



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[ATIKSU ARITMA SİSTEMLERİNDE MİKRO HİDROELEKTRİK  
SİSTEMLERİ KULLANARAK ENERJİ GERİ KAZANIMI  
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ ]

[Zafer KAYIKCI]

[DANIŞMAN  
Prof. Dr. Nüket SİVRİ]

[Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı ]

[Çevre Mühendisliği Programı ]

[İSTANBUL-2022]

Bu çalışma, [9.06.2022] tarihinde aşağıdaki jüri tarafından [Çevre Mühendisliğı Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliğı Programı]nda [Yüksek Lisans tezi] olarak kabul edilmiştir.

### Tez Jürisi

[Prof. Dr.] [Nüket SİVRİ] (Danışman)  
[İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi]

[Doç. Dr.] [Emine ELMASLAR ÖZBAŞ]  
[İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi]

[Prof. Dr.] [Hayrettin Güclü İNSEL]  
[İstanbul Teknik Üniversitesi  
İnşaat Fakültesi]

[Unvan] [Adı SOYADI]  
[Üniversite]  
[Fakülte]

[Unvan] [Adı SOYADI]  
[Üniversite]  
[Fakülte]



[20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.]

## ÖNSÖZ

[

Tez süreci boyunca desteklerini, bilgilerini ve fikirlerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Nüket SİVRİ hocama yardımlarında dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu süreçte her anlamda yanımda olan, maddi manevi desteklerini esirgemeyen çok kıymetli eşim ve meslektaşım Sayın Çevre Yüksek Mühendisi Cemre Belit ÇOBANOĞLU KAYIKCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini hep hissettiren aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

*Bu tezi çok erken yaşta kaybettiğim anne ve babama ithaf ediyorum... ]*

Mayıs 2022

[Zafer KAYIKCI]

# 1. İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

<b>1. ÖNSÖZ</b> .....	<b>iv</b>
<b>2. İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>v</b>
<b>3. ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>4. TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>5. SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>6. ÖZET</b> .....	<b>xi</b>
<b>7. SUMMARY</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR</b> .....	<b>4</b>
2.1. ATIKSU ARITMA TESİSLERİ TASARIM VE KARAKTERİSTİKLERİ.....	5
2.2. ARITMA TESİSİ PROJELERİNDE ARITMA METODLARI.....	11
2.3. MİKRO HİDROELEKTRİK SİSTEMLERİ (MİKRO HES).....	12
2.4. HİDROELEKTRİK SİSTEMLERİNDE KULLANILAN TÜRBİN TİPLERİ .....	15
2.4.1. Pelton Türbin.....	16
2.4.2. Francis Türbin .....	17
2.4.3. Kaplan Türbin.....	18
2.4.4. Kuyu (Pit) ve Ampul (Bulb) Tipi Türbinler .....	19
2.4.5. S-Tipi (Boru Tipi) Türbinler .....	20
2.4.6. Dalgıç Türbinler .....	21
2.5. MİKRO HİDROELEKTRİK SİSTEMLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ .....	21
2.6. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI .....	23
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM</b> .....	<b>29</b>
3.1. YÖNTEM.....	29
3.2. MODELLEME.....	30
3.3. ARITMA TESİSİ VERİLERİ VE DİĞER KABULLER .....	32
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>37</b>
4.1 DÜŞÜ SINIFLANDIRMALARI .....	37
4.2 MİKRO HES POTANSİYELLERİ VE UYGULANABİLECEK TÜRBİN SEÇİMİ.....	39
4.3 İLK YATIRIM MALİYETİ.....	43

4.4 AMORTİSMAN SÜRELERİ .....	48
4.5 ENERJİ GERİ KAZANIM ORANLARI.....	54
4.6 İŞLETME MALİYET TASARRUFLARI.....	56
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>64</b>
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>67</b>
<b>7. ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>70</b>

|



## 2. ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Izgara Ünitesi [6].	5
Şekil 2.2 Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Kum-Yağ Tutucu Ünitesi [6]	6
Şekil 2.3 Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Dengeleme Ünitesi [6]	7
Şekil 2.4 Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Biyolojik Arıtma Ünitesi [6]	8
Şekil 2.5 Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamur Susuzlaştırma Ünitesi [6]	9
Şekil 2.6 Tipik Bir Mikro HES Sisteminin Genel Görünümü [24]	13
Şekil 2.7 AAT’de MikroHES Uygulaması [14]	15
Şekil 2.8 Pelton Türbini (URL 1)	16
Şekil 2.9 Pelton Türbini (URL 2)	16
Şekil 2.10 Pelton Türbini Çalışma Şekli (URL 3)	17
Şekil 2.11 Francis Türbini (URL 4)	17
Şekil 2.12 Francis Türbin Sistemi Ekipmanları (URL 5)	18
Şekil 2.13 Kaplan Türbini (URL 6)	18
Şekil 2.14 Kaplan Türbini (URL 7)	19
Şekil 2.15 Ampul Tip Türbin (URL 8)	19
Şekil 2.16 Boru Tipi Türbin (URL 9)	20
Şekil 2.17 Dalgıç Tip Türbin [13]	21
Şekil 2.18 Düşü Yüksekliği ve Akış Hızına Bağlı Mikro Hidroelektrik Uygulanabilirliği [14]	22
Şekil 3.1 Çalışma Akış Diyagramı	29
Şekil 3.2 Net Su Yüksekliği Ve Potansiyel Enerji Miktarına Göre Türbin Sınıflandırması	32
Şekil 3.3 Tez Kapsamında İncelemesi Yapılacak Tesislere Ait Proses Akım Şemaları	33

Şekil 4.1	Uygulama Noktaları Potansiyel Türbin Güçleri .....	43
Şekil 4.2	1 Numaralı Tesis İçin Uygulama Noktaları İlk Yatırım Maliyetleri.....	46
Şekil 4.3	2 Numaralı Tesis İçin Uygulama Noktaları İlk Yatırım Maliyetleri.....	46
Şekil 4.4	3 Numaralı Tesis İçin Uygulama Noktaları İlk Yatırım Maliyetleri.....	47
Şekil 4.5	1 Numaralı Tesis Türbin Tiplerine Göre Amortisman Süreleri .....	53
Şekil 4.6	2 Numaralı Tesis Türbin Tiplerine Göre Amortisman Süreleri .....	53
Şekil 4.7	3 Numaralı Tesis Türbin Tiplerine Göre Amortisman Süreleri .....	53
Şekil 4.8	1 Numaralı Uygulama Noktalarına Göre Enerji Geri Kazanım Oranları .....	55
Şekil 4.9	2 Numaralı Uygulama Noktalarına Göre Enerji Geri Kazanım Oranları .....	55
Şekil 4.10	3 Numaralı Uygulama Noktalarına Göre Enerji Geri Kazanım Oranları .....	56
Şekil 4.11	1 Numaralı Tesisi Uygulama Noktalarına Göre İşletme Maliyet Tasarrufları .....	57
Şekil 4.12	2 Numaralı Tesisi Uygulama Noktalarına Göre İşletme Maliyet Tasarrufları .....	58
Şekil 4.13	3 Numaralı Tesisi Uygulama Noktalarına Göre İşletme Maliyet Tasarrufları .....	58
Şekil 4.14	Potansiyel Türbin Güçleri Karşılaştırması .....	61
Şekil 4.15	İlk Yatırım Maliyetleri Karşılaştırması .....	61
Şekil 4.16	Amortisman Süreleri Karşılaştırması .....	62
Şekil 4.17	Enerji Geri Kazanım Oranları Karşılaştırması .....	62
Şekil 4.18	İşletme Maliyeti Tasarrufları Karşılaştırması .....	63

### 3. TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
<b>Tablo 2.1</b> Düşü Yüksekliği ve Akış Hızına Bağlı Enerji Üretim Miktarları [14].....	22
<b>Tablo 3.1</b> Net Su Yüksekliğine Göre Düşü Sınıflandırma Kriterleri.....	31
<b>Tablo 3.2</b> Net Su Yüksekliği ve Potansiyel Enerji Miktarına Göre Türbin Sınıflandırması .....	31
<b>Tablo 3.3</b> Tez Kapsamında İncelemesi Yapılacak Tesislere Ait Veriler.....	32
<b>Tablo 3.4</b> Üniteler Arası Net Su Yükseklikleri.....	34
<b>Tablo 3.5</b> Suyun Spesifik Yoğunluk ve Basınç Tablosu .....	35
<b>Tablo 3.6</b> Türbin Tiplerine Göre İlk Yatırım Maliyeti Hesap Formülleri .....	35
<b>Tablo 4.1</b> Uygulama Noktaları Düşü Sınıflandırma Sonuçları Tablosu.....	38
<b>Tablo 4.2</b> Uygulama Noktalarına Göre Uygulanabilir Türbin Tipleri Tablosu.....	41
<b>Tablo 4.3</b> Uygulama Noktalarına Göre İlk Yatırım Maliyetleri .....	45
<b>Tablo 4.4</b> Uygulama Noktalarına Göre Pelton Türbini Amortisman Süreleri.....	49
<b>Tablo 4.5</b> Uygulama Noktalarına Göre Kaplan Türbini Amortisman Süreleri .....	50
<b>Tablo 4.6</b> Uygulama Noktalarına Göre Francis Türbini Amortisman Süreleri .....	51
<b>Tablo 4.7</b> Uygulama Noktalarına Göre Enerji Geri Kazanım Oranları .....	54
<b>Tablo 4.8</b> Uygulama Noktalarına Göre İşletme Maliyet Tasarrufları.....	56

## 4. SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>P<sub>hyd</sub></b>	: Hidrolik enerji (kg.m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> )(watt)
<b>ρ</b>	: Suyun Spesifik Yoğunluğu(kg/m <sup>3</sup> )
<b>g</b>	: Yerçekimi İvmesi (9,82 m/s <sup>2</sup> )
<b>H</b>	: Net Su Yüksekliği (m)
<b>Q</b>	: Atıksu Debisi (m <sup>3</sup> /s)
<b>P<sub>m</sub></b>	: Mekanik Enerji (watt/saat)
<b>η<sub>h</sub></b>	: Hidrolik Türbin Verimliliği
<b>C<sub>pr</sub></b>	: Yatırım Maliyeti (£)
<b>A.S</b>	: Amortisman Süresi (yıl)
<b>f</b>	: Birim Elektrik Maliyeti (£/kWh)
<b>h<sub>1</sub></b>	: Suyun Düşüşe Başladığı Nokta (m)
<b>h<sub>2</sub></b>	: Suyun Düşüşünü Tamamladığı Nokta (m)

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>MHS</b>	: Mikro Hidroelektrik Sistemleri
<b>KHS</b>	: Küçük Hidroelektrik Sistemleri
<b>HES</b>	: Hidroelektrik Sistemleri
<b>AAT</b>	: Atıksu Arıtma Tesisi
<b>HSA</b>	: Harmony Search Algorithm
<b>SRV</b>	: Servis Rezervuarı
<b>PRV</b>	: Basınç Düşürme Vanaları
<b>WWT</b>	: Atıksu Arıtma Tesisi
<b>LW</b>	: Düşük Başlı
<b>UN</b>	: Uygulama Noktası

## 5. ÖZET

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[ATIKSU ARITMA SİSTEMLERİNDE MİKRO HİDROELEKTRİK  
SİSTEMLERİ KULLANARAK ENERJİ GERİ KAZANIMI  
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ]

[Zafer KAYIKCI]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

[Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı ]

[Danışman: Prof. Dr. Nüket SİVRİ ]

[Bu tez çalışması kapsamında İstanbul da bulunan 3 adet atıksu arıtma tesisinde belirlenen uygulama noktalarında Mikro HES kullanılarak enerji geri kazanım potansiyelleri araştırılmıştır. İncelemesi yapılan tesislere ait debiler sırasıyla 1,06 m<sup>3</sup>/sn, 0,94 m<sup>3</sup>/sn ve 0,48 m<sup>3</sup>/sn'dir. Her bir tesis için 5 adet uygulama noktası belirlenmiştir. Belirlenen uygulama noktaları içerisinde en yüksek düşü miktarları deşarj rögarları ile deşarj noktası arasındadır. Bu değerler sırasıyla 11,24 m ,12,25 m ve 9,80 m 'dir. Düşü yüksekliği ile doğru orantılı olarak en yüksek türbin güçleri de en yüksek düşü miktarının olduğu noktalarda bulunmuştur. Bulunan potansiyel türbin güçleri sırasıyla 93,34 kw/saat, 90,21 kw/saat ve 36,85 kw/saat'tir. Hesaplanan türbin güçleri tesislerin aylık enerji sarfiyatının sırasıyla %8,7, %9,5 ve %7,6 'sını teşkil etmektedir. Kurulabilecek türbin sistemlerinin ilk yatırım maliyeti ile sağlayacağı işletme tasarrufu üzerinden hesaplanan amortisman süreleri sırasıyla 0,9 yıl, 0,9 yıl ve 1,5 yıl'dır. Artan enerji ihtiyacı ve Mikro HES sisteminin rezervuar gerektirmemesi iklim değişikliğinin hız kazandığı günümüz şartlarında atıksu arıtma tesisleri için Mikro HES çevreci ve avantajlı bir sistemdir. ]

Haziran 2022, [70.] sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Enerji Geri Kazanımı, Mikro Hidroelektrik, Küçük Hidroelektrik, Atıksu Arıtma Tesisi, ]

## 6. SUMMARY

[M.Sc. THESIS]

[DETERMINATION OF POTENTIAL ENERGY RECOVERY USING  
MICRO HYDROPOWER SYSTEMS IN WASTEWATER TREATMENT  
SYSTEMS]

[Zafer KAYIKCI]

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

[Department of Environmental Engineering]

Supervisor: [Prof. Dr.], [Nuket SIVRI]

[Within the scope of this thesis, energy recovery potentials were investigated by using Mikro HEPP at the determined application points in 3 wastewater treatment plants in Istanbul. The flow rates of the facilities inspected are 1.06 m<sup>3</sup>/sec, 0.94 m<sup>3</sup>/sec and 0.48 m<sup>3</sup>/sec, respectively. 5 application points have been determined for each facility. Among the determined application points, the highest head is between the discharge manholes and the discharge point. These values are 11,24 m, 12.25 m and 9.80 m, respectively. In direct proportion to the head, the highest turbine powers were found at the points with the highest head. The potential turbine powers found are 93.34 kW/hr, 90.21 kW/hr and 36.85 kW/hr, respectively. The calculated turbine powers constitute 8.7%, 9.5% and 7.6% of the monthly energy consumption of the facilities, respectively. The amortization periods calculated over the initial investment cost of the turbine systems that can be installed and the operational savings to be provided are 0.9 years, 0.9 years and 1.5 years, respectively. Micro HEPP is an environmentally friendly and advantageous system for wastewater treatment plants in today's conditions, where climate change is accelerating. ]

June 2022, [70] pages.

[**Keywords:** Energy Recovery, Micro-Hydropower, Small-hydropower, Wastewater Treatment ]

## 1. GİRİŞ

Artan şehir yaşamı ve değişen tüketim alışkanlıkları ile tüketilen kaynaklar ve üretilen atıkların miktarı ve içeriği sosyal olduğu kadar teknik ve ekonomik bazı çözümleri gereken problemleri açığa çıkartmaktadır [1]. İnsani kullanım sonucu oluşan atıkları katı, sıvı ve gaz atıkları şeklinde sınıflandırmamız mümkündür. Oluşan katı atıkların belirli düzen ve kurallara göre toplanması gerekmektedir. Katı atıkların düzenli toplanması ve bertaraf edilmesi oldukça meşakkatli ve maliyetli bir iştir. Oluşan katı atıkların minimize edilmesi bu meşakkati ve maliyeti azaltmaktadır. Aynı zamanda katı atıkların geri kazanımı mümkün olan bazı türleri de vardır. Geri kazanımı mümkün olan atıkların kaynağında ayrıştırma yöntemi ile ekonomiye kazandırılması çevresel açıdan da oldukça önemlidir [2].

Sanayileşmenin ve teknolojinin pozitif getirilerinin yanında, çevresel açıdan negatif sonuçları da ortaya çıkmaktadır. Sanayi tesislerinde enerji ihtiyacının karşılanması için kullanılan kaynakların hava üzerine etkileri oldukça fazladır. Enerji ve ısı dönüşümünde kullanılan kaynağa bağlı olarak ortaya çıkan birçok gaz, hava kirliliğini oluşturmaktadır. Oluşan bu kirliliğin insan üzerinde yaratmış olduğu etkilere ilave olarak çevre üzerinde de olumsuz etkilerinden söz edilebilir. Ortama salınan gazın olumsuz etkilerinin giderilmesi amacı ile birçok yöntem ile gaz temizlenmekte ve çevresel etkisi minimize edilmeye çalışılmaktadır. Enerji eldesinde kullanılan kaynakların fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru ilerleyişi hava kalitesi ve bu kaliteyi iyileştirme hususunda olumlu adımlar ortaya çıkarmaktadır. 22 Nisan 2016 tarihinde imzalanan ve 4 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe giren Paris Anlaşması da atılma olumlu adımlardan biridir. Paris Anlaşması iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı uyum kabiliyetinin ve iklim direncinin artırılması; düşük sera gazı emisyonlu kalkınmanın temin edilmesi ve bunlar gerçekleştirilirken, gıda üretiminin zarar görmemesi diğer bir temel hedef olarak belirtilmektedir [3].

İnsani kullanım sonucu ortaya çıkan bir diğer problem ise değişen alışkanlıklar ve nüfusa bağlı olarak artan atıksu miktarlarıdır. Aynı zamanda oluşan atıksuların kirlilik düzeyi de artış göstermektedir. Bu durum insani kullanım sonucu oluşan atıksuların çevreye verebileceği zararı da artırmaktadır. Diğer atık türlerinde de olduğu gibi atıksularda da kaynağında bertaraf

çalışmaları mevcuttur. Yapılan çalışmalar ile insanların artan farkındalığı ile kaynağında su kullanımının kontrolü sağlanarak atıksu oluşum miktarları düşürülebilmektedir [4].

Atıksuların bir diğer oluşun kaynağı ise endüstriyel faaliyetlerdir. Endüstride kullanılan suların kirlilik düzeylerinin kontrolü ve çevresel etkilerinin azaltılması insani kullanım sonucu oluşan atıksulara nazaran daha zor olmaktadır. Her endüstri kolunun kendine has üretim aşamaları ve bu aşamalarda su ile kullanmış olduğu farklı kimyasallarda bulunmaktadır. Oluşan tüm atıksuların çevresel olumsuz etkilerini azaltabilmek amacı ile oluşan atıksular arıtma tesislerinde çevreye zarar vermeyecek düzeylere kadar arıtılarak deşarj edilmektedir [4].

Atıksuların nihai deşarj yeri alıcı ortam olarak tanımlanan nehir, göl ve deniz gibi su kaynaklarıdır. Söz konusu ortamlar içerisinde barındırmış olduğu yaşamın korunması ve potansiyel içme ve kullanma suyu kaynakları olduğundan atıksuların deşarj edilirken sahip olduğu özellikler oldukça önem arz etmektedir. Yeteri kadar arıtılmamış atıksular deşarj edildikleri ortamın kalitesini çok kısa sürede bozacaktır. Bu nedenle her ortamın kendine has ve yönetmeliklerle belirlenmiş deşarj kabul standartları mevcuttur [4].

Tüm atık sınıfları (katı,sıvı,gaz) cinsinden düşündüğümüzde bırakılan etkinin en hızlı geri dönüşü atıksu üzerinden olmaktadır. Bir başka deyişle atıksuyun arıtılmadan gelişigüzel deşarj edilmesi durumunda verildiği ortam üzerinde yarattığı etkinin insan ve çevre sağlığına diğer atık cinslerine göre çok daha hızlı etki etmektedir. Bir deşarj noktasına yeteri kadar arıtılmamış atıksu veya o bölgenin kaldırabileceğinden daha yüksek kirlilik yoğunluğuna (mg/L) sahip atıksu verilmesi durumunda o ortamda yaşayan canlıların yaşam kalitesinin ve sağlığının bozulması çok uzun sürmeyecektir. O ortamda yaşayan canlılarla beslenen diğer canlılarda bu durumda etkilenecek ve bu süreç son tüketiciye kadar devam edecektir. İklim değişikliği kaynaklı dünya genelinde meydana gelen değişimler su kaynaklarının azalmasına neden olmaktadır. Dolayısı ile oluşan atıksuların geri kazanılması ve geri kazanımı mümkün olmayan atıksuların çevresel etkilerinin de minimuma indirilmesi oldukça önem az etmektedir [5].

Yapısı gereği doğal kaynakları sürekli kullanıma muhtaç olan insanın çevresel koşullarda yaratacağı olumsuz etkiler yine insan yaşamını ve doğal yaşamı etkileyecektir. Bu nedenle insani ve endüstriyel kullanım sonucu oluşacak tüm atıkların kontrollü ve doğru şekilde bertarafı, arıtılması veya arındırılması gerekmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında; İstanbul' da bulunan kentsel atıksu arıtma tesislerinin üniteler arası atıksu transferi ve deşarj bacası ile deşarj noktası arası atıksu transferi hatlarına mikro hidroelektrik sistem uygulanabilirliği ile enerji geri kazanım potansiyelleri incelenmiştir. Enerji geri kazanımını sağlayacak olan mikro hidroelektrik sisteminin tasarım modellemesi değerlendirilmiş, elde edilen enerjinin miktarı ve verimliliği, arıtma tesisinin yıllık enerji tüketimine etkisi, kullanım yeri ve şekli elde edilecek enerji miktarı ve ilk yatırım maliyetine göre yorumlanmıştır.

İncelenen tesislerin mevcut potansiyeline göre elde edilmiş olan enerjinin tesiste meydana getirdiği tasarrufun değerlendirmesi yapılmıştır. Elde edilen enerjinin potansiyeline göre arıtma tesisinde kullanılabileceği muhtemel yerler belirlenerek işletme maliyetinde meydana getirdiği tasarruf hesaplanmıştır. Aynı zamanda teorik hesaplaması yapılan sistemin uygulamada meydana getirmesi muhtemel sorunlar belirlenmiş ve bu sorunların ortadan kaldırılması için yapılabilecek iyileştirmeler tartışılmıştır.

## 2. GENEL KISIMLAR

Atıksu, insani kullanım veya endüstriyel faaliyetler sonucunda kirlenmiş suyu ifade etmektedir. İnsani kullanımlar sonucu oluşan atıksuyun özellikleri alışkanlıklara ve bölgelere göre değişiklik gösterebilmektedir. Endüstriyel kullanım sonucu oluşan atıksular ise tamamen endüstri koluna bağlı olarak özelleşmektedir [4].

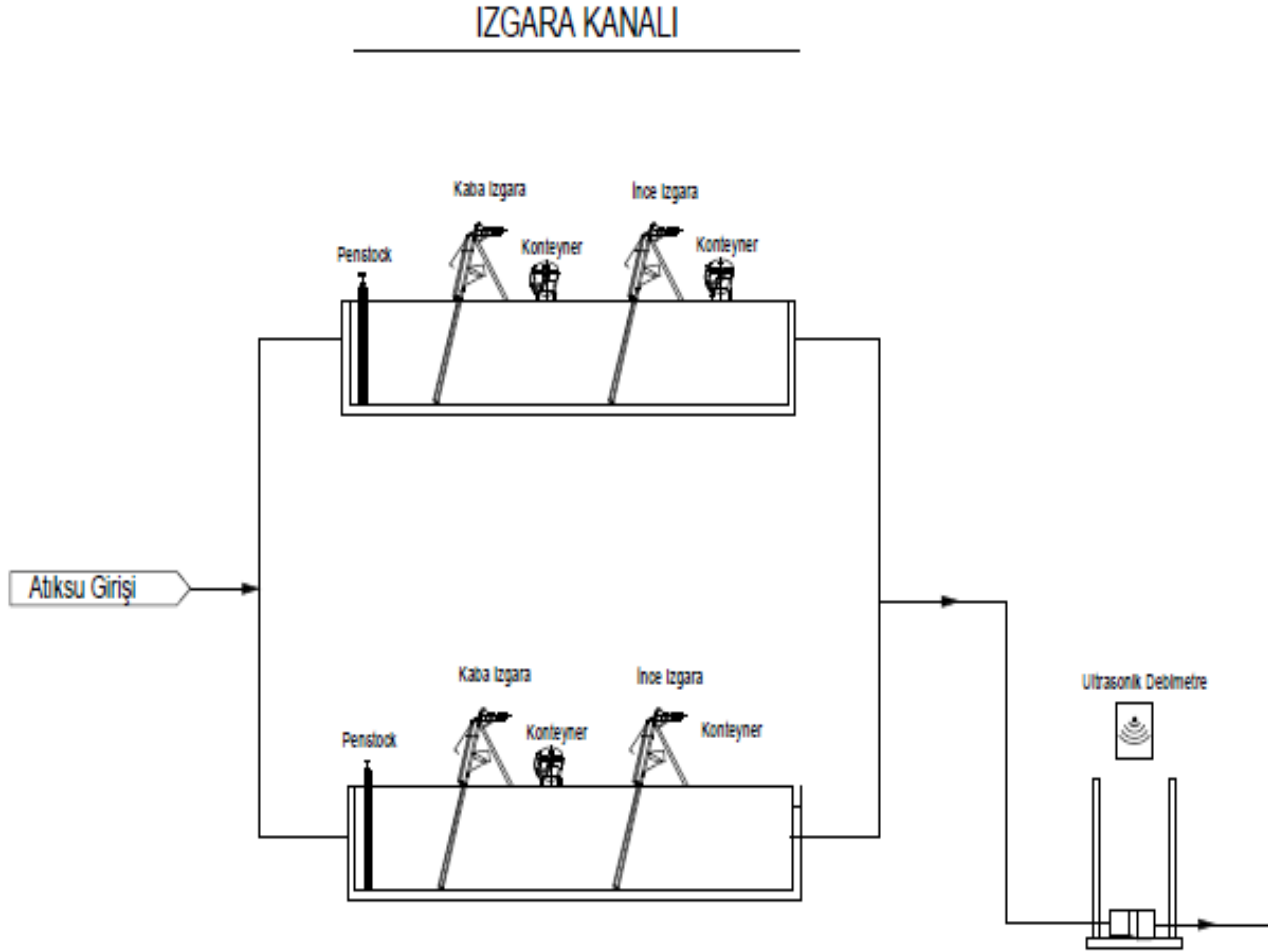
Suların kullanımına bağlı olarak kaybettikleri fiziksel ve kimyasal özelliklerinin geri kazandırılması, deşarj edileceği alıcı ortamın doğal koşullarında değişikliğe sebep olmayacak özelliklere kavuşturulması veya geri kullanılabilir kaliteye gerilmesi için uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler bütünü arıtma olarak adlandırılmaktadır. Atıksu arıtma tesisi ise atıksu ve alıcı ortam özelliklerine bağlı olarak seçilen sistemlerin kurulu olduğu tesisi ifade etmektedir. Arıtma tesislerinde uygulanacak olan işlemlerde birçok yardımcı ekipmanlar bulunmaktadır. Bu ekipmanların çalışması için elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır [4].

