

## Sürdürülebilir Kalkınma için Mevcut Hidrolik Altyapılardan Enerji Geri Kazanımına Genel Bir Bakış

Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR<sup>1\*</sup> , Andaç AKDEMİR<sup>2</sup> 

### Öz

Avrupa Birliğinin 2050 yılına kadar sera gazı emisyonlarının sıfırlanması ve iklim-nötr kıtası haline getirilmesi hedefi Türkiye için de yenilenebilir ve temiz enerji teknolojilerinin kullanımına yönelik tercihleri arttırmıştır. Hidroelektrik, enerji depolama kaynağı olarak dünyadaki en önemli düşük karbon ayak izine sahip enerji kaynağı olması sebebi ile mevcut su endüstrisi alt yapılarından enerji geri kazanım potansiyeli ile ilgili çok fazla yer seçimine yönelik saha çalışması ve vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, dünya üzerinde hidroelektrik üretimine ve hidroelektrik sınıflandırmasına yönelik veriler özetlenerek, küçük hidroelektrik santraller ana başlığı ile mevcut alt yapı sistemlerinden enerji geri kazanımını, iklim değişikliği bağlamında sürdürülebilir enerji yönetimi açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca potansiyel enerji geri kazanım alanlarına küçük hidroelektrik santrallerinin kurulmasına yönelik genel bir değerlendirme yapılmış ve enerji üretimi yapan bu santrallere ait örnekler derlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atıksu Uzaklaştırma Sistemleri, Enerji Geri Kazanımı, Hidroelektrik, İçme Suyu Temin Sistemleri, Sulama Sistemleri.

## Overview of Energy Recovery from Existing Hydraulic Infrastructures for Sustainable Development

### Abstract

The European Council's climate neutrality objectives by eliminating greenhouse gas emissions by 2050 have also increased Turkey's preferences for the use of renewable and clean energy technologies. Since hydropower, as an energy storage source, is the most important energy source with a low carbon footprint in the world, many location assessments and case studies have been carried out on the energy recovery potential from existing water industry infrastructures. In this study, data on hydropower generation and hydropower classification in the world are summarized, and the energy recovery from existing infrastructure systems under the main heading of small hydroelectric power plants is evaluated in terms of sustainable energy management in the context of climate change.

**Keywords:** Wastewater Disposal Systems, Energy Recovery, Hydropower, Water Supply Systems, Irrigation Systems.

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye, [ummukulsum.akdemir@giresun.edu.tr](mailto:ummukulsum.akdemir@giresun.edu.tr)

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, [aakdemir@omu.edu.tr](mailto:aakdemir@omu.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 05.06.2024

Kabul/Accepted: 05.09.2024

Yayın/Published: 15.09.2024

## 1. Giriş

Nüfus artışının doğrudan bir sonucu olarak, enerjinin büyük ölçüde fosil yakıtlardan sağlandığı sanayi devriminden bu yana dünya çapında enerji tüketimi %600 kadar artmıştır (Perez-Sanchez, 2017). Yenilenemez olmaları, çıkarılmalarında ve enerji üretiminde yüksek karbon ayak izi nedeni ile temiz enerji kaynağı olmaması gibi sınırlandırıcı etkenler sebebi ile fosil yakıtların yerine kullanılabilir yenilenebilir ve temiz kaynaklardan enerji elde etmek ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir (Abbas ve ark., 2019).

Yenilenebilir enerji dünya çapında giderek yaygınlaşmasına rağmen, toplam nihai enerji tüketimi içindeki payı yalnızca ılımlı bir artış göstermektedir. 2018 yılı verilerine göre dünyada tahmini olarak toplam nihai enerji tüketiminin %79,9'unu fosil yakıtlar, %11'ini ise modern yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Modern yenilenebilir enerjinin ise sadece %3,6'sı hidroelektrikken %4,3'ü yenilenebilir ısı enerjisidir (REN21, 2020). Ülkemizde ise 2024 yılı Mart ayı sonu itibari ile kaynaklara göre kurulu gücün %29,6'sı hidrolik, %23,2'si doğal gaz, %20,2'si kömür, %11,2'si rüzgâr, %11,7'si güneş, %1,6'sı jeotermal ve %2,5'i ise diğer kaynaklara dayanmaktadır (URL-1, 2024).

Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin (EU) 2018/2001 Direktifinde, "Merkezi olmayan yenilenebilir enerji teknolojilerinin ve depolamanın ayrımcı olmayan koşullar altında ve altyapı yatırımlarının finansmanını engellemeden geliştirilmesine izin verilmesinin küçük ölçekli kuruluşların, halkın kabulünü artırmak ve yenilenebilir enerji projelerinin özellikle yerel düzeyde yaygınlaştırılmasını sağlamak açısından büyük fayda sağlayacağı" ve "enerji arzının yerel güvenliğinin artması, taşıma mesafelerinin kısılması ve enerji iletim kayıplarının azalmasını sağlarken böyle bir özerk yönetimin aynı zamanda gelir kaynakları oluşturacağı ve yerel olarak istihdam yaratılması ile toplumsal kalkınmayı ve uyumu da destekleyeceği" belirtilmiştir.

Ayrıca, 2019 tarihinde Avrupa komisyonu tarafından açıklanan Avrupa Birliği'nin yeni büyüme stratejisine göre, Avrupa'nın 2050 yılına kadar sera gazı emisyonlarının sıfırlandığı ve iklim-nötr kıtası haline getirilmesi hedeflemiş ve kabul edilen Avrupa İklim Yasası (Regulation (EU) 2021/1119) ile net sera gazı emisyonlarında 2030 yılına kadar 1990'a kıyasla %55 azalma sağlanması ara hedefi de belirtilmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), küresel sıcaklığın 1,5 °C'nin altında kalmasını sağlamak için küresel hidroelektrik kapasitesinin 2050 yılına kadar iki katına çıkarılması çağrısında bulunmuştur. Yani önümüzdeki 30 yılda, son 100 yılda olduğu kadar, 1300 GW'a denk gelen hidroelektrik santrallerin devreye alınması gerekiyor (Ebrahimi, 2023).

Doğrudan CO<sub>2</sub> emisyonu olmayan, ancak rakipsiz enerji kazancı veya yüksek teknik kullanım ömrü boyunca kendini geri ödeyen hidroelektrik yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Hidroelektrik santrallerinde esas olarak inşaat ve bakım için gerekli malzemelerin elde

edilmesinden kaynaklanan sera gazlarına ilişkin eşdeğer CO<sub>2</sub> emisyonunu diğer enerji üretim türleriyle karşılaştırıldığında çok küçüktür.

Bu çalışmada, hidroelektrik enerji üretimine yönelik santrallerin mevcut analizi yapılarak alt yapı tesislerinde entegre yardımcı yapılarla enerjinin geri kazanımını sağlayan uygun maliyetli ve güvenilir küçük hidroelektrik santrallerinin uygulama alanlarına dair teknik detaylar ve örnek uygulamalara yer verilmiştir. Yapılan literatür araştırmasında mevcut sistemlerin çok uzun yıllardır dünya üzerinde uygulanmakta ve küçük ölçekten büyük ölçeğe yapılan uygulamaların ciddi bir kazanım sağladığı görülmektedir. Son yıllarda yaşanan enerji ve su krizi nedeni ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılmasının yanı sıra enerji verimliliği üzerinde ayrıca durulmaktadır. Hali hazırda mevcut su yapıları üzerinde enerji kazanımı ile ilgili örnekler varken Türkiye’ de içme suyu tesisleri üzerinde de bu tür uygulamalara yeni yer vermeye başlanmıştır. Çalışma bu hali ile mevcut uygulamaları derlediği için su sektöründen enerji eldesinde ülkemizde olan eksikleri görmek açısından bir örnek olacaktır.

## 2. Hidroelektriğe Genel Bir Bakış

Birçok gelişmiş ekonomide hidroelektrik üretim ağının varlığı 1960’lardan 1980’lere kadar uzanan büyük inşaat dalgasına dayanmaktadır. Dünyanın en eski elektrik üretimi 19. yy. sonlarında Amerika Birleşik Devletleri ve Birleşik Krallık ile başlamıştır. Asya ve Latin Amerika’daki yükselen ve gelişmekte olan ekonomiler 1975-1990 yılları arasında küresel hidroelektrikte büyüme paylarını arttırmıştır. 1990’dan itibaren bu değişim devam etmiş ve son 15 yılda HES’lerin %5’ini geliştirmekte olan ülkeler inşa etmiştir (IEA, 2021).

