



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN  
ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SU ŞEBEKELERİNDE İZOLE  
BÖLGELERDEKİ BASINCIN KIRILMASI  
İÇİN MİKROHES İLE ENERJİ ÜRETİMİ:  
KONYA ÖRNEĞİ

İBRAHİM SAMAST

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart-2025  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır

## TEZ KABUL VE ONAYI

İbrahim SAMAST tarafından hazırlanan “SU ŞEBEKELERİNDE İZOLE BÖLGELERDEKİ BASINCIN KIRILMASI İÇİN MİKROHES İLE ENERJİ ÜRETİMİ: KONYA ÖRNEĞİ” adlı tez çalışması 12/03/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN

.....

#### Danışman

Prof. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTI

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ....../.../20.. gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İbrahim SAMAST

Tarih:

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## SU ŞEBEKELERİNDE İZOLE BÖLGELERDEKİ BASINCIN KIRILMASI İÇİN MİKROHES İLE ENERJİ ÜRETİMİ: KONYA ÖRNEĞİ

İbrahim SAMAST

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU

2025, 87 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU  
Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN  
Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTI

Günümüzde enerji ihtiyacının hızlı bir şekilde artması ve sera gazı emisyonlarının yükselmesi yenilenebilir enerjiye olan ilgiyi oldukça artırmıştır. Petrol, doğalgaz gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarının azalması da yenilenebilir enerji sistemlerine dönüşümü gerektirmektedir. Hayatımızın olmazsa olmazı temiz içme suyudur. Küresel iklim değişikliği ile yağış düzensizlikleri ve kuraklık içme suyunda temin sorunları yaşatmaktadır. Mevcut durumda yerel yönetimlerdeki su idareleri içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde önemli derecede elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadır. İçme suyu temin ve dağıtım şebekelerinde mevcut işletmede bulunan fazla basıncın düzenlenmesi, basınç kırıcı vana veya maslak yapıları ile yapılmaktadır. Şehir şebekesinde oluşturulan basınç yönetim alanları (BYA) ve bölgesel ölçüm alanları (BÖA) ile izole bölgelerdeki fazla basınç kontrol altına alınmaktadır. Bu bölgelerde kullanılan basınç kırıcı vanalar ile ciddi oranda bir kinetik enerji kaybolmaktadır. Bu tez çalışması ile Konya İli merkez içme suyu şebekesinde izole bölgelerde bulunan basıncın mikro hidroelektrik santralleri (MİKROHES) kurularak hem basınç düşürme hem de elektrik enerjisi üretme potansiyeli incelenmiştir. İnsan hayatının yaşama için içme suyunun vazgeçilmez olması durumu göz önüne alındığında, sürekli bir akış ve enerji üretme potansiyeli olan şehir şebeke hatlarındaki kaybolan enerjinin geri kazanımı, yenilenebilir enerji sistemleri içerisinde en verimli sürdürülebilir sistemdir. Çalışma kapsamında şehir şebekesinde bulunan 61 adet izole bölgede nüfus, debi, basınç hesapları hidrolik modelleme ile yapılmış ve mevcut SCADA verileri ile karşılaştırılmıştır. Her bölge için ayrı ayrı hız, debi, basınç, basınç fazlası geri kazanılabilir enerjiler hesaplanmış ardından her bir bölgeye kurulabilecek MİKROHES türü belirlenmiştir. Debi, düşü ve enerjiye göre, Pelton ve Banki türbinleri seçilmiştir. Sonuç olarak; Konya ili şehir şebekesinde bulunan 61 adet izole bölgede yapılan çalışmaya göre kurulacak olan MİKROHES sistemleri ile 1,41 MW elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır. MİKROHES sistemlerinin kurulumu ile şebekedeki basınçlar yönetmelik maddelerine göre 3 bar seviyelerine düşürülmüş ve kaybolan enerji geri kazanılmıştır. Kurulan tesislerin yıllık getirisi 38,36 milyon TL ve kurulum maliyetleri 67,11 milyon TL olup geri ödeme süresi 1,75 yıl olarak hesaplanmıştır. Çıkan sonuca göre yenilenebilir enerji sistemleri arasında geri ödeme süresi en hızlı olan sistemler olarak öne çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Basınç Düşüşü, Basınç Yönetim Alanı, Enerjide Sürdürülebilirlik, Enerji Geri Kazanımı, İzole Bölgeler, MİKROHES, Su Dağıtım Şebekeleri, Yenilenebilir Enerji Sistemleri.

## ABSTRACT

### MS THESIS

# ENERGY PRODUCTION WITH MIKROHES TO BREAK PRESSURE IN ISOLATED REGIONS IN WATER NETWORKS: KONYA EXAMPLE

İbrahim SAMAST

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU

2025, 87 Pages

Jury

Prof. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU  
Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN  
Assist. Prof. Dr. Ali İhsan MARTI

Today, the rapid increase in energy demand and the increase in greenhouse gas emissions have greatly increased the interest in renewable energy. As a result of the decrease in the sources of non-renewable energy such as oil and natural gas, the transformation to renewable energy systems is of great importance. The fact that the energy source is not continuous in solar and wind energy systems due to their installation cannot ensure sustainability in energy production. Clean drinking water is indispensable for our lives. Global climate change, precipitation irregularities and droughts cause problems in the supply of drinking water. In the current situation, water administrations in local governments need significant electrical energy in drinking water supply and distribution systems. The regulation of excess pressure in the existing operation in drinking water supply and distribution networks is carried out with pressure breaker valves or mast structures. Excess pressure in isolated regions is brought under control with pressure management areas (BYA) and regional measurement areas (BÖA) created in the city network. A significant amount of kinetic energy is lost with the pressure breaker valves used in these regions. In this thesis study, the potential of both pressure reduction and electrical energy generation by establishing micro hydroelectric power plants (MICROHES) in isolated regions of Konya city central drinking water network was investigated. Considering the indispensability of drinking water for human life, the recovery of lost energy in city network lines with a continuous flow and energy generation potential is the most efficient sustainable system among renewable energy systems. First, population, flow rate, pressure calculations in 61 isolated regions in the city network were made with hydraulic modeling and compared with the current SCADA data. Separate speed, flow rate, pressure, pressure excess recoverable energies were calculated for each region, then the MICROHES type that could be installed in each region was determined. Pelton and Banki turbines were selected according to the flow rate, head and produced energy conditions. As a result, it was calculated that 1.41 MW electrical energy could be generated with the MICROHES systems to be installed according to the study conducted in 61 isolated regions in Konya city network. With the installation of MICROHES systems, the pressures in the network were reduced to 3 bar levels according to the regulation articles and the lost energy was recovered. The annual return of the established facilities is 38.36 million TL, and the installation costs are 67.11 million TL, and the payback period is calculated as 1.75 years. According to the results, it stands out as the system with the fastest payback period among renewable energy systems.

**Keywords:** Pressure Drop, Pressure Management Area, Energy Sustainability, Energy Recovery, Isolated Zones, MIKROHES, Water Distribution Networks, Renewable Energy Systems.

## ÖNSÖZ

Meslek hayatımda önemli bir aşama olan yüksek lisans tezimin sürecinde desteklerini esirgemeyen kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU'ya, değerli hocam Doç. Dr. Kağan ERYÜRÜK'e, tez çalışmamda bana yardımcı olan değerli arkadaşlarım M.Nurullah DEĞİRMENCİ ve Furkan Kemal ARSLAN'a, KOSKİ Genel Müdürlüğü çalışanlarına, beni yetiştiren, her zorlukta destek olan, hayata bakış açımı, eğitimimi, öğrenimimi her zaman destekleyen anneme ve babama, son olarak tez çalışmalarım sırasında sabır ve desteklerini esirgemeyen eşime ve çocuklarıma bana bu süreçleri kolaylaştırdıkları ve onların özlemi ile tezimi bitirmeme yardımcı oldukları için çok teşekkür ediyorum.

İbrahim SAMAST  
KONYA-2025

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>ŞEKİL ÇİZELGESİ .....</b>	<b>ix</b>
<b>TABLO ÇİZELGESİ .....</b>	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
2.1. Su Şebeke Bölümü .....	3
2.1.1. Konya İli İçme Suyu Temin ve Dağıtım Şebekesi.....	7
2.1.2. Su İletim ve Dağıtım Şebekeleri .....	15
2.2. Enerji.....	19
2.3. Hidroelektrik .....	22
2.3.1. Hidrostatik .....	23
2.4. MİKROHES.....	32
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>47</b>
3.1. Hidrolik Modelleme.....	47
3.2. Elektrik Enerji Hesabı.....	49
3.3. Su Kayıpları .....	51
3.4. İzole Bölgeler.....	53
3.5. Şebekede Basınç .....	62
3.6. MİKROHES Türbin Tipinin Belirlenmesi .....	67
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>69</b>
4.1. Hidrolik Modelleme.....	69
4.2. Elektrik Enerji Üretim Hesabı .....	74
4.3. MİKROHES Maliyetleri.....	76
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>78</b>
5.1 Sonuçlar .....	78
5.2 Öneriler .....	79
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>81</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

cm	: Santimetre
Fr	: Fransız
km	: Kilometre
ha	: Hektar
Km <sup>2</sup>	: Kilometrekare
Kr	: Kuruş
kWh	: Kilowattsaat
m	: Metre
L	: Litre
m <sup>3</sup>	: Metreküp
mm	: Milimetre
MW	: Megawatt
MWM	: Mekanik Kurulu Güç
sn	: Saniye
vd	: ve diğerleri
eşd	: eşdeğer
vb	: ve bunun gibi
kr	: kuruş

### Kısaltmalar

BÖA	: Bölgesel Ölçüm Alanı
BYA	: Basınç Yönetim Alanı
CO <sub>2</sub> -eşd.	: Karbondioksit eşdeğer
ÇB	: Çelik Boru
DMA	: Su Dağıtım Sistemlerinde Alt Ölçüm Bölgeleri
DSİ	: Devlet Su İşleri
EMO	: Elektrik Mühendisleri Odası
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
GES	: Güneş Enerji Sistemi
HES	: Hidroelektrik Santrali
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
IWA	: International Water Association (Uluslararası Su Birliği)
KOP	: Konya Ovası Projesi
KOSKİ	: Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi
MİKROHES	: Küçük Ölçekli Hidroelektrik Santrali
RES	: Rüzgar Enerji Sistemi
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition (Gözetleyici Kontrol ve Veri Toplama Sistemi)
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TEMSAN	: Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş.

## ŞEKİL ÇİZELGESİ

Şekil 2.1. Türkiye'nin 25 Drenaj Havzasını Gösteren Harita (DSİ, 2022) .....	3
Şekil 2.2. Altınapa Barajı (KOSKİ, 2024).....	10
Şekil 2.3. Akyokuş İçme Suyu Arıtma Tesisleri (KOSKİ, 2024) .....	10
Şekil 2.4. Konya Merkez Şebeke Su Döngüsü (KOSKİ, 2024).....	11
Şekil 2.5. KOSKİ Seçme Arıtma Tesisi (KOSKİ, 2024) .....	13
Şekil 2.6. Konya İçme Suyu Temin ve Dağıtım Şeması (KOSKİ, 2024) .....	13
Şekil 2.7. Örnek DMA Bölgesi, DMA001 (KOSKİ, 2024) .....	18
Şekil 2.8. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Demir, 2019) .....	20
Şekil 2.9. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kapasitesini Kullanım Oranları (Kayaşoğlu & Diken, 2019) .....	21
Şekil 2.10. Hidrostatik türbinlerin uygulama alanının genel görünümü (Demir, 2019) 24	
Şekil 2.11. Hidrostatik Türbinler (Kerim vd., 2021) .....	26
Şekil 2.12. Pelton tipi türbin çarkı .....	27
Şekil 2.13. Turgo Türbini (Bulut, 2013).....	28
Şekil 2.14. Banki Türbini .....	28
Şekil 2.15. Francis türbin çarkı.....	29
Şekil 2.16. Kaplan türbin çarkı (Koç, 2019).....	31
Şekil 2.17. Hidrokinetik türbin çeşitleri (Demir, 2019) .....	31
Şekil 3.1. Yüksek basınç değerlerine ulaşan cazibeli iletim hattında türbinlerin kurulabilecek yerlerinin gösterildiği şematik kesit (T: türbin) .....	50
Şekil 3.2. Selçuklu DMA 001 (KOSKİ, 2024).....	53
Şekil 3.3. Konya Merkez DMA Bölgeleri (KOSKİ, 2024) .....	54
Şekil 3.4. Konya Merkez İzole Bölgeler (KOSKİ, 2024) .....	54
Şekil 3.5. Selçuklu İlçesi izole bölgeler basınç haritası (KOSKİ, 2024).....	55
Şekil 3.6. Selçuklu İlçesi izole bölgeler debi haritası (KOSKİ, 2024).....	56
Şekil 3.7. Selçuklu BÖA 20 izole bölgesi SCADA anlık veri haritası (KOSKİ, 2024). 56	
Şekil 3.8. Meram İlçesi izole bölgeler basınç haritası (KOSKİ, 2024) .....	57
Şekil 3.9. Selçuklu İlçesi izole bölgelerin gündüz ve gece debi değerleri (KOSKİ, 2024) .....	57
Şekil 3.10. Meram İlçesi izole bölgelerin gündüz ve gece debi değerleri (KOSKİ, 2024) .....	59
Şekil 3.11. Karatay İlçesi izole bölgelerin gündüz ve gece debi değerleri (KOSKİ, 2024) .....	60
Şekil 3.12. Selçuklu BÖA 20 izole bölgesinin anlık debi ve basınç bilgilerini gösteren örnek SCADA ekranı (KOSKİ, 2024).....	60
Şekil 3.13. Selçuklu BYA 02 izole bölgesinin anlık debi, giriş ve basınç kırıncı çıkış basınç bilgilerini gösteren örnek SCADA ekranı (KOSKİ, 2024) .....	61
Şekil 3.14. Selçuklu BYA 01 izole bölgesi debi, giriş ve çıkış basınç grafiği (KOSKİ, 2024) .....	61
Şekil 3.15. Meram BYA 03 izole bölgesi debi, giriş ve çıkış basınç grafiği (KOSKİ, 2024).....	61
Şekil 3.16. Selçuklu BÖA 01 izole bölgesi gündüz kullanım debi grafiği (KOSKİ, 2024) .....	62
Şekil 3.17. Selçuklu BÖA 01 izole bölgesi gece kullanım debi grafiği (KOSKİ, 2024) 62	
Şekil 3.18. Konya Merkez Basınç Ölçümleri (KOSKİ, 2024) .....	63

<b>Şekil 3.19.</b> Selçuklu İlçesi gündüz saatlerindeki izole bölgelerin mevcut basınç ve 3 bar fazlası basınç grafiği (KOSKİ, 2024) .....	64
<b>Şekil 3.20.</b> Selçuklu İlçesi gece saatlerindeki izole bölgelerin mevcut basınç ve 3 bar fazlası basınç grafiği (KOSKİ, 2024) .....	64
<b>Şekil 3.21.</b> Meram İlçesi gündüz saatlerindeki izole bölgelerin mevcut basınç ve 3 bar fazlası basınç grafiği (KOSKİ, 2024) .....	65
<b>Şekil 3. 22.</b> Meram İlçesi gece saatlerindeki izole bölgelerin mevcut basınç ve 3 bar fazlası basınç grafiği (KOSKİ, 2024) .....	65
<b>Şekil 3.23.</b> Karatay İlçesi gündüz saatlerindeki izole bölgelerin mevcut basınç ve 3 bar fazlası basınç grafiği (KOSKİ, 2024) .....	66
<b>Şekil 3.24.</b> Karatay İlçesi gece saatlerindeki izole bölgelerin mevcut basınç ve 3 bar fazlası basınç grafiği (KOSKİ, 2024) .....	66
<b>Şekil 3.25.</b> Türbin seçim diyagramı (TEMSAN, 2024) .....	67
<b>Şekil 4.1.</b> Selçuklu BYA 03 hidrolik modelleme için nokta dosyaları ve boru hatlarının çizimi .....	69
<b>Şekil 4.2.</b> Hidrolik modelleme hesap ekranı.....	70
<b>Şekil 4.3.</b> Boru cins, çap bilgileri kütüphanesi .....	70
<b>Şekil 4.4.</b> Hidrolik model hesap ekranı .....	71
<b>Şekil 4.5.</b> Selçuklu BYA 03 hesap profili .....	71
<b>Şekil 4.6.</b> Selçuklu BYA 03 isale profili .....	72

## TABLO ÇİZELGESİ

<b>Tablo 2.1.</b> Dünya'nın kıta hidroelektrik potansiyelleri (TWh/yıl)(Bozkurt & Tür, 2015) .....	23
<b>Tablo 3.1.</b> 2023 KOSKİ Standart Su Dengesi Formu (KOSKİ, 2024). ....	52
<b>Tablo 3.2.</b> İzole Bölgelerin İlçe Dağılımı .....	55
<b>Tablo 3.3.</b> Konya Merkez bazı izole bölgelerin boru cins ve çap değerleri ile beslendiği depo ve su giriş bilgileri (KOSKİ, 2024).....	58
<b>Tablo 3.4.</b> Türbin tipi seçim tablosu .....	68
<b>Tablo 4.1.</b> Nüfus ve SCADA verileri.....	72
<b>Tablo 4.2.</b> NetCAD hidrolik modelleme sonuçları .....	73
<b>Tablo 4.3.</b> SCADA ve hidrolik modelleme verilerinin karşılaştırılması .....	73
<b>Tablo 4.4.</b> İlçeler bazında elektrik üretim değerleri .....	75
<b>Tablo 4.5.</b> İlçelerin yıllık elektrik üretim gelirleri .....	76
<b>Tablo 4.6.</b> MİKROHES türbinlerinin kW başına maliyetleri .....	76
<b>Tablo 4.7.</b> Kurulacak MİKROHES türbinlerinin ilk yatırım bedelleri ile ilçe bazında geri ödeme süreleri.....	77

## 1. GİRİŞ

Günümüzde enerjinin artık sadece kendi başına önemli olmadığı, aynı zamanda yenilenebilir ve sürdürülebilir olması gerektiği tüm dünya tarafından kabul görmektedir. Yenilenebilir enerji sistemleri içinde en temiz ve sürdürülebilir enerji kaynağı hidroelektriktir. Hidroelektrik alanında sürdürülebilirlik, suyun sürekliliğine bağlıdır. Baraj yapılarında ve nehirlerde su kaynaklarının değişken durumu debi ve düşü değerleri yüksek olsa da sürdürülebilirlik noktasında eksik kalabilmektedir. Yenilenebilir ve son derece sürdürülebilir hidroelektrik kaynağı olarak su isale ve dağıtım hatları öne çıkmaktadır. Su iletim ve dağıtım hatları tarımsal sulama ve içme suyu temini için daha çok kullanılmaktadır. Tarımsal sulama sistemleri sulama dönemlerinde kullanıldığı için yılın genelinde kullanılmamaktadır. Ancak içme suyu hayatın devamı için en önemli ihtiyaçtır. Bu duruma göre içme suyu isale ve şebeke hatlarında insan hayatı olduğu müddetçe içme suyu temini yapılacaktır.

İçme suyu iletim ve dağıtım şebekelerindeki fazla basınç, basınç kırıcı vana ve maslaklar yardımı ile kontrol altına alınır. Su dağıtım şebekelerinde basınç yönetimi için Bölgesel Ölçüm Alanı (BÖA) ve Basınç Yönetim Alanı (BYA) bölgeleri oluşturulmuş ve bu bölgeler basınç durumuna göre izole bölgelere ayrılmıştır. Şebekedeki basıncın yüksek olması fiziki kayıpları artırmakta ve su kullanıcılarında problemlere yol açmaktadır. Ayrıca mevcut hat üzerinde yüksek basınç sık arıza durumlarını beraberinde getirmektedir.

MİKROHES türbinleri HES sistemlerine nazaran daha küçük olmakla beraber, daha pratik ve hızlı uygulanabilirliği sebebiyle literatürde ve uygulamada kendine yer bulmuştur. Literatürde ve uygulamada birçok MİKROHES çeşidi bulunmaktadır. Bu sistemlerin ortak enerji üretebilme özelliği, boru içindeki debi ve düşüye yani basınç değerine bağlıdır. MİKROHES sistemlerinin çalışma prensibine göre akımın türbin kanatlarına çarpması sonucunda türbin shaftının jeneratörü çevirmesi ile mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesi şeklinde olmaktadır. Doğal olarak akımın türbin kanatlarına çarpması sonucu bir enerji kaybı yaşanacaktır. Bu enerji kaybı mevcut basıncın düşmesi anlamına gelmektedir. MİKROHES sistemleri, su akışından enerji üretmekle beraber sistemdeki basıncın da düşürülmesine yardımcı olur.

Şebeke hatlarının içme suyu ihtiyaçlarını karşılayabilmesi için 3 bar basınç altında çalışması gerekmektedir. İçme suyu şebeke hatlarında gündüz ve gece basınçları su kullanım durumuna göre değişkenlik arz etmektedir. Gündüz su kullanımının gece saatlerine göre daha çok olması sebebiyle genellikle basınç geceye göre düşük olmaktadır. Gündüz ve gece 3 bar fazlası basıncın düzenlenmesi gerekmektedir. 3 bar fazlası basıncın mevcut basınç kırıncılar yerine elektrik enerjisine çevrilmesi MİKROHES sistemleri ile mümkündür.

Bu tez çalışmasında, öncelikle Konya içme suyu şebeke ağındaki izole bölgelerdeki yüksek basıncın olduğu bölgeler belirlenmiştir. Ardından yüksek basınç olan 61 adet izole bölgede 3 bar fazlası basınçlar hesaplanmıştır. Bölgelere ait debi, hız, boru cinsi, çapı, depo bilgileri, su giriş bilgileri ve kot bilgilerine göre 5 ayrı izole bölgede depo ile izole bölge su girişleri arasındaki isale hatlarında hidrolik modelleme yapılmıştır. Hidrolik modelleme verileri ile mevcut ölçüm verileri, SCADA sistemindeki veriler ile karşılaştırılmıştır. Her izole bölge için debi ve basınç durumlarına göre hangi tip MİKROHES kullanılabilceği belirlenmiştir. Belirlenen MİKROHES tiplerine göre verim değerleri dikkate alınarak üretilebilecek elektrik enerji miktarı gündüz ve gece saatleri ayrı ayrı dikkate alınarak hesaplanmıştır. MİKROHES sistemlerinin her bir izole bölge için ayrı ayrı maliyet hesapları yapılmış ve yatırım yapılması durumunda yatırımın geri ödeme süresinin ne kadar olacağı hesaplanmıştır.

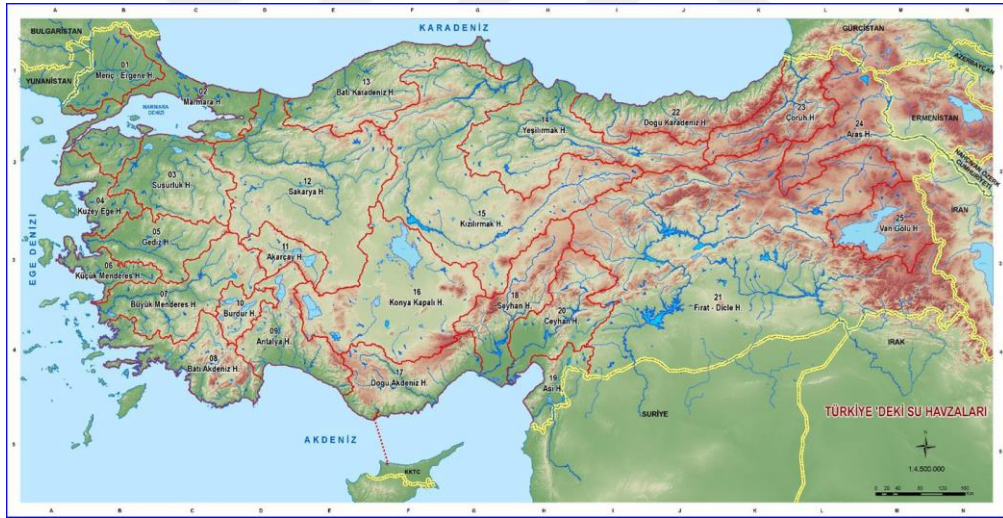
Bölüm 2’de Konya içme suyu temin ve dağıtım şebekesinden bahsedilerek, enerji üst başlığından başlayarak yenilenebilir enerji olan hidroelektrik ve MİKROHES sistemlerinden bahsedilmiştir. Bölüm 3’te kullanılan hidrolik modelleme programı, MİKROHES elektrik enerji üretim hesabı, su kayıpları, izole bölgeler, şebekedeki basınç ve MİKROHES türbin tipinin belirlenmiştir. Bölüm 4’te NetCAD ile hidrolik modelleme yapılmış ve SCADA verileri ile karşılaştırılmıştır. Ardından izole bölgelerdeki elektrik enerjisi üretimi ve MİKROHES maliyetleri hesapları yapılmıştır. Üretilebilecek elektrik enerjisinin nerelerde kullanılabilceği tespit edilerek, elektrik enerjisi üretiminin kullanılabilceği yerler araştırılmıştır. MİKROHES sistemleri ile üretilecek temiz enerjinin, CO<sub>2</sub> eşdeğeri sera gazı emisyonuna olumlu yöndeki etkisi hesaplanmıştır. Bölüm 5’te ise çalışmanın sonucundan ve önerilerden bahsedilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Su Şebeke Bölümü

Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılan master plan çalışmaları yirmi beş hidrolojik havzada tamamlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda;

- Yıllık su akış miktarının ülkemizde toplam 185 milyar m<sup>3</sup> olduğu,
- Yıllık tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli, ekonomik ve şartlara bağlı olarak farklı maksatlara yönelik (içme, sulama ve kullanma suyu temini vb.) toplamda 94 milyar m<sup>3</sup>, yeraltındaki su potansiyeli 18 milyar m<sup>3</sup>, toplam olarak 112 milyar m<sup>3</sup> olduğu,
- Ülkemizin toplam su potansiyelinin 57 milyar m<sup>3</sup>'ü çeşitli maksatlara yönelik olarak kullanılmakta olduğu ve bunun 44 milyar m<sup>3</sup>'ü tarımsal sulama suyu olarak, 13 milyar m<sup>3</sup>'ü ise sanayi ve en önemlisi içme ve kullanma suyu olarak kullanıldığı tespit edilmiştir (TMMOB, 2024).



Şekil 2.1. Türkiye'nin 25 Drenaj Havzasını Gösteren Harita (DSİ, 2022)

Türkiye'nin nüfusu 2024 yılında TÜİK verilerine göre 85.372.377 kişidir (TÜİK, 2024). Türkiye'de kişi başına düşen yıllık su miktarı 2000 yılında 1.652 metreküp iken, 2022 yılında ise 1.322 metreküpe düşmüştür. Türkiye, kişi başına düşen kullanılabilir su potansiyeli açısından su stresi yaşayan ülkeler arasındadır. Suyun tasarruflu kullanılması önemlidir. Depolama tesisleri yapılması ile su kaynaklarının potansiyelinin artması için çalışmalar devam etmektedir. Ayrıca su kayıplarının önüne geçmek için su idareleri ciddi çalışmalar yürütmektedir. Tarımsal sulama alanında drenaj sorunların

toprağın kalitesini etkileyen başlıca etmenlerden biridir. Bu konunun çözümü için modern sulama tekniklerine geçiş hızla devam etmektedir.

Su varlığına göre ülkeler su fakiri, su kısıtı ve su zengini şeklinde üçe ayrılmaktadır. Kişi başına düşen su miktarı 1.000 metreküpten az olan yerler su fakiri, 2.000 metreküpten az olan yerler su kısıtı ve 8 ila 10 bin metreküp arasında olan yerler su zengini olarak adlandırılmaktadır. Bu verilere göre Türkiye su kısıtı sınıfındadır. Küresel iklim değişikliğinin neden olduğu kuraklıklar, su kaynaklarının azalması ve nüfus ve sanayinin hızla arttığı günümüzde ülkemizdeki kaynakların çok iyi korunması gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su bırakılabilmesi açısından önemlidir (TMMOB, 2024).

Su iletim ve dağıtım hatları genel olarak dünya genelinde eskimektedir. Bu durum su iletim ve dağıtım hatlarında su kalitesinde güvenilirlik sorunlarına yol açmaktadır. Şehirlerdeki su iletim ve dağıtım işlerini yapan su idareleri bu konu ile ilgili eski hatların yeni teknoloji borular ile değiştirilmesi konusunda çalışmalar yapmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile boru endüstrisinde daha uzun ömürlü ve daha sağlıklı boruların üretimi yapılmaktadır. Su şebeke hatlarının yeni boru sistemleri ile değiştirilmesi ile mevcut sistemde bulunan su kaybı oranını da düşürmektedir. Eski boruların yol açtığı bu su kaybı durumu su idarelerinin başlıca çalışma alanlarından biridir. Su kayıplarının en aza indirilebilmesi için şebeke hatlarında fazla basıncın bulunduğu alanlar belirlenmiş ve basınç ölçüm ve basınç yönetim alanları oluşturulmuştur. Bu alanlarda izole bölge çalışması yapılmış ve bölgeler birbirinden bağımsız hale getirilmiştir. Bu yöntem sayesinde su yönetimi daha etkin yapılabilmektedir. Basınç ölçüm ve yönetim alanlarında bulunan uzaktan izleme ve kontrol yapabilen cihazlar ile SCADA sistemleri oluşturulmuştur. Bu sistemlerin kurulumu ile suyun anlık hareketleri basınçları debi değerleri kontrol altına alınmıştır. Bu sistem ile yüzeye çıkmayan su sızıntısı şeklindeki kayıp durumlarını görerek kaçak tespit ve müdahale süresini kısaltmaktadır. SCADA sistemi ile izlenen verilere dayanarak su kaybı yaşanan bölgelerdeki arızalar onarılıp su kayıp kaçak oranı uluslararası standart verilerine kadar indirilebilir.

Su bütçesi ile ilgili hesaplar uluslararası düzeyde IWA (International Water Association - Uluslararası Su Birliği) standartlarında oluşturulmuştur. Bu konu ile ilgili hesaplar 2014 yılında Türkiye Cumhuriyeti mevzuatına girmiştir. 8 Mayıs 2014 yılında

yayınlanan “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği” (Resmi Gazete, 2014) ile bu yönetmeliğin ayrıntılandırıldığı 16 Temmuz 2015 tarihli “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği”dir (Resmi Gazete, 2015). Bunlara ek olarak 31 Ağustos 2019 tarihinde “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” (Resmi Gazete, 2019) ve 23 Eylül 2020 yılında “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ” (Resmi Gazete, 2020) ve son olarak 04 Ekim 2021 tarihinde “İçmesuyu Sistemlerinde Su Kayıplarının Azaltılmasına Yönelik İş Termin Planı Genelgesi” yayınlanmıştır. Bahsi geçen Yönetmelik, Tebliğ ve Genelgelerde Nihai Hedef 10/7/2018 tarihli ve 30474 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 1 sayılı Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi'nin 421 inci maddesinin birinci fıkrasının (a) bendine dayanılarak hazırlanan 8/5/2014 tarihli ve 28894 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliğinin 9 uncu maddesi gereğince büyükşehir ve il belediyeleri, su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %30, 2028 yılına kadar ise en fazla %25 düzeyine; diğer belediyeler su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %35, 2028 yılına kadar en fazla %30, 2033 yılına kadar ise en fazla %25 düzeyine indirilmesidir (Resmi Gazete, 2017).

Basıncın yüksek olduğu noktalarda basınç düşürücü vanalar kullanılmaktadır. Yüksek basınç bu noktalarda kırılıp, şebekeye yeterli basınçta su verilmektedir. Basınç kırılan noktalarda suyun potansiyel enerjisi kırılmakta ve enerji kaybı oluşmaktadır.

