

Türkiye’de Atıksu Arıtma, Sulama ve İçme Suyunda MikroHES Potansiyeli

Tarih: 25 Aralık 2024

İçindekiler Tablosu

1. GİRİŞ.....	3
2. MİKROHES’LER.....	7
3. MİKROHES BİLEŞENLERİ VE SEÇİMİ	12
3.1. TÜRBİN SEÇİMİ	12
3.2. JENERATÖR SEÇİMİ	16
3.3. CEBRİ BORU SEÇİMİ.....	16
4. MİKROHES’LE ENERJİ ÜRETİM HESAPLAMASI	18
5. YATIRIM MALİYETİ.....	20
6. AMORTİSMAN SÜRESİ	21
7. KAYNAKLAR.....	23
Şekil 1. AAT’inde ve İçme Suyu Arıtma Tesislerinde MikroHES Uygulaması	5
Şekil 2. AAT’de MikroHES Uygulaması Akım Şeması	7
Şekil 3. MikroHES Uygulama Örnekleri	10
Şekil 4. Yıl İçinde Atıksu Debisinin Değişimi	10
Şekil 5. Debiye Bağlı Olarak Türbin Verimliliği.....	13
Şekil 6 . Düşü Yüksekliği Dikkate Alındığı AAT’de Türbin Kurulum Şeması: Brüt Kafa (Hmax), Net Düşü Yüksekliği (Hn), Hidrolik Sürtünme Kayıpları (hf) ve Yerel Kayıplar (hloc)	13
Şekil 7. Türbin Tipleri, Uygulama Aralığı ve Verimlilikleri (Debi ve Basınca Göre Türbin Seçimi)	14
Şekil 8. PAT Sistemi Örnek Uygulama Şematik Diyagramı Aşırı debilerde baypas sistemi olarak üçüncü vana kullanılır.....	15
Şekil 9. (a) Atıksu Deşarj Alanı ve (b) Alan Seviyeleme Sonuçları	19
Şekil 10. AAT’de Düşü Yüksekliği.....	19
Tablo 1. AAT’de Düşü Yüksekliği ve Atıksu Debisine Göre Üretilen Elektrik Enerjisi	8
Tablo 2. Akış Hızı (Debi) ile Düşü Yüksekliğine Bağlı Olarak MikroHES’in Uygulanabilirliği.....	8
Tablo 3. Düşük Düşü Yüksekliği ve Debi Oranına Bağlı Olarak Türbin Tipleri	11
Tablo 4. Cebri Boru Malzemelerinin Bileşenleri	17
Tablo 5. Türbin Yatırım Maliyeti Tahminleri.....	20
Tablo 6. Hidroelektrik Sistemlerin Sınıflandırılması.....	21
Tablo 7. MikroHES İstasyonları ve Kapasiteleri	22

1. GİRİŞ

Küresel enerji tüketimindeki artış, küresel yıllık birincil enerji talebinin %44'ünü temsil eden doğal gazın öncülük ettiği fosil yakıt talebinde bir artışa dönüşmüştür. Bu büyüme, teknolojik devrim ve her şeyden önce soğutma, ısıtma ve ulaşım talebi nedeniyle artan enerji gereksinimleri olan bir ekonomi tarafından yönlendirilmektedir. Bu bağlamda, küresel enerjiyle ilgili CO₂ emisyonları 2018'de %1,7 artarak yıllık 33,1 Gt CO₂'lik tarihi bir yüksekliğe ulaşmıştır; bu, yenilenebilir enerjilerdeki büyümeye rağmen küresel ekonomik çıktıdaki her %1 büyüme için yaklaşık %0,5'lik bir artışı temsil etmektedir. Bu rakamlar, enerji üretim sisteminin küresel dönüşümüne olan tartışmasız ihtiyacı desteklemektedir.

Suyun çıkarılması, temini, arıtılması ve dağıtımı ile kentsel sektördeki atıksu arıtmaları için enerji talebi büyük miktarda enerji gereksinimi anlamına gelmektedir.

2020 yılında Avrupa'da üretilen belediye atıksu miktarı 55 km³'dür. 2022 yılında Türkiye’de alıcı ortamlara 16,4 milyar m³ atıksu deşarj edilmiştir.

Dünyada üretilen elektriğin %2 ila %3'ü suyun üretimi, dağıtımı ve arıtımında kullanılmaktadır. Almanya'da 1 m³ atıksu arıtımı için ortalama 0,4 kWh elektrik tüketilirken, Çin'de 0,29 kWh, ABD'de 0,20 kWh/m³ ve Japonya'da 0,26 kWh/m³ olduğu belirtilmektedir.

Geleneksel evsel AAT’lerinde işletme maliyetinin yaklaşık %25-40’ni enerji giderleri oluşturmaktadır ve arıtılmış atıksu başına enerji tüketim değeri 0,3-2,1 kWh/m³ arasında değişmektedir.

Su sektöründe enerji geri kazanımı ve CO₂ azaltımı için mikroHES fırsatları vardır. Burada, içme suyu, sulama suyu ve atıksu sektörleri için altı AB ülkesinde (İrlanda, Kuzey İrlanda, İskoçya, Galler, İspanya ve Portekiz) toplanan bir veri setini kullanarak bu potansiyelin geniş ölçekli bir değerlendirmesi yapılmıştır. Toplanan veriler ekstrapolasyon yapılarak, toplam yıllık mikroHES potansiyelinin varsayımlara bağlı olarak 482,3 ile 821,6 GWh arasında olduğu ve;

- İrlanda (15,5-32,2 GWh),
- İskoçya (17,8-139,7 GWh),
- Kuzey İrlanda (5,9-8,2 GWh),
- Galler (10,2-8,1 GWh),
- İspanya (375,3-539,9 GWh),
- Portekiz (57,6-93,5 GWh),

arasında bölündüğü ve içme suyu (%43-67), sulama (%51-30) ve atıksu (%6-3) sektörlerine dağıtıldığı tahmin edilmektedir.

İrlanda ve Galler'deki içme suyu şebekelerindeki 80 mevcut basınç düşürücü vana ve diğer şebeke altyapısından 17,9 GWh/yıllık geri kazanım potansiyeli belirlenmiştir. İrlanda ve



Türkiye’de Atıksu Arıtma, Sulama ve İçme Suyunda MikroHES Potansiyeli

İngiltere’nin bazı bölgelerinde 100'den fazla atıksu arıtma tesisinde 1,1 MW'lık mikroHES ile enerjisi geri kazanım potansiyelini vurgulamıştır. İsviçre'deki mikroHES enerjisi geri kazanım potansiyelini değerlendirilmiş ve 19 karlı atıksu tesisinden 9,3 GWh/yıllık bir potansiyel olduğu belirlenmiştir. Güney İspanya'daki 4000 hektarlık basınçlı sulama şebekesindeki dört potansiyel türbin kurulumundan 270,5 MWh/yıllık bir potansiyel olduğu tahmin etmiştir. Doğu İspanya'daki 290 hektarlık bir sulama şebekesinde 188,2 MWh/yıllık bir geri kazanım potansiyeli olduğunu vurgulamıştır.

MikroHES yoluyla enerji geri kazanımı yalnızca su dağıtım şebekelerindeki enerji tüketiminin azaltılmasını ele almakla kalmamakta, aynı zamanda su endüstrisinde verimliliğin ve sürdürülebilirliğin iyileştirilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, MikroHES tesisleri için uygun yerler ana hatlarıyla belirtmeli; ham su şebekesindeki depolama/servis rezervuarları ve içme suyu arıtma tesisleri; su dağıtım şebekesindeki basınç düşürme tankları (BPT'ler) ve basınç düşürme değerleri (PRV'ler); ve şebekenin sonunda atıksu arıtma tesislerine girişler ve çıkışlar. Depolama veya servis rezervuarları (SRV'ler) yüksek arazilerde bulunur.

İsviçre'deki tüm belediye atıksu arıtma tesislerinde mikroHES türbinleri kullanılarak enerji geri kazanımı potansiyelini değerlendirilmiş ve 9,3 GWh/yıl enerji üretimi için toplam mikroHES potansiyeline sahip 19 tesis bulunmuştur.

Hidroelektrik santralleri suyun potansiyel enerjisinin elektrik enerjisine dönüştüğü sistemlerdir. Hidroelektrik, su akışından elde edilen enerjiyi ifade eder.

Mikro hidro güç, düşen sudan üretilen enerjinin küçük ölçekli bir şekilde kullanılmasıdır. “Düşü Yüksekliği”, kot farkı olarak bilinen dikey su düşüşü hidroelektrik üretimi için önemlidir. Bu nedenle, hidroelektrik üretimi için iki temel kriter: atıksu ve içme suyu akışı (debisi) ve düşü yüksekliğidir. Bir mikro hidroelektrik santralinin (MikroHES) kapasitesi genellikle 2 ila 100 kW arasında değişir.

