmen, göletlerdeki su seviyelerinin azaldığı gözlemlenmiştir. [11] Bu tür büyük şehirlerde, hızlı nüfus artışı gibi faktörler doğal alanları korumayı zorlaştırmaktadır. [12]

Sonuç olarak, İstanbul'un jeopolitik konumu, büyüyen nüfusu ve sanayi kapasitesi, şehrin su yönetimi politikalarını şekillendiren temel faktörlerdir. Sürdürülebilir bir kentsel gelişim için, su kaynaklarının etkin yönetimi ve korunması şarttır. Bu bağlamda hem yerel yönetimler hem de sanayi sektörü, su kaynaklarını koruma konusunda ortak çalışmalar yürütmeli ve yenilikçi çözümler üretmelidir. Bu çabalar, İstanbul'un gelecekteki su güvenliğini sağlamak ve kent sakinlerinin yaşam kalitesini artırmak için kritik öneme sahip olacaktır.

2.1. İstanbul İli Su Kaynakları

İstanbul'un su kaynakları, şehrin sürdürülebilir kalkınması ve halkının refahı açısından kritik bir öneme sahiptir. Yaklaşık 16 milyonluk nüfusu ile Türkiye'nin en kalabalık şehri olan İstanbul, su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir yönetimi ile ayakta durmaktadır. Su kaynakları, içme suyu temini, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerin desteklenmesi, çevresel denge açısından vazgeçilmezdir. [13]

Su kaynakları çevresel ve ekolojik olarak da oldukça önemlidir. Barajlar, göller ve regülatörler gibi su kaynakları, çevrelerindeki ekosistemlere hayat verir ve çeşitli bitki ve hayvan türlerine ev sahipliği yaparak biyolojik çeşitliliği destekler. [14] Bu alanlar, su kaynaklarının korunmasıyla ekolojik dengenin sürdürülebilmesi ve doğal habitatların korunması açısından kritik bir rol oynamaktadır. [15] Ayrıca, su kaynakları sadece ekolojik açıdan değil, aynı zamanda sosyal faaliyetler için de önemli alanlar sunar. Doğa yürüyüşleri, kuş gözlemi, balıkçılık ve piknik gibi aktiviteler hem yerel halk hem de ziyaretçiler tarafından tercih edilmektedir. [16]

Öncelikli olarak, su kaynaklarının en önemli rolü, içme suyu teminidir. İstanbul'un içme suyu ihtiyacı, barajlar, göller ve regülatörler aracılığıyla karşılanmaktadır. İstanbul'un su kaynaklarına ilişkin yapılan çalışmalar, şehrin su ihtiyacının büyük bir kısmının yüzey suyu rezervlerinden karşılandığını ortaya koymaktadır. [17] Bu kaynaklardan toplanan su, çeşitli arıtma tesislerinde işlenerek içme suyu standartlarına uygun hale getirilir. Böylece, İstanbul halkı güvenli ve temiz suya erişim sağlar. İçme suyu temini, halk sağlığının korunması ve yaşam kalitesinin sürdürülebilmesi açısından hayati önem taşır. Özellikle büyük depolama kapasitelerine sahip olan Ömerli, Terkos, Büyükçekmece ve Darlık gibi barajlar, şehrin su ihtiyacını karşılamada merkezi bir rol oynar. İstanbul ili mevcut su kaynakları ve entegre işletme çalışması Çizelge 2.1'de verilmiştir. [18]

Çizelge 2.1: İstanbul ili mevcut su kaynakları ve günlük entegre işletme çalışması (m³/gün). [18]

Su Kaynağı	Entegre İşletme Çalışması (m ³ /gün)
Ömerli	547.945
Darlık	224.658
Yeşilçay	356.164
Elmalı	19.178
Büyükçekmece	232.877
Terkos	326.027
Alibeyköy	123.288
Sazlıdere	117.808
Istranca Sistemi 5 Tesis	126.027
Kazandere + Pabuçdere	150.685
Melen I (Regülatör) + Melen II	863.014
YÜS Kaynakları Ara Toplam	3.087.671
YAS Kuyuları	70.410
Asya Yakası Kaynakları	2.010.959
Avrupa Yakası Kaynakları	1.147.122
Genel Toplam	3.158.081

2.1.1. Elmalı Barajı

Elmalı Barajı, 1950'li yıllarda hizmete açılarak İstanbul'un Anadolu Yakası'nda, Beykoz ilçesi sınırlarında konumlanmıştır. Elmalı II Barajı olarak da bilinen bu yapı, Elmalı Deresi üzerinde kurulmuş olup, şehrin su yönetim stratejisi içerisinde kritik bir role sahiptir. Barajın temel işlevi, metropolün içme suyu ihtiyacını karşılamaktır; ancak sulama ve taşkın kontrolü gibi ikincil fonksiyonları da bulunmaktadır. Toplamda 10,1 milyon metreküp depolama kapasitesi ile hem taşkın kontrolü hem de su temini açısından önemli bir görev üstlenmektedir. İSKİ tarafından yürütülen düzenli bakım ve denetim çalışmaları, barajın uzun ömürlü ve etkin bir şekilde hizmet vermesini amaçlamaktadır. [18]

2.1.2. Terkos Barajı

Terkos Barajı, İstanbul'un Avrupa Yakası'ndaki Arnavutköy ilçesinde, Terkos Gölü üzerine inşa edilmiştir. 19. yüzyıldan itibaren su kaynağı olarak kullanılan göl, 1988 yılında barajlaşarak şehrin su ihtiyacını karşılamak üzere faaliyete geçmiştir. Baraj, 162 milyon metreküp depolama kapasitesi ile İstanbul'un su yönetim stratejilerinde

merkezi bir yere sahiptir. Barajdan sağlanan su, arıtma tesislerinde işlenerek içme suyu standartlarına uygun hale getirilmekte ve çeşitli bölgelere dağıtılmaktadır. İSKİ, barajın güvenli ve sürdürülebilir işletilmesini sağlamak amacıyla düzenli olarak bakım ve denetim gerçekleştirmektedir. [18]

2.1.3. Alibeyköy Barajı

Alibeyköy Barajı, İstanbul'un Avrupa Yakası'nda, Eyüpsultan ilçesi sınırları içinde yer almaktadır. 1970'lerde inşa edilen baraj, Alibeyköy Deresi üzerinde kurulu olup, şehrin içme suyu ihtiyacını karşılamak için kritik altyapı projelerinden biridir. 66 milyon metreküp depolama kapasitesine sahip olan baraj, suyun Alibeyköy Su Arıtma Tesisi'nde işlenmesi sonucunda içme suyu standartlarına uygun hale getirilerek şehrin çeşitli bölgelerine dağıtılır. [18]

2.1.4. Ömerli Barajı

Ömerli Barajı, İstanbul'un en büyük ve en önemli su kaynaklarından biri olup, Anadolu Yakası'nda, Şile ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. İstanbul'un içme suyu ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayan bu baraj, Ömerli Deresi üzerinde kuruludur ve 1970'lerde inşa edilmiştir. Ömerli Barajı, İstanbul'un su yönetiminde kritik bir rol oynamaktadır ve şehrin su temin stratejisinin merkezinde yer alır. Barajın ana amacı, İstanbul'un içme suyu ihtiyacını karşılamaktır. Toplam depolama kapasitesi 235 milyon metreküp olan Ömerli Barajı, bu kapasitesi ile İstanbul'un en büyük su rezervuarlarından biridir. Barajdan sağlanan su, Ömerli Su Arıtma Tesisi'nde arıtılarak içme suyu standartlarına uygun hale getirilir ve İstanbul'un çeşitli bölgelerine dağıtılır. Bu süreç, barajın su kalitesinin yüksek olmasını ve güvenilir bir su temini sağlamasını garanti eder. Barajın işletimi ve bakımı, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından yürütölmektedir. [18]

2.1.5. Büyükçekmece Barajı

Büyükçekmece Barajı, İstanbul'un Avrupa Yakası'nda, Büyükçekmece Gölü üzerinde bulunan ve şehrin içme suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla inşa edilmiştir. 1980'li yıllarda tamamlanan bu baraj, yaklaşık 148 milyon metreküp depolama kapasitesi ile İstanbul'un su yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Barajdan sağlanan su, Büyükçekmece Su Arıtma Tesisi'nde işlenerek içme suyu standartlarına uygun hale getirilir ve İstanbul'un çeşitli bölgelerine dağıtılır. İSKİ, barajın işletimi ve bakımını

üstlenerek, su kalitesinin korunması ve sürdürülebilir su yönetimi stratejilerinin uygulanmasını sağlamaktadır. [18]

2.1.6. Darlık Barajı

Darlık Barajı, İstanbul'un Anadolu Yakası'nda, Şile ilçesi sınırları içinde yer almakta olup, 1980'li yılların sonunda tamamlanmış ve faaliyete geçmiştir. Darlık Deresi üzerine kurulan baraj, toplam 107 milyon metreküp depolama kapasitesi ile şehrin içme suyu ihtiyacını karşılamak için kritik bir rol oynamaktadır. Barajdan sağlanan su, Darlık Su Arıtma Tesisi'nde işlenerek içme suyu standartlarına uygun hale getirilir ve İstanbul'un çeşitli bölgelerine dağıtılır. İSKİ, barajın güvenli ve etkin bir şekilde işletilmesi için düzenli bakım ve denetim çalışmalarını yürütmektedir. [18]

2.1.7. Sazlıdere Barajı

Sazlıdere Barajı, İstanbul'un Avrupa Yakası'nda, Küçükçekmece ilçesi sınırlarında konumlanmıştır ve şehrin önemli su kaynaklarından biri olarak hizmet vermektedir. 1990'lı yılların başında tamamlanan baraj, toplam 84 milyon metreküp depolama kapasitesi ile İstanbul'un su yönetiminde önemli bir yere sahiptir. Barajdan sağlanan su, Sazlıdere Su Arıtma Tesisi'nde işlenerek içme suyu standartlarına uygun hale getirilir ve şehrin çeşitli bölgelerine dağıtılır. İSKİ, barajın sürdürülebilir işletilmesi ve bakımı konusunda aktif rol oynamaktadır. [18]

2.1.8. Yeşilçay Regülatörleri

Yeşilçay Regülatörleri, İstanbul'un Anadolu Yakası'nda, Şile ilçesi sınırları içerisinde yer alan ve şehrin önemli su kaynaklarından biri olarak hizmet veren bir su toplama ve dağıtım sistemidir. 2000'li yılların başında tamamlanan bu sistem, İstanbul'un içme suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulmuştur. Yeşilçay Deresi'nden alınan su, çeşitli su arıtma tesislerine yönlendirilir ve işlenir. İSKİ, sistemin işletimi ve bakımını üstlenerek, su kalitesinin yüksek olmasını ve güvenilir bir su temini sağlamasını garantiler. [18]

2.1.9. Istranca Sistemi

Istranca Sistemi, İstanbul'un Avrupa Yakası'nda, Istranca Dağları'ndan doğan akarsular üzerinde kurulu olan bir su toplama ve dağıtım sistemidir. 1990'lı yılların sonunda tamamlanmış olan bu sistem, şehrin içme suyu ihtiyacını karşılamak için

kritik bir rol oynamaktadır. Sistemden toplanan su, çeşitli arıtma tesislerine yönlendirilerek içme suyu standartlarına uygun hale getirilir ve İstanbul'un çeşitli bölgelerine dağıtılır. İSKİ, sistemin etkin ve güvenli bir şekilde işletilmesi için düzenli olarak bakım ve denetim faaliyetlerini yürütmektedir. [18]

2.1.10. Melen Sistemi

Melen Sistemi, Sakarya ili sınırları içinde yer alarak İstanbul'un en büyük ve en önemli su kaynaklarından biri olarak kabul edilir. Melen Çayı'ndan su temin eden bu sistem, İstanbul'a uzak mesafede olmasına rağmen Melen Tüneli aracılığıyla şehre su taşınmasını sağlar, böylece İstanbul'un su arz güvenliğini artırır. Melen Sistemi'nin ana amacı, metropolün artan içme suyu ihtiyacını karşılamaktır. Sistemden alınan su, çeşitli arıtma tesislerinde işlenerek içme suyu standartlarına uygun hale getirilir ve şehrin farklı bölgelerine dağıtılır. İSKİ, özellikle Avrupa Yakası'ndaki yoğun nüfuslu bölgelere su temininde kritik bir rol oynamaktadır ve sistemin işletimi ve bakımını yürütmektedir. [18]

2.1.11. YAS Kuyuları

YAS Kuyuları, İstanbul'un yeraltı su kaynakları olarak hizmet veren önemli bir su temin sistemidir. İstanbul'un çeşitli bölgelerinde yer alan bu kuyular, yeraltı sularını toplayarak şehir halkının içme suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. YAS Kuyuları, İstanbul'un su yönetiminde kritik bir rol oynar ve su arz güvenliğinin sağlanmasında önemli bir yer tutar. YAS Kuyuları'nın ana amacı, İstanbul'un içme suyu ihtiyacını karşılamaktır. Kuyulardan çekilen yeraltı suları, çeşitli arıtma tesislerinde işlenerek içme suyu standartlarına uygun hale getirilir ve İstanbul'un farklı bölgelerine dağıtılır. Bu süreç, YAS Kuyuları'nın su kalitesinin yüksek olmasını ve güvenilir bir su temini sağlamasını garanti eder. YAS Kuyuları, özellikle kurak dönemlerde su arzını destekleyerek İstanbul'un su güvenliğine katkıda bulunur. YAS Kuyuları'nın çevresel etkileri de oldukça önemlidir. Yeraltı suları, ekosistem dengesi ve biyolojik çeşitlilik açısından kritik bir rol oynar. Bu nedenle, kuyulardan su çekimi sırasında çevresel sürdürülebilirlik ilkelerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, yeraltı su kaynaklarının korunması ve yönetimi, uzun vadede su temin güvenliğinin sağlanması açısından büyük önem taşır. YAS Kuyuları'nın işletimi ve bakımı, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından yürütülmektedir. İSKİ, kuyuların güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde işletilmesini sağlamak için düzenli bakım ve denetim

çalışmaları yapar. Bu çalışmalar, kuyuların uzun ömürlü olmasını ve etkin bir şekilde hizmet vermesini amaçlar. Ayrıca, su kalitesinin korunması ve sürdürülebilir su yönetimi stratejilerinin uygulanması da İSKİ'nin öncelikleri arasındadır. [18]

2.2. İstanbul İli İçme Suyu Arıtma Tesisleri

İstanbul'un su arıtma tesisleri, şehrin içme suyu ihtiyacını karşılamak için kritik bir rol oynamaktadır. Bu tesisler şehre su güvenliğini sağlamak, halk sağlığını korumak ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemek adına hizmet etmektedir. Ömerli, Elmalı, Büyükçekmece ve Terkos gibi büyük tesisler, yüksek kapasiteleri ile suyun arıtılarak içme suyu standartlarına getirilmesini sağlamaktadır. [19]

İçme suyu arıtma tesislerinin, İstanbul'un su güvenliğini ve halk sağlığını korumak için hayati öneme sahip olduğu bilinmektedir. Ayrıca, Kağıthane, İkitelli, Taşoluk ve Cumhuriyet tesisleri, şehir genelinde su dağıtımını optimize ederken; Ağva, Bıçkidere ve Şile tesisleri ise daha küçük ölçeklerde hizmet vererek bölgesel ihtiyaçları karşılamaktadır. [20] Sazlıdere, Yeşilçay ve Darlık tesisleri ise çevresel açıdan sürdürülebilirlik ve su kalitesi açısından da önemli olup, şehrin geniş su ağına uyumlu bir şekilde çalışmaktadır. [21] İstanbul'un su kaynaklarıyla ilgili yapılan çalışmalar, şehrin su ihtiyacının karşılanmasında Asya yakasındaki havzaların Avrupa yakasına göre daha fazla mavi-su kaynağı sağladığını ve toplam su kaynaklarının %75'ini oluşturduğunu göstermektedir. [17]

Bu tesislerin etkin bir şekilde işletilmesi ve yönetilmesi, İstanbul'un gelecekteki su ihtiyaçlarını karşılamak ve şehrin sürdürülebilirliğini sağlamak için kritik bir rol oynayacaktır. İstanbul'da hizmet vermekte olan önemli tesisler, bu tesisleri besleyen su kaynakları ve tesisin çalışma kapasiteleri Çizelge 2.2'de verilmiştir. Bu tesislerin her biri, belirli bölgelerin su ihtiyaçlarını karşılamak için stratejik olarak konumlanmış ve tasarlanmıştır. Tesisler, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin (İSKİ) etkin yönetimi altında çalışmaktadırlar. [18]

Çizelge 2.2: Su kaynakları ve entegre işletme çalışmaları tablosu. [18]

Tesisin Adı		İşletme Kapasitesi (m ³ /gün)	Su Kaynakları
Ömerli	Orhaniye	550.000	Ömerli Barajı, Darlık Barajı, Yeşilçay Sistemi, Melen Sistemi
	Muradiye	300.000	
	Osmaniye	200.000	
	Emirli-1	500.000	
Cumhuriyet		720.000	Melen Sistemi
Elmalı	Elmalı	40.000	Elmalı II Barajı
Şile	Şile	11.000	Darlık Barajı
Ağva	Ağva	17.000	Yeşilçay Sistemi
Bıçkıdere		4.320	Yeşilçay Sistemi
Kağıthane	Çelebi Mehmet	400.000	Terkos Barajı, Istranca Sistemi, Alibeyköy Barajı
	Yıldırım Bayezid	300.000	
Büyükçekmece	Büyükçekmece	400.000	Büyükçekmece Barajı
İkitelli	Fatih Sultan Mehmet	400.000	Terkos Barajı, Istranca Sistemi, Sazlıdere Barajı
	II.Bayezid	400.000	
Taşoluk		50.000	Terkos Barajı, Istranca Sistemi
Yalıköy		8.640	Istranca Sistemi
İhsaniye		11.000	YAS Kuyuları
Hallaçlı		22.000	YAS Kuyuları
Danamandıra		12.000	YAS Kuyuları
Asya Yakası		2.342.320	
Kapasite Toplam		2.003.640	
Avrupa Yakası		2.003.640	
Kapasite Toplam		4.345.960	

2.2.1. Ömerli Su Arıtma Tesisi

Ömerli Su Arıtma Tesisi, İstanbul'un Anadolu Yakası'nda bulunan ve 550,000 m³/gün kapasite ile faaliyet gösteren büyük bir tesistir. 1978 yılında hizmete giren bu tesis, Ömerli Barajı, Darlık Barajı, Yeşilçay ve Melen Sistemleri'nden aldığı suyu arıtarak içme suyu standartlarına uygun hale getirmektedir. Bu tesis, İstanbul'un su ihtiyacının önemli bir kısmını karşılar ve şehrin su arz güvenliğinde kritik bir rol oynamaktadır.[18]