Enerji geri kazanımı, isminden de anlaşılacağı üzere ihtiyaca yönelik kullanılan enerjinin bir kısmının veya tamamının yeniden kullanılabilir hale getirilmesi için yapılan işlemler bütünüdür. Hidroelektrik suyun akış hızı kullanılarak elde edilen elektrik enerjisini tanımlamaktadır. Hidroelektrik sistemlerinde suyun akışı ile dönen türbin sistemlerinin yardımı ile elektrik enerjisi elde edilmektedir. Azami kurulu gücü 500 kW olan hidroelektrik sistemleri mikro hidroelektrik sistemleri olarak adlandırılmaktadır [1]. Mikro hidroelektrik sistemleri alan kullanım ihtiyacı ve rezervuar ihtiyacının olmamasından dolayı çevresel bir sistemdir. Yenilenebilir enerji, devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir. Mikro hidroelektrik sistemleri de yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.

Tüm bu bilgiler ışığında, bu kısımda öncelikle atıksu arıtma tesisleri ve tasarımlarına ilişkin bilgi ve açıklamalar sunulmuş ve ardından hidroelektrik sistemleri ile enerji geri kazanımı metodlarına değinilmiştir.

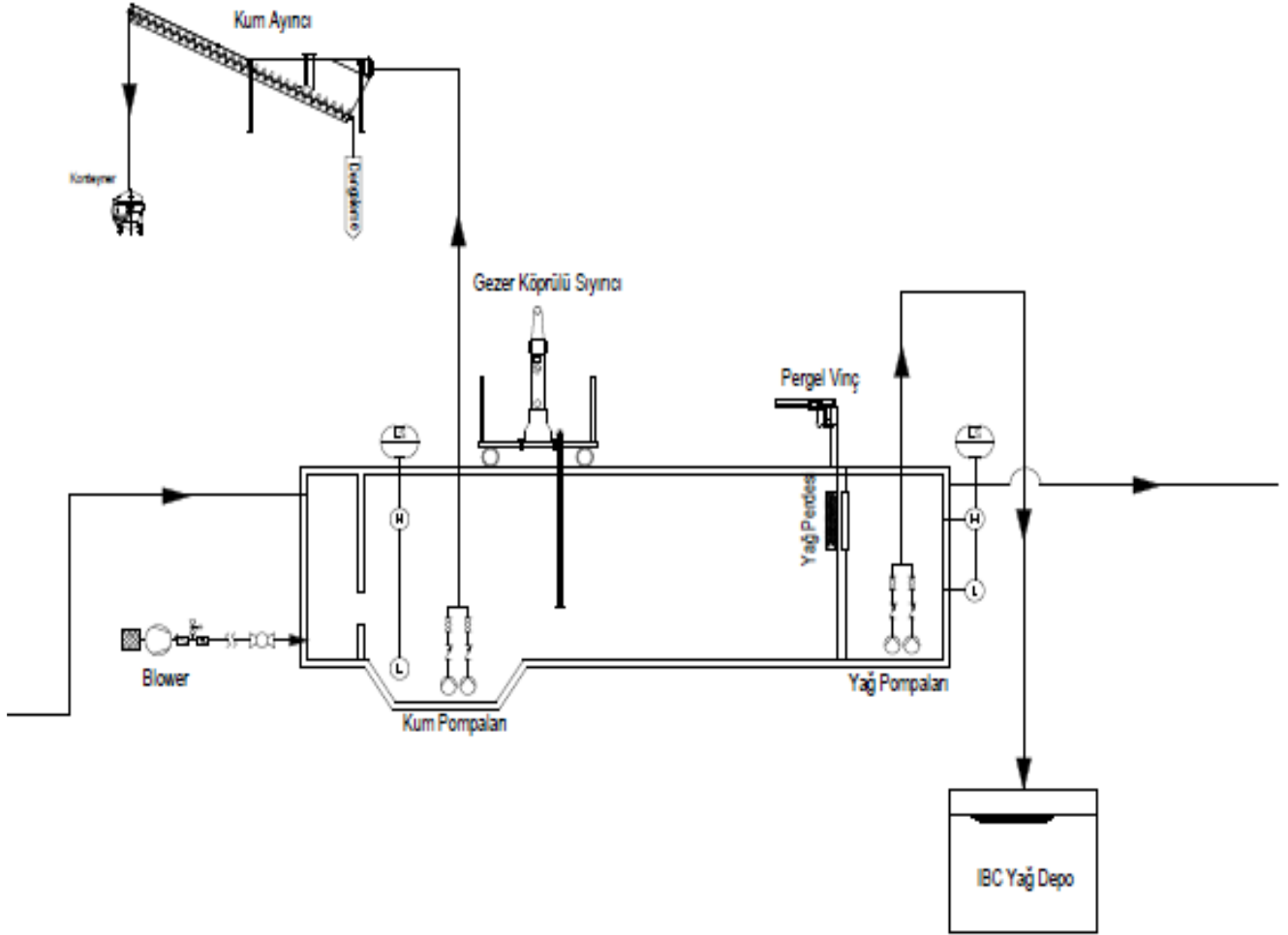
## 2.1. ATIKSU ARITMA TESİSLERİ TASARIM VE KARAKTERİSTİKLERİ

Atıksu arıtma tesislerinde arıtılacak olan atıksuların karakteristiğine bağlı olarak belirli işlemlerden geçirilmeleri gerekmektedir. Evsel atıksular fiziksel ve biyolojik işlemler kullanılarak arıtılmaktadır [4]. Tipik bir evsel atıksu arıtma tesisinde ızgara ünitesi (Şekil 2.1), kum ve yağ tutucu Ünitesi (Şekil 2.2), dengeleme ünitesi (Şekil 2.3) gibi fiziksel işlemlere ek olarak aerobik arıtma işlemleri tercih edilmektedir (Şekil 2.4). Uygulanan arıtma işlemleri ile oluşacak olan atık çamurlar gelişen teknoloji ile filtre pres, dekantör gibi az yer kaplayan, hızlı ve yüksek verimli ekipmanlar ile susuzlaştırma işlemine tabi tutularak bertarafa gönderilmektedir (Şekil 2.5).



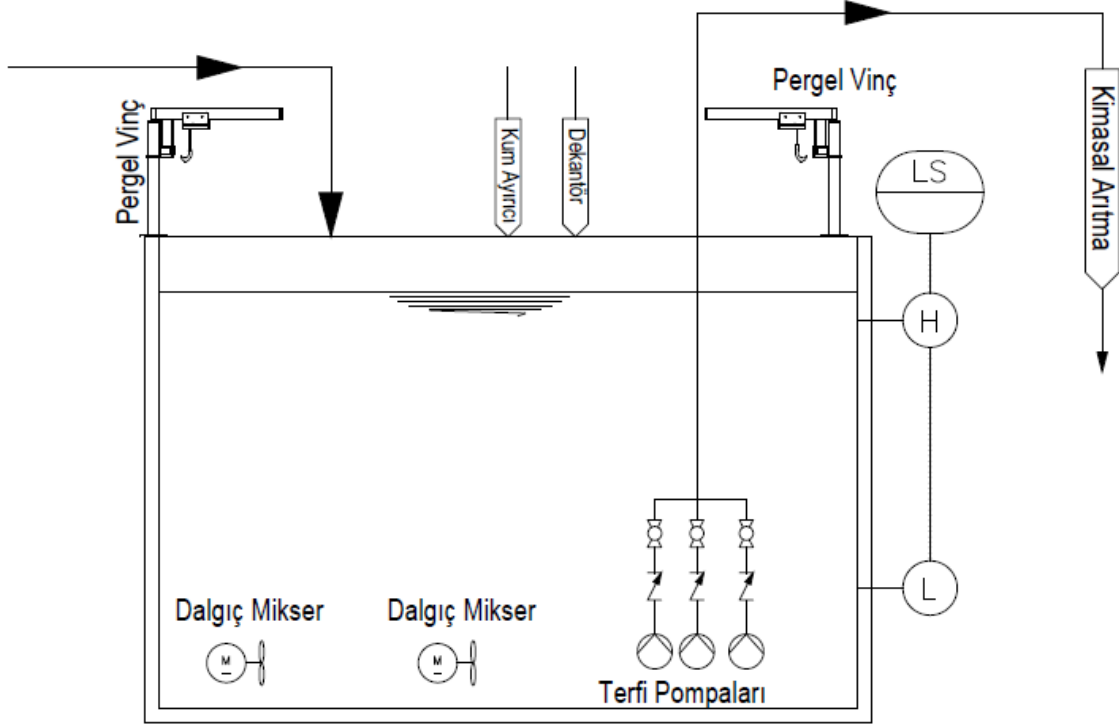
Şekil 2.1 Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Izgara Ünitesi [6].

### KUM&YAĞ TUTUCU



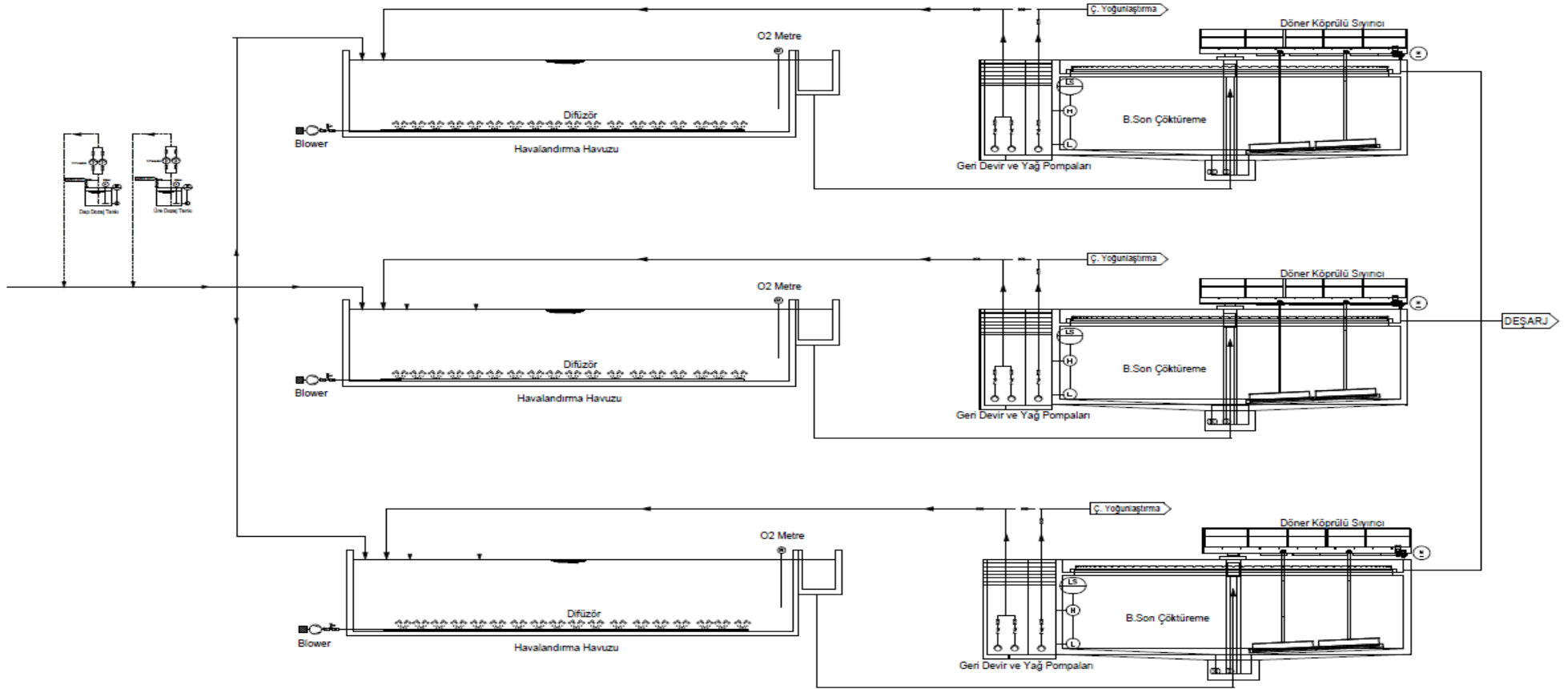
Şekil 2.2 Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Kum-Yağ Tutucu Ünitesi [6]

## DENGELEME HAVUZU



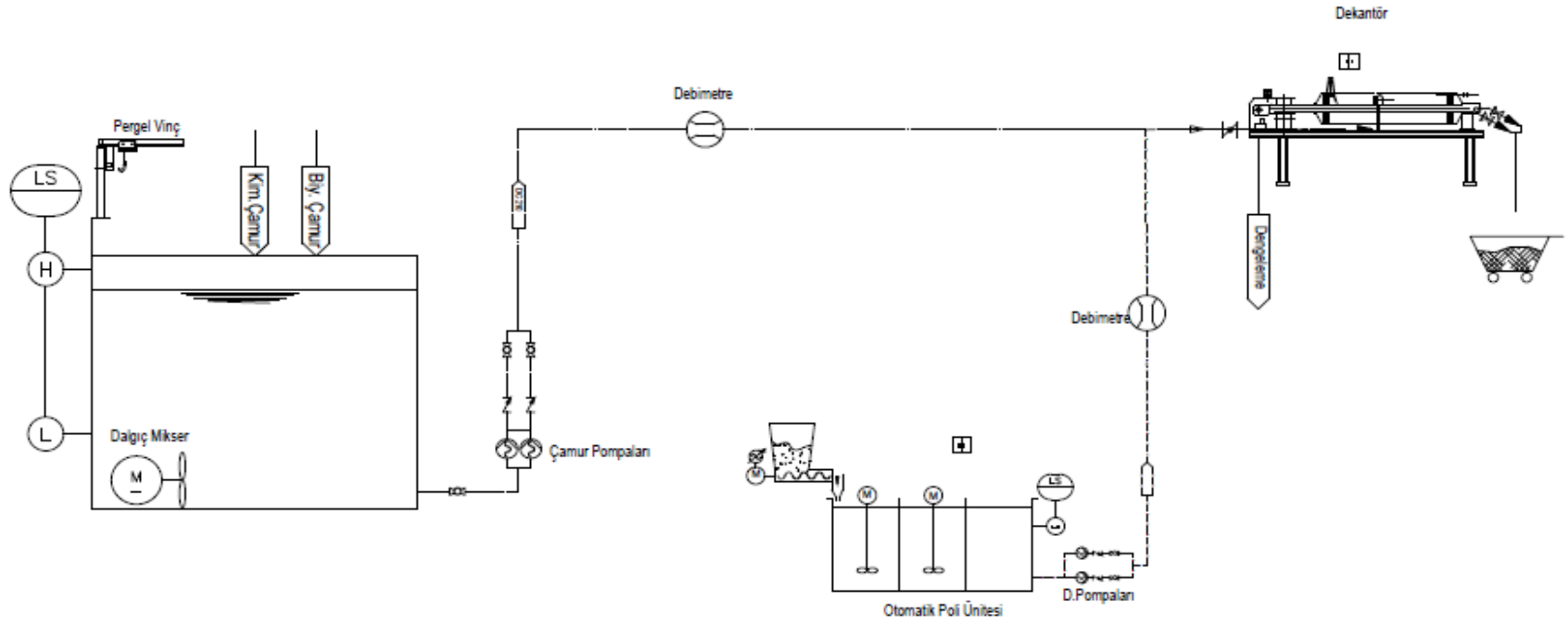
Şekil 2.3 Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Dengeleme Ünitesi [6]

## BİYOLOJİK ARITMA



Şekil 2.4 Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Biyolojik Arıtma Ünitesi [6].

## ÇAMUR SUSUZLAŞTIRMA



Şekil 2.5 Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamur Susuzlaştırma Ünitesi [6]

Çevre teknolojilerinin el verdiği imkanlar doğrultusunda mühendislik tasarımlarının yenilenerek hizmet verdiği bölgenin koşullarına uyum sağlaması gereklidir. Kentsel atıksu arıtma tesislerinin herhangi bir altyapı, inşaat projesinden ibaret olduğu düşünülmemelidir. Bilindiği üzere yapım ve işletme ihalelerinde verilen garanti koşulları, atıksu arıtma tesislerinde özellikle biyolojik proseslerin işletme performansına ve bu sürecin doğru yönetilmesine bağlıdır. Dolayısı ile arıtma sisteminin farklı birimlerinde faaliyet gösteren biyolojik aktivite tesis kapasitesi için belirleyici ana faktördür. Bu özellikler çevresel şartlara ve insanların yaşam koşullarına bağlı olarak ülkeden ülkeye farklılık gösterebilmektedir. [7].

İstanbul'da atıksu arıtma tesisleri, hassas bölge tanımına dahil olup olmadığına bağlı olarak deşarj kriterleri açısından farklılık göstermekte olup bu tesislerde farklı atıksu arıtma teknolojilerinin uygulanması gereklilik haline gelmiştir. İstanbul gibi nüfus ve sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu şehirlerde giderek artan su ihtiyacı karşısında temiz su kaynaklarının korunması, endüstriyel su taleplerinin karşılanabilmesi için atıksuların ileri seviyede arıtılması gerekli olacaktır. Öte yandan, projelendirmede ileri arıtma için kullanılan yabancı tasarım kriterleri yerel koşulları yansıtmadığı için bu kriterlerin projelerde doğrudan kullanımı ciddi tasarım hatalarına neden olabilmektedir. [7].

Günümüz şehir planlamaları düşünüldüğünde Şekil 1 de de görüleceği üzere arıtma tesislerinde atıksu transferi için bir çok noktada pompa kullanılmaktadır. Bu pompalar ilave olarak tercih edilen arıtma işlemlerine bağlı olarak havalandırıcılar, karıştırıcılar ve sıyırıcılar da kullanılmaktadır.

1 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtılması için harcanan elektrik miktarı 0,25 kWh 'tan 2 kWh civarına kadar yükselebilmektedir. Bu tüketimin %70 – 80 civarı elektrik motorlarına bağlı pompalar, karıştırıcılar ve havalandırıcılar ile tüketilmektedir [1]. Atıksu arıtımının, dünyadaki gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde toplam elektrik enerjisi yükünün yaklaşık %3 ile 5'ini kullandığı tahmin edilmektedir [8].

Gelişen teknoloji ile arıtma tesislerinde kullanılan ekipmanların enerji ihtiyaçları azaltılsa dahi dünya genelinde artan enerji kullanımı ve buna bağlı çevre kirliliği düşünüldüğünde yenilebilir enerji ve enerji geri kazanımı her noktada olduğu gibi arıtma tesislerinde de önem arz etmektedir.

## 2.2. ARITMA TESİSİ PROJELERİNDE ARITMA METODLARI

Bir arıtma tesisi projelendirilirken öncelikli hedef deşarj limitlerinin sağlanmasıdır. Bunun için en uygun arıtma metodu seçilir. Seçilen arıtma metoduna göre gerekli ekipmanlar belirlenir. Seçilen metot ve ekipmanlar için ilk yatırım maliyetini düşük tutmak temel hedeftir. İlk yatırım maliyetini düşürebilmek için ekipmanların enerji sınıfı ve ihtiyaca cevap verecek en uygun olanı değil maliyeti daha düşük olanı tercih edilmektedir. Bu seçim ilk yatırım maliyetini düşürmekte fakat işletme maliyetini artırmaktadır. Günümüz arıtma tesislerinin tasarımında, özellikle büyük şehirlerde artan nüfusun getirmiş olduğu alan sıkıntısından dolayı minimum alan kullanımı da hedeflenmektedir. Kısıtlı alan, ani artan nüfus, şehir planlaması, şehrin coğrafi özellikleri, arıtma tesisinin kurulacağı yerin seçimi, deşarj noktasının belirlenmesi, ilk yatırım maliyeti gibi hususlar tasarım aşamasında arıtma tesisinde enerji verimliliğinin ikinci planda kalmasına sebep olmaktadır. Yapılacak olan doğru seçimlerle tesislerin ilk yatırım maliyeti artsa bile düşen işletme maliyeti ile toplam maliyetler dengelenecektir. Bunun yanında birçok arıtma tesisinde kurulabilecek olan enerji geri kazanımı sistemleri ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasından dolayı tercih edilmemektedir. Örneğin; arıtma prosesleri içerisinde anaerobik arıtma olan bir atıksu arıtma tesisinde metan gazı çıkışından elde edilebilecek enerji miktarı oldukça fazladır. Ancak metan gazının enerjiye dönüştürülmesi için yapılacak olan ilk yatırım maliyetinin yüksekliği bu sistemin kurulmasına engel teşkil etmektedir.

Kaba bir formül ile anaerobik çamur çürütücülerde üretilen metan gazı enerjisi ile aktif çamur ünitesi olan bir atıksu arıtma tesisinin toplam enerji ihtiyacının %25-50'lik kısmı karşılanabilir. Tesislerde yapılabilecek diğer modifikasyonlar ile bu oran daha da arttırılabilir [10,11]. Birçok makalede, atıksudan doğrudan enerji üretimi için mikrobiyel yakıt hücreleri önerilmektedir ancak pratikte bilinen bir uygulama yoktur [12,13].

Tesislerde enerji elde edilebilmesi için bir diğer yöntem su akışındaki hızın kullanılmasıdır. Yüksek miktarda ve hızda gelen atıksuyun cazibe ile tesislere giriş yaptığı yerlerde sürdürülebilir ve güvenilir bir enerji eldesi imkânı vardır [12].

Su temin sistemlerinin enerji geri kazanım potansiyeli, özelliklerine ve yerleşim düzenlerine göre oldukça değişkendir. Bazı çalışmalar, dünya çapında hidroelektrik geri kazanım potansiyelleri tahminlerini sunmaktadır. Örneğin Küçükali, Türkiye'deki 45 belediye su temini

barajının hidroelektrik potansiyelinin saatte 173 GW/yıl iken, McNabola ve ark., İrlanda'daki on vakanın iyileşme potansiyelini 2 ila 115 kW kurulu güç olarak tahmin etmektedir. Vilanova, verimlilik göstergelerine dayalı olarak su temini tesislerine uygulanan hidroelektrik geri kazanım sistemlerinin enerji verimliliği potansiyelini ölçmek için bir yöntem geliştirmiştir [14].