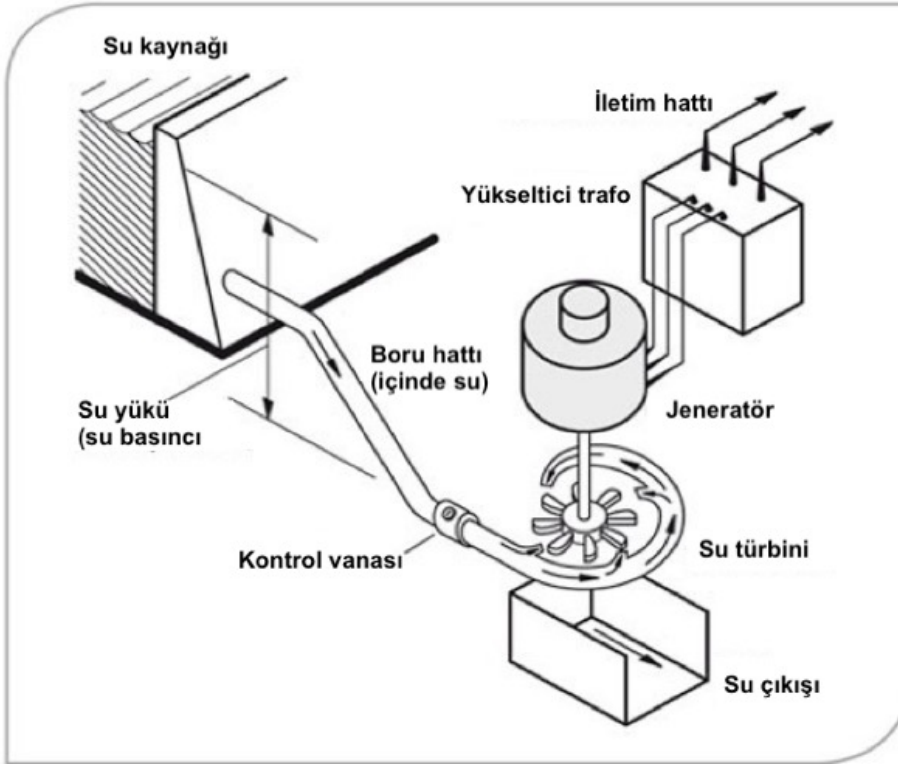
MikroHES kullanan bir enerji geri kazanım tesisi için ekonomik olarak uygulanabilir minimum güç 2 kW olarak belirlenmelidir.

Mikro hidroelektrik santralleri ise üretim kapasitesi 100 kW’dan daha az olan santraller için yapılan bir sınıflandırmadır.

MikroHES’lerin üretim kapasitesi 2 ila 100 kW arasında değişmektedir. Yani mikroHES alçak düşülü ve düşük debili akarsularda/içme sularında/benzerlerinde elde edilmemiş enerjiyi ekolojik dengely bozmadan hidroelektrik santrallerine çevirebilir.

MikroHES tesisleri için uygun yerler ana hatlarıyla belirtmeli; ham su şebekesindeki depolama/servis rezervuarları ve içme suyu arıtma tesisleri; su dağıtım şebekesindeki basınç düşürme tankları (BPT'ler) ve basınç düşürme değerleri (PRV'ler); ve şebekenin sonunda atıksu arıtma tesislerine girişler ve çıkışları olabilir. Depolama veya servis rezervuarları (SRV'ler) yüksek arazilerde bulunur. Burada yukarıdakileri temsil edecek şekilde sadece atıksu arıtma tesisleri üzerinde durulacaktır.





Şekil 1. AAT’inde ve İçme Suyu Arıtma Tesislerinde MikroHES Uygulaması

AAT’de atıksular, arıtıldıktan sonra dezenfekte edilir ve alıcı ortama deşarj edilmeden önce kurulacak olan MikroHES tesisinde potansiyel enerjiden elektrik enerjisi üretilir.

AAT’lerinde MikroHES’ler, kurulması ve elektrik enerjisi üretilmesi çeşitli avantajlar sunar. AAT’lerinde kurulacak MikroHES’ler, genel olarak kirletmeyen, çevreye zarar vermeyen, sera gazı üretmeyen, çevre dostu olan, güvenilen ve istikrarlı elektrik enerjisi üretilen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bunun için ne büyük bir inşaat işi, ne baraj ve ne de sular altında kalacak arazi gerektirir. En az çevre etkisi ile AAT’lerinde güç üretmek için MikroHES’ler kurulabilir.

AAT’lerinde MikroHES ile düşük oranda elektrik enerjisi üretilse dahi kurulması cazip olabilir.

Kot farkından dolayı yüksekten düşen suyun kullanımı uzun zamandan beri bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır; belki de insanoğlunun potansiyel enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmesi elektrik üretimi için bilinen en eski yenilenebilir enerji tekniklerinden biridir. MikroHES’lerde kullanılacak arıtılmış atıksular türbini çevirir, türbin jeneratörü döndürür ve elektrik enerjisi üretilir.

AAT, bazlı MikroHES’lerle, oldukça istikrarlı, ucuz ve pratik enerji üretilir. AAT’lerinde suyun düşü yüksekliği/basıncı, debisi, yaz ve kış dönemlerinde yedekleme hizmeti kullanılarak sürekli olarak korunmaktadır. Birçok AAT’leri MikroHES uygulamasında mevcut farklı deşarj düşü yüksekliği başarılı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Güvenilir çalışma için AAT’lerinde farklı deşarj kot farkı için türbin-jeneratör setleri tavsiye edilmiştir. Jeneratörler, güvenilir güç üretimi için geliştirilen MikroHES’lerinde kullanılmıştır.

AAT’lerinde arıtılmış atıksu debisi yaz/kış ve gündüz/gece döngüleri dikkate alınarak tespit edilir, farklı debide ve deşarj düşü yüksekliği için tipik güç çıkışı tahmin edilebilir.

Yüksek ve düşük akış hızları (debiler), AAT’lerinde yüksek ve düşük enerji kullanımına karşılık

gelir ve bu nedenle türbin, en yoğun talebi karşılamak için güç üretir.

Özetle, “Yerel tüketiciye yerel güç”, elektriğin maliyeti veya satış fiyatlarına bakılmaksızın ve nakliye ve voltaj düşürme/azaltma ihtiyacı olmaksızın AAT’lerinde gerekli olan enerjiye ihtiyaç duyulduğu anda güç tesiste üretilebilir. İtme (impulse) türbini kullanılırsa, AAT’i çıkışında akış hızından dolayı çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının artması nedeniyle su kalitesi üzerinde olumlu bir etki yapabilir.

MikroHES’lerde elektrik enerjisi üretimi güvenilir olduğu ve en az bakım gerektirdiği için giderek daha popüler hale gelmektedir. Arıtılmış atıksuyun ve içme suyunun mevcut farklı deşarj düşü yüksekliği ve akış hızları için çıkış gücü tespit edilmeli. Buna göre farklı mevcut düşü yüksekliği için çeşitli türbin-jeneratör setleri de geliştirilen bir tesisin güvenilir çalışması için önerilir. Bu tür mikro santrallerin ana avantajı bağımsız bir MikroHES olması; arıtılmış atıksuyun kullanılabilirliği her zaman korunduğu için iklim şartlarına ve yağışlara bağlı değildir. Bu yöntemle elektrik üretiminde ilk yatırım maliyeti daha yüksektir, ancak bakım ve üretim maliyeti çok ucuzdur. MikroHES, gelecekteki büyüme ihtiyaçlarını karşılamak için verimliliği azaltarak maliyeti düşürmek için yenilenebilir enerji ve yerel üretim de dahil olmak üzere bir dizi yenilikçi çözüm sunabilir.

Bu çalışmada, hedeflenen güç çıkışı olarak 12 kW’a kadar üretmek isteyen küçük ölçekli hidro şemaları desteklemektedir. Tipik bir AAT’de, net enerji talebinin yaklaşık %50 ila %65’i havalandırma ünitesinde tüketilmektedir. Bu nedenle, MikroHES sisteminin uygulanması başarılı bir şekilde yapılırsa, sistem, özellikle havalandırma sisteminde enerji tüketiminin tesis operasyonunun elektrik üretim giderlerinin azaltılmasını kolaylaştırabileceğinden elektrik faturası için maliyet tasarrufu açısından önemli bir rakama katkıda bulunabilir.

Tüm türbinler çok çeşitli debi oranlarında kullanılabilir. Genellikle, türbinler yüksek verimliliğe sahiptir (verim %85-%90) ve deşarj debi (akış hızı) ne kadar yüksek olursa verim o kadar iyi olur. Türbin seçimi, su akış hızına (debisine) ve düşü yüksekliğine bağlıdır.

MikroHES kurulması için ek araziye ve binaya ihtiyaç yoktur. Bu bir yeşil dönüşüm projesidir.

2022 yılı sonu verilerine göre Türkiye’de atıksu arıtma tesisi 1315’e ulaşmıştır.

Atıksu arıtma tesislerinde ve diğerlerinde MikroHES kurarak elektriğini geri kazanmayan tesislere elektrik teşviki verilmemeli. Teşvikler mikroHES kurulumu için yapılmalı ve böylece sürdürülebilir yeşil enerji üretimi sağlanarak tesisinde kullanması sağlanmalı.