Enerjinin oldukça önemli olduğu günümüzde bu enerji geri dönüştürülebilir. Yenilenebilir ve sürekli enerjinin mevcut olduğu içme suyu şebeke hatlarında enerji üretme fikri dünyanın birçok yerinde uygulamaya geçmiştir. Örneğin Hong Kong'da su borularının yarısından fazlası kırk yıldan fazla kullanılmaktadır. Bu eski borular su kayıplarına ve kazalara sebep olmakta ve içilebilir su kaynaklarının neredeyse %25'inin boşa gitmesine neden olmaktadır (Itani et al., 2020).

Su şebeke sistemlerinde SCADA sistemlerinin veri alabilmesi için basınç ölçüm ve yönetim alanlarındaki veri depolama ve ölçme aygıtları güç kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Ancak her ölçüm alanında güç kaynağı sorununu çözmek bazen yüksek

maliyetler oluşturabilmektedir. Bunun için yeni enerji nakil hatları yapılması gerekmektedir. Bu maliyetlerden kurtulmak için su idareleri güneş enerjisinden faydalanmaktadır. Ancak güneş enerji sistemlerinin sürekliliği ve verimi yılın ve günün belli zamanlarına göre ciddi değişim göstermektedir. Ve bu enerjinin depolanması için akü ihtiyacı doğmaktadır. Ancak akülerin ilk alım ve bakım maliyetleri yüksek ve ömürleri sürdürülebilir bir sistem için kısa olmaktadır. Bu durum yenilenebilir ve sürdürülebilir bir sistem olan boru içi türbin ile elektrik üretimini oldukça cazip hale getirmektedir (Shen vd., 2023).

Su dağıtım sistemlerinin sürdürülebilir bir şekilde yönetilebilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları eski boruların değiştirilmesi, basınç yönetimi, su kayıp kaçağın azaltılması, şebeke hatlarındaki sudan enerjinin geri kazanılması, mevcut pompaların modernizasyonu ve yenileri ile değiştirilmesi şeklinde yapılabilir. Özellikle, basınç yönetimi su kayıp kaçağın ve mevcut enerji kullanımının kontrol altına alınabilmesi için önemlidir. Su şebekelerinde fazla enerjiyi kırmak için hidrolik model ve SCADA verileri ışığında seçilen noktalara basınç kırıcı vanalar konularak basınç kontrol altına alınabilir (Carravetta vd., 2022).

Su dağıtım şebekelerinde, su borularının içindeki fazla basıncın kırılması, basınç kırıcı vanaların yerine su tedarikine de zarar vermeyecek şekilde mikro hidroelektrik sistemleri ile yapılabilir. Mikro hidroelektrik sistemleri hem basınç düşürmek hem de enerji üretimi için geleneksel kullanılan basınç kırıcı vanalar ile değiştirilebilir. Suyun boru içerisindeki prensibi gereği su şebeke hatlarında aşırı basınç ve yükseklik nedeniyle enerji kaybına uğrar. Su şebeke hatları, alanın topoğrafyası ve geniş dağıtım ve iletim hatları nedeni ile su boruları aşırı basınca maruz kalabilir. Aşırı basıncın sonucu olarak su kaybı miktarı yüksek değerlere çıkmakta olup su israfına neden olmaktadır. Basıncın yüksek olması arızaların da artmasına yol açmaktadır. Ve bu durum maliyetleri ciddi oranda artırmakta ve temiz su kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasına zarar vermektedir. Bu nedenlerden dolayı su şebeke hatlarında basınç yönetimi ciddi öneme sahiptir (Hamlehdar vd., 2022).

İçme suyu şebekelerinde su hızı, işletme ve statik basınç, debi değerlerinin hesaplanması için hidrolik modelleme çalışması yapılır. Bu model tahmini ile şebekenin farklı noktalarında oluşacak basınç ve debi değerleri için özel simülasyonlar

hazırlanabilir. Gündüz ve gece arasındaki su kullanımını farkından oluşan basınç değerleri bu simülasyonlar sayesinde tahmin edilebilir. Mevcut işletmede modelleme hesapları öngörülerek belli noktalara basınç ölçüm cihazları konulur. Canlı hattan gelen veriler günün her saati izlenir ve bu sonuçlara göre modelleme simülasyonlarında daha detaylı çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmaların sonucunda basıncın yüksek olduğu bölgelerde basıncı dengelemek ve kontrol altında tutmak için uzaktan kontrollü basınç ve debi ayarı yapabilen cihazlar kullanılmaktadır. Bu cihazlar SCADA sistemine entegre çalışabilmektedir. Bu çalışmaların devamında suyu en etkin ve verimli yönetebilmek için izole bölge çalışmaları yapılmaktadır. İzole bölgeler basınç ve ihtiyaç verileri hesaplanarak kapalı şebeke ağlarının birbirinden koparılması ile oluşturulur. İleride oluşabilecek ihtiyaçlar için bu izole bölge geçiş noktalarında kontrol vanaları bırakılabilir. Hidrolik modelleme tahminleri ile yapılan bu çalışmalar basınç yönetimi ve su debi kontrolü açısından hayati önem taşımaktadır. Basıncın istenilen değerde tutulması ile fiziki kayıp kaçaklar da azalacaktır.

### **2.1.1. Konya İli İçme Suyu Temin ve Dağıtım Şebekesi**

Konya ili Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde bulunmaktadır. 41.000 km<sup>2</sup> yüzölçümü ile Türkiye'nin yüzölçümü en büyük ilidir. Ortalama yükseltisi 1.016 metredir. Konya'nın su kaynakları ve orman bölgelerinin büyük bir kısmı yüksek yerlerde bulunmaktadır (KOSKİ, 2024).

Konya'nın geçmişten bugüne en önemli su kaynağı, şehrin merkez bölgelerinden geçen Meram Deresidir. Meram Deresi şehrin kuruluşundan bu yana içme, kullanma ve tarımsal su ihtiyaçlarını karşılamıştır. Önceki yıllarda yapılmış su sarnıçlarından, 10-15 cm aralıklı çaplardaki kil borular vasıtası ile şehir merkezindeki depolara su iletim hatları yapılarak içme ve kullanma su temini sağlanmıştır (KOSKİ, 2024).

Şehrin içme suyu ihtiyacı Selçuklular zamanında Alaaddin Keykubat tarafından ele alınmış ve şehrin batısında bulunan Beypınarı ve Mukbil kaynak suları, şehrin merkezinde Havzan bölgesine depo yapılarak toplanmış ve dağıtımına verilmiştir (KOSKİ, 2024).

Zamanla artan su ihtiyacının karşılanması amacıyla, Osmanlılar zamanında Yavuz Sultan Selim devrinde 16. yüzyılda şehrin güneybatısında bulunan Dutlu kaynağı, 12 km'lik bir isale hattıyla şehre getirilmiştir (KOSKİ, 2024).

1902 yılında dönemin valisi Ferit Paşa tarafından, şehrin güneybatısında bulunan Çayırbağı kaynağı 20 km'lik bir isale hattıyla şehre getirilmiş ve Alaaddin Tepesine yapılan 500 m<sup>3</sup>'lük bir depoda toplanarak şehrin ihtiyacını uzun yıllar karşılamıştır. 1924 yılında Mukbil ve Beypınarı kaynaklarının isale hatları, 1937 yılında ise Dutlu kaynağının isale hattı pik borularla yenilenmiştir (KOSKİ, 2024).

Şehrin içme ve kullanma suyu ihtiyacı 1956 yılına kadar yukarıda belirtilen tatlı su pınarlarından sağlanmış, artan su ihtiyacını karşılayabilmek için bu tarihten itibaren derin kuyular açılmaya başlanmıştır. Sondajlarla yer altından elde edilen sular pompa vasıtası ile doğrudan dağıtım şebekesinin kullanımına verilmiştir (KOSKİ, 2024).

Artan ihtiyaca göre dağıtım şebekesi depolama hacmi zaman içinde genişletilmesine rağmen, bu gelişme plan ve projeye dayandırılmadığı için, kontrollü bir şekilde işletilmeyen, maliyeti yüksek, yangın ve sağlık yönlerinden yetersiz ve emniyetsiz bir sistem ortaya çıkmıştır. Bu durumda şehrin gelecekteki su ihtiyacını karşılayacak bir kapasitede olmamıştır. Bu nedenlerden dolayı Konya İçme Suyu projesi hazırlanmıştır (KOSKİ, 2024).

1981 yılında başlanan ve 1984 yılında bitirilen bir projeye Konya'nın su ihtiyacı çalışılmaya başlanmıştır. Şehrin 1985-2015 yılları arasındaki su ihtiyacı projelendirilmiş, beşer yıllık nüfus artışı ve imar planına göre genişleme dikkate alınarak, Altınapa Barajı planlanmıştır. Ayrıca altı ayrı bölgede su seviyesi ve kalitesi dikkate alınarak 95 adet sondaj kuyusu açılacağı planlanmıştır (KOSKİ, 2024).

Bu projede yer alan ana isale hatları, pompa istasyonları, sondaj kuyuları, su depoları ve terfi hatları ile içme suyu arıtma tesisi, enerji üniteleri ve su şebekesinin tamamı tamamlanmıştır. Konya'da su kaynağı olarak yeraltı, yüzey ve pınar suları şehrin su ihtiyacını karşılamada kullanılmaktadır (KOSKİ, 2024).

Altınapa Barajı İçmesuyu İsale Hattı ve Arıtma Tesisleri 1986–1994 yılları arasında tamamlanmıştır. Konya'ya 1995-2014 yılları arasında alınan su miktarı yıllık ortalama 20 milyon m<sup>3</sup>'tür. Şehrin 1985-2015 yılları arasındaki içme suyu ihtiyaçları şehrin imar planına göre gelişmesi ve 5'şer yıllık nüfus artışları göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Konya şehrinin 2016 yılı su ihtiyacının 101,23 milyon m<sup>3</sup> değerine ulaşacağı yapılan hesaplamalarla öngörülmüştür. Bu miktarın 37,8 milyon m<sup>3</sup>'ünün Altınapa Barajı'ndan, kalanının yeraltı su kaynaklarından karşılanması planlanmıştır. Ancak iklimsel koşullar ve küresel kuraklık sebebiyle Altınapa Barajından alınan su miktarı yıllık ortalama 20 milyon m<sup>3</sup> civarında gerçekleşmiştir (KOSKİ, 2024).

Altınapa Barajı'ndan alınması planlanan yıllık 37,8 milyon m<sup>3</sup> su yerine ortalama 20 milyon m<sup>3</sup> su alınabilmiştir. Geriye kalan su miktarı yer altı kuyularından karşılanmıştır. 95 adet yer altı sondaj kuyusu 1984 yılındaki plana göre yer altı su seviyesinin düşmesi nedeniyle ihtiyaca cevap verememiş ve 2014 yılı itibariyle Konya il merkezinde toplam 223 adet yer altı sondaj kuyusu ile su ihtiyacı karşılanmaktadır (KOSKİ, 2024).

Yeterli miktarda; kaliteli, güvenilir, sağlıklı ve ucuz suyun yerleşim alanlarına verilmemesi; halk sağlığı açısından problem yaratmakta ve ekonomik kayıplara neden olmakta, bunun sonucunda da sosyal problemlerin ortaya çıkması yüksek ihtimallere ulaşmaktadır (KOSKİ, 2024).

Konya şehrinde içme, endüstri ve kullanma suyu üç ayrı su kaynağından sağlanmakta olup, bunlar; yüzey suları, pınarlar ve yeraltı sularıdır.

## 1- Yüzey Suları

### Altınapa Barajından Su Temini:

Konya İçme Suyu Arıtma Tesisleri'nin suyunun temin edildiği Altınapa Barajı, şehrin 20 km batısındaki Dolav Deresi üzerinde yer almaktadır.

Altınapa Barajı'na ait bazı bilgiler:

Drenaj alanı	: 589 km <sup>2</sup>
Gövde tipi	: Kaya ve toprak dolgu
Kret genişliği	: 10 m
Kret uzunluğu	: 252 m

Kret kotu	: 1256.50 m
Minimum su kotu	: 1239.50 m
Maksimum su kotu	: 1254.80 m
Yıllık ortalama yağış	: 315 mm



Şekil 2.2. Altınapa Barajı (KOSKİ, 2024)



Şekil 2.3. Akyokuş İçme Suyu Arıtma Tesisleri (KOSKİ, 2024)

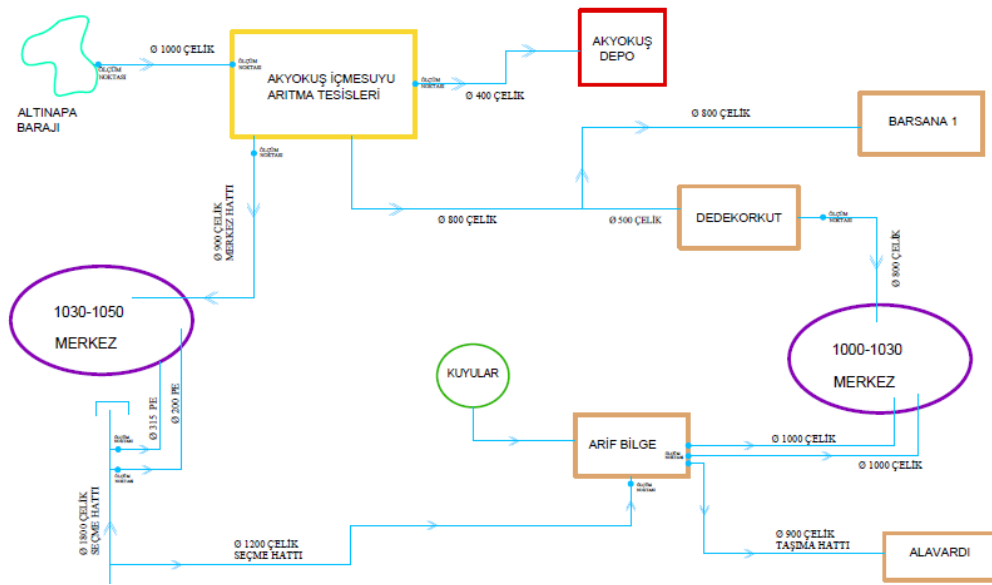
1984 yılında yapılan projeye göre Altınapa Barajı'ndan alınan suyun arıtılarak kullanıma verilmesini sağlayan 1995 yılında faaliyete geçen Konya İçme Suyu Arıtma Tesisleridir (KOSKİ, 2024).

Tesis 200.000 metrekarelik bir alana oturmuş olup, kapasitesi maksimum 104.000 m<sup>3</sup>/gün'dür (1.2 m<sup>3</sup>/sn) (KOSKİ, 2024).

Altınapa barajı dip savak borusundan ayrılan Ø 600 branşman hattından alınan su, 5.178 m uzunluğundaki Ø 800 ÇB ile HES çevirme bendine ulaşmaktadır.

Buradan enerji kırıcı vana sonrası 2.700 m uzunluğundaki kutu kesit beton kanal (Macar Kanalı) ile HES cebri boru yükleme havuzuna gelmektedir (2004 yılında kayıp ve kaçağın önlenmesi amacıyla bu hattın 2.112 m'lik kısmı Ø 1000 ÇB yapılmıştır).

HES elektrik üretiminden sonra su, 7.722 m uzunluğundaki Ø 1000 ÇB yardımıyla cazibeli olarak Arıtma Tesisleri'ne ulaşmaktadır (KOSKİ, 2024).



Şekil 2.4. Konya Merkez Şebeke Su Döngüsü (KOSKİ, 2024)

### Mavi Tünelden Su Temini :

Mavi Tünel Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP)'nden sonra en büyük sulama projesi yatırımı olma özelliğini taşır. Konya'nın su rüyasını gerçekleştirmek için DSİ tarafından tamamlanmak üzere olan (Avşar Hadimi Tüneli inşaatı son aşamaya gelmiştir.) Toplam 12 projeden meydana gelen Konya Ovası Sulama Projesi, bünyesinde içme suyu projeleri, 9 adet büyük su projesi, Göksu Havzası enerji projeleri ve çok sayıda küçük yeraltı ve yer üstü sulamaları bulunmaktadır. Bölge için hayati önem taşıyan

Konya Ovası Projesi (KOP) ile ana hedef Konya ovasının sulanmasıdır. Proje kapsamında Konya şehir merkezinin içme, sanayi ve kullanma suyu ihtiyaçlarının karşılanması bulunmaktadır. Konya ülkemizin en az yağış alan şehirlerden biridir (KOSKİ, 2024).

Konya Mavi Tünel İçmesuyu Projesi ve Konya-Çumra 3. Merhale Projesi kapsamındaki Bozkır, Afşar, Bağbaşı barajları ve Doğu Akdeniz Yukarı Göksu havzasından Konya Kapalı havzasına Mavi Tünel vasıtasıyla aktarılacak sudan 100 milyon m<sup>3</sup>/yıl su tahsis edilmiştir. Konya il merkezinin, İçeri Çumra ve Alibeyhüyüğü Mahallelerinin, Çumra ilçe merkezinin 2045 yılı su ihtiyaçları karşılanmıştır (KOSKİ, 2024).

96,63 milyon m<sup>3</sup>/yıl'lık su tahsisi Konya il merkezine, Çumra ilçe merkezi için ise 3,37 milyon m<sup>3</sup>/yıl'lık kısmı iletilmiştir.

“Konya Mavi Tünel İçme Suyu Projesi” kapsamında;

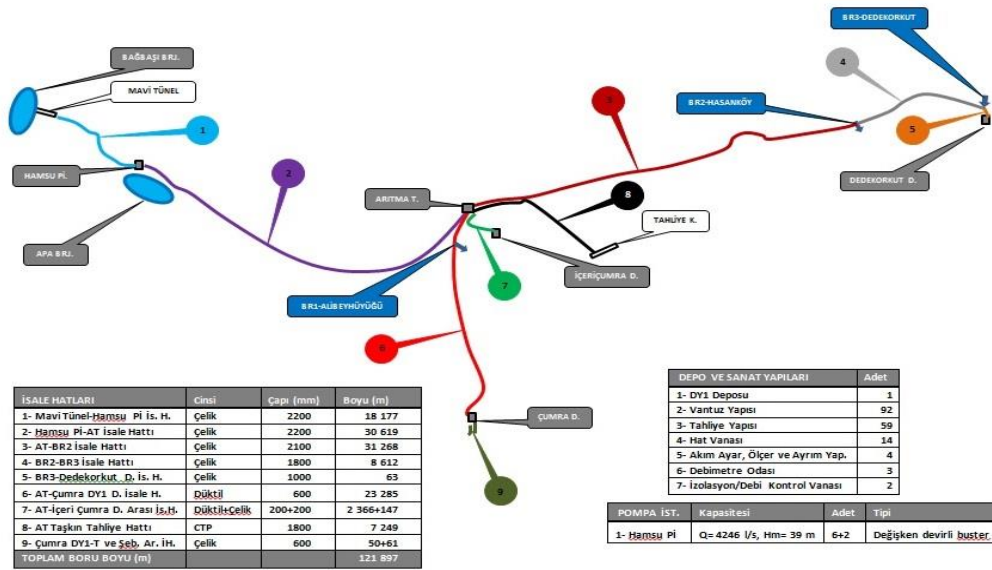
- İsale hattı, 122 km
- Terfi Merkezi, 1 adet
- 356.850 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli arıtma tesisi, 1 adet
- 15.000 m<sup>3</sup> kapasiteli su haznesi, 1 adet bulunmaktadır (KOSKİ, 2024).

Yukarı Göksu Havzası'nın proje ile Akdeniz'e boşalan sularının yıllık yaklaşık 414 milyon metreküpünü, inşa edilen üç baraj ( Bağbaşı, Bozkır ve Afşar) ve Mavi Tünel ile Konya Kapalı Havzası'na aktarılmıştır. Ayrıca yaklaşık 50 MW kurulu güçte üç adet HES ile yıllık yaklaşık 150 milyon kWh enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca KOSKİ tarafından enerji üretimini artırmak için Mavi Tünelden sonraki isale hattı ile Seçme Arıtma Tesisleri girişine 1,67 MWm kurulu güçte HES yapılmıştır (KOSKİ, 2024).



Şekil 2.5. KOSKİ Seçme Arıtma Tesisi (KOSKİ, 2024)

Mavi Tüneli, Türkiye'nin Urfa tünellerinden sonra yaklaşık 17 kilometre uzunluğu ile ikinci büyük sulama tünelidir (KOSKİ, 2024).



Şekil 2.6. Konya İçme Suyu Temin ve Dağıtım Şeması (KOSKİ, 2024)

Konya kent merkezinin içme suyu ihtiyacı 3 farklı noktadan temin edilmektedir.

Mavi Tünel (Bağbaşı Barajı) – Seçme Arıtma Tesisi : % 75

Altın Apa Barajı – Akyokuş Arıtma Tesisi : % 22

Sondaj Kuyuları : % 3

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi 17 kilometrelik Ø 2200 mm çelik boru isale hattı ile alınan su Seçme Arıtma Tesislerine getirilmektedir. Arıtma tesisinde arıtılan sular Ø 2100 mm çelik boru isale hattı ile şehir merkezine su temin etmektedir. Arıtma Tesisinden 96,63 Milyon metreküp/yıl Konya il merkezine, 3,37 Milyon metreküp/yıl miktarı ise Çumra ve bağlı İçeri Çumra ile Alibeyhüyüğü mahallelerine verilmektedir. Ayrıca Karapınar, Altınekin, Cihanbeyli ve Kulu ilçelerine de su temini projelerinin yapımı devam etmektedir. Arıtma Tesisinden maksimum 14 m<sup>3</sup>/saat su şehir merkezine isale edilmiştir. Altınapa Barajından Ø 1000 Çelik Boru İsale Hattı ile Akyokuş İçme Suyu Arıtma Tesisine getirilerek şehir merkezine içme suyu temini yapılmaktadır. Konya şehir merkezinin içme suyu ihtiyacının büyük çoğunluğunu Mavi Tünelden karşıladığı için Akyokuş Arıtma Tesisi aynı zamanda alternatif olarak bulunmaktadır (KOSKİ, 2024).

**Konya şehir merkezi sanat yapıları ve şebeke uzunlukları ile ilgili bilgiler** (KOSKİ, 2024);

İçme Suyu Şebeke Uzunluğu	: 6.600 km
Mevcut Kaynak Sayısı	: 55 Adet
Toplam Depolama Hacmi	: 242.500 m <sup>3</sup>
Mevcut Depo Sayısı	: 142 Adet
Pompa ve Terfi İstasyon Sayısı	: 42 Adet
Mor Şebeke Uzunluğu	: 21 km
Mevcut Kuyu Sayısı	: 295 Adet

## 2- Yeraltı Suları

Konya ili içme suyu temini olarak 295 adet derin kuyu ile yer altı suları Bağbaşı ve Apa barajları haricinde B planı olarak hazırda beklemektedir. Bu kuyuların periyodik bakım ve su kalitesi deneyleri yapılmaktadır. Kuyuların 300 metreye ulaşan derinlikleri ve 52 L/sn'ye kadar olan debileri bulunmaktadır. Kuyularda bulunan sular analizlere göre sıhhi ve temiz olmakla beraber dağıtım hattında oluşabilecek kirlenme durumlarına karşın klorla dezenfekte edilmektedir. Kuyulardan elde edilen sular 18-35 Fr (Fransız) sertliğindedir. Kent merkezinde bulunan 295 adet kuyu gerekli olduğunda acil durumlar için kullanılmaktadır. Sondaj Kuyuları alternatif olarak bulunmaktadır.

### 3- Pınarlar

Geçmişte şehrin su ihtiyacını karşılayan Dutlu, Mukbil, Çayırbağı ve Beypınarı tatlı su kaynakları, 1989 yılında yapılan proje ile mevcut şebekeden ayrı bir su şebekesi hattıyla, ücretsiz bir şekilde halkın kullanımına sunulmak üzere mahallelere yapılmıştır.

Pınarlar çıktıkları yerlerden kaptaj vasıtası ile dağıtım şebekesine alınmışlardır. Pınar sularının çevresinde yerleşim birimi veya kirlenici unsur bulunmadığı için, dağıtım şebekesinde kirlilik oluşma ihtimaline karşı klorla dezenfekte edilmektedir.

#### Tatlı Su Kaynakları :

Çayırbağı Kaynağı : 26 L/sn

Mukbil Kaynağı : 7 L/sn

Dutlu Kaynağı : 55 L/sn

Şadiye Kaynağı : 12 L/sn

Beypınarı Kaynağı : 6 L/sn

Kırankaya Kaynağı : 6 L/sn

**Toplam : 112 L/Sn**

Çeşme Adedi : 1004

Tatlı Su Şebeke Uzunluğu : 591 km

Tatlı suların daha iyi işletilebilmesi için 500 ila 3000 metreküp arasında 4 adet deposu bulunmaktadır (KOSKİ, 2024).

#### 2.1.2. Su İletim ve Dağıtım Şebekeleri

İçme suyu kaynaklarının temini, getirilmesi, arıtılması ve şebeke hatları ile son kullanıcıya ulaştırılması birbirini tamamlayan ve önem arz eden bir dizi çalışmanın ve düzenli işletmenin sonucudur. Kentleşmenin ve nüfusun artışı ile içme suyu arzı kentlerde ciddi oranda artmıştır. Bu durum mevcut temin ve dağıtım şebekelerinde yeni kaynak ihtiyacı doğurmaktadır. Küresel iklim değişikliği ile yağışların azalması ve dengesizleşmesi sonucunda yer üstü kaynaklarında önemli derecede düşüş yaşanmıştır. Bu durum suyun yer altından pompalar vasıtası ile alınması zorunluluğunu doğurmuştur. Yer altı su kaynakları tarımsal sulamanın ve içme suyu arzının da etkisiyle günden güne daha alt kotlara inmekte veya kurumaktadır. Yeraltı sularının devamlılığı kar yağışı ile mümkün olmaktadır. Su seviyesinin düşüşü mevcutta kullanılan pompaların değişmesine

ve daha çok elektrik maliyetine yol açmaktadır. İşletme ve elektrik maliyetlerinin artması ile enerjide geri dönüşüm projeleri hız kazanmıştır. Su idareleri yenilenebilir ve temiz enerji sistemleri ile elektrik üretme yoluna gitmişlerdir. Elektrik maliyetlerini düşürebilmek için güneş ve rüzgar enerji santralleri ile barajlardan ve nehirlerden hidroelektrik santralleri kurulmuştur. Bu yöntemler süreklilik arz etmemektedir. Güneş enerji sistemlerinde yılın belli dönemlerinde ve gece saatlerinde verim alınamamaktadır. Rüzgar enerji santrallerinde rüzgarın yıllık bazdaki değişimi beklenen sonuçları vermemektedir. Hidroelektrik santrallerde ise su miktarının azalması santrallerin çalışma düzeninde aksaklıklara yol açmaktadır.

İçme suyu şebeke hatlarında fazla basıncın hatlarda oluşturduğu arıza ve kayıp kaçakları artırması nedeniyle bu basıncın düşürülmesi gerekmektedir. Basıncı düşürmek için geleneksel olarak basınç düşürme vanaları kullanılmaktadır. Basınç düşürme vanalarının çalışma prensibi gelen basınçlı suyun önüne bir engel koyarak potansiyel ve kinetik enerjinin kırılması şeklindedir. Burada potansiyel olarak oluşup kinetik hale geçen önemli miktarda enerji kaybolmaktadır. Boru içerisindeki bu enerji boru içi türbin teknolojisi ile elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Boru içi türbin teknolojisi dünyada oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin hidrokinetik sistemler olarak adlandırılmaktadır. Mevcut büyük hidroelektrik santrallerine göre daha düşük enerji üretimi olduğu için MİKROHES olarak literatürde kendine yer bulmuştur.

Cazibeli su hatlarında su iletimi yüksek kottan alçak kota aktarılır. Bu iletim hatlarında borudaki basınç belli noktalarda artmakta ve artan fazla basıncı azaltmak veya sıfırlamak için maslak, basınç kırıcı vana yapıları bulunur. Maslak yapılarında su, depoda depolanırken atmosferik basınca maruz kalır ve basınç atmosfer basıncı seviyesine düşer. Bu sayede fazla su basıncı ve kinetik enerji sıfırlanır ve fazla su basıncının oluşması engellenir. Cazibeli su iletim hatlarında, aşırı basınçtan enerji geri kazanımı sağlamak için maslak veya basınç kırıcı vanalardan önce türbin yerleştirilebilir. Cazibeli su iletim hatlarında maslak ve basınç kırıcı vana kullanımı dünya çapında çok yaygın olması ve basınç yüksek olan bu noktalara türbinlerin kurulması, sürekli ve temiz enerji olması sebebiyle, enerji üretimi için sürdürülebilir ve büyük bir potansiyeldir (Kerim vd., 2021).

Şehirlerin altyapısında bulunan su iletim ve dağıtım şebekelerinden elektrik enerjisi üretme fikri araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Özel olarak, su iletim ve dağıtım

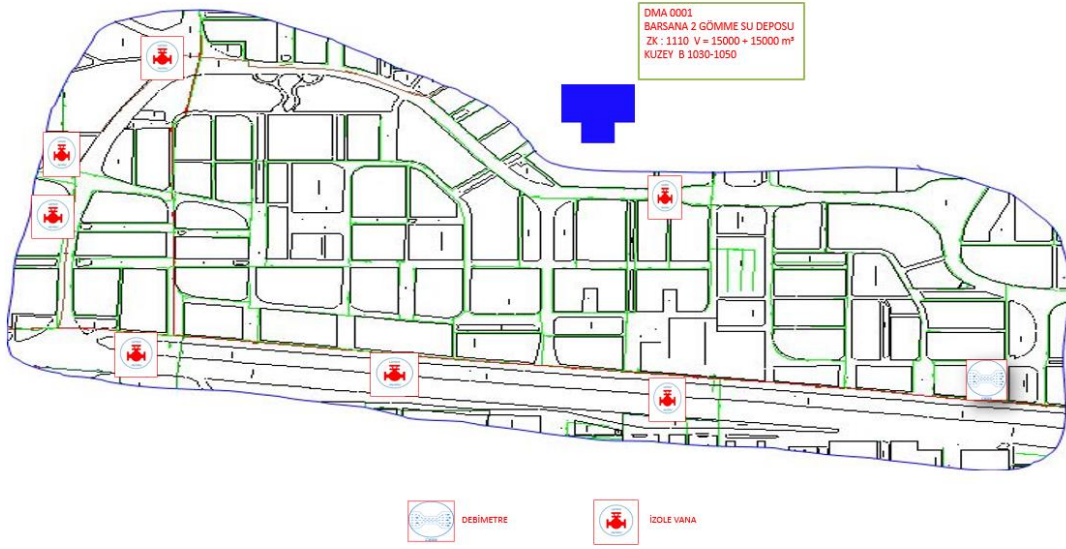
şebekelerinde kot farkı, kullanım sıklığı, kullanım azlığı, durgun su basıncı gibi nedenlerle oluşan fazla basıncın, basınç kıran elemanlar (basınç kırıcı vana, maslak vs.) vasıtası ile düşürülmesi yerine boru içine konulabilecek mikro hidroelektrik türbin sistemleri ile aynı zamanda basınç düşürülerek elektrik enerjisi üretilebilir. Bu sayede sürdürülebilir ve çevreci bir uygulama ile hem fazla basınç düşürülecek hem de günümüzde çok önemli olan elektrik enerjisi üretilebilecektir (Kerim vd., 2021).

Enerji ve su kaynaklarının temini ve mevcut durumu, insan yaşamı, endüstriyel gelişim ve ekonomik gelişme için önemli bir rol oynamaktadır. Kentlerde iş imkanının ve sosyal hayatın daha kolay ulaşılabilir olması kentlerdeki nüfus artışını beraberinde getirmiştir. Bu artışa bağlı olarak içme ve kullanma suyu talebi artmakta ve bu da su iletim ve dağıtım şebekelerinin işletme ve enerji maliyetlerinde artışa neden olmaktadır (Kerim vd., 2021).

Su temin sistemlerinde pompalama için küresel elektrik tüketimi, tüm tüketimin %2-3'ünü oluşturmaktadır (Karadirek vd., 2016).