Günümüzde küresel olarak hidroelektrik filonun neredeyse %40’ ı (476 GW) en az 40 yaşında olup ortalama 32 yaşındadır. Bu hidroelektrik ağın en eskisine Kuzey Amerika sahipken en gencine Çin sahiptir (IEA, 2021).

REN21 (2022)’ in Küresel Durum Raporuna göre, küresel hidroelektrik piyasasının, 2021 yılında en az 26 GW’ lık yeni kapasite ilaveleri ile uzun vadeli eğilimler doğrultusunda ilerlemiş ve toplam küresel kurulu hidroelektrik kapasitesini yaklaşık 1197 GW’ a çıkarmıştır. Uluslararası Hidroelektrik Birliğinin (IHA) durum raporuna göre ise 2021 yılı kurulu hidroelektrik gücü 1360 GW olarak açıklanmıştır.

Pompaj depolamalı dahil en büyük 20 hidroelektrik üreticisinin ve dünyanın geri kalanının 2021 yılına ait hidroelektrik kurulu gücü Tablo 1’ de verilmektedir (IHA, 2022). Bölgelere göre 2021 yılına ait yeni kurulu hidroelektrik kapasitesi, Doğu Asya ve Pasifik 21.897 MW, Güney ve Merkez Asya 1961 MW, Kuzey ve Merkez Amerika 1156 MW, Avrupa 1087 MW, Afrika 182 MW ve Güney Amerika 172 MW olarak verilmiştir (IHA, 2022).

**Tablo 1.** Hidroelektrik üreticilerinin kurulu gücü (IHA, 2022)

Sıra	Ülke	Kurulu Güç (GW)	Sıra	Ülke	Kurulu Güç (GW)
1	Çin	391	12	İspanya	20,4
2	Brezilya	109,4	13	Vietnam	17,3
3	Birleşik Devletler	101,9	14	İsviçre	16,8
4	Kanada	82,3	15	İsveç	16,5
5	Rusya	55,7	16	Venezuela	15,4
6	Hindistan	51,4	17	Avusturya	14,7
7	Japonya	49,6	18	Meksika	12,6
8	Norveç	33,4	19	İran	12,2
9	Türkiye	31,5	20	Kolombiya	11,9
10	Fransa	25,5	21	Dünyanın geri kalanı	268,1
11	İtalya	22,6			
Toplam					1360

Çin, 2021’de kapasite ilavelerinde liderliği korurken, onu Kanada, Hindistan, Nepal, Lao, Türkiye, Endonezya, Norveç, Vietnam ve Brezilya izlemiştir (IHA, 2022). Devam eden bu eklemelere rağmen, hidroelektrikten küresel üretimin 2021’de tahmini %3,5 düşerek 4.218 TWh’ e gerilemesi, hidrolojik koşullardaki değişikliklerle, özellikle Amerika’daki ve Asya’nın birçok bölgesindeki başlıca üreticileri etkileyen önemli ve sürekli kuraklıklarla açıklanmaktadır (REN21, 2022). REN21 (2022) raporunda 2021’de üretimde en önemli düşüşleri yaşayan büyük hidroelektrik üreticilerinin Türkiye (%28.7), Brezilya (%9.1) ve ABD (%8.8) olduğu belirtilmiştir.

Birçok bölgede yaşanan ortalamanın altında yağış, üretimdeki bu düşüşe sebep olmuştur. Hidroelektrik üretim, Avrupa Birliği’nin tüm elektrik tüketiminin yaklaşık 1,5 katına eşdeğer olup hidroelektrik enerjisinin dünya çapında düşük karbonlu üretime devam eden önemli katkısını yansıtmaktadır (IHA, 2022).

Yüksek kurulum kapasitesine sahip hidroelektrik santrallerin çok fazla yer kaplaması ve iklim değişikliği ile yağışlı gün sayısının ve su kaynaklarının azaldığı bir dönemde farklı kaynakların tüm üretim seviyeleri (makro ve mikro ölçekli) dikkate alınarak, genel karbon ayak izini artırmayan sürdürülebilir stratejiler kullanımı yaygınlaşmaktadır. Enerji geri kazanımı ile ilgili yeni stratejiler çevresel ve ekonomik avantajlar sağlamaktadır (Perez-Sanchez ve ark., 2017).

## 2.1. Hidroelektrik Enerji Sistemlerinin Sınıflandırması

Hidroelektrik santrallerin boyutlarındaki büyük çeşitlilik, bu teknolojinin hem büyük merkezi hem de küçük ölçekli kentsel dağıtımlı enerji modeli ihtiyaçlarına uyum sağlamasına olanak tanır. Hidroelektrik santrallerde (HES) debi ve net düşü ve türbinin potansiyel yük çıkışını belirler (Klein

ve Fox, 2022). HES' ler kuruluş şekillerine göre nehir tipi (biriktirmesiz), baraj tipi (rezervuarlı) ve pompaj depolamalı olmak üzere üç ana kategoride sınıflandırılır ve havzanın hidrolojisine ve topografyasına bağlı olarak çok küçükten çok büyük ölçeğe kadar değişiklik gösterirler. Ayrıca, genç ve az gelişmiş bir teknoloji olarak tanımlanan, mevcut tesisleri kullanan akış içi teknoloji adı verilen 4. bir kategori daha bulunmaktadır (Kumar, 2011).

Üzerinde bir fikir birliği olmasa da hidroelektrik projeleri kurulu güce göre; büyük-hidro (100 MW ve üzeri), orta-hidro (20-100 MW), küçük-hidro (1-20 MW), mini-hidro (100 kW-1 MW) (bağımsız, mini şebeke veya şebekeye bağlı olabilir), mikro-hidro (5 kW-100 kW, şebekeden uzak uzak bölgelerde küçük bir topluluk veya kırsal endüstri için güç sağlar) ve piko-hidro (birkaç yüz W-5 kW, genellikle şebekeden uzak bölgelerde kullanılır) olarak sınıflandırılır (IRENA, 2012). Başka bir tanımlamaya göre hidrogüç büyük (>300 MW), orta (baraj ve rezervuarlı 100-300 MW, nehir tipi 10-100 MW) ve küçük (1-10 MW) konvansiyonel grupta yer almaktadır (Pedraza, 2022).

Alternatif olarak, fiziksel ve teknik olarak proje tasarım özelliklerine göre sınıflandırılabilirler. Ancak, "küçük" ve "büyük" hidroelektrik için üzerinde mutabık kalınan bir sınıflandırma yoktur ve küçük hidroelektrik sistemler ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir (IRENA, 2012). Farklı ülkelerin KHES' ler için yapmış oldukları güç tanımlaması Tablo 2' de verilmiştir.

Büyük hidroelektrik santraller, topografya, hidroloji ve klimatolojinin hidroelektrik geri kazanıma izin verdiği gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde (Çin, Brezilya ve Güney Afrika vb.) ana enerji kaynağıdır (Perez-Sanchez ve ark., 2017).

Büyük hidroelektrik projelerinde, özel sektörün getiri beklentileriyle örtüşmeyebilecek uzun geliştirme dönemleri ile birlikte yüz milyonlarca ila milyarlarca dolarlık yatırım gerektirmeleri, uzun ve karmaşık izin süreçleri gibi düzenleyici zorluklar, yerel muhalefet ve sosyal kabul endişeleri proje riskini önemli ölçüde arttıran hususlar olarak sıralanabilir.

Ancak, elektrik üretimi için büyük ölçekli HES'lerin inşasına alternatif bir çözüm, çevre ve nüfus üzerinde nispeten mütevazı ve yerel etkileri olan mini ve mikro hidroelektrik santrallerinin kWh maliyeti genellikle büyük ölçekli hidroelektrik santrallere göre daha yüksektir. Ayrıca, HES'lerin hizmet süresi boyunca bazı sera gazları (çoğunlukla rezervuarlarda biyoenerjinin bozunması ile üretilen metan) salmasına rağmen, çoğu durumda fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazı emisyonlarından daha az olduğu söylenebilir (Pedraza, 2022).