2. MikroHES’LER

Ülkemizde yüzlerce atıksu arıtma tesisi 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;

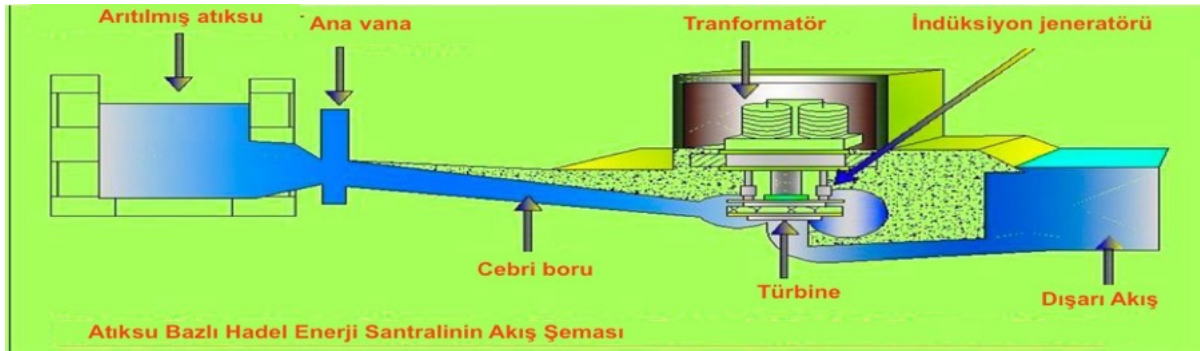
1. Arıtılmış atıksuyun/içme suyunun akış hızı (debisi),
2. Hidrolik düşü yüksekliği (kot farkı),
3. Türbin tipi,
4. Yatırım maliyeti,
5. Elektrik enerjisi bedeli,

en önemli 5 parametredir.

Düşük düşülü şemalar, tepe suyu ve çıkış suyu seviyelerindeki değişim nedeniyle çok fazla akış dalgalanmasından muzdariptir. Bu değişim, 3 m’lik bir düşünün 1 m’ye düşmesi anlamına gelebilir ve böylece sistem güvenilirliğini ve güç çıkışını azaltır. Düşük düşülü sahalar akarsu hidro şemalarında daha yaygındır, ancak atıksu arıtma çıkışlarında da bulunabilir. İngiltere’nin düz güney doğusunda, hidroelektrik projelerinin çoğunun yüksekliği 3 m’den azdır.

İngiltere’deki atıksu arıtma tesislerinin çoğu, kanalizasyonun arıtma tesislerine yerçekimsel akışından yararlanmak için düz bir arazi üzerine inşa edilmiştir.

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. **Şekil 1**, arıtılmış atıksu bir giriş vanası vasıtasıyla cebri boru üzerinden türbine doğru bir su oluğundan geçer. Burada su, bıçağa çarpar ve jeneratöre bağlı mili döndürür. Böylece dönen mille elektrik enerjisi üretilir.



Şekil 2. AAT’de MikroHES Uygulaması Akım Şeması

MikroHES yapımına karar verilmeden önce AAT’lerinde arıtılmış suyun düşü yüksekliği tespit edilmeli ve akış hızı (debi) ölçülmeli. MikroHES kapasitesinin belirlenmesi ve projelendirilmesi bu verilere göre yapılır. Düşü yüksekliğine ve arıtılmış atıksu akış hızına (debisine) bağlı olarak üretilen teorik elektrik enerjisi miktarı **Tablo 1**’de verilmiştir. Burada güvenilirlik değeri olarak enerji

verimliliği faktörü 0,7 alınmıştır.

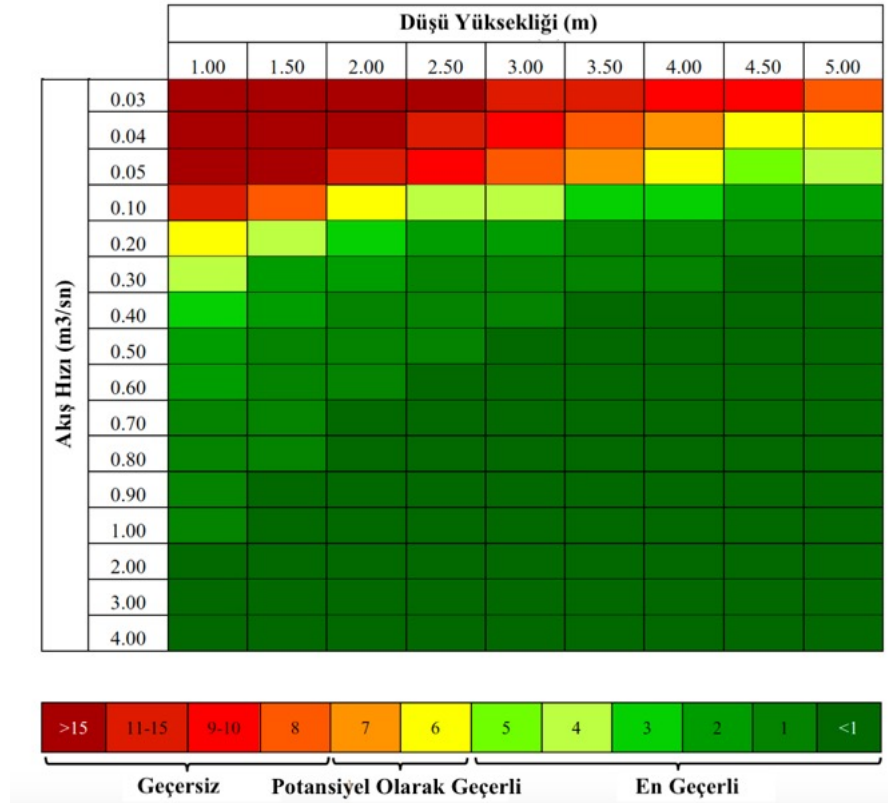
Tablo 1. AAT’de Düşü Yüksekliği ve Atıksu Debisine Göre Üretilen Elektrik Enerjisi

H Düşü Yükseklığı, m	Akış hızı (debi) (L/sn)							
	05	10	15	20	25	40	60	80
	Power output (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

Tablo 1 incelendiği zaman artırılmış atıksu düşü yüksekliği ve akış hızı (debi) arttıkça elektrik enerjisi üretim potansiyeli artmaktadır.

Diğer yandan, AAT’i düşü yüksekliğine ve artırılmış atıksu debisine bağlı olarak en geçerli, potansiyel olarak geçerli ve geçersiz enerji üretim uygulanabilirliği **Tablo 2**’de verilmiştir.

Tablo 2. Akış Hızı (Debi) ile Düşü Yüksekliğine Bağlı Olarak MikroHES’in Uygulanabilirliği



Akış hızı (debi) ile düşü yüksekliğine bağlı olarak mikrohes’in uygulanabilirliği **Tablo 2** incelendiği zaman koyu yeşil ile gösterilen alanlarda enerji üretim potansiyeli oldukça yüksek

ve uygun olduğu bölgelerdir.

Atıksu akış hızı (debi) $0,2 \text{ m}^3/\text{saniyenin}$ üzerinde ise 1 m gibi düşük düşü yüksekliği olan AAT’lerinde dahi elektrik enerjisi üretmek mümkündür.

Düşü yüksekliği 3 m'den daha azsa "ultralow düşü yüksekliği" terimi kullanılır.

Düşük düşü yükseklikli bir hidro plan, yüksek akış hızını karşılamak için büyük bir geçiş/açıklık gerektirir, bu da düşük düşü yüksekliği türbinleri, kaçınılmaz olarak daha büyük boyutlu ve pahalı hale getirir ve sonuç olarak bir dizi mühendislik zorluğu oluşturur.

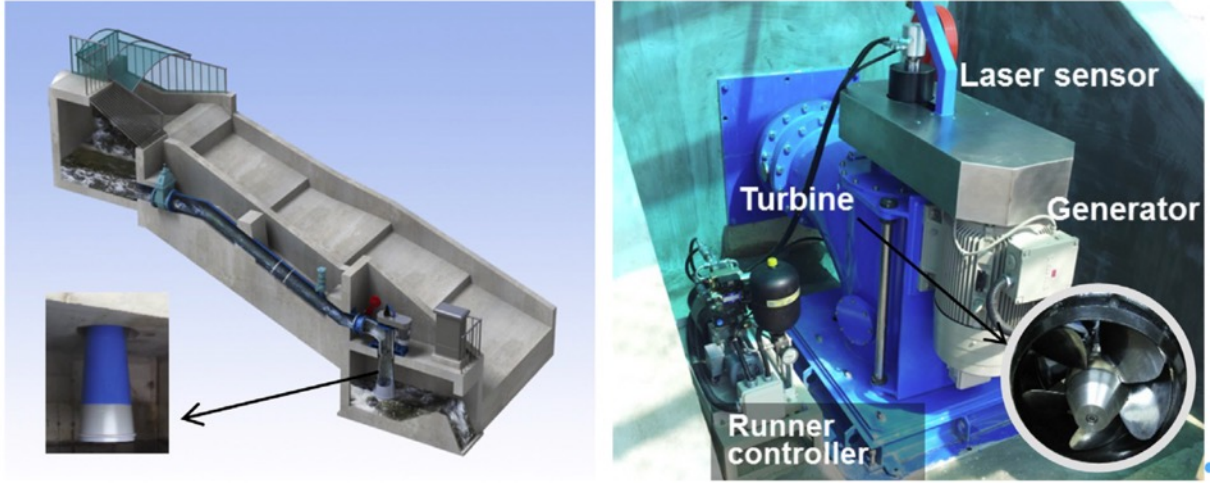
Buna ek olarak, düşük düşü yüksekliği planları, düşü yüksekliği suyu ve çıkış suyu seviyelerindeki değişiklik nedeniyle çok fazla akış dalgalanmasına neden olur. Bu varyasyon, 3 m'lik bir düşü yüksekliğinin 1 m'ye düşürülmesi, sistem güvenilirliğinin ve güç çıkışının azaltılması anlamına gelebilir. Düşük düşü yüksekliği bölgeleri, akış suyu hidroliği planlarında daha yaygın olma eğilimindedir, ancak AAT’i çıkışlarında da olabilir. İngiltere'nin düz güney doğu bölgesinde, hidro planların çoğu 3 m'den daha az düşü yüksekliğine sahiptir.