2.2.2. Elmalı Su Arıtma Tesisi

Elmalı Su Arıtma Tesisi, İstanbul'un Anadolu Yakası'nda, 1956 yılında hizmete girmiştir ve 40,000 m³/gün kapasiteye sahiptir. Elmalı II Barajı'ndan alınan suyu arıtan tesis, özellikle Beykoz ve çevresindeki bölgelerin içme suyu ihtiyacını karşılamaktadır. Küçük kapasitesine rağmen, bölgesel su temininde büyük bir rol oynamaktadır. [18]

2.2.3. Büyükçekmece Su Arıtma Tesisi

Büyükçekmece Su Arıtma Tesisi, 1989 yılında faaliyete geçmiş olup, çalışma hacmi 400,000 m³/gün'dür. Bu tesis, Büyükçekmece Barajı'ndan alınan suyu arıtarak İstanbul'un Avrupa Yakası'ndaki geniş bir bölgeye içme suyu sağlamaktadır. Büyükçekmece, bölgeye sağlanacak suyun kalitesi ve güvenliği açısından önemli bir tesistir. [18]

2.2.4. Terkos Su Arıtma Tesisi

Terkos Su Arıtma Tesisi, 400,000 m³/gün kapasiteye sahip olup, Terkos Barajı ve Istranca Sistemi'nden su almaktadır. 1978 yılında hizmete giren Çelebi Mehmet Kademesi ve 1956 yılında hizmete giren Yıldırım Bayezid Kademesi ile önemli bir su arıtma kapasitesi sunmaktadır. Ayrıca, bu tesis Avrupa Yakası'na geniş ölçekte su sağlamaktadır. [18]

2.2.5. Kağıthane Su Arıtma Tesisi

Kağıthane Su Arıtma Tesisi, 400,000 m³/gün kapasite ile Terkos Barajı ve Istranca Sistemi'nden gelen suyu arıtarak içme suyu sağlar. 1978'de hizmete giren Çelebi Mehmet Kademesi, Avrupa Yakası'nın içme suyu ihtiyacını karşılar. Tesiste ayrıca 1956'da hizmete giren Yıldırım Bayezid Kademesi bulunur. [18]

2.2.6. İkitelli Su Arıtma Tesisi

İkitelli Su Arıtma Tesisi, 1998 yılında faaliyete geçmiş ve 400,000 m³/gün kapasiteye sahiptir. Terkos Barajı, Istranca ve Sazlıdere Barajı'ndan su alır. Fatih Sultan Mehmet Kademesi ve 2003 yılında hizmete giren II. Bayezid Kademesi ile, İstanbul'un batısında geniş bir bölgeye su sağlar. [18]

2.2.7. Taşoluk Su Arıtma Tesisi

Taşoluk Su Arıtma Tesisi, 2005 yılında hizmete girmiş olup, kapasitesi 50,000 m³/gün'dür. Tesis, Terkos Barajı ve Istranca Sistemi'nden gelen suyu arıtarak bölgedeki su ihtiyacını karşılar. Küçük kapasitesine rağmen, bölgesel su temininde önemli bir konumdadır. [18]

2.2.8. Cumhuriyet Su Arıtma Tesisi

Cumhuriyet Su Arıtma Tesisi, 2013 yılında faaliyete geçmiştir ve günlük çalışma hacmi 720,000 m³/gün'dür. Melen Sistemi'nden su alarak geniş bir bölgeye içme suyu sağlar. Yüksek kapasitesi ile İstanbul'un su arz güvenliğinde kritik bir önem taşımaktadır. [18]

2.2.9. Ağva Su Arıtma Tesisi

Ağva Su Arıtma Tesisi, 2008 yılında hizmete başlamış olup, 17,000 m³/gün kapasiteye sahiptir. Yeşilçay Sistemi'nden gelen suyu arıtarak Ağva bölgesinin su ihtiyacını karşılar. Küçük kapasitesi ile yerel su temininde büyük bir rol oynamaktadır. [18]

2.2.10. Bıçkıdere Su Arıtma Tesisi

Bıçkıdere Su Arıtma Tesisi, 2009 yılında faaliyete başlamış olup, kapasitesi 4,320 m³/gün'dür. Yeşilçay Sistemi'nden su alarak küçük çapta bir bölgenin su ihtiyacını karşılamaktadır. Kapasitesi küçük olmasına rağmen, yerel su temininde oldukça büyük bir hizmet sağlamaktadır. [18]

2.2.11. Şile Su Arıtma Tesisi

Şile Su Arıtma Tesisi, 1994 yılında çalışmaya geçmiş ve 11,000 m³/gün kapasiteye sahiptir. Darlık Barajı'ndan aldığı suyu arıtarak Şile ve çevresinin içme suyu ihtiyacını karşılamaktadır. [18]

2.2.12. Sazlıdere Su Arıtma Tesisi

Sazlıdere Su Arıtma Tesisi, 2005 yılında hizmete girmiş olup, 50,000 m³/gün kapasite ile çalışmaktadır. Terkos Barajı ve Istranca Sistemi'nden gelen suyu arıtarak bölgedeki su ihtiyacını karşılar. Bölgesel su temininde önemli bir rol oynar. [18]

2.2.13. Yeşilçay Su Arıtma Tesisi

Yeşilçay Su Arıtma Tesisi, 2008 yılında hizmete girmiş olup, çalışma hacmi 17,000 m³/gün'dür. Yeşilçay Sistemi'nden gelen suyu arıtarak Ağva bölgesinin su ihtiyacını karşılar. Küçük kapasitesi ile yerel su temininde önemli bir rol oynar. [18]

2.2.14. Darlık Su Arıtma Tesisi

Darlık Su Arıtma Tesisi, 1994 yılında faaliyete geçmiş ve 11,000 m³/gün kapasite ile çalışmaktadır. Darlık Barajı'ndan aldığı suyu arıtarak Şile ve çevresinin içme suyu ihtiyacını karşılar. Bölgesel su temininde önemli bir rol oynar. [18]

2.2.15. Yalıköy Su Arıtma Tesisi

Yalıköy Su Arıtma Tesisi, 2010 yılında faaliyete başlamış olup, 8,640 m³/gün kapasiteye sahiptir. Bu tesis, Istranca Sistemi'nden gelen suyu arıtarak bölgedeki su ihtiyacını karşılamaktadır ve tesis Yalıköy ve çevresine hizmet vermektedir. [18]

2.2.16. İhsaniye Su Arıtma Tesisi

İhsaniye Su Arıtma Tesisi, 2018 yılında çalışmaya girmiş olup, 11,000 m³/gün işletme hacmine sahiptir. YAS Kuyuları'ndan alınan suyu arıtarak İstanbul'un su ihtiyacını karşılar. Bu tesis, yeraltı su kaynaklarının etkin kullanımını sağlar ve bölgesel su temininde önemli bir katkı sunar. [18]

2.2.17. Hallaçlı Su Arıtma Tesisi

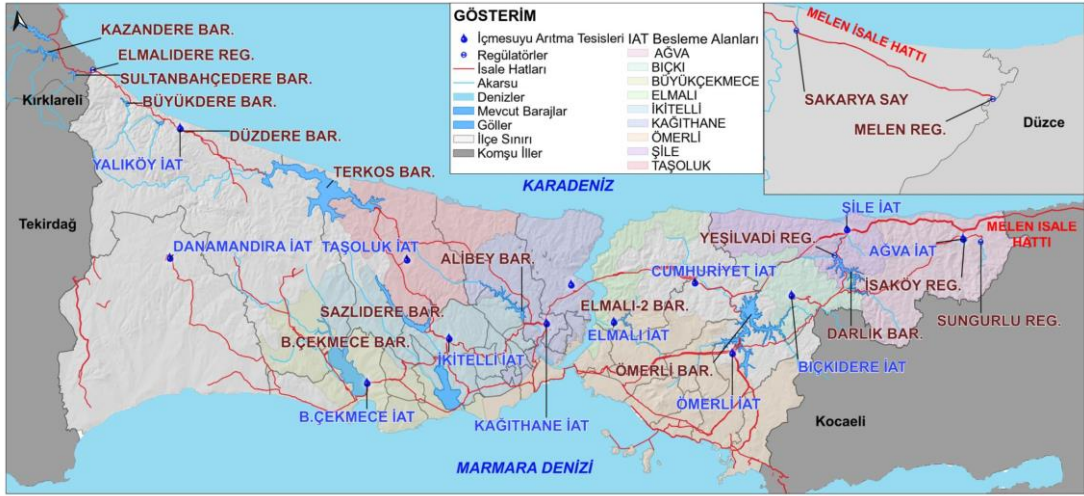
Hallaçlı Su Arıtma Tesisi, 2018 yılında faaliyete geçmiş ve günlük işletme hacmi 22,000 m³/gün'dür. YAS Kuyuları'ndan su alarak arıtır ve içme suyu olarak dağıtır. Hallaçlı, bölgesel su temininde kritik bir rol oynar ve su arz güvenliğini destekler. [18]

2.2.18. Danamandıra Su Arıtma Tesisi

Danamandıra Su Arıtma Tesisi, 2003 yılında hizmete girmiş olup, 12,000 m³/gün kapasiteye sahiptir. YAS Kuyuları'ndan alınan suyu arıtarak bölgesel su ihtiyacını karşılar. Bu tesis, İstanbul'un su temininde küçük fakat önemli bir rol oynar. [18]

2.3. İstanbul İlindeki Su Besleme Bölgeleri

İstanbul'un mevcut su besleme bölgeleri, şehrin su arz güvenliğini sağlamak ve suyun etkin dağıtımını gerçekleştirmek amacıyla stratejik olarak İSKİ tarafından belirlenmiştir. Ömerli, Emirli, Cumhuriyet, Kağıthane, Büyükçekmece ve Terkos gibi ana besleme bölgeleri, büyük su arıtma tesislerinden gelen suyu dağıtırken, Elmalı, Darlık, Ağva, Bıçkıdere, Şile, Taşoluk, İkitelli, Hallaçlı, Danamandıra, İhsaniye ve Yalıköy gibi diğer bölgeler daha küçük kapasiteli tesislerden su temin etmektedir. Bu bölgeler, İstanbul'un hem Avrupa hem de Anadolu Yakası'ndaki su ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Her besleme bölgesi, belirli arıtma tesislerine bağlı olarak, bölgesel su talebini dengeli ve sürdürülebilir bir şekilde karşılamaktadır. Böylece, İstanbul'un geniş ve çeşitli nüfusunun su ihtiyacı, güvenli ve sürekli bir şekilde temin edilmekte olup, şehrin su yönetiminde sürdürülebilirliği ve etkinliği sağlanmaktadır. İstanbul'un içme suyu sistemine hizmet veren mevcut su kaynakları, ana isale hatları, içme suyu arıtma tesisleri Şekil 2.2'de verilmiştir. [18]



Şekil 2.2: İstanbul ili mevcut su kaynakları, ana isale hatları, içme suyu arıtma tesisleri. [18]



3. LİNEER PROGRAMLAMA İLE OPTİMİZASYON

Lineer programlama ile optimizasyon, belirli kısıtlar altında bir hedef fonksiyonunun en iyi değerini bulmayı amaçlayan bir matematiksel programlama tekniğidir. Bu yöntem, verilen kısıtlamalar içerisinde hedef fonksiyonunu maksimize etmek veya minimize etmek için kullanılır. Kısıtlar ve hedef fonksiyon lineer denklemlerle ifade edilir. Lineer optimizasyon, kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını sağlamak için çeşitli endüstrilerde ve iş alanlarında stratejik karar alma süreçlerinde kullanılabilir. [22]

Bu optimizasyon tekniği, kaynakların etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayarak işletmelerin daha rekabetçi ve verimli olmasına yardımcı olmaktadır. Kurumların karar verme süreçlerini bilimsel ve sistematik bir temele oturtarak, karmaşık karar verme ortamlarında stratejik ve taktiksel kararlar alınmasını kolaylaştırmaktadır. Lineer optimizasyon, çeşitli endüstrilerde ve araştırma alanlarında geniş bir uygulama yelpazesine sahip olan güçlü bir matematiksel yöntemdir. Üretim sanayileri, taşımacılık ve lojistik, finans, tarım ve sağlık hizmetleri gibi alanlarda önemli katkılar sağlayarak, kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını ve optimal çözümler elde edilmesini sağlar. Bu yöntem, doğru ve uygun bir şekilde uygulandığında, önemli maliyet tasarrufları ve verimlilik artışları sağlayabilir ve çeşitli endüstrilerde karar verme süreçlerini önemli ölçüde iyileştirebilir. [22]

3.1. Lineer Programlama ile Optimizasyon Modelinin Kurulması

Modelin kurulması aşaması, problemin tüm önemli öğelerini içeren ve gerçek dünya durumunu mümkün olduğunca doğru bir şekilde yansıtan bir matematiksel modelin geliştirilmesini içerir. [22] Lineer optimizasyon yönteminin uygulanabilmesi için üç temel bileşen vardır. Bunlar karar değişkenleri, hedef fonksiyonu ve kısıtlar olarak listelenebilir. Bu bileşenler, bir lineer optimizasyon modelinin yapı taşlarıdır ve belirli bir problemi sistematik bir şekilde çözmek için kullanılmaktadır. Modelin kurulumu aşamasında değişkenler (karar değişkenleri), hedef fonksiyonu ve kısıtlar açıkça tanımlanmalıdır. [22]

3.1.1. Karar değişkenleri

Karar değişkenleri, optimizasyon probleminin çözümlenmesinde merkezi bir rol oynar. Bu değişkenler, karar verilmesi gereken unsurları temsil eder ve genellikle belirli kaynakların kullanım miktarlarını ifade etmektedir. Her bir karar değişkeni, modelde belirli bir kaynağın nasıl kullanılacağını gösterir ve bu nedenle modelin doğruluğu ve geçerliliği açısından kritik öneme sahiptir. Karar değişkenlerinin tanımlanması süreci, problemin doğasına ve çözülmek istenen spesifik soruna bağlıdır. Örneğin, üretim planlama probleminde, karar değişkenleri genellikle farklı ürünlerin üretim miktarlarını temsil eder. Bu durumda, X_i gibi değişkenler, farklı ürünlerin üretim miktarlarını gösterir. Karar değişkenlerinin doğru belirlenmesi, modelin doğru ve etkili çözümler üretebilmesi için gereklidir. [22]

Öte yandan, lojistik ve ulaşım problemlerinde, karar değişkenleri genellikle taşınacak malların miktarlarını veya rotalarını temsil eder. Örneğin, bir dağıtım ağı optimizasyonunda, X_{ij} değişkeni, i noktasından j noktasına taşınacak mal miktarını gösterebilir. Karar değişkenlerinin doğru bir şekilde modellenmesi, çözüm sürecinin başarısı için esastır. [22]

3.1.2. Hedef fonksiyonu

Hedef fonksiyonu, optimizasyon probleminin amacını belirler ve genellikle maliyetin minimize edilmesi veya kârın maksimize edilmesi şeklinde ifade edilmektedir. Hedef fonksiyonu, karar değişkenlerinin bir kombinasyonu olarak matematiksel bir ifade ile tanımlanır ve optimizasyon sürecinin yönlendirici unsuru olarak görev yapmaktadır.

Hedef fonksiyonunun doğru tanımlanması, problemin çözümünde elde edilecek sonuçların kalitesi açısından kritik öneme sahiptir. Örneğin, bir kimya şirketi için hedef fonksiyon, çeşitli reaktör ayarlarından elde edilen üretim maliyetlerinin minimize edilmesini içerebilir. Bu durumda, hedef fonksiyonu denklem 3.1'deki şekilde tanımlanabilir. [22]

$$\text{Minimize } C = \sum_{i=1}^n C_i X_i \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de C toplam maliyeti, C_i ise i ürününün birim maliyetini temsil eder.

Hedef fonksiyonunun bu şekilde tanımlanması, optimizasyon sürecinin maliyetleri minimize etmeye odaklanmasını sağlar. [22]

Benzer şekilde, bir lojistik probleminde hedef fonksiyonu, taşımacılık maliyetlerini minimize etmek olabilir. Bu durumda, hedef fonksiyonu Denklem 3.2’de verildiği şekilde kurgulanabilir. [22]

$$\text{Minimize } T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} \quad (3.2)$$

Denklem 3.2’de, T toplam taşımacılık maliyetini, t_{ij} ise i noktasından j noktasına taşımacılığın birim maliyetini temsil eder. Hedef fonksiyonunun bu şekilde belirlenmesi, taşımacılık maliyetlerinin optimize edilmesine yönelik çözümler üretilmesini sağlar. [22]

3.1.3. Kısıtlar

Kısıtlar, optimizasyon modelinin izin verdiği çözüm alanını sınırlar ve genellikle kaynak kısıtları, talep gereksinimleri veya operasyonel limitler gibi çeşitli faktörleri içermektedir. Bu kısıtlar, karar değişkenlerine uygulanan lineer eşitlikler veya eşitsizlikler şeklinde ifade edilir ve modelin gerçek dünya koşullarına uygun olmasını sağlar. Kısıtların tanımlanması, modelin uygulanabilir ve geçerli çözümler üretebilmesi için gereklidir.[22]

Örneğin, bir üretim planlama probleminde, ham madde miktarını sınırlayan kısıtlar olabilir. Bu durumda, kısıtlar denklem 3.3’de verildiği şekilde ifade edilebilir.[22]

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq b_j \quad (\text{Her } j \text{ için}) \quad (3.3)$$

Burada, a_{ij} i ürününün üretiminde kullanılan j kaynağının birim miktarını ve b_j j kaynağının toplam mevcut miktarını temsil etmektedir. Bu kısıt, her kaynağın toplam kullanımının mevcut miktarı aşmamasını sağlamaktadır. [22]

Benzer şekilde, bir lojistik probleminde, talep ve arz dengelerini sağlayan kısıtlar olabilir. Bu durumda, kısıtlar Denklem 3.4 ve 3.5’te ifade edilmiştir. [22]

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq s_i \quad (\text{Her } i \text{ için}) \quad (3.4)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq d_j \quad (\text{Her } j \text{ için}) \quad (3.5)$$

Burada, s_i i noktasının arz miktarını ve d_j j noktasının talep miktarını temsil etmektedir. Bu kısıtlar, her noktanın talep ve arz dengelerinin korunmasını sağlamak için kullanılmaktadır. [22]

Kısıtlar, modelin çözüm alanını belirler ve optimize edilen çözümün uygulanabilir olmasını sağlar. Kısıtların doğru tanımlanması, modelin geçerli ve pratik çözümler üretebilmesi için kritik öneme sahiptir. [22]