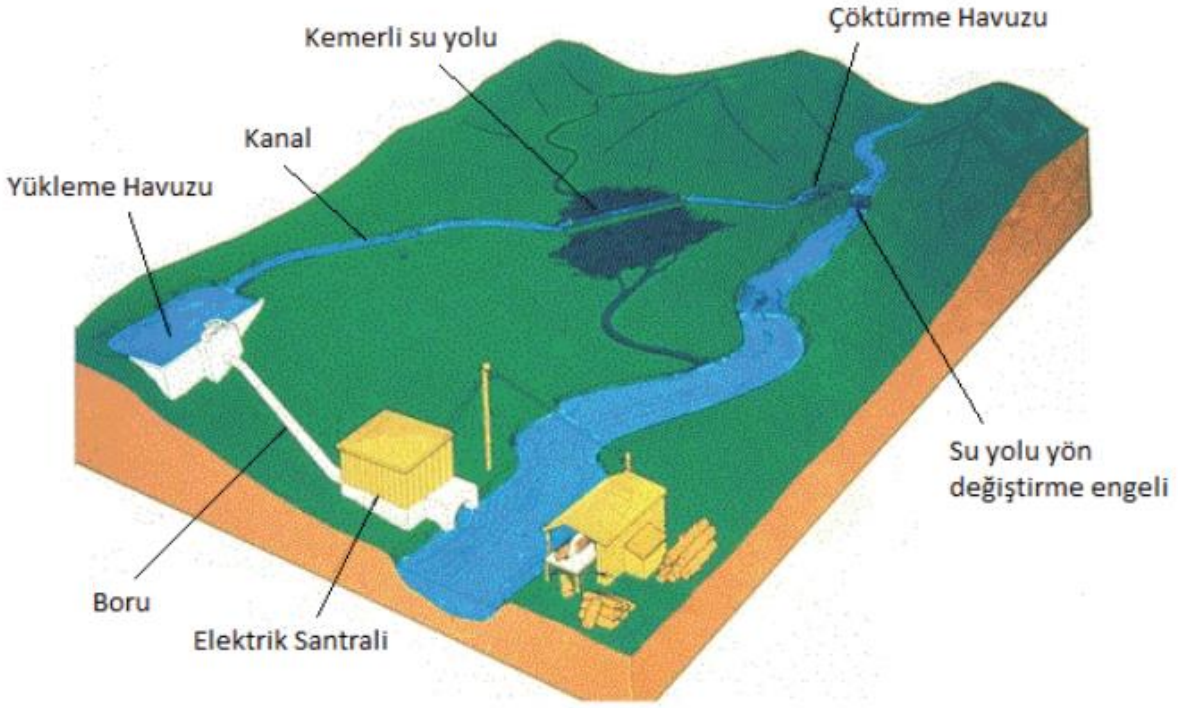
Küçük Hidroelektrik Sistem (KHS), biyogaz, atık sudan ısıl geri kazanım, jeotermal, rüzgar enerjisi, vb. gibi çeşitli yenilenebilir teknolojiler arasında Mikro-Hidroelektrik Sistem (MHS), ekonomik ve çevre dostu bir seçenek olarak kabul edilmektedir. Hava koşulları ne olursa olsun neredeyse yıl boyunca güneş veya rüzgar enerjisinden çok daha verimlidir. Aynı zamanda uzun ömürleri, düşük bakım maliyetleri ve çevresel etkilerinin olmaması gibi rekabet avantajları vardır. Özellikle, MHS'nin Atıksu Arıtma Tesisi'nin çıkışında kullanılması durumunda, mevcut altyapıları kullanarak en aza indirilmiş inşaat çalışmaları nedeniyle sermaye maliyetleri büyük ölçüde azalmaktadır. Ayrıca, nehir veya baraj temelli KHS'den farklı olarak, nehir ekosisteminin tahribi veya göçmen balık paraziti gibi herhangi bir çatışmaya neden olmaz. Bununla birlikte, MHS teknolojisi büyük ölçekli hidroelektrik santrallerinden daha az çalışılmıştır ve halen gelişim aşamasındadır [15].

### **2.3. MİKRO HİDROELEKTRİK SİSTEMLERİ (MİKRO HES)**

Azami kurulu gücü 500 kW olan hidroelektrik sistemleri mikro hidroelektrik sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Mikro hidroelektrik sistemlerinin alan kullanım ihtiyacı ve rezervuar ihtiyacı bulunmamaktadır. Düşük debilerde dahi kurulabilir olması en önemli avantajları arasındadır.

Alan ihtiyacının olmaması çevresindeki var olan yaşamı olumsuz yönde etkilememektedir. Opsiyonel ve teknolojik tasarımlar ile suyun doğal akışı sayesinde enerji elde edilebiliyor olması bir diğer avantajıdır.

Tipik bir Mikro HES sisteminin genel görünümü Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6 Tipik Bir Mikro HES Sisteminin Genel Görünümü [24]

Mikro HES’i oluşturan ayrıntılı teçhizat ve bilgiler aşağıdaki gibidir:

- Yükleme Havuzu,
- Cebri Boru,
- Kelebek Vana,
- Türbin, (Pelton, Banki, Francis, Kaplan, Uskur),
  - a) Salyangoz,
  - b) Ayar Kanatları,
- Generatör,
  - a) Rotor
  - b) Stator
- Emme Borusu
- Hız Kontrol Ünitesi
  - a) Governör

- b) Bağlantı sistemi
- Kontrol Kumanda Sistemi
  - a) Sekonder Koruma Panosu,
  - b) Besleme Ponusu,
  - c) D.A.İkaz Ponusu
- Santral Binası,
- Kuvvet Tüneli,
- Güç Trafosu,Güç Şalteri ve Kesicisi
- Enerji İletim Hattı

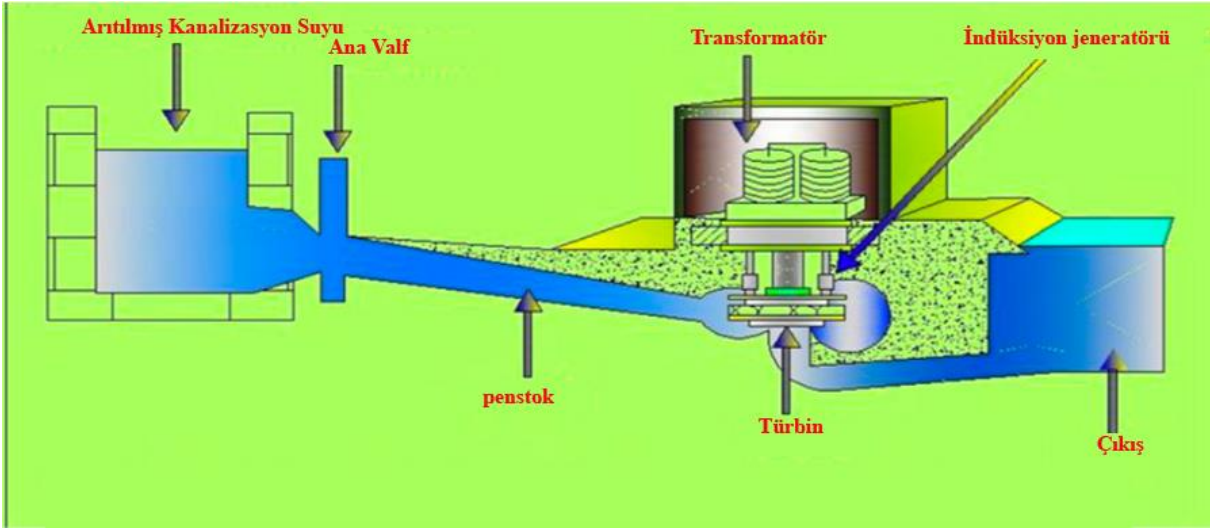
Türbinler hidroelektrik santrallerin en önemli ekipmanıdır. Türbinler suyun akış gücünden yararlanan ve suyun potansiyel enerjisini mekanik enerjiye çeviren ana mekanik teçhizatır. Türbinler bir mili çevirir ve mil ise alternatör rotorunu çevirir. Bu döngüyle elektrik enerjisi üretilir. Su türbinleri, hidroelektrik santrallerinin en önemli ve hayati parçasıdır. Türbinler suyun debisine ve santralin kotuna göre farklı tiplerde imal edilirler. [24].

Ülkemizde yüzlerce atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Birçok AAT’de MikroHES kurarak enerji üretimi için uygundur. AAT’lerinde düşü yüksekliği ve debiler uygunsa MikroHES sistemi kurularak yenilebilir elektrik enerjisi üretilebilir.

MikroHES yatırımı için temel 5 kriter var. Bunlar;

- Arıtılmış atıksuyun akış hızı,
- Hidrolik düşü yüksekliği (kot farkı),
- Türbin tipi,
- Yatırım maliyeti,
- Elektrik enerjisi bedeli, en önemli 5 parametredir.

Arıtılmış atıksu, yüksek basınçta veya yüksek akış hızında akan, jeneratöre bağlı türbin veya su çarklarını döndürmek için kullanılır. Bu nedenle elektrik enerji üretimi için, arıtılmış atıksular, doğrudan alıcı ortama verilmesi yerine elektrik enerjisi üretilmesi için basınç altında bir cebri borudan türbine yönlendirilir. Arıtılmış atıksu bir giriş vanası vasıtasıyla cebri boru üzerinden türbine doğru bir su oluşundan geçer. Burada su, bıçağa çarpar ve jeneratöre bağlı mili döndürür. Böylece dönen mille elektrik enerjisi üretilir [14].



[Şekil 2.7 AAT'de MikroHES Uygulaması [14].]

## 2.4. HİDROELEKTRİK SİSTEMLERİNDE KULLANILAN TÜRBİN TİPLERİ

Hidroelektrik sistemlerde türbin özellikleri elde edilecek enerji miktarını önemli oranda etkilemektedir. Hidroelektrik sistemlerinde suyun türbin sistemine çarparak döndürmesi sonucu elektrik enerjisi açığa çıkmaktadır. Suyun çıkış yaptığı nokta ile türbin sisteminin kurulacağı noktalar arasındaki kot farkı düşü olarak tanımlanmaktadır. Düşü yüksekliklerine göre sınıflandırmalar yapılmaktadır. 100 m'den yüksek düşü yüksekliği yüksek düşü olarak, 30-100 m aralığı orta düşü, 2-30 m aralığı düşük düşü olarak tanımlanmaktadır [13].

### 2.4.1. Pelton Türbin

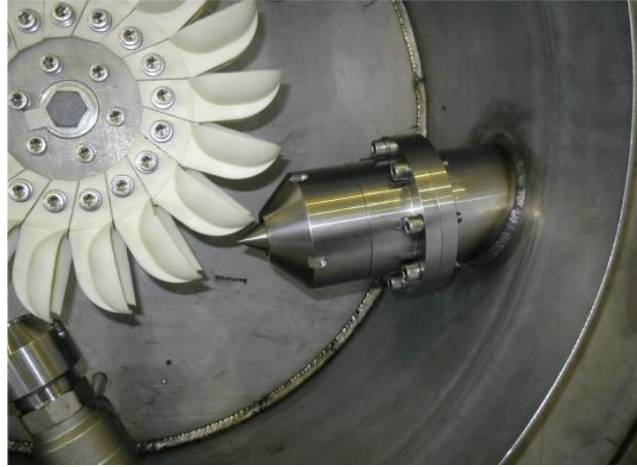
Lester Allan PELTON tarafından 1870 yılında geliştirilmiştir (Şekil 2.8). Türbin bürüt düşüğü 150 m’den fazla olan sistemlerde ve mikro hidroelektrik sistemlerinde tercih edilmektedir [13].



[Şekil 2.8 Pelton Türbini (URL 1)]

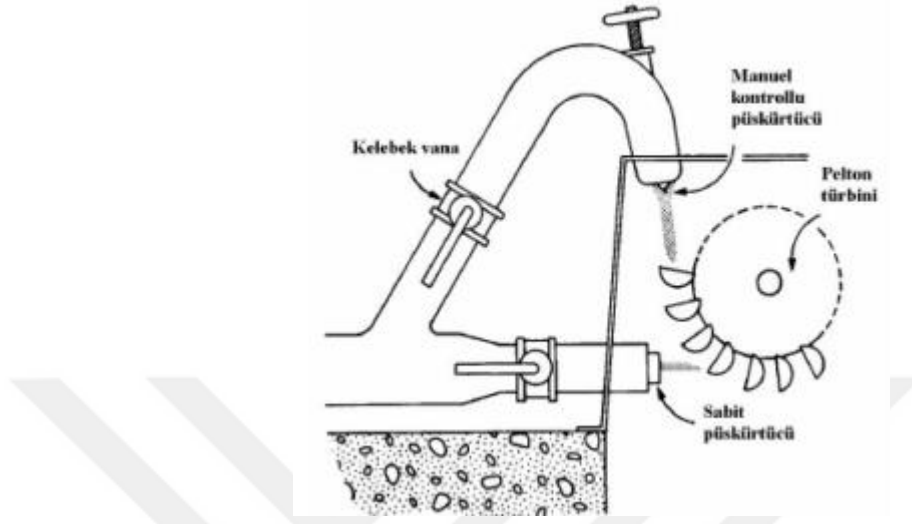
Düşü miktarı, akış hızı ve gücü türbin boyuna doğrudan etki etmektedir. Pelton türbinleri yatay ve düşey olarak konumlandırılabilir. Suyun akış enerjisini en yüksek düzeyde emilebilmesi kapların geometrisinin belirlenmesinde önem arz etmektedir.

Pelton türbinlerinde su bir boru ve boru önünde kullanılan nozul yardımı ile su jeti haline dönüştürülür. Su jeti kepçeyi andıran kanatlara çarparak çarkın dönmesini ve enerji elde edilmesini sağlamaktadır. (Şekil 2.9).



[Şekil 2.9 Pelton Türbini (URL 2)]

Pelton türbinlerinde su bir veya daha fazla nozul ile su jetine dönüştürülebilmektedir. Pelton türbinleri su girişi öncesi ve sonrası aynı basınca sahip bir basınç türbinidir. (Şekil 2.10).



[Şekil 2.10 Pelton Türbini Çalışma Şekli (URL 3)]

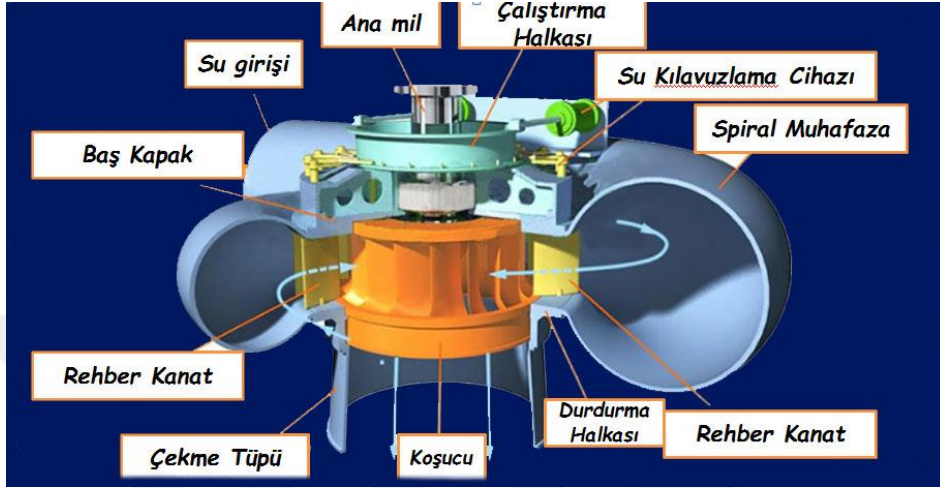
#### 2.4.2. Francis Türbin

James B. Francis tarafından tasarlanan türbin aynı zamanda reaksiyon türbini olarak da bilinir (Şekil 2.11). Türbin boyunca hareket eden suyun basıncı değiştirilerek enerjinin kanatlara verilmesini prensip almaktadır. Düşü yüksekliği 200 m'ye kadar olan sistemlerde tercih edilmektedir [13].



[Şekil 2.11 Francis Türbini (URL 4)]

Francis türbinlerinin eğimli bıçak şeklindeki çarkı sayesinde türbine giren radyal akışlı su aksel akışlı olarak çıkmaktadır. Su çark bıçakları üzerindeki yolu takip ederken bir tarafta basıncı düşerken diğer tarafta basıncı artmaktadır. Bu nedenle Francis türbini karışık basınçlı türbinler olarak da bilinmektedir (Şekil 2.12).



[Şekil 2.12 Francis Türbin Sistemi Ekipmanları (URL 5)]

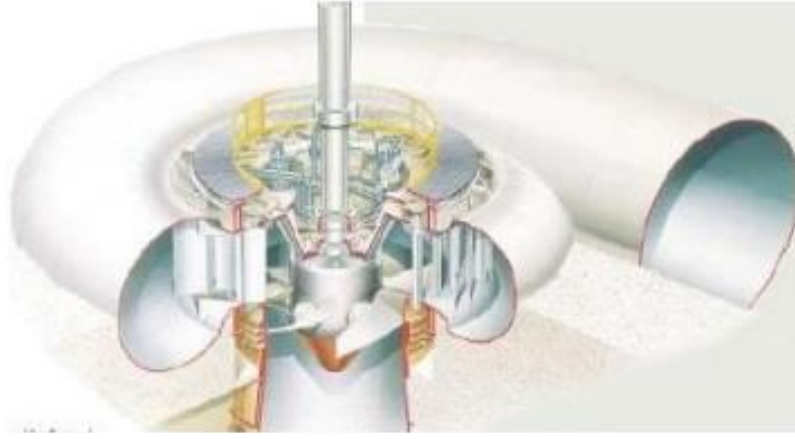
### 2.4.3. Kaplan Türbin

Viktor Kaplan tarafından 1913 yılında icat edilen pervane biçimli türbindir (Şekil 2.13). Pervane tipindeki kanatları sayesinde farklı su akışlarına göre yönlendirilebilmektedir. Düşü yüksekliği 12 m'ye kadar olan sistemlerde tercih edilmektedir [13].



[Şekil 2.13 Kaplan Türbini (URL 6)]

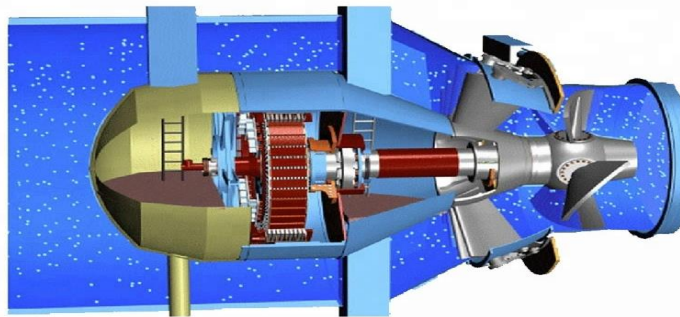
Kaplan türbinlerinin gemi pervanesine benzeyen kanatları vardır. Fakat gemi pervanesinin çalışma prensibine göre ters çalışmaktadır. Bu türbinlerde su giriş ve çıkışı aynı eksendedir. Çevre boyunca yerleştirilmiş yönlendirici kanatlardan geçen su türbin çarkına gönderilir. Bu sayede dönen çark enerji üretir (Şekil 2.14).



[Şekil 2.14 Kaplan Türbini (URL 7)]

#### 2.4.4. Kuyu (Pit) ve Ampul (Bulb) Tipi Türbinler

Eksenel akışlı minimum 3 m düşüye sahip pervaneli türbinlerdir [13]. İsimlerini su içine daldırılmış ampul şeklinde çelik veya beton bir muhafazanın içerisinde bulunmalarından almaktadırlar (Şekil 2.15).



[Şekil 2.15 Ampul Tipi Türbin (URL 8)]

Bu tip ünitelerde, türbin çarkı su içine daldırılmış ampul şeklinde çelik veya beton bir muhafazanın içerisinde bulunan yüksek hızlı generatörü, hız yükselten konik bir dişli ile tahrik etmektedir. [13].

#### 2.4.5. S-Tipi (Boru Tipi) Türbinler

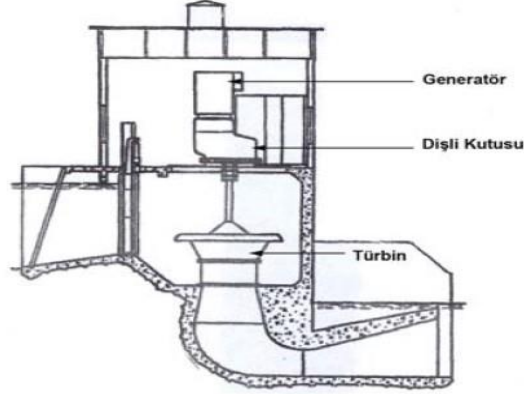
Boru tipi ünitelerde generatörün ampul şeklindeki metal muhafazanın içine yerleştirilmesine müsaade etmemesi halinde, konik dişli kutusu ile generatörün, boru dışına alınarak geliştirilen tipidir. Küçük ünitelerin orta güçte olanları da kullanılabilir (Şekil 2.16) [13].



{Şekil 2.16 Boru Tipi Türbin (URL 9)}

### 2.4.6. Dalgıç Türbinler

Çok düşük (3 m) düşülerde kullanılan bu türbinlerin salyangozları olmayıp suya daldırılmış olarak çalışırlar. Bazı hallerde betondan yapılmış yarım veya tam salyangoz yapılarının içinde kullanılırlar (Şekil 2.17) [13].



Şekil 2.17 Dalgıç Tip Türbin [13]

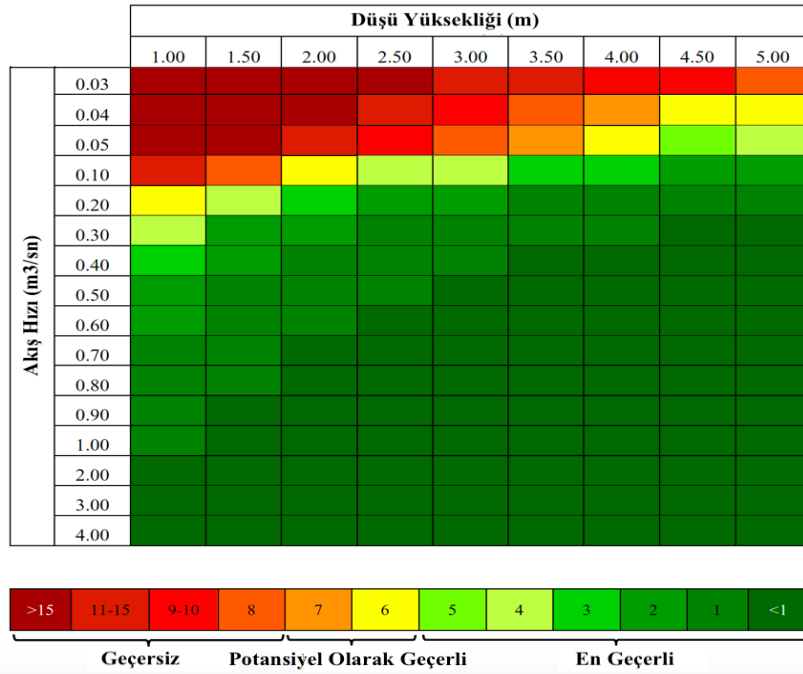
## 2.5. MİKRO HİDROELEKTRİK SİSTEMLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ

Hidroelektrik sistemlerine akış hızı ve düşü yüksekliği ile elde edilecek enerji miktarı doğru orantılıdır. Akış miktarı azaldıkça aynı düşü yüksekliğine sahip iki sistem arasında enerji miktarı akış hızı fazla olan sistemde daha fazla olmaktadır. Aynı durum sabit akış hızına ve farklı düşü yüksekliğine sahip tesisler için de geçerlidir. Akış hızı ve düşü yüksekliğine bağlı olarak arıtma tesislerinde mikro hidroelektrik sistemleri ile elde edilebilecek enerji miktarları Tablo 2.1 'de verilmiştir [14].

**Tablo 2.1** Düşü Yüksekliği ve Akış Hızına Bağlı Enerji Üretim Miktarları [14]

Düşü Yüksekliği, H	Akış Hızı ((Debi), L/sn							
	05	10	15	20	25	40	60	80
Enerji Üretimi (W)								
2	69	137	206	275	343	549	824	1099
4	137	275	412	549	687	1099	1648	2197
6	206	412	618	824	1030	1648	2472	3296
8	275	549	824	1099	1373	2197	3296	4395
10	343	687	1030	1373	1717	2747	4120	5494
14	481	961	1442	1923	2403	3846	5768	7691
20	687	1373	2060	2747	3434	5494	8240	10987
30	1030	2060	3090	4120	5150	8240	12361	16481
40	1373	2747	2940	5494	6867	10987	16481	21974

Akış hızı ve düşü yüksekliğine bağlı mikro hidroelektrik sistemlerinin uygulanabilirliğini Şekil 2.18 üzerinden açıklamak mümkündür [14].

**Şekil 2.18** Düşü Yüksekliği ve Akış Hızına Bağlı Mikro Hidroelektrik Uygulanabilirliği [14]

Şekil 2.18 ‘den de görülebileceği üzeri koyu kırmızı renkten koyu yeşil renge doğru gidildikçe mikro hidroelektrik sistemlerinin uygulanabilirliği artmaktadır.