İngiltere'deki çoğu AAT’leri, atıksuyun yerçekimi akışından yararlanmak için düz bir arazi üzerine inşa edilmiştir. Bu nedenle düşük düşü yüksekliği diferansiyeli, yüksek düşü yüksekliği hidroelektrik uygulamasını teknik olarak imkânsız hale getirir.

Seçenek olarak, deşarj edilen yere yerleştirilebilen, daldırılabilir veya arıtma çalışmalarından çıkış akışından önce yerleştirilebilen orta hızda çalışan kompakt bir ultra düşük düşü yükseklikli türbindir. Böyle bir türbin, mevcut sivil (civil) yapıları kullanabilmeli ve çevre dostu, uygun maliyetli, dayanıklı, yüksek yük faktörü montajı ve geleneksel bir türbin olarak verimli olmalıdır.

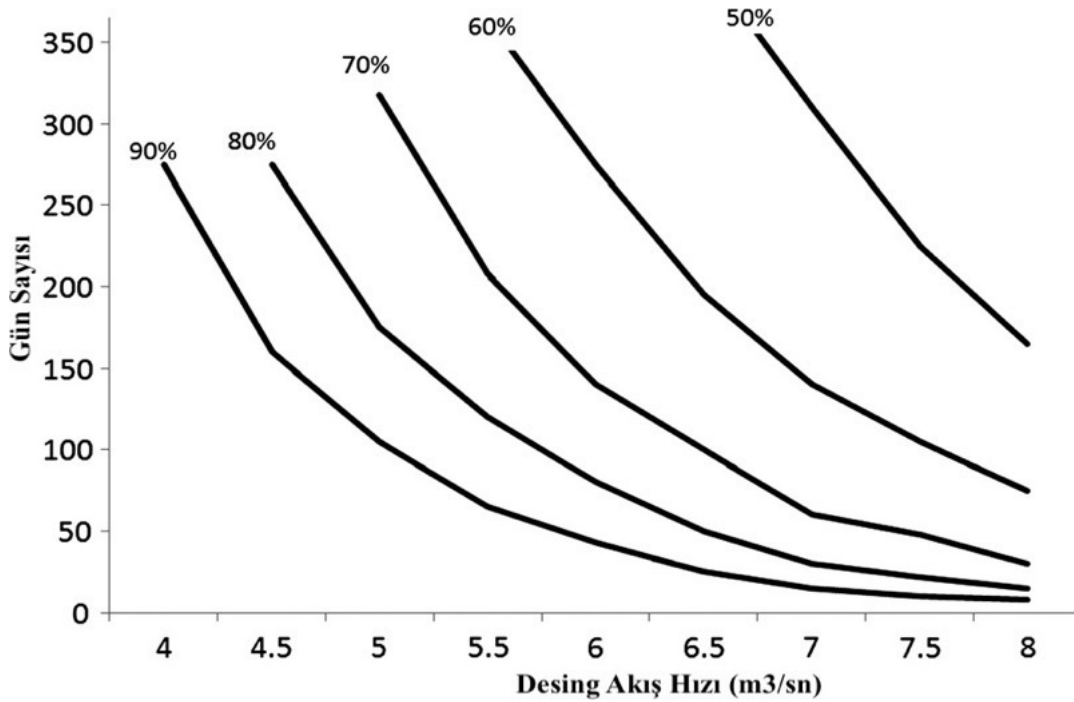
Su ve atıksu tesislerine sonradan takılabilen veya monte edilebilen düşük düşü yükseklikli türbinler için birkaç farklı seçenek vardır. Şu anda, araştırma çalışmaları, üretici literatürü ve vaka geçmişlerine dayanarak en az altı tip su türbini kullanılmaktadır. Bu türbinlerin bazıları birbirine benzer ve geleneksel türbinlerle aynı konseptle çalışır, ancak birçok ekonomik ve mühendislik faktörünü dikkate alacak şekilde değiştirilir. Bunlar: Arşimet vidalı türbinler, kuyu türbinleri, açık kanal türbinleri, su değirmenleri, tüp türbinleri ve sifonik türbinler. Her tip türbin, sınırlı bir düşü yüksekliği ve akış hızı aralığında çalışır.





Şekil 3. MikroHES Uygulama Örnekleri

Arıtılmış atıksuyun debisinin saatlik, günlük, aylık ve mevsimlik değişimleri tespit edilerek MikroHES projelendirme çalışması yapılmalıdır. Çünkü gece ve gündüz saatlerinden, yağışlardan ve kuraklıktan dolayı arıtılmış atıksu debileri değişebilir. Buna göre debi ortaya çıkartılır. Şekil 4’de örnek bir çalışma verilmiştir.



Şekil 4. Yıl içinde Atıksu Debisinin Değişimi

Arıtılmış suyun debi (akış hızı) değişimi bilinirse MikroHES için optimum projelendirme yapılabilir.

Hidroelektrik teknolojisi, düşük hidrolik gereksinimleri nedeniyle AAT’lerde MikroHES üretimi için uygundur (Tablo 3).

Tablo 3. Düşük Düşü Yüksekliği ve Debi Oranına Bağlı Olarak Türbin Tipleri

Parametreler	Debi Aralığı (m ³ /sn)	Düşü Yüksekliği (m)	Düşü Çıkış gücü (kW)
İmpulse Türbinler			
Pelton	0,008-0,01	3-100	1,6
Cross flow	0,01-1,0	5-60	100
Reaksiyon Türbinler			
Kaplan	1,5-60	1,5-60	20-3500
Vortex Francis	0,05-20	0,7-2	0,5-160
Pump as Turbin	0,03-6	3-80	310.000
Diğerleri			
Gravitational water vortex flow plant power	0,7-3	1,5-2,5	5-50

3. MikroHES BİLEŞENLERİ VE SEÇİMİ

AAT’lerinde MikroHES’in ana bileşenleri;

- Türbin,
- Jeneratör,
- Cebri boru,

MikroHES tesisi ana bileşenlerinin seçimi için kriterler aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

3.1. Türbin seçimi

AAT’lerinin kısa süreli, gece, gündüz, mevsimlik ve yıllık artılmış atıksu debisi değişimleri, MikroHES tesisi projelendirilmesinde türbin seçimini etkiler.

Türbin seçimi esas olarak saha basıncına ve akış hızına bağlıdır. Basınç, topoğrafik koşullara ve akış hızı ise nüfus büyüklüğüne ve buna karşılık gelen su talebine bağlıdır.

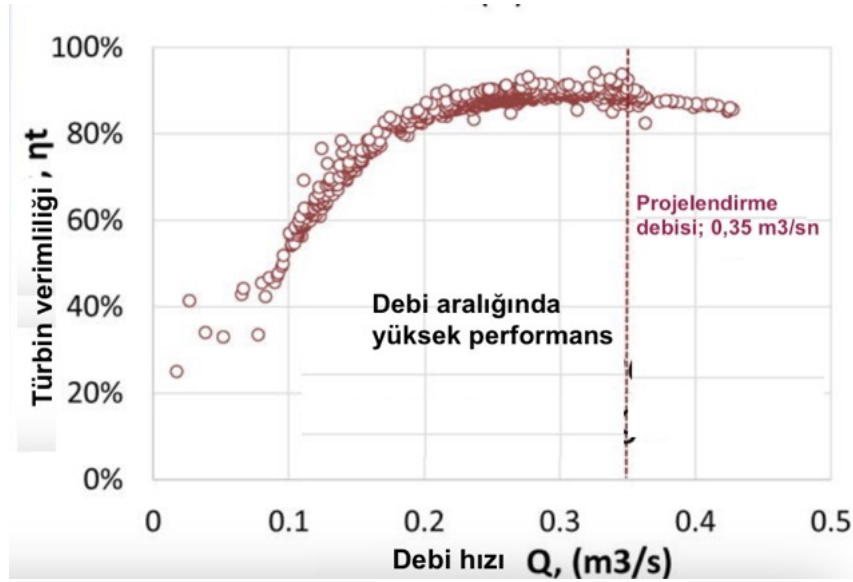
Türbin, doğrudan jeneratöre bağlanır veya jeneratör için gerekli olan hıza bağlı olarak dişliler veya kayışlar ve kasnaklar vasıtasıyla bağlanır. Türbin seçimi esas olarak düşü yüksekliğine (kot farkına) ve akış hızına (debiye) göre belirlenir. Türbin seçimi, ayrıca jeneratörün çalışma hızına da bağlıdır. Su türbinleri, impulse (itme) türbinleri ve reaksiyon türbinleri olarak iki farklı gruba ayrılır. Hidro sistemlerde kullanılan türbinler itme (Pelton, Turbo ve Çapraz akış), reaksiyon (Francis, Pervane ve Kaplan) ve su çarkları olarak sınıflandırılabilir. AAT’leri artılmış atıksu deşarjları yüksek düşü yüksekliğine sahipse Pelton ve Turgo türbinler seçilir. Pervane ve Kaplan türbinleri, kanalizasyon enerji üretim sisteminde her yerde mevcut olan düşük düşü yüksekliği için önerilmektedir. Su dağıtım şebekelerinden enerjinin geri kazanılmasında, Pelton ve Francis türbinleri gibi iki tür türbin kullanılabilir. Bir arazi durumu için türbin seçimini, planın düşü yüksekliği ve akış hızı aralığı yönlendirilmesine rağmen, dönme hızı, kaçak hız ve kavitasyon sınırı gibi diğer faktörler de dikkate alınır.