3.2. Lineer Optimizasyon Modelinin Çözüm Yöntemi

Lineer optimizasyon problemlerinin çözümünde en yaygın yöntem simpleks metodudur. Simpleks metodu, hedef fonksiyonunun bir optimum değerine (maksimum veya minimum) ulaşılan kadar iteratif bir şekilde çözüm arar. Simpleks yönteminin ilk adımı başlangıç çözümdür. Burada uygulanabilir bir başlangıç çözümü bulunur. Bu çözüm genellikle köşe noktalarından biri olarak seçilmektedir. Daha sonra, başlangıç çözümünden hareketle, hedef fonksiyonun değerini iyileştirecek (maksimize veya minimize edecek) yön belirlenir ve bu yönde ilerlenir. Bu işlem, matris tabanlı hesaplamalarla yapılır ve pivot işlemi olarak adlandırılır. Pivot işleminden sonra, her iterasyonda, mevcut çözümün optimal olup olmadığı test edilir. Eğer mevcut çözüm optimal değilse, bir sonraki pivot işlemi gerçekleştirilir ve süreç devam eder. Optimal çözüm bulunduğu anda ise, süreç sona erer ve elde edilen sonuçlar analiz edilir. [22]

Simpleks yöntemi, lineer programlama problemlerinin çözümünde oldukça etkilidir ve geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu yöntem, büyük ve karmaşık problemlerin bile hızlı ve etkin bir şekilde çözülmesini sağlar. [22]

3.3. Lineer Optimizasyon Modelinin Sonuçlarının Analizi ve Uygulaması

Elde edilen çözüm, karar verme sürecinde kullanılmak üzere, uygulanabilirlik açısından değerlendirilmelidir. Çözümün etkinliği, uygulandığı gerçek dünya senaryosunda test edilerek doğrulanır. Bu süreç birkaç adımdan oluşmaktadır. İlk olarak geçerlilik kontrolü yapılır. Burada elde edilen sonuçların modelin varsayımları ve kısıtlarıyla uyumlu olup olmadığı kontrol edilir. Daha sonra, modelin doğruluğunu ve geçerliliğini sağlamak için sonuçlar dikkatlice incelenir. Uygulanabilir olduğu doğrulanan çözümler için bir uygulama planı geliştirilir. Bu plan, çözümün nasıl hayata geçirileceğini ve hangi adımların izleneceğini belirler. Uygulama planı

doğrultusunda, çözüm pratikte de uygulanır. Bu aşamada, çözümün gerçek dünya koşullarında nasıl performans gösterdiği değerlendirilir ve gerekli ayarlamalar yapılır. Çözüm uygulandıktan sonra, sonuçlar izlenir ve değerlendirilir. Bu adımda, çözümün etkinliği ve başarısı ölçülür ve gerektiğinde düzeltici önlemler alınmalıdır. Bu adımlar, lineer optimizasyon süreçlerinin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlar ve çeşitli endüstriyel ve akademik uygulamalarda başarılı sonuçlar elde edilmesine yardımcı olur. [22]

3.4. Su Dağıtımında Lineer Programlama ve Diğer Algoritmalarla Optimizasyonun Literatürdeki Yeri

Literatürde su kaynaklarının efektif kullanımı, su dağıtımının efektif uygulanması ve düşük maliyet ile verimli sonuçlar alınması yönünde çalışmalar bulunmaktadır.

Bunlar arasından en önemlilerinden biri M. Hossein Sabet and James Q. Coe tarafından 1986 yılında yayımlanan “Models For Water and Power Scheduling For The California State Water Project” adlı makaledir. Su akışlarının optimum şekilde planlamak için LP metodu kullanılmıştır. Model hidrolik ve elektriksel programlamaları da barındırmaktadır. Model, 1983'ten beri kullanılmaktadır. Elektrik yüklerini ve kaynakları dengeleyerek enerji alış ve satış programlarını optimize etmektedir. Haftalık ve günlük operasyonlar için test edilmiştir ve doğru ve hızlı çözümler sunduğu saptanmıştır. [23]

Bunun yanı sıra 2010 yılında yayımlanan “Optimisation of water networks using linear programming” isimli makalede ise araştırmacılar, hidrolik ve LP metodu ile optimizasyon analizleri yapılarak, tüm gerekli kısıtlamaları minimum toplam maliyetle karşılayan bir su dağıtım sistemi tasarlamayı hedeflemiştir. Amaç fonksiyonunda maliyeti minimize ederken bu maliyetlerin değişkenlerini boru çapları, rezervuar yükseklikleri ve pompa özelliklerini dikkate alarak hazırlamışlardır. Basınç ve hız değerleri ise kısıtlama olarak modele dahil edilmiştir. Geliştirilen yöntem Hanoi (Vietnam) ağı üzerinde test edilmiştir. Ayrıca, Khorramshahr (İran) şehrinin su dağıtım ağı da analiz edilmiştir. Sonuçlar, önerilen modelin hızlı ve etkili olduğunu göstermektedir. [24]

Yakın zamanda, 2021 yılında yayımlanan “A linear programming approach to optimize demand response for water systems under water demand uncertainties” isimli

çalışma, içme suyu sistemlerinde pompaların programlanmasını optimize eden bir LP modeli sunar. Bu sistemde model, su talebi belirsizliklerini dikkate alarak pompaların çalışma programlarını ve Demand Response (DR) (Talep yanıtı) tekliflerini optimize eder. Amaç, pompa maliyetlerini minimize etmek ve DR mekanizması üzerinden ekonomik fayda sağlamak, yani ekonomik faydayı maksimize etmektir. Fransa'daki gerçek bir içme suyu sistemi üzerinde simülasyonlar yapılmıştır. Sistem, bir üretim tesisi, 11 pompa istasyonu ve 14 dağıtım rezervuarından oluşmaktadır. Ortalama günlük su talebi kış aylarında yaklaşık 50.000 m³tür. Bu simülasyon sonucu su talebi tahmin hataları dikkate alınarak tank seviyeleri optimize edilmiştir. Simülasyon sonuçları, spot piyasa fiyat senaryolarına göre optimal DR güç azaltma stratejilerini analiz etmiştir. [25]

Optimization of Water Distribution Networks Using Genetic Algorithms adlı makale ise lineer programlama dışındaki optimizasyon çözümleri için başarılı bir örnek oluşturmaktadır. Bu çalışmada genetik algoritmaların (GA) su dağıtım şebekelerinin optimizasyonunda nasıl kullanılabileceğini araştırılmaktadır. Genetik algoritmalar, biyolojik evrim süreçlerinden esinlenerek geliştirilmiş meta-sezgisel bir optimizasyon tekniğidir. Çalışmada, GA'nın su dağıtım ağlarının tasarım ve işletiminde maliyet etkinliğini nasıl artırdığı incelenmiştir. Su dağıtım sistemlerinin karmaşık olduğu yapılarda, geleneksel optimizasyon yöntemleri yetersiz kalabilir veya büyük hesaplama kaynakları gerektirebilir. GA, çeşitli senaryolarda etkin bir şekilde uygulanarak, sistem maliyetlerinin düşürülmesi ve su dağıtımının verimliliğinin artırılması için kullanılabilir. Çalışma, GA'nın su dağıtım şebekelerinin tasarımında başarılı olduğunu ve toplam maliyeti önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. [26]

Multi-Objective Optimization of Water Distribution Systems Design Using Ant Colony Optimization adlı makale ise sürü bazlı algoritma örneklerinin kullanımı için etkili bir örnektir. Bu çalışma, karınca kolonisi optimizasyonunun (ACO) su dağıtım sistemlerinin tasarımında nasıl kullanılabileceğini ele almaktadır. ACO, karıncaların yiyecek bulma davranışlarından esinlenen bir meta-sezgisel optimizasyon tekniğidir. Çalışmada, ACO'nun birden fazla hedefi optimize etmek için nasıl kullanılabileceği araştırılmıştır. Örneğin, su dağıtım sistemlerinin tasarımında hem maliyetleri düşürmek hem de sistem güvenilirliğini artırmak hedeflenebilir. ACO, bu hedefler arasında bir denge kurarak, optimum tasarım çözümleri sunmaktadır. Çalışma, ACO'nun farklı su dağıtım sistemleri senaryolarında etkinliğini ve uygulanabilirliğini

göstermektedir. Araştırma, ACO'nun su dağıtım sistemlerinin tasarımında etkin bir şekilde kullanılabilirliğini ve hem maliyetleri düşürmede hem de sistem güvenilirliğini artırmada başarılı olduğunu ortaya koymuştur. ACO, diğer optimizasyon teknikleri ile karşılaştırıldığında yapılan çalışma özelinde başarılı bir performans sergilemiştir. [27]

Bu alanda bir diğer derleme ise Stochastic Optimization for Water Resources Management: A Comprehensive Review adlı çalışmadır. Bu çalışmada ise su kaynakları yönetiminde stokastik optimizasyon yöntemlerinin kullanımı kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. Stokastik optimizasyon, belirsizliklerin olduğu ortamlarda karar verme süreçlerini iyileştirmek için kullanılır. Su kaynakları yönetiminde, hava durumu, su talebi ve diğer faktörlerin belirsizliği göz önüne alındığında stokastik modellerin kullanımı büyük önem taşır. Çalışma, stokastik programlama, dinamik programlama ve Monte Carlo simülasyonları gibi yöntemlerin su kaynakları yönetimindeki çeşitli uygulamalarını tartışmaktadır. Ayrıca, bu yöntemlerin avantajları ve zorlukları ele alınarak, karar vericilere rehberlik edici bilgiler sunulmaktadır. Çalışma, stokastik optimizasyon tekniklerinin su kaynakları yönetiminde belirsizliklerin yönetiminde etkili olduğunu ve karar verme süreçlerini iyileştirdiğini göstermektedir. [28]

GA gibi evrimsel algoritmanın kullandığı bir diğer değerlendirme ise Optimal Operation of Water Distribution Networks with Pressure Control Using Differential Evolution Algorithms adlı çalışma ile yapılabilir. Bu çalışma, diferansiyel evrim algoritmalarının (DEA) su dağıtım ağlarının basınç kontrolü ile birlikte optimal işlevi için nasıl kullanılabilirliğini araştırmaktadır. Diferansiyel evrim, genetik algoritmalara benzeyen ancak nüfus tabanlı bir meta-sezgisel optimizasyon tekniğidir. Çalışmada, DEA'nın su dağıtım sistemlerindeki enerji tüketimini azaltmak ve sistem performansını artırmak için nasıl etkili bir çözüm sunduğu incelenmiştir. DEA, su dağıtım ağlarının basınç yönetimi ile ilgili çeşitli senaryolarda uygulanarak, optimum basınç seviyelerinin ve maliyet etkin operasyon stratejilerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Araştırma, DEA'nın su dağıtım ağlarının basınç kontrolünde etkin bir şekilde kullanılabilirliğini ve enerji maliyetlerini azaltmada önemli başarılar elde ettiğini göstermiştir. DEA, su dağıtım sistemlerinin verimliliğini artırarak, su kayıplarını ve basınç dalgalanmalarını minimize etmiştir. [29]

A Review of Optimization Models for Groundwater Management and Allocation adlı çalışma ise yeraltı sularının yönetimini efektif bir şekilde anlatan çalışmalardandır. Bu çalışma, yeraltı suyu yönetimi ve tahsisi için optimizasyon modellerinin incelenmesini içermektedir. Yeraltı suyu kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, su kaynaklarının etkin kullanımı ve korunması açısından kritik öneme sahiptir. Çalışma, doğrusal programlama, dinamik programlama, çok kriterli karar verme ve genetik algoritmalar gibi çeşitli optimizasyon tekniklerinin su yönetimindeki uygulamalarını tartışmaktadır. Ayrıca, bu modellerin yeraltı suyu kirliliği, aşırı çekim ve tahsis problemleri gibi spesifik su yönetim sorunlarına nasıl çözümler sunduğu ele alınmaktadır. Farklı optimizasyon modellerinin yeraltı suyu yönetimi ve tahsisi konusunda çeşitli avantajlar sunduğunu gösteren bu modeller, yeraltı suyu kaynaklarının daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, su kalitesinin korunması ve kirliliğin önlenmesi konusunda önemli katkılar sağlamaktadır. [30]

“Su Kaynakları Yönetiminde Çoklu Hazne İşletmesi Uygulamaları” başlıklı yüksek lisans tezi ise, su kaynaklarının etkin kullanımını sağlamak, doğru bir planlama ve yönetim stratejisi geliştirerek farklı işletme politikalarını değerlendirmek adına başarılı bir örnektir. Çalışma, Ankara'nın su temin sistemini ele almakta ve bu sistemin geçmiş on iki yılın verileri kullanılarak incelenmesini içermektedir. Tezde, simülasyon modellemesi için MODSIM programı, dinamik programlama için CSUDP yazılımı ve doğrusal olmayan programlama için GAMS paket programı kullanılmıştır. Ankara'nın su ihtiyacını karşılayan yedi hazneli su kaynakları sistemi üzerinde yapılan modellemeler ve senaryolar yardımıyla, mevcut sistemin artan su talebi karşısında nasıl davranacağı ve olası bir kurak dönem yaşanması durumunda su talebinin nasıl karşılanacağı araştırılmıştır. Tez çalışmasının sonuçları, dinamik programlama modeli ile yapılan CSUDP yazılımının, Ankara su temin sistemi için talepleri daha verimli karşıladığını ve diğer modelleme yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. CSUDP modeli, su talebini karşılamada eksiklikleri en aza indirirken, su dağılımını aylara eşit bir şekilde dağıtarak performansını artırmıştır. Ayrıca, artan nüfus ve su talebi karşısında Ankara'nın mevcut su kaynaklarının yetersiz kalacağı ve gelecekte su kıtlığının kaçınılmaz olacağı öngörülmüştür. Olası kuraklık senaryoları altında yapılan modellemeler, iki yıl üst üste yaşanacak kuraklık durumunda su kıtlığının ciddi boyutlara ulaşacağını ve baraj seviyelerinin minimum seviyelere

düŖeceđini ortaya koymuŖtur. Bu bağlamda, su kaynaklarının verimli ve bilinçli bir Ŗekilde iŖletilmesi için iyi bir planlama ve yönetim stratejisinin geliŖtirilmesi gerektiği vurgulanmıŖtır.[31] Su kaynaklarının ve su dağıtım sistemlerinin optimizasyonu üzerine yapılan çalıŖmalar, özellikle LP metodunun kullanımıyla maliyetlerin minimize edilmesi ve verimliliğin artırılması açasından önemli katkılar sađlamıŖtır. Literatür çalıŖmasına ait özet tablo ve çalıŖmalara ait detaylar Çizelge 3.1’de verilmiŖtir.

Çizelge 3.1: Literatür çalıŖmasına ait özet tablo ve özellikleri

ÇalıŖma BaŖlığı	Yıl	AraŖtırmacılar	Metot	Özellikler
California State Water Project İçin Su ve Güç Programlama Modelleri	1986	M. Hossein Sabet, James Q. Coe	LP	California State Water Project için enerji ve su akıŖ optimizasyonu; 1983'ten beri kullanılmaktadır.
Doğrusal Programlama Kullanarak Su Ağlarının Optimizasyonu	2010	Samani, H. M. V. ve Zanganeh, A.	LP	Hanoi ve Khorramshahr ağlarında test edilerek minimum maliyetle su dağıtım sisteminin tasarımı
Su Sistemleri İçin Talep Yanıtını Optimize Etmek İçin Doğrusal Programlama YaklaŖımı	2018	Chouaib, M., Dembele, A., Jouglet, A., & Denoeux, T.	LP	Su talebi belirsizliklerini dikkate alarak pompaların çalıŖma programlarını optimize eder; Fransa'daki gerçek bir sistemde test edilmiŖtir.
Genetik Algoritmalar Kullanarak Su Dağıtım Ağlarının Optimizasyonu	1997	Savic, D. A., & Walters, G. A.	GA	GA kullanarak su dağıtım ağlarının maliyet etkin optimizasyonu
Karıncı Kolonisi Optimizasyonu Kullanarak Su Dağıtım Sistemleri Tasarımının Çok Amaçlı Optimizasyonu	1999	Maier, H. R., & Simpson, A. R.	ACO	ACO kullanarak su dağıtım sistemlerinin maliyet ve güvenilirliğini optimize eden tasarım
Su Kaynakları Yönetimi İçin Stokastik Optimizasyon: Kapsamlı Bir İnceleme	2014	Ahmad, S., & Hossain, F.	Stokastik Optimizasyon	Su kaynakları yönetimi için stokastik optimizasyon yöntemlerinin kapsamlı incelemesi
Basınç Kontrolü ile Su Dağıtım Ağlarının Optimal İŖletimi İçin Diferansiyel Evrim Algoritmaları Kullanımı	2008	Izquierdo, J., Montalvo, I., Pérez, R., & Herrera, M.	DEA	DEA kullanarak su dağıtım ağlarının basınç kontrolü ve optimal iŖletim
Yeraltı Suyu Yönetimi ve Tahsisi İçin Optimizasyon Modellerinin İncelenmesi	2005	Almasri, M. N., & Kaluarachchi, J. J.	ÇeŖitli Optimizasyon Teknikleri	Sürdürülebilir yeraltı suyu yönetimi ve tahsisi için optimizasyon modellerinin incelenmesi
Su Kaynakları Yönetiminde Çoklu Hazne İŖletmesi Uygulamaları	2021	Özcan, T. İ.	Simülasyon, DP, Doğrusal Olmayan Programlama	Ankara'nın su temin sisteminin çeŖitli modelleme teknikleri kullanılarak değerlendirilmesi

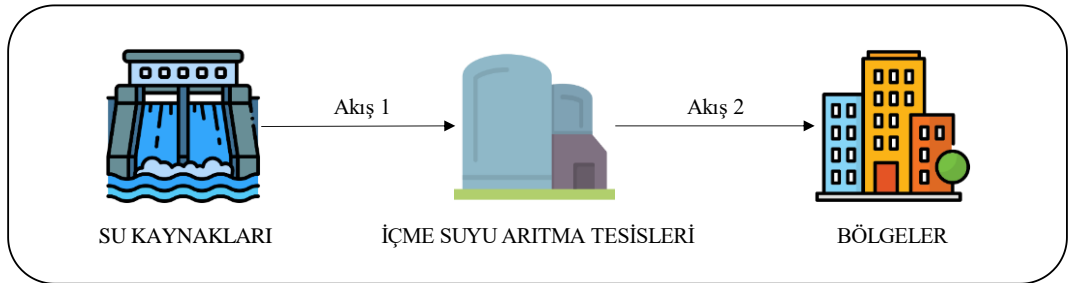


4. İSTANBUL İLİ İÇİN LINEER OPTİMİZASYON MODELİ KURULUMU

Türkiye'nin en kalabalık şehri İstanbul'da ilerleyen dönemlerde de artmaya devam edeceği gözükken nüfusu ile temel kaynakların yeterliliği önemli ve üzerine çalışılması gereken bir konu haline gelmiştir. Tarım alanlarının azalmasına karşın artan nüfus ve endüstriyelleşme su tüketimini önemli bir noktaya getirmiştir. Artan ihtiyacı da göz önünde bulundurarak su kaynaklarının verimli kullanılması ve kullanıcılara efektif bir şekilde ulaştırılması optimizasyon algoritmalarının kullanılmasıyla mümkün kılınabilir. Bu tür uygulamalarda ve diğer tüm sektörlerde yaygın olarak kullanılan ve temel metotlardan bir tanesi Lineer Programlamadır. LP algoritmaları paket programlar ile yapılabileceği gibi programlama dilleri aracılığıyla da yapılabilir.