Enerji üretiminde, fotovoltaiik enerji 35 gCO<sub>2</sub>eq/kWh, dalga ve gel-git enerjisi 25-50 gCO<sub>2</sub>eq/kWh karbon ayak izine sahipken nükleer enerji yaklaşık 5 gCO<sub>2</sub>eq/kWh ile çok düşük bir değere sahiptir. Bu enerji üretim yöntemleri ile kıyaslamak açısından depolamalı HES'ler yaklaşık 10-30 gCO<sub>2</sub>eq/kWh, nehir tipi HES'ler 5 gCO<sub>2</sub>eq/kWh den daha az karbon ayak izine sahip olması hidroelektrik enerjisinin önemini göstermektedir (POST, 2006).

Küçük hidroelektrik sistemlerin (KHES) yaygınlaşması hem sera gazlarının azaltılmasına hem de uzak kırsal alanlarda veya tedarik noktalarından uzakta bulunan tüketim noktalarında elektrik hizmetinin kurulmasına katkıda bulunan Francis türbininin (orta düşümler için) geliştirilmesi sayesinde olmuştur (Perez-Sanchez ve ark., 2017). Dünyanın birçok yerinde, yapım kolaylıkları ve yerel ortamlara entegrasyonları nedeniyle KHES kullanımı artmaktadır (Casini, 2015). Kapasitesi 10 MW' ın altında olan HES' lerin, küresel HES kapasitesinin yaklaşık %10' unu temsil ettiği tahmin edilmektedir (Casini, 2015).

**Tablo 2.** Farklı ülkelere göre küçük hidrogüç tanımlaması (Kumar ve ark., 2011; Casini, 2015; Klein ve Fox, 2022)

Ülke	Kapasite (MW)
Brezilya	$\leq 30$
Kanada	$< 50$
Çin	$\leq 50$
Avrupa Birliği	$\leq 20$
Hindistan	$\leq 25$
Norveç	$\leq 10$
İsveç	$\leq 1,5$
Amerika Birleşik Devletleri	3-60
Filipinler	$\leq 50$
Endonezya	$\leq 50$
Avustralya	$\leq 20$
Vietnam	$\leq 25$
Kolombiya	$\leq 20$
Yeni Zelanda	$\leq 50$
Almanya	$\leq 1$
İtalya	$\leq 3$
Birleşik Krallık	$\leq 5$
Fransa	$\leq 8$

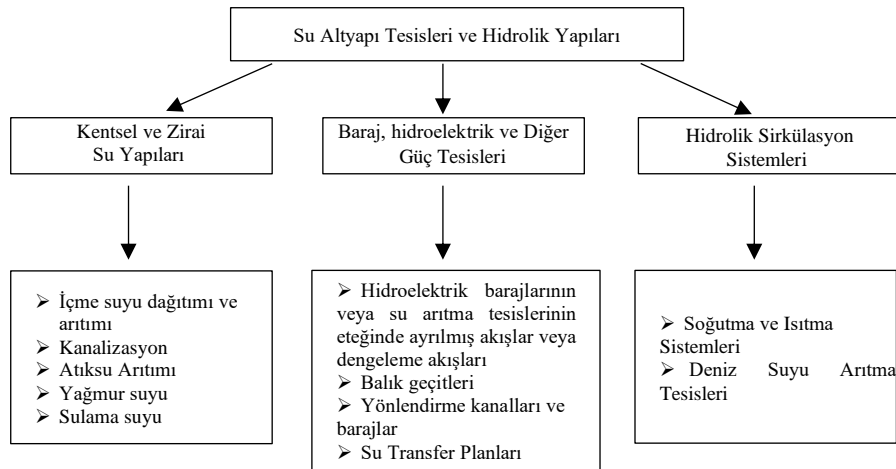
Dünya Küçük Hidroelektrik Kalkınma Raporu'na göre (UNIDO, ICSHP, 2022) kurulum kapasitesi 10 MW' ın altında olan KHES'lerin 2022 yılında 2019 yılına göre %1 arttığı, ayrıca KHES'e ilişkin veri eksikliğine bağlı olarak tahmini KHES potansiyelinin Norveç, Türkiye ve Filipinler'in de bulunduğu bazı ülkeler için elde edilen daha doğru veriler ile %3 oranında azaldığı belirtilmiştir.

## 2.2. Su Endüstrisinde Enerji Geri Kazanım Alanları

Hidroelektrik kapasitesini artırmaya yönelik daha düşük maliyetli fırsatlar arasında, işletmedeki HES'lerdeki teçhizatların yenilenmesi ve iyileştirilmesi, üretimin olmadığı barajlara enerji üretiminin eklenmesi ve inşa edilmiş su yollarının (kanallar) kullanımı, su tedarik ve arıtma sistemlerinin ve endüstriyel atık akışlarının güç kaynakları olarak kullanılması sıralanabilir. Choulot ve ark. (2012), mevcut altyapılarda enerji geri kazanımını sağlayan hidroelektrik santraller sayesinde, çok amaçlı su planları, iç denizcilik, atık su arıtma veya içme suyu temini gibi sektörlerde kaynağın sürdürülebilir yönetimi söz konusu olduğunda, su politikası üzerinde tartışılan birçok potansiyel soruna çözüm sunduğunu ve bu "uyuyan (gizli)" su potansiyelinin önemli bir pazar payına sahip olduğunu bildirmiştir.

Birleşik Devletler Federal Enerji Düzenleme Komisyonunun (FERC) 2013 tarihli Hidroelektrik Düzenleyici Verimlilik Yasası, iletim hattını öncelikli olarak elektrik üretimi için değil, "tarımsal, kentsel veya endüstriyel tüketim amacıyla suyun dağıtımını için çalıştırılan herhangi bir tünel, kanal, boru hattı, su kemeri, su kanalı, hendek veya benzeri insan yapımı su taşıma sistemi" olarak tanımlamaktadır (Johnson ve ark., 2017). Elektrik üretiminin öncelikli değil ikinci öncelik olduğu bu potansiyellere çok amaçlı planlar adı verilmektedir.

Vanalar (basınçlı akışta) veya hidrolik sıçramalar (açık kanallarda) tarafından dağıtılan gücü kullanmak amacıyla enerji geri kazanımı, su dağıtım şebekelerinde ve atıksu arıtma sistemlerinde büyük önem kazanmaktadır. Su sektörü ile ilgili bir altyapıda aşırı basınç yükünün olduğu yerlerde elektrik üretmek için iyi bir fırsat olabilir (Choulot ve ark., 2012; Perez-Sanchez ve ark., 2017). Su yapılarından enerji geri kazanımı yapılan hidrolik elemanların potansiyel yerleri Şekil 1' deki gibi analiz edilmiştir (Choulot ve ark. 2012; Purece ve Panaitescu, 2023).



Şekil 1. Yardımcı kurulum olarak çalışabilen küçük hidroelektrik santraller için su endüstri bileşenleri (Choulot ve ark. 2012; Purece ve Panaitescu, 2023)

### 2.2.1. İçme Suyu İletim Hatları ve Şebekeleri

Bir içme suyu şebekesi yüksekte bir su kaynağı, yükleme havuzu, cebri boru, rezervuar ve su temini şebekesi olmak üzere beş temel bileşenden oluşmaktadır (Choulot, 2012). Kaynağın konumu itibari ile iletim hatlarında basıncın 12,5 atm yi, şebeke borularında ise kat sayısı göz önünde bulundurulduğunda basıncın 8 atm yi geçmesi istenmeyeceği için basınç fazlası olması kaçınılmazdır.

Su kayıplarının önlenmesi için topografik yapının uygun olduğu yerlerde en yüksek statik basıncın 80 m'den 60 m düzeyine indirilmesi İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği'nde alınacak önlemler arasında yer almaktadır (28994 sayılı Resmi Gazete). İletim hatlarında ve şebekelerde basıncı kırmak amacı ile kullanılan basınç kırıcı yapılar (maslaklar, basınç kırıcı ya da düzenleyici vanalar, hazneler vs.) yerine elektrik üretecek türbinlerin yapımı enerjinin geri kazanımını sağlamaktadır.

Su dağıtımı için dünya enerji tüketimi, küresel enerjinin yaklaşık %7' sini oluşturduğu düşünüldüğünde (Coelho ve Andrade-Campos, 2014), basınçlı hatlardan enerji eldesi sistemin kendi içerisindeki enerji ihtiyacını karşılamada kullanılabilir ve enerji verimliliği sağlanacaktır.

İçme suyu hidroelektrik sistemleri, barajlarda, savaklarda ve akarsu yatağı planlarında bulunan çok daha büyük hidroelektrik tesisleriyle karşılaştırıldığında, yüksek su kalitesi (uzun ömür ve az bakım gerektiren işleme olanak sağlar), çevresel etkilerinin asgari düzeyde ya da hiç olmaması ve nispeten iyi ekonomik sürdürülebilirlik gibi üstünlüklere sahiptir. Teknolojik ilerleme sayesinde, içme suyu hidroelektrik potansiyelinden yararlanmak, kapasite çeşitliliğinin en altında, yani mevcut hidrolik gücün 10 kW'ın altında bile ekonomik olarak giderek daha uygulanabilir hale gelmektedir (Voltz ve Grizchek; 2019). Boru hatlarından hidroelektriği yakalayan türbinler, basınç tahliye vanalarının yerine veya basınç tahliye vanalarına paralel olarak yerleştirilebilir (Purece ve Panaitescu, 2023).

İçme suyu iletim hatlarında enerji geri kazanımı yapan farklı ülkelere ait santrallere ait örnekler Tablo 3' de yer almaktadır. Atina Su Temini ve Kanalizasyon Şirketi (EYDAP), Kirfi (760 kW-11,0 m<sup>3</sup>/s), Elikona (650 kW-11,0 m<sup>3</sup>/s), Kartala Kihairona (1200 kW-10,5 m<sup>3</sup>/s), Mandra (630 kW-10,0 m<sup>3</sup>/s), Evinos (820 kW-1,0 m<sup>3</sup>/s), Klidi (590kW-4,2 m<sup>3</sup>/s) olmak üzere altı adet KHES' den elektrik üretimi yapmaktadır (EYDAP, 2024). Ayrıca Lihtenştayn'da Schlosswald (Vaduz), Steia (Eschen), Maree (Vaduz), Stieg (Vaduz) Wissa Stä (Planken), Schaaner Quellen (Schaan), Wasserchöpfquellen (Triesenberg), Meierhof (Triesen) ve Kopfquellen (Balzers) içme suyu enerji santralleri olmak üzere dokuz adet tesis yılda toplam 2571 MWh elektrik üretmek 575 hanenin elektrik ihtiyacını karşılamaktadır (URL-2). Cape Town' da (Güney Afrika) bulunan tesisler içme suyu amaçlı artırılmamış su iletimi ya da arıtma tesisi üzerinde kurulu tesisler olup, ürettikleri enerjiyi şebekeye vermeyerek sadece kendi tesisleri için kullanmaktadır (GILKES, 2024).



**Tablo 3.** İçme suyu iletim hatları üzerinde elektrik üretimi yapan tesisler

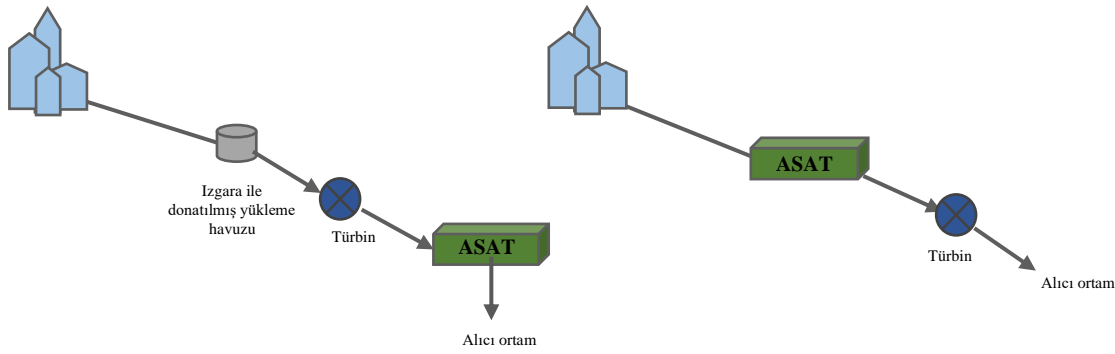
Tesis Adı	Ülke	Tasarım debisi (m <sup>3</sup> /s)	Net düşü (m)	Çıkış gücü (kW)	Kaynak
Mühlau	Avusturya	1,6	445	5750	SHAPES, 2007
Vienna Mauer	Avusturya	2,0	34	500	SHAPES, 2007
La Zour	İsviçre	0,3	217	465	SHAPES, 2007
Shreyerbach	Avusturya	0,02	391	63	SHAPES, 2007
Poggio Cuculo	İtalya	0,38	28	44	SHAPES, 2007
Ain Leghwaibe	Lübnan	0,9	30	168	Al Achkar R., 2019
Riein	İsviçre	15,3	545	15,3	Alpiq, 2024
Esterberg Gde. Garmisch-Partenkirchen	Almanya	44 -154	502	636 kW	ACPWMA, 2011
Troistorrents-Valais	İsviçre	35	242	75	ACPWMA, 2011
Steenbrass, Cape Town	Güney Afrika	0,656	34	358	GILKES, 2024
Blackheath, Cape Town,	Güney Afrika	1,52	56	711	GILKES, 2024
Faure, Cape Town,	Güney Afrika	1,458	130	1475	GILKES, 2024
SiBo, Lake Victoria	Kenya	0,4	27	360	GILKES, 2024

Ülkemizde de son 10 yılda içme suyu isale hatlarında enerji eldesine yönelik projeler ve yatırımlar (Tahiroğlu ve Diş, 2022; URL-3) Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği (30772 sayılı Resmi Gazete) ile hız kazanmış ve belediyelerce işletilen içme suyu ve atıksu iletim hatlarının üzerinde üretim yapacak tesisler önlisans ve lisans alma ile şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulmuştur. Bursa'da İçme ve Kanalizasyon İdaresi (BUSKİ) tarafından isale hatları üzerine D0 (2014 yılı), D13(2016 yılı) ve D12 su depolarına 3 adet Francis türbin, Erzurum' da isale hattı üzerine Cross Flow türbin (Tahiroğlu ve Diş, 2022; TEMSAN, 2023), İzmit Yuvacık içme suyu arıtma tesis girişi Francis türbin (TEMSAN, 2023) ile ülkemizde KHES'den elektrik üretimi yapan tesislerden bazılarıdır.

### 2.2.2. Atık Su İletim Hatları ve Arıtma Tesisleri

Temel amacı alıcı su kütlelerine güvenli bir şekilde deşarj edilebilecek bir atık su elde etmek olan Atık Su Arıtma Tesisleri (ASAT), bunu çevreyi korumak için mevcut en iyi teknolojilerle sürdürülebilir bir şekilde yapmak için uygun fiyatlı çözümlerle sağlarken, bu hedefler doğrultusunda yüksek enerji talebi için kaynak kullanımını optimize etmek verimliliğin artmasını ve yenilenebilir enerji üretimini sağlayacaktır (Llacer-Iglesias ve ark., 2021). Küçük tesisler bir ülkede arıtılan atık su hacminin çok yüksek bir yüzdesini temsil etmese de enerji tüketimindeki payları hayli yüksektir. Su temin ve atıksu arıtma sistemlerinde elektrik tüketiminin azaltılması son yıllarda artan ilgi konusu olmuştur. ASAT'larda hidroelektrik üretimi, sera gazı emisyonu oluşturmayan ve inşaat işlerini azaltan mevcut altyapıyla sinerji sunan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (Bousquet ve ark., 2017).

Avrupa Küçük Hidroelektrik Birliği (ESHA) göre ASAT'ın deşarj noktasına yakın müsait en düşük kota inşası neticesinde elektrik üretimi için ASAT tesis girişinde ve endüstriyel tesislerin çıkışında olmak üzere iki olasılık söz konusudur. ASAT öncesi yerleşim alanının atık su şebekesi, ince bir ızgara ve ızgara temizleyici ile donatılmış bir yükleme havuzu dahil edilmeli ve hidro santral arıtma tesisine mümkün olduğunca yakın yerleştirilmelidir (Purece ve Panaitescu, 2023). ASAT sonrası ikinci olasılık ise, ASAT' dan çıkan arıtılmış su alıcı ortama deşarj edilmeden önce bir cebri boru aracılığıyla düşüyü maksimuma çıkarmak için ASAT'a yakın seçilen türbine (Şekil 2) yönlendirilir (Choulot, 2012). Farklı ülkelerde bu uygulamalara ait örnekler Tablo 4' de yer almaktadır.



Şekil 2. Atık su arıtma tesisi öncesi ve sonrası türbin yerleşimi

Atık su arıtma çıkışı, yeterli ve sabit su akışı nedeniyle genellikle türbin kurulumu için uygundur. Hidro türbinlerin seçimi için gerekli olan düşü ve akış gibi parametreler, ASAT sürecinin bir parçası olarak sürekli olarak izlendiği için türbin performansının izlenmesi nispeten kolay olabilir (Punys ve Jurevicius, 2022).

Tablo 4. Atık su sistemleri üzerinde geliştirilen örnek hidroelektrik santraller

Tesis Adı	Ülke	Türbin yeri	Türbin tipi	Kurulu güç (kW)	Düşü (m)	Tasarım debisi (m <sup>3</sup> /s)	Cebri boru uzunluğu (m)/ Çapı (mm)	Kaynak
Le Châble Profray	İsviçre	MEA	Pelton	350	449	0,1	2290/300	Bousquet ve ark., 2017; Llacer-Iglesias ve ark., 2021;
Chaux-de-Fonds	İsviçre	MAA	Pelton	1532	393	0,5	VY	Llacer-Iglesias ve ark., 2021;
Morgental, St. Gallen	İsviçre	MAA	Pelton	1350	190	0,84	4800/800	Bousquet ve ark., 2017
Grächen	İsviçre	MAA	Pelton	262	365	0,09	830/300	Bousquet ve ark., 2017

Tablo 4 (Devam)

Elsholt	İngiltere	MEA	Arşimet Burgu Türbini	2 × 110	8,2	2,6	2600	URL-4; Bousquet ve ark., 2017
Emmerich, Emmerich am Rhein	Almanya	MAA	Arşimet Burgu Türbini	13	3,8	0,4	1200	Bousquet ve ark., 2017; Llacer-Iglesias ve ark., 2021
Brussels-North, Brussels	Belçika	MAA	VY	640	VY	VY	VY	Llacer-Iglesias ve ark., 2021
La Asse, Nyon	İsviçre	MAA	TP	215	94,25	0,293	3515/600	Bousquet ve ark., 2017; Llacer-Iglesias ve ark., 2021; Choulot ve ark., 2012
Chartres Métropole, Mainvilliers	Fransa	MAA	VY	200	VY	0,8	VY	Llacer-Iglesias ve ark., 2021
As Samra I-Amman	Ürdün	MEA	Pelton	2 × 830	104	2 × 1,25	VY/1500	SHAPES, 2007; Bousquet ve ark., 2017; Llacer-Iglesias ve ark., 2021
As Samra II-Amman	Ürdün	MAA	Francis	2 × 807	42	2 × 2,3	2000/2000	SHAPES, 2007; Bousquet ve ark., 2017; Llacer-Iglesias ve ark., 2021
Ebswien-Vienna	Avusturya	MAA	Burgu türbin + Kaplan	400	5	6,5	VY	Llacer-Iglesias ve ark., 2021
Plobb-Seeefeld, Seefeld Zirl	Avusturya	MAA	VY	1192	625	0,25	VY	Llacer-Iglesias ve ark., 2021; Choulot ve ark., 2012
North Head, Sydney	Avustralya	MAA	Kaplan	4500	60	3,5	VY	Bousquet ve ark., 2017; Llacer-Iglesias ve ark., 2021; Choulot ve ark., 2012
Deer Island-Boston	US	MAA	Kaplan	2 × 1000	8,8	2 × 13,1	VY	Bousquet ve ark., 2017; Llacer-Iglesias ve ark., 2021;
Point Loma-San Diego	US	MAA	Francis	1350	27,4	7,6	7200/VY	Bousquet ve ark., 2017; Llacer-Iglesias ve ark., 2021;
Clarkson-Mississauga	Kanada	MAA	VY	225	5	VY	VY/VY	Llacer-Iglesias ve ark., 2021; Clarkson WWTP Annuall report, 2022

\*Membra yönlü atık su, MEA- Mansap yönlü artılmış atık su, MAA, Türbin olarak pompa- TP, VY-Veri Yok

### 2.2.3. Açık Kanal Ağları ve Sulama Kanalları

Akarsular ve vadilerdeki küçük barajlarda, açık sulama kanallarında ve drenaj sistemlerinde farklı hidrolik yükleri veya yönlendirme planlarını kullanarak mikro hidroelektrik üretimi sağlanabilir (Perez-Sanchez ve ark., 2017). Bu tür hidroelektrik üretiminin gelişimi yakın zamana dayanıyor gibi görünmesine rağmen, Sanayi Devriminde makinaların çalıştırılmasına esas teşkil eden su çarklarının yıllar öncesinde tüm kıtalarda mevcut olması ve hala birçok ülkede çalışır halde (Birleşik Krallık, Fransa, İspanya, ABD, Afrika ve Asya'nın bir kısmı) bulunmaktadır (Perez-Sanchez ve ark., 2017). Gelişmekte olan ülkelerde bu projeler, şebeke genişletmenin olmadığı veya sürdürülemez olduğu düşünülen uzak bölgelerdeki insanların sosyo-ekonomik kalkınmasına halihazırda büyük katkı sağlamaktadır (Kumar ve Katoch, 2015).

Su döngüsünde enerji verimliliğinin artırılması için su temin sistemlerinin yanı sıra sulama ağları da oldukça önemlidir. Dünya çapında 3925 km<sup>3</sup>/yıl su tüketiminin, %69,53' ü sulamada, %18,70'i sanayide ve %11,77'si ise içme suyu sistemlerinde kullanılacak şekilde dağıtılırken (Perez-Sanchez ve ark., 2017), tarım sektöründeki yaklaşık %70 değerindeki bu su tüketimi bazı gelişmekte olan ülkelerde ortalama %95' e kadar çıkmaktadır (Barbon ve ark., 2023). Dolayısıyla sulama için tüketilen su miktarı kentsel sistemlere göre daha yüksek olduğundan, sulamanın modernizasyonu sadece yüksek teknoloji ve otomasyonla değil, aynı zamanda bu altyapının sürdürülebilirliğini sağlayacak su yönetimiyle de ilişkilendirilmelidir (Perez-Sanchez ve ark., 2017).

Sulanan yüzey alanının çok büyük olması nedeniyle (dünyada sulama tesisleri ile sulanması sağlanan yaklaşık 324×10<sup>6</sup> ha alan mikro ve piko hidroelektrik kurulumunun incelenmesi, gereklidir. Türkiye'de sulama ile ilgili büyük su yatırımlarının 2022 yılı verilerine göre yıllık yaklaşık % 58,99' unu sulama için harcandığı (DSİ, 2022) İspanya' da ise tüm su temin sisteminin maliyetinin % 20' sini oluşturduğu (Perez-Sanchez ve ark., 2017) düşünüldüğünde enerji tüketimini azaltacak sistemlerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Yenilenebilir enerji üretiminin artırılması amacı ile Avrupa Birliği tarafından Akıllı Enerji Avrupa Programı aracılığıyla ortaklaşa finanse edilen RESTOR Hydro projesi (2012–2015), su değirmenlerini, çalışmayan hidroelektrik santrallerini, barajları ve sulama yapılarını tespit edip restore ederek oluşturduğu RESTOR Hydro haritasında 65.000 olası mikro-mini hidroelektrik santralının konumunu ve özelliklerini göstermiştir (Barbón ve ark., 2023).