Genellikle, impulse türbinleri, yüksek düşü yüksekliği için daha sık kullanılırken, reaksiyon türbinleri, düşük düşü yüksekliği sahip AAT’lerinde kullanılır.

Esas olarak, Pelton, Turgo ve Crossflow’u (Michell-Banki olarak da bilinir) içeren türbinler, bir su jetinin akış hızının değiştirilmesi ile çalışır. Su, kendi basıncını kullanarak türbine girmeden önce hızlandırılır, ancak su türbin runner blades üzerinden aktığında basınç sabittir ve tüm iş çıkışı, suyun kinetik enerjisindeki değişimden kaynaklanmaktadır.

Tersine, Francis veya Kaplan (Propeller, blades ayarlanabilir değilse) türleri gibi reaksiyon türbinleri, türbin boyunca hareket ederken sudaki basınç değişimine dayanır ve enerjisini verir.

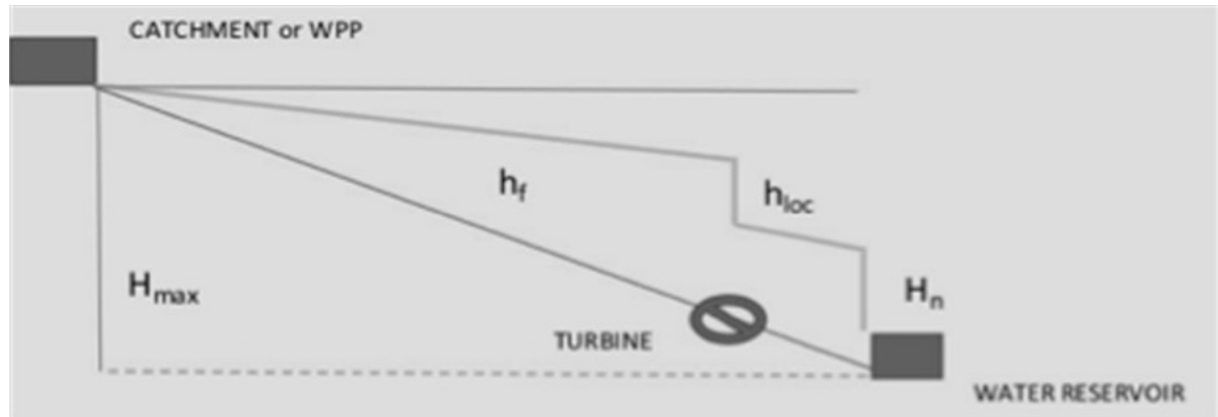
Türbinlerin nihai seçimi, yıllık enerji üretimi ve performans gereklilikleri dikkate alınarak potansiyel türbinlerin maliyet-fayda analizine bağlıdır.



Şekil 5. Debiye Bağlı Olarak Türbin Verimliliği

Akış hızı, nüfus büyüklüğüne ve buna karşılık gelen su talebine bağlıdır. Bu çalışmada, bir nüfusun günlük tüketimi, İspanyol İstatistik Ulusal Enstitüsü tarafından ölçülen kişi başına günlük ortalama tüketim verilerinden tahmin edilmiştir, belirsizlikleri hesaba katmak için %12'lik bir artış eklenmiştir. Bu nedenle, dikkate alınan kişi başına günlük ortalama su tüketim verisi kişi başına 150 litredir.

Brüt düşü yüksekliği (H_{max}), Şekil 6'de gösterildiği gibi havza alanındaki ve türbin yerinde su yüzeyi seviyesi arasındaki dikey mesafedir. Şekil 6'de görülebileceği gibi, net kafa (H_n), besleme borusu boyunca sürtünme (h_f) ve lokal kayıplar (h_{loc}) ile üretilen hidrolik kayıplar gibi daha az brüt düşü yüksekliği olarak tanımlanır.



Şekil 6 . Düşü Yüksekliği Dikkate Alındığı AAT'de Türbin Kurulum Şeması: Brüt Kafa (H_{max}), Net Düşü Yüksekliği (H_n), Hidrolik Sürtünme Kayıpları (h_f) ve Yerel Kayıplar (h_{loc})

Bununla birlikte, ayarlanabilir kanatlara sahip Kaplan türbinleri gibi bazı modellerin, çok çeşitli akış hızı koşullarında yüksek verimlilik elde edilebildiğinden çeşitli düşü yüksekliği koşullarına iyi adapte edilebilir.

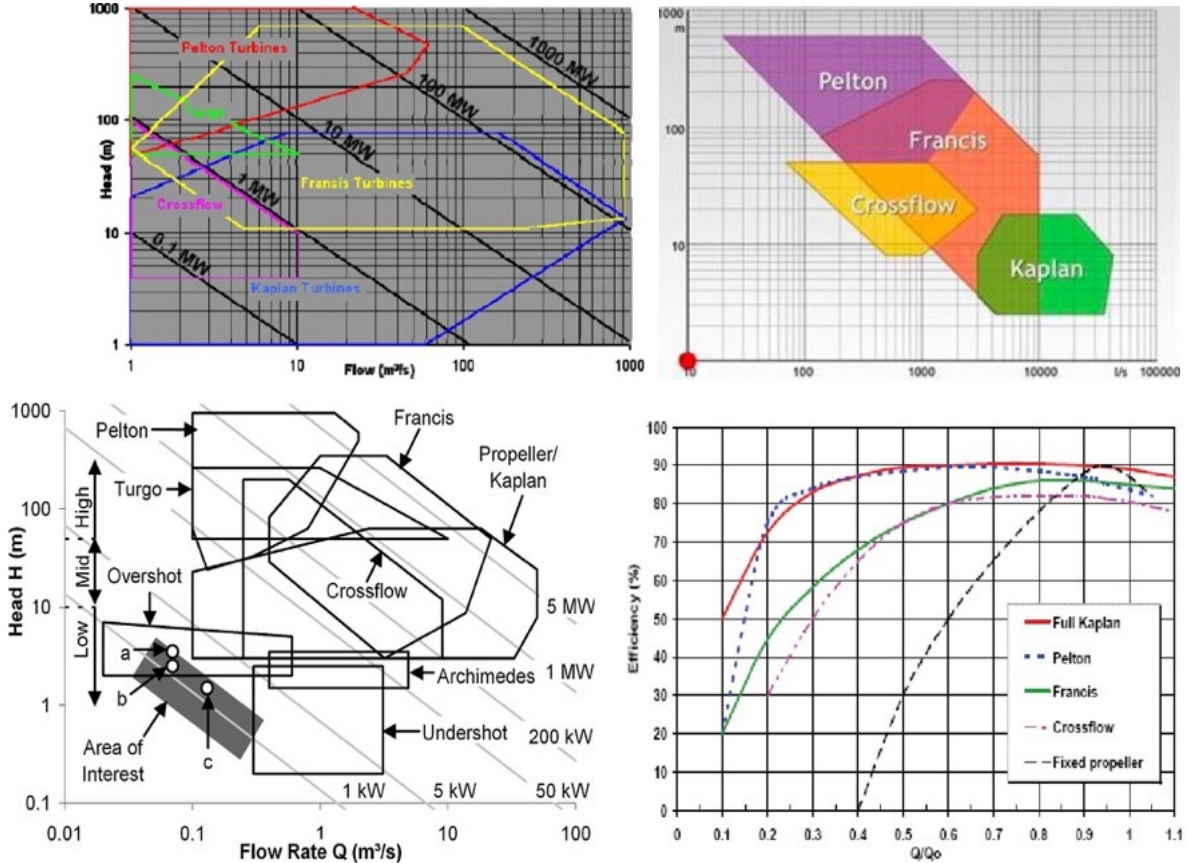
Bir türbin seçimini belirlemek için kriter, genellikle mevcut su düşü yüksekliğine dayanırken mevcut akış hızı daha az esas alınır. Genellikle, impulse türbinleri yüksek düşü yüksekliğine sahip bölgeler için daha sık kullanılırken, reaksiyon türbinleri genellikle düşük düşü yüksekliği

bölgeler için kullanılır. Bununla birlikte, Kaplan türbinleri gibi belirli modellerin, ayarlanabilir bıçak aralığı ile, geniş akış veya kafa koşullarına iyi uyarlandığı unutulmamalı, çünkü tepe verimliliği geniş bir akış koşulları aralığında elde edilebilir. **Şekil 7**, türbinlerin türlerinin çoğunu potansiyel uygulama alanlarına göre sınıflandıran tipik bir grafiği göstermektedir.

Türbin seçiminde;

- Arıtılmış atıksuyun deşarjında düşü yüksekliği (m),
- Arıtılmış atıksuyun akış hızı (debisi) (L/sn),

önemli iki parametredir.



Şekil 7. Türbin Tipleri, Uygulama Aralığı ve Verimlilikleri (Debi ve Basınca Göre Türbin Seçimi)

Şekil 7 incelendiği zaman düşü yüksekliği (m) en uygun olan hidro türbin tipi Kaplan (propeller) olduğu görülmektedir.

Relatif deşarj (%) = Q/Q_{design} . Burada; Q_{design} türbin tasarım akış hızı ve Q türbinin çalışması sırasında herhangi bir noktada gerçek akış hızıdır.