Bu çalışmada İstanbul'daki su kaynaklarının ve arıtma tesislerinin, bölgelerin ihtiyaçlarını sağlarken efektif kullanılması amacıyla Guido Van Rossum'un geliştirdiği bir programlama dili olan Python'da oluşturulmuş PuLP kütüphanesi ile Lineer Programlama metodu uygulanmıştır.

Model kurulurken yakın (2025), orta (2040) ve uzun (2053) dönem verileri için lineer programlama ile optimizasyon uygulanması hedeflenmiştir. Su kaynaklarından arıtma tesislerine iletilecek su miktarı Akış 1 ($m^3/gün$), tesislerden besleme bölgelerine iletilecek su miktarı Akış 2 ($m^3/gün$) olarak isimlendirilmiştir. Şekil 4.1'de Modelde kullanılan akışların şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.1: Modelde kullanılan akışların şematik gösterimi.

Su kaynakları K, arıtma tesisleri T ve besleme bölgeleri B değişkenleri ile ifade edilmiştir. Su kaynaklarından tesislere akışı ifade eden Akış 1, $a_{1i} = K_j T_k$ ve arıtma tesislerinden bölgelere akışı ifade eden Akış 2, $a_{2i} = T_j B_k$ şeklinde gösterilebilir.

Bu doğrultuda lineer programlamaya ait amaç fonksiyonu, b değişkeninin su kaynakları ve tesisler arasındaki toplam bağlantı sayısı olduğu kabul edilerek kaynaklardan arıtma tesislerine iletilecek su miktarlarının minimum olması olacaktır. Bu eşitlik Denklem 4.1’de verilmiştir.

$$\min \left(\sum_{i=1}^b a_{1i} \right) \quad (4.1)$$

Amaç fonksiyonu uygulanırken 3 ana kısıt grubu değerlendirilmiştir.

Su kaynakları için entegre işletme kapasiteleri C_{Kj} , içme suyu arıtma tesislerinin işletme kapasiteleri C_{Tj} ve besleme bölgelerinin ihtiyaçları C_{Bj} şeklinde kabul edilmiştir. $j = 1, 2, 3, \dots, n$

Birinci kısıt grubunda herhangi bir kaynaktan, bağlantısı olan tesislere giden su miktarı o kaynağın entegre işletme çalışmasından ($m^3/gün$) büyük olamaz. b değeri bağlantı sayısını ifade etmektedir. Bu eşitlik Denklem 4.2’de gösterilmiştir.

$$\sum_{i=1}^b a_{1i} \leq C_{Kj} \quad (4.2)$$

İkinci grupta herhangi bir arıtma tesisinden bağlantısı olan besleme bölgelerine iletilen su miktarı, bağlı olduğu kaynaklarından gelen su miktarından büyük olamaz. Bu ifade Denklem 4.3’te verilmiştir.

$$\sum_{i=1}^{b_2} a_{2i} \leq \sum_{j=1}^{b_1} a_{1j} \quad (4.3)$$

Üçüncü grupta ise arıtma tesislerinden bağlı oldu besleme bölgelerine iletilen su miktarı, besleme bölgelerinin ihtiyaçlarından küçük olamaz. Bu ifade ise Denklem 4.4’te verilmiştir.

$$\sum_{i=1}^b a_{2i} \geq C_{Bj} \quad (4.4)$$

Bu kısıtların yanı sıra Akış 1 ve Akış 2'ye ait değişkenler tanımlanırken PuLP kütüphanesinin sağladığı ölçüde her bir değişken alt ve üst sınır da verilerek kısıtların daha katı bir şekilde uygulanması sağlanmıştır. Akış 1'i ifade eden her değişkenin alt sınırı 0 ve üst sınırı ilgili kaynağın kapasitesi olarak; Akış 2'yi ifade eden her değişkenin ise alt sınırı 0 ve üst sınırı çıkış yaptığı arıtma tesisinin kapasitesi olarak belirtilmiştir. Bu durum Denklem 4.5 ve 4.6'da matematiksel olarak ifade edilmiştir.

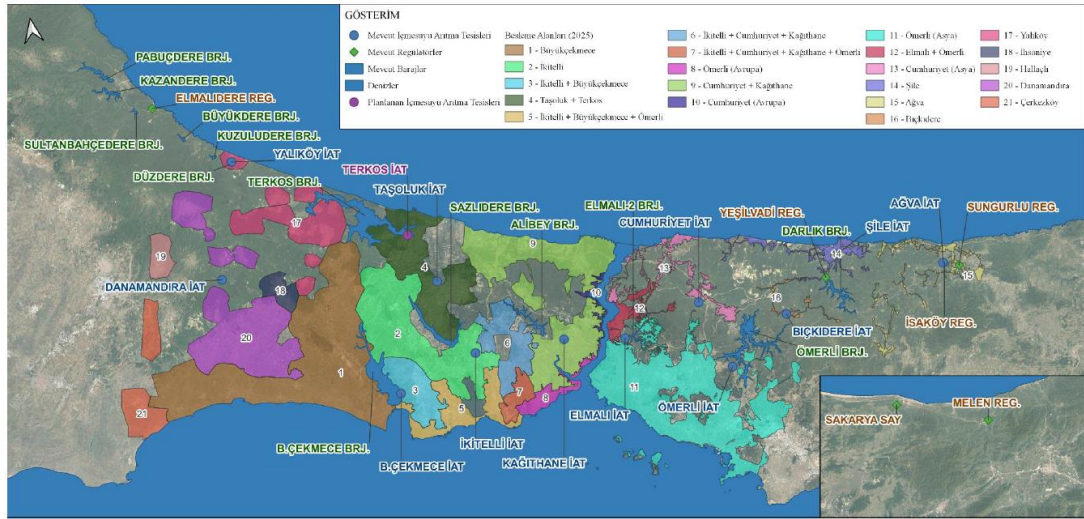
$$0 \leq a_{1i} \leq C_{Ki} \quad (4.5)$$

$$0 \leq a_{2i} \leq C_{Ti} \quad (4.6)$$

İstanbul'daki su dağıtımına ait yakın (2025), orta (2040) ve uzun (2053) dönem verileri; belirtilen kısıtlar, sınırlar ve amaç fonksiyonu ile uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir.

4.1. 2025 Yılı İçin Linear Programlama İle İstanbul'da Su Dağıtımını

2025 yılı için İSKİ'nin master plan çalışmasında öngördüğü içme suyu arıtma tesisleri besleme bölgeleri haritası Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: 2025 yılı için içme suyu arıtma tesisleri besleme bölgeleri haritası.[18]

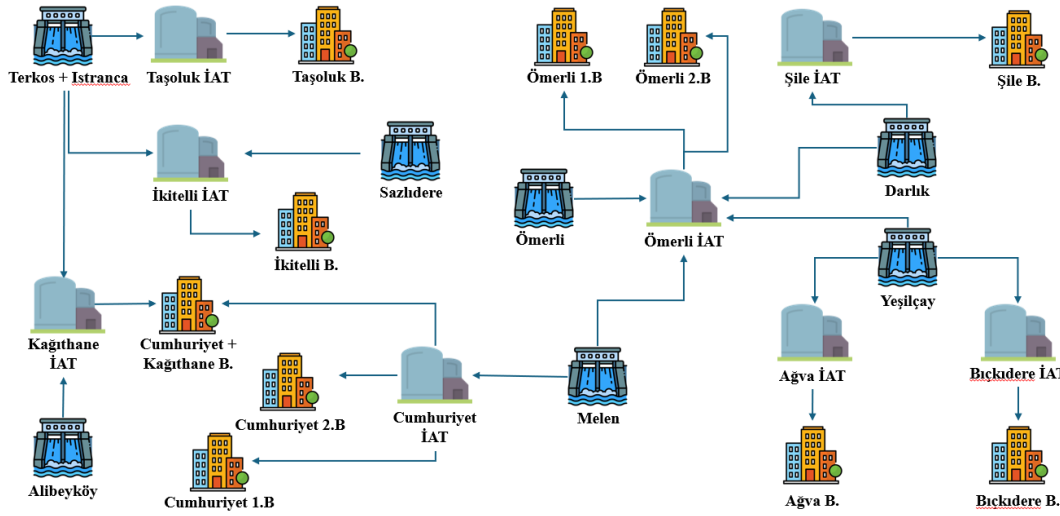
Bu çalışmada linear programlama ile optimizasyon modeli kurulurken bazı varsayımlar yapılmıştır. Ana sisteme bağlı olmadan, kendi içerisinde yeterli çalışabilen kaynaklar, tesisler ve bölgeler sisteme dahil edilmemiştir.

Bu yıla ait projeksiyonda Elmalı, Büyükçekmece ve Kuyu sistemleri (Hallaçlı, Yalıköy, Danamandıra, İhsaniye İAT) modelden çıkarılmıştır. Terkos ve Istranca tek bir sistem olarak kabul edilmiştir. Ancak ona bağlı olan Yalıköy sistemi de kendi

besleme bölgesinin ihtiyacını karşıladığı için o sistemden çıkarılmıştır. İAT Kapasitesi kontrol edilirken Su İhtiyacı Raporu'ndaki gibi mevsimsel pik katsayısı 1.3 alınmıştır. 2025 yılı için öngörülen nüfus 16.495.641 ve kişi başına düşen günlük su tüketimi 190 litre olarak hesaplanmıştır. [18]

Bu sonuçla birlikte su kaynaklarının, tesislerin ve besleme bölgelerinin haritası Şekil 4.1'de gösterilen sembolleri referans alarak Şekil 4.3'te oluşturulmuştur.

Bu modellemede 7 su kaynağı, 8 içme suyu arıtma tesisi ve 10 bölge değerlendirmeye alınmıştır.



Şekil 4.3: 2025 yılı için lineer programlama modelinde kullanılan içme suyu dağıtım sistemi.

Kaynaklara ait oluşturulan kodlar ve kapasiteleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1: 2025 yılı için su kaynakları ve entegre işletme çalışmaları.

Su Kaynağı	Kodu	Entegre İşletme Çalışması (m ³ /gün)
Alibeyköy	KA	123.288
Darlık	KD	224.658
Terkos + Istranca	KIT	594.099
Melen	KM	1.736.986
Ömerli	KO	547.945
Sazlıdere	KS	117.808
Yeşilçay	KY	356.364

İçme suyu arıtma tesisleri, onlara ait oluşturulan kodlar ve işletme kapasiteleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2: 2025 yılı içme suyu arıtma tesisleri ve onlara ait işletme kapasiteleri.

İçme Suyu Arıtma Tesisi	Kodu	İşletme Kapasitesi (m ³ /gün)
Kağıthane İAT	TK	700.000
İkitelli İAT	TI	800.000
Taşoluk İAT	TT	100.000
Cumhuriyet İAT	TC	720.000
Ömerli İAT	TO	2.050.000
Ağva İAT	TA	17.000
Bıçkıdere İAT	TB	4.320
Şile İAT	TS	31.000

Besleme bölgeleri, ilgili kodları ve günlük ihtiyaçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3: 2025 yılı için besleme bölgeleri ve su ihtiyaçları.

Besleme Bölgesi	Kodu	Su İhtiyacı (m ³ /gün)
Ağva B.	BA	3.309
Bıçkıdere B.	BB	1.055
Cumhuriyet 1.B	BC1	13.856
Cumhuriyet 2.B	BC2	13.944
Cumhuriyet B. + Kağıthane B.	BCK	835.066
İkitelli B.	BI	370.177
Ömerli 1.B	BO1	1.053.039
Ömerli 2.B	BO2	470.847
Şile B.	BS	7.264
Taşoluk B.	BT	77.107

Çizelge 4.4'te, su kaynaklarından tesislere giden su miktarlarını ifade eden ve daha önce Akış 1 olarak adlandırılan değişkenler, kaynak ve tesis bağlantıları göz önünde bulundurularak isimlendirilmiş, alt ve üst sınırlarının belirlenmiştir.

Çizelge 4.4: 2025 yılında Akış 1 için değişkenlerin tanımlanması.

Su Kaynağı	Arıtma Tesisleri	Değişken İsmi	Alt ve Üst Sınırlar
Ömerli	Ömerli İAT	KO_TO	(0, 547945)
Darlık	Ömerli İAT	KD_TO	(0, 224658)
Darlık	Şile İAT	KD_TS	(0, 224658)
Yeşilçay	Ömerli İAT	KY_TO	(0, 356164)
Yeşilçay	Ağva İAT	KY_TA	(0, 356164)
Yeşilçay	Bıçkıdere İAT	KY_TB	(0, 356164)
Melen	Ömerli İAT	KM_TO	(0, 1736986)
Melen	Cumhuriyet İAT	KM_TC	(0, 1736986)
Terkos + Istranca	Taşoluk İAT	KIT_TT	(0, 594099)
Terkos + Istranca	İkitelli İAT	KIT_TI	(0, 594099)
Terkos + Istranca	Kağıthane İAT	KIT_TK	(0, 594099)
Sazlıdere	İkitelli İAT	KS_TI	(0, 117808)
Alibeyköy	Kağıthane İAT	KA_TK	(0, 123288)

Hazırlanan değişkenler sonucunda amaç fonksiyonu ise Denklem 4.7'deki gibi oluşturulmuştur.

$$\min(KO_TO + KD_TO + KD_TS + KY_TO + KY_TA + KY_TB + KM_TO + KM_TC + KIT_TT + KIT_TI + KIT_TK + KS_TI + KA_TK) \quad (4.7)$$

Çizelge 4.5'te arıtma tesislerinden besleme bölgelerine giden su miktarlarını ifade eden ve daha önce Akış 2 olarak adlandırılan değişkenler, tesis ve bölge bağlantıları göz önünde bulundurularak isimlendirilmiş, alt ve üst sınırlarının belirlenmiştir.

Çizelge 4.5: 2025 yılında akış 2 için değişkenlerin tanımlanması.

Arıtma Tesisleri	Besleme Bölgesi	Değişken İsmi	Alt ve Üst Sınırlar
Ömerli İAT	Ömerli 1.B	TO_BO1	(0, 2050000)
Ömerli İAT	Ömerli 2.B	TO_BO2	(0, 2050000)
Şile İAT	Şile B.	TS_BS	(0, 31000)
Bıçkıdere İAT	Bıçkıdere B.	TB_BB	(0, 4320)
Ağva İAT	Ağva B.	TA_BA	(0, 17000)
Taşoluk İAT	Taşoluk B.	TT_BT	(0, 100000)
İkitelli İAT	İkitelli B.	TI_BI	(0, 800000)
Cumhuriyet İAT	Cumhuriyet 1.B	TC_BC1	(0, 720000)
Cumhuriyet İAT	Cumhuriyet 2.B	TC_BC2	(0, 720000)
Cumhuriyet İAT	Cumhuriyet B. + Kağıthane B.	TC_BCK	(0, 720000)
Kağıthane İAT	Cumhuriyet B. + Kağıthane B.	TK_BCK	(0, 700000)

Kısıtlar, modellemede daha önce de belirtildiği gibi üç ana grupta uygulanmıştır.

Kaynaktan, bağlantısı olan tesislere giden su miktarı Akış 1 için uygulanan kısıtlar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6: Akış 1 için kısıtlar.

No	Su Kaynağı	Akış 1 Değişken	Operatör	Akış 1 (m ³ /gün)
1	Ömerli	KO_TO	≤	547.945
2	Darlık	KD_TO + KD_TS	≤	224.658
3	Yeşilçay	KY_TO + KY_TA + KY_TB	≤	356.164
4	Melen	KM_TO + KM_TC	≤	1.736.986
5	Terkos + Istranca	KIT_TT + KIT_TI + KIT_TK	≤	594.099
6	Sazlıdere	KS_TI	≤	117.808
7	Alibeyköy	KA_TK	≤	123.288

Kaynaktan, bağlantısı olan tesislere giden su miktarı Akış 1 ve tesislerden besleme bölgelerine giden su miktarı Akış 2 arasında olan kısıtlar ise Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7: Akış 1 ve 2 için kısıtlar.

No	Arıtma Tesisi	Akış 2	Operatör	Akış 1
1	Ömerli İAT	TO_BO1 + TO_BO2	≤	KO_TO + KD_TO + KY_TO + KM_TO
2	Şile İAT	TS_BS	≤	KD_TS
3	Bıçkıdere İAT	TB_BB	≤	KY_TB
4	Ağva İAT	TA_BA	≤	KY_TA
5	Taşoluk İAT	TT_BT	≤	KIT_TT
6	İkitelli İAT	TI_BI	≤	KIT_TI + KS_TI
7	Cumhuriyet İAT	TC_BC1 + TC_BC2 + TC_BCK	≤	KM_TC
8	Kağıthane İAT	TK_BCK	≤	KA_TK + KIT_TK

Tesislerden besleme bölgelerine giden su miktarı Akış 2'ye ait kısıtlar Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

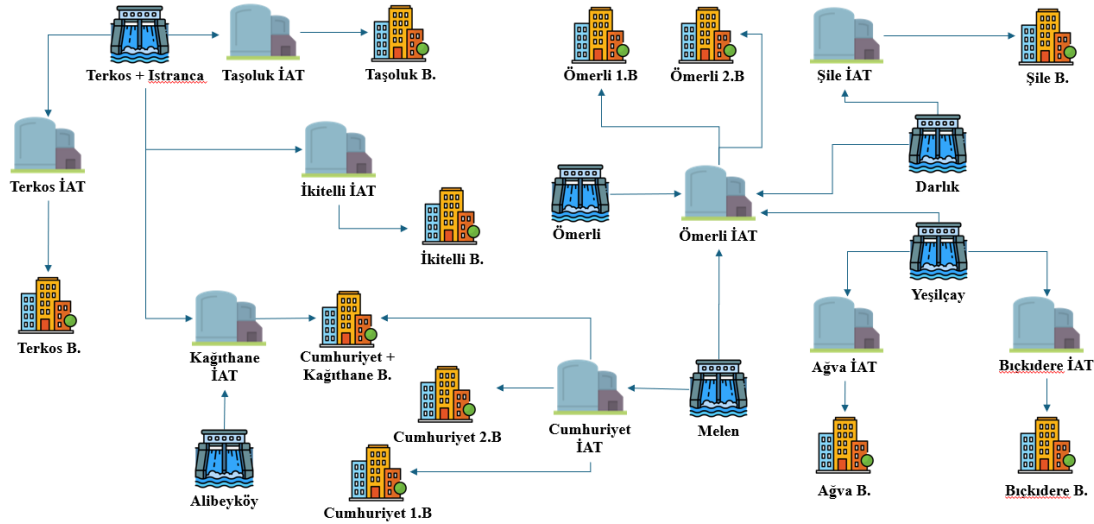
Bu çalışmada lineer programlama ile optimizasyon modeli kurulurken bazı varsayımlar yapılmıştır. Ana sisteme bağlı olmadan, kendi içerisinde yeterli çalışabilen kaynaklar, tesisler ve bölgeler sisteme dahil edilmemiştir.