## 2.6. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Atıksu arıtma tesislerinde enerji geri kazanımı için ülkemizde Erkan ve diğ. (2018) tarafından Van-Edremit, Elâzığ Sivrice ve Tunceli merkez atıksu arıtma tesisleri için mikro ölçekte hidroelektrik santrallerin uygulanabilirliği araştırması yapılmıştır. Erkan ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada arıtma tesislerinin çıkış noktaları ile deşarj noktaları arasındaki düşü farkı baz alınarak teorik hesaplamalar yapılmıştır. Arıtma tesisi çıkışı ile deşarj noktaları arası en yüksek düşüye sahip olan Van-Edremit arıtma tesisinde, tesisin aylık kullanımı baz alındığında %20 enerji geri kazanımı sağlanmıştır. Elâzığ-Sivrice arıtma tesisinde %9,5, Tunceli Merkez arıtma tesisinde %6,6 enerji geri kazanımı sağlanmıştır. Yapılan çalışmada teorik olarak yapılan hesaplamalara uygun türbin tipi değerlendirmesi yapılmamıştır. Teorik olarak elde edilen enerji geri kazanım miktarlarının yatırım uygunluğu değerlendirilmemiştir [1].

Baran (2021) tarafından arıtma tesislerindeki hidroelektrik sistemlerinin kentsel aydınlatma enerjisinde kullanımı üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma öncelikle Türkiye'deki atıksu arıtma tesislerinin hidroelektrik üretim tahminleri ile her bölgedeki şehirlerin toplam aydınlatma enerjisi tüketim değerleri tahmin edilmiştir. Elde edilen veriler ile her bir bölgedeki atıksu arıtma tesisinin elektrik üretiminin kentsel aydınlatma tüketimine olan kapsama oranı elde edilmiştir. 2017-2025 yılları arasında atıksu arıtma tesislerinden elde edilen elektrik enerjisi miktarı incelendiğinde en yüksek elektrik enerjisi üretiminin Marmara Bölgesi'nde, en düşük elektrik enerjisi üretiminin ise Doğu Anadolu Bölgesi'nde olduğu görülmüştür. 2017 yılından 2025 yılına kadar olan dönemde elektrik üretim oranlarının Marmara Bölgesinde %36,21, Ege Bölgesinde %28,39, Akdeniz Bölgesinde %42,37, İç Anadolu Bölgesinde %30,46, Karadeniz Bölgesinde %138,58 oranında artacağı öngörülmüştür. Bu sonuçlara göre, 2018 yılında en yüksek kapsama oranı Marmara Bölgesi'nde, en düşük kapsama oranı ise Doğu Anadolu'da gerçekleşti. 2025 yılında en yüksek kapsama oranı Marmara Bölgesi'nde, en düşük kapsama oranı Güneydoğu Anadolu'da olmuştur. 2018'den 2025'e kadar en yüksek artışın Karadeniz Bölgesi'nde gerçekleşeceği tahmin edildi. Ancak sistemin bazı özellikleri (debi değişiklikleri, iklim vb.) buradaki tahmin modelinde modellenmedi. Bu özelliklere bağlı olarak

dikkate alınmayan tahminlerde bazı sapmalar olabilir. Buna göre, bu çalışmadan elde edilen tahmini elektrik üretim değerleri dikkate alındığında, şehirlerin gelecekteki elektrik ihtiyaçlarının karşılanmasında ikincil bir kaynak olarak değerlendirilebilir [15].

Power ve diğ. (2014) tarafından İrlanda ve Birleşik Krallık'taki 100'den fazla arıtma tesisinden toplanana veriler ile arıtma tesislerindeki hidroelektrik potansiyelleri araştırılmıştır. Hidroelektrik enerji geri kazanım planlarının potansiyel güç çıktılarını ve geri ödeme sürelerini tahmin etmek için bir değerlendirme yöntemi geliştirilmiştir. Akış, türbin seçimi, elektrik fiyatlandırması ve finansal teşviklerdeki değişikliklerin güç çıkışı ve geri ödeme süresi üzerindeki etkisini göstermek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Yağıştaki mevsimsel değişikliklerin ve aşırı yağış olaylarının türbin tasarım akışının seçimini etkilediği bulunmuştur. Türbin verimliliğini engellemeden akış varyasyonunu karşılamak için tasarım akışını optimize eden bir yöntem geliştirilmiştir. Ek olarak, gelecekteki tahmini akış hızı değişikliklerinin (demografik ve iklim değişikliklerinden dolayı) türbin tasarım akışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Planlanan veya gelecekte büyümesi beklenen tesisler için, gelecekteki daha yüksek akışlara izin verecek şekilde artırılmış bir tasarım akış hızının, bir tesiste mevcut akış oranlarını kullanmaktan ekonomik olarak daha uygun olduğu bulunmuştur. Türbin seçimi ile ilgili olarak, Kaplan türbininin en büyük potansiyel güç çıkışına sahip olduğu, ancak türbin olarak pompanın kilovat başına en düşük maliyetli olduğu bulunmuştur. Son olarak, elektrik fiyatlandırmasının hidroelektrik enerji geri kazanımının ekonomik uygulanabilirliği üzerinde büyük bir etkisi olduğu görülmüştür. İncelenen AB-28 ülkelerinin çoğu için, santrallerde doğrudan yerinde elektrik kullanımının, tarife garantisinden gelir elde etmek için elektriği şebekeye satmaktan daha kısa bir ekonomik geri ödeme süresine sahip olduğu belirlenmiştir [8].

Khan ve Badshah (2014) tarafından I-9 İslamabad'da bulunan Lai Nallah'taki atıksu arıtma tesisi çıkışındaki çevre dostu mikro hidroelektrik santralinin tasarımını üzerine bir araştırma yapılmıştır. Yapılan çalışmada hidroelektrik sisteminin yerleşim yeri ve kullanılacak türbin sisteminin optimizasyonu hedeflenmiştir. Yapılan tasarım ve simülasyonlar sonucunda etkin verim elde edilmiştir. Kullanılacak türbin için en iyi verimin çapraz akışlı modelde olduğu bulunmuştur. Verimli çapraz akışlı türbin tasarımı için  $W/B$  (çark genişliği/nozul genişliği) oranının tam değerini ve optimum kanat sayısı belirleme denklemini bulmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır [9].

McNabola ve diğ. (2014) tarafından su sistemlerinde hidroelektrik ve mikro hidroelektrik sistemler ile enerji geri kazanım potansiyeline dair bir araştırma yapılmıştır. Mevcut ve yeni yapılacak su dağıtım şebekelerinde gerekli basınç ayarlamalarının yapılarak mikro hidroelektrik sistemlerinin entegre edilmesi ile enerji geri kazanımı sağlanabileceği sonucuna varılmıştır. İrlanda'nın farklı bölgeleri için yapılan hesaplamalar sonucunda Kilcullen için 27 kW güç ve 10 yıl amortisman süresi, Cookstown için 73 kW güç ve 3 yıl amortisman süresi, Saggart için 115 kW güç ve 2 yıl amortisman süresi hesaplanmıştır. Hidroelektrik sistemlerinin su temini ve atık su arıtma sektörlerinin diğer alanlarına da genişletilmesinin de benzer enerji geri kazanım potansiyeli sunduğu gösterilmiştir. Ancak bu alanlarda daha fazla araştırma ve gösterime hala ihtiyaç vardır [10].

Kougias ve diğ. (2014) tarafından su temin sistemlerinde mikro hidroelektrik sistemlerinin kullanılması ile elde edilecek enerji geri kazanım potansiyellerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Araştırma Yunanistan 'da bir su temin sistemi üzerinde yapılmıştır. Mevcut su temin sistemine kurulacak olan mikro hidroelektrik sisteminin konumu belirlenmiştir. Çalışmanın devamında Harmony Search Algorithm (HSA) adı verilen yazılım ile mevcutta kullanılan su temin sistemine entegre edilecek olan mikro hidroelektrik sistemin en önemli parçası olan türbin kısmının optimize edilmesi üzerinde araştırma yapılmıştır. Çalışma sonucunda enerji geri kazanımı 322 kW olarak bulunmuştur. Yapılacak olan yatırımın 30 yıllık toplam karı 4.882.049,40 € olarak bulunmuştur [11].

Chae ve diğ. (2015) tarafından Yongin,/Güney Kore de kurulu bulunan Kiheung Respia Atıksu Arıtma Tesisi pilot tesis seçilerek bir yıl boyunca özel olarak tasarlanmış değişken akışlı türbinli mikro hidroelektrik sistemi ile elde edilen enerji geri kazanımı takip edilmiştir. Özel olarak tasarlanmış türbin sistemi ile en düşük akışta ve maksimum akışta elde edilen enerjiler takip edilmiştir. Türbin önünde kullanılan akış ayar sistemi ile türbine çarpan atıksuyun en iyi açı ile çarpması sağlanmış ve çok düşük akışlarda dahi enerji geri kazanımı sağlanmıştır. Yıllık 68,1 MWh enerji elde edilmiştir. Elde edilen enerji arıtma tesisinin %95,8 'ine karşılık geldiği görülmüştür. Yapılan çalışma ile önceki yıllarda düşük enerji verimliliği nedeniyle ilgi görmeyen atıksu arıtma tesislerinde mikro hidroelektrik sistemlerin verimi belirlenerek sisteme duyulan ilginin artması sağlanmıştır [12].

Gallagher ve diğ. (2015) tarafından Mikro hidroelektrik teknolojisini kullanarak enerji geri kazanımı üzerine çalışma yapılmıştır. Bu çalışma Birleşik Krallık ve İrlanda bölgelerinde su ve atık su altyapısındaki potansiyel enerji geri kazanım alanlarını değerlendirmek için yapılandırılmış dört aşamalı bir metodoloji sunmaktadır. Servis rezervuarlarında (SRV'ler), basınç düşürme vanalarında (PRV'ler) ve atık su arıtma tesislerinde (WWTP'ler) üzerinde araştırmalar yapılmıştır. İlk önce su ve atık su altyapısındaki farklı tüm potansiyel enerji geri kazanım alanlarının belirlendi. 2. Adım, yılda tahmini 17,9 GWh üretme potansiyeliyle, enerji geri kazanımı için en uygun sahalar listelendi. 3. Adım, enerji geri kazanımı ve dikkate alınan türbin seçimi, değişen akış ve saha özellikleri, tarife garantisi ve genel proje maliyetleri ile ilgili teknik ve ekonomik zorlukları değerlendirdi. Son olarak, 4. Adım, kapasiteye dayalı olarak Galler ve İrlanda için en uygun projeler için kanıt sağladı; AAT losyonlarında 3,6 veya 18,2 kW, PRV'lerde 4,8 veya 24,8 kW ve SRV sahalarında 12,8 veya 22,2 kW'tan daha büyük potansiyellerin olduğu tespit edilmiştir. Daha ucuz türbin teknolojisi ve daha iyi mali teşvikler, daha küçük potansiyel enerji geri kazanım alanlarının fizibilitesini iyileştirebilir. Sonuçlar, su şirketlerine farklı su ve atık su altyapı tesislerinde MHP kurulumları yoluyla potansiyel enerji geri kazanımı için tahmini bir uygulanabilir kapasite sağladığı sonucuna varılmıştır [16].

Ak ve diğ. (2017) tarafından Ankara Tatlar AAT çıkış noktası üzerinde düşük başlı (LW) hidroelektrik teknoloji ile enerji üretimi hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada yatırım maliyeti, geri ödeme süresi, enerji üretim miktarı değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirme için tesisin gerçek zamanlı operasyonel verileri ve teknik çizimlerden yararlanılmıştır. LW teknolojilerini değerlendirmek için bu çalışmada geliştirilen çok kriterli analiz aracına göre Tatlar AAT çıkışı için en uygun hidroelektrik teknolojisi, üstün çevresel ve ekonomik performansı nedeniyle Arşimet Vidası olarak bulunmuştur [17].

Bousquet ve diğ. (2017) tarafından İsviçre de kurulu bulunan atıksu arıtma tesisleri üzerinde potansiyel hidroelektrik sistemlerinin kurulabileceği yerler konusunda çalışmalar yapılmıştır. Potansiyellerin belirlenmesi için uygun metodoloji çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda 9.3 GWh/yıl enerji elde potansiyeli olan 19 nokta varlığı tespit edilmiştir. Bu noktaların 6'sı halihazırda 3.5 GWh/yıl'ı kapasiteli hidroelektrik üretimi için donatılmıştır ve önerilen metodolojiyi doğrulamıştır. [18].

Chacón ve diğ. (2020) tarafından sulama sistemlerinde mikro hidroelektrik sistemlerinin kullanılması ile elde edilebilecek geri kazanım potansiyelleri araştırılmıştır. Çalışmada üzey alanı, sulama mahsulü su gereksinimleri, yağış, evapotranspirasyon ve ortalama topografik eğim verileri kullanılarak yapak zeka modellemesi ile enerji geri kazanımları tahmin edilmeye çalışılmıştır. İspanya'nın Sevilla ve Cordoba eyaletlerinde 164.000 hektar alanım sulama sistemleri üzerinden çalışmalar yapılmıştır. 2018 sulama sezonunda mikro hidroelektrik kullanılarak geri kazanılabilecek enerji potansiyeli toplam 21,05 GWh olarak belirlenmiştir. Bu enerji miktarı, bu bölgedeki sulama sürecinin enerji tüketimini potansiyel olarak yaklaşık %12,8 oranında azaltabileceği sonucuna varılmıştır. Bu makalenin ana yeniliği, hiçbir bilginin bulunmadığı alanlarda geniş bir coğrafi ölçekte sulama şebekelerinin işletilmesinde mikro hidroelektrik kaynaklarının değerlendirilmesidir. [19].

Zheng ve diğ. (2021) tarafından Kaliforniya'da bulunan su ve atıksu alt yapı tesisleri üzerinde yapılabilecek revizyonlar ile elde edilebilecek enerji miktarları araştırılmıştır. Mevcut sistemlerin önüne yapılacak uygun düşü yüksekliğini sağlayacak depo tanklarının kullanılması hedeflenmiştir. Yeni yapılacak tanklar ile mevcut tanklar arasına kurulacak hidroelektrik türbin sistemlerinin potansiyeli ve maliyeti araştırılmıştır. Sonuçlar, uygun tesislerin teorik potansiyel enerji depolama kapasitesinin 280 MWh'nin üzerine çıkması nedeniyle önemli olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, Kaliforniya eyaletindeki su ve atık su arıtma tesislerinin gelecekteki PSH proje geliştirmeleri için yararlanılabileceği sonucuna varmaktadır. Mevcut altyapıya olan yoğun bağımlılık nedeniyle, yeni projelerin maliyetinin uygun olacağı sonucuna varılmıştır [20].

Rossi ve diğ. (2021) tarafından İtalya 'da bir şehir merkezinde su temin sisteminin pompa istasyonu yapılacak hidroelektrik sistemi ile enerji geri kazanımı potansiyelinin belirlenmesi için çalışma yapılmıştır. Teorik olarak yapılan hesaplamaların ardından kurulan Pelton türbini ile test çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonrasında hesaplamalardaki hata payının %5-7 oranında saptığı tespit edilmiştir. Bir yıl boyunca yapılan takipler ile debide olan değişiklikler ve buna bağlı olarak elde edilen enerji miktarları ve kullanılan enerji miktarları karşılaştırıldı. 475,26 MWh enerji tasarrufu yapılan çalışma sonunda elde edilmiştir. Aynı çalışmada kurulan sistemin amortisman değerleri hesaplamaları da yapılmış, söz konusu sistemin 3 yıl amortisman süresi olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada akış miktarında sağlanacak optimizasyon ile enerji üretim artırılacağı tavsiyesi sunulmuştur [21].

Kudoro (2021) tarafından Missouri/ABD eyaletinde bulunan 127 adet atıksu arıtma tesisinde mikro hidroelektrik sistemi ile enerji geri kazanım potansiyellerinin belirlenmesi üzerine araştırma yapılmıştır. Söz konusu tesisler üzerinde debi, akış hızı ve düşü miktarları baz alınarak teorik hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar türbin seçimleri ile ilişkilendirilip değerlendirilmiştir. Akışta meydana gelen dalgalanmaları en iyi karşılayan çapraz akışlı türbinler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 21 adet arıtma tesisinde maksimum güç üretme ve işletme maliyetinin düşürülme potansiyeli olduğu bulunmuştur. Finansal olarak yapılan değerlendirmede sistemin ilk yatırım maliyetini üzerinden hesaplanan geri ödeme süresi 14,62 (yaklaşık 15) yıl olarak bulunmuştur [22].

Bekker ve diğ. (2022) tarafından atık su arıtma işlerinde hidroelektrik potansiyelinin değerlendirilmesine ve arıtma tesisleri için en uygun teknolojilere odaklanarak, hidroelektrik potansiyelini değerlendiren önceki çalışmaları gözden geçirerek araştırmalardaki bu boşluğu gidermeyi amaçlamaktadır. Verilere sınırlı erişimin bir zorluk oluşturduğu durumlarda bu alışılmadık fırsatın potansiyelini ölçmek amacıyla Güney Afrika atık su arıtma çalışmalarının değerlendirilmesi için yeni bir metodoloji önerildi. Geliştirilen atık su arıtma işleri değerlendirme çerçevesi, ilde mevcut olan 130 kW-884 kW hidroelektrik potansiyelinin birinci dereceden bir tahminini belirlemek için Gauteng ilindeki tüm belediye atıksu arıtma tesislerinde uygulanmıştır. [23].

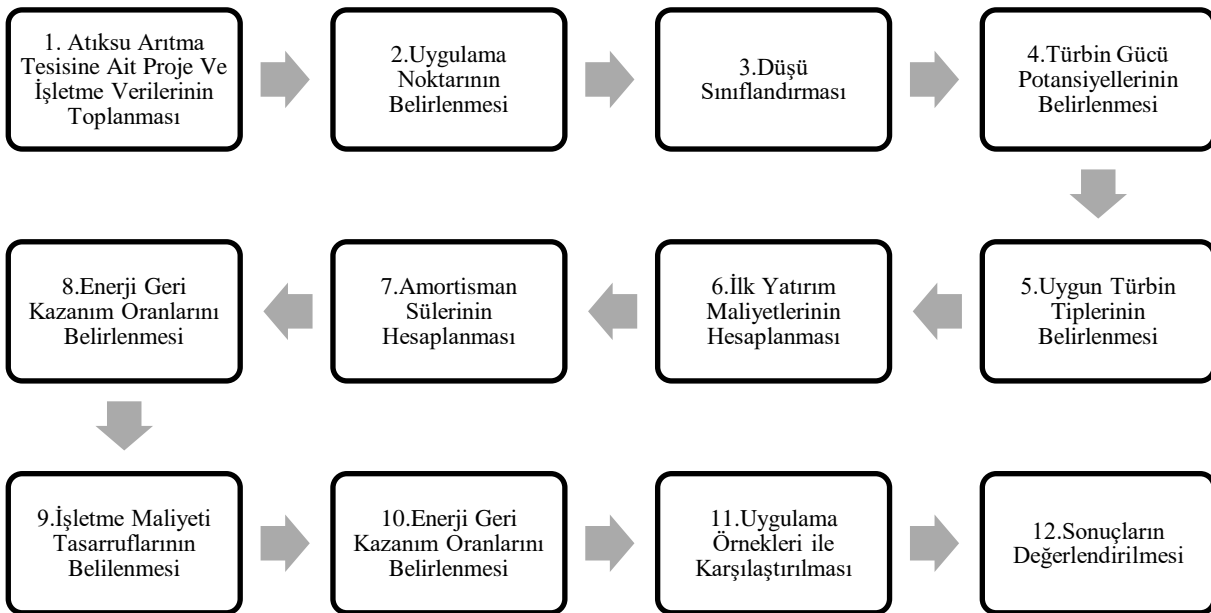
|

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. YÖNTEM

Bu tez çalışması kapsamında, İstanbul'da bulunan kentsel atıksu arıtma tesislerinin üniteler arası atıksu transferi ve deşarj bacası ile deşarj noktası arası atıksu transferi hatlarına uygulanacak olan mikro hidroelektrik sistem ile enerji geri kazanım potansiyelleri araştırılmıştır. Enerji geri kazanımını sağlayacak olan mikro hidroelektrik sisteminin tasarım modellemesi değerlendirilmiş, elde edilecek enerjinin miktarı ve verimliliği, arıtma tesisinin yıllık enerji tüketimine etkisi, kullanım yeri ve şekli yorumlanmıştır. Yapılan hesaplamalar ile tesislerin mevcut potansiyeline göre elde edilen enerjinin tesiste meydana getireceği tasarrufun değerlendirmesi yapılmıştır (Şekil 3.1).

Elde edilen enerjinin potansiyeline göre arıtma tesisinde kullanılabileceği muhtemel yerler belirlenerek işletme maliyetinde meydana getireceği tasarruf hesaplanmıştır. Aynı zamanda teorik hesaplaması yapılan sistemin uygulamada meydana getirmesi muhtemel sorunlar ve bu sorunların ortadan kaldırılması için yapılacak iyileştirmeler tartışılmıştır. İşletme esnasında muhtemel sorun kaynakları debi salınımları, türbin seçimi, türbin tasarımı, santral ve trafo sisteminin tercihi olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.1 Çalışma Akış Diyagramı

### 3.2. MODELLEME

Teorik hesaplamalarda atıksu arıtma tesislerinde rezervuar ihtiyacı olmayan mikro hidroelektrik türbinlerinin üniteler arası geçiş noktalarında ve deşarj bacısı ile deşarj noktası arasında konumlandırılacağı varsayılmıştır. Elde edilen enerji watt birimi olarak aşağıda verilen eşitlik (3.2) ile hesaplanmıştır.

$$P_{hyd} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (3.2)$$

$P_{hyd}$ , Hidrolik enerji ( $kg \cdot m^2/s^3$ )(watt)

$\rho$ , suyun spesifik yoğunluğu ( $kg/m^3$ )

$g$ , yerçekimi ivmesi ( $9,82 m/s^2$ )

$H$ , net su yüksekliği (m)

$Q$ , atıksu debisidir ( $m^3/s$ )

Net su yüksekliği suyun düşüşe başladığı nokta ile düşüşünü tamamladığı iki nokta arasındaki yükseklik farkını ifade etmektedir (eşitlik 3.3).

$$H = h_1 - h_2 \quad (3.3)$$

$h_1$ , suyun düşüşe başladığı nokta (m)

$h_2$ , suyun düşüşünü tamamladığı nokta (m)

Suyun potansiyel enerjisi türbin kanatlarına uyguladığı güç ile türbinlerde mekanik enerjiye dönüştürülmektedir. Mekanik enerji ile güç ilişkisi eşitlik 3.4'te açıklanmıştır. Enerji dönüşümüne hidrolik türbin verimliliği ( $\eta_h$ ) de etki etmektedir.

$$P_m = \eta_h \cdot P_{hyd} \quad (3.4)$$

$P_m$ , mekanik enerji (watt/saat)

$\eta_h$ , hidrolik türbin verimliliği

Enerji verimliliği ve kıyaslamalarda toplam enerji kilowatt/gün (kW/gün) ve kilowatt/ay (kW/ay) olarak kullanılmıştır.

Suyun net su yüksekliğine göre düşü sınıflandırması Tablo 3.1'e göre yapılmıştır.

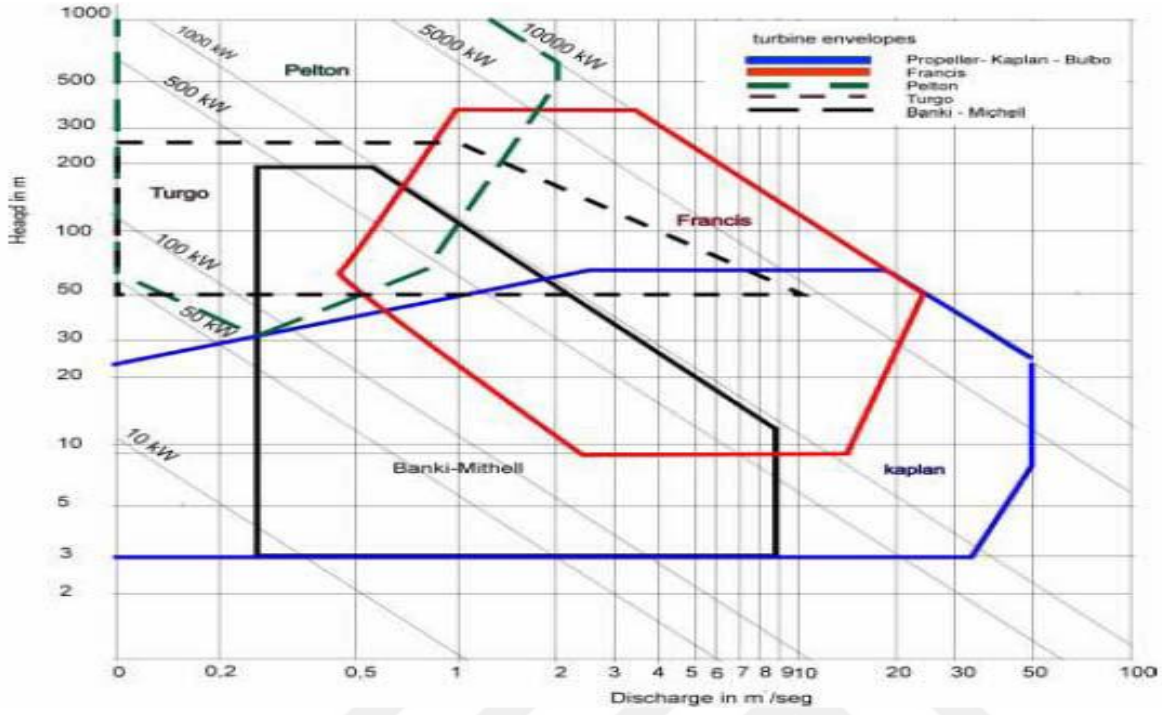
**Tablo 3.1** Net Su Yüksekliğine Göre Düşü Sınıflandırma Kriterleri

Yüksek Düşü	$H > 100$ m
Orta Düşü	$30 < H < 100$ m
Düşük Düşü	$2 < H < 30$ m

Atıksu debisi, net su yüksekliği ve potansiyel enerji miktarına göre türbin sınıflandırması Tablo 3.2'ye ve Şekil 3.2'ye göre yapılmıştır.