Su temini tesislerinin su temini yönetimini iyileştirmelerine, erken uyarı sunmalarına ve su boru hattı sızıntılarını kontrol etmelerine yardımcı olmak için, su boru hatları boyunca hidrolik ve su kalitesi koşullarını izlemek için birçok cihaz kurulmuştur. Ancak, bu tür muazzam izleme sistemlerinin zorluklarından biri, kötü saha koşulları nedeniyle akıllı sensörlerin ve sensör ağlarının sürekli ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için sınırlı güç kaynaklarına sahip olmasıdır (Chen vd., 2013).

Su Dağıtım Şebekeleri (SDŞ)'nde fiziki su kayıp ve kaçakların tespiti, azaltılması ve yönetimi, sürdürülebilir su yönetimi için önem kazanmaktadır. Su dağıtım ağının daha iyi yönetimi için Alt Bölge (DMA) olarak adlandırılan küçük ve izole alanlarda SDŞ'ini ayırmak yaygın bir uygulamadır (Şekil 2.7.). Bir DMA içinden geçen toplam akış hızı, debi ölçerler vasıtası ile DMA'nın girişinde ölçülür. Su dengesinin ayarlanması ve su kayıp miktarının tahmin edilebilmesi için abonelerin sayaç verileri ile beraber SCADA verileri ile analiz edilir.



Şekil 2.7. Örnek DMA Bölgesi, DMA001 (KOSKİ, 2024)

DMA'larda gece saatlerinde oluşan minimum debilerin gözlenmesi mümkündür. Ayrıca saatlik su tüketimlerin bu verilere dayanarak değerlendirilmesi ile su kayıp miktarları tahmin edilebilecek ve daha etkin ve verimli bir su yönetimi yapılabilecektir. İçme suyu iletim ve dağıtım şebekelerinden enerji üretimi yapılması ile ilgili çalışmalar diğer enerji üretimlerine göre sınırlı kalmaktadır. İnsan sağlığı açısından bu enerjiler su kadar gerekli olmasa da şebekedeki işletme faaliyetlerinde bu enerjinin kullanılabileceği düşünülünce kritik öneme sahip olmaktadır (Süme vd., 2024).

Su sistemlerinin yönetiminde, enerji kullanımının geri dönüşümü ve azaltılması, endüstriyel faaliyetlerin çevresel etkisine ilişkin Avrupa ve küresel endişe tarafından belirlenen temel bir konuyu temsil eder (Mishra vd., 2021). Örnek olarak, Uluslararası Standart ISO ASME 14.414 enerji tüketen sistemlerin verimliliğini uygun şekilde kontrol etmek için terfili sistemlerde enerji değerlendirmesinin yapılması ve sonuçların buna göre raporlanması için gereklilikleri belirlemektedir. Çevresel yönüne ek olarak, enerji kullanımının sınırlandırılması ve geri dönüşümü, su temin sistemlerinde su terfi sistemleri için enerji tüketim maliyetlerinin büyük bölümünü temsil etmesi nedeniyle, maliyetlerin azaltılmasını ve enerji kullanımının azaltılmasına dayalı su sistemlerinin sürdürülebilir bir şekilde büyümesi, ekonomik ve çevresel açıdan önemli faydalar sağlayabilir (Xue vd., 2016).

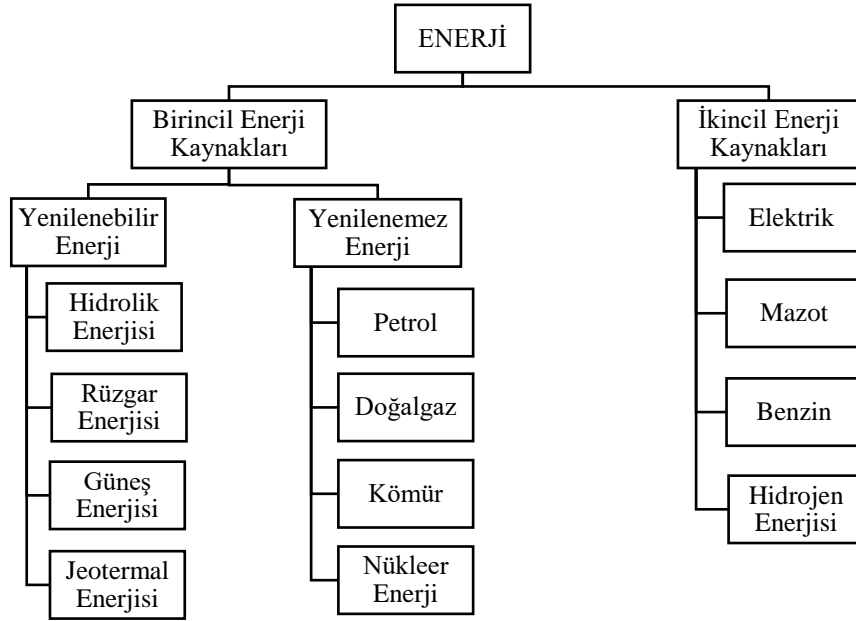
## 2.2. Enerji

Teknolojik gelişmelerin ve tıp biliminin gelişmesi ile nüfus artışı enerji, su ve gıda ihtiyacını önemli derecede artırmıştır. Bu ihtiyaçlara cevap verebilmek için farklı kaynaklar kullanılmaktadır. Enerji, su ve gıda ihtiyacı birbiri ile bağlantılı olup, gıdaya ulaşılabilmesi için enerji ve su büyük önem arz etmektedir.

Küresel iklim değişikliğinin etkilerinin ciddi miktarda artması sonucunda sera gazı emisyonlarının düşürülmesi ile ilgili hedefe ulaşmakta daha çok çaba sarf edilmesi gerekmektedir. Sanayi çağından bu yana enerji sektörü küresel ortalama sıcaklığın 1,1 °C artışının %75'inden sorumludur. Enerji sektöründe dönüşüm yapılarak yenilenebilir enerjilere desteğin daha da artması gerekmektedir (WEC Türkiye, 2021).

Ülkemizdeki nüfusun hızla arttığı, su kaynaklarımızın doğru kullanılmadığı ve değişen iklim neticesinde kuraklığın oluşması, gelecek nesillere yeterli ve sağlıklı su kaynakları bırakabilmesi için kaynakların korunup akıllıca kullanılması gerekmektedir. Refah seviyesinin yükselmesi ve nüfus artışı ile, teknolojik gelişmeler ve sanayinin artması ülkemizde ve dünyada enerji kaynaklarına olan ihtiyacın artarak devam ettiğini göstermektedir. Fosil yakıt rezervlerinin tükenecek olması, bu kaynakları kullanan enerji üretim tesislerin yarattığı ve yaratacağı çevre sorunları yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artmıştır (TMMOB, 2024). Enerji arzının karşılanabilmesi için petrol, doğalgaz, hidrolik, güneş, rüzgar vb. enerji kaynakları kullanılmaktadır.

Enerji kaynakları iki kategoride incelenmekte olup birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak adlandırılmıştır (Şekil 2.8.). Birincil enerji kaynakları doğada bulunduğu şekli ile kullanılabilen kaynaklardır. Bu kaynaklar yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılır (Yılmaz, 2012).



**Şekil 2.8.** Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Demir, 2019)

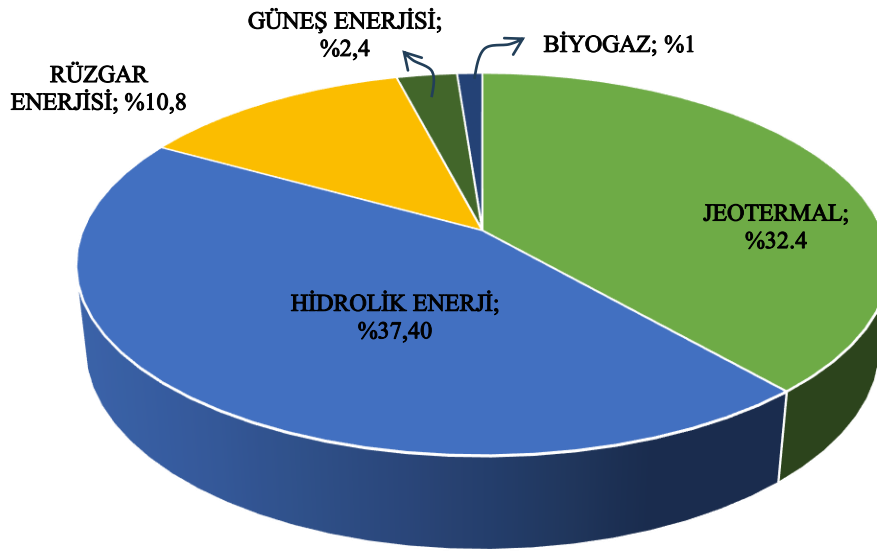
Sanayi devriminden sonra kömür ve petrol gibi yenilenemeyen enerji kaynakları kullanılmaya başlanmıştır. Bu kaynakların kullanımı sonucunda atmosfere bıraktığı gazların etkisi ile küresel ısınma ve sera gazı emisyon değerleri ciddi oranda artmış ve iklim değişiklikleri meydana gelmiştir. Ayrıca kömür ve petrol gibi kaynakların yenilenemez oluşu ve kaynakların azalması ileriki yıllar düşünüldüğünde dünyada temiz enerji kaynaklarına yönelimi artırmıştır.

Temiz enerji üretimi için yeni araştırma ve çalışmalar devam etmektedir (Maden vd., 2021). Yenilenebilir enerji, kendini kısa sürede yenileyebilen veya devamlı olan, dolaylı ve doğrudan güneş, rüzgar vb. enerji ve doğal işlemlerden elde edilen enerji olarak tanımlanmaktadır (Demir, 2019).

İnsanlığın eski çağlarında rüzgar ve su gücü yenilenebilir kaynak olması sebebiyle bazı temel ihtiyaçları karşılamak için enerji kaynağı olarak kullanılmaktaydı. Günümüz dünyasında bu kaynaklar teknik ve bilimsel gelişmeler ile çok daha etkin ve verimli şekilde kullanılmaktadır.

Dünyada ve ülkemizde en çok kullanılan enerji kaynağını fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Fosil yakıtların zamanla tükenme durumu, ayrıca atmosfere karbondioksit salınımlarının yüksek olması küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Küresel

ısınma neticesinde çevresel zararların oluşması çevreci ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi zorunlu kılmıştır. Yenilenebilir enerjiler başlıca hidrolik, güneş, jeotermal, rüzgâr ve dalga kaynaklarından oluşmaktadır. Ülkemizde en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynakları ve kullanım oranları Şekil 2.9.'da görülmektedir (Demir, 2019).



Şekil 2. 9. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kapasitesini Kullanım Oranları (Kayaşoğlu & Diken, 2019)

Dünyanın en yaygın ve en temiz bulunan yenilenebilir enerji kaynağı su enerjisi olarak bilinir. Su yenilenebilir enerji kaynağı olarak hayatımızın vazgeçilmez bir parçasıdır (Kerim vd., 2021). Aynı zamanda su, verimliliği yüksek bir enerji kaynağıdır (Muratoglu vd., 2015). Enerji talebini karşılamak için düşük maliyetli, kurulumu kolay, temiz ve güvenilir olması gerekir. Su, alternatif yenilenebilir enerji kaynakları arasında verimli elektrik enerjisi kaynakları sağlayabilir (Süme vd., 2024).

Suyun kinetik ve potansiyel enerjisinin birleşimine hidrolik enerji adı verilir. (Demir, 2019).

Birincil ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan su enerjisi hidroelektrik enerji olarak adlandırılmaktadır. Genellikle hidroelektrik enerji, baraj ve nehirlerde toplanan sulardan sağlanmaktadır. Su günlük hayatta insan ve hayvanlar için içme ve kullanma, sanayide üretim ve tarımsal üretim alanlarında kullanılmaktadır.

Suyun kullanıldığı tüm alanlarda elektrik enerjisi ihtiyacı bulunmaktadır. İçme ve tarımsal sulama hatlarında bulunan suyun isale ve şebeke hatlarında oldukça yüksek potansiyel enerjisi bulunmakla beraber bu enerji çoğu zaman basınç kırıcı vana ve maslak yapıları ile kırılmaktadır. Kaybolan bu hidrolik enerjinin elektrik enerjisine çevrilmesi mümkündür.

Enerji maliyetlerinin artışı ve değişen iklimin etkisi ile yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretilmesi fikri dünyada ciddi oranda kendine yer bulmuştur. Yenilenebilir enerji kullanımında %1 oranında küçük bir artışın bile uzun vadede CO<sub>2</sub> emisyonlarında %0,14 azalmaya yol açtığı gözlemlenmiştir (Raihan vd., 2022).

### 2.3. Hidroelektrik

Hidroelektrik sistemler, suyun enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üreten sistemlerdir (Süme vd., 2024). Hidroelektrik, su ve enerjinin birbiri ile güç bulduğu, ekonomiklik ve gelişim açısından diğer yenilenebilir enerjilerle ciddi miktarda rekabet edebilecek bir enerji kaynağı olarak kabul edilir (Kerim vd., 2021). Hidroelektrik enerji teknolojisi üzerinde ciddi çalışmalar yapılmış ve önemli mesafeler kat edilmiştir (Demir, 2019). Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel enerjisini mekanik ekipmanlar yardımı ile kinetik enerjiye dönüştürerek elektrik enerjisine dönüşmesi şeklinde oluşmaktadır. Su enerjisi, ülkemizde ve Dünyada yenilenebilir, çevreci ve temiz olması ile yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Türkiye'nin enerjide dışa bağımlı olması ve hidroelektrik potansiyelinin yüksek olması, bu enerjinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını zorunluluk haline getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ülkemizde gün geçtikçe daha iyi anlaşılmaktadır. Ülkemizin su kaynaklarından elektrik üretim potansiyeli 50.000–45.000 MW santral kurulumunu olanaklı kılmaktadır. Şu anda bu alt değerlerin yaklaşık %70'i değerlendirilmektedir (DSİ, 2020).

Bölgelerin ve havzaların su varlığı, hidroelektrik enerji üretebilme potansiyeli ile doğru orantılıdır. Burada bulunan enerji kapasitesi teknik, ekonomik ve brüt potansiyel olmak üzere üçe ayrılır. Akış enerjisi herhangi bir kayıp olmadan yüzde yüz verimle enerjiye dönüştüğü varsayılırsa, bu hesaplanan enerji brüt hidroelektrik potansiyel olarak adlandırılır. Oluşabilecek kayıplar hesaba katıldığında elde edilen elektrik enerjisi teknik

potansiyel olarak adlandırılır (TMMOB, 2024). Ekonomik hidroelektrik potansiyel ise teknik potansiyelin kâr getirebilir kısmını temsil etmektedir. Tablo 2.1.'de Türkiye ve Dünya genelinde Hidroelektrik potansiyeller verilmiştir. Burada Türkiye'nin toplam ekonomik potansiyelinin tüm Avrupa'nın potansiyelinin %20 kadarını oluşturduğu görülmektedir.

**Tablo 2.1.** Dünya'nın kıta hidroelektrik potansiyelleri (TWh/yıl)(Bozkurt & Tür, 2015)

Bölge	Brüt Potansiyel	Teknik Potansiyel	Ekonomik Potansiyel
Avrupa	3.150	1.225	800
Asya	19.000	6.800	3.600
Afrika	4.000	1.665	1.000
G. Amerika	7.400	2.600	2.300
Avustralya	600	270	105
K. Amerika	6.000	1.500	1.100
Dünya	40.150	14.060	8.905
Türkiye	433	216	160
Türkiye/Dünya %	1,05	1,54	1,80

Hidroelektrik enerji, bölgenin coğrafi özelliklerine ve akımın durumuna göre, hidrostatik ve hidrokinetik yöntemler olmak üzere iki farklı şekilde elde edilmektedir (Demir, 2019).

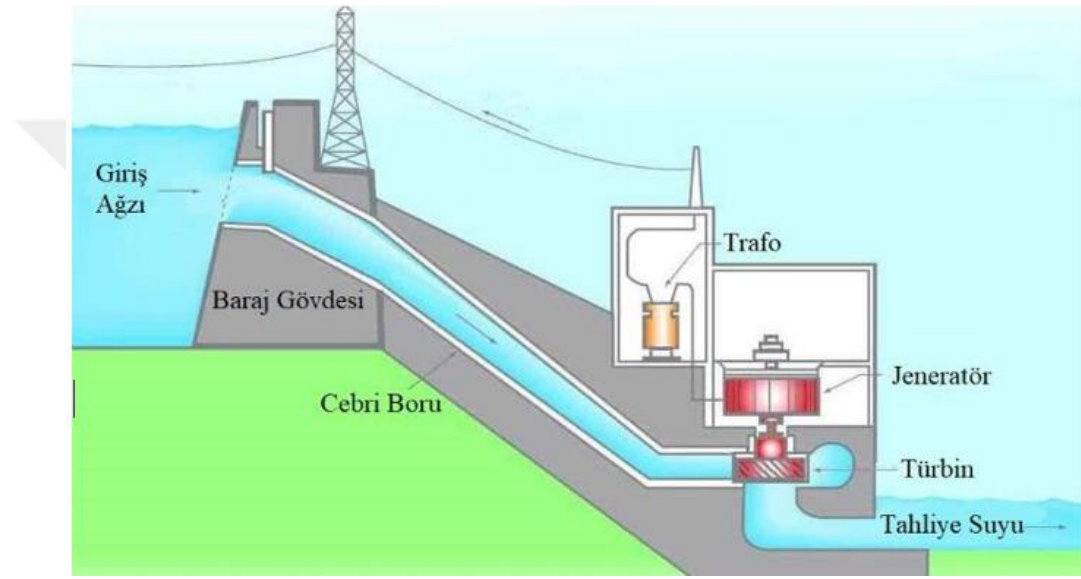
### 2.3.1. Hidrostatik

Hidroelektrik kaynakları, su gücünün etkisi ve hesaplanabilir olması açısından yenilenebilir enerji kaynakları arasında önde gelmektedir. Son yıllarda gelişimi devam eden hidrokinetik türbinler ise baraj yapısına ihtiyaç olmadan dere veya boru üzerinde hidrolik kapasitenin elektrik enerjisine direkt çevrilebileceği sistemler olarak öne çıkmaktadır.

Türbin teknolojisinde son yıllarda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları neticesinde verim oranları yüzde 95'e kadar yükselmiştir. Bu sayede suyun potansiyel enerjisinin önemli ölçüde büyük bir kısmı elektrik enerjine dönüştürülmüştür. Bu sistemlerin yenilenebilir olması ve avantajlarının çok olması dünya genelinde tercih sebebi olmuştur.

### 2.3.1.1. Hidrostatik Türbinler

Suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye çevrilip, daha sonra elektrik enerjisine çevrildiği yapılarda kullanılan türbinlere hidrostatik türbin denir (Şekil 2.10.). Hidrostatik türbinlerde potansiyel enerjinin baraj haznesinde dolu seviyede olması sebebiyle elektrik üretimi süreklilik arz etmektedir. Ancak depolama için baraj vb. yapılara ihtiyaç duyulduğundan suyun bulunduğu her yerde uygulanmaları mümkün değildir.



Şekil 2.10. Hidrostatik türbinlerin uygulama alanının genel görünümü (Demir, 2019)

Barajlar hidrostatik sistemler için temel kullanım alanıdır. Baraj yapıları inşa edildikleri bölgeye etkileri olan ve detaylı bir şekilde planlanması gereken stratejik öneme sahip su yapılarıdır. Bu yapılar planlanırken hidrokinetik potansiyeller dikkate alınmalıdır. Optimum maliyetler ile kurulum maliyetlerinin geri ödeme süresi kısa olmalıdır. Ayrıca kurulacak olan santrallerin bölge üzerinde ekonomik, çevresel sosyal ve ekolojik etkileri olacağı için bölgenin yapısı iyi incelenmelidir. Avantaj ve dezavantaj olarak bölge ve ülkeye etkileri analiz edilmelidir.

Hidroelektrik enerji santrallerinin başlıca avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Yılmaz, 2015);

- Enerjide dışa bağıllığı azaltmaları
- İşletme ömürlerinin uzun ve bakım maliyetlerinin düşük olması

- İhtiyaç durumlarında enerji arz-talebini dengeleyici nitelikte olmaları
- Büyük miktarda elektrik üretim kapasitesine sahip olmaları
- Su ürünleri yetiştiriciliğine ve balıkçılığa olanak sağlamaları
- Taşkın kontrolünü sağlamaları
- Yenilenebilir enerji kaynağı olmaları ve karbon emisyonlarının olmaması
- İçme suyu ve sulama tedarikini sürdürülebilir bir şekilde karşılamaları

Bu avantajların dışında, turizm, su sporları ve mesire alanları olarak kullanılması ve erozyona engel olmaları gibi avantajları bulunmaktadır.

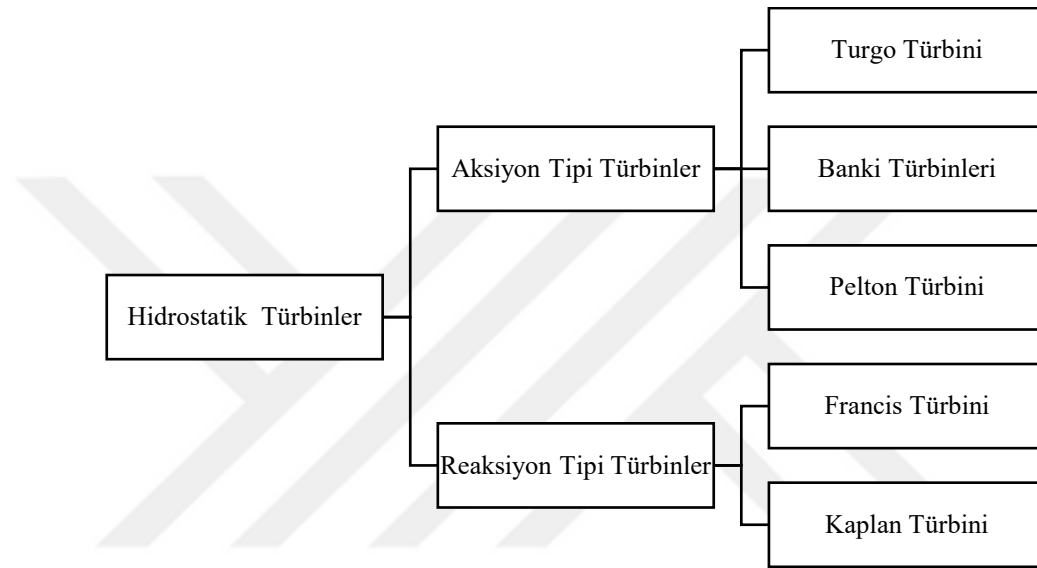
Barajların dezavantajları incelendiğinde, bölgenin nem, iklim, yağış rejimi, sıcaklık vb. yönlerden olumsuz etkilediği görülebilmektedir. Baraj kurulan rezervuar içindeki kara canlılarının ölmesine veya göç etmesine neden olabilmektedir. Su kalitesi, nehirlerin akış rotası ve canlı yaşamı noktasında olumsuz etkileri olmaktadır (Berkun, 2008). Bu durumlar haricinde bölgedeki yerleşim yerlerini, tarihi ve kültürel yerleri ve nüfusu olumsuz etkileyebilmektedir. Baraj rezervuarındaki tarım arazilerinin göl altında kalarak tarımsal üretime olumsuz etkileri de bulunmaktadır (Gezer, 2017). Bu durumlar ekonomik yük oluşturarak bölgedeki sosyolojik yapıyı değiştirecektir. Ayrıca Ilısu barajı rezervuar alanında bulunan Hasankeyf örneğinde olduğu gibi tarihi, kültürel ve manevi mirasın kaybolmasına da sebep olabilmektedir. Son olarak, barajların uzun vadede ekonomik getirilerinin yüksek olmasına karşın ilk yatırım maliyetleri yüksektir.

Yukarıda avantaj ve dezavantajları bahsedilen barajların en büyük avantajı potansiyel olarak bulunan su enerjisinin elektrik enerjisine çevrilerek ekonomiye ve enerji arzına katkıda bulunabilmesidir (Demir, 2019).

Suyun enerjisini kullanarak enerji üretebilmek için temel yaklaşımlar hidrokinetik ve hidrostatik yöntemler olarak önümüze çıkmaktadır. Hidrostatik sistemler, suyun potansiyel enerji olarak biriktirildiği rezervuar depolamalarından potansiyel olan enerjinin yükseklik ve düşü ile enerjinin kinetik enerjiye çevrilmesi şeklinde çalışan geleneksel baraj sistemleridir (Kerim vd., 2021).

## Aksiyon Tipi Türbinler

Aksiyon tipi türbinler, akımın lüle yardımıyla yüksek hızlı su jeti haline getirilerek, türbin kanatlarına çaptırılması prensibine dayanır. Bu tip türbinlerde akım, jet etkisi ile kanatlara atmosfer basıncında etki eder (Çengel & Cimbala, 2012). Uygulamada kullanılacak olan aksiyon tipi türbinin seçimi debi ve su düşüsüne karar verilmektedir. Aksiyon tipi türbinlere Pelton, Banki ve Turgo türbinleri örnek olarak gösterilebilir (Demir, 2019).



Şekil 2.11. Hidrostatik Türbinler (Kerim vd., 2021)

Pelton tipi türbinler 1880 yılında Amerikalı Lester Pelton tarafından keşfedilmiş ve gelişmeleri günümüze kadar devam etmiştir. Pelton tipi hidrolik türbinler çok yüksek düşülerin ve küçük su debilerin olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Genellikle 120 metre ve üzeri düşülerde kullanılan Pelton türbinlerinin 2000 metre düşüde çalışan projeleri bulunmaktadır (Koç, 2019).

Pelton türbinlerinde akım, kinetik enerjiyi artırmak için çıkış kısmına doğru daralan bir borudan geçirilir ve su jeti oluşturulur. Su jeti pelton türbinine yatay bir biçimde çaptırılarak, suyun kinetik enerjisinin türbinde mekanik enerjiye dönüştürülmesi sağlanır. Bu dönüşümde maksimum verim alınabilmesi için, su jetinin türbinin kepçelerine akımda düzensizlik oluşturmadan, sürekli pozitif moment oluşturacak şekilde çarpması gerekmektedir. Bunun için kepçelerin dış tarafa bakan kısımları, su jetinin bir kepçeye çarparken aynı zamanda konumunu tam almamış bir önceki kepçeye çarpmasını

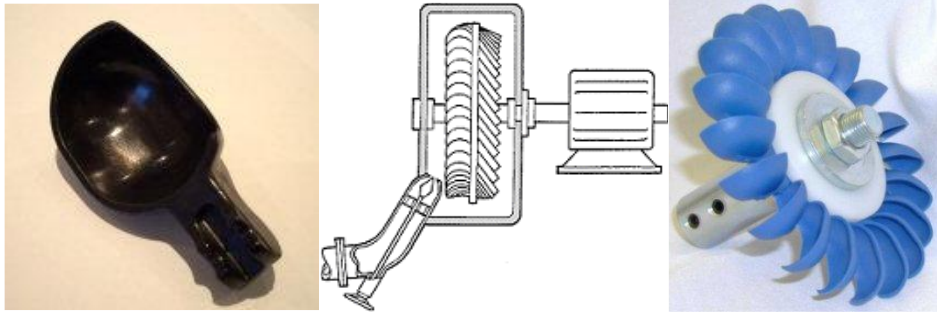
önlemek amacıyla kesilir (Şekil 2.12.). Bu şekilde sistemden maksimum moment elde edilmiş olur. Ayrıca sistem birden fazla su jeti ile de çalıştırılabilmektedir (Çengel & Cimbala, 2012).

Pelton türbinleri çoğunlukla yüksek düşü ve küçük debilerde tercih edilmekte olup verimleri yüzde 90'a ulaşabilmektedir (Demir, 2019).



Şekil 2.12. Pelton tipi türbin çarkı

Turgo türbinleri büyük oranda Pelton türbinlerine benzemelerine karşın kepçe geometrileri farklılık göstermektedir. Turgo türbininde su jeti, Pelton türbinindekinden farklı olarak tek parça halinde türbin kepçelerinden ayrılmaktadır (Şekil 2.13.) (Bulut, 2013). Turgo türbini teknik olarak Pelton türbininde ayıran en büyük fark ise Turgo türbini daha yüksek debilerde çalışabilmekte ve Peltona göre düşük düşülerde daha iyi verimle uygulanabilmektedir. Bu sebeple daha geniş bir coğrafyada kullanılabilirliği mümkündür (Cobb & Sharp, 2013).



Şekil 2.13. Turgo Türbini (Bulut, 2013)

Banki türbinler, değişken debili küçük akarsularda geniş debi aralıklarında çalışabilmeleri, imalat kolaylığı ve maliyetlerin az olması nedeniyle tercih edilmektedir (Şekil 2.14). Banki türbinleri (cross-flow turbine)  $5 \text{ m}^3/\text{sn}$  debiye ve yaklaşık 120 metre düşüye kadar tercih edilebildikleri görülmektedir (Koç, 2019).



Şekil 2.14. Banki Türbini

### Reaksiyon Tipi Türbinler

Suyun boru içerisinde yüksek basınç altında türbin sistemine aktarıldığı türbin tipi reaksiyon tipi türbinlerdir. Çalışma prensipleri, akımın türbin kanatlarına çarparak ve türbini yüksek basıncı kaybederek döndürmesiyle oluşur. Reaksiyon tip türbinlerde türbin gövdesinin boru içindeki su ile dolu olması nedeni ile verimleri aksiyon tipi türbinlere

nazaran daha yüksek olmaktadır. Yaygın olarak Kaplan ve Francis türbinleri reaksiyon türbini olarak kullanılmaktadır (Çengel & Cimbala, 2012).

Francis tipi hidrolik türbinler 1838 yılında Howd tarafından keşfedilmiş ve 1848 yılında James Francis tarafından geliştirilmiş ve denemesi yapılmıştır (Koç, 2019).

HES sistemlerinde Dünya’da ve ülkemizde geniş düşü aralığında çalışabilme ve yüksek verimli olması nedeniyle en çok Francis türbini kullanılmaktadır (Sarıbuğa, 2018).

Dünyanın çeşitli yerlerinde 20 metre ile 750 metre düşüleri arasında çalışabilen farklı tasarımlarda Francis türbinleri bulunmaktadır (Koç, 2019).



Şekil 2.15. Francis türbin çarkı

Francis türbinler, 5 kısımdan oluşmaktadır. Depolamadan gelen su akışı, salyangoz kısmından geçerken sabit ve ayarlı kanatlar vasıtası ile çarkın kanatlarına çarptırılır (Koç, 2019). Oluşan yüksek hızlı suyun bu enerjisi momentumun korunumu ilkesine dayanarak türbin çarkını çevirir ve mekanik enerjiye dönüştürür. Ayrıca boru içi

basıncın etkisi hız etkisinin yanında ilave bir yük oluşturarak türbin çarkına enerji olarak geçmektedir (Çetintürk, 2016).

Francis türbinindeki salyangoz, akımın istenilen düzeyde sabit bir hız değerinde türbin kanatlarına girmesini sağlayacak şekilde daralan bir yapıdadır. Türbinlerdeki sabit kanatlar, basınç yüklerine karşı salyangoz yapısının dayanımını sağlamak için bulunmaktadır. Ayar kanatları ise akımı çarka uygun bir şekilde aktarmak amacıyla kullanılmaktadır. Francis türbininin son kısmını oluşturan emme borusu, giriş ve çıkış arasındaki basınç farkını artırmak ve ayrıca suyu tahliye etmek amacıyla kullanılmaktadır. Emme borusu bu özellikleri nedeni ile dardan geniş doğru tasarlanmıştır (Köksal, 2017).

Kaplan tipi türbinler, 1912 yılında Prof. Dr. Viktor KAPLAN tarafından geliştirilmiş ve 1919 yılında ilk kez kurulup denenmiştir. İlk kurulan türbin %84 verimle çalışmıştır. Sonrasında kurulan türbinlerdeki verim düşüşleri kavitasyon sebebi ile oluşmuştur. Bunun üzerine yapılan çalışmalar ile kavitasyon problemleri için önlemler alınmış ve verim oranı %92 seviyelerine çıkmıştır (Koç, 2019).