2025 yılında olduğu gibi 2040 yılı için de Elmalı, Büyükçekmece ve Kuyu sistemleri modelden çıkarılmıştır. Terkos ve Istranca tek bir sistem olarak kabul edilmiştir. Sazlıdere her ihtimale karşı 2040 yılında modelden çıkarılmıştır. Terkos için ayrıca bir arıtma tesisi ve besleme bölgesi eklenmiştir. İSKİ'nin master planında belirtildiği gibi tesis ve kaynak kapasiteleri artırılarak/revize edilerek uygulama yapılmıştır. Ayrıca, Melen Barajı'nın devreye girmesi kurgusu ile Kağıthane İAT'nin kapasitesi 700.000 m³/gün'den 400.000 m³/gün'e düşürülmüştür. Kağıthane İAT'nin Yıldırım Bayezid tesisinin devreden çıkarılması ile kazanılacak alana Melen sisteminden gelen suyu depolayacak özellikle arıza durumunda Avrupa yakasındaki su arz güvenliğini kısa süreli olarak sağlayacak şekilde büyük hacimli depo yapılması planlanmaktadır. Bu yaklaşım 2053 yılı için de aynı şekilde değerlendirilecektir. Bölge ihtiyaçları nüfus artış tahminleriyle İSKİ tarafından belirlenmiştir. İAT Kapasitesi kontrol edilirken Su İhtiyacı Raporu'ndaki gibi mevsimsel pik katsayısı 1.3 alınmıştır. 2030 yılına kadar Taşoluk İAT 3. kademenin devreye alınacağı varsayılmıştır. Melen Barajı'nın 2030 yılında devreye girerek 2040 yılına kadar kademeli olarak genişleyeceği kabul edilmiştir. Ayrıca Melen Barajı devreye girdikten sonra Master Plan kapsamında Kağıthane İAT'nin Yıldırım Beyazıt kademesi devre dışı bırakılarak kalan alana depo inşa edilmesi planlanmaktadır. Cumhuriyet 2. ve 3. kademelerinin 2030 yılına kadar devreye girmesi beklenmektedir. Terkos İAT'nin 2025 yılından sonra devreye alınacağı kabul edilmiştir. [18]

2040 yılı için öngörülen nüfus 20.004.088 ve kişi başına düşen günlük su tüketimi 200 litre olarak hesaplanmıştır. [18]

Bu sonuçla birlikte su kaynaklarının, tesislerin ve besleme bölgelerinin haritası Şekil 4.1'de gösterilen sembolleri referans alarak Şekil 4.5'te oluşturulmuştur.

Bu modellemede 6 su kaynağı, 9 içme suyu arıtma tesisi ve 11 bölge değerlendirmeye alınmıştır.



Şekil 4.5: 2040 yılı için LP modelinde kullanılan içme suyu dağıtım sistemi.

Kaynaklara ait oluşturulan kodlar ve kapasiteleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9: 2040 yılı için su kaynakları ve entegre işletme çalışmaları.

Su Kaynağı	Kodu	Entegre İşletme Çalışması (m ³ /gün)
Alibeyköy	KA	123.288
Darlık	KD	224.658
Terkos + Istranca	KIT	602.740
Melen	KM	1.937.230
Ömerli	KO	547.945
Yeşilçay	KY	356.164

İçme suyu arıtma tesisleri, onlara ait oluşturulan kodlar ve işletme kapasiteleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10: 2040 yılı için içme suyu arıtma tesisleri ve işletme kapasiteleri.

İçme Suyu Arıtma Tesisi	Kodu	İşletme Kapasitesi (m ³ /gün)
Cumhuriyet İAT	TC	2.160.000
Kağıthane İAT	TK	400.000
İkitelli İAT	TI	800.000
Taşoluk İAT	TT	150.000
Ömerli İAT	TO	2.050.000
Ağva İAT	TA	17.000
Bıçkıdere İAT	TB	4.320
Terkos İAT	TTS	120.000
Şile İAT	TS	31.000

Besleme bölgeleri, ilgili kodları ve günlük ihtiyaçları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11: 2040 yılı için besleme bölgeleri ve ihtiyaçları.

Besleme Bölgesi	Kodu	Su İhtiyacı (m ³ /gün)
Ağva B.	BA	4.912
Bıçkıdere B.	BB	1.567
Cumhuriyet 1.B	BC1	61.657
Cumhuriyet 2.B	BC2	1.112.085
Cumhuriyet B. + Kağıthane B.	BCK	763.898
İkitelli B.	BI	320.349
Ömerli 1.B	BO1	1.239.834
Ömerli 2.B	BO2	111.128
Şile B.	BS	17.866
Taşoluk B.	BT	103.588
Terkos B.	BTS	55.140

Çizelge 4.12’de, su kaynaklarından tesislere giden su miktarlarını ifade eden ve daha önce Akış 1 olarak adlandırılan değişkenler, kaynak ve tesis bağlantıları göz önünde bulundurularak isimlendirilmiş, alt ve üst sınırlarının belirlenmiştir.

Çizelge 4.12: 2040 yılında Akış 1 için değişkenlerin tanımlanması.

Su Kaynağı	Arıtma Tesisleri	Değişken İsmi	Alt ve Üst Sınırlar
Ömerli	Ömerli İAT	KO_TO	(0, 547945)
Darlık	Ömerli İAT	KD_TO	(0, 224658)
Darlık	Şile İAT	KD_TS	(0, 224658)
Yeşilçay	Ömerli İAT	KY_TO	(0, 356164)
Yeşilçay	Ağva İAT	KY_TA	(0, 356164)
Yeşilçay	Bıçkıdere İAT	KY_TB	(0, 356164)
Melen	Ömerli İAT	KM_TO	(0, 1937230)
Melen	Cumhuriyet İAT	KM_TC	(0, 1937230)
Terkos + Istranca	Taşoluk İAT	KIT_TT	(0, 602740)
Terkos + Istranca	İkitelli İAT	KIT_TI	(0, 602740)
Terkos + Istranca	Kağıthane İAT	KIT_TK	(0, 602740)
Terkos + Istranca	Terkos İAT	KIT_TTS	(0, 602740)
Alibeyköy	Kağıthane İAT	KA_TK	(0, 123288)

Hazırlanan değişkenler sonucunda amaç fonksiyonu ise Denklem 4.8’deki gibi oluşturulmuştur.

$$\min(KO_{TO} + KD_{TO} + KD_{TS} + KY_{TO} + KY_{TA} + KY_{TB} + KM_{TO} + KM_{TCK} + KIT_{TT} + KIT_{TI} + KIT_{TCK} + KIT_{TTS} + KA_{TCK}) \quad (4.8)$$

Çizelge 4.13'te arıtma tesislerinden besleme bölgelerine giden su miktarlarını ifade eden ve daha önce Akış 2 olarak adlandırılan değişkenler, tesis ve bölge bağlantıları göz önünde bulundurularak isimlendirilmiş, alt ve üst sınırlarının belirlenmiştir.

Çizelge 4.13: 2040 yılında Akış 2 için değişkenlerin tanımlanması.

Arıtma Tesisleri	Besleme Bölgesi	Değişken İsmi	Alt ve Üst Sınırlar
Ömerli İAT	Ömerli 1.B	TO_BO1	(0, 2050000)
Ömerli İAT	Ömerli 2.B	TO_BO2	(0, 2050000)
Şile İAT	Şile B.	TS_BS	(0, 31000)
Bıçkıdere İAT	Bıçkıdere B.	TB_BB	(0, 4320)
Ağva İAT	Ağva B.	TA_BA	(0, 17000)
Taşoluk İAT	Taşoluk B.	TT_BT	(0, 150000)
İkitelli İAT	İkitelli B.	TI_BI	(0, 800000)
Cumhuriyet İAT	Cumhuriyet 1.B	TC_BC1	(0, 2160000)
Cumhuriyet İAT	Cumhuriyet 2.B	TC_BC2	(0, 2160000)
Cumhuriyet İAT	Cumhuriyet B. + Kağıthane B.	TC_BCK	(0, 2160000)
Kağıthane İAT	Cumhuriyet B. + Kağıthane B.	TK_BCK	(0, 400000)
Terkos İAT	Terkos B.	TTS_BTS	(0, 120000)

Kısıtlar, modellemede daha önce de belirtildiği gibi üç ana grupta uygulanmıştır.

Kaynaktan, bağlantısı olan tesislere giden su miktarı Akış 1 için uygulanan kısıtlar Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.14: 2040 yılında Akış 1 için kısıtlar.

No	Su Kaynağı	Akış 1 Değişken	Operatör	Akış 1 (m ³ /gün)
1	Ömerli	KO_TO	≤	547.945
2	Darlık	KD_TO + KD_TS	≤	224.658
3	Yeşilçay	KY_TO + KY_TA + KY_TB	≤	356.164
4	Melen	KM_TO + KM_TCK	≤	1.937.230
5	Terkos + Istranca	KIT_TT + KIT_TI + KIT_TTS + KIT_TCK	≤	602.740
6	Alibeyköy	KA_TCK	≤	123.288

Kaynaktan, bağlantısı olan tesislere giden su miktarı Akış 1 ve tesislerden besleme bölgelerine giden su miktarı Akış 2 arasında olan kısıtlar ise Çizelge 4.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.15: 2040 yılında Akış 1 ve Akış 2 için kısıtlar.

No	Arıtma Tesisi	Akış 2 Değişken	Operatör	Akış 1 Değişken
1	Ömerli İAT	TO_BO1 + TO_BO2	≤	KO_TO + KD_TO + KY_TO + KM_TO
2	Şile İAT	TS_BS	≤	KD_TS
3	Bıçkıdere İAT	TB_BB	≤	KY_TB
4	Ağva İAT	TA_BA	≤	KY_TA
5	Taşoluk İAT	TT_BT	≤	KIT_TT
6	İkitelli İAT	TI_BI	≤	KIT_TI
7	Cumhuriyet İAT	TC_BC1 + TC_BC2 + TC_BCK	≤	KM_TCK + KIT_TCK + KA_TCK
7	Kağıthane İAT	TK_BCK	≤	KIT_TK + KA_TK
8	Terkos İAT	TTS_BTS	≤	KIT_TTS

Tesislerden besleme bölgelerine giden su miktarı Akış 2'ye ait kısıtlar Çizelge 4.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.16: 2040 yılında Akış 2 için kısıtlar.

No	Besleme Bölgesi	Akış 2 Değişken	Operatör	Akış 2 (m ³ /gün)
1	Ağva B.	TA_BA	≥	4.912
2	Bıçkıdere B.	TB_BB	≥	1.567
3	Cumhuriyet 1.B	TC_BC1	≥	61.657
4	Cumhuriyet 2.B	TC_BC2	≥	1.112.085
5	Cumhuriyet B. + Kağıthane B.	TC_BCK + TK_BCK	≥	763.898
6	İkitelli B.	TI_BI	≥	320.349
7	Ömerli 1.B	TO_BO1	≥	1.239.834
8	Ömerli 2.B	TO_BO2	≥	111.128
9	Şile B.	TS_BS	≥	17.866
10	Taşoluk B.	TT_BT	≥	103.588
11	Terkos B.	TTS_BTS	≥	55.140

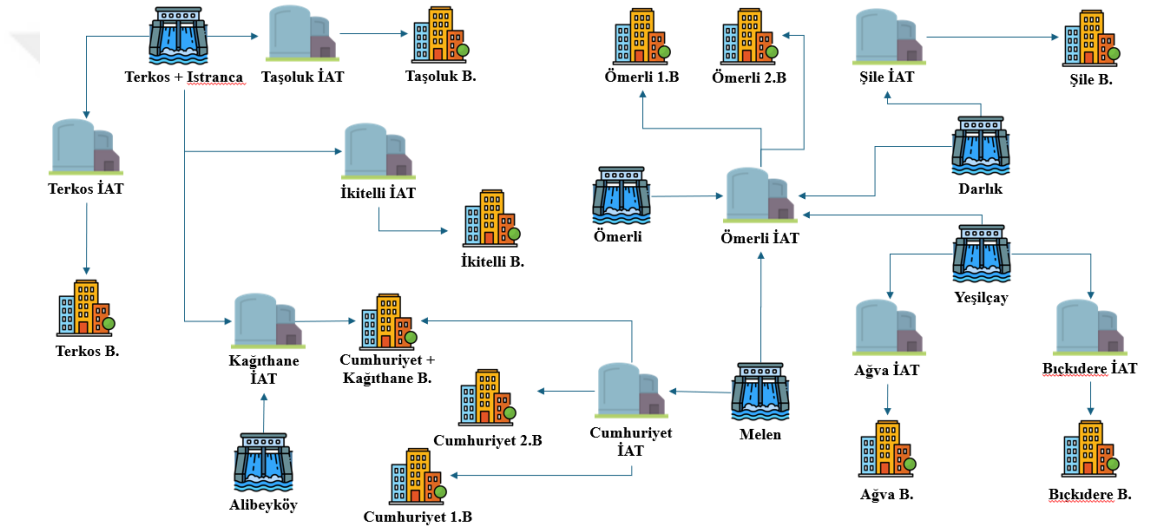
İlgili çizelgelerde tanımlanan değişkenler, uygulanan kısıtlar ve oluşturulan amaç fonksiyonu EK B'de gösterildiği gibi Python'da PuLP kütphanesi aracılığıyla kodlanmıştır.

2025 yılından sonra devreye alınacağı kabul edilmiştir. Cumhuriyet 4. kademenin 2038 yılına kadar devreye girmesi öngörülmektedir. [18]

2053 yılı için öngörülen nüfus 20.902.492 ve kişi başına düşen günlük su tüketimi 210 litre olarak hesaplanmıştır. [18]

Bu sonuçla birlikte su kaynaklarının, tesislerin ve besleme bölgelerinin haritası Şekil 4.1’de gösterilen sembolleri referans alarak Şekil 4.7’de oluşturulmuştur.

Bu modellemeye de 6 su kaynağı, 9 içme suyu arıtma tesisi ve 11 bölge değerlendirmeye alınmıştır. 2040 yılından farkı sadece kapasiteler ve ihtiyaçlar olmuştur.



Şekil 4.7: 2053 yılı için lineer programlama modelinde kullanılan içme suyu dağıtım sistemi.

Kaynaklara ait oluşturulan kodlar ve kapasiteleri Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17: 2053 yılı için su kaynakları ve entegre işletme çalışmaları.

Su Kaynağı	Kodu	Entegre İşletme Çalışması (m ³ /gün)
Alibeyköy	KA	123.288
Darlık	KD	224.658
Terkos + Istranca	KIT	602.740
Melen	KM	2.311.882
Ömerli	KO	547.945
Yeşilçay	KY	356.164

İçme suyu arıtma tesisleri, onlara ait oluşturulan kodlar ve işletme kapasiteleri Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18: 2053 yılı için içme suyu arıtma tesisleri ve işletme kapasiteleri.

Arıtma Tesisi	Kodu	İşletme Kapasitesi (m ³ /gün)
Cumhuriyet İAT	TC	2.880.000
Kağıthane İAT	TK	400.000
İkitelli İAT	TI	800.000
Taşoluk İAT	TT	150.000
Ömerli İAT	TO	2.050.000
Ağva İAT	TA	17.000
Bıçkıdere İAT	TB	4.320
Terkos İAT	TTS	120.000
Şile İAT	TS	31.000

Besleme bölgelerinin, ilgili kodları ve günlük ihtiyaçları Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19: 2053 yılı için besleme bölgeleri ve ihtiyaçları.

Besleme Bölgesi	Kodu	Su İhtiyacı (m ³ /gün)
Ağva B.	BA	5.530
Bıçkıdere B.	BB	1.757
Cumhuriyet 1.B	BC1	70.469
Cumhuriyet 2.B	BC2	1.202.751
Cumhuriyet B. + Kağıthane B.	BCK	836.848
İkitelli B.	BI	364.511
Ömerli 1.B	BO1	1.373.251
Ömerli 2.B	BO2	118.971
Şile B.	BS	20.899
Taşoluk B.	BT	111.871
Terkos B.	BTS	59.818

Çizelge 4.20’de, su kaynaklarından tesislere giden su miktarlarını ifade eden ve daha önce Akış 1 olarak adlandırılan değişkenler, kaynak ve tesis bağlantıları göz önünde bulundurularak isimlendirilmiş, alt ve üst sınırlarının belirlenmiştir.

Çizelge 4.20: 2053 yılında Akış 1 için değişkenlerin tanımlanması.

Su Kaynağı	İçme Suyu Arıtma Tesisleri	Değişken İsmi	Alt ve Üst Sınırlar
Ömerli	Ömerli İAT	KO_TO	(0, 547945)
Darlık	Ömerli İAT	KD_TO	(0, 224658)
Darlık	Şile İAT	KD_TS	(0, 224658)
Yeşilçay	Ömerli İAT	KY_TO	(0, 356164)
Yeşilçay	Ağva İAT	KY_TA	(0, 356164)
Yeşilçay	Bıçkıdere İAT	KY_TB	(0, 356164)
Melen	Ömerli İAT	KM_TO	(0, 2311882)
Melen	Cumhuriyet İAT	KM_TC	(0, 2311882)
Terkos + Istranca	Taşoluk İAT	KIT_TT	(0, 602740)
Terkos + Istranca	İkitelli İAT	KIT_TI	(0, 602740)
Terkos + Istranca	Kağıthane İAT	KIT_TK	(0, 602740)
Terkos + Istranca	Terkos İAT	KIT_TTS	(0, 602740)
Alibeyköy	Kağıthane İAT	KA_TK	(0, 123288)

Hazırlanan değişkenler sonucunda amaç fonksiyonu ise 2040 yılında olduğu gibi Denklem 4.9'daki gibi oluşturulmuştur.

$$\min(KO_TO + KD_TO + KD_TS + KY_TO + KY_TA + KY_TB + KM_TO + KM_TCK + KIT_TT + KIT_TI + KIT_TCK + KIT_TTS + KA_TCK) \quad (4.9)$$

Çizelge 4.21'de arıtma tesislerinden besleme bölgelerine giden su miktarlarını ifade eden ve daha önce Akış 2 olarak adlandırılan değişkenler, tesis ve bölge bağlantıları göz önünde bulundurularak isimlendirilmiş, alt ve üst sınırlarının belirlenmiştir.