**Tablo 3.2** Net Su Yüksekliği ve Potansiyel Enerji Miktarına Göre Türbin Sınıflandırması

Pelton Türbinleri	Düşü	$H = 500$ m'ye kadar
	Debi	$Q = 1,5$ m <sup>3</sup> /s'ye kadar
	Güç	$Q = 5$ MW'a kadar
Francis Türbinleri	Düşü	$H = 200$ m'ye kadar
	Debi	$Q = 9$ m <sup>3</sup> /s'ye kadar
	Güç	$Q = 5$ MW'a kadar
Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri	Düşü	$H = 12$ m'ye kadar
	Debi	$Q = 20$ m <sup>3</sup> /s'ye kadar
	Güç	$Q = 3$ MW'a kadar



Şekil 3.2 Net Su Yüksekliği ve Potansiyel Enerji Miktarına Göre Türbin Sınıflandırması

### 3.3. ARITMA TESİSİ VERİLERİ VE DİĞER KABULLER

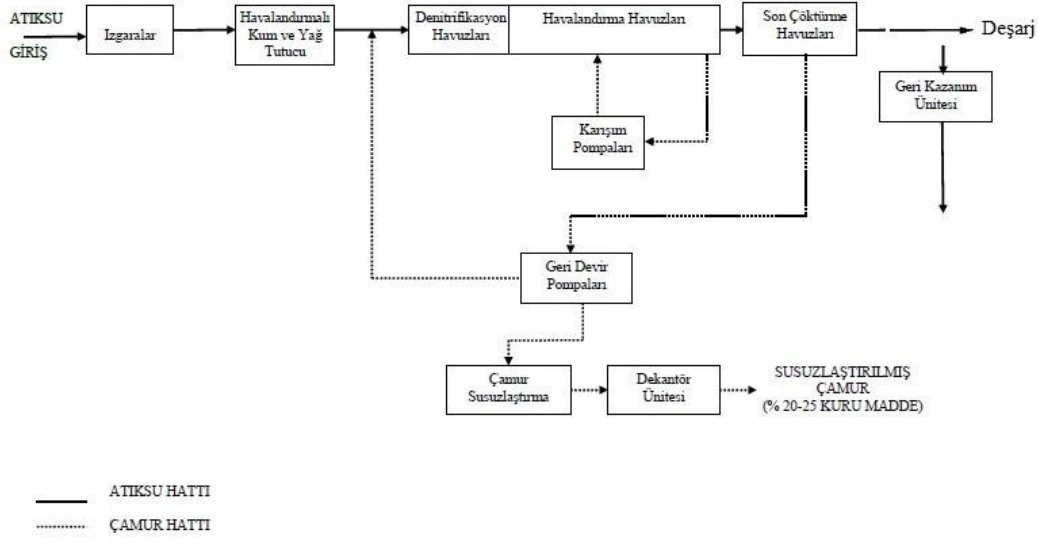
İncelemesi yapılan tesisler Marmara Bölgesi'nde kurulu bulunan 3 adet atıksu arıtma tesisidir. Tesis isimleri güvenlik ve etik değerlere uygunluk esasları gözetilerek paylaşılmamıştır. Mikro-Hidroelektrik Sistemleri ile atıksu geri kazanımı potansiyellerinin incelemesi yapılan tesislere ait bilgiler Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3 Tez Kapsamında İncelemesi Yapılacak Tesislere Ait Veriler

Tesis	Tesis Tipi	Proses Türü	Debi(m <sup>3</sup> /sn)	Aylık Enerji Kullanımı	Deşarj Yeri
1.No'lu Tesis	Kentsel AAT	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Sistemi	1,06 *	774.301,16	Alıcı Ortam
2.No'lu Tesis	Kentsel AAT	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Sistemi	0,94*	686.644,42	Alıcı Ortam
3.No'lu Tesis	Kentsel AAT	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Sistemi	0,48*	350.626,94	Alıcı Ortam

\*: Arıtma tesisi debileri günlük ortalama debilerdir. Kentsel arıtma tesislerinde saatlik debi değişimleri meydana gelebilmektedir. Hesaplamalar ortalama debiler üzerinden yapılmıştır.

Tesislere ait proses bilgisi Şekil 3.3'te verilmiştir. Her iki tesiste Tip proje olduğundan değişen proje debisine göre ünite ebatları ve pompa kapasiteleridir.



**Şekil 3.3** Tez Kapsamında İncelemesi Yapılacak Tesislere Ait Proses Akım Şemaları  
Tesislere ait teorik hesaplamaların yapıldığı üniteler arası geçiş noktaları ve deşarj bacası ile deşarj noktası arası su yükseklikleri Tablo 3.4 de verilmiştir.

**Tablo 3.4** Üniteler Arası Net Su Yükseklikleri

TESİS ADI	DEBİ (m <sup>3</sup> /sn)	ÜNİTE ÇIKIŞ (H1)	ÜNİTE GİRİŞ (H2)	ÜNİTE ÇIKIŞ KOTU (m)	ÜNİTE GİRİŞ KOTU (m)	SU SICAKLIĞI (°C)
1.No'lu Tesis	1,06	KUM TUTUCU ÇIKIŞ SAVAĞI	KUM TUTUCU ÇIKIŞ HAVUZU	15,03	14,43	20
1.No'lu Tesis	1,06	DENİTRİFİKASYON GİRİŞ YAPISI	DENİTRİFİKASYON HAVUZU	14,13	13,86	20
1.No'lu Tesis	1,06	HAVALANDIRMA HAVUZU ÇIKIŞ	ÇÖKTÜRME DAĞITIM YAPISI	13,23	13,02	20
1.No'lu Tesis	1,06	SON ÇÖKTÜRME ÇIKIŞ KANALI	DEŞARJ RÖGARI	11,81	11,24	20
1.No'lu Tesis	1,06	DEŞARJ RÖGARI	DEŞARJ NOKTASI	11,24	0,00	20
2.No'lu Tesis	0,94	KUM TUTUCU ÇIKIŞ SAVAĞI	KUM TUTUCU ÇIKIŞ HAVUZU	15,40	14,80	20
2.No'lu Tesis	0,94	DENİTRİFİKASYON GİRİŞ YAPISI	DENİTRİFİKASYON HAVUZU	14,50	14,20	20
2.No'lu Tesis	0,94	HAVALANDIRMA HAVUZU ÇIKIŞ	ÇÖKTÜRME DAĞITIM YAPISI	13,95	13,67	20
2.No'lu Tesis	0,94	SON ÇÖKTÜRME ÇIKIŞ KANALI	DEŞARJ RÖGARI	13,00	12,25	20
2.No'lu Tesis	0,94	DEŞARJ RÖGARI	DEŞARJ NOKTASI	12,25	0,00	20
3.No'lu Tesis	0,48	KUM TUTUCU ÇIKIŞ SAVAĞI	KUM TUTUCU ÇIKIŞ HAVUZU	12,55	11,85	20
3.No'lu Tesis	0,48	DENİTRİFİKASYON GİRİŞ YAPISI	DENİTRİFİKASYON HAVUZU	11,40	11,00	20
3.No'lu Tesis	0,48	HAVALANDIRMA HAVUZU ÇIKIŞ	ÇÖKTÜRME DAĞITIM YAPISI	10,86	10,42	20
3.No'lu Tesis	0,48	SON ÇÖKTÜRME ÇIKIŞ KANALI	DEŞARJ RÖGARI	10,20	9,80	20
3.No'lu Tesis	0,48	DEŞARJ RÖGARI	DEŞARJ NOKTASI	9,80	0,00	20

Hidrolik enerji hesabında kullanılan suyun spesifik yoğunluk değeri belirlenirken Tablo 3.5'te verilen değerler baz alınmıştır.

**Tablo 3.5** Suyun Spesifik Yoğunluk ve Basınç Tablosu

Sıcaklık (C°)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Cp (J/gK)	Buhar Basıncı (kPa)	Vizkozite (μPaS)	Isı İletkenliği (mW/Km)	Dielektrik Sabiti	Yüzey Gerilimi (mN/m)
0	0,99984	42.176	0.6113	1793	561.0	87.90	75.64
10	0,9997	41.921	12.281	1307	580.0	83.96	74.23
20	0,99821	41.818	23.388	1002	598.4	80.20	72.75
30	0,99565	41.784	42.455	797.7	615.4	76.60	71.20
40	0,99222	41.785	73.814	653.2	630.5	73.17	69.60
50	0,98803	41.806	12.344	547.0	643.5	69.88	67.94
60	0,9832	41.843	19.932	466.5	654.3	66.73	66.24
70	0,97778	41.895	31.176	404.0	663.1	63.73	64.47
80	0,97182	41.963	47.373	354.4	670.0	60.86	62.67
90	0,96535	42.050	70.117	314.5	675.3	58.12	60.82
100	0,9584	42.159	101.325	281.8	679.1	55.51	58.91

Türbin yatırım maliyetleri eşitlik 3.5 'te verilen formül üzerinden ve farklı türbin üretici firmaların tahmini yatırım maliyetinin verildiği Tablo 3.6'ya göre hesaplanmıştır.

$$C_{p\Gamma} = 25000 \times \left( \frac{P_m}{H^{0.35}} \right)^{0.65}, \quad H < 30m \quad (3.5)$$

$C_{pr}$ , yatırım maliyeti (£)

$P_m$ , mekanik enerji (kW)

H, net su yüksekliği (m)

**Tablo 3.6** Türbin Tiplerine Göre İlk Yatırım Maliyeti Hesap Formülleri

Türbin Tipi	Türbin Maliyeti (Euro)
Kaplan Türbinleri	$C_{p\Gamma} = 31196 \times \left( \frac{P_m^{0.42}}{H^{0.11}} \right)$
Francis Türbinleri	$C_{p\Gamma} = 25698 \times \left( \frac{P_m^{0.44}}{H^{0.18}} \right)$
Propeller Türbinleri	$C_{p\Gamma} = 19498 \times \left( \frac{P_m^{0.42}}{H^{0.11}} \right)$

Teorik hesaplamaları yapılan mikro hidroelektrik sistemlerinin amortisman süresi eşitlik 3.6'ya göre yapılmıştır.

$$A.S. = \frac{C_{pr}}{P_m \times f} , \quad (3.6)$$

A.S., Amortisman Süresi (yıl)

$P_m$ , mekanik enerji (kW/yıl)

$C_{pr}$ , yatırım maliyeti (₺)

f, birim elektrik maliyeti (₺/kWsa)

Birim elektrik maliyeti güncel arıtma tesisleri için 2,82 ₺/kWsa olarak baz alınmıştır. ]

## 4. BULGULAR

[Atıksu arıtma tesislerine ait veriler üzerinden yapılan ilk inceleme ile Mikro HES sisteminin kurulabileceği noktalar belirlenmiştir. Uygulama noktalarına ait düşü sınıflandırması yapılarak potansiyel türbin güçleri hesaplanmıştır. Uygulama noktalarına en uygun türbin tipleri belirlenmiştir. Kurulacak olan Mikro HES sistemlerinin ilk yatırım maliyeti belirlenmiştir. İlk yatırım maliyetine göre amortisman süreleri hesaplanmış ve işletmede sağlanacak enerji geri kazanım oranları hesaplanmıştır.

Her bir tesis içerisinde 5 ayrı nokta olmak üzere 3 tesis için 15 ayrı uygulama noktası belirlenmiştir.

### 4.1 DÜŞÜ SINIFLANDIRMALARI

Uygulama noktalarının düşü sınıflandırması için eşitlik 3.3 kullanış ve çıkan sonuçlar Tablo 3.1'e göre değerlendirilmiştir.

UN-1.1: Uygulama Noktası 1. Tesis 1 Numara için hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

$$H=h_1-h_2 \quad (3.3)$$

$h_1$ , suyun düşüğe başladığı nokta (m)

$h_2$ , suyun düşüşünü tamamladığı nokta (m)

$h_1= 15,03$  m

$h_2=14,43$  m 'dir.

$$H=h_1-h_2 = 15,03-14,43 = 0,6 \text{ m olarak bulunmuştur.}$$

Tablo 3.1'e göre bulunan  $H=0,6$  m değeri verilen aralıklar dışında kaldığından değerlendirme dışı tutulmuştur.

UN-1.5: Uygulama Noktası 1. Tesis 5 Numara için hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

$$H=h_1-h_2 \quad (3.3)$$

$h_1$ , suyun düşüşe başladığı nokta (m)

$h_2$ , suyun düşüşünü tamamladığı nokta (m)

$h_1 = 11,04$  m

$h_2 = 0,00$  m 'dir.

$H = h_1 - h_2 = 11,24 - 0,00 = 11,24$  m olarak bulunmuştur.

Tablo 3.1'e göre bulunan  $H = 11,24$  m değeri verilen aralıklar içerisinde düşük düşü sınıfına girmektedir.

Diğer tüm noktalar için hesaplamalar tekrarlanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.1'de verilmiştir.

**Tablo 4.1** Uygulama Noktaları Düşü Sınıflandırma Sonuçları Tablosu

UYGULAMA NOKTASI	AÇIKLAMA	ÜNİTE ÇIKIŞ KOTU (m) ( $h_1$ )	ÜNİTE GİRİŞ KOTU (m) ( $h_2$ )	NET DÜŞÜ YÜKSEKLİĞİ (m) (H)	DÜŞÜ TİPİ
UN-1.1	1.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	15,03	14,43	0,60	Değerlendirme Dışı
UN-1.2	1.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	14,13	13,86	0,27	Değerlendirme Dışı
UN-1.3	1.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	13,23	13,02	0,21	Değerlendirme Dışı
UN-1.4	1.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	11,81	11,24	0,57	Değerlendirme Dışı
UN-1.5	1.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	11,24	0,00	11,24	Düşük Düşü
UN-2.1	2.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	15,4	14,80	0,60	Değerlendirme Dışı
UN-2.2	2.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	14,5	14,20	0,30	Değerlendirme Dışı
UN-2.3	2.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	13,95	13,67	0,28	Değerlendirme Dışı
UN-2.4	2.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	13	12,25	0,75	Değerlendirme Dışı

**Tablo 4.1 (Devam):**

UN-2.5	2.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	12,25	0,00	12,25	Düşük Düşü
UN-3.1	3.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	12,55	11,85	0,70	Değerlendirme Dışı
UN-3.2	3.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	11,4	11,00	0,40	Değerlendirme Dışı
UN-3.3	3.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	10,86	10,42	0,44	Değerlendirme Dışı
UN-3.4	3.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	10,2	9,80	0,40	Değerlendirme Dışı
UN-3.5	3.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	9,8	0,00	9,80	Düşük Düşü

1, 2 ve 3 nolu tesis üzerinde yapılan incelemelerde düşü yükseklik farkının en yüksek olduğu nokta 5 numaralı uygulama noktaları olarak bulunmuştur. 5 numaralı uygulama noktaları haricindeki diğer uygulama noktalarındaki düşü yüksekliği değerlendirme dışında kalmıştır. 5 numaralı uygulama noktasının ise düşük düşü sınıfında girdiği görülmüştür.

#### **4.2 MİKRO HES POTANSİYELLERİ VE UYGULANABİLECEK TÜRBİN SEÇİMİ**

Uygulama noktalarından elde edilecek enerji miktarının belirlenmesi için eşitlik 3.2 ve eşitlik 3.4 kullanıştır. Çıkan sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir.

UN-1.1 : Uygulama Noktası 1. Tesis 1 Numara için hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

$$P_{hyd} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (3.2)$$

$$P_m = \eta_h \cdot P_{hyd} \quad (3.4)$$

$P_{hyd}$ , Hidrolik enerji (kg.m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>)(watt)

$\rho$ , suyun spesifik yoğunluğu(kg/m<sup>3</sup>)

$g$ , yerçekimi ivmesi (9,82 m/s<sup>2</sup>)

H, net su yüksekliği (m)

Q, atıksu debisidir (m<sup>3</sup>/s)

P<sub>m</sub>, mekanik enerji (watt/saat)

η<sub>h</sub>, hidrolik türbin verimliliği

Enerji verimliliği ve kıyaslamalarda toplam enerji kilowatt/gün (kW/gün) ve kilowatt/ay (kW/ay) olarak kullanılmıştır.

ρ= 998,21 kg/m<sup>3</sup> , 20 °C

g=9,82 m/s<sup>2</sup>

H=0,6 m

Q=1,06 m<sup>3</sup>/s

Hesaplamalarda kullanılan debiler ortalama debidir. Arıtma tesislerinde saatlik debi salınımları olmaktadır. Elde edilen sonuçlarda saatlik debi salınımlarından kaynaklı değişiklikler olacağından arıtma tesislerinde meydana gelen saatlik debi salınımları ihmal edilmiştir.

$P_{hyd} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$

$$= (998,21) \cdot (9,82) \cdot (0,6) \cdot (1,06)$$

$P_{hyd} = 6227,99$  watt

η<sub>h</sub> = 0,8 (%80) kabul edilmiştir.

$P_m = \eta_h \cdot P_{hyd}$

$$= (0,8) \cdot (6227,99)$$

$P_m = 4982,30$  watt/sa

$P_m = 4,98$  kW/sa,

$P_m=119,58$  kW/gün

$P_m=3587,32$  kW/ay olarak bulunmuştur.

Uygulama noktalarından kullanılabilir türbin tipinin belirlenmesi için Tablo 3.2 ve Şekil 3.2 kullanılmıştır.

$P_m=4,98$  kW/sa ,  $H=0,6$  m ,  $Q=1,06$  m<sup>3</sup>/s değerleri için Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri'nin üçü de kullanılabilir.

Diğer tüm noktalar için hesaplamalar tekrarlanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir.

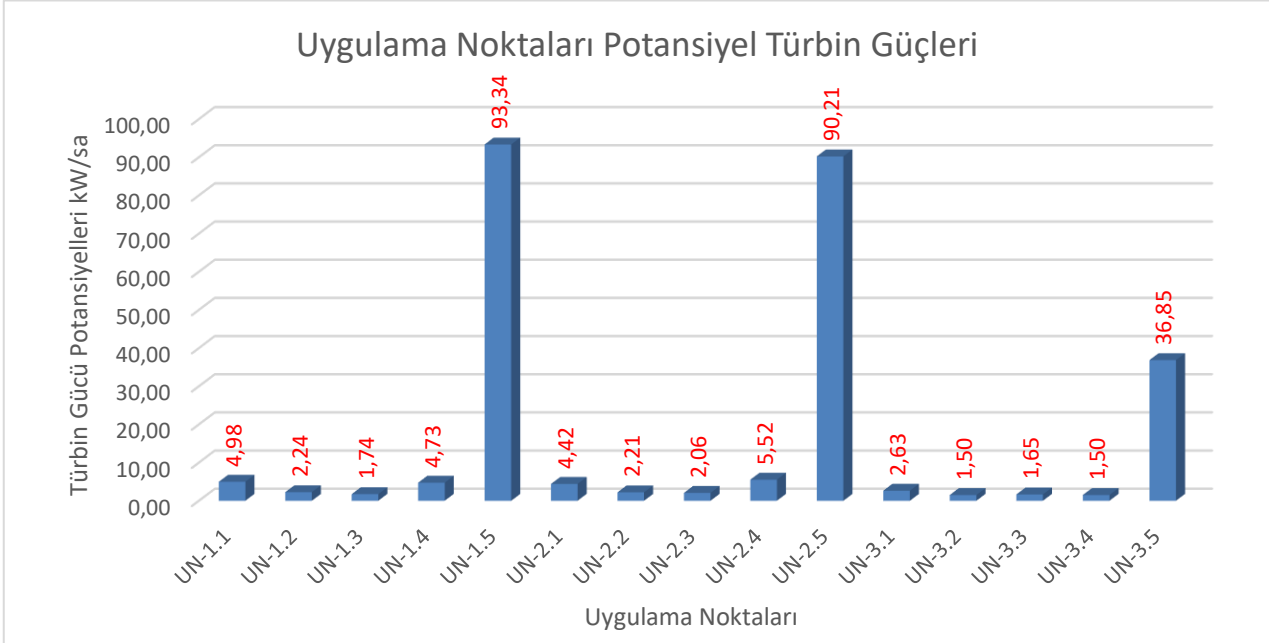
**Tablo 4.2** Uygulama Noktalarına Göre Uygulanabilir Türbin Tipleri Tablosu

UYGULAMA NOKTASI	AÇIKLAMA	DEBİ (m <sup>3</sup> /sn)	NET DÜŞÜ YÜKSEKLİĞİ (m)	TÜRBİN GÜCÜ (P <sub>m</sub> ) (kw/saat)	TÜRBİN GÜCÜ (P <sub>m</sub> ) (kw/ay)	UYGUN TÜRBİN TİPİ
UN-1.1	1.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	1,06	0,6	4,98	3587,32	Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri
UN-1.2	1.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	1,06	0,27	2,24	1614,30	Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri
UN-1.3	1.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	1,06	0,21	1,74	1255,56	Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri
UN-1.4	1.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	1,06	0,57	4,73	3407,96	Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri
UN-1.5	1.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	1,06	11,24	93,34	67202,52	Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri
UN-2.1	2.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	0,94	0,6	4,42	3181,21	Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri
UN-2.2	2.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	0,94	0,3	2,21	1590,61	Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri
UN-2.3	2.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	0,94	0,28	2,06	1484,57	Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri

**Tablo 4.2 (devam):**

UN-2.4	2.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	0,94	0,75	5,52	3976,51	Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri
UN-2.5	2.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	0,94	12,25	90,21	64949,73	Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri
UN-3.1	3.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	0,48	0,7	2,63	1895,19	Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri
UN-3.2	3.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	0,48	0,4	1,50	1082,97	Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri
UN-3.3	3.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	0,48	0,44	1,65	1191,26	Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri
UN-3.4	3.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	0,48	0,4	1,50	1082,97	Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri
UN-3.5	3.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	0,48	9,8	36,85	26532,66	Pelton /Francis/Çift Regülasyonlu Standart Kaplan Türbinleri

Yapılan hesaplamalar ve değerlendirmeler sonucunda Tablo 4.2 'de de görüleceği üzere tüm uygulama noktalarına belirlenen 3 ana türbin tipide uymaktadır.



**Şekil 4.1** Uygulama Noktaları Potansiyel Türbin Güçleri

Şekil 4.1'de görüleceği üzere debi miktarları aynı olmasına rağmen düşü miktarına bağlı olarak türbin gücü potansiyelleri arasında oldukça farklı değerler çıkmaktadır. Seçilecek olan türbin tipi elde edilecek enerji miktarında bir değişikliğe neden olmayacağından türbin tipini belirleyecek olan faktör ilk yatırım maliyeti ve amortisman süresi olacaktır.

### 4.3 İLK YATIRIM MALİYETİ

Uygulama noktalarından kurulacak mikro hidroelektrik sisteminin ilk yatırım maliyetinin belirlenmesi için eşitlik 3.5 ve Tablo 3.6 kullanılmıştır. Çıkan sonuçlar Tablo 4.3'te verilmiştir.

UN-1.1 : Uygulama Noktası 1. Tesis 1 Numara için hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

$$C_{PR} = 25000 \times \left( \frac{P_m}{H^{0.35}} \right)^{0.65}, \quad H < 30m \quad (3.5)$$

$C_{pr}$ , yatırım maliyeti (£)

$P_m$ , mekanik enerji (kW)

$H$ , net su yüksekliği (m)

$$P_m=4,98 \text{ kw/sa}$$

$$H= 0,6 \text{ m}$$

Pelton Türbini Yatırım Maliyeti hesabı:

$$C_{PT} = 25000 \times \left( \frac{P_m}{H^{0,35}} \right)^{0,65}, \quad H < 30\text{m}$$

$$C_{PT} = 25000 \times \left( \frac{4,98}{0,6^{0,35}} \right)^{0,65}$$

$C_{PT} = 79.752,69 \text{ £}$  olarak bulunmuştur.

Kaplan Türbini Yatırım Maliyeti hesabı:

$$C_{PT} = 31196 \times \left( \frac{P_m^{0,42}}{H^{0,11}} \right)$$

$$C_{PT} = 31196 \times \left( \frac{4,98^{0,42}}{0,6^{0,11}} \right)$$

$C_{PT} = 64.777,81 \text{ €}$  olarak bulunmuştur.