Türbin verimlilik eğrilerinden görüleceği üzere, Kaplan ve Francis türbinleri en yüksek tasarım akışlarına, verimliliklerine ve güç çıkışlarına sahiptir. Bununla birlikte, bu türbinler düşük kısmi akış hızlarında yüksek performans elde etmek için kılavuz kanatlar ve ayarlanabilir kanatlar gibi karmaşık mekanizmalar kullandığından, bunlar aynı zamanda en pahalı türbinlerdir. Kaplan ve Francis türbinleri en pahalı türbinlerdir.

Şekil 7'de gösterilen türbin seçim çizelgesi, tüm AAT'leri için en yaygın olan düşük düşü yüksekliği ve düşük akış hızı senaryosu için uygun bir türbini seçmek için kullanılır. Uygun

reaksiyon türbini seçenekleri Francis, Pervane ve Kaplan türbinleridir. PAT'ler de dikkate alınmalı. Kaplan türbini, geniş verimlilik aralığı ve düşük düşü yüksekliği ve yüksek akış uygulamaları için seçilebilir.

Şekil 7 incelendiği zaman en yüksek enerji verimli (%93) türbinin Kaplan ve en düşük enerji verimli (%60) türbinin PAT olduğu görülmektedir.

Şekil 7’de görüldüğü gibi türbinlerde maksimum verimliliğin Kaplan ve Propeller ile temin edileceği görülmektedir. Mikro türbinlerinde ortalama verimlilik %60 ila %80 arasında değişmektedir.

Genel olarak, PAT türbinleri, en düşük ortalama verimlilik ve güç potansiyeline sahipken diğer türbin tiplerinden 5 kat daha ucuz ve en düşük maliyete sahiptir. Bu, PAT'lerin daha ucuz ve diğer uygulamalarla uyumludur, çünkü (türbinlerin aksine) pompalar dünya çapında seri üretilmektedir. PAT'ın oldukça düşük maliyeti göz önüne alındığında, tesisteki büyük akışları yakalamak için paralel olarak birden fazla pompa kullanma potansiyeli olabilir. Ancak bu sonuçlarda sınırlamalar vardır. Bu tür güç çıkışları için gereken pompalar çok büyüktür ve türbin olarak kullanılmak üzere ters akış için endüstriyel modifikasyonlara ihtiyaç duymaları muhtemeldir. PAT en düşük maliyete sahipken, aynı zamanda en düşük güç çıkışına sahiptir.

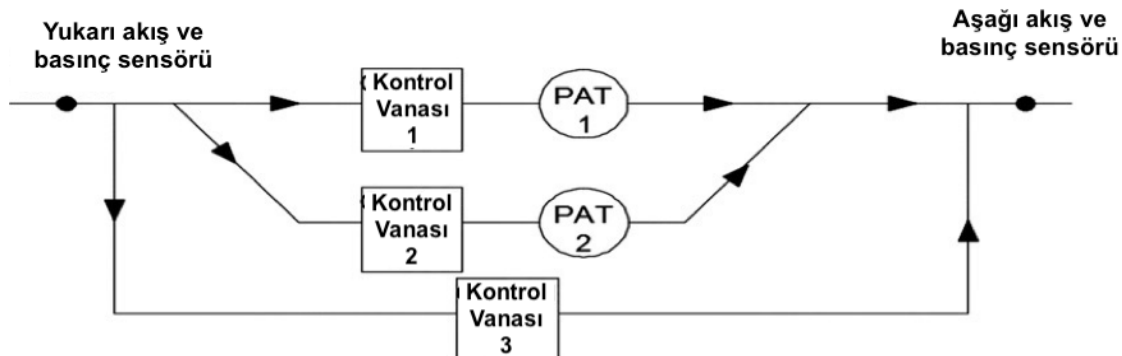
Güç çıkışını iyileştirmek için PAT, akış ve düşü yüksekliği değişimleri sırasında verimliliği stabilize etmek için hidrolik veya elektriksel olarak düzenlenebilir. PAT'nin en iyi verimlilik noktasına yakın çalışmasını sağlarken, düzenleme kullanımı tesis güvenilirliğini artıracak ve bakım maliyetlerini düşürecektir. PAT düzenlemesi için ek maliyetin artan güç çıkışı ve iyileştirilmiş tesis güvenilirliği ile doğrulanıp doğrulanmadığını belirlemek için bir maliyet-fayda analizi yapılmalıdır.

Türbin tasarım akış hızını aşan akış hızlarında (debiler) türbin baypass yapacağı varsayılmıştır. Bu nedenle, kaydedilen durumlarda günlük akış hızı, tasarım akış hızı değeri mikroHES çıktısını tahmin etmek için kullanılır.

PAT türbinleri, 500 kW kapasiteye kadar enerji üreten klasik türbinlere göre 10 kat daha ekonomiktir ama enerji verimliliği düşüktür.

Artılmış atıksu debisinde değişkenlik söz konusu ise paralel birkaç türbin ünitesi birlikte kurulabilir. Böylece suyun boşa akması önlenir.

PAT türbin sistemi akım şeması **Şekil 8’de** verilmiştir.



Şekil 8. PAT Sistemi Örnek Uygulama Şematik Diyagramı Aşırı debilerde baypass sistemi olarak üçüncü vana kullanılır.

3.2. Jeneratör Seçimi

Güç jeneratörleri esas olarak azaltılmış iki türün bir listesi olarak sınıflandırılabilir: senkron ve indüksiyon jeneratörleri diye.

Jeneratörler, MikroHES’lerden enerji üretimi için uygun olmalıdır

İndüksiyon jeneratörü (IG), izole bir güç kaynağı olarak geleneksel bir senkron jeneratöre göre birçok avantaj sunar. Azalan birim maliyeti, sağlamlık, daha az fırça (sincap kafesi yapısında), küçültülmüş boyut, ayrı DC kaynağı olmaması ve bakım kolaylığı, ciddi aşırı yüklere ve kısa devrelere karşı kendini koruma, IG'nin başlıca avantajlarıdır. Kondansatörler, uyarma için kullanılır ve 10 ila 15 kW'tan daha az enerji üreten daha küçük sistemler için popülerdir. 50 Hz frekansında sabit güç üretmek için tüm jeneratörler sabit bir hızda çalıştırılmalıdır. 3000 RPM hıza sahip iki kutuplu jeneratör, MikroHES’de pratik kullanımı çok yüksektir. 1500 RPM, dört kutuplu jeneratör yaygın olarak kullanılmaktadır. Jeneratör 1000 RPM'den daha düşük bir hızda çalışan jeneratörler, pahalı olur. Jeneratörün hızını türbinin düşük hızıyla eşleştirmek için; kayış ve/veya dişli kutusu gibi bir hız arttırıcı mekanizma gereklidir. Çıkış gücü mevcut farklı düşü yüksekliklerinde (minimum/maksimum) ve atıksu akış hızında ölçülmüştür. Farklı atıksu düşü yüksekliği için türbin jeneratör seti önerilir. Daha basit uyarma sistemi, daha düşük arıza seviyesi, uygun yatırım maliyeti ve daha az bakım gereksinimi nedeniyle indüksiyon jeneratörünün kullanımı MikroHES uygulamasında giderek daha popüler hale gelmektedir.

3.3. Cebri Boru Seçimi

Dengeleme tankını türbinin gövdesine bağlayan kapalı bir borudur. Cebri boru genellikle projedeki en pahalı kalemdir. Belirli bir cebri boru tasarım basıncı için hangi malzemenin kullanılacağına, yani borunun iç yüzeyinin pürüzlülüğüne, birleştirme yöntemine, ağırlığa karar verirken çeşitli faktörler dikkate alınmalıdır; kurulum kolaylığı, sahaya erişim, tasarım ömrü, bakım, hava koşulları, bulunabilirlik, görelî maliyet ve yapısal hasar olasılığı.

Boru hattının basınç derecesi kritiktir, çünkü boru iç duvarı maksimum su basıncına dayanacak kadar kalın ve dayanıklı olmalıdır, aksi takdirde patlama riski olacaktır. Cebri borudaki suyun basıncı, düşü yüksekliğine bağlıdır. Düşü yüksekliği ne kadar yüksekse basınç o kadar yüksek olur. Bir cebri boru için en yaygın olarak kullanılan malzemeler, uygunluğu, kullanılabilirliği ve onaylanabilirliği nedeniyle yumuşak çelik, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve saflaştırılmamış polivinil klorürdür (UPVC). UPVC, en az sürtünme kayıpları, ağırlık, korozyon ve maliyet, vb. açısından yumuşak çelik ve HPDE üzerinde mükemmel performans gösterir. UPVC cebri boru, kanalizasyon enerji üretim sisteminde diğerlerine göre listelenen avantajlar nedeniyle kullanılmış ve bu alanda gelecekte yapılacak çalışmalar için önerilmiştir.

Cebri boru seçimi, özellikle cebri koru dizayn basıncı, yani, boruların iç yüzeylerinin pürüzlülüğü, bileşim noktası ve ağırlığı, kolay kurulması, saha için kabul edilebilirliği, ömrü, bakımı, hava şartları, temin edilebilirliği, yaklaşık maliyeti ve yapının zarar görme olasılığı önemlidir.

Cebri boruların iç yüzeyi pürüzsüz olmalı, boruların et kalınlığı maksimum basınca dayanıklı olmalıdır. Basınç, basma yüksekliğine bağlıdır. Cebri boru malzemesi olarak kullanılanlar **Tablo 4**'de verilmiştir.