Bazı ülkelere ait sulama ağları üzerinde geliştirilen küçük hidroelektrik santrallerine ait veriler Tablo 5' de verilmektedir.

**Tablo 5.** Mevcut sulama ağlarında geliştirilen bazı küçük hidroelektrik projeleri örnekleri ve özellikleri

Tesis Adı	Ülke	Türbin tipi	Kurulu güç (kW)	Düşü (m)	Tasarım debisi (m <sup>3</sup> /s)	Kanal (Tünel ya da boru) uzunluğu (m)	Kaynak
Armary	İsviçre	Pelton	68	105	0,08	VY	SHAPES, 2007, Kucukali, 2021
Marchafeldkanal	Avusturya	2 Kaplan	2	70	6,00	VY	SHAPES, 2007, Kucukali, 2021
Petiva	İtalya	3 Kaplan	6	875	18,50	VY	SHAPES, 2007, Kucukali, 2021
Esanta	İtalya	Kaplan	24	860	4,50	VY	SHAPES, 2007, Kucukali, 2021
Rino	İtalya	Pelton	2800	446	0,78		SHAPES, 2007, Kucukali, 2021
Astuwatt, Astudillo (Palencia)	İspanya	2 Kaplan	2x200	2,9	9,00	640	Alonso-Tristán ve ark., 2011
Rebolluelo, Rincón de Soto	İspanya	2 Kaplan	60,6	4,80	1,495	VY	Barbón ve ark., 2023
Gojou	Japonya	Francis	1100	24,0	5,40	670	Ueda, 2013
Asaka-soui	Japonya	Francis	2260	87,3	3,20	VY	Ueda, 2013
Nishime	Japonya	Francis	740	116,0	0,80	820	Ueda, 2013
Yasukawa	Japonya	Francis	640	21	4,00	400	Ueda, 2013
Kamigo	Japonya	Boru içi Türbin	640	12,7	6,50	1570	Ueda, 2013
Kawakoda	Japonya	Francis	720	19,0	5,00	160	Ueda, 2013
Shichika-yosui	Japonya	Boru içi Türbin	640	5,5	15,00	450	Ueda, 2013
Konomata	Japonya	Francis	960	60,3	2,00	2580	Ueda, 2013

Hidro türbinler sulama kanallarında derivasyon yapısı duvarına uygulanabileceği gibi yapının hemen yanına da inşa edilebilir. Ayrıca sifon türbinleri veya vidalı türbinler de mevcut birçok yapıda yer alabilir (Purece ve Panaitescu, 2023).

#### 2.2.4. Yağmur Suyu Altyapı Sistemleri

Bir yüzeysel akış toplama sisteminin potansiyeli içme suyu şebekesinin potansiyeline benzerdir ancak su yoluyla türbine taşınan partiküller ve akış dalgalanmaları sorun teşkil etmektedir (Choulot, 2012). Yağmur suyu kalitesi sahanın topografyasına bağlı olarak değişen sediment boyutların kaba danelerden siltlere kadar sonsuz çeşitliliği ve birikme özellikleri, bir tutma çıkışının tasarımını zorlaştırmaktadır. Enerji üretim performansını azaltabilecek türbin erozyonu sorununu önlemek için enerji üretimi yapılacak yağmur sularının ve yüzey sularının temiz olması için elek girişi gibi işlemlerle büyük parçacıkların filtrelenerek türbin ve jeneratör bileşenlerine girmesi önlenmelidir (Kamal ve ark., 2017).

Yağmur suyu altyapısında bir mikro hidroelektrik sistemini doğru şekilde tasarlaması için düşük yüklü hidro, fırtına olayları sırasında yağış miktarı ve artırılmış suyun yağmur suyu bekletme

yerlerinde depolanması gibi önemli parametrelerin üzerinde durulması gerekmektedir (Kamal ve ark., 2014). Kamal ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, fırtına olaylarından kaynaklanan akan su ile ilgili olarak küçük ölçekli hidroelektrik üretimini ve yağmur suyu tutma çıkışında düşük düşü uygulamasının olasılığını incelemiştir. Yağmur suyunun kalite ve miktar bakımından yakından yönetilmesi durumunda, yağmur suyu altyapısında küçük ölçekli kentsel hidroelektrik enerjinin uygulanması teknik olarak mümkün olduğunu, menfez türü ve tutma çıkışı gibi tasarım hususlarının yağmur suyu akışından üretilen enerjinin optimize edilmesi gerekliliklerini karşılaması gerektiğini vurgulamış ve dolayısıyla Malezya gibi bol yağış alan ülkelerde yeni bir yenilenebilir enerji kaynağı olabileceği belirtilmiştir.

### 2.2.5. Deniz Suyu Arıtma Tesisleri

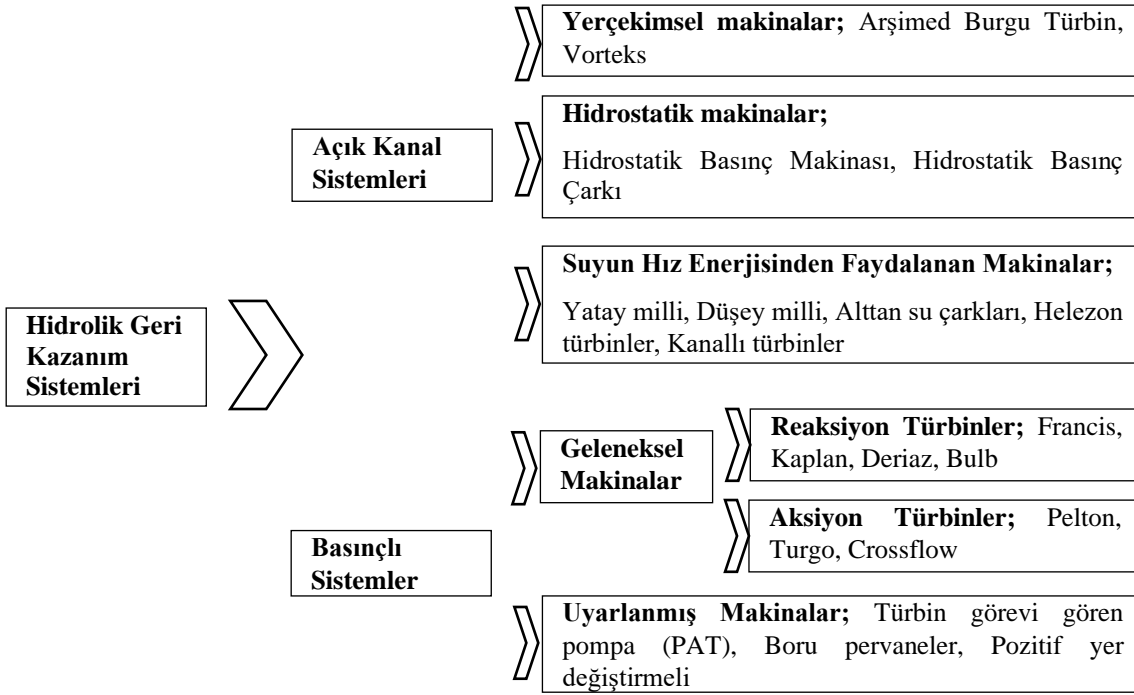
Basınç geciktirmeli osmoz veya osmotik güç prosesi, tuz konsantrasyonundaki farklılık nedeniyle tatlı suyun deniz suyuyla karışma eğiliminin neden olduğu bir hidrolik basınç potansiyeli olan doğal olarak oluşan osmoz kavramını kullanır (Kumar ve ark., 2011). Deniz suyu arıtma tesisleri yüksek basınç altında (40-80 bar) yarı geçirgen membranlar yoluyla çözünmüş tuzu sudan ayıran ters osmoz kullanır. Hala yüksek basınçta olan tuz içeren sıvı su kalıntısı, ilk sıkıştırma için kullanılan enerjinin bir kısmının geri kazanılması amacıyla bir türbinden geçirilebilir (Choulot ve ark., 2012). İspanya Blanes' de Tordera Deniz suyu arıtma tesisi ile içme suyu temini ve yeraltı suyu geri kazanımı esnasında 685 m net düşü, 0.107 m<sup>3</sup>/s debi ve 720x4 kW çıkış gücü ile elektrik üretimi yapılmaktadır (SHAPES ,2020).

### 2.2.6. Termal Güç Santralleri

Termal güç santrallerinde denizden santralin kondenser ünitesine pompalanan soğutma suyu potansiyel kaynaktır. Kondenser ünitesinden çıkan soğutma suyu, santralin özelliğine göre çapı 1 m'den fazla olan su çıkış borusu ile deniz seviyesinin üzerinde olan boşaltma kanalına yönlendirilir. Bu boşaltma kanalına bir türbin kurularak suyun denize geri gönderilmesi sağlanabilmektedir. Hidroelektrik üretimi, termik santraldeki fosil yakıt tüketiminin anında azalmasına yol açtığından, teorik olarak, hidroelektriğin hesaplanan spesifik maliyetleri, buhar türbininden elde edilen elektriğin nispeten yüksek spesifik üretim maliyetleriyle doğrudan karşılaştırılabilir (CEDRO, 2013). Polonya Skawina' da kurulu termal güç santrali buhar bloğu kondenserlerinin soğutulmasını ile deşarj edilen soğutma suyundan mekanik enerji geri kazanımı ile yılda 6,390,000 kWh elektrik üretim, kurulu gücü 1560 kW, net düşüsü 7.9 m ve tasarım debisi 23.3 m<sup>3</sup>/s santral ile sağlanmaktadır (SHAPES, 2020).

### 2.3. Kullanılan Türbinler

Bir türbin düşen sudan gelen enerjiyi dönen şaft gücüne dönüştürür ve güç çıkışı su basıncına bağlı olarak impuls ve reaksiyon/aksiyon (kinetik) olarak sınıflandırılabilir. İmpuls tipi genellikle su jetlerinden gelen kinetik enerjinin türbinde mekanik dönüş enerjisine dönüştürüldüğü kuyruk kanallarında çalışır. Reaksiyon türbinleri suyun momentumunun yönünü değiştirerek basıncı ve kinetik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürür. Bu türbinler, enerjinin yerçekimi kinetiğinin aksine tamamen kinetik olduğu sıfır su basıncında çalışabilir (Thyer ve White, 2023).



**Şekil 3.** Enerji elde etmek için kullanılan hidrolik makinelerin sınıflandırılması (Perez-Sanchez ve ark., 2017)

100 kW'a (mikro hidro) kadar güce sahip sistemler arasında, kentsel ve bina ölçeğinde entegrasyon potansiyeli açısından özellikle cazip olan, boru içi hidroelektrik sistemleridir. Yerçekimi beslemeli ve basınçlı iletim ve dağıtım hatları ile atık su tahlieleri ve diğer boru taşıma sistemleri için tasarlanan bu özel mikro hidro sistemler, belediye su veya atık su sistemleri, endüstriyel su sistemleri veya sulama sistemlerine yerleştirilebilir (Casini, 2015).

**Tablo 6.** Türbin tipleri ve işletme aralığı (Coelho ve Andrade-Campos, 2014; Quaranta ve Revelli, 2015; Quaranta ve Revelli, 2016; Thyer ve White, 2023)

Türbin Tipi	Yük Aralığı		Verim (%)
	Düşük Yük (<10 m)	Orta Yük (10-50 m)	
İmpuls	Crossflow	Crossflow, Pelton, Turgo	80 70-90 87-91
Reaksiyon	Francis (radyal akış), Kaplan (eksenel akış, pervane)	Francis (radyal akış)	70-74 70
Su çarkı	Aşırı Vuruş (overshot) Göğüs Vuruşu (breastshot) Akarsu Çarkı (Undershot)		80-90 75
Diğerleri	Arşimet PAT hidrostatik split boru vortex	PAT Çapraz Borulu -CPT	86 (Düşük Yük) 85

PAT' lar kolayca bulunabildikleri, basit ve uygun maliyetli oldukları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, PAT' ların akış hızı sabit olmadığında orta ve yüksek debi değişimlerine izin vermez. Geleneksel türbinlere kıyasla en yüksek performansı daha düşüktür. Ancak maliyeti daha düşük olduğu için geri ödeme süresi daha kısadır.

### 3. Sonuçlar

Hidrolik enerji üretiminin yönetimine ilişkin ulusal ve uluslararası düzeyde yerel veya bölgesel ölçekte birçok örnekte elde edilen deneyimler sayesinde mevcut bir altyapıya entegre hidrolik santraller ile enerji geri kazanımı yöneticiler ve yatırımcılar için cazip hale gelmiştir. Bu küçük hidroelektrik potansiyel, ulusal enerji sistemine katkı açısından çok önemli olmasa da tüketicilerin elektrik talebindeki potansiyeli azaltma açısından önemlidir.

KHES ler mevcut alt yapıya entegre edildiği için gelişmeye açık çevre dostu bir pazar olduğunu söylemek mümkündür. Bu çok amaçlı programlar büyük arazi kullanımını azaltmakla birlikte hidrolojik dalgalanmalardan etkilenmeden enerji üretim maliyetini ve su sektörleri ile ilişkili çevresel etkileri azaltarak bir yeşil enerji girdisi sağlamada mükemmel bir fırsat sunar.

Su sektöründe mevcut enerji verimliliği ve enerji kazanımı sağlamaya yönelik olan bu temiz, yenilenebilir ve uygun fiyatlı sürdürülebilir enerji teknolojisi projeler ile Birleşmiş Milletler' in (UN) belirlediği 17 sürdürülebilir kalkınma hedefine (SDH) ulaşmada SDG 6 (temiz su ve sıhhi koşullar), Erişilebilir Temiz Enerji (SDG7), Sürdürülebilir Şehir ve Yaşam Alanları (SDH11) ve İklim Eylemi (SDG13) hedeflerinin kazanımı sağlanacaktır.



Bu bağlamda, yerel su sektörleri ve şebekeden sağlanacak enerji ile bireylerin enerji ayak izinin azaltılmasına katkı sağlanabileceği gibi minimum iletim ve işletim maliyetine sahip olan kentsel su temin sistemlerinde enerji geri kazanımı ile de pompaların enerji ihtiyaçları karşılanabilecektir. Borularda müsaade edilecek yük kayıplarının ve gelir getirmeyen su (kayıp-kaçak) oranının düşürülmesi, su tedarik çalışmasının enerji optimizasyonu sağlanacaktır.

Kentsel su ve çeşitli su alt yapı hizmetlerinden enerji eldesini kolaylaştıran yapıların iklim değişimi ile mücadelede etkili olacağı ve sürdürülebilir enerji yönetimi sayesinde su ve enerji tasarrufunu sağlayacağı unutulmamalıdır. Sonuçta var olan fakat kullanılmayan bir enerji geri kazanılmış olacaktır.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- Abbas A.I., Qandil M.D., Al-Haddad M.R., Saravani M.S. ve Amano R.S. (2019). Utilization of Hydro-turbines in water treatment plants, *Journal of Energy Resources Technology*, 141 (6), 062011
- ACPWMA (2011). Common Guidelines for the Use of Small Hydropower in the Alpine Region,, Alpine Convention Platform Water Management in the Alps, AC11/B8/2
- Al Achkar R. (2019). Renewable Energy For Advancing Water-Energy Interlinkages For Sustainable Development *Lebanon Case Studies*, Expert Group Meeting on “Enhancing capacity building addressing Water and Energy interlinkages for Sustainable Development in the Arab Region, ESCWA-UNDESA, Beirut.
- Alonso-Tristán C., González-Pena D., Díez-Mediavilla M., Rodríguez-Amigo M., García-Calderón T.,(2011). Small hydropower plants in Spain: A case study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2729-2735
- Alpiq (2024). Swiss energy services provider and electricity producer in Europe, <https://www.alpiq.com/power-generation/new-renewable-energy-sources/small-scale-hydropower-plants/riein>
- Barbón A., González-González F., Bayón L., Georgious R., (2023). Variable-Speed Operation of Micro-Hydropower Plants in Irrigation Infrastructure: An Energy and Cost Analysis, *Applied Science*,13, 13096.

- 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
- Casini, M. (2015). Harvesting energy from in-pipe hydro systems at urban and building scale, *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 4, 4, 316-327
- CEDRO (2013). Hydropower from Non-River Sources; the potential in LEBANON, Country Energy Efficiency and Renewable Energy Demonstration Project for the Recovery of Lebanon, <https://www.undp.org/lebanon/publications/hydropower-non-river-sources-potential-lebanon>
- Choulot A., Denis V. ve Punys P. (2012). Integration of Small Hydro Turbines into Existing Water Infrastructures, *Hydropower - Practice and Application*, Edt Hossein Samadi- Boroujeni, Intech Open, 334.
- Clarkson Waste Water Treatment Plant Annual Report, (2022). <https://www.peelregion.ca/wastewater/media/clarkson-WWTP-report-2022.pdf>
- Coelho B. ve Andrade-Campos A., (2014). Efficiency achievement in water supply systems—A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 59–84.
- DSİ, (2022). DSİ 2022 Faaliyet Raporu, Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara
- Ebrahimi M., 2023. Power Generation Technologies Foundations, Design and Advances, Academic press-Elsevier, 649pp.
- EU 2018/2001, (2018). Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of The Council of 11 December 2018 on The Promotion of the Use Of Energy From Renewable Sources (recast).
- IEA, (2021). Hydropower Special Market Report Analysis and Forecast to 2030, International Energy Agency, [https://iea.blob.core.windows.net/assets/4d2d4365-08c6-4171-9ea2-8549fabd1c8d/HydropowerSpecialMarketReport\\_corr.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/4d2d4365-08c6-4171-9ea2-8549fabd1c8d/HydropowerSpecialMarketReport_corr.pdf)
- IHA, (2022). Hydropower Status Report Sector Trends and Insights, [https://assets-global.website-files.com/5f749e4b9399c80b5e421384/63a1d6be6c0c9d38e6ab0594\\_IHA202212-status-report-02.pdf](https://assets-global.website-files.com/5f749e4b9399c80b5e421384/63a1d6be6c0c9d38e6ab0594_IHA202212-status-report-02.pdf)
- IRENA, (2012). Hydropower, Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series, 1, 3/5,
- Johnson K., Levince A. ve Curtis T. (2017). Energy Recovery Hydropower: Prospects for Off-Setting Electricity Costs for Agricultural, Municipal, and Industrial Water Providers and Users, National Renewable Energy Laboratory Technical Report, NREL/TP-6A20-70483
- Llácer-Iglessias R.M., López-Jiménez P.A. ve Pérez-Sánchez,M., (2021). Hydropower Technology for Sustainable Energy Generation in Wastewater Systems: Learning from the Experience, *Water*, 13, 3259.
- Kamal N.A., Park H. ve Shin S. (2014). Assessing the viability of microhydropower generation from the stormwater flow of the detention outlet in an urban area, *Water Science and technology water supply*, 14.4, 664-671
- Kamal N.A., Lee G., Shin S. ve Park H. (2017). Design of Stormwater Particle Removal System for Small-Scale Urban Hydropower based on the Vortex and Coandă Effects, *International Journal of Engineering and Technology*, 9(2), 395-403.
- Kucukali S., Al Bayati, O. ve Maras, H. (2021). Finding the most suitable existing irrigation dams for small hydropower development in Turkey: A GIS-Fuzzy logic tool *Renewable Energy*, 172, 633-650
- Kumar, A., Shei, T., Ahenkora, A., Caceres Rodriguez, R., Devernay, J.M., Freitas, M., Hall, D., Killingtveit, A. ve Liu, Z. (2011). Hydropower, IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Edenhofer, O., Pichs-Mdruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Stechow, C. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- Kumar D., Katoch S.S. (2015). Small hydropower development in western Himalayas: Strategy for faster implementation, *Renewable Energy*, 71, 571-578
- EYDAP (2024). <https://www.eydap.gr/en/TheCompany/Energy/HydroProjects/>
- Paschalis E., Alamanis N., Papageorgiou G., Tselios D., Zahidou A., Boufikos I., 2022. Holistic management of drinking water and sewerage network in terms of energy production. The case of Larissa city, Greece, *Energy Nexus*, 7, 100120
- Pedraza J.M. (2022). Non-Conventional Energy in North America Current and Future Perspectives for Electricity Generation, Elsevier, India.
- Pérez-Sánchez M., Sánchez-Romero F.J., Ramos H.M. ve López-Jiménez P.A. (2017). Energy Recovery in Existing Water Networks: Towards Greater Sustainability, *Water*, 9 (97), 1-20
- POST (2006). Carbon footprint of electricity generation Parliamentary Office of Science and Technology, Number 268, <https://www.parliament.uk/globalassets/documents/post/postpn268.pdf>
- Punys P. ve Jurevicius L. (2022). Assessment of Hydropower Potential in Wastewater Systems and Application in a Lowland Country, Lithuania, *Energies*, 15, 5173

- Purece C. ve Panaitescu V. (2023). Technologies for Using Hidden Hydropower Potential, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 20, 3 (III), 1-11
- Quaranta E. ve Revelli R., (2015). Output power and power losses estimation for an overshoot water Wheel Renewable Energy, 83, 979-987
- Quaranta E. ve Revelli R., (2016). Optimization of breastshot water wheels performance using different inflow configurations, Renewable Energy, 97, 243-251
- REN21 (2020). Renewables 2020 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, ISBN 978-3-948393-00-7
- REN21 (2022). Renewables 2020 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, ISBN 978-3-948393-04-5
- Resmi Gazete, (2014). İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği, 28994
- Resmi Gazete, (2019). Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği, 30772.
- SHAPES (2020). Energy Recovery in Existing Infrastructures with Small Hydro Turbine, Multi Purpose Schemes-Overview and Examples, FP6, Small Hydro Action for the Promotion of Efficient Solutions Project partially funded by the European Directorate for Transport and Energy.
- Shiji C., Dhakal S. ve Ou C. (2021). Greening small hydropower: A brief review, Energy Strategy Reviews , 36, 100676
- Tahiroğlu A.F. ve Diş M.Ö. (2022). İçme Suyu İsale Hatlarındaki Basınç Kırıcı Yapılarda Enerji Üretiminin Yapısal Tasarımı ve Analizi: Kahramanmaraş Örneği, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 34 (1), 61-73.
- Thyer S. ve White T. (2023). Energy recovery in a commercial building using pico-hydropower turbines: An Australian case study, Heliyon, 9, e16709
- UNIDO, ICSHP (2022). World Small Hydropower Development Report 2022. United Nations Industrial Development Organization, Vienna, Austria; International Center on Small Hydro Power, Hangzhou, China. Available at [www.unido.org/WSHPDR2022](http://www.unido.org/WSHPDR2022).
- URL-1: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik#:~:text=2022%20y%C4%B1%C4%B1%20Kas%C4%B1m%20ay%C4%B1%20sonu,%C3%BC%20ise%20di%C4%9Fer%20kaynaklar%20%C5%9Feklindedir>. (Erişim tarihi: 24.04.2024)
- URL-2: <https://www.lkw.li/unternehmen/kraftwerke.html>, (Erişim tarihi: 22.02.2024)
- URL-3: <https://www.temsan.gov.tr/prjd/4/yuvacik-hes>, Temsan Milli Enerji Teknolojileri, Yuvacık HES, (Erişim Tarihi: 21.01.2023)
- URL-4 [https://cms.esi.info/Media/documents/54053\\_1Yorkshire316689157666.pdf](https://cms.esi.info/Media/documents/54053_1Yorkshire316689157666.pdf), Spaans Babcock Ltd., (Erişim Tarihi: 08.02.2024)
- Ueda T., Goto M., Namihira A. ve Hirose Y. (2013). Perspectives of small-scale Hydropower Generation Using Irrigation Water in Japan, The Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 47(2), 135-140.
- Voltz T.J. ve Grischek T. (2019). Microturbines at Drinking Water Tanks Fed by Gravity Pipelines: A Method and Excel Tool for Maximizing Annual Energy Generation Based on Historical Tank Outflow Data, Water, 11, 1403