Francis Türbini Yatırım Maliyeti hesabı:

$$C_{PT} = 25698 \times \left( \frac{P_m^{0,44}}{H^{0,18}} \right)$$

$$C_{PT} = 25698 \times \left( \frac{4,98^{0,44}}{0,6^{0,18}} \right)$$

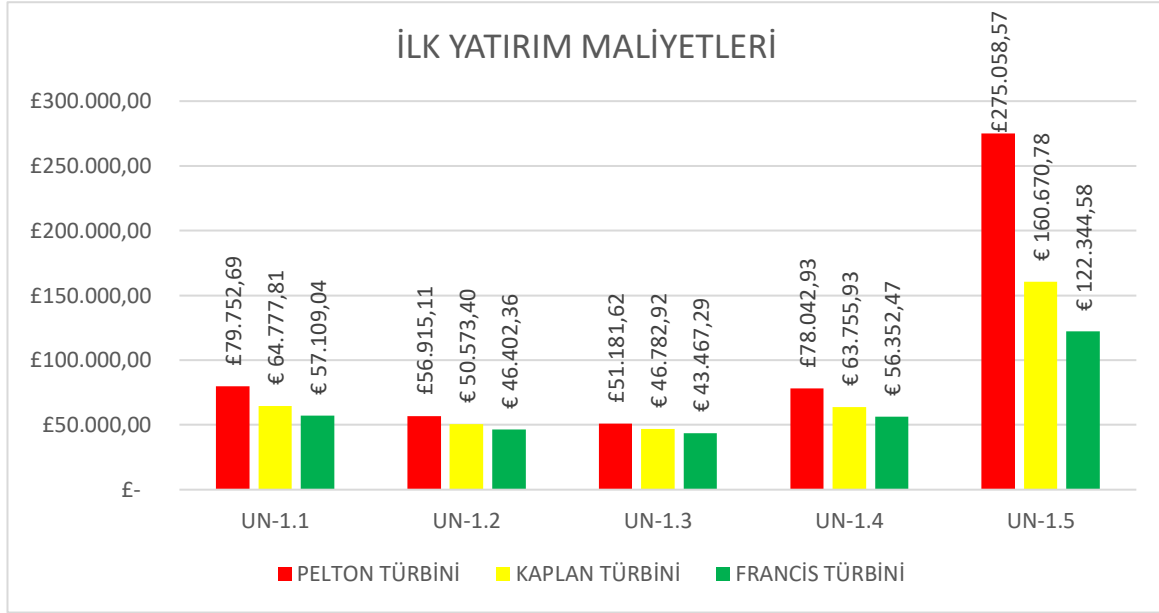
$C_{PT} = 57.109,04 \text{ €}$  olarak bulunmuştur.

Diğer tüm noktalar için hesaplamalar tekrarlanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.3 'te verilmiştir.

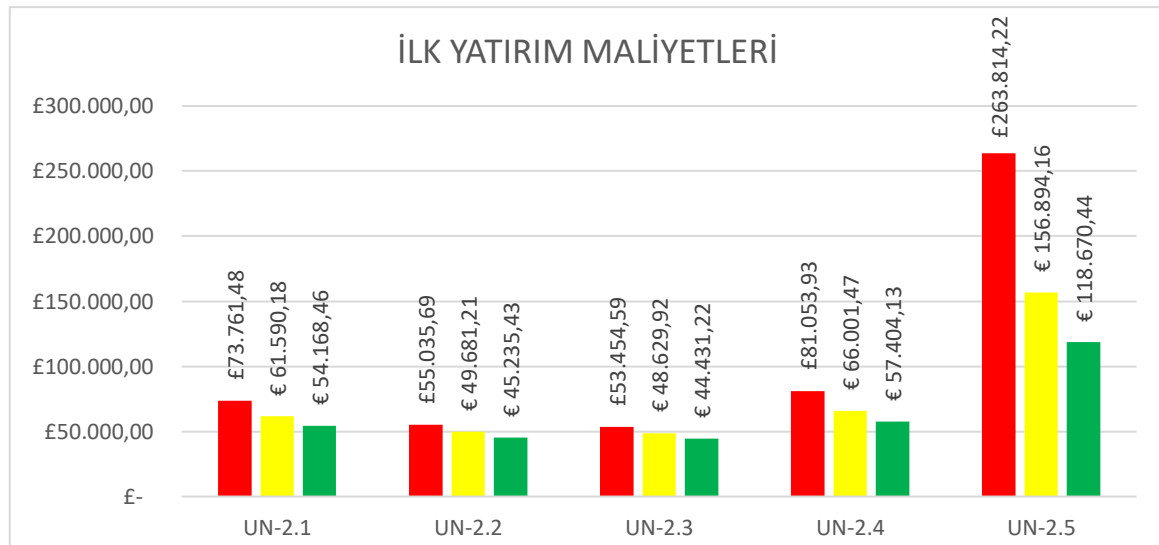
**Tablo 4.3** Uygulama Noktalarına Göre İlk Yatırım Maliyetleri

UYGULAMA NOKTASI	AÇIKLAMA	TÜRBİN GÜCÜ (Pm) (kw/saat)	NET DÜŞÜ YÜKSEKLİĞİ (H) (m)	YATIRIM MALİYETİ (PELTON) (£)	YATIRIM MALİYETİ (KAPLAN) (€)	YATIRIM MALİYETİ (FRANCIS) (€)
UN-1.1	1.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	4,98	0,6	79.752,69	64.777,81	57.109,04
UN-1.2	1.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	2,24	0,27	56.915,11	50.573,40	46.402,36
UN-1.3	1.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	1,74	0,21	51.181,62	46.782,92	43.467,29
UN-1.4	1.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	4,73	0,57	78.042,93	63.755,93	56.352,47
UN-1.5	1.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	93,34	11,24	275.058,57	160.670,78	122.344,58
UN-2.1	2.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	4,42	0,6	73.761,48	61.590,18	54.168,46
UN-2.2	2.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	2,21	0,3	55.035,69	49.681,21	45.235,43
UN-2.3	2.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	2,06	0,28	53.454,59	48.629,92	44.431,22
UN-2.4	2.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	5,52	0,75	81.053,93	66.001,47	57.404,13
UN-2.5	2.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	90,21	12,25	263.814,22	156.894,16	118.670,44
UN-3.1	3.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	2,63	0,7	50.861,40	48.716,11	41.949,09
UN-3.2	3.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	1,50	0,4	40.151,78	40.957,25	36.268,76
UN-3.3	3.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	1,65	0,44	41.801,62	42.185,44	37.178,75
UN-3.4	3.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	1,50	0,4	40.151,78	40.957,25	36.268,76
UN-3.5	3.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	36,85	9,8	155.105,58	110.400,82	83.313,59

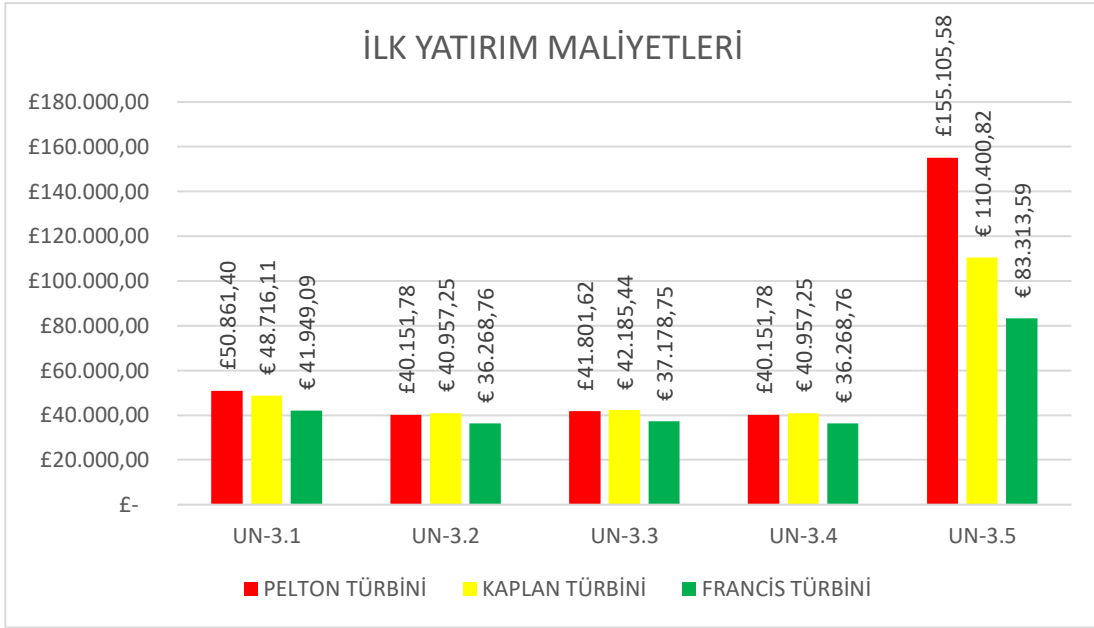
Tablo 4.3'te görüleceği üzere şartların uygulama noktalarında aynı olmasına rağmen Pelton türbininin ilk yatırım maliyeti tüm uygulama noktalarına göre diğer türbin tiplerine kıyasla en yüksek ilk yatırım maliyetine sahip türbin tipi olarak gözükmektedir. En düşük yatırım maliyeti olarak Francis türbinleri olarak bulunmuştur.



**Şekil 4.2** 1 Numaralı Tesis İçin Uygulama Noktaları İlk Yatırım Maliyetleri



**Şekil 4.3** 2 Numaralı Tesis İçin Uygulama Noktaları İlk Yatırım Maliyetleri



**Şekil 4.4** 3 Numaralı Tesis İçin Uygulama Noktaları İlk Yatırım Maliyetleri

Tüm tesisler için ayrı ayrı verilen ilk yatırım maliyeti Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.'ten görüleceği üzere, tüm uygulama noktalarında Pelton türbinlerinin maliyeti her değerlendirmede yüksek çıkmaktadır. İlk yatırım maliyetlerinin uygulama noktalarında farklılık göstermesinin en temel nedeni maliyet analizinin türbin gücü potansiyeline göre değişmesidir. Türbin gücü potansiyeli yüksek olan noktaların ilk yatırım maliyeti de doğru orantılı olarak artmaktadır.

İlk yatırım maliyetine bakılarak hangi türbin tipinin uygulanabilir olduğunun belirlenmesinde eldeki veriler yetersiz kalmaktadır. Teorik hesaplamalarda ilk yatırım maliyeti uygun olan türbinin uygulamada hesaplanan teorideki şekli ile saha uyumu da göz önünde bulundurulmak zorundadır.

Tüm noktalar için hesaplanacak amortisman süreleri sonucunda uygulanacak türbin tipi seçimi yapılabilir.

#### 4.4 AMORTİSMAN SÜRELERİ

Uygulama noktalarından kurulacak mikro hidroelektrik sisteminin amortisman süresinin belirlenmesi için eşitlik 3.6 kullanıştır. Çıkan sonuçlar Tablo 4.4'te verilmiştir.

UN-1.1 : Uygulama Noktası 1. Tesis 1 Numara için hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

$$A.S. = \frac{C_{pr}}{P_m \times f} , \quad (3.6)$$

A.S., Amortisman Süresi (yıl)

$P_m$ , mekanik enerji (kW/yıl)

$C_{pr}$ , yatırım maliyeti (₺)

$f$ , birim elektrik maliyeti (₺/kWsa)

Birim elektrik maliyeti güncel arıtma tesisleri için 2,82 ₺/kWsa olarak baz alınmıştır.

Yatırım maliyeti birim değişimlerinde £/ ₺= 19,25 ve €/ ₺= 16,35 olarak baz alınmıştır.

Amortisman süreleri hesaplanırken tüm türbin tiplerine göre ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$A.S. = \frac{C_{pr}}{P_m \times f}$$

$C_{pr}$ , = 1.535.239,20 (₺)

$P_m$ , 43047,88 (kW/yıl)

$f$ ,= 2,82 ₺/kWsa

$$A.S. = \frac{1.535.239,20}{(43047,88) \times 2,82}$$

$A.S. = 12,6$  (yıl) olarak bulunmuştur.

Diğer tüm noktalar için hesaplamalar tekrarlanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.4, Tablo 4.5, Tablo 4.6'da verilmiştir.

**Tablo 4.4** Uygulama Noktalarına Göre Pelton Türbini Amortisman Süreleri

UYGULAMA NOKTASI	AÇIKLAMA	TÜRBİN GÜCÜ (Pm)(kw/yıl)	YATIRIM MALİYETİ (₺) (PELTON)	ELEKTRİK BİRİM FİYATI (₺/kWsa)	AMORTİSMAN SÜRESİ(YIL)
UN-1.1	1.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	43.047,88	1.535.239,20	2,82	12,6
UN-1.2	1.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	19.371,55	1.095.615,93	2,82	20,1
UN-1.3	1.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	15.066,76	985.246,27	2,82	23,2
UN-1.4	1.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	40.895,49	1.502.326,31	2,82	13,0
UN-1.5	1.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	806.430,29	5.294.877,46	2,82	2,3
TÜM UYGULAMA NOKTALARI	1.No'lu Tesis Tüm Uygulama Noktaları	924.811,96	10.413.305,16	2,82	4,0
UN-2.1	2.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	38.174,54	1.419.908,45	2,82	13,2
UN-2.2	2.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	19.087,27	1.059.437,08	2,82	19,7
UN-2.3	2.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	17.814,78	1.029.000,79	2,82	20,5
UN-2.4	2.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	47.718,17	1.560.288,20	2,82	11,6
UN-2.5	2.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	779.396,76	5.078.423,76	2,82	2,3
TÜM UYGULAMA NOKTALARI	2.No'lu Tesis Tüm Uygulama Noktaları	902.191,51	10.147.058,27	2,82	4,0
UN-3.1	3.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	22.742,28	979.081,99	2,82	15,3
UN-3.2	3.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	12.995,59	772.921,67	2,82	21,1
UN-3.3	3.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	14.295,15	804.681,27	2,82	20,0
UN-3.4	3.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	12.995,59	772.921,67	2,82	21,1
UN-3.5	3.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	318.391,87	2.985.782,41	2,82	3,3
TÜM UYGULAMA NOKTALARI	3.No'lu Tesis Tüm Uygulama Noktaları	381.420,46	6.315.389,02	2,82	5,9

Pelton türbinlerinin ilk yatırım maliyetine göre hesaplanmış olan amortisman süreleri incelendiğinde en düşük 2,3 yıl en yüksek ise 23,2 yıl olarak çıkmaktadır. Kabul edilebilir amortisman süreleri 0-3 yıl kesin uygulanabilir, 3-5 yıl uygulanabilir ve 5<yıl uygulanamaz olarak değerlendirildiğinde pelton türbini tercih edilirse 2 uygulama noktasının kesin uygulanabilir, 1 uygulama noktasının uygulanabilir çıktığı bulunmuştur. Diğer uygulama noktalarının ise uygulanamaz olarak çıktığı bulunmuştur.

**Tablo 4.5** Uygulama Noktalarına Göre Kaplan Türbini Amortisman Süreleri

UYGULAMA NOKTASI	AÇIKLAMA	TÜRBİN GÜCÜ (Pm)(kw/yıl)	YATIRIM MALİYETİ (₺) (KAPLAN)	ELEKTRİK BİRİM FİYATI (₺/kWsa)	AMORTİSMAN SÜRESİ(YIL)
UN-1.1	1.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	43.047,88	1.059.117,15	2,82	8,7
UN-1.2	1.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	19.371,55	826.875,04	2,82	15,1
UN-1.3	1.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	15.066,76	764.900,77	2,82	18,0
UN-1.4	1.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	40.895,49	1.042.409,40	2,82	9,0
UN-1.5	1.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	806.430,29	2.626.967,33	2,82	1,2
TÜM UYGULAMA NOKTALARI	1.No'lu Tesis Tüm Uygulama Noktaları	924.811,96	6.320.269,69	2,82	2,4
UN-2.1	2.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	38.174,54	1.006.999,46	2,82	9,4
UN-2.2	2.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	19.087,27	812.287,82	2,82	15,1
UN-2.3	2.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	17.814,78	795.099,24	2,82	15,8
UN-2.4	2.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	47.718,17	1.079.123,97	2,82	8,0
UN-2.5	2.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	779.396,76	2.565.219,53	2,82	1,2
TÜM UYGULAMA NOKTALARI	2.No'lu Tesis Tüm Uygulama Noktaları	902.191,51	6.258.730,02	2,82	2,5

**Tablo 4.5 (devam):**

UN-3.1	3.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	22.742,28	796.508,41	2,82	12,4
UN-3.2	3.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	12.995,59	669.651,07	2,82	18,3
UN-3.3	3.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	14.295,15	689.731,88	2,82	17,1
UN-3.4	3.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	12.995,59	669.651,07	2,82	18,3
UN-3.5	3.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	318.391,87	1.805.053,40	2,82	2,0
TÜM UYGULAMA NOKTALARI	3.No'lu Tesis Tüm Uygulama Noktaları	381.420,46	4.630.595,83	2,82	4,3

Kaplan türbinlerinin ilk yatırım maliyetine göre hesaplanmış olan amortisman süreleri incelendiğinde en düşük 1,2 yıl en yüksek ise 18,3 yıl olarak çıkmaktadır. Kabul edilebilir amortisman süreleri 0-3 yıl kesin uygulanabilir, 3-5 yıl uygulanabilir ve 5<yıl uygulanamaz olarak değerlendirildiğinde Kaplan türbini tercih edilirse 3 uygulama noktasının kesin uygulanabilir çıktığı bulunmuştur. Diğer uygulama noktalarının ise uygulanamaz olarak çıktığı bulunmuştur.

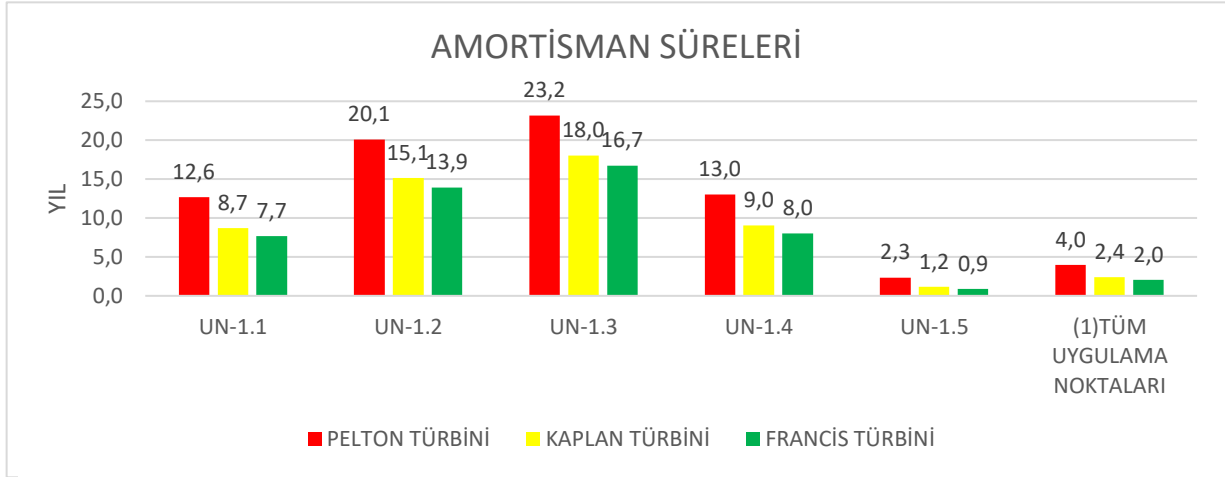
**Tablo 4.6 Uygulama Noktalarına Göre Francis Türbini Amortisman Süreleri**

UYGULAMA NOKTASI	AÇIKLAMA	TÜRBİN GÜCÜ (Pm)(kw/yıl)	YATIRIM MALİYETİ (₺) (FRANCIS)	ELEKTRİK BİRİM FİYATI (₺/kWh)	AMORTİSMAN SÜRESİ(YIL)
UN-1.1	1.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	43.047,88	933.732,74	2,82	7,7
UN-1.2	1.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	19.371,55	758.678,61	2,82	13,9
UN-1.3	1.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	15.066,76	710.690,12	2,82	16,7
UN-1.4	1.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	40.895,49	921.362,91	2,82	8,0
UN-1.5	1.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	806.430,29	2.000.333,94	2,82	0,9
TÜM UYGULAMA NOKTALARI	1.No'lu Tesis Tüm Uygulama Noktaları	924.811,96	5.324.798,33	2,82	2,0

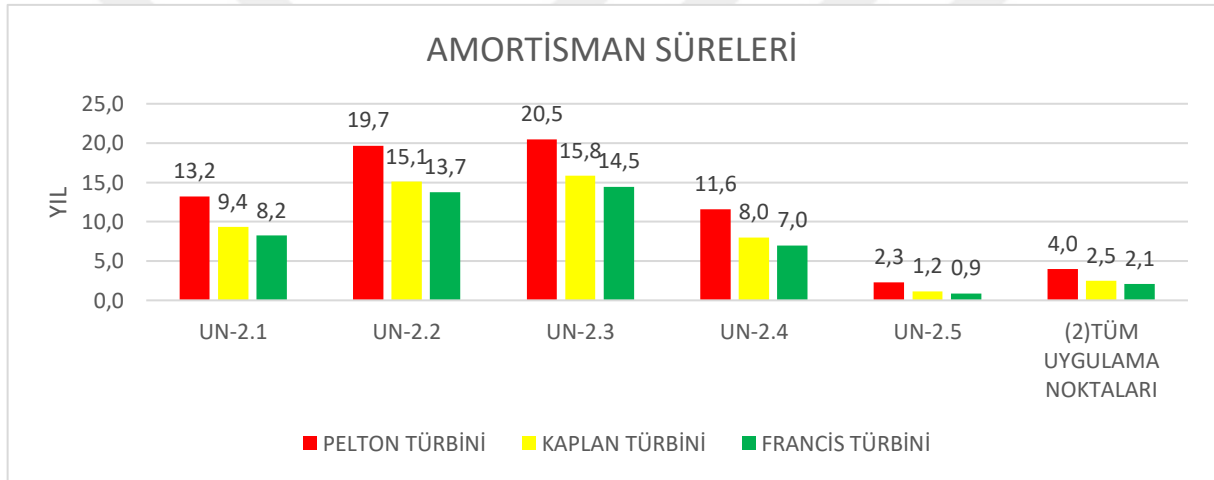
**Tablo 4.6 (devam):**

UN-2.1	2.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	38.174,54	885.654,36	2,82	8,2
UN-2.2	2.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	19.087,27	739.599,25	2,82	13,7
UN-2.3	2.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	17.814,78	726.450,50	2,82	14,5
UN-2.4	2.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	47.718,17	938.557,46	2,82	7,0
UN-2.5	2.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	779.396,76	1.940.261,75	2,82	0,9
TÜM UYGULAMA NOKTALARI	2.No'lu Tesis Tüm Uygulama Noktaları	902.191,51	5.230.523,32	2,82	2,1
UN-3.1	3.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	22.742,28	685.867,65	2,82	10,7
UN-3.2	3.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	12.995,59	592.994,17	2,82	16,2
UN-3.3	3.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	14.295,15	607.872,54	2,82	15,1
UN-3.4	3.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	12.995,59	592.994,17	2,82	16,2
UN-3.5	3.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	318.391,87	1.362.177,20	2,82	1,5
TÜM UYGULAMA NOKTALARI	3.No'lu Tesis Tüm Uygulama Noktaları	965.220,11	7.710.251,84	2,82	2,8

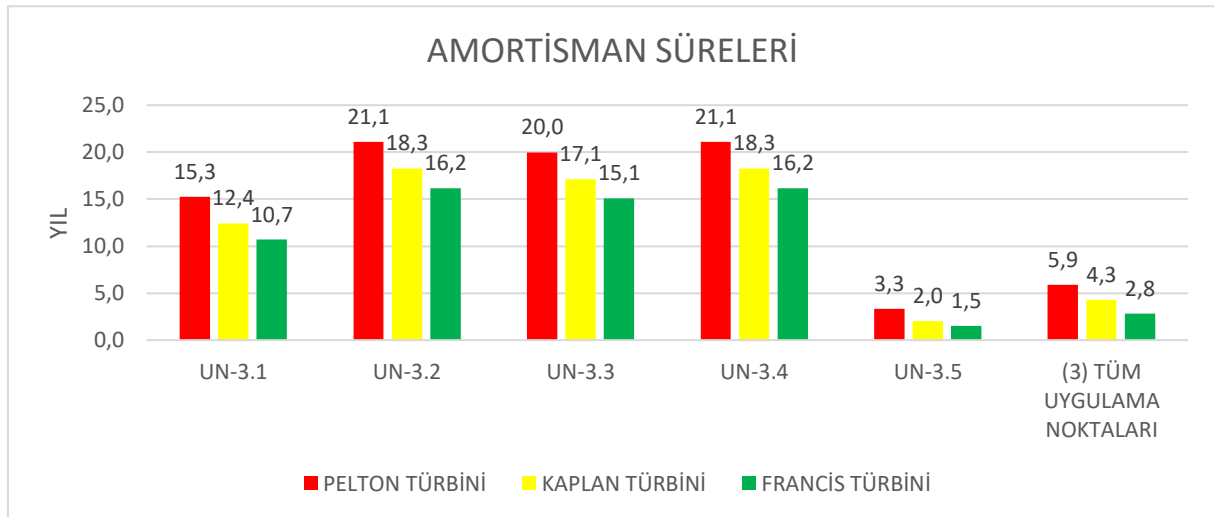
Francis türbinlerinin ilk yatırım maliyetine göre hesaplanmış olan amortisman süreleri incelendiğinde en düşük 0,9 yıl en yüksek ise 16,7 yıl olarak çıkmaktadır. Kabul edilebilir amortisman süreleri 0-3 yıl kesin uygulanabilir, 3-5 yıl uygulanabilir ve 5<yıl uygulanamaz olarak değerlendirildiğinde Francis türbini tercih edilirse 3 uygulama noktasının kesin uygulanabilir çıktığı bulunmuştur. Diğer uygulama noktalarının da ise amortisman süresi değerlendirildiğinde Francis türbini uygulanamaz olarak bulunmuştur.