Çizelge 4.21: 2053 yılında Akış 2 için değişkenlerin tanımlanması.

Arıtma Tesisleri	Besleme Bölgesi	Değişken İsmi	Alt ve Üst Sınırlar
Ömerli İAT	Ömerli 1.B	TO_BO1	(0, 2050000)
Ömerli İAT	Ömerli 2.B	TO_BO2	(0, 2050000)
Şile İAT	Şile B.	TS_BS	(0, 31000)
Bıçkıdere İAT	Bıçkıdere B.	TB_BB	(0, 4320)
Ağva İAT	Ağva B.	TA_BA	(0, 17000)
Taşoluk İAT	Taşoluk B.	TT_BT	(0, 150000)
İkitelli İAT	İkitelli B.	TI_BI	(0, 800000)
Cumhuriyet İAT	Cumhuriyet 1.B	TC_BC1	(0, 2880000)
Cumhuriyet İAT	Cumhuriyet 2.B	TC_BC2	(0, 2880000)
Cumhuriyet İAT	Cumhuriyet B. + Kağıthane B.	TC_BCK	(0, 2880000)
Kağıthane İAT	Cumhuriyet B. + Kağıthane B.	TK_BCK	(0, 400000)
Terkos İAT	Terkos B.	TTS_BTS	(0, 120000)

Belirtilen kısıtlar modellemeye diğer yıllarla aynı şekilde üç ana grupta uygulanmıştır.

Kaynaktan, bağlantısı olan tesislere giden su miktarı Akış 1 için uygulanan kısıtlar Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22: 2053 yılında Akış 1 için kısıtlar.

No	Su Kaynağı	Akış 1 Değişken	Operatör	Akış 1 (m ³ /gün)
1	Ömerli	KO_TO	≤	547.945
2	Darlık	KD_TO + KD_TS	≤	224.658
3	Yeşilçay	KY_TO + KY_TA + KY_TB	≤	356.164
4	Melen	KM_TO + KM_TC	≤	2.311.882
5	Terkos + Istranca	KIT_TT + KIT_TI + KIT_TTS + KIT_TK	≤	602.740
6	Alibeyköy	KA_TK	≤	123.288

Kaynaktan, bağlantısı olan tesislere giden su miktarı Akış 1 ve tesislerden besleme bölgelerine giden su miktarı Akış 2 arasında olan kısıtlar ise Çizelge 4.23’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.23: 2053 yılında Akış 1 ve 2 için kısıtlar.

No	Artırma Tesisi	Akış 2 Değişken	Operatör	Akış 1 Değişken
1	Ömerli İAT	TO_BO1 + TO_BO2	≤	KO_TO + KD_TO + KY_TO + KM_TO
2	Şile İAT	TS_BS	≤	KD_TS
3	Bıçkıdere İAT	TB_BB	≤	KY_TB
4	Ağva İAT	TA_BA	≤	KY_TA
5	Taşoluk İAT	TT_BT	≤	KIT_TT
6	İkitelli İAT	TI_BI	≤	KIT_TI
7	Cumhuriyet İAT	TC_BC1 + TC_BC2 + TC_BCK	≤	KM_TCK + KIT_TCK + KA_TCK
8	Kağıthane İAT	TK_BCK	≤	KIT_TK + KA_TK

Tesislerden besleme bölgelerine giden su miktarı Akış 2’ye ait kısıtlar Çizelge 4.24’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.24: 2053 yılında Akış 2 için kısıtlar.

No	Besleme Bölgesi	Akış 2 Değişken	Operatör	Akış 2 (m ³ /gün)
1	Ağva B.	TA_BA	≥	5.530
2	Bıçkıdere B.	TB_BB	≥	1.757
3	Cumhuriyet 1.B	TC_BC1	≥	70.469
4	Cumhuriyet 2.B	TC_BC2	≥	1.202.751
5	Cumhuriyet B. + Kağıthane B.	TC_BCK + TK_BCK	≥	836.848
6	İkitelli B.	TI_BI	≥	364.511
7	Ömerli 1.B	TO_BO1	≥	1.373.251
8	Ömerli 2.B	TO_BO2	≥	118.971
9	Şile B.	TS_BS	≥	20.899
10	Taşoluk B.	TT_BT	≥	111.871
11	Terkos B.	TTS_BTS	≥	59.818

İlgili çizelgelerde tanımlanan değişkenler, uygulanan kısıtlar ve oluşturulan amaç fonksiyonu EK C’de gösterildiği gibi Python’da PuLP kütphanesi aracılığıyla kodlanmıştır.



5. MODEL SONUÇLARININ ANALİZ EDİLMESİ VE SENARYOLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Python'da PuLP kütüphanesi ile uygulanan lineer programlama ile optimizasyon çalışması sonucu 2025, 2040 ve 2053 yılları için Akış 1 ve Akış 2 verileri elde edilmiş, sonuçların kapasiteye karşın yüzdelik dilimi hesaplanmış, kaynaklardan ve tesislerden çıkan toplam su miktarlarının da kapasitelerle mukayesesi yapılarak raporlanmıştır. Üç periyot için de çözümün/çalışmanın optimal olduğu gözlemlenmiştir ve beslenme bölgelerindeki ihtiyaçların tamamı minimum seviyede karşılanmıştır.

5.1. 2025 Yılı İçin Sonuçlar

2025 yılı için Akış 1 değerleri ve ona ait alt-üst sınır değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Sonuçların kaynak işletme kapasitesine oranı ise kullanım yüzdesi olarak verilmiştir.

Çizelge 5.1: 2025 yılında akış 1 için sonuçlar.

Değişken İsmi	Akış 1 (m ³ /gün)	Alt ve Üst Sınırlar	Kullanım (%)
KO_TO	547.945	(0, 547945)	100%
KD_TO	217.394	(0, 224658)	97%
KD_TS	7.264	(0, 224658)	3%
KY_TO	351.800	(0, 356164)	99%
KY_TA	3.309	(0, 356164)	1%
KY_TB	1.055	(0, 356164)	0,3%
KM_TO	406.747	(0, 1736986)	23%
KM_TC	474.955	(0, 1736986)	27%
KIT_TT	77.107	(0, 594099)	13%
KIT_TI	252.369	(0, 594099)	42%
KIT_TK	264.623	(0, 594099)	45%
KS_TI	117.808	(0, 117808)	100%
KA_TK	123.288,00	(0, 123288)	100%

Akış 2 değerleri, sınırları ve bu değerlere ait kullanım yüzdeleri Çizelge 5.2'de raporlanmıştır.

Çizelge 5.2: 2025 yılında Akış 2 için sonuçlar.

Değişken İsmi	Akış 2 (m ³ /gün)	Alt ve Üst Sınırlar	Kullanım (%)
TO_BO1	1.053.039	(0, 2050000)	51%
TO_BO2	470.847	(0, 2050000)	23%
TS_BS	7.264	(0, 31000)	23%
TB_BB	1.055	(0, 4320)	24%
TA_BA	3.309	(0, 17000)	19%
TT_BT	77.107	(0, 100000)	77%
TI_BI	370.177	(0, 800000)	46%
TC_BC1	13.856	(0, 720000)	2%
TC_BC2	13.944	(0, 720000)	2%
TC_BCK	447.155	(0, 720000)	62%
TK_BCK	387.911	(0, 700000)	55%

Akış 1'e ait değerler konsolide edilerek her bir kaynaktan çıkan toplam su miktarları hesaplanmış ve Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3: 2025 yılı için Akış 1 sonuçlarının kaynaktan çıkan toplam su miktarları ile mukayesesi.

Su Kaynağı	Kodu	Ent. İş. Çalışması (m ³ /gün)	Kaynaktan Çık. Top. Su Mik. (m ³ /gün)	Kullanım (%)
Alibeyköy	KA	123.288	123.288	100%
Darlık	KD	224.658	224.658	100%
Terkos + Istranca	KIT	594.099	594.099	100%
Melen	KM	1.736.986	881.702	51%
Ömerli	KO	547.945	547.945	100%
Sazlıdere	KS	117.808	117.808	100%
Yeşilçay	KY	356.364	356.164	100%

Akış 2'ye ait değerler konsolide edilerek her bir tesisten besleme bölgelerine iletilen su miktarları hesaplanmış ve Çizelge 5.4 de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4: 2025 yılı için Akış 2 sonuçlarının tesisten çıkan toplam su miktarları ile mukayesesi.

İçme Suyu Arıtma Tesisi	Kodu	İş. Kap. (m ³ /gün)	Tesisten Çık. Top. Su Mik. (m ³ /gün)	Kullanım (%)
Kağıthane İAT	TK	700.000	387.911	55%
İkitelli İAT	TI	800.000	370.177	46%
Taşoluk İAT	TT	100.000	77.107	77%
Cumhuriyet İAT	TC	720.000	474.955	66%
Ömerli İAT	TO	2.050.000	1.523.886	74%
Ağva İAT	TA	17.000	3.309	19%
Bıçkıldere İAT	TB	4.320	1.055	24%
Şile İAT	TS	31.000	7.264	23%

En büyük çalışma kapasitesine sahip Melen kaynağı hariç su kaynaklarının tam kapasite ile kullanıldığı saptanmaktadır. Melen’de günlük 885.284 m³ suyun ihtiyaç fazlası olduğu saptanmıştır. Bu değer kapatılması gündemde olan Sazlıdere Barajı kapatıldığında dahi sisteme yeterli suyu sağlayabilecek bir miktardır. Melen, Çizelge 5.1’de görüldüğü üzere Ömerli İAT’ye günde 406.747 m³, Cumhuriyet İAT’ye 474.955 m³ su sağlamıştır. Cumhuriyet + Kağıthane Bölgesi ise karşılanması gereken ihtiyacının Kağıthane ayağını tamamıyla kullanmıştır. Bunun temel sebebi algoritma ve model birleştirilirken herhangi bir öncelik bilgisi verilmemesidir. Bu çalışmada kaynakların tamamında yeterli miktarda su bulunduğu ideal bir ortamdaki mevcut durum kontrol edilmiştir. İlerleyen çalışmalarda, özellikle yakın dönem analizlerinde, mevcut su kaynaklarının durumuna göre algoritmaya önceliklendirme koşulu eklenmesi mümkündür.

Çizelge 5.4’teki sonuçlardan hareketle arıtma tesisi işletme kapasitelerinin yeterli olduğu ve ağırlıklı ortalama %64 kullanım olduğu gözlemlenmektedir.

5.2. 2040 Yılı için Sonuçlar

2040 yılı için Akış 1 değerleri ve ona ait alt-üst sınır değerleri Çizelge 5.5’te verilmiştir. Sonuçların kaynak kapasitesine oranı ise kullanım yüzdesi olarak verilmiştir.

Çizelge 5.5: 2040 yılında Akış 1 için sonuçlar.

Değişken İsmi	Akış 1 (m ³ /gün)	Alt ve Üst Sınırlar	Kullanım (%)
KA_TK	123.288	(0, 123288)	100%
KD_TO	206.792	(0, 224658)	92%
KD_TS	17.866	(0, 224658)	8%
KIT_TI	320.349	(0, 602740)	53%
KIT_TK	123.663	(0, 602740)	21%
KIT_TT	103.588	(0, 602740)	17%
KIT_TTS	55.140	(0, 602740)	9%
KM_TC	1.690.689	(0, 1937230)	87%
KM_TO	246.541	(0, 1937230)	13%
KO_TO	547.945	(0, 547945)	100%
KY_TA	4.912	(0, 356164)	1%
KY_TB	1.567	(0, 356164)	0,4%
KY_TO	349.685	(0, 356164)	98%

Akış 2 değerleri, sınırları ve bu değerlere ait kullanım yüzdeleri Çizelge 5.6'da raporlanmıştır.

Çizelge 5.6: 2040 yılında Akış 2 için sonuçlar.

Değişken İsmi	Akış 2 (m ³ /gün)	Alt ve Üst Sınırlar	Kullanım (%)
TA_BA	4.912	(0, 17000)	29%
TB_BB	1.567	(0, 4320)	36%
TC_BC1	61.657	(0, 2160000)	3%
TC_BC2	1.112.085	(0, 2160000)	51%
TC_BCK	516.947	(0, 2160000)	24%
TI_BI	320.349	(0, 800000)	40%
TK_BCK	246951	(0, 400000)	62%
TO_BO1	1.239.834	(0, 2050000)	60%
TO_BO2	111.128	(0, 2050000)	5%
TS_BS	17.866	(0, 31000)	58%
TTS_BTS	55.140	(0, 120000)	46%
TT_BT	103.588	(0, 150000)	69%

Akış 1'e ait değerler konsolide edilerek her bir kaynaktan çıkan toplam su miktarları hesaplanmış ve Çizelge 5.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7: 2040 yılı için Akış 1 sonuçlarının kaynaktan çıkan toplam su miktarları ile mukayesesi.

Su Kaynağı	Kodu	Ent. İş. Çalışması (m ³ /gün)	Kaynaktan Çık. Top. Su Mik. (m ³ /gün)	Kullanım (%)
Alibeyköy	KA	123.288	123.288	100%
Darlık	KD	224.658	224.658	100%
Terkos + Istranca	KIT	602.740	602.740	100%
Melen	KM	1.937.230	1.937.229	100%
Ömerli	KO	547.945	547.945	100%
Yeşilçay	KY	356.164	356.164	100%

Akış 2'ye ait değerler konsolide edilerek her bir tesisten besleme bölgelerine iletilen su miktarları hesaplanmış ve Çizelge 5.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8: 2040 yılı için Akış 2 sonuçlarının tesisten çıkan toplam su miktarları ile mukayesesi.

Aritma Tesisi	Kodu	İş. Kap. (m ³ /gün)	Tesisten Çık. Top. Su Mik. (m ³ /gün)	Kullanım (%)
Ağva İAT	TA	17.000	4.912	29%
Bıçkıdere İAT	TB	4.320	1.567	36%
Cumhuriyet İAT	TC	2.560.000	1.690.689	66%
İkitelli İAT	TI	800.000	320.349	40%
Kağıthane İAT	TK	400.000	246.951	62%
Ömerli İAT	TO	2.050.000	1.350.962	66%
Şile İAT	TS	31.000	17.866	58%
Taşoluk İAT	TT	150.000	103.588	69%
Terkos İAT	TTS	120.000	55.140	46%

2040 yılı için yapılan projeksiyonda en büyük çalışma kapasitesine sahip Melen kaynağı dahil tüm su kaynaklarının kapasitelerinin tamamını kullandığı saptanmaktadır. Çizelge 5.8'i de göz önünde bulundurarak tesislerin ağırlıklı ortalama kapasitesinin %62'si kullanılmıştır. Tesis kapasitelerindeki öngörülen artışın 2025 yılına göre olumlu sonuç verdiği gözlemlenmektedir. Bu çalışmada da kaynakların tamamında yeterli miktarda su bulunduğu ideal bir ortamdaki mevcut durum kontrol edilmesine karşın kaynakların %100 kapasite ile çalışması problem teşkil edebilecek bir konu olarak görülmektedir. Kapanması gündemde olan Sazlıdere Barajı bu çalışmaya dahil edilmemiştir. Sazlıdere Barajı'nın kapasitesinin artırılıp sisteme dahil edilmesi, algoritmaya eklenebilecek bir verim katsayısı ile daha efektif bir sonuç elde edilmesini sağlayabilecektir.

5.3. 2053 Yılı İçin Sonuçlar

2053 yılı için Akış 1 değerleri ve ona ait alt-üst sınır değerleri Çizelge 5.9'da verilmiştir. Sonuçların kaynak kapasitesine oranı ise kullanım yüzdesi olarak verilmiştir.

Çizelge 5.9: 2053 yılında Akış 1 için sonuçlar.

Değişken İsmi	Akış 1 (m ³ /gün)	Alt ve Üst Sınırlar	Kullanım (%)
KA_TK	123.288	(0, 123288)	100%
KD_TO	203.759	(0, 224658)	91%
KD_TS	20.899	(0, 224658)	9%
KIT_TI	364.511	(0, 602740)	60%
KIT_TK	66.540	(0, 602740)	11%
KIT_TT	111.871	(0, 602740)	19%
KIT_TTS	59.818	(0, 602740)	10%
KM_TC	1.920.240	(0, 2311882)	83%
KM_TO	391.642	(0, 2311882)	17%
KO_TO	547.945	(0, 547945)	100%
KY_TA	5.530	(0, 356164)	2%
KY_TB	1.757	(0, 356164)	0,5%
KY_TO	348.876	(0, 356164)	98%

Akış 2 değerleri, sınırları ve bu değerlere ait kullanım yüzdeleri Çizelge 5.20'da raporlanmıştır.

Çizelge 5.10: 2053 yılında Akış 2 için sonuçlar.

Değişken İsmi	Akış 2 (m ³ /gün)	Alt ve Üst Sınırlar	Kullanım (%)
TA_BA	5.530	(0, 17000)	33%
TB_BB	1.757	(0, 4320)	41%
TC_BC1	70.469	(0, 2880000)	2%
TC_BC2	1.202.751	(0, 2880000)	42%
TC_BCK	647.020	(0, 2880000)	22%
TI_BI	364.511	(0, 800000)	46%
TK_BCK	189.828	(0, 400000)	47%
TO_BO1	1.373.251	(0, 2050000)	67%
TO_BO2	118.971	(0, 2050000)	6%
TS_BS	20.899	(0, 31000)	67%
TTS_BTS	59.818	(0, 120000)	50%
TT_BT	111.871	(0, 150000)	75%

Akış 1'e ait değerler konsolide edilerek her bir kaynaktan çıkan toplam su miktarları hesaplanmış ve Çizelge 5.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11: 2053 yılı için Akış 1 sonuçlarının kaynaktan çıkan toplam su miktarları ile mukayesesi.

Su Kaynağı	Kodu	Ent. İş. Çalışması (m ³ /gün)	Kaynaktan Çık. Top. Su Mik. (m ³ /gün)	Kullanım (%)
Alibeyköy	KA	123.288	123.288	100%
Darlık	KD	224.658	224.658	100%
Terkos + Istranca	KIT	602.740	602.740	100%
Melen	KM	2.311.882	2.311.882	100%
Ömerli	KO	547.945	547.945	100%
Yeşilçay	KY	356.164	356.163	100%

Akış 2'ye ait değerler konsolide edilerek her bir tesisten besleme bölgelerine iletilen su miktarları hesaplanmış ve Çizelge 5.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.12: 2053 yılı için Akış 2 sonuçlarının tesisten çıkan toplam su miktarları ile mukayesesi.