Tablo 4. Cebri Boru Malzemelerinin Bileşenleri

S.No	Malzemeler	Sürtünme/ağırlık	Korozyon	Maliyet	Bileştirme	Basınç
1	Hafif çelik	***	***	****	****	****
2	HDPE	*****	*****	**	**	*****
3	UPVC	*****	****	****	****	*****

** Zayıf, *** Orta, **** İyi, ***** Mükemmel

Plastifiye edilmemiş PVC (UPVC) borulardan çok olumlu sonuçlar alınmaktadır.

4. MikroHES’le ENERJİ ÜRETİM HESAPLAMASI

AAT’lerde arıtılmış atıksu deşarjlarında mevcut olan potansiyel hidroelektrik güç aşağıdaki denklemlerle hesaplanır. MikroHES’lerde gerçek güç çıkışı (P_e) hesaplamak için, cebri borularda sürtünme kayıplarını ve türbin/jeneratörün verimliliğini dikkate almak gerekir. Enerjiyi elektriğe dönüştüren yeni modern türbin verimlilikleri %90’ın üzerindedir.

Potansiyel enerjiden elektrik enerjisi üretilecek mikroHES’ler için genel olarak verimlilik, yüksek düşü yüksekliğine ve akış hızına sahip sistemlerde meydana gelen daha yüksek toplam verimlilikle %60 ila 80 arasında değişir.

MikroHES’lerde enerji üretim miktarı aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$P_e = P_h \times \eta = \eta \times Q \times g \times H \times \rho$$

Burada;

P_e ; Elektrik enerjisi gücü (kW), P_h ; Hidrolik güç (kW),

η ; Mikrotürbin verimlilik faktörü, (birimsiz) (0,6 ila 0,8 arasında değişir),

Q ; Atıksuyun debisi (akış hızı) (m^3/sn)

ρ ; Arıtılmış atıksuyun yoğunluğu ($1000 \text{ kg}/m^3$)

g ; Yerçekimi ivmesi, ($9.81 \text{ m}/sn^2$)

H ; Atıksuyun hidrolik düşü yüksekliği, (m), ($H_{max} - h_f$)

Aşağıdaki hesaplamada verimlilik faktörü 0,7 alınmıştır. AAT’si atıksularına dayalı olarak önerilen sistemin güvenilirlik değerlendirmesi için kullanılmıştır.

Hesaplama örneği;

Hidrolik düşü yüksekliği; 1,5 m ve akış hızı (debi) $0.162 \text{ m}^3/sn$ ise;

$$P_e = 0.7 \times 0.162 \times 1000 \times 9.81 \times 1.5 = 1.67 \text{ kW}$$

Hidrolik düşü yüksekliği; 2,8 m ve debisi $0.162 \text{ m}^3/sn$ ise;

$$P_e = 0.7 \times 0.162 \times 1000 \times 9.81 \times 2.8 = 3.1 \text{ kW}$$

olarak hesaplanmıştır. (Eşitlik $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3$ olarak watt’ı temsil etmektedir). Aynı debi ve farklı düşü yüksekliği ile enerji üretim miktarının oldukça farklı olduğu görülmektedir. Burada düşü yüksekliği oldukça önemlidir.

Diğer yandan yıllık enerji üretimi aşağıda verilen denklem ile hesaplanır. Yıllık enerji üretimi ($\text{kWh}/\text{yıl}$) = P (kW) $\times C_p \times 24$ saat $\times 365$ gün

Burada;

C_p ; Kapasite faktörü, türbinin ne kadar süre çalıştırıldığını ifade eder. Kapasite faktörü (%) = $\text{Yılda oluşan enerji (kWh/yıl)} / P_e$ (kW) $\times 24$ saat $\times 365$ gün denkleminden hesaplanır.

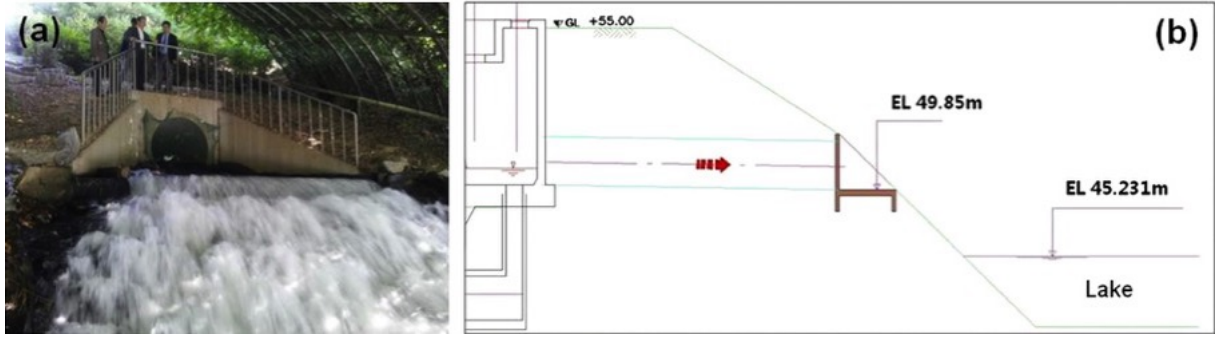
MikroHES tesisinin 8200 saat çalışacağı kabul edilmiştir. Buna göre yıllık enerji üretimi;



Türkiye’de Atıksu Arıtma, Sulama ve İçme Suyunda MikroHES Potansiyeli

$E1 = P_e \times \text{Yıllık Çalışma Süresi} = 1,67 \times 8200 = 13.694 \text{ kWh}$ olarak hesaplanır.

Şekil 9’de uygulamadaki bir örnekte hidrolik düşü yüksekliği 4,6 m’dir. Bu örnek uygulamada seçilen türbinin verimliliği %81’dir.



Şekil 9. (a) Atıksu Deşarj Alanı ve (b) Alan Seviyeleme Sonuçları



Şekil 10. AAT’de Düşü Yüksekliği

Burada birinci resim homojenizasyon lagünü girişine (yaklaşık 1,5 m değişken su yüksekliği ile sürecin ortasında), ikincisi ise klorlama labirenti çıkışına (yaklaşık 3 m sabit su yüksekliği ile arıtmanın sonunda) karşılık gelmektedir.

5. YATIRIM MALİYETİ

AAT’lerinde arıtılmış atıksuyun minimum debi $0,050 \text{ m}^3/\text{sn}$ ve yüksekliğin 3,0 m olması tavsiye edilir.

MikroHES yatırım maliyeti 1.300-8.000 ABD doları/kW (1.000-6.200 €/kW) arasında değişir. İşletme maliyeti ise yatırım bedelinin yaklaşık %1-4 arasında değişmektedir.

İngiltere’de benzer bir çalışmada MikroHES yatırım maliyeti, 3.000–6.000 £/kW (3.700–7.400 €/kW) arasında değişmektedir.

AAT çıkındaki bir hidroelektrik türbini için inşaat maliyetlerinin önceden tahmin, kurulu kapasite kW başına 1.500 ABD dolarından (1.150 €) az ve 8.500 ABD dolarından (6.515 €) daha fazladır.

Düşü yüksekliğinin proje maliyeti üzerindeki etkisini hesaba katmak için İngiltere’de çeşitli büyüklükteki hidroelektrik santralleri için ampirik maliyet verilerine dayanan bir denklem geliştirilmiştir. Aşağıdaki denklemde, düşü yüksekliği 30 m’den düşük olan MikroHES için İngiliz Sterlini cinsinden proje yatırım maliyetini (C_{pr}), güç çıkışı P , (kW) ve düşü yüksekliği, H , (m) ile ilişkilendirir. Bu denklemle proje yatırım maliyetini tahmin etmek için kullanılır. Tüm bölgeler için de minimum 50.000 € maliyet kabul edilmiştir.

$$C_{pr} = 25,000 \left(\frac{P}{H^{0.35}} \right)^{0.65} \quad \text{for heads} < 30 \text{ m}$$

Engelibeli arazide arıtma tesisleri için kurulum maliyetleri nispeten düşük olabilir. AAT'lere uygulanan bazı MikroHES için maliyet verileri mevcuttur.

Çeşitli türbin firmalarına ait tahmini türbin yatırım maliyetleri **Tablo 5’**de verilmiştir.

Tablo 5. Türbin Yatırım Maliyeti Tahminleri

Türbin Tipi	Türbin Maliyeti (€)
Kaplan	$31,196 \times P^{0.42} \times H^{-0.11}$
Francis	$25,698 \times P^{0.44} \times H^{-0.18}$
Propeller	$19,498 \times P^{0.42} \times H^{-0.11}$
PAT	€115 to €315 per kW

Tablo 5 incelendiği zaman enerji verimliliği düşük olan PAT’ın en düşük yatırım bedelli ve fizibil olduğu görülmektedir. Belirli bir yerde gerekli akış hızı ve düşü yüksekliği kombinasyonuna bağlı olarak, bazı pompa özellikleri piyasada daha az yaygın olabilir ve bu nedenle seri üretimin maliyet indirimlerinden yararlanamaz.

Her bir AAT için MikroHES projesi ile ilgili fizibilite çalışması yapılması fevkalade faydalı olur.