**Şekil 4.7** 1 Numaralı Tesis Türbin Tiplerine Göre Amortisman Süreleri



**Şekil 4.6** 2 Numaralı Tesis Türbin Tiplerine Göre Amortisman Süreleri



**Şekil 4.5** 3 Numaralı Tesis Türbin Tiplerine Göre Amortisman Süreleri

3 tesis için de ayrı ayrı verilen amortisman sürelerine ait grafikler incelendiğinde pelton türbinlerinin amortisman sürelerinin diğer türbin tiplerine göre her nokta için yüksek çıktığı bulunmuştur. Bu durumun en temel nedeni olarak ilk yatırım maliyetinin diğer türbinlere göre daha yüksek çıkmasıdır.

#### 4.5 ENERJİ GERİ KAZANIM ORANLARI

Uygulama noktalarından kurulacak mikro hidroelektrik sistemleri ile elde edilecek enerji miktarları tesiste kullanılan enerji miktarına kıyasla geri kazanım oranları hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar Tablo 4.7’de verilmiştir.

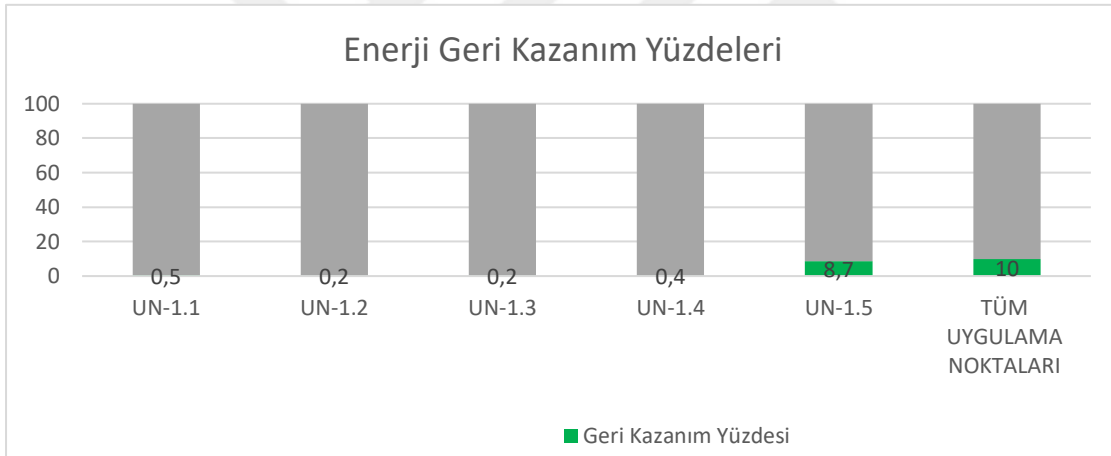
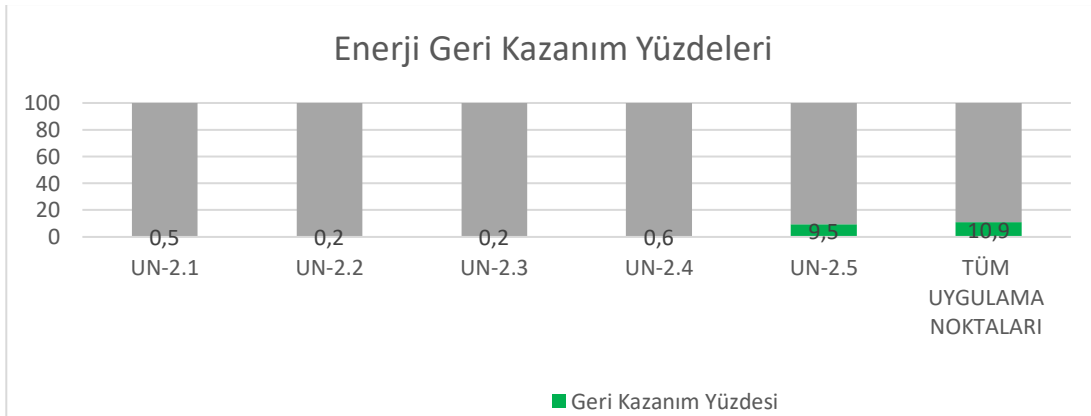
**Tablo 4.7** Uygulama Noktalarına Göre Enerji Geri Kazanım Oranları

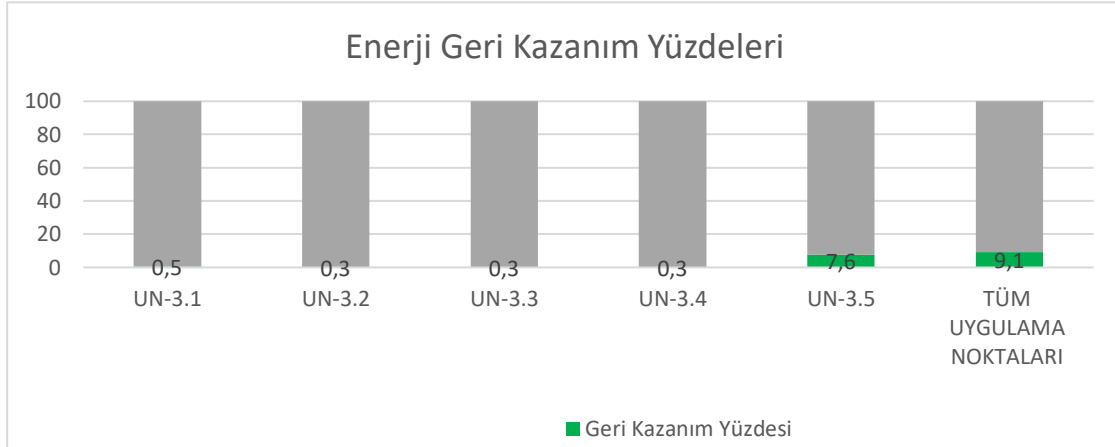
UYGULAMA NOKTASI	AÇIKLAMA	TÜRBİN GÜCÜ (Pm) (kw/ay)	TESİS ENERJİ KULLANIMI (kw/ay)	ENERJİ GERİ KAZANIM ORANI (%)
UN-1.1	1.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	3.587,32	774.301,16	0,5%
UN-1.2	1.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	1.614,30	774.301,16	0,2%
UN-1.3	1.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	1.255,56	774.301,16	0,2%
UN-1.4	1.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	3.407,96	774.301,16	0,4%
UN-1.5	1.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	67.202,52	774.301,16	8,7%
TÜM UYGULAMA NOKTALARI	1.No'lu Tesis Tüm Uygulama Noktaları	77.067,66	774.301,16	10,0%
UN-2.1	2.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	3.181,21	686.644,42	0,5%
UN-2.2	2.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	1.590,61	686.644,42	0,2%
UN-2.3	2.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	1.484,57	686.644,42	0,2%
UN-2.4	2.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	3.976,51	686.644,42	0,6%
UN-2.5	2.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	64.949,73	686.644,42	9,5%
TÜM UYGULAMA NOKTALARI	2.No'lu Tesis Tüm Uygulama Noktaları	75.182,63	686.644,42	10,9%
UN-3.1	3.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	1.895,19	350.626,94	0,5%

**Tablo 4.7 (devam):**

UN-3.2	3.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	1.082,97	350.626,94	0,3%
UN-3.3	3.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	1.191,26	350.626,94	0,3%
UN-3.4	3.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	1.082,97	350.626,94	0,3%
UN-3.5	3.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	26.532,66	350.626,94	7,6%
TÜM UYGULAMA NOKTALARI	3.No'lu Tesis Tüm Uygulama Noktaları	31.785,04	350.626,94	9,1%

Enerji geri kazanım yüzdeleri değerlendirildiğinde UN-1.5, UN-2.5, UN-3. 5 noktalarında sırasıyla 8,7%, 9,5%, 7,6% olarak bulunmuştur.

**Şekil 4.9** 1 Numaralı Uygulama Noktalarına Göre Enerji Geri Kazanım Oranları**Şekil 4.8** 2 Numaralı Uygulama Noktalarına Göre Enerji Geri Kazanım Oranları



**Şekil 4.10** 3 Numaralı Uygulama Noktalarına Göre Enerji Geri Kazanım Oranları

3 tesis için de ayrı ayrı verilen enerji geri kazanım yüzdeleri grafiklerinden de anlaşılacağı üzere 15 ayrı uygulama noktalarından 3 tanesi %7 değerinin üzerinde çıkmaktadır.

#### 4.6 İŞLETME MALİYET TASARRUFLARI

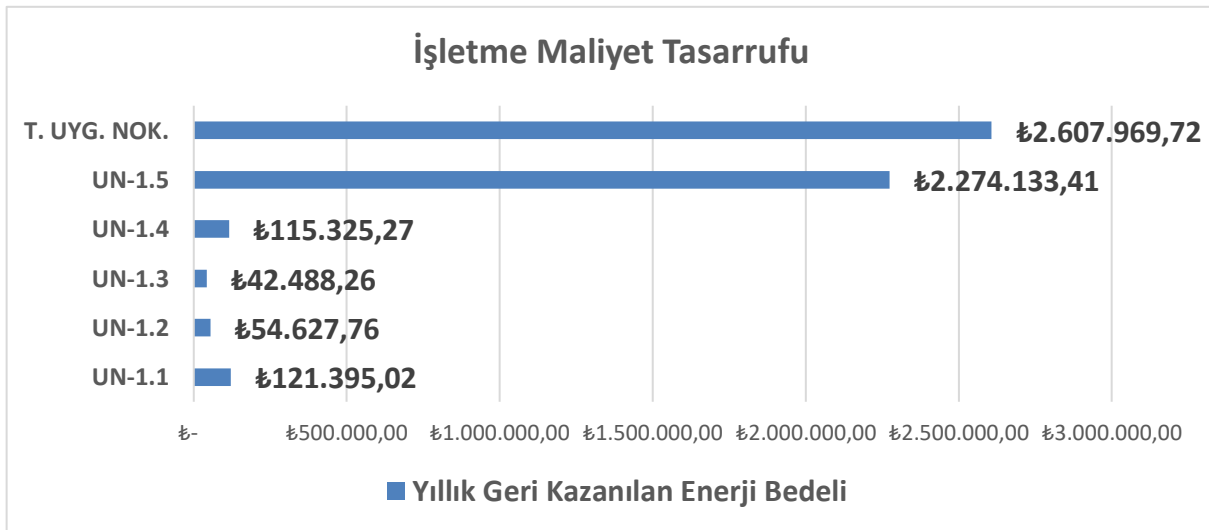
Uygulama noktalarından kurulacak mikro hidroelektrik sistemleri ile elde edilecek enerji miktarlarının tesiste sağlayacağı maliyet tasarrufları hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar Tablo 4.8’de verilmiştir

**Tablo 4.8** Uygulama Noktalarına Göre İşletme Maliyet Tasarrufları

UYGULAMA NOKTASI	AÇIKLAMA	TÜRBİN GÜCÜ (Pm) (kw/ay)	ELEKTRİK BİRİM FİYATI (₺/kWsa)	AYLIK MALİYET TASARRUFU (₺)	YILLIK MALİYET TASARRUFU (₺)
UN-1.1	1.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	3.587,32	2,82	10.116,25	121.395,02
UN-1.2	1.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	1.614,30	2,82	4.552,31	54.627,76
UN-1.3	1.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	1.255,56	2,82	3.540,69	42.488,26
UN-1.4	1.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	3.407,96	2,82	9.610,44	115.325,27
UN-1.5	1.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	67.202,52	2,82	189.511,12	2.274.133,41

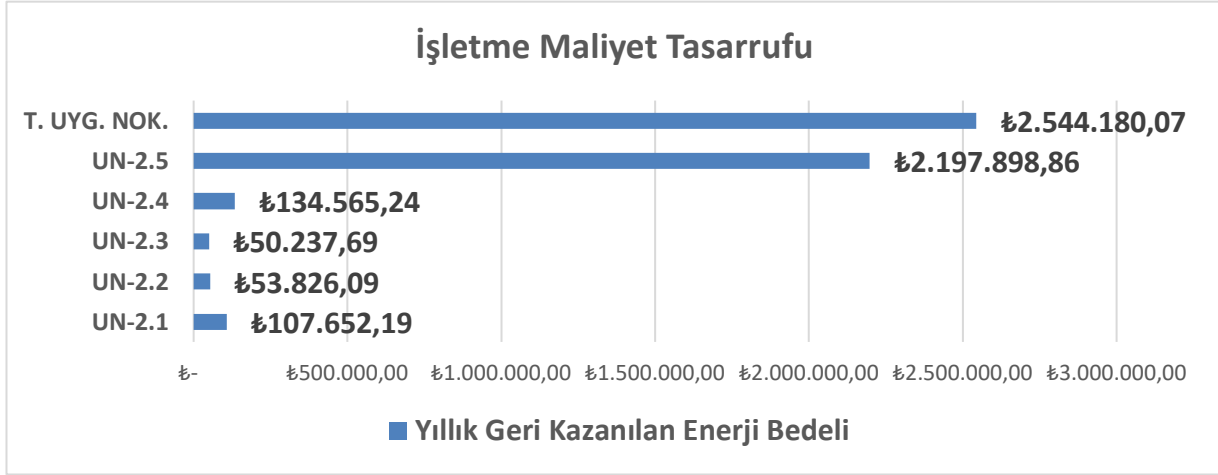
Tablo 4.8 (devam):

TÜM UYGULAMA NOKTALARI	1.No'lu Tesis Tüm Uygulama Noktaları	77.067,66	2,82	217.330,81	2.607.969,72
UN-2.1	2.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	3.181,21	2,82	8.971,02	107.652,19
UN-2.2	2.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	1.590,61	2,82	4.485,51	53.826,09
UN-2.3	2.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	1.484,57	2,82	4.186,47	50.237,69
UN-2.4	2.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	3.976,51	2,82	11.213,77	134.565,24
UN-2.5	2.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	64.949,73	2,82	183.158,24	2.197.898,86
TÜM UYGULAMA NOKTALARI	2.No'lu Tesis Tüm Uygulama Noktaları	75.182,63	2,82	212.015,01	2.544.180,07
UN-3.1	3.No'lu Tesis 1 No'lu Uygulama Noktası	1.895,19	2,82	5.344,43	64.133,22
UN-3.2	3.No'lu Tesis 2 No'lu Uygulama Noktası	1.082,97	2,82	3.053,96	36.647,55
UN-3.3	3.No'lu Tesis 3 No'lu Uygulama Noktası	1.191,26	2,82	3.359,36	40.312,31
UN-3.4	3.No'lu Tesis 4 No'lu Uygulama Noktası	1.082,97	2,82	3.053,96	36.647,55
UN-3.5	3.No'lu Tesis 5 No'lu Uygulama Noktası	26.532,66	2,82	74.822,09	897.865,07
TÜM UYGULAMA NOKTALARI	3.No'lu Tesis Tüm Uygulama Noktaları	31.785,04	2,82	89.633,81	1.075.605,70



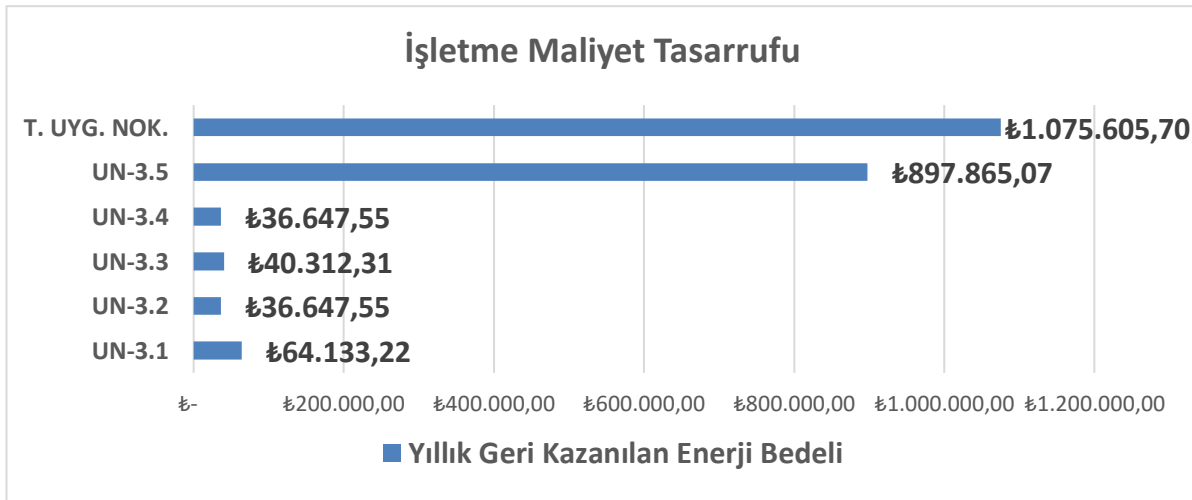
Şekil 4.11 1 Numaralı Tesisi Uygulama Noktalarına Göre İşletme Maliyet Tasarrufları

1 numaralı tesiste türbin gücü potansiyeli en yüksek olan UN-1.5 noktasında en yüksek işletme maliyeti tasarrufu elde edileceği bulunmuştur. UN-1.3 noktası en düşük işletme maliyeti tasarrufu sağladığı bulunmuştur. Uygulama noktaları arasında yapılan değerlendirmede 5 numaralı uygulama noktasının bugünün şartlarında bile çok ciddi işletme maliyeti tasarrufu sağladığı görülmüştür (Şekil 4.11).



Şekil 4.12 2 Numaralı Tesisi Uygulama Noktalarına Göre İşletme Maliyet Tasarrufları

2 numaralı tesiste türbin gücü potansiyeli en yüksek olan UN-2.5 noktasında en yüksek işletme maliyeti tasarrufu elde edileceği bulunmuştur. UN-2.3 noktası en düşük işletme maliyeti tasarrufu sağladığı bulunmuştur. Uygulama noktaları arasında yapılan değerlendirmede 5 numaralı uygulama noktasının bugünün şartlarında bile çok ciddi işletme maliyeti tasarrufu sağladığı görülmüştür (Şekil 4.12).



Şekil 4.13 3 Numaralı Tesisi Uygulama Noktalarına Göre İşletme Maliyet Tasarrufları

3 numaralı tesiste türbin gücü potansiyeli en yüksek olan UN-3.5 noktasında en yüksek işletme maliyeti tasarrufu elde edileceği bulunmuştur. UN-3.2 ve UN-3.4 noktası en düşük işletme maliyeti tasarrufu sağladığı bulunmuştur. Uygulama noktaları arasında yapılan değerlendirmede 5 numaralı uygulama noktasının bugünün şartlarında bile çok ciddi işletme maliyeti tasarrufu sağladığı görülmüştür (Şekil 4.13).

Her bir tesis için 5 ayrı uygulama noktası olmak üzere toplamda 15 ayrı uygulama noktası mikro hidroelektrik sistem potansiyeli açısından değerlendirilmiştir.

1 nolu tesiste en düşük 1,74 kW/sa potansiyelli türbin gücü, en yüksek 93,34 kW/sa potansiyelli türbin gücü bulunmuştur. 1 nolu tesis en düşük potansiyel güce sahip nokta için en düşük yatırım maliyeti Francis türbin tipi kullanılması ile oluşmaktadır ve ilk yatırım maliyeti 43.467,29 € olarak hesaplanmıştır. 1 nolu tesis en yüksek potansiyel güce sahip nokta için en düşük yatırım maliyeti Francis türbin tipi kullanılması ile oluşmaktadır ve ilk yatırım maliyeti 122.344,58 € olarak hesaplanmıştır. 1 nolu tesiste en düşük türbin gücüne sahip noktanın amortisman süresi 16,0 yıl iken en yüksek amortisman süresi 0,9 yıl olarak bulunmuştur.

1 nolu tesis için öncelik 5 nolu uygulama noktasına verilmek koşulu ile tüm uygulama noktalarına mikro hidroelektrik sistemi kurulabilir. Yalnızca 5 numaralı uygulama noktasına mikro HES kurulması ile yıllık %8,7 enerji tasarrufu sağlanabilmekte ve bugünün fiyatlandırması ile 2.274.133,41 ₺ işletme maliyeti tasarrufu sağlanabilmektedir. Tüm uygulama noktalarına mikro HES kurulması ile yıllık %10 enerji tasarrufu sağlanabilmekte ve bugünün fiyatlandırması ile 2.607.969,72 ₺ işletme maliyeti tasarrufu sağlanabilmektedir. Amortisman süresi, ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyet tasarrufu düşünüldüğünde Mikro HES sistemi artan enerji maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda uygulanabilir bir geri kazanım sistemi olduğu gözükmemektedir.

2 nolu tesiste en düşük 2,06 kW/sa potansiyelli türbin gücü, en yüksek 90,21 kW/sa potansiyelli türbin gücü bulunmuştur. 2 nolu tesis en düşük potansiyel güce sahip nokta için en düşük yatırım maliyeti Francis türbin tipi kullanılması ile oluşmaktadır ve ilk yatırım maliyeti 44.431,22 € olarak hesaplanmıştır. 2 nolu tesis en yüksek potansiyel güce sahip nokta için en düşük yatırım maliyeti Francis türbin tipi kullanılması ile oluşmaktadır ve ilk yatırım maliyeti 118.670,44 € olarak hesaplanmıştır. 2 nolu tesiste en düşük türbin gücüne sahip noktanın

amortisman süresi 14,5 yıl iken en yüksek türbin gücüne sahip noktanın amortisman süresi 0,9 yıl olarak bulunmuştur.

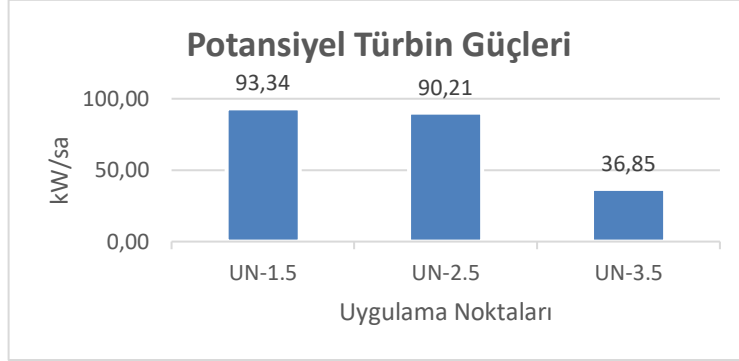
2 nolu tesis için öncelik 5 nolu uygulama noktasına verilmek koşulu ile tüm uygulama noktalarına mikro hidroelektrik sistemi kurulabilir. Yalnızca 5 numaralı uygulama noktasına mikro HES kurulması ile yıllık %9,5 enerji tasarrufu sağlanabilmekte ve bugünün fiyatlandırması ile 2.197.898,86 ₺ işletme maliyeti tasarrufu sağlanabilmektedir. Tüm uygulama noktalarına mikro HES kurulması ile yıllık %10,9 enerji tasarrufu sağlanabilmekte ve bugünün fiyatlandırması ile 2.544.180,07 ₺ işletme maliyeti tasarrufu sağlanabilmektedir. Amortisman süresi, ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyet tasarrufu düşünüldüğünde Mikro HES sistemi artan enerji maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda uygulanabilir bir geri kazanım sistemi olduğu görülmektedir.

3 nolu tesiste en düşük 1,5 kW/sa potansiyelli türbin gücü, en yüksek 36,85 kW/sa potansiyelli türbin gücü bulunmuştur. 3 nolu tesis en düşük potansiyel güce sahip nokta için en düşük yatırım maliyeti Francis türbin tipi kullanılması ile oluşmaktadır ve ilk yatırım maliyeti 36.268,76 € olarak hesaplanmıştır. 3 nolu tesis en yüksek potansiyel güce sahip nokta için en düşük yatırım maliyeti Francis türbin tipi kullanılması ile oluşmaktadır ve ilk yatırım maliyeti 83.313,59 € olarak hesaplanmıştır. 3 nolu tesiste en düşük türbin gücüne sahip noktanın amortisman süresi 16,2 yıl iken en yüksek türbin gücüne sahip noktanın amortisman süresi 1,5 yıl olarak bulunmuştur.

3 nolu tesis için öncelik 5 nolu uygulama noktasına verilmek koşulu ile tüm uygulama noktalarına mikro hidroelektrik sistemi kurulabilir. Yalnızca 5 numaralı uygulama noktasına mikro HES kurulması ile yıllık %7,6 enerji tasarrufu sağlanabilmekte ve bugünün fiyatlandırması ile 897.865,07 ₺ işletme maliyeti tasarrufu sağlanabilmektedir. Tüm uygulama noktalarına mikro HES kurulması ile yıllık %9,1 enerji tasarrufu sağlanabilmekte ve bugünün fiyatlandırması ile 1.075.605,70 ₺ işletme maliyeti tasarrufu sağlanabilmektedir. Amortisman süresi, ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyet tasarrufu düşünüldüğünde Mikro HES sistemi artan enerji maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda uygulanabilir bir geri kazanım sistemi olduğu görülmektedir.

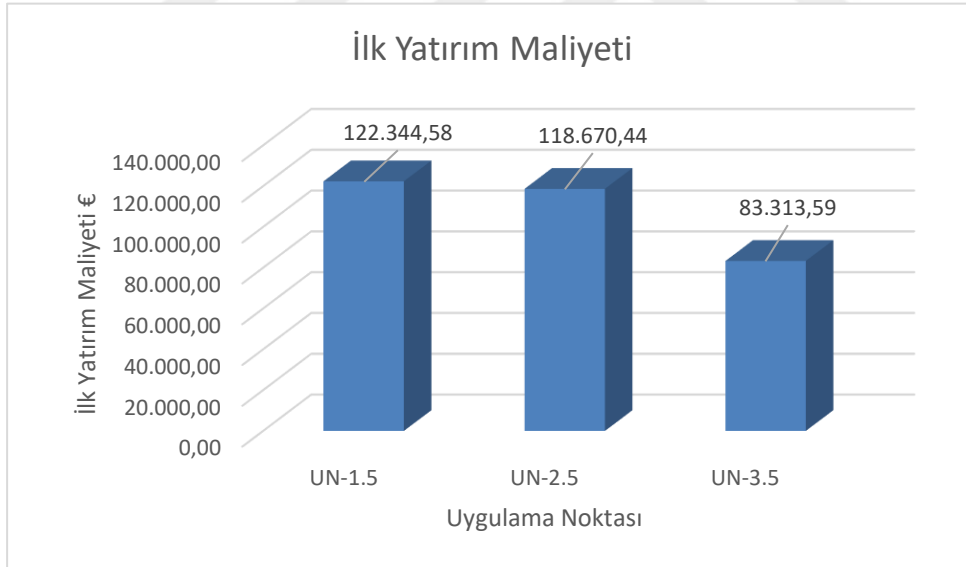
İnceleme yapılan 3 tesis karşılaştırıldığında;

- Potansiyel türbin gücü sıralaması UN-1.5>UN-2.5> UN-3.5 şeklinde oluşmaktadır (Şekil 4.14).



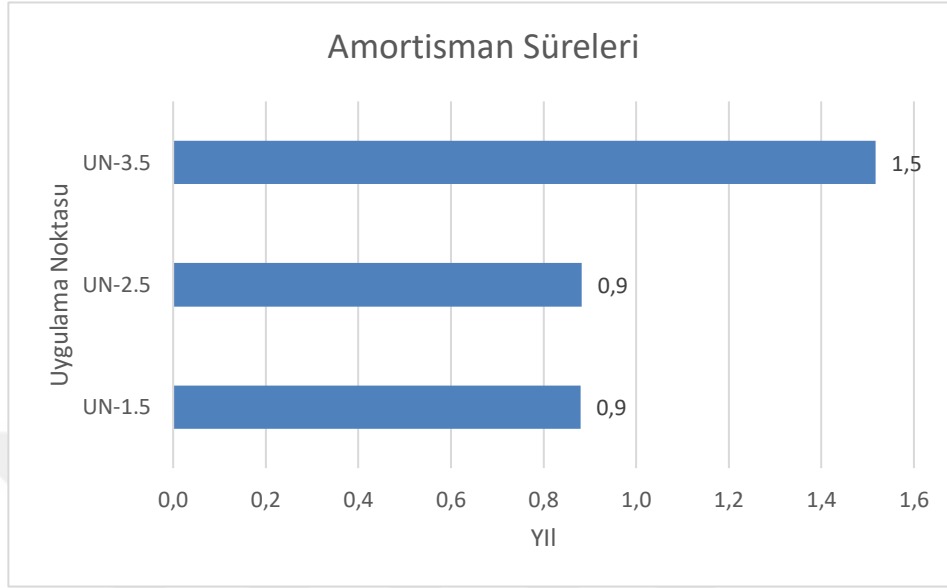
Şekil 4.14 Potansiyel Türbin Güçleri Karşılaştırması

- İlk yatırım maliyeti sıralaması ise UN-1.5>UN-2.5>UN-3.5 şeklinde oluşmaktadır (Şekil 4.15)



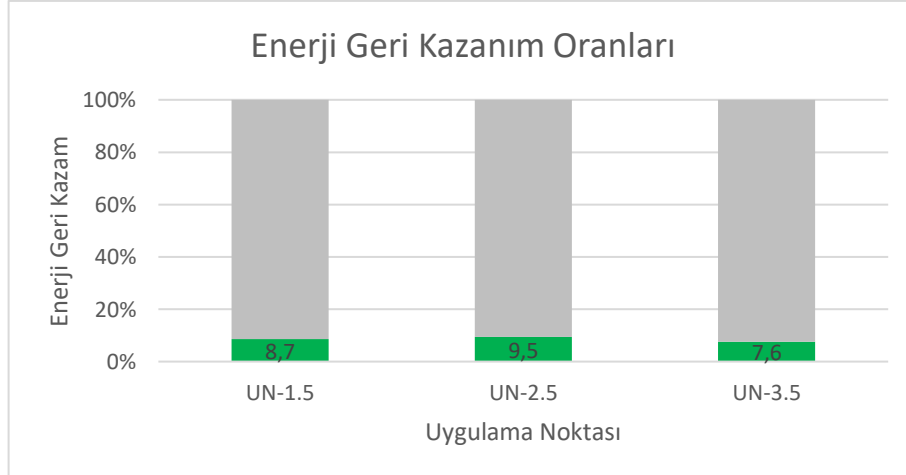
Şekil 4.15 İlk Yatırım Maliyetleri Karşılaştırması

- Amortisman süreleri sıralaması ise  $UN-3.5 > UN-1.5 = UN-2.5$  şeklinde olmaktadır (Şekil 4.16).



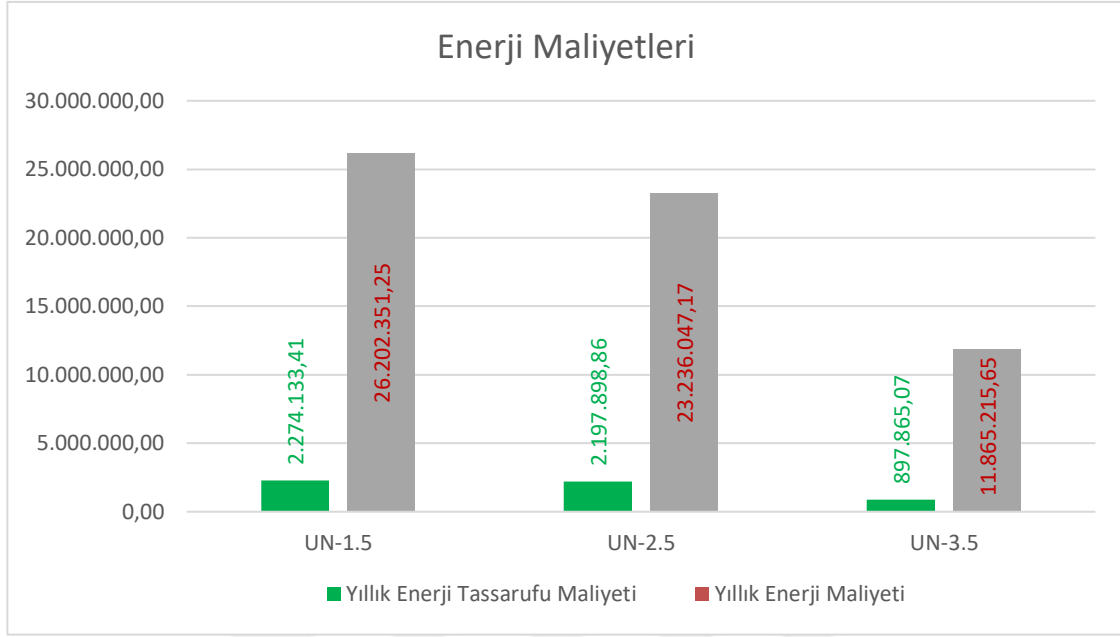
Şekil 4.16 Amortisman Süreleri Karşılaştırması

- Enerji geri kazanım oranları sıralaması  $UN-2.5 > UN-1.5 > UN-3.5$  şeklinde olmaktadır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Enerji Geri Kazanım Oranları Karşılaştırması

- İşletme maliyeti tasarrufu sıralaması ise UN-1.5>UN-2.5>UN-3.5 şeklinde olmaktadır (Şekil 4.18).



**Şekil 4.18** İşletme Maliyeti Tasarrufları Karşılaştırması

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

[Bu tez çalışması kapsamında teorik hesaplamalar üzerinden; İstanbul’ da bulunan kentsel atıksu arıtma tesislerinin üniteler arası atıksu transferi ve deşarj bacası ile deşarj noktası arası atıksu transferi hatlarına uygulanacak olan mikro hidroelektrik sistem ile enerji geri kazanım potansiyelleri araştırılmıştır. Elde edilen veriler her tesis ve belirlenen noktalar için kabuller doğrultusunda hesaplanmış ve yorumlanmıştır.

Akış diyagramının 4. Adımının seçilen uygulama noktaları için uygulanması sonucunda 1 numaralı tesis için en yüksek 93,34 kW/sa , 2 numaralı tesis için en yüksek 90,21 kW/sa potansiyelli türbin gücü, 3 numaralı tesis için en yüksek 36,85 kW/sa potansiyelli türbin gücü varlığı tespit edilmiştir. McNabola ve diğ. (2014) tarafından yapılan benzer bir çalışmada Kilcullen için 27 kW/sa güç, Cookstown için 73 kW/sa güç, Saggart için 115 kW/sa güç hesaplamaları ile karşılaştırıldığında çıkan sonuçların tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Gallagher ve diğ. (2015) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise atıksu arıtma tesislerinde 3,6 ve 18,2 kW/sa potansiyel güç hesaplamaları ile karşılaştırıldığında çıkan değerlerin potansiyellerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ak ve diğ. (2017) tarafından Ankara Tatlar AAT çıkış noktası üzerinde yapılan benzer bir çalışmada iki farklı türbin için 965 kW/sa ve 1160 kW/sa türbin gücü verileri ile tesislere ait debi, düşü yüksekliği karşılaştırılması yapıldığında benzer sonuçların çıktığı tespit edilmiştir. Bousquet ve diğ. (2017) tarafından İsviçre de kurulu bulunan atıksu arıtma tesisleri üzerinde yapılan araştırmada hesaplanan potansiyel türbin gücü (1061 kW/sa) ile tesise ait veriler karşılaştırıldığında bulunan sonuçların tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Kudoro (2021) tarafından Missouri/ABD eyaletinde bulunan 127 adet atıksu arıtma tesisinde mikro hidroelektrik sistemi ile enerji geri kazanım potansiyellerinin belirlenmesi üzerine yapılan bir araştırmada belirlenen 21 adet tesis için 13-320 kW/sa enerji potansiyelleri ile veriler karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların benzerlikler gösterdiği tespit edilmiştir.

Akış diyagramının 6. Adımının seçilen uygulama noktaları için uygulanması sonucunda 1 numaralı tesis için en yüksek potansiyel türbin gücüne sahip uygulama noktasının 43.467,29 € ilk yatırım maliyetli Francis Türbini, 2 numaralı tesis için 44.431,22 € ilk yatırım maliyetli Francis Türbini, 3 numaralı tesis için 36.268,76 € ilk yatırım maliyetli Francis Türbini olduğu bulunmuştur. McNabola ve diğ. (2014) tarafından yapılan benzer bir çalışmada elde edilen

sonuçlarla karşılaştırıldığında kW başına düşen yatırım maliyetlerinin benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Gallagher ve diğ. (2015) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise üretilecek enerji başına ilk yatırım maliyeti 2000-7000 €/kW olarak bulunmuştur. Elden edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında bulunan ilk yatırım maliyetleri söz konusu çalışmaya göre daha ekonomik çıktığı tespit edilmiştir. Ak ve diğ. (2017) tarafından Ankara Tatlar AAT çıkış noktası üzerinde yapılan benzer bir çalışmada ilk yatırım maliyeti 2250 €/kW olarak bulunmuştur. Çalışma verileri karşılaştırıldığında çıkan farklılığın türbin tipi ile ilgili olduğu görülmüştür. Kudoro (2021) tarafından Missouri/ABD eyaletinde bulunan 127 adet atıksu arıtma tesisinde mikro hidroelektrik sistemi ile enerji geri kazanım potansiyellerinin belirlenmesi üzerine yapılan bir araştırmada belirlenen 21 adet tesis için hesaplanan ilk yatırım maliyetleri ile karşılaştırma yapıldığında bu tez kapsamında hesaplanan ilk yatırım maliyetlerinin kabul edilebilir çıktığı tespit edilmiştir.

Akış diyagramının 6. Adımının seçilen uygulama noktaları için uygulanması sonucunda 1 numaralı tesis için en yüksek türbin gücüne sahip uygulama noktasının 0,9 yıl amortisman süresine, 2 numaralı tesis için 0,9 yıl amortisman süresine, 3 numaralı tesis için 1,5 yıl amortisman süresine sahip uygulama noktasının varlığı hesaplanmıştır. McNabola ve diğ. (2014) tarafından yapılan benzer bir çalışmada elde edilen en iyi amortisman süresi olan 1 yıl dan daha düşük olduğu bulunmuştur. Ak ve diğ. (2017) tarafından Ankara Tatlar AAT çıkış noktası üzerinde yapılan benzer bir çalışmada bulunan 2,38 yıllık en iyi amortisman süresinden daha kısa amortisman süresi tespit edilmiştir. Kudoro (2021) tarafından Missouri(ABD) eyaletinde bulunan 127 adet atıksu arıtma tesisinde mikro hidroelektrik sistemi ile enerji geri kazanım potansiyellerinin belirlenmesi üzerine yapılan bir araştırmada belirlenen 21 adet tesis içerisinde en kısa amortisman süresi olan 1,44 yıl değeri ile bulunan sonuçların örtüştüğü tespit edilmiştir.

İncelemesi yapılan 3 tesis içinde yapılacak detaylı incelemeler ve değerlendirmeler ile farklı uygulama noktalarının da keşfi mümkün olacaktır. Arıtma tesislerinin tasarımı ve projelendirilmesi esnasında düşü farklılıklarının olduğu noktaların mikro hidroelektrik potansiyel gücünün de hesaplanmasında fayda olacaktır.

İşletme esnasında sorun çıkartabilecek olan konuların başında debi salınımı gelmektedir. İyi analiz edilmemiş debi salınımları türbin seçimi ve kanat tasarımına etki edecek ve elde edilecek enerji miktarı üzerinde negatif sonuçlar doğuracaktır. Yapılacak olan seçimler ve ortaya çıkacak enerji miktarı doğru tasarlanmamış türbin sisteminden elde edilecek enerji miktarına göre seçilen trafo sisteminin üzerinde de etkili olacaktır. Yaşanabilecek işletme sorunlarının önüne

geçebilmek adına özellikle debi salınımlarının çok iyi analiz edilmesi ve modelleme yapılarak en iyi ve en verimli türbin tasarımı belirlenerek uygulamaya alınması doğru olacaktır.

Arıtma tesislerinde Mikro HES sistemi ile enerji geri kazanımı üzerine yapılan araştırmalarda benzer türbin gücü potansiyeli ve amortisman süreleri bulunan çalışmalar mevcuttur. Özellikle yurt dışında yapılan bazı çalışmalarda türbin gücü ve işletme maliyeti tasarrufu oldukça yüksek olan çalışmalarda mevcuttur. Mikro HES sistemi üzerine yapılan çalışmaların çoğunluğu teorik hesaplamalar üzerinden yapılmıştır. Hatta debi miktarları konusunda da bilindiği üzere, kentsel atıksu arıtma tesislerinde debi miktarları gün içerisinde kullanımlara bağlı olarak salınımlar gösterebilmektedir. Arıtma tesislerinde debi salınımlarına yönelik yapılacak detaylı takipler sonunda Mikro HES sisteminin enerji üretim potansiyellerindeki değişimler takip edilebilir. Söz konusu dağılımlar ile enerji birim fiyatında uygulanan saatlik tarife değişiklikleri üzerinden enerji geri kazanım oranları ve amortisman sürelerinin belirlenmesi yenilikçi yaklaşım modelleri oluşturabilecektir.

Teorik hesaplamaları yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak türbin gücüne göre türbin tasarımı modellemesi yapılmaya çalışılmıştır. Bunun yanında uygulaması yapıp enerji geri kazanım miktarları ve maliyet tasarrufu üzerine yapılmış çalışmalarda mevcuttur. Arıtma tesislerinde Mikro HES sistemi ile enerji geri kazanımı üzerinde yapılan çalışmaların ağırlıklı olarak teorik hesaplamalar üzerinden olması bu alanda modelleme ve uygulama çalışmalarının eksikliğini göstermektedir. |

## 6. KAYNAKLAR

- [1]. Erkan, D., Yılmaz, T., Yücel, A., Yılmaz, A., Ahmet, T. E. L., & Deniz, U. Ç. A. R. (2018). Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Kazanımı için Mikro Ölçekte Hidroelektrik Santrallerin Uygulanabilirliği. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(1), 1-6.
- [2]. T. C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2010). Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. *Ankara, Türkiye*.
- [3]. Gazete, R. (2008). Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği. *Çevre ve Orman Bakanlığı*, 26898(06).
- [4]. Gazete, R. (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. *Başbakanlık Basımevi*, 25687.
- [5]. T. C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2022), İklim Şurası, İklim Şurası Kılavuzu, 2022 Ankara.
- [6]. Koyuncu, İ., Öztürk, İ., Aydın, A. F., Alp, K., Arıkan, A. O., İnsel, H. G., ... & Karaaslan, O. T. (2013). Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi.
- [7]. Kentsel atıksu arıtma tesisleri: Proses Seçimi, Tasarımı ve Modellenmesi El Kitabı (2021), İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İSKİ Yayınları, İstanbul.
- [8]. Power, C., McNabola, A., & Coughlan, P. (2014). Development of an evaluation method for hydropower energy recovery in wastewater treatment plants: Case studies in Ireland and the UK. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 166-177.
- [9]. Khan, M. A., & Badshah, S. (2014). Design and analysis of cross flow turbine for micro hydro power application using sewerage water. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 8(7), 821-828.
- [10]. 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.
- [11]. Kougias, I., Patsialis, T., Zafirakou, A., & Theodossiou, N. (2014). Exploring the potential of energy recovery using micro hydropower systems in water supply systems. *Water Utility Journal*, 7(IKEEART-2015-5168), 25-33.
- [12]. Chae, K. J., Kim, I. S., Ren, X., & Cheon, K. H. (2015). Reliable energy recovery in an existing municipal wastewater treatment plant with a flow-variable micro-hydropower system. *Energy Conversion and Management*, 101, 681-688.
- [13]. Güner, E., Altın, M., Nadar, A., & Tör, O. B. (2008). Küçük hidrolik santrallerin projelendirilmesinde göz önünde bulundurulması gereken bazı temel hususlar. *Eleco, Bursa*, 7-13.

- [14]. MNE Proje Mühendislik Ve Müşavirlik Ltd. Şti.,(2020), Atıksu Arıtma Tesislerine MikroHES.
- [15]. Baran, B. Usage of Waste Water Treatment Plants Hydroelectric Energy for Urban Lighting Energy: The Case of Turkey. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 750-762.
- [16]. Gallagher, J., Harris, I. M., Packwood, A. J., McNabola, A., & Williams, A. P. (2015). A strategic assessment of micro-hydropower in the UK and Irish water industry: Identifying technical and economic constraints. *Renewable Energy*, 81, 808-815.
- [17]. Ak, M., Kentel, E., & Kucukali, S. (2017). A fuzzy logic tool to evaluate low-head hydropower technologies at the outlet of wastewater treatment plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 727-737.
- [18]. Bousquet, C., Samora, I., Manso, P., Rossi, L., Heller, P., & Schleiss, A. J. (2017). Assessment of hydropower potential in wastewater systems and application to Switzerland. *Renewable energy*, 113, 64-73.
- [19]. Chacón, M. C., Díaz, J. A. R., Morillo, J. G., & McNabola, A. (2020). Estimating regional potential for micro-hydropower energy recovery in irrigation networks on a large geographical scale. *Renewable Energy*, 155, 396-406.
- [20]. Chacón, M. C., Díaz, J. A. R., Morillo, J. G., & McNabola, A. (2020). Estimating regional potential for micro-hydropower energy recovery in irrigation networks on a large geographical scale. *Renewable Energy*, 155, 396-406.
- [21]. Rossi, M., Spedaletti, S., Lorenzetti, M., Salvi, D., Renzi, M., Comodi, G., ... & Pelagalli, L. (2021). A methodology to estimate average flow rates in Water Supply Systems (WSSs) for energy recovery purposes through hydropower solutions. *Renewable Energy*, 180, 1101-1113.
- [22]. Kudoro, T. A. (2022). *Application of Microturbines in Improving the Energy Efficiency of Municipal Wastewater Treatment Plants in Missouri* (Doctoral dissertation, University of Missouri-Columbia).
- [23]. Cengiz, K. O. Ç. (2020). Sulama kanalları üzerine inşa edilen hidroelektrik santrallerin işletilmesi üzerine bir çalışma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 138-144.
- [24]. Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı, *Mikro HES Sektörel Analiz Raporu*, <https://www.daka.org.tr/panel/files/files/yayinlar/Mikro%20HES%20Sektorel%20Analiz%20Raporu.pdf>, [Ziyaret tarihi:15 Mayıs 2022].

**URL- Tekdüzen Kaynak Bulucu**

[URL-1]. [https://artursan.com/tr/?page\\_id=96](https://artursan.com/tr/?page_id=96) [Ziyaret tarihi:20.03.2022]

[URL-2].

[https://www.erbakan.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YElkEnrUrt/Hidroelektrik\\_Enerji\\_T%C3%BCrbinleri.pdf](https://www.erbakan.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YElkEnrUrt/Hidroelektrik_Enerji_T%C3%BCrbinleri.pdf) [Ziyaret tarihi:20.03.2022]

[URL-3]. <https://argevetasarim.com/pelton-turbini-tasarimi/> [Ziyaret tarihi:22.03.2022]

[URL-4]. <https://www.akhidro.com/elektromekanik/hd22-Francis-Tipi-Turbinler> [Ziyaret tarihi:22.03.2022]

[URL-5]. <https://teknokampus.net/francis-turbini/> [Ziyaret tarihi:22.03.2022]

[URL-6].

[https://www.erbakan.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YElkEnrUrt/Hidroelektrik\\_Enerji\\_T%C3%BCrbinleri.pdf](https://www.erbakan.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YElkEnrUrt/Hidroelektrik_Enerji_T%C3%BCrbinleri.pdf) [Ziyaret tarihi:25.03.2022]

[URL-7].

[https://www.erbakan.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YElkEnrUrt/Hidroelektrik\\_Enerji\\_T%C3%BCrbinleri.pdf](https://www.erbakan.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YElkEnrUrt/Hidroelektrik_Enerji_T%C3%BCrbinleri.pdf) [Ziyaret tarihi:25.03.2022]

[URL-8].[https://turkish.alibaba.com/product-detail/bochi-2-25m-head-bulb-turbine-743445990.html?spm=a2700.7724857.normal\\_offer.d\\_image.77ad70cbZ4wWYW](https://turkish.alibaba.com/product-detail/bochi-2-25m-head-bulb-turbine-743445990.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_image.77ad70cbZ4wWYW) [Ziyaret tarihi:30.03.2022]

[URL-9].<http://turkish.waterturbinegenerator.com/sale-12910638-bulb-type-tubular-hydro-turbine-generator-hydroelectric-mini-water-turbine.html> [Ziyaret tarihi:30.03.2022]