Aritma Tesisi	Kodu	İş. Kap. (m ³ /gün)	Tesisten Çık. Top. Su Mik. (m ³ /gün)	Kullanım (%)
Ağva İAT	TA	17.000	5.530	33%
Bıçkıdere İAT	TB	4.320	1.757	41%
Cumhuriyet İAT	TC	2.560.000	1.920.240	75%
İkitelli İAT	TI	800.000	364.511	46%
Kağıthane İAT	TK	400.000	189.828	47%
Ömerli İAT	TO	2.050.000	1.492.222	73%
Şile İAT	TS	31.000	20.899	67%
Taşoluk İAT	TT	150.000	111.871	75%
Terkos İAT	TTS	120.000	59.818	50%

2053 yılı için yapılan projeksiyonda en büyük çalışma kapasitesine sahip Melen kaynağı dahil tüm su kaynaklarının kapasitesinin tamamını kullandığı saptanmaktadır. Çizelge 5.12'yi de göz önünde bulundurarak tesislerin ağırlıklı ortalamada kapasitesinin %68'i kullanılmıştır. 2025 ve 2040'tan sonra oran ilk defa %65'in üzerine çıkmış ve üç analizin en yüksek değerini göstermiştir.

Bu çalışmada da kaynakların tamamında yeterli miktarda su bulunduğu ideal bir ortamdaki mevcut durum kontrol edilmesine karşın kaynakların %100 kapasite ile çalışması problem teşkil edebilecek bir konu olarak gözükmektedir. Kapanması gündemde olan Sazlıdere Barajı bu çalışmaya da 2040'ta olduğu gibi dahil

edilmemiştir. 2040 analizinden tek farkı nüfus artışına istinaden oluşabilecek bölge ihtiyaçları ile Cumhuriyet İAT ve Melen'deki kapasite artışıdır. 2040 yılının projeksiyonunda olduğu gibi Sazlıdere Barajı'nın kapasitesinin artırılıp sisteme dahil edilmesi, algoritmaya eklenebilecek bir verim katsayısı ile efektif bir sonuç elde edilmesini sağlayabilecektir.



6. GENEL SONUÇLAR

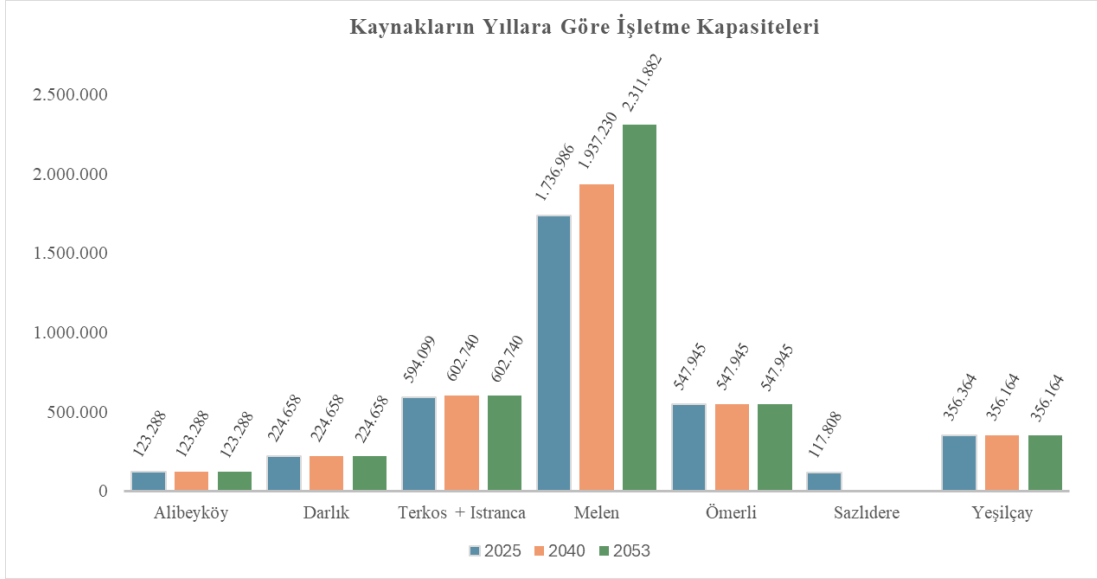
Bu tez kapsamında İstanbul'un su dağıtım sisteminin, varsayımlar ve kısıtlamalar çerçevesinde, 2025, 2040 ve 2053 yılları için LP yöntemi kullanılarak optimizasyonu hedeflenmiştir. Nüfus artışını ve kişi başına düşen günlük su tüketimini referans alarak besleme bölgelerin ihtiyaçları belirlenmiştir. Üç yıla ait projeksiyondaki değişimler Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1: Temel kavramların üç ayrı projeksiyondaki değişimi.

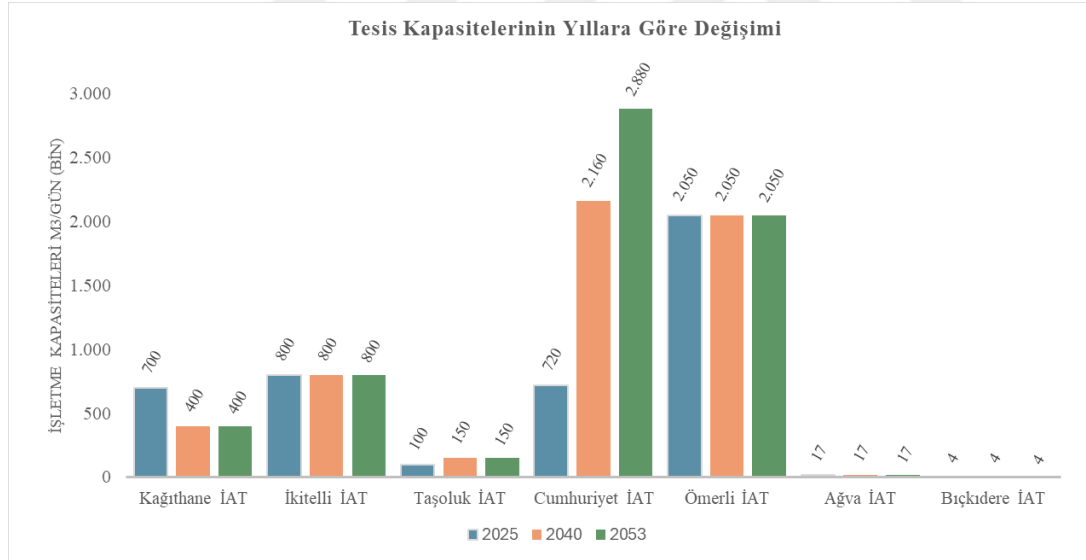
Başlık	2025		2040		2053
Günlük Su Tüketimi (l/gün)	190	↑	200	↑	210
Nüfus	16.495.641	↑	20.004.088	↑	20.902.492
Toplam Su İhtiyacı (m ³ /gün)	2.845.664	↑	3.792.024	↑	4.166.676
Toplam Kaynak Çalışması (m ³ /gün)	3.701.148	↑	3.792.025	↑	4.166.677
Toplam İAT Çalışması (m ³ /gün)	4.422.320	↑	5.732.320	↑	6.452.320
Kaynak Sayısı	7	↓	6	↔	6
İAT Sayısı	8	↑	9	↔	9
Bölge Sayısı	10	↑	11	↔	11
Kaynak Kullanım %	77%	↑	100%	↔	100%
İAT Kullanım %	64%	↓	62%	↑	68%
Bölge İhtiyaçları %	100%	↔	100%	↔	100%
Melen İşletme Kapasitesi (m ³ /gün)	1.736.986	↑	1.937.230	↑	2.311.882

Modele dahil edilen bölgelerin günlük ihtiyaçları 2025 yılından 2053 yılına kadar %46 artış göstermiştir. Tesis kapasitelerinde de aynı periyotta yine yaklaşık %46'lık artış görülmesine karşın kaynakların işletme kapasiteleri, Sazlıdere Barajı'nın da 2040 ve 2053 projeksiyonunda modelden çıkarılmasıyla birlikte, sadece %12'lik artış

göstermiştir. Kaynak kapasitelerindeki değişim Şekil 6.1’de, tesis kapasitelerindeki değişim Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



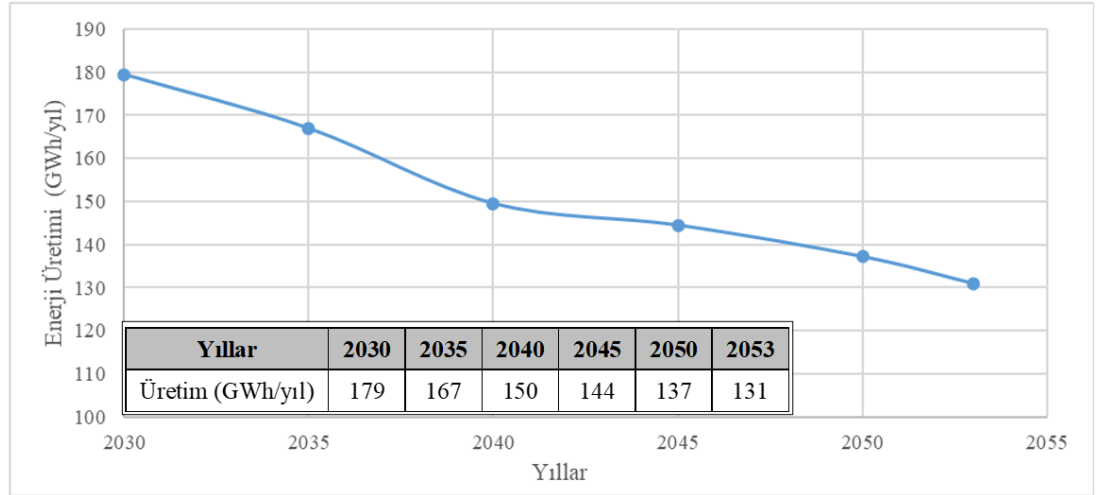
Şekil 6.1: Kaynakların yıllara göre işletme kapasiteleri.



Şekil 6.2: Tesis kapasitelerinin yıllara göre değişimi.

Bunun yanı sıra analizlerde Melen dışındaki tüm kaynakların işletme kapasitelerinin statik kaldığı (Terkos + Istranca’daki minör artış 2025 projeksiyonunda uygulanan varsayım sebebiyledir) ve sadece Melen’de kapasite artışı yapıldığına dikkat çekilmesi gerekmektedir. Melen Barajı Projesi, İstanbul Boğazının 170 km doğusunda Batı Karadeniz Bölgesi’nde, Düzce İli sınırları içerisinde, Düzce kentinin 25 km

kuzeybatısında, Adapazarı kentinin 70 km kuzeydoğusundaki Kocaali İlçesi Uğurlu mevkiinin 2,5 km güneybatısında, Büyük Melen Çayının Karadeniz’e döküldüğü mevkiin 7 km güneyindedir. Melen Barajı’nın ana amacı içme suyu temini olmasına rağmen mansabında Melen HES’in planlanması nedeniyle enerji üretimi amacı da bulunmaktadır. Melen HES’te içme suyuna verilen suların dışındaki sular türbinlenecektir. Dolayısıyla içme suyu ihtiyacı arttıkça enerji üretimi azalacaktır. [18] İSKİ tarafından hazırlanan master plan çalışmasında Melen’deki enerji üretiminin Şekil 6.3’te de görüleceği üzere artan işleme kapasitesine karşın azaldığı saptanmıştır. Bu sebeple yeni kaynak arayışlarını artırmak ve Melen’in kullanımını azaltmak hem enerji üretimi açısından fayda sağlayacak, hem de Melen’in lokasyonundan kaynaklı su temini maliyetini düşürecektir.



Şekil 6.3: Melen Barajı yıllık ortalama enerji üretimleri [18].

Ancak, İSKİ’nin raporlarında ve bu tez kapsamında yapılan çalışmada da görüldüğü üzere 2025 ile 2053 yıllarındaki su kaynakları verimleri arasındaki en büyük fark Melen Barajı’nın veriminin artış eğiliminde olmasıdır. Diğer mevcut tesislerde değişim göreceli olarak azdır. Dolayısıyla önümüzdeki yıllarda İstanbul içme suyu ihtiyacı, Melen Barajı ve ilgili tesislerin (İAT’ler, iletim hatları) geliştirilmesi ile karşılanabilmesi de mümkündür.[18] Melen’in optimum kullanımı İstanbul’un su temininde kilit rol oynamaktadır.

Bunun yanı sıra İSKİ, master plan çalışmasında mevcut su kaynaklarının simülasyona başlama rezervuar hacmi olarak son 10 yılın Ekim ayı ortalamasını almıştır. Mevcut su kaynaklarının aktif hacimlerinde öngörülen azalma ve başlangıç hacimlerinin tam

dolu değil de son 10 yılın Ekim ortalaması alınması ile su temini sisteminin fiili şartlar altında, su arz güvenliği açısından emniyetli tarafta kalınarak sınanmasını amaçlamıştır.[18] Fakat, iklim değişikliği etkisinin ilerleyen dnemelerde daha ciddi boyutlara ulaşması ihtimaline karşın, tıpkı Kağıthane Yıldırım Bayezid tesisinin devreden çıkarılması ile kazanılacak alana Melen sisteminden gelen suyun depolanması öngörüldüğü gibi su talebi güvenliğini sağlayacak şekilde depolar yapılması hususu da değerlendirilebilir.

Yapılan optimizasyon çalışmaları, su kaynaklarının etkin kullanımının ve arıtma tesislerinin verimliliğinin artırılmasının su dağıtım sisteminin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, İstanbul'un artan nüfus ve su talebi karşısında mevcut su kaynaklarının ve arıtma tesislerinin daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine yönelik stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, gelecekteki su talebi projeksiyonlarına ve iklim değişikliği gibi çevresel zorluklara uyum sağlayacak altyapı planlamalarına rehberlik etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Cheng, Q. and Chang, N.** (2011). System dynamics modeling for municipal water demand estimation in an urban region under uncertain economic impacts. *Journal of Environmental Management*,92(6),1628-1641 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.01.020>
- [2] **Yalçıntaş, M., Bulu, M., Kucukvar, M., & Samadi, H.** (2015). A framework for sustainable urban water management through demand and supply forecasting: the case of istanbul. *Sustainability*,7(8),11050-11067. <https://doi.org/10.3390/su70811050>
- [3] **Han, Y., Huang, Y., Wang, G., & Maqsood, I.** (2010). A multi-objective linear programming model with interval parameters for water resources allocation in dalian city. *Water Resources Management*, 25(2), 449-463. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9708-7>
- [4] **Url-1** <<http://www.istanbul.gov.tr/asya-ve-avrupayi-birlestiren-sehir-istanbul>> Erişim Tarihi 17 Mayıs 2024.
- [5] **Alcamo, J., Döll, P., Henrichs, T., Kaspar, F., Lehner, B., Rösch, T.,& Siebert, S.** (2003). Development and testing of the watgap 2 global model of water use and availability. *Hydrological Sciences Journal*,48(3),317-337. <https://doi.org/10.1623/hysj.48.3.317.45290>
- [6] **Kaya, A. and Кочкодан, В.** (2018). Over-agglomeration and its effects on sustainable development: a case study on istanbul. *Sustainability*, 11(1), 135. <https://doi.org/10.3390/su11010135>
- [7] **Geymen, A.** (2011). Impacts of bosporus bridges on the istanbul metropolitan settlement areas. *Land Degradation and Development*, 24(2), 156-169. <https://doi.org/10.1002/ldr.1114>
- [8] **Maspul, K.** (2023). Improving the fourth wave of coffee in sustaining the coffee value chain as economic growth in istanbul. *Ekoma Jurnal Ekonomi Manajemen Akuntansi*, 2(2), 375-397. <https://doi.org/10.56799/ekoma.v2i2.1476>
- [9] **Yalçıntaş, M., Bulu, M., Kucukvar, M., & Samadi, H.** (2015). A framework for sustainable urban water management through demand and supply forecasting: the case of istanbul. *Sustainability*,7(8),11050-11067. <https://doi.org/10.3390/su70811050>
- [10] **Url-2** <<https://worldpopulationreview.com/world-cities/istanbul-population>> Erişim Tarihi 17 Mayıs 2024.
- [11] **Yilmaz, F., Osborn, D., & Tsamados, M.** (2023). The influence of the Covid-19 pandemic and climate change on water use and supply: experience of Istanbul, Türkiye. *UCL Open Environment*, 5. <https://doi.org/10.14324/111.444/ucloe.000061>

- [12] **Öztürk, D.** (2022). Fractal analysis of spatio-temporal changes of forest cover in istanbul, turkey. *Acta Geographica Slovenica*, 62(1), 7-20. <https://doi.org/10.3986/ags.102>
- [13] **Leeuwen, C. and Sjerps, R.** (2015). Istanbul: the challenges of integrated water resources management in europa's megacity. *Environment Development and Sustainability*,18(1),1-17. <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9636-z>
- [14] **Solak, S., Kiliç, M., & Solmaz, S.** (2019). Bursa ilinde sürdürülebilir kentsel su yönetimi. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*,24(1),111-124. <https://doi.org/10.17482/uumfd.463302>
- [15] **Cüce, H., Kalipci, E., Taş, B., & Yılmaz, M.** (2020). Evaluation of the impacts on water quality from meteorological changes due to differences in altitude by gis: a comparison for two morphologically different lakes. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1), 1-26. <https://doi.org/10.31466/kfbd.649297>
- [16] **Ipek, A.** (2018). Rekreasyon terapisi kamplarının sosyal etkilerinin değerlendirilmesi. *Anatolia Turizm Araştırmaları Dergisi*. <https://doi.org/10.17123/atad.441192>
- [17] **Cuceloglu, G., Abbaspour, K., & Ozturk, I.** (2017). Assessing the water-resources potential of istanbul by using a soil and water assessment tool (swat) hydrological model. *Water*, 9(10), 814. <https://doi.org/10.3390/w9100814>
- [18] **İSKİ Master Plan Ortak Girişimi.** (2022). Su Dağıtım Sistemi Seçenekli Planlama Ara Raporu (Rapor No: IMP22-DLS-10-EA-RP-Z), İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi.
- [19] **Ahi, S. and Eymen, A.** (2021). Examine of the impact of land use on water basins using geographical information systems and remote sensing: terkos basin example. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*,XLVI-4/W5-2021,15-20. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlvi-4-w5-2021-15-2021>
- [20] **Erden, T. and Coskun, M.** (2010). Multi-criteria site selection for fire services: the interaction with analytic hierarchy process and geographic information systems. *Natural Hazards and Earth System Science*,10(10),2127-2134. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-2127-2010>
- [21] **Guyer, G. and İlhan, E.** (2010). Assessment of pollution profile in buyukcekmece watershed, turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*,173(1-4),211-220. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1382-y>
- [22] **Hillier, F. S., & Lieberman, G. J.** (2001). Introduction to operations research (7th ed.). McGraw-Hill.
- [23] **M. H., & James Q. Coe, J. Q.** (1986). Models for water and power scheduling for california state water Project. *Water resources bulletin american water resources association*, 22(4) 587-596.