6. AMORTİSMAN SÜRESİ

MikroHES tesisleri amortisman süresini;

- Düşü yüksekliği,
- Atıksu debisi,
- Seçilen türbin tipi, verimliliği ve maliyeti,
- İşletme maliyeti,
- Elektrik enerjisi bedeli,

etkiler. Bu çalışmanın doğru olarak yapılması gereklidir. Düşük yatırım maliyetli ve düşük düşü yüksekliğine sahip türbinlerin amortisman süreleri daha kısadır.

MikroHES tesisleri, 7/24 ve yılın 365 gün çalışır. 10 yıldan daha kısa olan amortisman süresi önemli ve geçerlidir. Geri ödeme süresinin maksimum 5 yıl olması tavsiye edilir.

Uygun uygulama noktalarına kurulabilecek türbin sistemlerinin ilk yatırım maliyeti ile sağlayacağı işletme tasarrufu üzerinden hesaplanan amortisman süreleri sırasıyla 0,5 yıl, 0,5 yıl ve 0,9 yıl arasında değişmektedir.

“Amortisman süresi = yatırım bedeli/yıllık ekonomik getirisi” denklemi ile hesaplanır.

Her türbin için yatırım maliyeti, geri ödeme süreleri ve elektrik enerjisinden ekonomik faydalanılmasına göre hesaplanır. Türbinlerin montajı için ek maliyetlerin (inşaat işleri, jeneratörler ve elektrikli ekipman gibi) analize dahil edilmesi gerektiği vurgulanmalıdır. Çünkü bu maliyetler türbin seçimine bakılmaksızın benzer bedeller olarak değerlendirilebilir. Ek olarak, bu maliyetler, türbinin toplam yatırımın %30-50'sini temsil ettiği varsayılarak yaklaşık tüm proje maliyetlerine göre ölçeklendirilebilir.

Kapasitelerine bağlı olarak büyük, orta, küçük, mini, mikro ve piko sınıflara ayrılırlar. MikroHES sınıflandırılması **Tablo 6**'de verilmiştir. Mini, mikro ve picoHES'ler, küçük HES'lerin alt kategorisidir. Bunlar kısaca **Tablo 6**'de sınıflandırılmıştır.

Tablo 6. Hidroelektrik Sistemlerin Sınıflandırılması

S. No	HES Tipleri	Tanımlama
1	Büyük hidro	100 MW'dan daha büyük ve genellikle büyük enerji şebekesini besleme
2	Orta hidro	15-100 MW genellikle şebekeyi besleme
3	Küçük hidro	1-15 MW genellikle şebekeyi besleme
4	Mini hidro	100 kW - 1 MW. Bağımsız programlar yada daha sık şebekeyi besleme
5	Mikro hidro	5 kW 100 kW. Şebekeden uzak küçük topluluklar, kırsal sanayi için sağlanan enerji ve arıtma tesisinde kullanma
6	Piko hidro	100 W - 5kW

Tablo 7. MikroHES İstasyonları ve Kapasiteleri

Tipi	İstasyon Kapasitesi	Birim Kapasitesi
Mikro hidro	100 kW’a kadar	100 kW’a kadar
Mini-hidro	101 ila 2.000 kW	101 ila 1000 kW
Küçük hidro	2001 ila 25.000 kW	1001 ila 5000 kW

Bu sistemde, şehrin kanalizasyon yoluyla toplanan su ve daha sonra yüksek basınçta kanalizasyon suyunda arıtılmış veya yüksek hızda akan bu su, jeneratöre bağlanan türbin veya su çarkını çalıştırmak için kullanılabilir ve bu nedenle elektrik gücü güvenilir olduğu ve en az bakım ve bakım gerektirdiğinden daha popüler hale gelmektedir.

AAT'lerin giriş ve çıkışlarında hidroelektrik üretimi için potansiyel engeller, aşırı basma yüksekliği eksikliği, akış hızı değişimi, atık sudaki tıkanmalar nedeniyle türbin arızası veya atık sudaki askıda katı maddelerin sisteme zarar vermesi (özellikle tesis girişlerindeki kanalizasyondaki arıtılmamış atıksu) ve türbin bypass sistemi arasında sayılabilir.

MikroHES’lerin kurulması yenilikçi ve çok işlevli bir altyapı imkânı sağlamaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilen hesaplamalar santrallerin tesis enerji ihtiyaçlarının teorik olarak %10’dan fazlasını sağlayabileceği yönündedir.

MikroHES’ler Belediye arıtma tesislerinde uygulandığı takdirde, geleneksel mühendislik paradigmasından bütünlük bir yaklaşıma geçiş sağlayarak sürdürülebilir şehircilik konsepti için uygun bir altlık sağlayacaktır. Dolayısıyla mikroHES santraller hem kentsel hem de kırsal alanlarda giderek artan enerji talebini karşılamaya yönelik ideal bir çözüm olarak sunulmaktadır.

Ham su şebekesindeki su depolama/servis rezervuarları ve içme suyu arıtma tesisleri; su dağıtım şebekesindeki basınç düşürme tankları (BPT’ler) ve basınç düşürme değerleri (PRV’ler); ve şebekenin sonunda atıksu arıtma tesislerine girişler ve çıkışlarında MikroHES kurulabilir. Depolama veya servis rezervuarları (SRV’ler) yüksek arazilerde bulunur.

Türkiye’de tüm bu tesislerin mikroHES potansiyeli ortaya çıkarılmalı ve işletmede kullanılan enerji tüketim potansiyeli azaltılmalı.

Türkiye’de MikroHES’ler teknolojisi teşvik edilmeli. MikroHES’ler için projelendirme ve kullanım kılavuzları hazırlanmalı.

Türkiye sürdürülebilir yeşil mikroHES üretimi geliştiği ve teşvik edildiği zaman enerji maliyeti düşecek buda su temini, sulama ve atıksu arıtma maliyeti daha ekonomik olacak ve gıda üretimde kullanılan enerji azalacak ve gıda üretim düşecektir. Tabi ki sera gazı CO₂ emisyonu azalacaktır.

Pakistan’da dağlık bölgelerde merkezi olmayan yerinde 356 adet mikroHES kurularak vatandaşa ucuz elektrik sağlanmıştır.

7. KAYNAKLAR

1. Christine Power; Paul Coughlan; and Aonghus McNabola, “Microhydropower Energy Recovery at Wastewater-Treatment Plants: Turbine Selection and Optimization”, *J. Energy Eng.*, 2017, 143(1).
2. Archana Tamrakar, S.K. Pandey and S.C. Dubey, “Hydro Power Opportunity in the Sewage Waste Water”, *American International Journal of Research in Science, Technology, Engineering & Mathematics*, 2015.
3. Digisha Patel, Hemali Jardosh, “Application of Hydropower Technology in Wastewater Treatment Plants Step Towards Sustainable Environment”, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2018.
4. H. Beltran, R. Vidal, L. Basiero, J.M. Santos, J.A. Basiero and E. Belenguer, “Micro hydro installation analysis in a wastewater treatment plant”, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ’14) Cordoba (Spain)*, 8th to 10th April, 2014.
5. Kyu-Jung Chae, In-Soo Kim, Xianghao Ren, Kyeong-Ho Cheon, “Reliable energy recovery in an existing municipal wastewater treatment plant with a flow-variable micro-hydropower system”, *Energy Conversion and Management* 101 (2015) 681–688.
6. Kyu-Jung Chae, Jihoon Kang, “Estimating the energy independence of a municipal wastewater treatment plant incorporating green energy resource”, *Energy Conversion and Management* 75 (2013) 664–672.
7. M.A. Che Munaaim, N. Razali, A. Ayob, N. Hamidin, and M.A. Othuman Mydin, “Potential of Micro Hydroelectric Generator Embedded at 30,000 PE Effluent Discharge of Sewerage Treatment Plant”, *E3S Web of Conferences* 34, 02037 (2018).
8. Christine Power, Aonghus McNabola, Paul Coughlan, “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 (2014) 166–177.
9. Eva Gómez-Llanos, Juana Arias-Trujillo, Pablo Durán-Barroso, José M. Ceballos-Martínez, Jesús A. Torrecilla-Pinero, Carlos Urueña-Fernández and Miguel Candel-Pérez, “Hydropower Potential Assessment in Water Supply Systems”, *Proceedings 2018*, 2, 1299; doi:10.3390/proceedings2201299.
10. Ahmad I. Abbas, Mohammad D. Qandil, Muhannad R. Al-Haddad, Mandana S. Saravani, Ryoichi S. Amano, “UTILIZATION OF HYDRO-TURBINES IN WASTEWATER TREATMENT PLANTS (WWTPS)”, *Proceedings of the ASME 2018 12th International Conference on Energy Sustainability ES2018 June 24-28, 2018, Lake Buena Vista, FL, USA*.
11. V. Berger, A. Niemann, T. Frehmann and H. Brockmann, “Advanced energy recovery strategies for wastewater treatment plants and sewer systems using small hydropower”, *Water Utility Journal* 5: 15-24, 2013.
12. Dilek ERKAN, Tülay YILMAZ, Amine YÜCEL, Ahmet YILMAZ, Ahmet TEL, Deniz UÇAR, “Atıksu



Arıtma Tesislerinde Enerji Kazanımı için Mikro Ölçekte Hidroelektrik Santrallerin Uygulanabilirliği”, HU Muh. Der. 02 (2018) p.20-25.

13. <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/5/691>

14. <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/14/5173>

15. <https://www.redawn.eu/sites/default/files/Mitrovic%202021%20Multi-Country%20Scale%20Assessment%20of%20Available%20Energy.pdf>

16. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/19/14285>

17. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2634-4505/ad7886>