Kaplan türbinler giriş ve çark kanat ayarları olmak üzere iki kademeli ayarlanabilir yapıdadır. Geniş debi aralıklarında ve az düşülerde çalışabilmektedir. Şekil 2.16.'de bir kaplan türbin çarkı görülmektedir (Koç, 2019).

### **2.3.1.2. Hidrokinetik Türbinler**

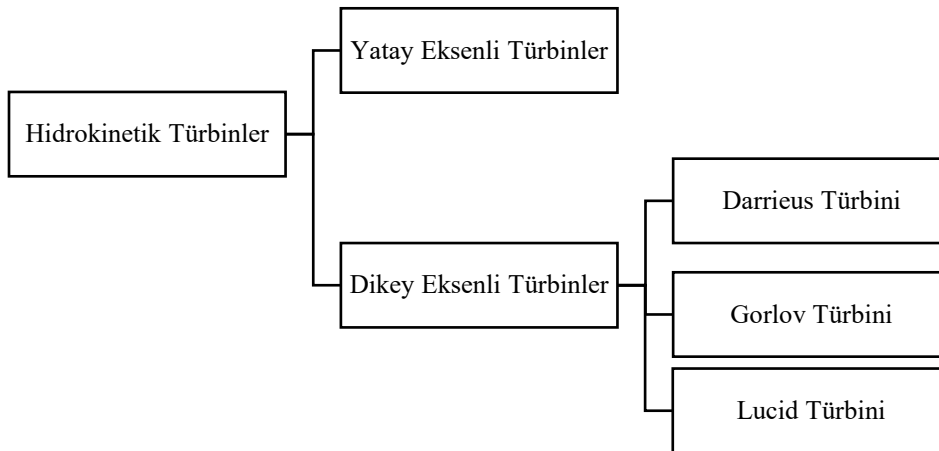
Serbest bir şekilde akışı bulunan suyun debi ve hızına bağlı olarak oluşan kinetik enerjisinin elektrik enerjisine dönüştüren elektromekanik sistemlere hidrokinetik türbin adı verilir. Akarsu, nehir, boru, beton kanal vb. su akımlarının olduğu yerlere hidrokinetik türbinler vasıtası ile elektrik enerjisi üretimi yapılabilir (Muratoglu vd., 2015). Hidrokinematik yöntemler hidroelektrik üretiminde yeni bir alan olarak önümüze çıkmaktadır. Teknolojik olarak henüz olgunluğa erişmese de bu alanda birçok çalışma bulunmaktadır. Hidrokinetik sistemlerin statik yöntemlerden farkı akım alanında doğrudan bağlanabiliyor olması ve dolayısı ile baraj veya rezervuar inşaatı gerektirmemesidir.

İçme ve tarımsal sulama şebeke hatlarında, deniz ve okyanuslardaki dalga ve gel git hareketlerinden ve açık kanal akımlarından hidrokinetik yöntemlerle elektrik enerjisi üretilmek için türbin tasarımları yapılmıştır. Uygulamaya da geçen bu sistemler kot farkı, düşü, debi, hız vb. parametreler ile yer çekim ivmesinin de etkisi göz önüne alınarak tasarlanmıştır. Tarımsal ve içme suyu isale ve şebeke hatlarında belli noktalarda oluşan fazla basıncın düşürülmesi için basınç kırıcı vana ve maslak yapıları kullanılmakta olup, hidrokinetik türbin vasıtası ile bu basınç fazlalığındaki enerji kırılabilir.



Şekil 2.16. Kaplan türbin çarkı (Koç, 2019).

Hidrokinetik türbinler yatay eksenli ve dikey eksenli türbinler olarak ikiye ayrılır (Şekil 2.17.).



Şekil 2.17. Hidrokinetik türbin çeşitleri (Demir, 2019)

Gorlov ve Lucid türbinlerinin deneysel olarak karşılaştırması yapılan çalışma sonucunda Lucid türbinlerinin verimlerinin düşük olduğu görülmüş ve bunun sebebinin deney koşulları ile gerçek akım koşulları arasındaki ayırmadan kaynaklandığı ortaya koyulmuştur (Bachant & Wosnik, 2011).

Lucid türbinlerinin tasarım kriterleri ile ilgili yapılan çalışmada, akış hızına bağlı olarak basınç düşüşünde 1 ila 4 metrelik bir düşüş olduğundan bahsederek arka arkaya konulan türbin tasarımlarının arasında türbin çaplarının 3 ila 4 kat mesafe olması gerektiğini söylemiştir (Casini, 2015). Nyagetuba, Casini'yi destekleyen tez çalışmasında ayrıca Lucid türbinlerindeki kanat sayısının artışı ile güç üretiminin arttığını ancak bununla birlikte basıncın daha çok düştüğünü söylemiştir (Nyagetuba, 2017).

## 2.4. MİKROHES

Kentsel veya kırsal alanların enerji talebini karşılamak için uygulanabilir yenilenebilir enerji kaynaklarının düşük maliyetli, kurulumu kolay, temiz ve güvenilir olması gerekir. Su, alternatif yenilenebilir enerji kaynakları arasında verimli elektrik enerjisi kaynakları sağlayabilir. Modern hidrolik teknikler kullanılarak içme suyu ihtiyaç duyulan alanlara taşınabilir (Süme vd., 2024). Yenilenebilir enerji sistemlerinin yanı sıra, birçok araştırmacı artık boru hatlarının içinden akan su ile enerji üretmeye odaklanıyor (Shen vd., 2023).

Yenilenebilir MİKROHES teknolojileri, su dağıtım şebekelerinde enerjiyi geri kazanmak ve enerji sürdürülebilirliğini artırmak için uygun seçeneklerden biri olarak düşünülebilir. Bu teknoloji, bir hidrolik eğim altında su kinetik enerjisini kullanır ve ardından bunu elektrik enerjisine dönüştürür.

Türbin, su akışından güç üretimi için bir su dağıtım şebeke sisteminin ana bileşenidir. Kaplan, Bulb, Francis, Turgo, Pelton, Crossflow, Lucid ve Pumps-as-Turbines (PAT'ler) dahil olmak üzere çok çeşitli türbinler vardır.

MİKROHES sistemleri, basınç kırıcı vanalar, maslaklar ve depolar gibi enerji ve basınç düşürme noktalarına sahip su temin altyapılarına kurulabilir. MİKROHES

sistemleri, hem basınç yönetimi hem de sürdürülebilir olduğundan, son zamanlarda su şebeke hatlarından enerji geri kazanımında önemli ilgi görmüştür (García vd., 2019).

Günümüzde, mikro hidroelektrik sistemlerinin su şebekelerinde enerji üretimi olarak kullanımını giderek daha fazla değerlendirilmektedir. Mikro hidroelektrik türbinleri, basınç kırıcı vanaların yerine kurularak basıncı azaltma durumuna sahip olması ile beraber bypass modunda basınç kırıcı vanalara paralel olarak da yerleştirilebilirler (Wallace, 1996).

Basınç kırıcı vanaların MİKROHES ile değiştirilmesi tüketiciler için uygun bir aralıkta basıncı yönetmekle beraber aynı zamanda boru hatlarının arızalarının azalması ve tesislerdeki ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini de sağlamaktadır. MİKROHES sistemlerinin en önemli faydalarından biri, elektrik şebeke bağlantısının olmadığı kırsal alanlar gibi uzak bölgelere güç tedariki sağlamasıdır (Hamlehdar vd., 2022). Bu nedenle, MİKROHESler tarafından elektrik üretimi, uzak bölgelere güç tedarikinde birçok zorlukla karşılaşan çoğu gelişmekte olan ülkede cazip olmuştur (Laghari vd., 2013).

MİKROHES türbinleri farklı debi ve basınç altında çalışır ve bu nedenle su şebeke sistemlerindeki enerjiyi kullanmak için MİKROHES sistemlerinin uygulanmasını tasarlamak ve optimize etmek kritik öneme sahiptir.

Su dağıtım sistemlerinde önemli miktardaki enerji, suyun tüketicilere ulaştırılması sırasında kullanılır. Ancak boru içerisinde bulunan yüksek enerji şebekede arızaların ve su kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Bu sebeple şebekede yüksek basıncın bulunduğu yerlerde basıncın yönetilebilmesi ve istenilen uygun değere getirilmesi için basınç kırıcı vanalar kullanılmaktadır. Basınç kırıcı vana konulan yerlerde bulunan basınç, temiz ve sürdürülebilir enerji sistemlerinden biri olan MİKROHES sistemlerinin yardımı ile basınç düşüşü sağlanabilir. Su şebeke dağıtım hattına türbinler yerleştirilerek basınç vanası kullanımından kaynaklanan sistem maliyeti azalacaktır. İçme suyu şebeke hatlarına hidrokinetik türbinler monte edilerek jeneratör vasıtası ile elektrik enerjisi üretilebilir. Boru içinde elektrik enerjisi üretmeyi sağlayan bu sistemler literatürde boru içi türbin olarak bilinmektedir (Muhsen vd., 2019). Boru içerisindeki su akışından elektrik enerjisi üretmenin en verimli yolu boru içi türbin sistemleridir. Su borunun içinden akarken, boru içi türbinin kanatlarına çarparak dönmesiyle türbin şaftını, türbin

şaftı da DC jeneratörünü hareket ettirir. Böylece elektrik enerjisini üretilmiş olur (Pathak vd., 2016). Geleneksel yenilenebilir enerji kaynaklarının aksine, boru içi hidroelektrik enerjisi hava koşullarından bağımsızdır ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Kurulum ve işletme bakım maliyetleri açısından enerji üretiminde ekonomik yollardan biri olarak görülmektedir. Boru içi türbin sistemlerinde en önemli konulardan biri, su şebekesinde su akışını ve arzını bozmadan enerji üretimini yaparak verimliliği maksimum seviyelere getirmektir (Muhsen vd., 2019).

Su iletim ve dağıtım hatlarındaki kinetik enerji belli noktalarda yüksek basınca neden olmaktadır. Bu basıncın kırılması ile işletme normal basınç altında devam etmektedir. Ancak burada önemli miktarda kinetik enerji boşa gitmektedir. Basınç yüksek noktalara MİKROHES sistemleri kurularak mevcut kinetik enerji elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Su yönetim sektörü bu sayede yenilenemez olmaktan çıkıp enerji sürdürülebilirliği ve yenilenebilir temiz enerji üretimine doğru geliştirilebilir (Itani vd., 2020).

MİKROHES sistemlerinde akan suyun potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüştürülür ve MİKROHES'lere bağlı jeneratör ile elektrik enerjisi üretilir. Hidrolik MİKROHES sistemlerinde, türbin çarkından geçen suyun basıncı ve hızı, dönen türbin şaftını mekanik enerjiye dönüştürür. MİKROHES'lerin verimliliği tasarımlarının doğru olması ile ilgilidir. Boru içi MİKROHES'lerde boru çapı, debi ve basınca göre tasarlanırlar. Hangi MİKROHES tipinin nerede kullanılması gerektiği bu parametrelere göre belirlenir ve tüm MİKROHES sisteminin tasarımı için kritik öneme sahiptir (Süme vd., 2024).

Fotovoltaik ve rüzgar sistemlerine ek olarak, kentsel ve evsel su boru hatlarındaki aşırı basınçtan temiz enerji elde etme potansiyeli bulunması nedeniyle kentsel ve bina ölçeğinde yenilenebilir kaynakların entegrasyonu için özellikle ilgi çekici hale geliyor. Çok çeşitli basınç ve akış koşullarında çalışabilen bu özel mikro hidroelektrik sistemleri, belediyelerde, enerji yoğun endüstrilerde ve tarımsal sulama bölgelerinde kullanılabilir. Rüzgar ve güneşin dönemsel olarak oluşan kesintileri olmadan yeterli miktarda temiz ve sürekli enerji sağlayan MİKROHES sistemleri su yönetimi konusunda su işletmecilerine kolaylık sağlar.

Hidroelektrik santrallerinin boyutlarındaki büyük çeşitlilik, bu teknolojinin hem büyük hem de küçük ölçekli kentsel dağıtılmış enerji modeli ihtiyaçlarına uyum sağlamasına olanak tanır. Son zamanlarda, kompakt ve kentsel kullanım için belirlenmiş MİKROHES türbinlerinin geliştirilmesi sayesinde, yerinde enerji üretimi veya evsel üretim veya endüstriyel ve tarımsal bölgeler için su gücünden yararlanmak mümkündür.

Hidroelektrik santrallerinin kapasiteleri en küçük bireysel kurulumlar için birkaç watt (W) ile en büyükler için gigawatt (GW) arasında değişir. Kurulu kapasiteye bağlı olarak, hidroelektrik sistemleri "büyük hidro" (10 MW üzeri) veya "küçük hidro" (10 MW'a kadar) olarak sınıflandırılır. Küçük sistemler ise sırasıyla "minihidro" (1 MW'a kadar), "mikro-hidro" (100 kW'a kadar) ve "piko-hidro" (5 kW'a kadar) olarak ayrılır. Kapasitesi 10 MW'ın altında olan HES'lerin küresel HES kapasitesinin yaklaşık %10'unu temsil ettiği tahmin edilmektedir. MİKROHES'lerin kurulumunun kolay olması ve yerel ortamlara entegre edilebilmesi nedeniyle, dünyanın birçok yerinde, özellikle diğer enerji kaynaklarının uygulanabilir olmadığı veya ekonomik olarak cazip olmadığı uzak bölgelerde, MİKROHES'lerin kurulumu artmaktadır. Gücü 100 kW'a kadar olan sistemler arasında, kentsel ve bina ölçeğinde entegrasyon potansiyeli açısından özellikle ilgi çekici olanlar boru içi hidroelektrik sistemleridir.

Cazibeli ve basınçlı iletim ve dağıtım hatları ile atık su çıkışları ve diğer boru iletim sistemleri için tasarlanan bu özel MİKROHES sistemleri, su veya atık su sistemlerinde, endüstriyel su sistemlerinde veya sulama sistemlerinde yer alabilir.

Boru içi MİKROHES sistemleri, en yaygın boru malzemelerinin içinde belli akış koşulları aralığında çalışabilir ve rüzgar ve güneşin kesintileri olmadan ve çevresel etkiler olmadan temiz enerji sağlar. Boruların çoğu yeraltından geçtiğinden, bu tür sistemler hırsızlık, vandallık, hava durumuna bağlı olumsuz etkilerden korunur. Boru içi hidro sistemlerinin entegre edilmesinin bir diğer faydası da aşırı basıncı daha iyi kontrol ederek, gerektiğinde düşürme olanağı olmasıdır. Böylece eskiyen altyapıdaki fiziki kayıp kaçaklar minimum düzeye indirilebilir ve tüm boru ekipmanlarının hizmet ömrü uzar (Casini, 2015).

Küçük santrifüj pompalar hidrolik türbinler olarak kullanılmaya uygundur ve dünyanın birçok ülkesinde seri üretim avantajına sahiptir. Entegre bir endüksiyon

motoruyla kullanıldığında, kombine bir türbin ve jeneratör ünitesi olarak kurulabilirler. Küçük santrifüj pompaların türbin olarak uygulanması, 5kW veya daha az çıkışa sahip çapraz akışlı türbinlere düşük maliyetli bir alternatif olarak ve boru hatlarında enerji geri kazanımı için yapılabilir. Bu çalışmada üç örnek üzerinden MİKROHES sistemlerinin finansal getirileri ele alınmış ve sonuç olarak uygulanmasının enerji geri dönüşü ve elektrik üretimi ile finansal açıdan getiri elde ettiği görülmüş ve gelişmeye açık bir alan olduğundan bahsedilmiştir (Williams, 1996).

Ramos ve diğerleri, Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programı Projesi için su temin, sulama ve atık su sistemlerinde basınçlı boru altyapılarında oluşan düşük basınçlı akışlarda MİKROHES türbinleri için maliyet ve en etkin türbin tasarımının optimizasyonunu analiz etmiştir. Sonuç olarak, türbin olarak pompa (PAT) ve geleneksel türbin sistemleri karşılaştırılmış ve pompaların temel prensibine göre simülasyon ve deneysel testler yapılmıştır. Optimize edilen enerji türbinleri 0,6-20 m ve 6-200 L/s'lik küçük yükselti ve debilerde 28 kW ila 40 kW arasında elektrik enerjisi sağlayabileceği görülmüştür. Çalışmanın bir başka ilginç sonucu ise, yeni enerji üretici MİKROHES türbinlerinin iç optimizasyonu ile pahalı ek kontrol sistemlerinin ortadan kaldırılmasıdır (Ramos vd., 2009).

Giugni ve diğerleri, İtalya'daki bir su dağıtım şebekesinde basınç kırıcı vanaların MİKROHES sistemleri ile değiştirilerek 9,5 kW'lık bir potansiyel enerji geri kazanımı hesaplanmıştır (Giugni vd., 2009).

Aggidis ve diğerleri, MİKROHES projelerine önündeki en büyük engelin, planın ne kadar mal olacağına anlaşılmasına yardımcı olmak için elektromekanik ekipmanların maliyetini ve farklı türbin tiplerinin maliyetlerini tahmin etmek için ampirik formüller, çeşitli türbin üreticilerinden elde edilen maliyet verilerinin istatistiksel analizi yoluyla geliştirilmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen ampirik formüller diğer metodolojilerin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı ve daha gerçekçi maliyet tahminleri sağladığı görüldü (Aggidis vd., 2010).

Muratoğlu, hidroelektrik enerjisinin güvenilir, verimli ve en yaygın yenilenebilir bir enerji olduğunu değerlendirerek, küçük ölçekli hidroelektrik santrallerinin kullanım alanları tanımlanmış ve Dicle Nehrinde çeşitli akım istasyonlarının ölçümlerine göre

havzadaki su verimleri değerlendirilmiş, deşarj ve güç haritaları oluşturulmuştur. Sonuç olarak Dicle Nehrine en uygun mikro hidroelektrik tipi Verdant Power ve Gorlov Helisel Türbinleri olarak belirlenmiştir (Muratoğlu, 2011).

Bachant & Wosnik, Lucid Energy teknolojisi ve Garlov Helisel Türbinlerinin çapraz akış durumundaki performansları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, çapraz akış eksenli türbin kanatlarının hücum açısının ucundaki hız oranının azalması halinde de enerji üretimi yapılması gerektiği hipotezine dayanarak yapılan deneyde daha yüksek uç hızı oranlarında sürüklenme katsayılarının türbülans olmayan akış durumuna göre daha hızlı arttığı görülmüştür (Bachant & Wosnik, 2011).

McNabola ve diğerleri, isale hatları üzerindeki fazla basıncın maslak tipi enerji kırıcı yapılarına girmeden önce MİKROHES türbini vasıtası ile elektrik enerjisine dönüştürülebileceği ve su arzının etkilenmeyeceği şekilde sürdürülebilirliğinin sağlanacağını düşünerek İrlanda Dublin şehrinde ön teknik ve fizibilite değerlendirmesi yapmışlardır. Sonuç olarak, bu sistemlerin enerji geri kazandırabileceği hesaplanmış ve yatırım açısından geri dönüşünün karlı olacağı ortaya koyulmuştur. Ayrıca bu sistemlerin uygulanması ile CO<sub>2</sub> emisyonlarında ve enerji tüketiminde azalma olacağı görülmüştür (McNabola vd., 2011).

Corcoran ve diğerleri, Dublin bölgesindeki bir su dağıtım şebekesinden MİKROHES sistemi kullanılarak geri kazanılabilir enerji araştırılması yapılmıştır. Enerji geri kazanımı için uygun yerleri belirlemek amacıyla şebeke kontrol vanaları ve basınç kırıcı vanaların on iki aylık veriler analiz edilerek yaklaşık 100 kW'lık enerji geri kazanımı potansiyeli olduğunu gösterilmiştir (Corcoran vd., 2012).

Möderl ve diğerleri, verimli olabilecek yerlere öncelik vermek amacıyla su dağıtım şebekelerindeki ortalama günlük su tüketimini dikkate alarak ve enerji üretimini doğru bir şekilde tahmin etmek ve dolayısıyla sistemin güvenilirliğini artırmak için sistem performansının uzun vadeli bir değerlendirmesi yapmıştır (Möderl vd., 2012).

Chen ve diğerleri, su boru hatları içindeki hidroelektrik tesisatı için yeni bir dikey eksenli su türbini geliştirilmiştir. Üretilen küçük hidroelektrik, yeraltı ve sıkışık yerlerdeki veri toplama sistemlerine veya uzak yerlerdeki bakım çalışmalarına güç

sağlamak için kullanılabilir. Cihaz, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği simülasyonu ve laboratuvar testleri yoluyla geliştirilmiştir. Geliştirilen su türbinlerinin performansı ve su boruları içindeki akış özellikleri, ANSYS CFD paketleri FLUENT ve Gambit analiz programları kullanılarak simüle edilmiştir. Simülasyondan sonra, gerçek güç çıkışını ölçmek ve simüle edilen sonuçları doğrulamak için bir dizi prototip üretilmiş ve test edilmiştir. Sonuç olarak, simülasyon sonuçlarının, simülasyon ve deneysel sonuçlar arasındaki fark oldukça büyük olsa bile, rotor tasarımı için iyi bir rehberlik sunabileceğini göstermektedir. Ayrıca, boru hattında göz şeklinde eğik bir blokla birleştirilmiş içi boş bir yapıya sahip rotorun, diğer dikey eksenli rotor tiplerine kıyasla maksimum gücü üretebileceğini göstermektedir (Chen vd., 2013).

Muratoğlu, deniz ortamı için büyük ölçekli birçok tasarımın olmasına rağmen nehir ölçeğinde kullanılabilir tasarımların sınırlı olmasından yola çıkarak sabit hızlı ve stol düzenlemeli nehir tipi hidrokinetik bir türbinin tasarım ve simülasyonunu yapmıştır. Sonuç olarak TIGRIS-27H türbin pervanesi ile 2,7 m/sn serbest akım hızında 27 kW enerji üretilebileceği ortaya konulmuştur (Muratoğlu, 2014).

McNabola ve diğerleri, MİKROHES tesislerinin su endüstrisindeki enerji geri kazanım potansiyelini İrlanda Dublin şehrinin su altyapısında analiz etmiştir. Enerji kırıcı maslak yapıları girişine koyulan türbinler ile elektrik enerjisi üretimi yapılmış ve sonuç olarak, küçük enerji üretimlerinde bile finansal olarak kar getirisi olduğu görülmüştür (McNabola vd., 2014).

Casini, fotovoltaik ve rüzgar sistemlerine ek olarak, boru içindeki suyun basıncından kentsel ve bina ölçeğinde enerji üretilebileceği düşüncesi ile çeşitli basınç ve hız koşullarında çalışabilen MİKROHES sistemlerinin fotovoltaik ve rüzgar enerji sistemleri ile kıyası yapılmıştır. Sonuç olarak, boru içi MİKROHES sistemleri hava şartlarından etkilenmediği için rüzgar ve güneş enerji sistemlerine göre sürekli ve temiz bir enerji sağladığı görülmüştür. Sistemin sürekli ve temiz bir enerji üretme potansiyelinden dolayı şebeke hatlarında uygulanması tavsiye edilmiştir (Casini, 2015).

Muratoğlu, nehir, gelgit akımlarının ve dalgaların kinetik enerjisinin hidrokinetik türbinler ile elektrik enerjisine dönüştürülebileceği düşüncesi ile hidrokinetik türbinlerde kullanılmak üzere NACA, NREL ve RISØ kanat bölümlerinin kaldırma, basınç ve

sürüklenme katsayılarını incelemiş ve sonuç olarak NACA 63 ve RISØ-A kanat bölümlerinin iyi bir performans sağladığını ortaya koymuştur (Muratoglu vd., 2015).

Silva ve diğerleri, ABD'de yapılan bir çalışmada MİKROHES sisteminin kurulumuyla enerji elde edilebilecek altı adet basınç kırıcı vana yerine enerji geri kazanımı için 500 kW'lık bir potansiyel olduğunu göstermiştir. Bir diğer örnek olarak, Brezilya'da 23 basınç kırıcı vana yerine MİKROHES sistemlerinin kurulumunun uygulanabilirliği incelenmiştir (Silva vd., 2015).

Cavazzini ve diğerleri, bu makalede, elektromekanik ekipman maliyetinin tahmini için yeni bir yaklaşım önermektedir. Buna göre nihai maliyet, yalnızca güç ve net basınca değil, aynı zamanda tasarım akış hızına da belirgin bir şekilde bağlı olduğu görülmektedir. Pelton, Francis ve Kaplan türbinleri için ortaya çıkan maliyet tahmini korelasyonları, en iyi performans gösteren literatür korelasyonlarından daha küçük ortalama hatalarla karakterize edilmiştir (Cavazzini vd., 2016).

Karadirek ve diğerleri, yaptığı çalışmada su temin şebekesinde maslak ve depo girişlerinde ayrıca su dağıtım şebekelerinde basıncın yüksek olduğu noktalarda bulunan hidrolik basıncın kırılması için basınç kırıcı vanaların kullanıldığı ve bu bölgelerde kırılan enerjinin türbinler vasıtası ile geri kazanılabileceği düşünülmüştür. Ayrıca su temin ve dağıtım şebekelerinde basıncın yüksek olmasının su kaybını artıracığı belirtilmiştir. Su dağıtım şebekelerinin sürdürülebilir çalışması için, şebekenin daha küçük ve bağımsız alt bölgelere (İlçe Ölçüm Alanı, DMA) bölünmesi önerilmiştir. Sonuç olarak cazibeli su temin sistemleri ve su dağıtım şebekelerinde enerji geri kazanımı için Antalya su dağıtım şebekesinde pompa türbininin pilot uygulaması yapılmıştır. Yapılan uygulama ile enerji geri kazanım potansiyeli Antalya'da bir vaka çalışması olarak araştırılmaya ve izlenmeye devam etmektedir (Karadirek vd., 2016).

Pérez-Sánchez ve diğerleri, bu çalışmada, içme ve sulama suyu şebekelerinde hidrolik enerji üretiminin son durumunu kapsamlı bir inceleme ve kurulan makine tiplerini, büyük ve küçük hidroelektrik sistemlerinin ekonomik ve çevresel etkilerini ve hidroelektrik enerjinin enerji geri kazanımının ana hedef olmadığı su dağıtım şebekelerinde (içme ve sulama) nasıl uygulanabileceğini analiz etmiştir (Pérez-Sánchez vd., 2017).

Venturini bu makalede, su dağıtım şebekelerindeki kullanılmayan hidrolik enerjinin geri dönüşümü için kullanılan PAT sistemlerinin basınç, güç ve verimlilik performans eğrileri, yayınlanmış deneysel veriler kullanılarak bir analizi yapmıştır. Dört su dağıtım şebekesinde bir yıl boyunca yapılan deneysel çalışmaların verileri kullanılarak yapılan analizlerde, 4 adet PAT sisteminin elektrik üretim değerine bakılarak su dağıtım şebekesindeki potansiyelin tamamının kullanılmadığı görülmüştür. PAT sistemlerinin mevcut parametrelere göre iyi seçilmesi gerektiği sonucuna varmıştır (Venturini vd., 2017).

Hong Kong'da boru hatlarındaki su sızıntısını ve diğer tehlikeleri önlemek için yüksek katlı binaların su dağıtım şebekelerindeki su basıncını azaltmak için basınç düşürme vanalarını yaygın olarak kullanılmaktadır. Pompanın türbin olarak uygulanması (PAT), su boru hatlarında su basıncının azaltılması ve hidroelektrik üretimi için ideal bir yol olarak görünmektedir. Du ve diğerleri, bu çalışmada, elektrik üretimi için su dağıtım şebekelerinde kullanılan PAT'ın uygulanabilirliği ve performansı araştırmıştır. Araştırma sürecinde, ilk önce tipik bir yüksek katlı binadaki verilen çalışma koşullarına dayalı ampirik denklemlerle bir PAT seçilmiş ve seçilen PAT'ın performansını incelemek için CFD simülasyonu ve laboratuvar testleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, önerilen PAT kurulum ve kontrol stratejisinin daha yüksek akış hızlarında aşırı su basınç azalmasını önlemede iyi bir performans gösterdiğini göstermiştir (Du vd., 2017).

Lydon ve diğerleri, basınç kırıcı vanalar yerine üç adet türbin pompası (PAT) yerleştirdi ve bir basınç kırıcı vananın kopardığı enerji potansiyelinin % 40'ına kadarının MİKROHES'ler kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülebileceğini gösterdi (Lydon vd., 2017).

Majidi ve Etezadi-Amoli tarafından yapılan deneysel bir araştırmada, su şebeke hatlarından elde edilen güç kapasitesi MİKROHES türbinleri kullanılarak bir kontrol algoritması uygulanarak iyileştirildiği görülmüştür (Majidi & Etezadi-Amoli, 2018).

Oladosu & Koya, su dağıtım şebekelerindeki boru içi küresel MİKROHES'lerin hidroelektrik güç elde etme olanaklarını modelleyip simüle etmişlerdir. Türbinin hidrofoil profili, Nijerya Ulusal Havacılık Danışma Komitesi kanat profili jeneratörü kullanarak

oluşturulmuştur. Sonuç olarak, Autodesk Simulation CFD programı kullanılarak hacimsel deşarj oranlarının minimum ve maksimum periyoduna dayalı olarak model geliştirilmiş ve simüle edilmiştir. 250 mm boru hatları için maksimum %9,70 hidrolik kayıp olduğu ve yaklaşık 1080 W enerji ürettiği görülmüştür (Oladosu & Koya, 2018).

Sari ve diğerleri, bu çalışmada, su kanallarından hidroelektrik üretimindeki son teknolojik yenilikler ve eğilimler hakkında kapsamlı bir inceleme yapmıştır. On altı türbin teknolojisi (sekiz geleneksel türbin ve sekiz yeni türbin) potansiyel faydaları ve zorlukları, teknoloji hazır olma seviyeleri ve ayrıca yönlendirme yapıları, içme ve sulama suyu dağıtım sistemleri ve atık su çıkışlarındaki kurulumlar için potansiyel yerler temelinde değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Geleneksel türbinlerin daha sağlam olduğu düşünülse de, daha yeni türbinlerin modüler tasarımı potansiyel olarak daha uygun maliyetli bir çözüm ve daha iyi ölçeklendirme yeteneği sunduğu görülmüştür (Sari vd., 2018).

Voltz & Grischek, bu çalışmada, cazibeli su iletim hatlarında oluşan fazla basıncın maslak ve depo girişlerinden önce basınç kırıcı vana yerine MİKROHES türbinleri ile mekanik ve elektrik enerjisi üretilebileceği düşüncesi ile türbinin optimum hidrolik parametrelerini belirlemek amacıyla yeni bir yöntem olarak EXCEL programı üzerinde Almanya'da dokuz adet bölgede bir vaka çalışması yapmıştır (Voltz & Grischek, 2019).

Muhsen ve diğerleri, bu makalede, kullanılan MİKROHES türbin tasarımının boru içi sistemlerden elde edilen enerji üzerindeki etkisi araştırmıştır. Dört adet türbin tasarımı üzerinde yapılan çalışmada, tasarlanan türbinlerin performanslarını belirlemek için prototipler yapılmış ve her bir türbin için dönüş hızı, torqları, basınç düşüşü ve çıkış gücünün analizi yapılmıştır. Sonuç olarak, incelenen türbinlerin boru içi sistemlere uygulanması için olası yerlerinin tespit edilmesi için Ürdün Amman'daki su dağıtım şebekesinde bir vaka çalışması yürütülmüş ve küresel türbin tasarımının en iyi performansı gösterdiği görülmüştür (Muhsen vd., 2019).

Demir, boru hatlarındaki fazla basıncın elektrik enerjisine dönüştürülmesi için küresel bir hidrokinetik türbin tasarımı çalışması yapmıştır. Tasarım aşamasında türbinin kanat profili, soliditesi, kord uzunluğu, kanat sayısı ve uç hız oranı gibi parametreler göz önünde bulundurarak Qblade programı ile optimizasyon sağlamıştır. Sonuç olarak NACA

0020 kanat profilli ve 12 cm kord uzunluklu 5 kanatlı hidrokinetik türbinin seçilmiştir. Ayrıca ANSYS CFX programı ile tasarımı akışkanlar dinamiği analizi yaparak görselleştirmiştir (Demir, 2019).

Postacchini ve diğerleri, bu çalışmada, potansiyel hidroelektrik üretimi ters modda çalışan bir pompanın (PAT) karakterizasyonuna odaklanan laboratuvar testleri aracılığıyla değerlendirme çalışması yapmıştır. Hem hidrodinamik (basınç ve deşarj) hem de mekanik (dönme hızı ve tork) değerleri testler sırasında farklı denemeler ile en verimli PAT yapısı belirlenmiştir. Sonuç olarak, PAT sisteminin performansı 850 rpm ve 8 L/sn'den daha fazla olduğu durumda %50'den fazla verimliliğe ulaştığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre İtalya Ancona şehrinde deneysel bir çalışma yürüterek üç farklı senaryo incelenmiş ve sonuç olarak, su talebi yükseldikçe su hızına bağlı olarak üretilen enerji miktarının ve verimliliğin arttığı görülmüştür (Postacchini vd., 2020).

Stefanizzi, su dağıtım şebekelerinde basınç kırıcı vanalar yerine türbin olarak pompa (PAT) uygulaması yapılmak üzere Güney İtalya'nın Apulia bölgesinde bir vaka çalışması yürütmüştür. Sonuç olarak, ekonomik ve çevresel faydaları göz önünde bulundurularak PAT uygulaması ile yıllık enerji üretimi 818.028 kWh/yıl olarak hesaplanmış ve ilk yatırım maliyetinin geri dönüşünün 48 ayda olacağı ortaya konulmuştur (Stefanizzi vd., 2020).

Pérez-Sánchez, türbin olarak çalışan pompaların (PAT) kullanımını incelemiştir. PAT sistemlerinin düşük ve orta geri kazanılabilir temiz enerji sistemidir. Bu sistemlerin seçimi için proje yapımcıları tarafından en önemli veri türbinin en iyi verimlilik noktasıdır. Çalışmada PAT sistemi için en iyi verimlilik noktaları tahmini ve karakteristik eğrilerini tahmin etmek için yeni yaklaşım denklemleri bulunmuş ve yayınlanan diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, yeni önerilen yöntemin hata endeksini azalttığı 181 farklı PAT üzerinde yapılan çalışmada ortaya konulmuştur (Pérez-Sánchez vd., 2020).

Algieri, bu çalışmada PAT sistemli sulama sistemlerindeki olası enerji kaybını araştırmaktadır. Güney İtalya'da Calabria şehrinde bulunan sulama ağlarında yapılan araştırmada 114 adet potansiyel MİKROHES'in enerji üretiminin, sera gazı emisyonlarının ve yatırım maliyetlerinin tahmini yapılmıştır. Sonuç olarak, MİKROHES'lerde pompaların türbin olarak benimsenmesinin toplu sulama sistemleri

için uygulanabilir, temiz ve ucuz bir çözüm olduğu görülmüştür. Bu sistemler tasarlanmış türbinler kıyasla yalnızca yüzde 19 gibi küçük bir elektromanyetik azalmaya yol açmaktadır. Maliyet olarak %74 gibi belirgin bir azalma sağlamışlardır. Sera gazı emisyonlarında yılda 8800 tondan fazla azalma olacağı öngörülmüştür (Algieri vd., 2020).

Itani ve diğerleri, basınçlı su iletim hatlarındaki yüksek basıncın MİKROHES türbinleri ile geri kazanılabileceğini düşünerek Suudi Arabistan'ın batısında bulunan mevcut bir su isale hattında bir vaka çalışması yapmışlardır. Su isale hattı üzerinde hız senaryoları simülasyonu yapılarak hat üzerine Pelton türbinleri takılmıştır. Farklı hız değerlerine göre yapılan deneysel çalışmalar sonucunda önemli miktarda enerjinin geri kazanılabileceği görülmüş olup, 2 m/s hız durumunda maksimum geri kazanım olacağı, sistem maliyetinin % 2,74 oranında azalacağı ve 5.751 kW enerji üreteceği hesaplanmıştır (Itani vd., 2020).

Maden ve diğerleri, temiz enerji üretiminde bir farkındalık çalışması yapmak üzere şehirlere su taşıyan boruların içerisinde mevcut potansiyel enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için türbin tasarımı yapmışlardır. Yapılan çalışmada 100 mm'lik bir su borusu içerisinde 5 kanatlı bir türbin tasarımı yapılmıştır. Tasarım sonucunda prototip üretilmiş ve yapılan deneysel çalışmada cazibeli olarak 3 metre yükseklikten su türbine yönlendirilmiş ve 3.148 kW enerji üretimi yapılmıştır (Maden vd., 2021).

Kerim ve diğerleri, su dağıtım şebekelerinde mevcut veya şebekede farklı nedenlerden oluşabilecek fazla basıncın, basınç kırıcılar (vanalar, maslak vs.) ile sönmülmesi yerine boru içine MİKROHES türbini konulabileceği ve hem basıncın düşürülüp aynı zamanda elektrik enerjisi elde edilebileceğini düşünmüşlerdir. Bu sayede basınç düşürmek için ek bir maliyetten kurtulup aynı zamanda elektrik enerjisi de üretilebilecek çevreci bir uygulama yapmışlardır. Samsun Vezirköprü'de mevcut bir isale hattı üzerinde bulunan basınç kırıcı vanalar ile kırılan enerjinin karşılığında aynı değerdeki enerjiyi MİKROHES sisteminin kırılabilirliği hesaplar ile ortaya koyulmuş ve MİKROHES türbininin bileşen parametrelerinin teknik hesaplamaları yapılmış ve sonuç olarak içme suyu şebekelerinden elektrik enerjisi elde edilebileceğini ortaya koymuşlardır (Kerim vd., 2021).

Morani ve diğeri, bu çalışmada, yeni bir santrifüj türbininin optimum performansını araştırmak için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modellemesini deneysel testlerle birleştirmiştir. Sonuç olarak, türbin geometrisi dikkate alınarak su dağıtım şebekesinde aşırı basıncı kontrol ederek aynı zamanda enerji üretmektedir. Tasarlanan santrifüj MİKROHES türbinleri hem de basınç düşürme vanaları için optimum konumu araştırılmıştır. MİKROHES türbinlerinin bazı durumlarda mevcut su dağıtım şebekesinin orta kısımlarında optimum yeri uygun olduğu ortaya koyulmuştur (Morani vd., 2022).

Boroomandnia ve diğeri, bu makalede kentsel MİKROHES sistemlerinin sistemik bir değerlendirme ve kavramsal incelemesini araştırmıştır. Binalarda ve boru içi türbin olarak şebeke hatlarında kullanılan türbinler ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, binalarda kullanılan MİKROHES'lerde bina yüksekliğinin MİKROHES kurulumu için sınırlayıcı olmadığını ancak enerji depolama kapasitesini etkilediği görülmüştür. Su şebeke hatlarında boru içi MİKROHES uygulamaları için geniş bir alan olduğunu ve bu alanlarda çalışma yapılmasının basınç yönetimi ve enerji geri dönüşümü ile ilgili kazanımları olacağı, şebeke hatlarında 500 kWh'a varan enerjiler üretilebileceği hesaplanmıştır. Binalarda ve arıtma tesislerinde Pelton tipi türbinlerin daha verimli olduğu, boru içi için ise PAT ve Francis mikro türbinlerinin verimli olduğu saptanmıştır (Boroomandnia vd., 2022).

Muratoglu & Demir, sınırlı alanlarda çalışan hidrokinetik türbinlerin performans analizi ile ilgili çalışmanın sınırlı olduğu düşüncesinden yola çıkarak, yeni bir boru içi çapraz akışlı türbin modellemesi yaparak analiz etmiştir. Beş kanatlı bir küresel türbin tasarlanmış ve çeşitli giriş ve çıkış hızları ile simülasyonlar yapılmıştır. Sonuç olarak, boru çapının 1,3 katından 1,1 katına düşürülmesi ile çıkış gücünün 2,5 kat arttığı görülmüştür. Güç katsayısı ile tıkanıklık arasında doğrusal olarak artan bir ilişki olduğu ve serbest akış türbinlerinde optimum değerler çoğunlukla 1,5 ile arasında değiştiği görülmüştür (Muratoglu & Demir, 2022).

Klein & Fox, farklı MİKROHES türlerini ve projeleri değerlendirmek için kullanılan çeşitli belirli maliyet ve performans ölçütlerini kategorize etmek ve dört kıtaya yayılmış birden fazla ülkede, çeşitli üretim teknolojileri ve teknolojik ekonomik değerlendirme modelleri kullanılarak 13 MİKROHES çalışması için maliyet ve performans sonuçlarını (yıllık kapasite faktörü, proje güç kapasitesi, net bugünkü değer ,

fayda-maliyet oranı ve enerjinin dengelenmiş maliyeti) karşılaştırılmıştır (Klein & Fox, 2022).

Hamlehdar ve diğerleri, su dağıtım şebekelerinde boru içerisindeki fazla basıncın önemli bir enerji üretim potansiyeli olduğu düşüncesi ile, mevcutta bu enerjinin basınç kırıcı vanalar yardımı ile kırıldığı ve boşa giden enerjinin basınç kırıcı sistemler yerine aynı zamanda elektrik üretimi yapılabilmesi için MİKROHES türbinlerinin kullanılabilmesi düşünülmüştür. Bu düşünceler ışığında İran'ın Tahran Şehrinde seçilen bir izole şebeke üzerinde EPANET programı ile hidrolik modellemesi yapılmış ve basınç kırıcı vanaların yerine MİKROHES kurulumu ile üretilebilecek enerji gücünün 168,21 kW olduğunu ve bu gücün şebekede pompaların tükettiği gücün ortalama %42,3'ünü karşılayabileceği görülmüştür (Hamlehdar vd., 2022).

Carravetta ve diğerleri, su temin şebekelerindeki fazla enerjinin geri kazanılması üzerine basınçlı sistemlerdeki ters modda çalışan pompa (Pump As Turbine) sistemlerinde düşük hidrolik enerjisi olması durumunda enerji üretiminde yeni düşük maliyetli bir teknoloji önermektedir. Çalışma Fransa'nın Normandiya bölgesinde bulunan Granville köyündeki bir hidroelektrik santralinin tasarımını ele almaktadır. Laboratuvarda yapılan prototip ile %16 verimlilik saptanmış ve %40'a kadar artabileceği hesaplanmıştır. Sonuç olarak akış hızı ve basınç düşüşü durumu olduğu zamanda bile tesisin enerji verimliliğinin artırılabilmesi ortaya koyulmuştur (Carravetta vd., 2022).

Shen ve diğerleri, MİKROHES sistemlerindeki jeneratörlerinin mekanik salmastrasındaki sürtünme kayıpları ve su sızıntıları üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. MİKROHES jeneratörlerindeki mekanik salmastranın güç üretim verimliliğinde düşüş yaşattığı durumuna karşı mekanik salmastrayı statik salmastra ile değiştirmiş ve yeni bir sabit mıknatıslı jeneratör önerilmiştir. Bu yeni jeneratörün prototipi yapılmış ve farklı hız ve hız altında elektrik üretim performansı ölçülmüştür. Sonuç olarak mıknatıslı jeneratör kullanımının sürtünme kaybını tamamen ortadan kaldırdığı ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca bu sayede kentsel su dağıtım ve temin hatlarındaki uygulamalar için yıllık enerji üretimini %35,8 oranında artırdığı görülmüştür (Shen vd., 2023).

Bideris-Davos & Vovos, bu çalışma, su dağıtım şebekelerindeki basınç kırıcı vanaların yerine suyun potansiyel enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürmek için kurulabilecek MİKROHES türbinlerinin en verimli şekilde boyutlandırması için bir metodoloji sunmaktadır. EPANET ve MATLAB programları ile hidrolik modellemeler yapıp karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, basınç kırıcı vanaların kıldığı basınçla % 1 hata payı ile doğruluğu görülmüş ve % 60'ın üzerinde hidrolik verimlilikle elektrik enerjisi ürettiği görülmüştür (Bideris-Davos & Vovos, 2023).

Süme ve diğerleri, MİKROHES sistemlerinin şebeke hatlarında enerji üretmede kullanılabilmesi hakkında yaptığı çalışmada Trabzon ili Maçka İlçesi Armağan Mahallesi'ndeki bir su dağıtım şebekesinde 47 adet basınç kırıcı vana yerine MİKROHES'lerin kurularak 3.950 kWh enerji üretebileceğini hesaplamıştır. Çalışmada MİKROHES türbinleri arasında kıyaslama yapılarak Pelton türbinleri seçilmiş olup, sonuç olarak basınç kırıcı vanaların yerine MİKROHES türbinlerinin kullanılması ile elektrik üretilebileceği ortaya koyulmuştur (Süme vd., 2024).

Jain & Khare, borulu hidroelektrik kullanımındaki en büyük sorunun hat içerisindeki türbinlerin optimum konumunun bulunmasının öneminden bahsederek, optimum güç üretimi sağlayacak noktayı bulmak için Rao algoritmasını kullanarak optimizasyon yapmıştır. Metot olarak 5 ve 25 düğümlü şebekeler test edilmiş ve sonuç olarak, türbinler optimum yerleri hesaplanarak yapılan yer seçiminin su kayıplarının 5 düğümlü çözümde % 2,57 ve 25 düğümlü çözümde % 2,94 bulmuş ve sırası ile 184,12 ve 547,48 kWh/gün hidroelektrik ürettiği görülmüştür (Jain & Khare, 2024).

Bideris-Davos & Vovos, kentsel su dağıtım sistemlerinde enerji geri dönüşü için geliştirilen MİKROHES sistemlerinin teknik, ekonomik ve basınç düşürme ve yönetme sağlamadaki güvenilirliğinin incelemesini yapmışlardır. Mevcut literatür ve son teknoloji verilerinden faydalanarak enerji geri kazanımı etkileyen temel parametreleri belirleyip kategorize ettikten sonra üretim verimliliği ve basınç yönetimi konusunda farklı türbin tiplerinin aralarında kıyaslama yapılmıştır. Sonuç olarak; 37 farklı analiz yapılmış ve ülke ve coğrafyaya bağlı değişimlerin olduğu dikkate alınarak su şebekelerinde basınç kırıcı yapıların yerine MİKROHES kullanılmasının genel anlamda faydalarının olduğu görülmüştür (Bideris-Davos & Vovos, 2024).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Konya şehir merkezi Meram, Selçuklu ve Karatay olmak üzere 3 adet merkez ilçeden oluşmaktadır. Konya şehir şebekesinin işletmesi Konya Büyükşehir Belediyesi Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi (KOSKİ) Genel Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır. Şehir merkezinde su yönetimi için basınç ölçüm ve yönetim alanları oluşturulmuş ve bu alanların belli yerlerinde bulunan debi ve basınç ölçüm cihazları ile alınan veriler SCADA sistemine aktarılarak sürekli olarak takip edilip yönetilmektedir. Şebekede 53 Adet basınç ölçüm ve 8 Adet basınç yönetim alanı bulunmaktadır. BÖA ve BYA oluşturma çalışmaları devam etmektedir. Basınç yönetim alanlarının girişinde uzaktan kontrollü basınç ve debi kontrollü vanalar bulunmaktadır.

Bu çalışmada şebekedeki basıncın yüksek olduğu noktaların SCADA verileri üzerinden tespit yapılmıştır. Ardından bu noktalardaki SCADA verilerinin doğruluğu için belirlenen yerlerin NetCAD programı ile hidrolik modellemeleri yapılmış ve SCADA verileri ile karşılaştırılmıştır. Teyit edilen veriler doğrultusunda SCADA verileri doğrulanarak bu veriler üzerinden basıncın hangi noktada ne kadar kırılması gerektiği saptanmıştır. Basınç fazlası olan noktaların çap, debi ve hidrolik yük verilerine göre hangi cins MİKROHES türbini kullanılabileceği belirlenip, her bölge için gündüz ve gece elektrik enerji üretim değerleri hesaplanmıştır. MİKROHES sistemlerinin kurulmasının ne kadar maliyet getireceği hesaplanıp, çıkan sonuca göre sistemin geri ödeme süresine bağlı olarak rantabl olup olmadığı ortaya koyulup, üretilecek elektrik enerjisinin hangi alanlarda kullanılabileceği önerilmiştir.

#### 3.1. Hidrolik Modelleme

İçme suyu dağıtım şebekelerinde hidrolik parametreler olan basınç, debi, hız değerlerini hesaplamak için birçok matematiksel işlem yapılmalıdır. Ancak şebeke ağında birçok boru ve bağlantı olduğu düşünülürse bu işlemleri yapmak çok uzun zaman almaktadır. Bunun için hidrolik modelleme yazılımları kullanılmaktadır. NetCAD İçme Suyu Modülü hidrolik modelleme yazılımı olarak kullanılan çözüm programlarından biridir. NetCAD İçme Suyu Modülü, açık kapalı şebeke sistemlerinden, terfil ve cazibeli isale hatlarına kadar geniş kapsamlı karmaşık çözümleri yapabilmektedir. Hesaplama

metodu olarak Williams-Hazen formülü ve boru tip ve yaşına bağlı olarak pürüzlülük katsayılarını önceden tanımlanmış şekilde hesap için sunmaktadır (NetCAD, 2024).

Su, drenaj, kanalizasyon ve taşkın yapılarını içine alan alt yapı sistemlerinin hidrolik açıdan davranışını analiz ve simüle ederek hesaplamaya hidrolik modelleme adı verilir. Hidrolik modelleme ile alt yapı sistemlerinin izlenebilirliği, kaçak ve sızıntı tespitleri ve basınç yönetimi yapılması amaçlanmaktadır. Hidrolik model oluşması için öncelikle sahadaki tesislerin sayısallaştırılıp sayısal verilerin doğrulanması gerekmektedir. İçme suyu sistemlerinde ölçüm ekipmanı ve ölçü noktaları oldukça önem arz etmektedir. Hidrolik modelleme ile sorun olabilecek durumlar öngörülebilir. Bu sayede sistemin işletme ve üretim maliyet analizleri, sistemin izlenebilir olması, kayıp kaçak tespiti, basınç yönetimi, erken uyarı sistemi ile sürdürülebilir olması sağlanabilir.

Hidrolik modelleme yapılmadan önce bazı verilere ihtiyaç duyulmaktadır. En önemli veriler; içme suyu dağıtım şebekesi için boru, su kaynağı, depo, pompa, vana, kaptaj vb. şebeke elemanlarının kot ve koordinatları ile boru çap, cins, üretim yılı ile depo boyutları, pompa eğrileri vb. bilgilerdir. Bu bilgiler Su İdaresi'nin mevcut altlığı veya CBS sisteminden temin edilebilir. Ardından temini yapılan suya ait pompa istasyonu basınç profili, debi profilleri, su seviye profilleri temin edilmelidir.

Mesken, işletme, hastane, yeşil alan, okul, sanayi vb. aboneliklerin su tüketim değerleri tahakkuk verilerinden temin edilmelidir. Tahakkuk verileri ile BYA ve BÖA izole bölgelerindeki bölgeye giren su debisi verileri ile tahakkuk verileri karşılaştırılarak veri seçimi yapılmalıdır.

Hidrolik modellemede en önemli verilerden birisi ise boru içi sürtünme katsayısının belirlenmesidir. Su şebeke hatlarında yük kaybının büyük bir çoğunluğu boru cinsine göre sürtünme katsayısının büyüklüğüdür. Boru hatlarında yıllar geçtikçe boruların sürtünme katsayılarında değişme olmaktadır. Hesap yapılırken bu verilerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

NetCAD/Water programında hidrolik modelleme aşamaları sırasıyla şu şekilde yapılmalıdır.

- Araziden alınan nokta ölçüm dosyaları nokta editörü ile programa yüklenir.
- Ardından her çap ve cins borular için ayrı tabakalar oluşturulur.
- Çoklu doğru ile borular x, y, z koordinat ve kotları bulunan noktalar ile birleştirilir.
- İçme suyu modülünde proje dosyası oluşturulur.
- İsale hattı çözümü yapılacağı için terfili/cazibeli sistem çözümü seçilir.
- Sistem parametreleri belirlenir. Hız aralıkları için 0,3-2,5 m/sn seçilmiştir. Kazı derinlik ve genişlikleri için her çap boru için tekniğine uygun değerler seçilmelidir.
- İsale hattının başlangıcı olarak mevcut depoların özellikleri sisteme tanımlanır.
- Ardından projeden yeni hat yarat seçilerek hesaplama kısmına geçilir.
- Bu bölümde boru cins ve çap bilgileri ile beraber hesaplanan debi değerleri de sisteme tanıtılır.
- Tanımlamaların ve bilgi girişlerinin sonucunda hesap yapılarak her noktadaki statik ve dinamik basınçlar, hız değerleri, yük kayıpları Williams-Hazen formülü ve Bernoulli denklemi kullanılarak program tarafından hesaplanır ve tabloya aktarılır.
- Hesaplamalar sonucunda çıkan değerler ile hesap ve isale profilleri oluşturulur.
- Sistemdeki metraj bilgileri rapor bölümünden oluşturulur.
- Her bir bölge için çıkan debi ve basınç değerleri tabloya aktarılır.

### 3.2. Elektrik Enerji Hesabı

Su ve enerji kaynaklarının temin ve mevcudu, ekonomik, endüstriyel gelişim ve en önemlisi insan yaşamı için önemlidir. Su talebi kentleşme ve nüfus artışına bağlı olarak artmakta ve bu da su dağıtım şebekelerinde işletme maliyetlerinin artışına neden olmaktadır. Su temin sistemlerinde suyun terfi edilmesi için pompa maliyeti küresel elektrik tüketimi, tüm tüketimin %2-3'ünü oluşturmaktadır (Karadirek vd., 2016).



H :Net düşüyü (depo çıkışı ile türbin yeri arasındaki kot farkından kayıpların çıkarılması ile hesaplanır, m),

g : Yerçekimi ivmesini ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ),

$\eta$  : Tüm enerji üretim sisteminin verimliliği.

Kinetik enerjiden mekanik enerji dönüşümü sırasında oluşan kayıplar, enerji dönüşümleri, türbin kayıpları ve enerji dağılımları dikkate alındığından sistem verimliliği %65 olarak kabul görmektedir (Karadirek vd., 2016). Ancak türbin üreticileri projenin durumuna göre farklı verimlilik değerleri öngörmektedir. Teknolojinin gelişmesi ile beraber bu verim değeri %90 seviyelerini geçmektedir. Sıvı yoğunlukları ve yerçekimi ivmesi sabit değerler olduğu için türbindeki enerji üretim değerinin parametre olarak debi ve basınç değerleri belirlemektedir. Türbin tasarımı ve tip seçiminde debi ve hız değerleri oldukça önem arz etmektedir. Şehir şebeke ağlarında basınç kırıcı vanaların yerine mikro türbinlerin kurulması enerji üretimi ve basınç düşürmenin yanında, karbondioksit emisyonunda azalma, maddi gelir elde etme gibi avantajları beraberinde getirir.

### 3.3. Su Kayıpları

Şebekedeki basıncın kontrol altına alınması, içme suyu şebekelerindeki su kaybı oranını düşürmede önemli bir etmendir. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen standart su dengesi formu ve verilen terimlere göre Konya şehrinde 2023 yılı su kayıp oranı %24,4 olarak hesaplanmıştır. Su dengesi tablosu ve terimler Tablo.3.1'de verilmiştir (KOSKİ, 2024). MİKROHES sistemlerinin basınç düşürme özelliği dikkate alındığında şebekedeki su kayıplarını da azaltacağı aşıkardır.

Yönetmeliğin ilgili maddesinde tabloda verilen tanımlar şöyle açıklanmaktadır;

a) Fiziki su kayıpları: Borularda ve bağlantı parçalarında meydana gelen kırık ve çatlaklardan, boru başı ve abone bağlantı hatalarından ve servis depolarından meydana gelen, tüketici sayacından önceki, kaçak ve taşmalardan kaynaklanan su kayıplarını,

b) Gelir getirmeyen su: Sistemin tamamında veya bir kısmında sisteme verilen su miktarı ile faturalandırılmış izinli su tüketimi arasındaki farkı,

c) İdari su kayıpları: Sayaç ve okuma hataları ile kayıt hatalarından ve izinsiz tüketimden kaynaklanan su kayıplarını,

d) İzinli tüketim: Kayıtlı kullanıcı tarafından kullanılan bedelli ve/veya bedelsiz su miktarını,

e) İzinsiz tüketim: İdarenin bilgisi dışında, yasal olmayan bağlantılar ve sayaçlara müdahale yolu ile yasadışı kullanılan su miktarını,

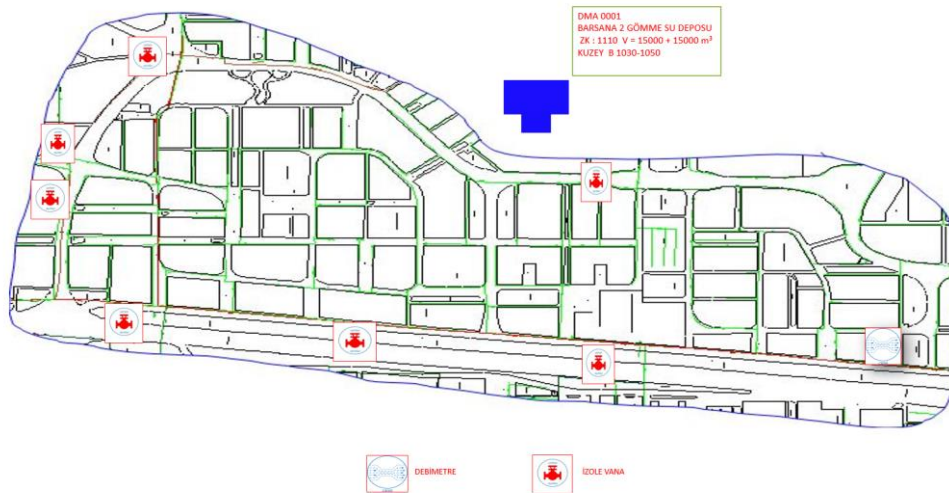
f) Su Dengesi: İçme suyu sistemindeki su kaybı miktarının belirlenmesi amacıyla, şebekeye verilen suyun, tüketilen ve kaybolan su miktarına eşit olması prensibini esas alan ölçme veya hesaplama işlemlerini göstermektedir.

**Tablo 3.1.** 2023 KOSKİ Standart Su Dengesi Formu (KOSKİ, 2024).

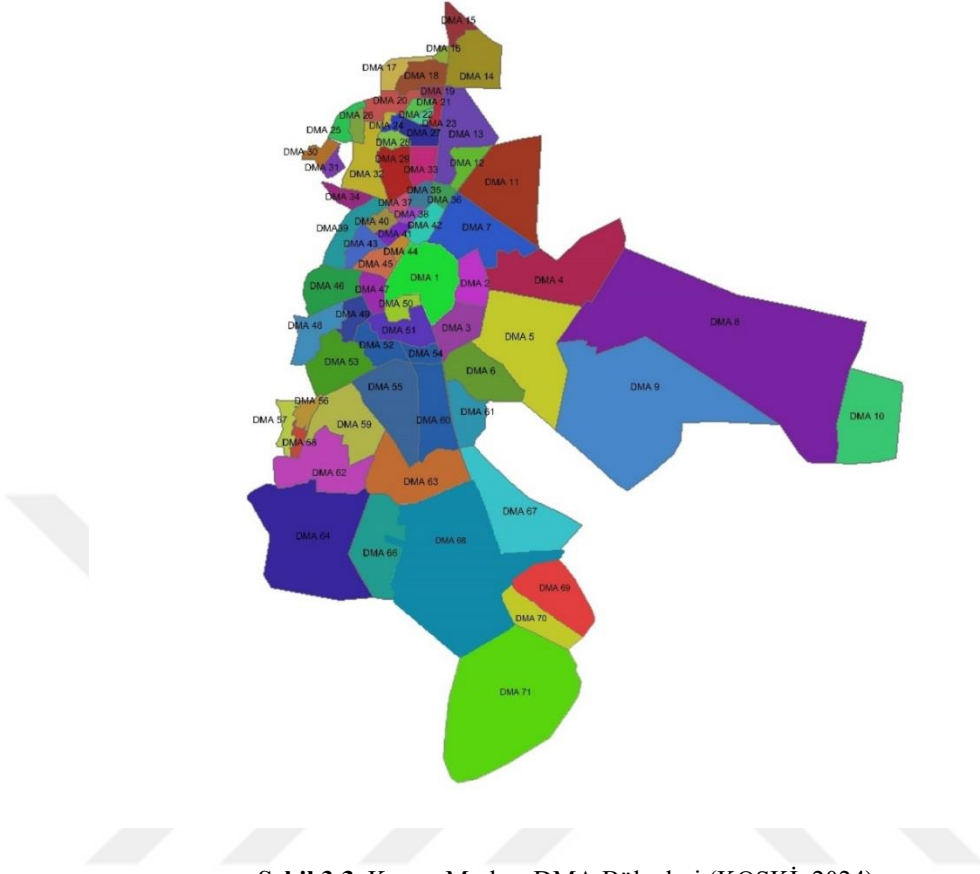
STANDART SU DENGESİ FORMU 2023, KOSKİ						
Sisteme Giren Su Miktarı 121.720.089 m <sup>3</sup> /yıl  100%	İzinli Tüketim	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım	Gelir Getiren Su Miktarı		
		79.200.811 m <sup>3</sup> /yıl 65,10%	79.153.222 m <sup>3</sup> /yıl 65,00%			
		92.022.035 m <sup>3</sup> /yıl 75,60%	Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım	Gelir Getirmeyen Su Miktarı	
			12.821.224 m <sup>3</sup> /yıl 10,50%	211.224 m <sup>3</sup> /yıl 0,20%		
	Su Kayıpları	İdari Kayıplar	7.963.179 m <sup>3</sup> /yıl 6,50%	İzinsiz Tüketim		42.519.278 m <sup>3</sup> /yıl 34,90%
				Sayaçlardaki Ölçüm Hataları		
		29.698.054 m <sup>3</sup> /yıl 24,40%	Fiziki Kayıplar	21.734.875 m <sup>3</sup> /yıl 17,90%	Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar	
					Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar	

### 3.4. İzole Bölgeler

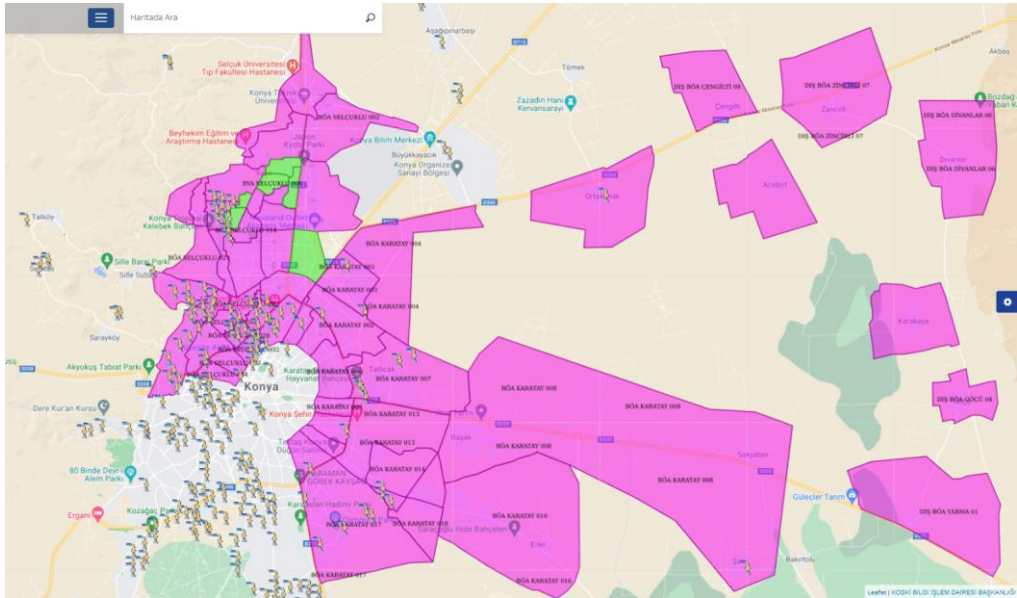
Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi (KOSKİ) Genel Müdürlüğü tarafından daha önce kurulmuş ve işletmede olan SCADA sisteminin ve Coğrafi Bilgi Sisteminden (CBS) faydalanılarak İl merkezinde 61 adet izole alt bölgeler oluşturulmuştur. Bu bölgelerdeki debi ve basınç değerlerinin ölçümü için basınç yönetim alanı (BYA) ve basınç ölçüm alanları (BÖA) oluşturulmuştur. BÖA'larda elektromanyetik ve ultrasonic clamp-on debimetreler ve basınç transmitterleri, olmakla beraber, BYA'larda BÖA'ya ek olarak aktüatörlü, pislik tutuculu Y tipi basınç düşürücü vanalar, Scada sistemi için ise mevcut SCADA sisteminde kullanılan RTU-PLC ve dataloggerlar bulunmaktadır. İzole alt bölgelerden gelen debi bilgileri, izole alt bölge abone tüketimleri ile karşılaştırılarak izole alt bölgelerdeki toplam su kaybı öğrenilmekte ve bu bilgiler ışığında öncelikle söz konusu izole alt bölgesinde basınç yönetimi uygulanmaktadır. Basınç yönetimi izole alt bölge istasyonlarında kullanılan uzaktan ayarlanabilir aktüatörlü basınç düşürücü vanalar ile gerçekleştirilmektedir. BÖA ve BYA istasyonlarındaki cihazlar için gereken enerji direklerle takılan güneş paneli ve batarya sistemi ile karşılanmaktadır. BÖA istasyonları, şebeke işletme basıncı yüksek olmayan izole alt bölge girişlerine, BYA istasyonları ise, şebeke işletme basıncının yüksek olduğu izole alt bölge girişlerinde oluşturulmuştur. BÖA'larda sadece debi ve basınç ölçümü gerçekleştirilmiş, BYA'larda ise bu ölçümlere uzaktan yönetilebilen basınç düşürücü vanalar ilave edilmiş olup, GSM haberleşmesi ile çalışan mevcut SCADA sistemine entegre edilmiştir (KOSKİ, 2024).



Şekil 3.2. Selçuklu DMA 001 (KOSKİ, 2024)



Şekil 3.3. Konya Merkez DMA Bölgeleri (KOSKİ, 2024)



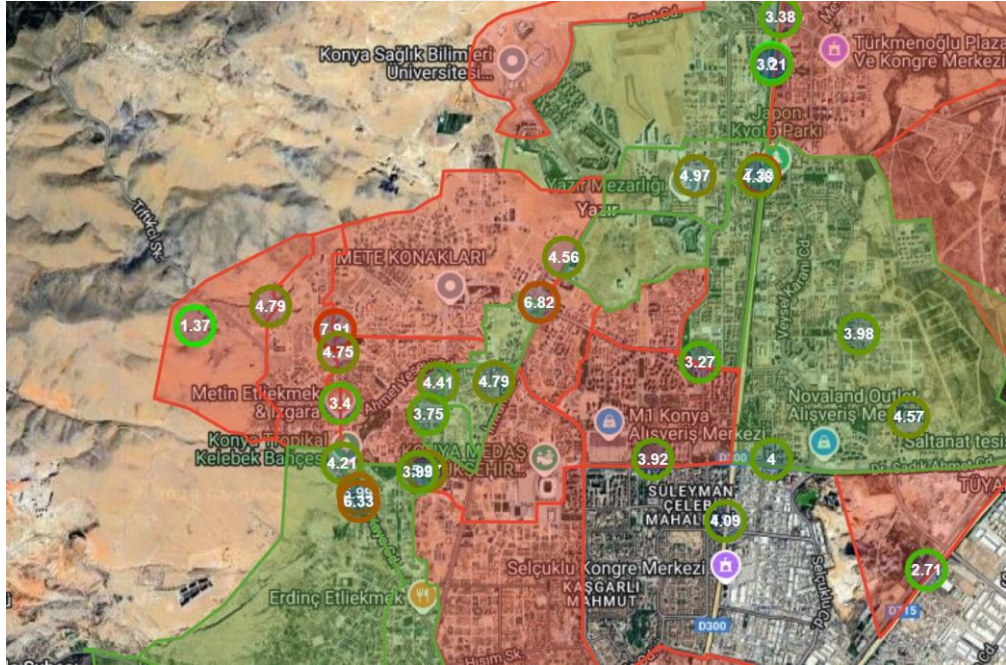
Şekil 3.4. Konya Merkez İzole Bölgeler (KOSKİ, 2024)

Konya merkez şehir şebekesinde merkez ilçelerde bulunan BÖA ve BYA sayıları Tablo 3.2.'de gösterilmiştir.

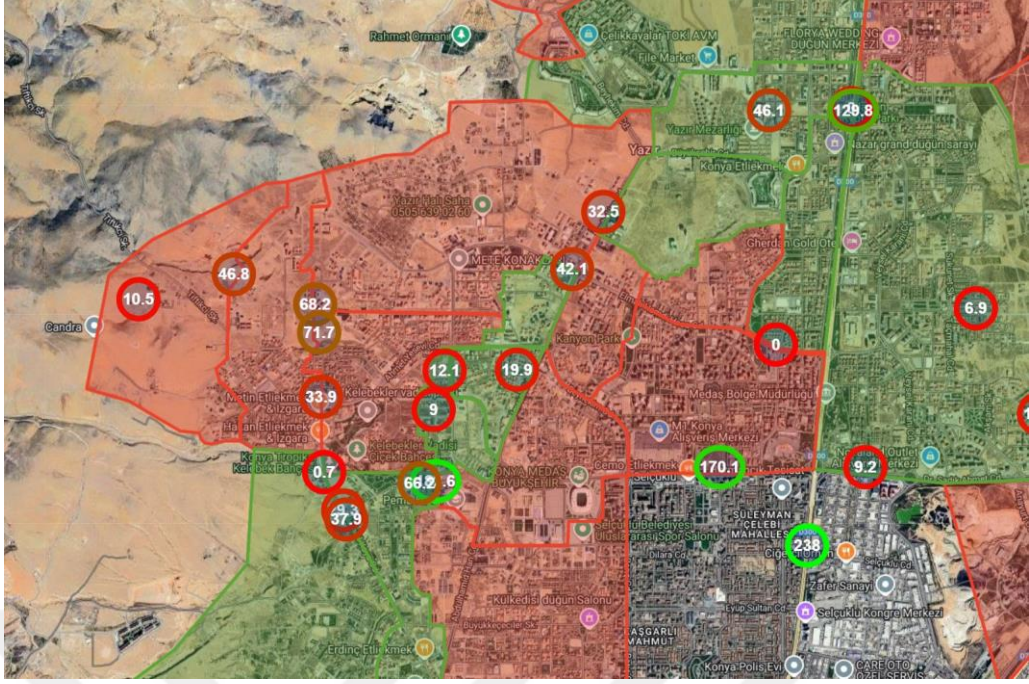
**Tablo 3.2.** İzole Bölgelerin İlçe Dağılımı

İlçe	Bölgesel Ölçüm Alanı (BÖA) (Adet)	Basınç Yönetim Alanı (BYA) (Adet)
Selçuklu	28	6
Karatay	14	-
Meram	11	2
Toplam	53	8

Elektrik enerji hesabı yapılmadan önce debi ve düşü verilerinin toplanması gerekmektedir. Düşü değeri hesaplanırken izole bölgeyi besleyen depo ve izole bölge su giriş nokta kotları belirlenmelidir. CBS sistemi üzerinden izole bölgeleri besleyen depo ve su giriş noktalarının kot ve boru çap bilgileri Tablo 3.3.'de gösterilmiştir. Ayrıca debi değerleri SCADA sistemi üzerinden BÖA ve BYA alanlarındaki debi ölçüm cihazlarından alınmıştır. Düşü ve debisi düşük olan izole bölgeler elektrik üretiminde kayda değer bir üretim oluşturamayacağı için listeden çıkarılmıştır (KOSKİ, 2024).



**Şekil 3.5.** Selçuklu İlçesi izole bölgeler basınç haritası (KOSKİ, 2024)



Şekil 3.6. Selçuklu İlçesi izole bölgeler debi haritası (KOSKİ, 2024)



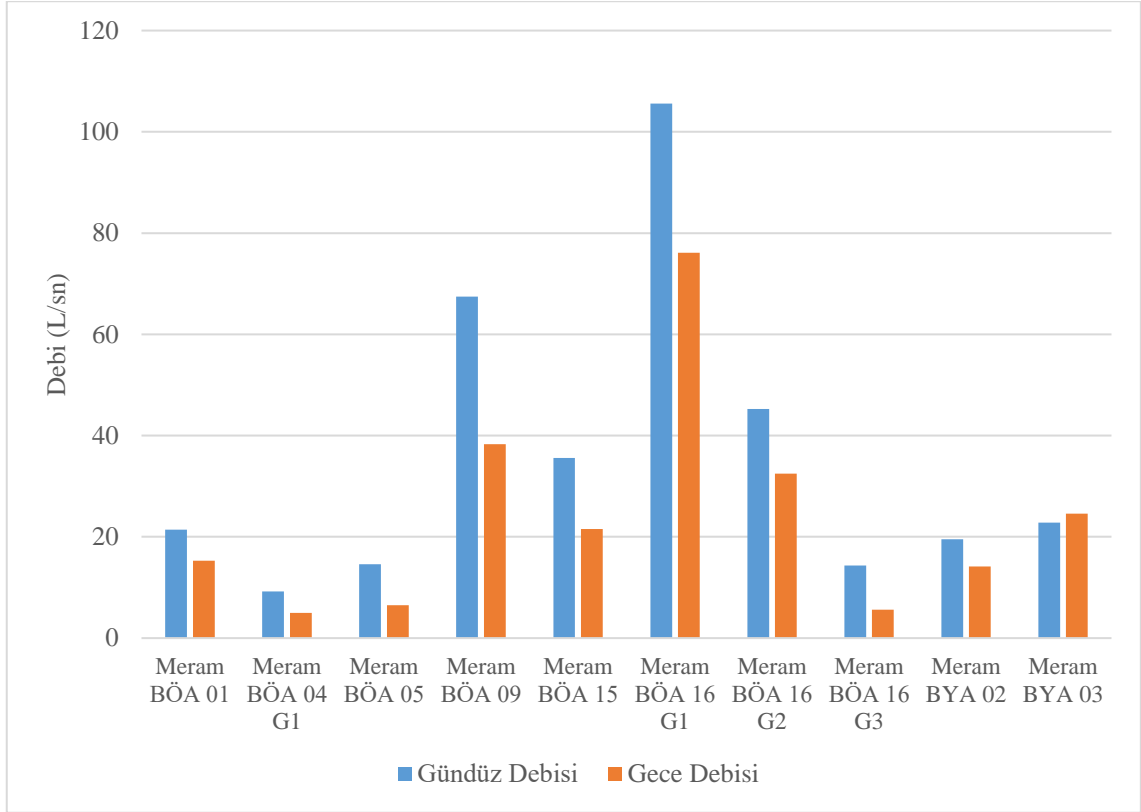
Şekil 3.7. Selçuklu BÖA 20 izole bölgesi SCADA anlık veri haritası (KOSKİ, 2024)



**Tablo 3.3.** Konya Merkez bazı izole bölgelerin boru cins ve çap değerleri ile beslendiği depo ve su giriş bilgileri (KOSKİ, 2024)

S.N.	İzole Bölge Adı	Boru		Depo Adı	Depo Kotu (mt)	Su Giriş Kotu (mt)	H (Hidrolik Yük) (mt)
		Cins	Çap (mm)				
1	Selçuklu BÖA 05	Çelik	400	Barsana 1	1065	1026	39
2	Selçuklu BÖA 06	Çelik	400	Barsana 2	1110	1044	66
3	Selçuklu BÖA 07	Pe	315	Barsana 1	1065	1026	39
4	Selçuklu BÖA 09	Çelik	700	Barsana 2	1110	1049	61
5	Selçuklu BÖA 10	Çelik	500	Barsana 2	1110	1049	61
6	Selçuklu BÖA 16	Çelik	500	Karagüney 1	1180	1138	42
7	Selçuklu BÖA 19	Çelik	300	Sille Esentepe	1186	1108	78
8	Selçuklu BÖA 24	Çelik	600	Akyokuş Arıtma	1085	1048	37
9	Selçuklu BÖA 26	Duktil	450	Dedekorkut-P3	1065	1041	24
10	Selçuklu BÖA 27	Pe	315	Dedekorkut-P3	1065	1017	48
11	Selçuklu BÖA 31	Çelik	400	Dedekorkut-P3	1065	1005	60
12	Selçuklu BYA 01	Pe	200	Barsana 2	1110	1037	73
13	Selçuklu BYA 07	Pe	110	Barsana 2	1110	1047	63
14	Meram BÖA 01	Pe	140	Akyokuş 1	1130	1076	54
15	Meram BÖA 06	Pvc	225	Seçme Arıtma	1105	1043	62
16	Meram BÖA 09	Pe	250	Seçme Arıtma	1105	1035	70
17	Meram BYA 02	Pe	200	Seçme Arıtma	1105	1010	95
18	Meram BYA 03	Pe	200	Seçme Arıtma	1105	1020	85
19	Karatay BÖA 03	Pe	140	Dedekorkut-P3	1065	1008	57
20	Karatay BÖA 04	Duktil	300	Dedekorkut-P3	1065	1005	60
21	Karatay BÖA 05	Pe	200	Dedekorkut-P3	1065	1009	56
22	Karatay BÖA 06	Pe	315	Dedekorkut-P3	1065	1008	57
23	Karatay BÖA 07	Pvc	200	Dedekorkut-P3	1065	1007	58

Şekil 3.9.'da Selçuklu ilçesindeki gündüz ve gece debi değerleri görülmektedir. Gündüz ve gece debileri arasında bazı bölgelerde %25 oranlarına ulaşan gündüz gece debi farkları oluşmaktadır. Bu durum elektrik enerji üretim hesabı ve MİKROHES türbin tasarımında oldukça önem arz etmektedir.

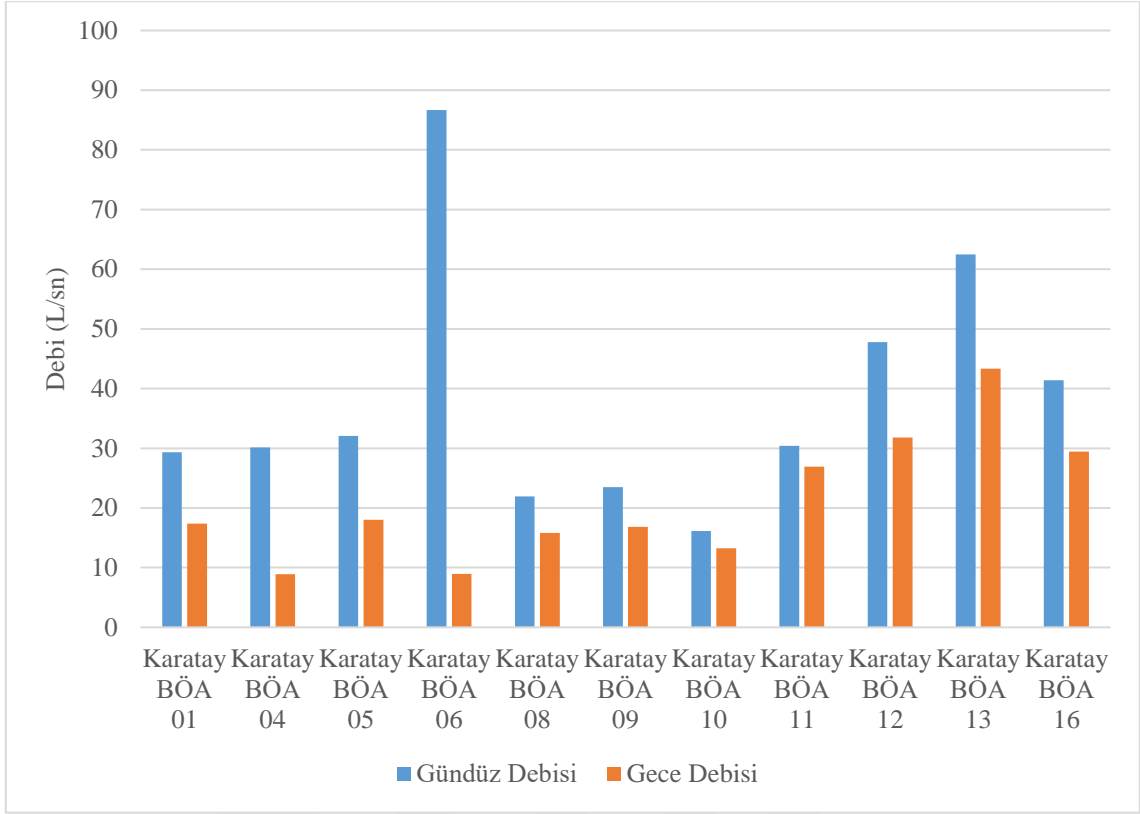


Şekil 3.10. Meram İlçesi izole bölgelerin gündüz ve gece debi değerleri (KOSKİ, 2024)

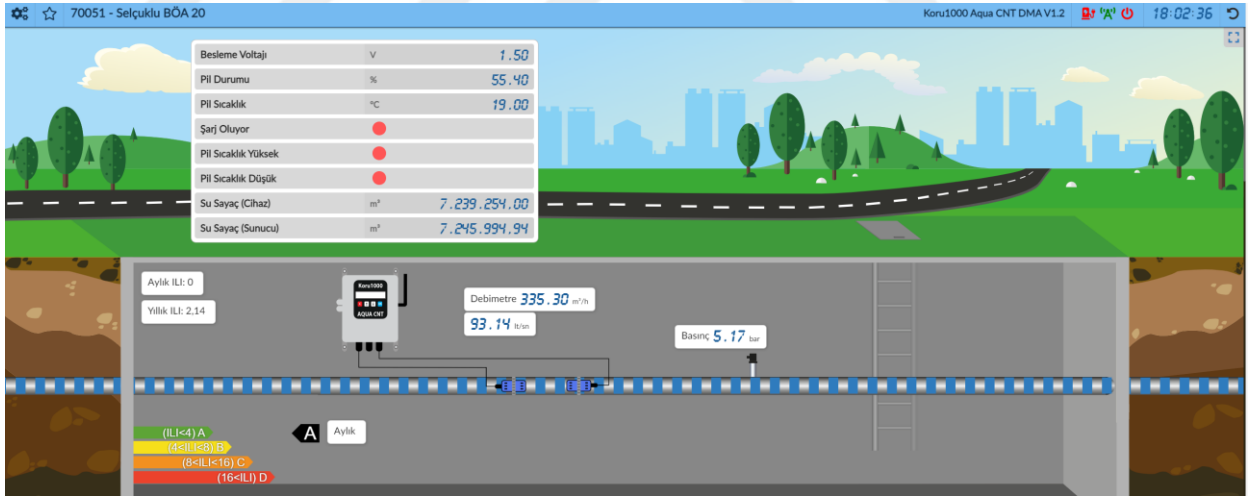
Genel olarak ilçelerin debi değerleri gündüz ve gece saatlerinde doğal olarak değişmektedir. Gece su kullanımı en az seviyelere düşer ve bu durum basıncın artmasına sebep olur. Su akışının azalması yük kayıplarını azaltarak basıncın statik basınç haline geçmesine yol açar.

Şekil 3.12.'de örnek olarak Selçuklu BÖA 20 izole bölgesinin girişinde bulunan basınç ve debi ölçüm cihazının verilerini gösteren SCADA ekranı görülmektedir. Ekranda mevcut pil durumları, pil sıcaklığı, kurulumundan bugüne ne kadar su geçişi olduğu ayrıca görülmektedir.

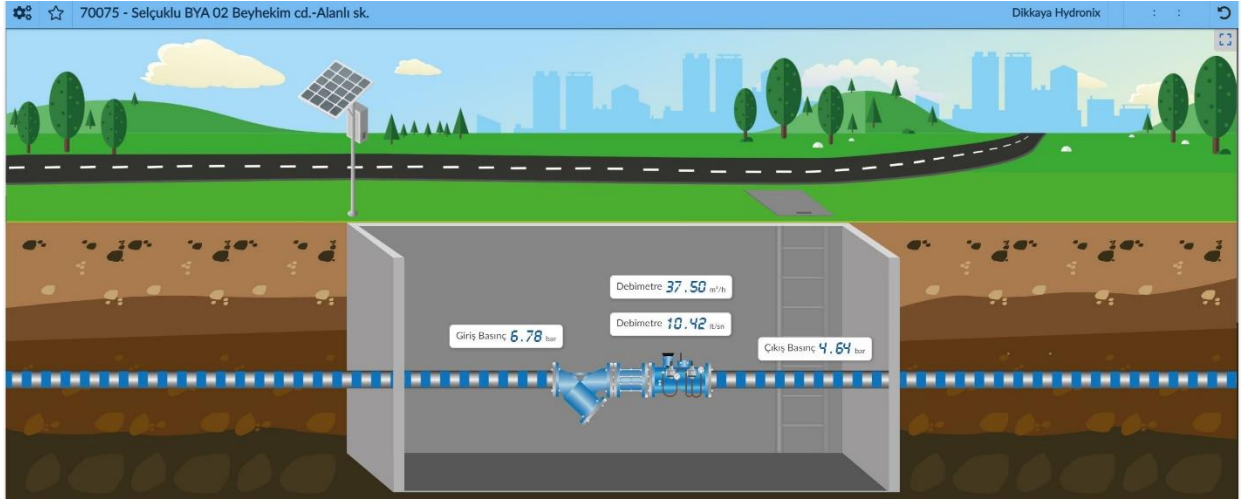
Şekil 3.13.'de Selçuklu BYA 02 izole bölgesinin anlık debi, giriş ve basınç kırıcı sonrası çıkış basınç bilgilerini gösteren örnek SCADA ekranı görülmektedir.



Şekil 3.11. Karatay İlçesi izole bölgelerin gündüz ve gece debi değerleri (KOSKİ, 2024)



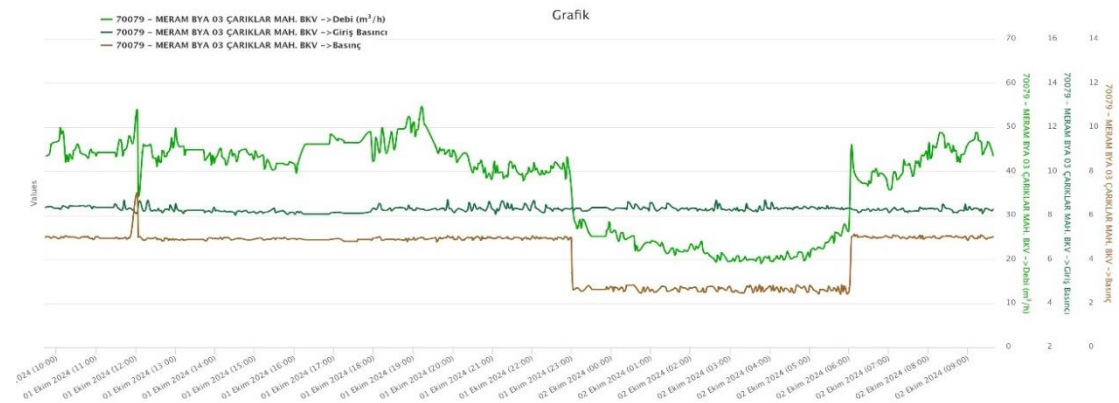
Şekil 3.12. Selçuklu BÖA 20 izole bölgesinin anlık debi ve basınç bilgilerini gösteren örnek SCADA ekranı (KOSKİ, 2024)



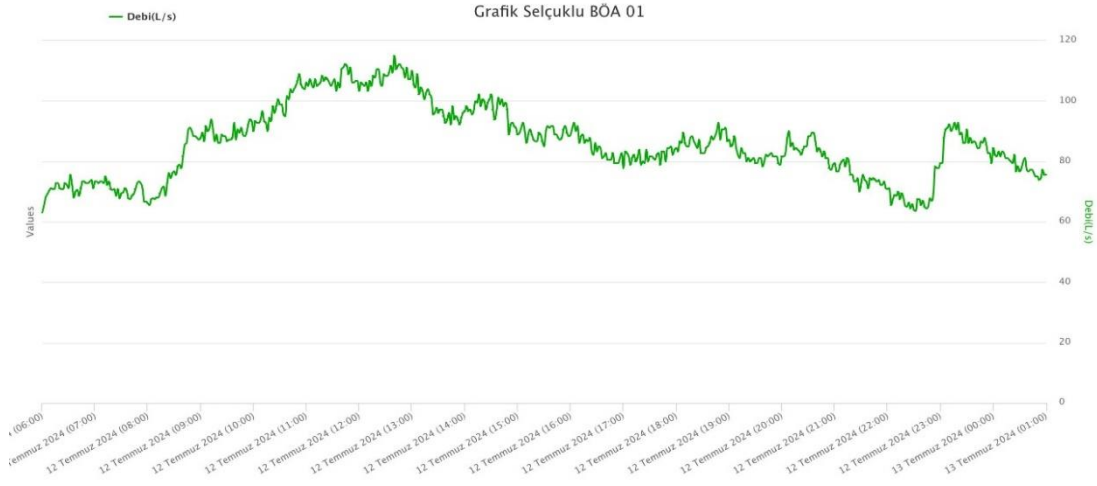
Şekil 3.13. Selçuklu BYA 02 izole bölgesinin anlık debi, giriş ve basınç kırıcı çıkış basınç bilgilerini gösteren örnek SCADA ekranı (KOSKİ, 2024)



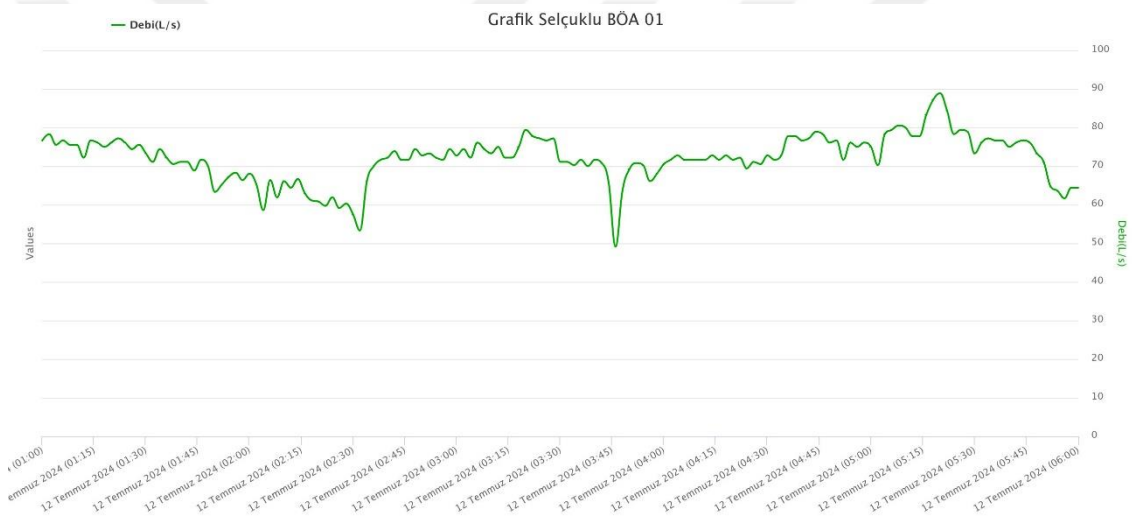
Şekil 3.14. Selçuklu BYA 01 izole bölgesi debi, giriş ve çıkış basınç grafiği (KOSKİ, 2024)



Şekil 3.15. Meram BYA 03 izole bölgesi debi, giriş ve çıkış basınç grafiği (KOSKİ, 2024)



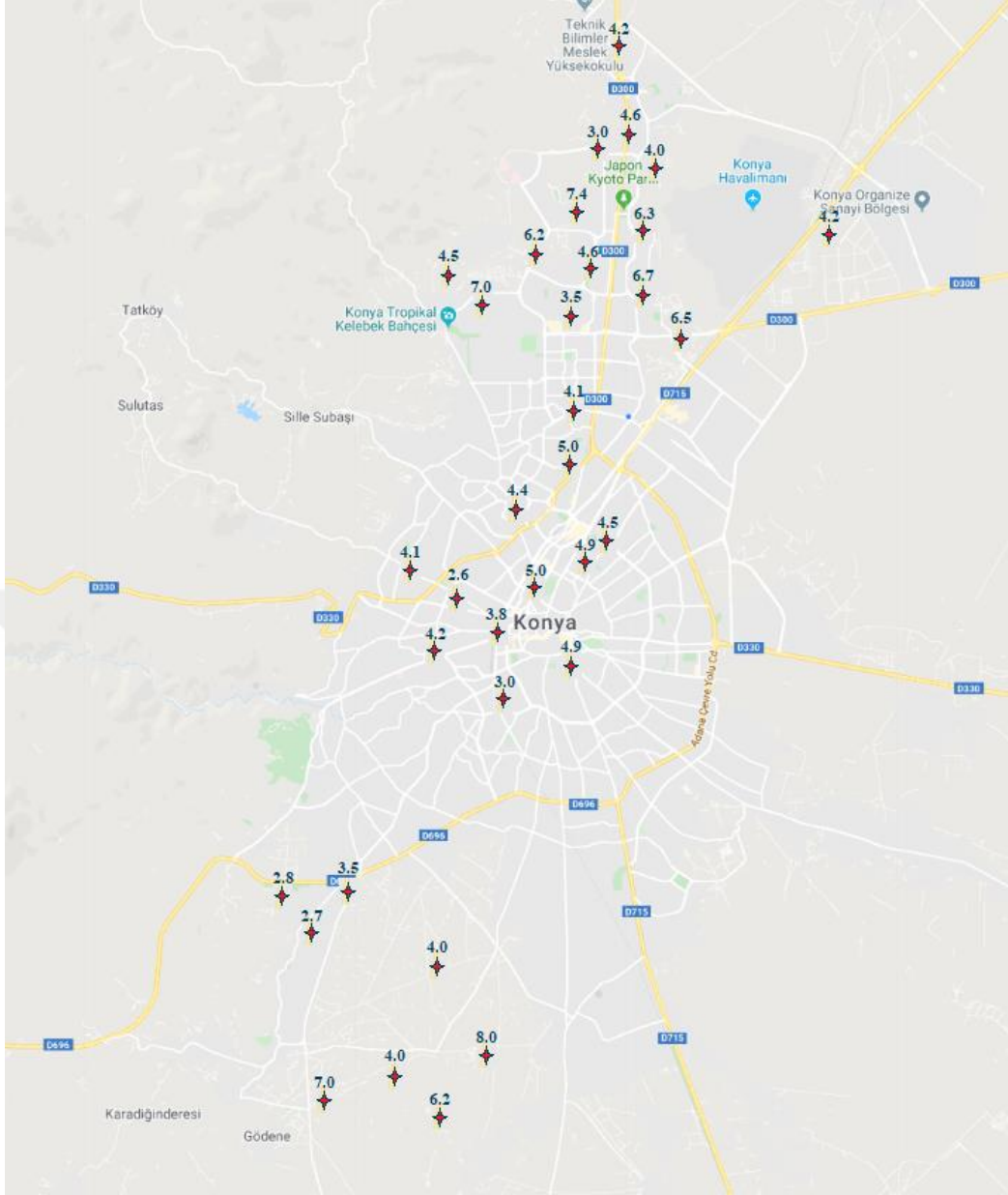
Şekil 3.16. Selçuklu BÖA 01 izole bölgesi gündüz kullanım debi grafiği (KOSKİ, 2024)



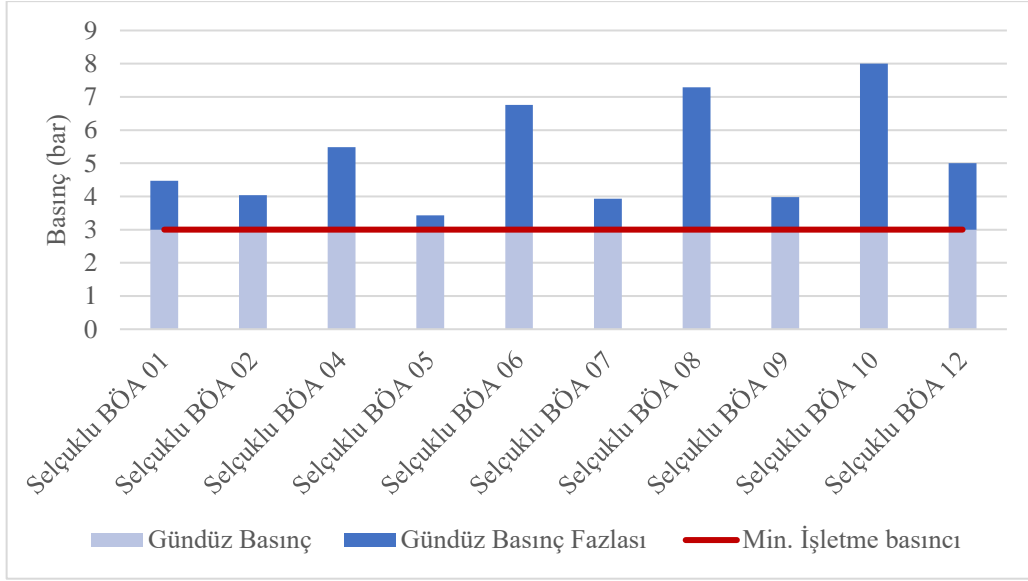
Şekil 3.17. Selçuklu BÖA 01 izole bölgesi gece kullanım debi grafiği (KOSKİ, 2024)

### 3.5. Şebekede Basınç

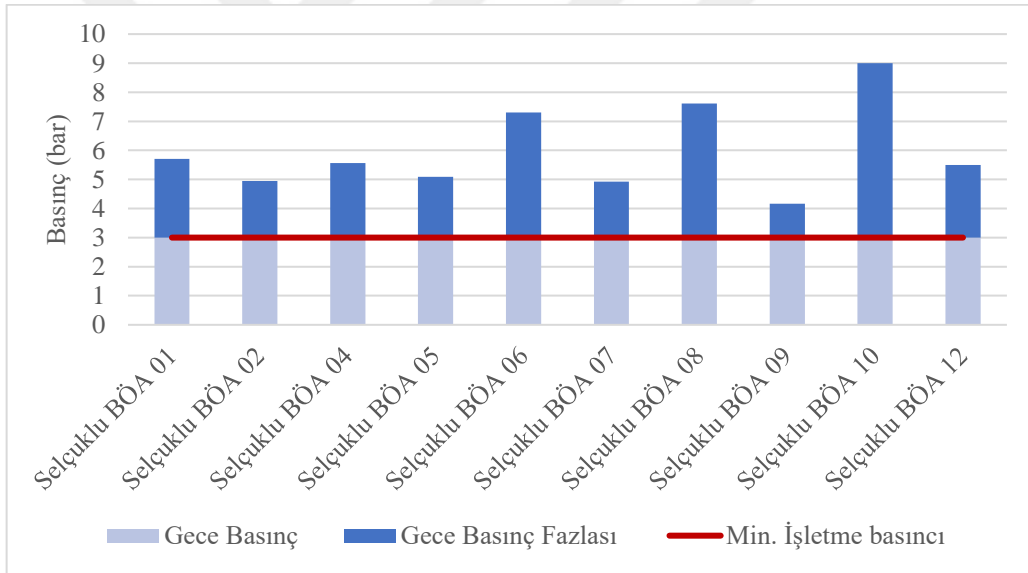
12 Ekim 2017 tarih ve 30208 sayılı Resmi Gazete yayımlanan “İçme ve Kullanma Suyu Temini ve Dağıtım Sistemleri Hakkında Yönetmelik” Ek-1 1.3.2.4.2. maddesi uyarınca şebeke ana, esas ve tali borularında işletme basınçlarının nüfusun yüksek olduğu bölgelerde 30 metre (3 bar)’dan az olmaması gerekmektedir (Resmi Gazete, 2017). Bu duruma göre izole bölgelerin mevcut basınç verileri SCADA sisteminden alınmış ve 3 bar fazlası basınçları Şekil 19-24’te gösterilmiştir.



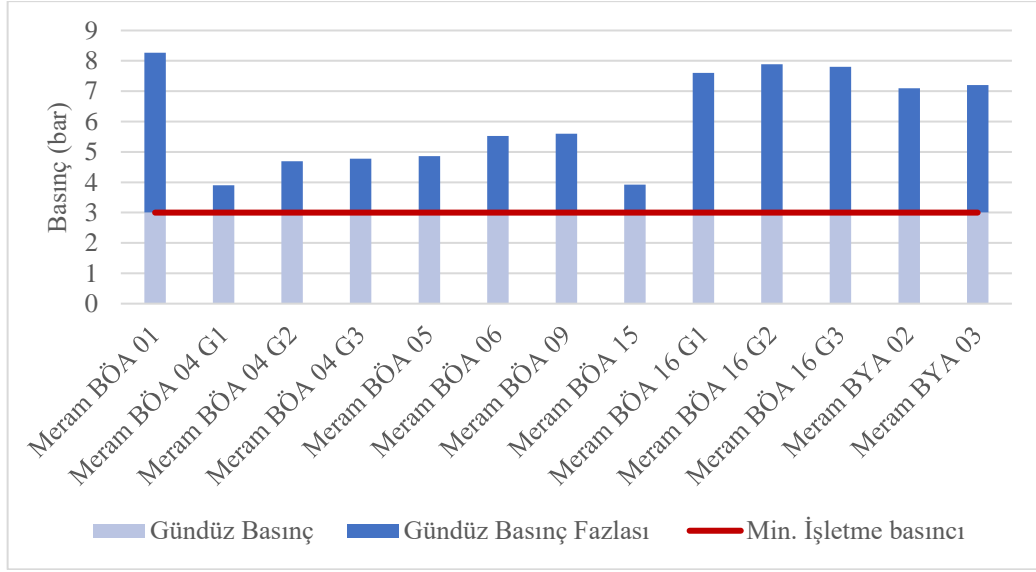
Şekil 3.18. Konya Merkez Basınç Ölçümleri (KOSKİ, 2024)



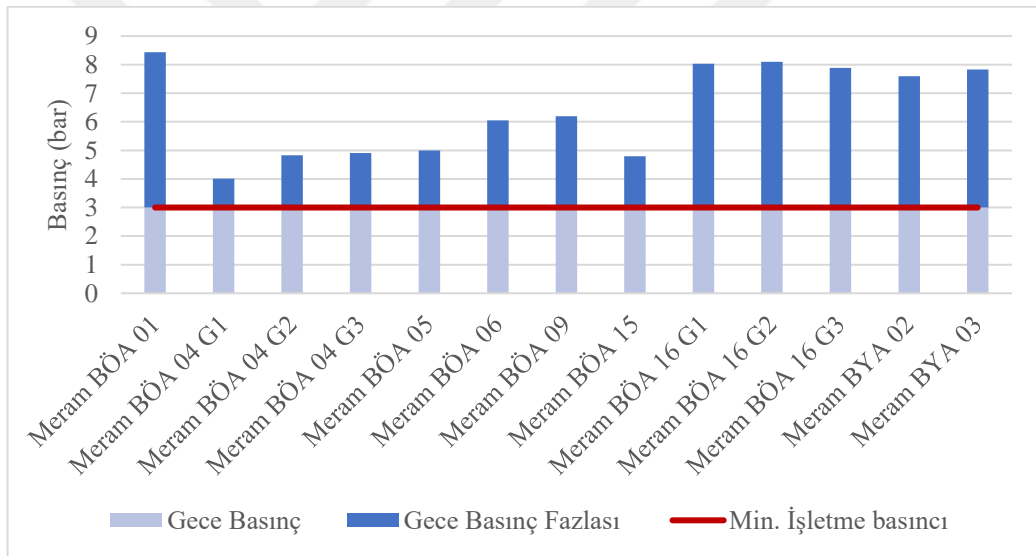
Şekil 3.19. Selçuklu İlçesi gündüz saatlerindeki izole bölgelerin mevcut basınç ve 3 bar fazlası basınç grafiği (KOSKİ, 2024)



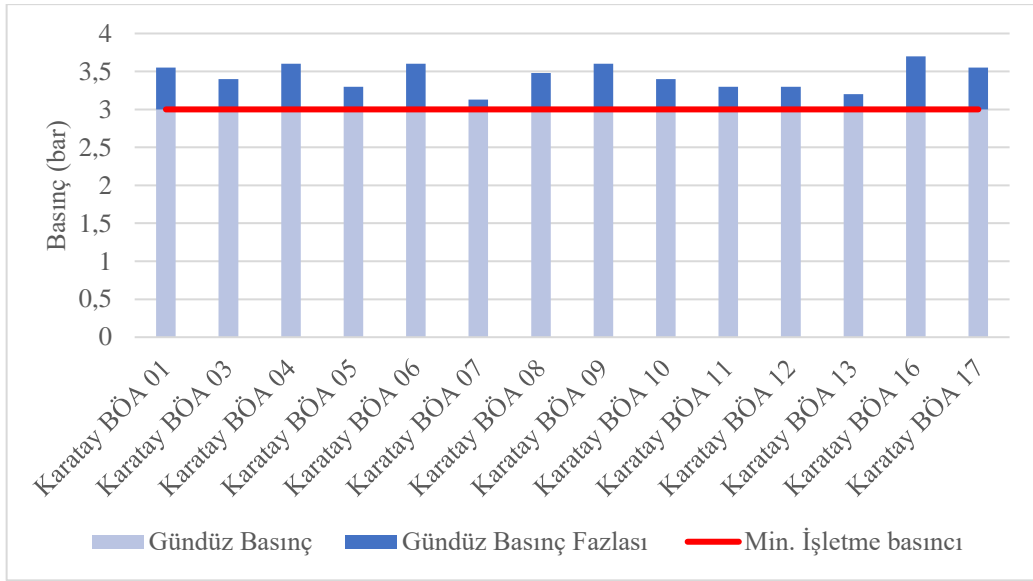
Şekil 3.20. Selçuklu İlçesi gece saatlerindeki izole bölgelerin mevcut basınç ve 3 bar fazlası basınç grafiği (KOSKİ, 2024)



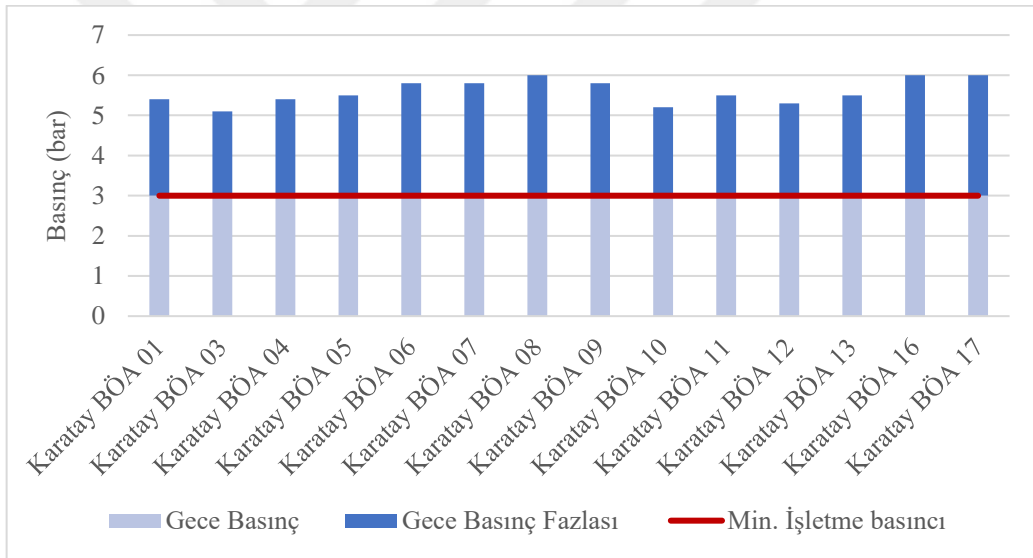
**Şekil 3.21.** Meram İlçesi gündüz saatlerindeki izole bölgelerin mevcut basınç ve 3 bar fazlası basınç grafiği (KOSKİ, 2024)



**Şekil 3. 22.** Meram İlçesi gece saatlerindeki izole bölgelerin mevcut basınç ve 3 bar fazlası basınç grafiği (KOSKİ, 2024)



**Şekil 3.23.** Karatay İlçesi gündüz saatlerindeki izole bölgelerin mevcut basınç ve 3 bar fazlası basınç grafiği (KOSKİ, 2024)

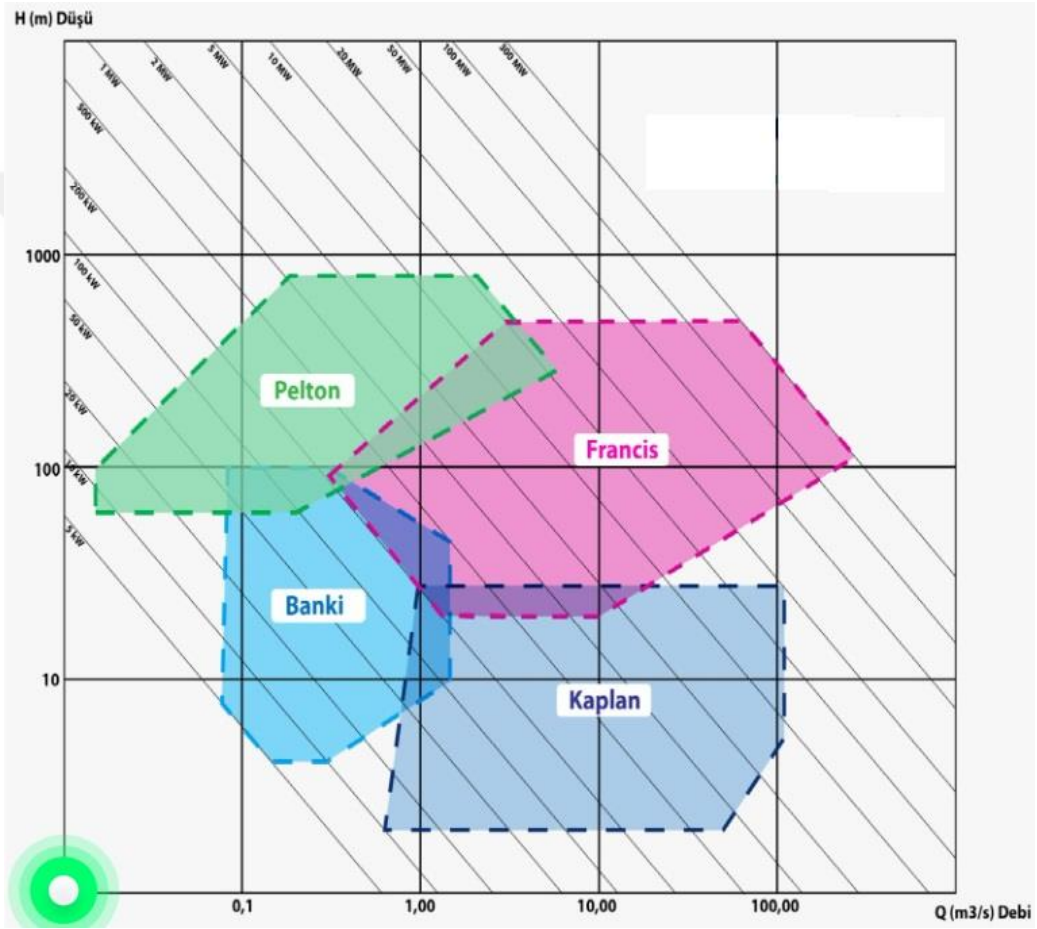


**Şekil 3.24.** Karatay İlçesi gece saatlerindeki izole bölgelerin mevcut basınç ve 3 bar fazlası basınç grafiği (KOSKİ, 2024)

Şekil 3.23.'de görüldüğü üzere bazı bölgelerde gündüz basınç fazlası minimum düzeyde olmakla beraber Şekil 3.24.'de görüldüğü üzere sadece gece basınç fazlalığı görülmektedir. Bu bölgelerde enerji hesabı sadece gece yapılmıştır. Kurulacak olan MİKROHESlerin basınç kırma durumu düşünüldüğünde mevcut işletme sistemindeki arz ve devamlılığı etkilemeden türbin yerleşimi yapılmalıdır. Bölgelere kurulacak olan türbin tip ve verimleri belirlendikten sonra kurulum dizaynı yapılmıştır.

### 3.6. MİKROHES Türbin Tipinin Belirlenmesi

Literatürde HES türbin tipinin belirlenmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Türbin tipi belirlenirken debi, düşü ve buna bağlı olarak üretilecek elektrik enerji değerleri önem arz etmektedir. Ancak bazı türbin tipleri aynı düşü ve debide kullanılabilir. Bu durumda verimi yüksek olan türbin seçilmelidir. Türbin seçim diyagramı Şekil 3.25.'de görülmektedir.



Şekil 3.25. Türbin seçim diyagramı (TEMSAN, 2024)

Türbin seçim diyagramına göre düşü ve debi değerleri dikkate alınarak izole bölgelerin hangi türbin tipi olacağı seçilerek Tablo 3.4.'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.4.** Türbin tipi seçim tablosu

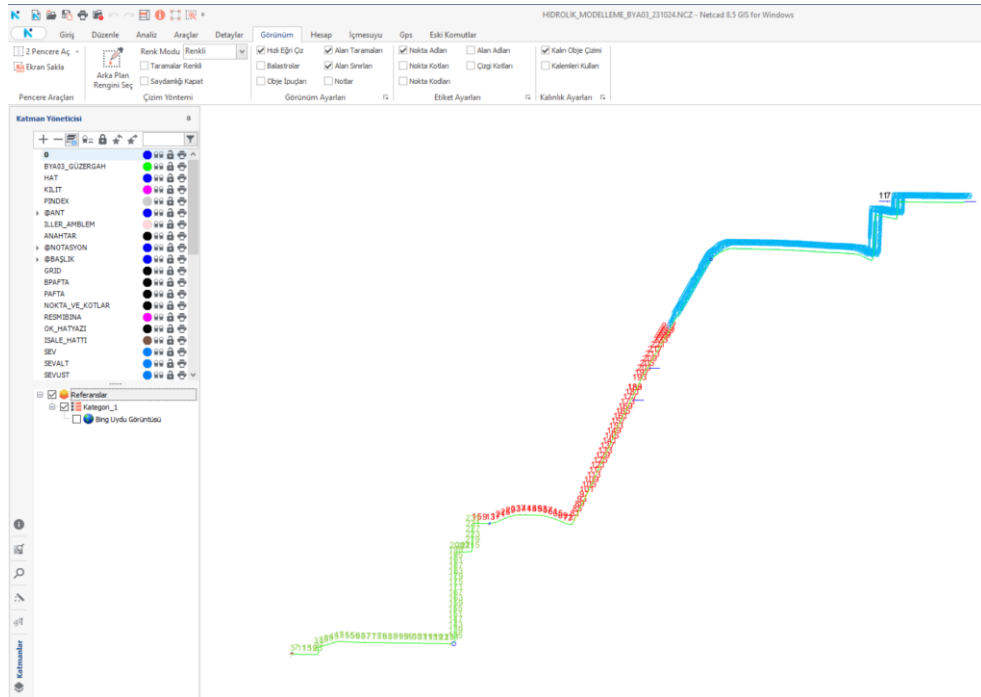
S.N.	İzole Bölge Adı	Debi Q (L/Sn) (12.07- 13.07.2024)	H (m) (Hidrolik Yük)	Türbin Tipi
1	Selçuklu BÖA 01	115	59	Banki
2	Selçuklu BÖA 04	17,69	63	Banki
3	Selçuklu BÖA 06	32,78	71	Pelton
4	Selçuklu BÖA 07	83,89	44	Banki
5	Selçuklu BÖA 08	183,33	78	Pelton
6	Selçuklu BÖA 10	115	66	Pelton
7	Selçuklu BÖA 12	200	46	Banki
8	Selçuklu BÖA 14	30,56	49	Banki
9	Selçuklu BÖA 15	53,94	66	Pelton
10	Selçuklu BÖA 16	23,19	47	Banki
11	Selçuklu BÖA 19	74,44	83	Pelton
12	Selçuklu BÖA 20	173,33	55	Banki
13	Selçuklu BÖA 22	40,83	43	Banki
14	Selçuklu BÖA 24	101,11	42	Banki
15	Meram BÖA 04 G3	8,11	52	Banki
16	Meram BÖA 09	67,42	75	Pelton
17	Meram BÖA 15	35,56	94	Banki
18	Meram BYA 02	19,51	100	Pelton
19	Meram BYA 03	22,78	90	Pelton
20	Karatay BÖA 01	29,31	61	Pelton
21	Karatay BÖA 03	11,58	62	Banki
22	Karatay BÖA 04	30,14	65	Pelton
23	Karatay BÖA 05	32,08	61	Pelton
24	Karatay BÖA 06	86,67	62	Banki
25	Karatay BÖA 07	12,98	63	Banki

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

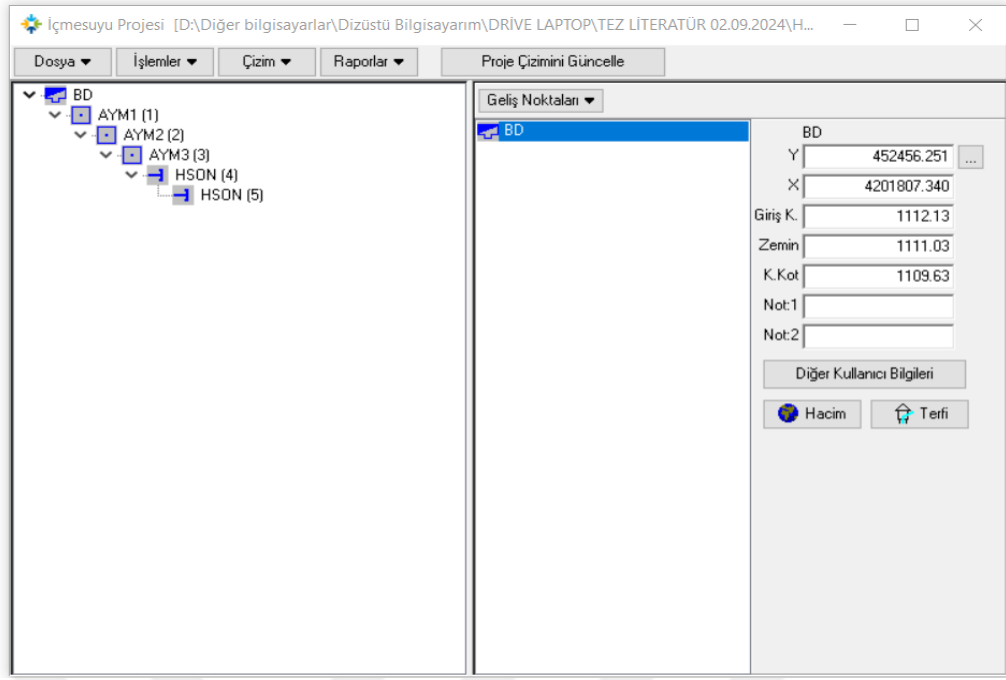
### 4.1. Hidrolik Modelleme

SCADA verilerinin doğruluğunun teyidi için 5 adet izole bölgede hidrolik modelleme çalışması yapılmıştır. Hidrolik modelleme için NetCAD İçme Suyu Modülü kullanılmıştır. Hidrolik modelleme için öncelikle çalışma alanları belirlenmiştir. Selçuklu ilçesi BYA 01-02-03-05-06 izole bölgeleri hidrolik modelleme için seçilmiştir.

Öncelikle bu bölgelerin hangi depodan beslendiği tespit edilmiş ve depo ile izole bölge su giriş noktası arasındaki isale hattı mevcut ölçüleri alınmıştır. NetCAD programına alınan bu nokta ölçüleri ve depo bilgileri aktarılmıştır. Mevcutta bulunan isale hattının boru çap, cins ve yapım yılı bilgileri altlıktan alınmış ve programa işlenmiştir. Hidrolik modelleme öncesinde nokta dosyaları ile boru cins ve çapları dikkate alınarak güzergah çizimi yapılmıştır (Şekil 4.1.). Ardından izole bölge içerisinde bulunan mesken, yeşil alan, sanayi, ticarethane vb. abonelerin tahakkuk verileri dikkate alınarak ihtiyaç ve kullanım debileri hesaplanmıştır.

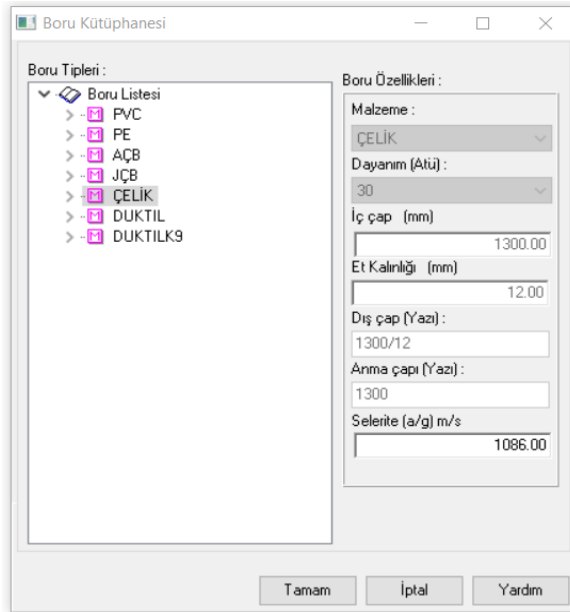


Şekil 4.1. Selçuklu BYA 03 hidrolik modelleme için nokta dosyaları ve boru hatlarının çizimi



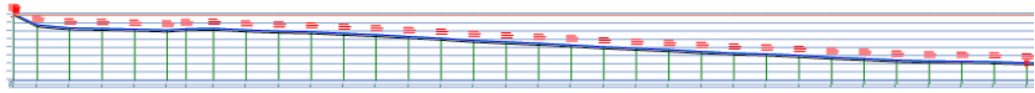
Şekil 4.2. Hidrolik modelleme hesap ekranı

Verilerin toplanması ile NetCAD İçme Suyu Modülü program içerisinde açılarak Terfilili-Cazibeli sistem çözüm kısmından giriş yapılarak proje yapım ekranında işlemler sekmesinin altında projeden yeni hat yarat kısmı seçilerek hesap çalışması başlatılmıştır. Oluşturulan güzergah hesap güzergahı olarak seçildikten sonra boru cins ve çap bilgileri girilmiş ve hesaplanan debi değerleri programa tanıtılmıştır (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Boru cins, çap bilgileri kütüphanesi

Nokta	Hat No	Boru Cinsi	KKot	Mesafe	Kazı	Hız (m/sn)	Piy
142-NOKTA			1043,00	5336,69	1,90		
143-NOKTA			1043,08	5356,50	1,90		
144-NOKTA			1043,09	5376,50	1,90		
145-NOKTA			1043,29	5396,50	1,90		
146-NOKTA			1043,12	5406,50	1,90		
147-NOKTA			1042,98	5416,38	1,90		
148-NOKTA			1042,02	5466,38	1,90		
149-NOKTA			1041,37	5526,38	1,90		
150-NOKTA			1040,61	5586,38	1,90		
151-NOKTA			1040,10	5646,38	1,90		
152-NOKTA			1038,47	5726,38	1,90		
153-NOKTA			1037,94	5766,38	1,90		
154-NOKTA			1037,47	5806,38	1,90		
155-NOKTA			1036,77	5876,38	1,90		
156-NOKTA			1036,33	5946,38	1,90		
157-NOKTA			1035,31	6056,39	1,90		
158-NOKTA			1034,61	6136,39	1,90		
159-NOKTA			1034,08	6196,39	1,90		
160-NOKTA			1033,77	6216,39	1,90		
161-NOKTA			1033,51	6246,39	1,90		
162-NOKTA			1033,06	6286,37	1,90		
163-NOKTA			1032,56	6336,37	1,90		
164-NOKTA			1032,21	6366,37	1,90		
165-NOKTA			1032,12	6376,30	1,90		



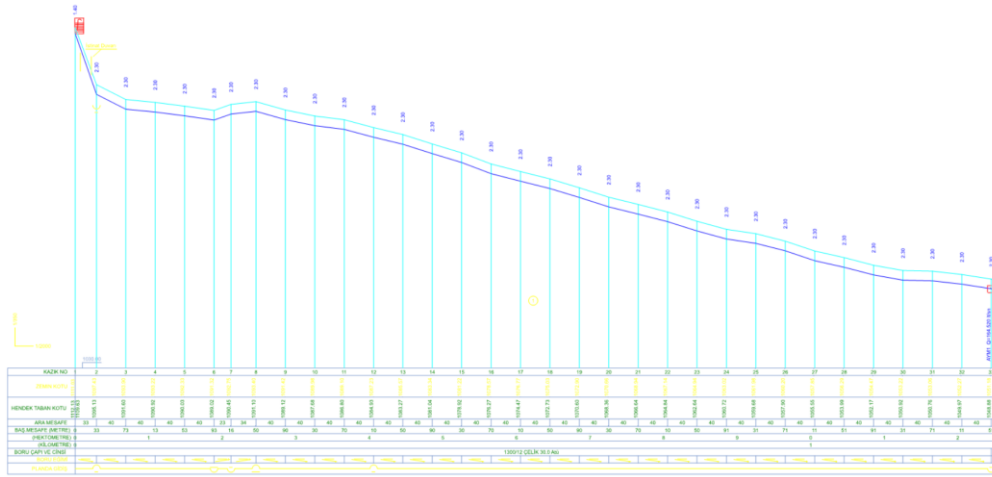
Şekil 4.4. Hidrolik model hesap ekranı

Mevcutta bulunan hatların birebir aynı metrede olduklarına dikkat edilmiştir. Ardından hesaplama butonu ile hesap yaptırılmış ve program isale hattının profilini göstermiştir (Şekil 4.4.).

Profil üzerinde incelemeler yapılmış ve arazi yapısına ve mevcut duruma uygun olduğu görüldükten sonra hesap tamamlanmıştır. Ardından çizim bölümünde hesap ve isale çizimleri alınmıştır (Şekil 4.5 ve 4.6.). Metraj raporları da alınarak modelleme tamamlanmıştır.



Şekil 4.5. Selçuklu BYA 03 hesap profili



Şekil 4.6. Selçuklu BYA 03 isale profili

Hidrolik modelleme çalışması gece ve gündüz ayrı ayrı olarak 5 ayrı bölge için hesaplanmış olup SCADA sisteminden alınan veriler ile nüfus ve abone sayıları Tablo 4.1.'de, hidrolik modelleme sonuçları Tablo 4.2.'de görülmektedir.

Tablo 4.1. Nüfus ve SCADA verileri

Nüfus ve SCADA Verileri							
S.N.	Nüfus ve Abone Sayıları			SCADA			
	Ölçüm Alanı	Nüfus (Kişi)	Abone Sayısı	Gündüz Debisi (L/sn)	Gece Debisi (L/sn)	Gündüz Basıncı (bar)	Gece Basıncı (bar)
1	BYA 1	6.099	2.318	58,64	15,29	7,47	7,50
2	BYA 2	3.981	1.453	43,70	14,80	6,75	6,77
3	BYA 3	13.579	5.156	164,52	37,20	7,80	7,87
4	BYA 5	3.153	1.204	37,44	0,00	6,61	6,66
5	BYA 6	13.442	5.156	19,00	7,50	7,24	7,32

**Tablo 4.2.** NetCAD hidrolik modelleme sonuçları

NetCAD Hidrolik Modelleme Verileri					
S.N.	Ölçüm Alanı	NetCAD Hidrolik Modelleme			
		Gündüz		Gece	
		İşletme Basıncı (bar)	Statik Basıncı (bar)	İşletme Basıncı (bar)	Statik Basıncı (bar)
1	BYA 1	7,48	7,49	7,48	7,49
2	BYA 2	6,71	6,71	6,75	6,78
3	BYA 3	7,77	7,81	7,80	7,85
4	BYA 5	6,71	6,71	6,68	6,71
5	BYA 6	7,21	7,21	7,30	7,34

**Tablo 4.3.** SCADA ve hidrolik modelleme verilerinin karşılaştırılması

SCADA ve Hidrolik Modelleme Karşılaştırma								
S.N.	Ölçüm Alanı	SCADA		NetCAD		Gündüz Basıncı Farkı (bar)	Gece Basıncı Farkı (bar)	Yüzde (%)
		Gündüz Basıncı (bar)	Gece Basıncı (bar)	Gündüz Basıncı (bar)	Gece Basıncı (bar)			
1	BYA 1	7,47	7,50	7,49	7,49	-0,02	0,01	0,13
2	BYA 2	6,75	6,77	6,71	6,78	0,04	-0,01	-0,15
3	BYA 3	7,80	7,87	7,81	7,85	-0,01	0,02	0,25
4	BYA 5	6,61	6,66	6,71	6,71	-0,10	-0,05	-0,75
5	BYA 6	7,24	7,32	7,21	7,34	0,03	-0,02	-0,27

SCADA ve hidrolik modelleme verileri sonucunda basınç düzeyindeki yapılan karşılaştırmada basınç farkının minimum olduğu ve ortalama %0,31 civarında olduğu görülmüştür (Tablo 4.3.). Çıkan sonuca göre SCADA verilerinin güvenilir olduğu ve tez çalışması hesaplarında kullanılabilceği ortaya koyulmuştur.

## 4.2. Elektrik Enerji Üretim Hesabı

SCADA verilerinin doğruluğu belirlendikten sonra bu veriler kullanılarak izole bölgelerdeki elektrik enerji üretim hesabı yapılabilecektir. Bölüm 3.2.'de bahsedildiği üzere elektrik enerji hesabı yapılırken debi, düşü, verim değerleri kullanılacaktır.

MİKROHES tiplerinin verimleri farklılık göstermektedir. İzole bölgelerin debi ve düşü değerlerine göre Banki ve Pelton tipi olmak üzere iki adet türbin tipi ile çalışma yapılacaktır. Banki türbinlerinin verimi %86 Pelton türbinlerinin verim değeri ise % 91 olmaktadır (TEMSAN, 2024).

Bir izole bölgede gündüz ve gece debi ve basınçları farklılık göstermektedir. Gündüz ve gece su kullanıma bağlı olarak işletme basıncında farklılıklar oluşmaktadır. Elektrik enerji hesabı yapılırken gündüz ve gece üretim değerlerinin farklı olacağı düşünüülerek hesap yapılmalıdır. Bu durum dikkate alınarak gündüz saat 06.00-01.00 saatleri, gece olarak 01.00-06.00 saatleri dikkate alınarak SCADA sisteminden veriler alınmıştır. Bu veriler ile örnek olarak Selçuklu BÖA 08 izole bölgesinde yapılan hesap aşağıda gösterilmektedir.

Gündüz 06.00-01.00 (19 saat) için;

$$Pgüç = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta \text{ (W) (1)}$$

$$Q : 0,18333 \text{ m}^3/\text{s},$$

$$\rho : 1000 \text{ kg / m}^3,$$

$$H : 78 \text{ m},$$

$$g : 9.81 \text{ m/ s}^2,$$

$$\eta : 0,91 \text{ (Pelton Türbini)}$$

$$Pgüç = 0,18333 * 1000 * 78 * 9,81 * 0,91$$

$$Pgüç = 127.655,21 \text{ W}$$

$$Pgüç = 127,655 \text{ kW}$$

Gece 01.00-06.00 (5 saat) için;

$$Pgüç = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta \text{ (W) (1)}$$

$$Q : 0,14056 \text{ m}^3/\text{s},$$

$$\rho : 1000 \text{ kg / m}^3,$$

$$H : 78 \text{ m},$$

$$g : 9.81 \text{ m/ s}^2,$$

$$\eta : 0,91 \text{ (Pelton Türbini)}$$

$$P_{\text{g}} = 0,14056 * 1000 * 78 * 9,81 * 0,91$$

$$P_{\text{g}} = 97.873,87 \text{ W}$$

$$P_{\text{g}} = 97,873 \text{ kW}$$

Gündüz ve gece değerleri saat olarak çarpılıp toplandığı zaman günlük üretim değeri bulunur. Günlük retim değeri 2.914,82 kW olup, ortalama saatlik elektrik enerji üretim değeri 121,45 kW olarak hesaplanmıştır. Türbinin yıllık elektrik üretim geliri 3.308.756 TL olup MİKROHES maliyeti 4.250.776,70 TL'dir. Tesis 1,28 yılda kendini amorti etmektedir.

61 adet izole bölgede yapılan hesaplamalara göre toplam 1.408,08 kW elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmış ve ilçe bazında elektrik üretim değeri Tablo 4.4.'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.4.** İlçeler bazında elektrik üretim değerleri

İlçe	İzole Bölge Sayısı	Elektrik retim Değeri (kW)
Selçuklu	34	925,74
Meram	13	262,90
Karatay	14	219,44
Toplam	61	1.408,08

Yenilenebilir Enerji Destekleme Mekanizması (YEKDEM) tarafından elektrik alımı ve yerli aksam destek fiyatları Aralık 2024 için yayınlanmış olup, hidroelektrik üretim tesisleri için 259,10 kr/kWh ve yerli aksam desteği için ise 51,83 kr/kWh olarak belirlenmiştir (YEKDEM, 2024). Açıklanan verilere göre desteklerle beraber 1 kWh hidroelektrik retimi 3,11 TL/kWh olmuştur.

Meram ilçesinde bulunan 13 adet izole bölgede yapılan hesaplamalara göre saatlik elektrik üretim değeri 262,905 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu değer yıllık üretime

çevrildiğinde 2.303.047,55 kW/yıl olarak hesaplanmıştır. Elektrik üretim değeri olan 3,11 TL ile yıllık üretim değeri çarpıldığında 7.162.477,89 TL yıllık elektrik üretim geliri elde edileceği hesaplanmıştır.

İzole bölgelerin tamamında MİKROHES kurulumu yapıldığında yılda 38.361.053,90 TL gelir elde edilebilecektir. Tablo 4.5.'de ilçe bazında gelirler gösterilmektedir.

**Tablo 4.5.** İlçelerin yıllık elektrik üretim gelirleri

İlçe	Elektrik Üretim Değeri (kW)	Elektrik Birim Fiyatı (TL/kWh)	Yıllık Elektrik Üretim Geliri (TL/Yıl)
Selçuklu	925,74	3,11	25.220.173,71
Meram	262,90	3,11	7.162.477,89
Karatay	219,44	3,11	5.978.402,30
Toplam	1.408,08	3,11	38.361.053,90

### 4.3. MİKROHES Maliyetleri

MİKROHES türbinleri için yapılan fiyat araştırması TEMSAN Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Maliyetler dolar bazında alınmış olup, 16.12.2024 tarihli TCMB dolar kuruna göre TL'ye çevrilerek hesaplamalar yapılmıştır. Yaklaşık olarak türbin elektrik üretim değerine göre ortalama fiyat aralıkları Tablo 4.6.'da gösterilmiştir (TEMSAN, 2024).

**Tablo 4.6.** MİKROHES türbinlerinin kW başına maliyetleri

Enerji Üretim Aralığı (kW)	kW Başına Maliyeti TL/kW (\$/kW)
0-45	52.500 (1.500)
45-80	43.750 (1.250)
80-150	35.000 (1.000)

MİKROHES maliyet hesaplamaları sonucunda Selçuklu, Meram ve Karatay ilçelerindeki toplam kurulum maliyetleri Tablo 4.7.'de gösterilmiştir. Toplam 61 adet MİKROHES kurulması durumunda 67.110.619,20 TL ilk yatırım bedeline karşılık, yatırımın geri ödeme süresi ortalama 1,75 yıl olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 4.7.** Kurulacak MİKROHES türbinlerinin ilk yatırım bedelleri ile ilçe bazında geri ödeme süreleri

İlçe	Kurulacak MİKROHES Sayısı (adet)	İlk Yatırım Bedeli, (TL)	Yatırımın geri ödeme süresi (Yıl)
Selçuklu	34	43.294.035,14	1,71
Meram	13	12.295.855,51	1,71
Karatay	14	11.520.728,56	1,92
Toplam	61	67.110.619,20	1,75

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Öncelikle SCADA verilerinin doğruluğu için 61 adet izle bölge içerisinde 6 adet BYA'da NetCAD programı kullanılarak hidrolik modelleme yapılmıştır. Hidrolik modelleme öncesinde KOSKİ Coğrafi Bilgi Sistemi (KOSKİ CBS) üzerinden arazi harita ölçümleri, mevcut boru cins, çap bilgileri, depo ve izole bölge su giriş kot ve koordinatları ile nüfus, yeşil alan, sanayi, ticarethane bilgileri ile ihtiyaç debileri hesaplanmış ve tahakkuk verileri ile karşılaştırılarak veriler programa işlenmiştir. Hidrolik modelleme gündüz ve gece ihtiyaç debileri dikkate alınarak gündüz için 06.00-01.00 saatleri arasında, gece için 01.00-06.00 saatleri arasında hesaplamalar yapılmıştır. Çıkan sonuçlar statik ve işletme basıncı olarak mevcut SCADA verileri ile %0,1 oranında eşdeğer gözükmiştir. SCADA verilerinin doğruluğu kanıtlandıktan sonra bu veriler kullanılmaya başlanmıştır.

Konya İli merkez Selçuklu İlçesinde 38, Meram İlçesinde 18 ve Karatay İlçesinde 14 adet olmak üzere 61 adet izole bölge bulunmaktadır. Öncelikle bu bölgelerdeki boru cins, çap, kot bilgileri ile depo kotu, izole bölge su giriş kotu, su giriş debi ve basınç değerleri işlenerek her bir bölge için yönetmelikte belirtilen 3 bar basınçtan fazla olan basınç hesaplanmıştır. Bu hesap neticesinde eldeki veriler ile her bir bölgeye kurulabilecek MİKROHES cinsleri ayrı ayrı belirlenmiştir. MİKROHES cinsleri belirlenirken debi ve düşü değerleri önem arz etmektedir. Debi ve düşü değerlerine göre MİKROHES türbin tip seçimi yapılmıştır. Ardından her bir MİKROHES tipinin verim değerleri dikkate alınarak, üretebileceği elektrik enerji değerleri hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda 1.408,08 kWh olarak çıkan sonuçlar elektrik saat birim fiyatı olan 2024 yılı Türkiye için 3,11 TL ile çarpılmış ve saatlik enerji üretim değeri hesaplanmıştır. Yıllık enerji gelir 38.361.053,90 TL ve MİKROHES'lerin maliyeti 67.110.619,20 TL olarak hesaplanmıştır. Yatırımın geri ödeme süresi 1,75 yıl gibi kısa bir süre olduğu görülmüştür. Bu değer diğer yenilenebilir enerji sistemleri arasında en verimli olarak görülmüştür. Güneş enerji sistemleri ve rüzgar enerji sistemlerinde geri ödeme süreleri 8 ila 10 yıl arasında değişmektedir.

Konya Su İdaresi, 2023 yılı faaliyet raporunda bulunan Konya merkez yıllık elektrik enerjisi tüketimini 48.276.587 kWh olarak açıklamıştır. MİKROHES sistemlerinin kurulması ile 1.407,08 kWh enerji üretilebilecek ve Konya şehrinin merkez elektrik tüketiminin yaklaşık %25,5'ini karşılayacaktır.

1.408,08 kWh enerji yıllık 12.334.780,80 kWh/yıl enerji üretimine karşılık gelmektedir. Türkiye'de 4 kişilik bir ailenin ortalama enerji tüketimi aylık 417 kWh'a denk gelmektedir (EMO, 2024). Bu değer yıllık yaklaşık 5.000 kWh'a tekabül etmektedir. Bu durumda MİKROHES türbinlerin kurulması halinde Konya şehir merkezinde üretilecek olan elektrik enerjisi ile yaklaşık olarak 2.500 konutun elektrik enerji ihtiyacı karşılanacaktır.

Yenilenebilir enerjiler dünyamızın geleceği açısından çok önemlidir. Enerjinin öneminin ve ihtiyacının hızla arttığı ve kaynakların tükendiği dünyamızda, en küçük enerji üretebilme ihtimalinin bile değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada isale hatları dışında kalan aktif şebeke hatları üzerinde yapılan MİKROHES türbin çalışması, enerji üretiminde önemsiz olmayan küçük çaplı üretim yapılabilecek tesislerin, küçük büyük fark etmeden her noktaya kurulması ile hatırı sayılır bir enerji üretilebileceğini göstermiştir.

Türkiye genelinde 1 MWh (birim) brüt elektrik üretimi başına ortalama 0,442 ton CO<sub>2</sub>-eşd. sera gazı emisyonu salınmaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024). Kurulacak MİKROHES sistemleri ile üretilebilecek 1,408 MWh enerjiye karşılık 0,622 ton CO<sub>2</sub>-eşd. sera gazı emisyonu salınmayarak küresel iklim değişikliğine olumlu yönde katkı sağlanacaktır.

## 5.2 Öneriler

Enerjide sürdürülebilir ve sürekli olacak olan bu sistemler günümüz enerji ihtiyacında önemli bir yer tutacaktır. Bu tez çalışması ile yapılan hesaplar içme suyu şebeke ağlarındaki fazla basıncın geri kazanılabileceğini ve geri ödeme süresinin kısa olması ile yatırım potansiyelinin yüksek olduğunu göstermiştir. 1 adet MİKROHES'in düşü ve debi durumuna göre kendi başına enerji üretimi küçük değerler olsa bile, şebeke ağının tamamında kurulması ile yüksek enerji miktarlarına ulaştırıldığı görülmüştür.

Üretilen bu elektrik enerjisi mevcut elektrik şebekesine verilip gelir elde edilebileceği gibi, mevcutta bulunan elektrik ihtiyacı olan cihazlarda (ultrasonik debi metre, basınç ölçer, debi ölçer vb.), depo içi klorlama tank çalışmasında, depo vb. işletme tesislerinin aydınlatmasında, şehir içi yeşil alanların, ortak kullanım alanlarının aydınlatılmasında, ulaşım yolları ışıklandırma, yönlendirme sistemlerinde, yol altı ısıtma sistemlerinin enerji ihtiyaçları ve birçok alanda kullanılabilir.

Bu sistemlerin yaygınlaşması ile ev, işyeri, sanayi vb. birçok alanda küçük de olsa sürekli enerji üretimi yapılması mümkün hale gelebilir.



## 6. KAYNAKLAR

- Aggidis, G. A., Luchinskaya, E., Rothschild, R., & Howard, D. C. (2010). The costs of small-scale hydro power production: Impact on the development of existing potential. *Renewable Energy*, 35(12), 2632-2638. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.04.008>
- Algieri, A., Zema, D. A., Nicotra, A., & Zimbone, S. M. (2020). Potential energy exploitation in collective irrigation systems using pumps as turbines: A case study in Calabria (Southern Italy). *Journal of Cleaner Production*, 257. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120538>
- Bachant, P., & Wosnik, M. (2011). Experimental Investigation of Helical Cross-Flow Axis Hydrokinetic Turbines, Including Effects Of Waves And Turbulence.
- Berkun, M. (2008). Barajların ve Hidroelektrik Santrallerin Nehir Ekolojisi Üzerinde Oluşturduğu Etkiler. <https://www.researchgate.net/publication/275351613>
- Berkün M. (2010). Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik.
- Bideris-Davos, A. A., & Vovos, P. N. (2023). Algorithm for Appropriate Design of Hydroelectric Turbines as Replacements for Pressure Reduction Valves in Water Distribution Systems. *Water (Switzerland)*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/w15030554>
- Bideris-Davos, A. A., & Vovos, P. N. (2024). Comprehensive Review for Energy Recovery Technologies Used in Water Distribution Systems Considering Their Performance, Technical Challenges, and Economic Viability. *Water (Switzerland) (C. 16, Sayı 15)*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/w16152129>
- Boroomandnia, A., Rismanchi, B., & Wu, W. (2022). A review of micro hydro systems in urban areas: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews (C. 169)*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112866>
- Bozkurt, S., & Tür, R. (2015). Dünyada ve Türkiye’de Hidroelektrik Enerji, Gelişimi ve Genel Değerlendirme.
- Bulut, M. (2013). Hidroelektrik enerji ve hidroelektrik santrallerde türbin tipi seçiminin verime etkisinin incelenmesi. <http://acikerisim.gumushane.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12440/2226>
- Carravetta, A., Del Giudice, G., Fecarotta, O., Morani, M. C., & Ramos, H. M. (2022). A new low-cost technology based on pump as turbines for energy recovery in peripheral water networks branches. *Water (Switzerland)*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/w14101526>

- Casini, M. (2015). Harvesting energy from in-pipe hydro systems at urban and building scale. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*. <https://doi.org/10.12720/sgce.4.4.316-327>
- Cavazzini, G., Santolin, A., Pavesi, G., & Ardizzon, G. (2016). Accurate estimation model for small and micro hydropower plants costs in hybrid energy systems modelling. *Energy*, 103, 746-757. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.024>
- Chen, J., Yang, H. X., Liu, C. P., Lau, C. H., & Lo, M. (2013). A novel vertical axis water turbine for power generation from water pipelines. *Energy*, 54, 184-193. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.064>
- Cobb, B. R., & Sharp, K. V. (2013). Impulse (Turgo and Pelton) turbine performance characteristics and their impact on pico-hydro installations. *Renewable Energy*, 50, 959-964. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.08.010>
- Corcoran, L., McNabola, A., & Coughlan, P. (2012). Energy Recovery Potential of the Dublin Region Water Supply Network.
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2012). *Fundamentals and Application of Fluids of Mechanics*. [https://scholar.google.com/scholar?hl=tr&as\\_sdt=0%2C5&q=Fundamentals+and+Application+of+Fluids+of+Mechanics.&btnG=](https://scholar.google.com/scholar?hl=tr&as_sdt=0%2C5&q=Fundamentals+and+Application+of+Fluids+of+Mechanics.&btnG=)
- Çetintürk, H. (2016). Boru içerisinde Francis tipi türbin tasarımı. <http://gcris.etu.edu.tr:8080/handle/20.500.11851/2166>
- Demir, M. S. (2019). Boru Hatlarına Entegre Edilmek Üzere Küresel Hidrokinetik Türbin Tasarımı ve HAD Analizleri.
- DSİ. (2020). DSİ 2020 Yılı Faaliyet Raporu. [www.dsi.gov.tr](http://www.dsi.gov.tr)
- DSİ. (2022). DSİ 2022 Yılı Faaliyet Raporu.
- Du, J., Yang, H., Shen, Z., & Chen, J. (2017). Micro hydro power generation from water supply system in high rise buildings using pump as turbines. *Energy*, 137, 431-440. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.023>
- EMO. (2024). EMO-Elektrik Mühendisleri Odası. <https://www.emo.org.tr/index.php>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Türkiye Elektrik Üretimi ve Elektrik Tüketim Noktası Emisyon Faktörleri. <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri>
- García, I. F., Ferras, D., & Nabola, A. M. (2019). Potential of Energy Recovery and Water Saving Using Micro-Hydropower in Rural Water Distribution

- Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145(3), 05019001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001045](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001045)
- Gezer, S. (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kapsamında Hidroelektrik Santrallerinin Çevre Ve Turizme Etkileri, Norveç Modeli Çakıt HES Örneği.
- Giugni, M., Giugni, M., Fontana, N., & Portolano, D. (2009). Energy saving policy in water distribution networks. <https://doi.org/10.24084/repqj07.487>
- Hamlehdar, M., Yousefi, H., Noorollahi, Y., & Mohammadi, M. (2022). Energy recovery from water distribution networks using micro hydropower: A case study in Iran. *Energy*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124024>
- Itani, Y., Soliman, M. R., & Kahil, M. (2020). Recovering energy by hydro-turbines application in water transmission pipelines: A case study west of Saudi Arabia. *Energy*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118613>
- Jain, P., & Khare, R. (2024). Strategic Placement of In-line Turbines for Optimum Power Generation and Leakage Reduction in Water Supply Networks. *Water Resources Management*, 38(10), 3623-3638. <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03831-x>
- Karadirek, I. E., Kara, S., Ozen, O., Gulaydin, O., Bestas, E., Boyacilar, M., Muhammetoglu, A., Gungor, A., & Muhammetoglu, H. (2016). Energy Recovery Potential From Excess Pressure in Water Supply And Distribution Systems. *Mugla Journal of Science and Technology*, 2(1), 70-76. <https://doi.org/10.22531/MUGLAJSCI.269976>
- Kayışoğlu, B., & Diken, B. (2019). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kullanımının Mevcut Durumu ve Sorunları. *Journal of Agricultural Machinery Science* (C. 2019, Sayı 2).
- Kerim, A., Süme, V., Tayyip Erdoğan Üniversitesi, R., Fakültesi, M., & Mühendisliği Bölümü, İ. (2021). Türk Hidrolik Dergisi: İçmesuyu Şebekelerinden Enerji Elde Edilmesi. *Türk Hid. Der. (Tur. J. Hyd.)*, Cilt, 5, 8-17. <https://doi.org/10.04.2021>
- Klein, S. J. W., & Fox, E. L. B. (2022). A review of small hydropower performance and cost. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (C. 169). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112898>
- Koç, F. (2019). Banki Tipi Türbinlerde Debiye ve Kanat Açısına Bağlı Performansın Deneysel Araştırılması.
- KOSKİ. (2024). KOSKİ Genel Müdürlüğü. <https://www.koski.gov.tr/>
- Köksal, A. E. (2017). Francis tipi hidrotürbin ayar kanadı ve çarkının hesaplamalı akışkanlar dinamiği bazlı eniyilenmesi. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/682736>

- Laghari, J. A., Mokhlis, H., Bakar, A. H. A., & Mohammad, H. (2013). A comprehensive overview of new designs in the hydraulic, electrical equipments and controllers of mini hydro power plants making it cost effective technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 279-293. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.12.002>
- Lydon, T., Coughlan, P., & McNabola, A. (2017). Pressure management and energy recovery in water distribution networks: Development of design and selection methodologies using three pump-as-turbine case studies. *Renewable Energy*, 114, 1038-1050. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2017.07.120>
- Maden, H., Çetinkaya, K., & Kamber, Ö. Ş. (2021). Su Borularında Elektrik Üretimi Sağlayacak Türbin Tasarımı Ve Prototip Üretilerek Test Yapılması. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 5(1), 1-12. <https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.756204>
- Majidi, M., & Etezadi-Amoli, M. (2018). Recapturing wasted energy in water pressure reducing valves via in-conduit hydropower generators. *Measurement*, 123, 62-68. <https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2018.03.061>
- McNabola, A., Coughlan, P., & Williams, A. P. (2011). The technical & economic feasibility of energy recovery in water supply networks. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(9), 1123-1127. <https://doi.org/10.24084/repqj09.569>
- McNabola, A., Coughlan, P., & Williams, A. P. (2014). Energy recovery in the water industry: An assessment of the potential of micro-hydropower. *Water and Environment Journal*, 28(2), 294-304. <https://doi.org/10.1111/wej.12046>
- Mishra, B. K., Kumar, P., Saraswat, C., Chakraborty, S., & Gautam, A. (2021). Water Security in a Changing Environment: Concept, Challenges and Solutions. *Water* 2021, Vol. 13, Page 490, 13(4), 490. <https://doi.org/10.3390/W13040490>
- Morani, M. C., Simão, M., Gazur, I., Santos, R. S., Carravetta, A., Fecarotta, O., & Ramos, H. M. (2022). Pressure Drop and Energy Recovery with a New Centrifugal Micro-Turbine: Fundamentals and Application in a Real WDN. *Energies*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/en15041528>
- Möderl, M., Sitzenfrei, R., Mair, M., Jarosch, H., & Rauch, W. (2012). Identifying Hydropower Potential in Water Distribution Systems of Alpine Regions. *World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries, Proceedings of the 2012 Congress*, 3137-3146. <https://doi.org/10.1061/9780784412312.314>
- Muhsen, H., Ibrahim, M., Alsheikh, A., & Qanadilo, M. (2019). Turbine Design and Its Impact on Energy Harvesting from In-Pipe Hydro Systems. <https://doi.org/10.18178/ijmerr.8.5.685-690>

- Muratoglu, A., & Demir, M. S. (2022). Modeling spherical turbines for in-pipe energy conversion. *Ocean Engineering*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.110497>
- Muratoglu, A., B., Yuce, M. I., & Yuce, M. I. (2015). Performance Analysis of Hydrokinetic Turbine Blade Sections. <https://www.researchgate.net/publication/289531220>
- Muratoğlu, A. (2011). Assessment Of Tigris River Hydropower Potential.
- Muratoğlu, A. (2014). Design and Simulation of a Riverine Hydrokinetic Turbine.
- NetCAD. (2024). NetCAD: Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Akıllı Şehir Çözümleri. <https://www.netcad.com/>
- Nyagetuba, K. M. (2017). In-pipe hydropower potential: case of Nairobi city water and sewerage company. <http://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/101245>
- Oladosu, T. L., & Koya, O. A. (2018). Numerical analysis of lift-based in-pipe turbine for predicting hydropower harnessing potential in selected water distribution networks for waterlines optimization. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21(4), 672-678. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.05.016>
- Pathak, V., Parekh, P., Mistry, V., & Kevadiya, P. (2016). In-Pipe Spherical Turbine for Energy Extraction. *International Research Journal of Engineering and Technology*. [www.irjet.net](http://www.irjet.net)
- Pérez-Sánchez, M., Sánchez-Romero, F. J., Ramos, H. M., & López-Jiménez, P. A. (2017). Energy recovery in existing water networks: Towards greater sustainability. *Water (Switzerland)*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/w9020097>
- Pérez-Sánchez, M., Sánchez-Romero, F. J., Ramos, H. M., & López-Jiménez, P. A. (2020). Improved planning of energy recovery in water systems using a new analytic approach to PAT performance curves. *Water (Switzerland)*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/w12020468>
- Postacchini, M., Darvini, G., Finizio, F., Pelagalli, L., Soldini, L., & Di Giuseppe, E. (2020). Hydropower generation through pump as turbine: Experimental study and potential application to small-scale WDN. *Water (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/W12040958>
- Raihan, A., Muhtasim, D. A., Pavel, M. I., Faruk, O., & Rahman, M. (2022). Dynamic Impacts of Economic Growth, Renewable Energy Use, Urbanization, and Tourism on Carbon Dioxide Emissions in Argentina. *Environmental Processes*, 9(2). <https://doi.org/10.1007/s40710-022-00590-y>
- Ramos, H. M., Borga, A., & Simão, M. (2009). New design solutions for low-power energy production in water pipe systems. *Water Science and Engineering*, 2(4), 69-84. <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2009.04.007>

- Resmi Gazete. (2014). İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskler/2014/05/20140508-1.htm>
- Resmi Gazete. (2015). İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskler/2015/07/20150716-13.htm>
- Resmi Gazete. (2017). İçme Ve Kullanma Suyu Temini Ve Dağıtım Sistemleri Hakkında Yönetmelik. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskler/2017/10/20171012-1.htm>
- Resmi Gazete. (2019). İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik.
- Resmi Gazete. (2020). İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskler/2020/09/20200923-4.htm>
- Sarıbuğa, Y. E. (2018). Hidroelektrik Santrallerde Kullanılan Türbin Tipleri. [https://scholar.google.com/scholar?hl=tr&as\\_sdt=0%2C5&q=Hidroelektrik+Santrallerde+Kullan%C4%B1lan+T%C3%BCrbin+Tipler&btnG=](https://scholar.google.com/scholar?hl=tr&as_sdt=0%2C5&q=Hidroelektrik+Santrallerde+Kullan%C4%B1lan+T%C3%BCrbin+Tipler&btnG=)
- Sari, M. A., Badruzzaman, M., Cherchi, C., Swindle, M., Ajami, N., & Jacangelo, J. G. (2018). Recent innovations and trends in in-conduit hydropower technologies and their applications in water distribution systems. *Journal of Environmental Management* (C. 228, ss. 416-428). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.078>
- Shen, Z., Yao, Y., Wang, Q., Lu, L., & Yang, H. (2023). A novel micro power generation system to efficiently harvest hydroelectric energy for power supply to water intelligent networks of urban water pipelines. *Energy*, 268. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126694>
- Silva, B., Leonardo Alves da Silva, B., Stephane Lafay, J.-M., Lessa Tofoli, F., & Silvio Scartazzini, L. (2015). Case Study: Hydroelectric Generation Employing The Water Distribution Network In Pato Branco, Brazil. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5072.7529>
- Stefanizzi, M., Capurso, T., Balacco, G., Binetti, M., Camporeale, S. M., & Torresi, M. (2020). Selection, control and techno-economic feasibility of pumps as turbines in Water Distribution Networks. *Renewable Energy*, 162, 1292-1306. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.108>
- Süme, V., Daneshfaraz, R., Kerim, A., Abbaszadeh, H., & Abraham, J. (2024). Investigation of Clean Energy Production in Drinking Water Networks. *Water Resources Management*, 38(6), 2189-2208. <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03752-9>

- TEMSAN. (2024). TEMSAN - Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş. <https://www.temsan.gov.tr/>
- TMMOB. (2024). Türkiye'nin Enerji Görünümü-Oda Raporu.
- Tosun Soyel N. (2009). Kuzey Kıbrıs'taki Tarihi Su Değirmenleri ve Kırsal Peyzajın Parçası Olarak Korunmaları İçin Öneriler.
- TÜİK. (2024). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). <https://www.tuik.gov.tr/>
- Venturini, M., Alvisi, S., Simani, S., & Manservigi, L. (2017). Energy production by means of pumps as turbines in water distribution networks. *Energies*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/en10101666>
- Voltz, T. J., & Grischek, T. (2019). Microturbines at drinking water tanks fed by gravity pipelines: A method and EXCEL tool for maximizing annual energy generation based on historical tank outflow data. *Water (Switzerland)*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/w11071403>
- Wallace, A. R. (1996). Embedded mini-hydro generation in the water supply industry. *IEE Conference Publication*, 419, 168-171. <https://doi.org/10.1049/CP:19960142>
- WEC Türkiye. (2021). 2021 Dünya Enerji Görünümü Raporu Özeti.
- Williams, A. A. (1996). Pumps As Turbines For Low Cost Micro Hydro Power.
- Xue, X., Hawkins, T. R., Schoen, M. E., Garland, J., & Ashbolt, N. J. (2016). Comparing the Life Cycle Energy Consumption, Global Warming and Eutrophication Potentials of Several Water and Waste Service Options. *Water* 2016, Vol. 8, Page 154, 8(4), 154. <https://doi.org/10.3390/W8040154>
- YEKDEM. (2024). EPIAŞ | Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. <https://www.epias.com.tr/tum-duyurular/piyasa-duyurulari/elektrik/kayit-ve-uzlastirma/01-07-2021-tarihinden-31-12-2030-tarihine-kadar-isletmeye-girecek-yek-belgeli-yenilenebilir-enerji-kaynaklarina-dayali-elektrik-uretim-tesisleri-icin-uygulanacak-fiyatlar-hk-18/>
- Yılmaz, D. D. (2015). Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Rüzgar Ve Hidroelektrik Enerji Üretiminde Birim Maliyetlerin Karşılaştırmalı Analizi Ve Türkiye Uygulaması.
- Yılmaz, A. (2012). Türkiye'de Sektörel Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler ve Alternatif Enerji Politikaları.