- [24] **Samani, H. M. V. and Zanganeh, A. (2010).** Optimisation of water networks using linear programming. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*,163(9),475-485.
<https://doi.org/10.1680/wama.2010.163.9.475>
- [25] **Chouaib, M., Dembele, A., Jouglet, A., & Denoeux, T. (2018).** A linear programming approach to optimize demand response for water systems under water demand uncertainties. *In Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE 2018)* (s.206-211). Kajang, Malaysia.
<https://doi.org/10.1109/ICSGCE.2018.8556696>
- [26] **Savic, D. A., & Walters, G. A. (1997).** Genetic algorithms for least-cost design of water distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 123(2), 67-77.
- [27] **Maier, H. R., & Simpson, A. R. (1999).** Ant colony optimization for design of water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(4), 247-255.
- [28] **Ahmad, S., & Hossain, F. (2014).** Stochastic optimization for water resources management: A comprehensive review. *Environmental Modelling & Software*, 61, 53-68.
- [29] **Izquierdo, J., Montalvo, I., Pérez, R., & Herrera, M. (2008).** Optimal operation of water distribution networks with pressure control using differential evolution algorithms. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 134(4), 426-437.
- [30] **Almasri, M. N., & Kaluarachchi, J. J. (2005).** Optimal management of nitrate contamination of groundwater: A review. *Water Resources Management*, 19(6), 673-698.
- [31] **Özcan, T. İ. (2021).** Su kaynakları yönetiminde çoklu hazne işletmesi uygulamaları (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.



EKLER

EK A: 2025 YILI İÇİN LİNEER PROGRAMLAMA MODEL

EK B: 2040 YILI İÇİN LİNEER PROGRAMLAMA MODELİ

EK C: 2053 YILI İÇİN LİNEER PROGRAMLAMA MODELİ





EK A: 2025 YILI İÇİN LİNEER PROGRAMLAMA MODELİ

KÜTÜPHANE KURULUMU

```
!pip install pulp
```

MODEL KURULUMU

```
import pulp
```

```
# Problem oluşturma
```

```
problem = pulp.LpProblem("Su_Dagitim_Optimizasyonu_Genisltilmis", pulp.LpMinimize)
```

```
# Değişkenler
```

```
# Kaynaklardan tesislere su miktarları / Tesis Kapasiteleri
```

```
# Kaynaklar ve tesisler arasındaki bağlantılar için üst ve alt sınırlar
```

```
KO_TO = pulp.LpVariable("KO_TO", 0, 547945)
```

```
KD_TO = pulp.LpVariable("KD_TO", 0, 224658)
```

```
KD_TS = pulp.LpVariable("KD_TS", 0, 224658)
```

```
KY_TO = pulp.LpVariable("KY_TO", 0, 356164)
```

```
KY_TB = pulp.LpVariable("KY_TB", 0, 356164)
```

```
KY_TA = pulp.LpVariable("KY_TA", 0, 356164)
```

```
KM_TC = pulp.LpVariable("KM_TC", 0, 1736986)
```

```
KM_TO = pulp.LpVariable("KM_TO", 0, 1736986)
```

```
KIT_TT = pulp.LpVariable("KIT_TT", 0, 594099)
```

```
KIT_TI = pulp.LpVariable("KIT_TI", 0, 594099)
```

```
KIT_TK = pulp.LpVariable("KIT_TK", 0, 594099)
```

```
KS_TI = pulp.LpVariable("KS_TI", 0, 117808)
```

```
KA_TK = pulp.LpVariable("KA_TK", 0, 123288)
```

```
# Tesisler ve bölgeler arasındaki bağlantılar için üst ve alt sınırlar
```

```
TC_BC1 = pulp.LpVariable("TC_BC1", 0, 720000)
```

```
TC_BC2 = pulp.LpVariable("TC_BC2", 0, 720000)
```

```
TO_BO1 = pulp.LpVariable("TO_BO1", 0, 2050000)
```

```
TO_BO2 = pulp.LpVariable("TO_BO2", 0, 2050000)
```

```
TS_BS = pulp.LpVariable("TS_BS", 0, 31000)
```

```

TB_BB = pulp.LpVariable("TB_BB", 0, 4320)
TA_BA = pulp.LpVariable("TA_BA", 0, 17000)
TC_BCK = pulp.LpVariable("TC_BCK", 0, 720000)
TT_BT = pulp.LpVariable("TT_BT", 0, 100000)
TI_BI = pulp.LpVariable("TI_BI", 0, 800000)
TK_BCK = pulp.LpVariable("TK_BCK", 0, 700000)

# Amaç Fonksiyonu: Kaynaklardan tesislere giden toplam su
miktarını minimize etme
problem += (
    KO_TO + KD_TO + KD_TS + KY_TO + KY_TB + KY_TA +
    KM_TC + KM_TO + KIT_TT + KIT_TI +
    KIT_TK + KS_TI + KA_TK,
    "ToplamSuMiktariMinimize"
)

# Kısıtlamalar
# Kaynak kapasiteleri (Akış 1 için kısıtlar)
problem += KO_TO <= 547945
problem += KD_TO + KD_TS <= 224658
problem += KY_TO + KY_TB + KY_TA <= 356164
problem += KM_TC + KM_TO <= 1736986
problem += KIT_TT + KIT_TI + KIT_TK <= 594099
problem += KS_TI <= 117808
problem += KA_TK <= 123288

# Akış 1 ve Akış 2 arasındaki kısıtlar
problem += TO_BO1 + TO_BO2 <= KO_TO + KD_TO + KY_TO + KM_TO
problem += TS_BS <= KD_TS
problem += TB_BB <= KY_TB
problem += TA_BA <= KY_TA
problem += TT_BT <= KIT_TT
problem += TI_BI <= KIT_TI + KS_TI
problem += TC_BC1 + TC_BC2 + TC_BCK <= KM_TC
problem += TK_BCK <= KA_TK + KIT_TK

# Bölge ihtiyaçları (Akış 2 için kısıtlar)
problem += TC_BC1 >= 13856
problem += TC_BC2 >= 13944

```

```

problem += TO_BO1 >= 1053039
problem += TO_BO2 >= 470847
problem += TS_BS >= 7264
problem += TB_BB >= 1055
problem += TA_BA >= 3309
problem += TC_BCK + TK_BCK >= 835066
problem += TT_BT >= 77107
problem += TI_BI >= 370177

# Problemi çöz
problem.solve()

# Çözümü yazdır
print("Çözüm Durumu:", pulp.LpStatus[problem.status])
for variable in problem.variables():
    print(f"{variable.name} = {variable.varValue}")

```

SONUÇLAR

```

Çözüm Durumu: Optimal
KA_TK = 123288.0
KD_TO = 217394.0
KD_TS = 7264.0
KIT_TI = 252369.0
KIT_TK = 264623.0
KIT_TT = 77107.0
KM_TC = 474955.0
KM_TO = 406747.0
KO_TO = 547945.0
KS_TI = 117808.0
KY_TA = 3309.0
KY_TB = 1055.0
KY_TO = 351800.0
TA_BA = 3309.0
TB_BB = 1055.0
TC_BC1 = 13856.0
TC_BC2 = 13944.0
TC_BCK = 447155.0
TI_BI = 370177.0
TK_BCK = 387911.0

```

TO_BO1 = 1053039.0

TO_BO2 = 470847.0

TS_BS = 7264.0

TT_BT = 77107.0



EK B: 2040 YILI İÇİN LİNEER PROGRAMLAMA MODELİ

KÜTÜPHANE KURULUMU

```
!pip install pulp
```

MODEL KURULUMU

```
import pulp
```

```
# Problem oluşturma
```

```
problem =  
pulp.LpProblem("Su_Dagitim_Optimizasyonu_Genisltilmis",  
pulp.LpMinimize)
```

```
# Değişkenler
```

```
# Kaynaklardan tesislere su miktarları / Tesis Kapasiteleri
```

```
# Kaynaklar ve tesisler arasındaki bağlantılar için üst ve alt sınırlar
```

```
KO_TO = pulp.LpVariable("KO_TO", 0, 547945)
```

```
KD_TO = pulp.LpVariable("KD_TO", 0, 224658)
```

```
KD_TS = pulp.LpVariable("KD_TS", 0, 224658)
```

```
KY_TO = pulp.LpVariable("KY_TO", 0, 356164)
```

```
KY_TA = pulp.LpVariable("KY_TA", 0, 356164)
```

```
KY_TB = pulp.LpVariable("KY_TB", 0, 356164)
```

```
KM_TO = pulp.LpVariable("KM_TO", 0, 1937230)
```

```
KM_TC = pulp.LpVariable("KM_TC", 0, 1937230)
```

```
KIT_TT = pulp.LpVariable("KIT_TT", 0, 602740)
```

```
KIT_TI = pulp.LpVariable("KIT_TI", 0, 602740)
```

```
KIT_TK = pulp.LpVariable("KIT_TK", 0, 602740)
```

```
KIT_TTS = pulp.LpVariable("KIT_TTS", 0, 602740)
```

```
KA_TK = pulp.LpVariable("KA_TK", 0, 123288)
```

```
# Tesisler ve bölgeler arasındaki bağlantılar için üst ve alt sınırlar
```

```
TO_BO1 = pulp.LpVariable("TO_BO1", 0, 2050000)
```

```
TO_BO2 = pulp.LpVariable("TO_BO2", 0, 2050000)
```

```
TS_BS = pulp.LpVariable("TS_BS", 0, 31000)
```

```
TB_BB = pulp.LpVariable("TB_BB", 0, 4320)
```

```
TA_BA = pulp.LpVariable("TA_BA", 0, 17000)
```

```

TT_BT = pulp.LpVariable("TT_BT", 0, 150000)
TI_BI = pulp.LpVariable("TI_BI", 0, 800000)
TC_BC1 = pulp.LpVariable("TC_BC1", 0, 2160000)
TC_BC2 = pulp.LpVariable("TC_BC2", 0, 2160000)
TC_BCK = pulp.LpVariable("TC_BCK", 0, 2160000)
TK_BCK = pulp.LpVariable("TK_BCK", 0, 400000)
TTS_BTS = pulp.LpVariable("TTS_BTS", 0, 120000)

# Amaç Fonksiyonu: Kaynaklardan tesislere giden toplam su
miktarını minimize etme

problem += (
    KO_TO + KD_TO + KD_TS + KY_TO + KY_TB + KY_TA +
    KM_TC + KM_TO + KIT_TT + KIT_TI +
    KIT_TK + KIT_TTS + KA_TK,
    "ToplamSuMiktariMinimize"
)

# Kısıtlamalar
# Kaynak kapasiteleri (Akış 1 için kısıtlar)
problem += KO_TO <= 547945
problem += KD_TO + KD_TS <= 224658
problem += KY_TO + KY_TB + KY_TA <= 356164
problem += KM_TC + KM_TO <= 1937230
problem += KIT_TT + KIT_TI + KIT_TK + KIT_TTS <= 602740
problem += KA_TK <= 123288

# Akış 1 ve Akış 2 arasındaki kısıtlar
problem += TO_BO1 + TO_BO2 <= KO_TO + KD_TO + KY_TO + KM_TO
problem += TS_BS <= KD_TS
problem += TB_BB <= KY_TB
problem += TA_BA <= KY_TA
problem += TT_BT <= KIT_TT
problem += TI_BI <= KIT_TI
problem += TC_BC1 + TC_BC2 + TC_BCK <= KM_TC
problem += TK_BCK <= KA_TK + KIT_TK
problem += TTS_BTS <= KIT_TTS

# Bölge ihtiyaçları (Akış 2 için kısıtlar)

```

```
problem += TA_BA >= 4912
problem += TB_BB >= 1567
problem += TC_BC1 >= 61657
problem += TC_BC2 >= 1112085
problem += TC_BCK + TK_BCK >= 763898
problem += TI_BI >= 320349
problem += TO_BO1 >= 1239834
problem += TO_BO2 >= 111128
problem += TS_BS >= 17866
problem += TT_BT >= 103588
problem += TTS_BTS >= 55140
```

```
# Problemi çöz
problem.solve()

# Çözümü yazdır
print("Çözüm Durumu:", pulp.LpStatus[problem.status])
for variable in problem.variables():
    print(f"{variable.name} = {variable.varValue}")
```

SONUÇLAR

```
Çözüm Durumu: Optimal
KA_TK = 123288.0
KD_TO = 206792.0
KD_TS = 17866.0
KIT_TI = 320349.0
KIT_TK = 123663.0
KIT_TT = 103588.0
KIT_TTS = 55140.0
KM_TC = 1690689.0
KM_TO = 246541.0
KO_TO = 547945.0
KY_TA = 4912.0
KY_TB = 1567.0
KY_TO = 349684.0
TA_BA = 4912.0
TB_BB = 1567.0
TC_BC1 = 61657.0
```

TC_BC2 = 1112085.0
TC_BCK = 516947.0
TI_BI = 320349.0
TK_BCK = 246951.0
TO_BO1 = 1239834.0
TO_BO2 = 111128.0
TS_BS = 17866.0
TTS_BTS = 55140.0
TT_BT = 103588.0



EK C: 2053 YILI İÇİN LİNEER PROGRAMLAMA MODELİ

KÜTÜPHANE KURULUMU

```
!pip install pulp
```

MODEL KURULUMU

```
import pulp
```

```
# Problem oluşturma
```

```
problem =  
pulp.LpProblem("Su_Dagitim_Optimizasyonu_Genisltilmis",  
pulp.LpMinimize)
```

```
# Değişkenler
```

```
# Kaynaklardan tesislere su miktarları / Tesis Kapasiteleri
```

```
# Kaynaklar ve tesisler arasındaki bağlantılar için üst ve alt sınırlar
```

```
KO_TO = pulp.LpVariable("KO_TO", 0, 547945)
```

```
KD_TO = pulp.LpVariable("KD_TO", 0, 224658)
```

```
KD_TS = pulp.LpVariable("KD_TS", 0, 224658)
```

```
KY_TO = pulp.LpVariable("KY_TO", 0, 356164)
```

```
KY_TA = pulp.LpVariable("KY_TA", 0, 356164)
```

```
KY_TB = pulp.LpVariable("KY_TB", 0, 356164)
```

```
KM_TO = pulp.LpVariable("KM_TO", 0, 2311882)
```

```
KM_TC = pulp.LpVariable("KM_TC", 0, 2311882)
```

```
KIT_TT = pulp.LpVariable("KIT_TT", 0, 602740)
```

```
KIT_TI = pulp.LpVariable("KIT_TI", 0, 602740)
```

```
KIT_TK = pulp.LpVariable("KIT_TK", 0, 602740)
```

```
KIT_TTS = pulp.LpVariable("KIT_TTS", 0, 602740)
```

```
KA_TK = pulp.LpVariable("KA_TK", 0, 123288)
```

```
# Tesisler ve bölgeler arasındaki bağlantılar için üst ve alt sınırlar
```

```
TO_BO1 = pulp.LpVariable("TO_BO1", 0, 2050000)
```

```
TO_BO2 = pulp.LpVariable("TO_BO2", 0, 2050000)
```

```
TS_BS = pulp.LpVariable("TS_BS", 0, 31000)
```

```
TB_BB = pulp.LpVariable("TB_BB", 0, 4320)
```

```
TA_BA = pulp.LpVariable("TA_BA", 0, 17000)
```

```

TT_BT = pulp.LpVariable("TT_BT", 0, 150000)
TI_BI = pulp.LpVariable("TI_BI", 0, 800000)
TC_BC1 = pulp.LpVariable("TC_BC1", 0, 2880000)
TC_BC2 = pulp.LpVariable("TC_BC2", 0, 2880000)
TC_BCK = pulp.LpVariable("TC_BCK", 0, 2880000)
TK_BCK = pulp.LpVariable("TK_BCK", 0, 400000)
TTS_BTS = pulp.LpVariable("TTS_BTS", 0, 120000)

# Amaç Fonksiyonu: Kaynaklardan tesislere giden toplam su
miktارını minimize etme

problem += (
    KO_TO + KD_TO + KD_TS + KY_TO + KY_TB + KY_TA +
    KM_TC + KM_TO + KIT_TT + KIT_TI +
    KIT_TK + KIT_TTS + KA_TK,
    "ToplamSuMiktariMinimize"
)

# Kısıtlamalar
# Kaynak kapasiteleri (Akış 1 için kısıtlar)
problem += KO_TO <= 547945
problem += KD_TO + KD_TS <= 224658
problem += KY_TO + KY_TB + KY_TA <= 356164
problem += KM_TC + KM_TO <= 2311882
problem += KIT_TT + KIT_TI + KIT_TK + KIT_TTS <= 602740
problem += KA_TK <= 123288

# Akış 1 ve Akış 2 arasındaki kısıtlar
problem += TO_BO1 + TO_BO2 <= KO_TO + KD_TO + KY_TO + KM_TO
problem += TS_BS <= KD_TS
problem += TB_BB <= KY_TB
problem += TA_BA <= KY_TA
problem += TT_BT <= KIT_TT
problem += TI_BI <= KIT_TI
problem += TC_BC1 + TC_BC2 + TC_BCK <= KM_TC
problem += TK_BCK <= KA_TK + KIT_TK
problem += TTS_BTS <= KIT_TTS

# Bölge ihtiyaçları (Akış 2 için kısıtlar)

```

```

problem += TA_BA >= 5530
problem += TB_BB >= 1757
problem += TC_BC1 >= 70469
problem += TC_BC2 >= 1202751
problem += TC_BCK + TK_BCK >= 836848
problem += TI_BI >= 364511
problem += TO_BO1 >= 1373251
problem += TO_BO2 >= 118971
problem += TS_BS >= 20899
problem += TT_BT >= 111871
problem += TTS_BTS >= 59818

```

```

# Problemi çöz
problem.solve()

# Çözümü yazdır
print("Çözüm Durumu:", pulp.LpStatus[problem.status])
for variable in problem.variables():
    print(f"{variable.name} = {variable.varValue}")

```

SONUÇLAR

```

Çözüm Durumu: Optimal
KA_TK = 123288.0
KD_TO = 203759.0
KD_TS = 20899.0
KIT_TI = 364511.0
KIT_TK = 66540.0
KIT_TT = 111871.0
KIT_TTS = 59818.0
KM_TC = 1920240.0
KM_TO = 391642.0
KO_TO = 547945.0
KY_TA = 5530.0
KY_TB = 1757.0
KY_TO = 348876.0
TA_BA = 5530.0
TB_BB = 1757.0
TC_BC1 = 70469.0

```

TC_BC2 = 1202751.0
TC_BCK = 647020.0
TI_BI = 364511.0
TK_BCK = 189828.0
TO_BO1 = 1373251.0
TO_BO2 = 118971.0
TS_BS = 20899.0
TTS_BTS = 59818.0
TT_BT = 111871.0



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Onur SÜZER

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2024, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı