



## Arıtma tesislerinde enerji tasarrufu için alınabilecek önlemler, maliyet analizi ve amortisman süreleri

### *Precautions That Can Be Taken for Energy Saving in Treatment Facilities, Cost Analysis and Amortization Periods*

Bayram Durmuş<sup>1</sup>, Mustafa Mikail Özçiloğlu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, bayramdurmus2@gmail.com,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3482-3545>

<sup>2</sup> Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, mozciloglu@kilis.edu.tr,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6775-9092>

#### MAKALE BİLGİLERİ

#### ÖZ

##### Makale Geçmişi:

Geliş 27 Aralık 2023  
Revizyon 27 Şubat 2024  
Kabul 28 Mart 2024  
Online 30 Haziran 2024

##### Anahtar Kelimeler:

*Atık su arıtma tesisleri,  
İleri biyolojik arıtma,  
Mikro hidroelektrik santralleri,  
Enerji verimliliği analizi,  
LED aydınlatma teknolojisi.*

21. Yüzyıl itibarıyla dünya üzerinde bulunan enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tüketilmesi ve kaynakların azalarak yetersiz hale gelmesi nedeniyle ülkeler çapında birtakım önlemler alınmaktadır. Bu önlemlerin başında yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim gelmekte ve bu yönde önemli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalara katkı sağlamak amacıyla atık su arıtma tesislerinde yapılacak olan mikro ölçekli hidroelektrik santrali kurulumu, anaerobik çamur çürütme yönteminin kullanılması ve LED aydınlatma dönüşümünün birlikte sağlayacağı faydalar araştırılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde kurulacak mikro ölçekli hidroelektrik santralinin 8.14 kWh enerji potansiyeline sahip olacağı ve yıllık 70,332 kWh enerji sağlayacağına ulaşılmıştır. Bununla birlikte LED aydınlatma dönüşümünün ise yıllık 71,678 kWh enerji tasarrufu sağlayacağı tespit edilmiştir. Yapılacak toplam yatırım tutarının 2,347,550 TL olacağı yapılan detaylı hesaplamalar sonucunda bulunmuş ve bu yatırım karşılığında yıllık 142,010 kWh enerji tasarrufu sağlanarak, yıllık 438,810 TL tasarruf elde edileceği sonucuna ulaşılmıştır.

#### ARTICLE INFO

#### ABSTRACT

##### Article history:

Received 27 December 2023  
Received in revised form 27 February 2024  
Accepted 28 March 2024  
Available online 30 June 2024

##### Keywords:

*Wastewater treatment plants,  
Advanced biological treatment,  
Micro hydroelectric power stations,  
Energy efficiency analysis,  
LED lighting technology*

As of the 21st century, due to the rapid consumption of energy resources in the world and the decrease in resources, a number of measures are taken across countries. At the beginning of these measures is the orientation towards renewable energy sources and important studies are carried out in this direction. In order to contribute to these studies, the benefits of micro-scale hydroelectric power plant installation to be made in wastewater treatment plants, the use of anaerobic sludge digestion method and LED lighting conversion together were investigated. As a result of the study, it has been reached that the micro-scale hydroelectric power plant to be established will have an energy potential of 8.14 kWh and provide 70,332 kWh of energy annually. In addition, it has been determined that the LED lighting conversion will provide an annual energy saving of 71,678 kWh. As a result of the detailed calculations, it was found that the total investment amount to be made would be 2,347,550 TL and it was concluded that an annual energy saving of 142,010 kWh would be achieved in return for this investment, and an annual savings of 438,810 TL would be achieved.

Doi: 10.24012/dumf.1410601

\* Sorumlu Yazar

## Giriş

Günümüzde enerji ihtiyacının %50'den fazlası doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. [1] Her daim azalan ve bir süre sonra yok olacak olan bu enerji kaynakları için hidroelektrik, güneş ve rüzgâr enerjileri gibi alternatifler yenilenebilir enerji kaynakları bulunsu da günümüzde ihtiyaç duyulan enerjinin yarısı dahi bu yenilenebilir enerji kaynakları üzerinden sağlanamamaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde toplam üretilen elektrik enerjisinin %2'si atık su arıtma tesislerinde kullanılmakta iken [2] Dünya üzerinde bu oranın yaklaşık olarak %0,1 ile %0,4 arasında olduğu bilinmektedir.

Fosil yakıt kaynaklarının giderek azalması, fosil yakıt bakımından zengin olan ülkeleri dahi harekete geçirecek yenilenebilir enerji kaynakları bakımından çalışmalar yapmaya sürüklemiştir. Enerji verimliliği konusunda ülkemizde de alınan kararlar göz önüne alındığında hızlı bir şekilde LED aydınlatma dönüşümünün planlandığı "Ulusal Enerji Verimliliği Planı" ile görülmektedir. Bu planda 2023 yılı içerisinde toplam yol aydınlatmalarının %30'unun LED aydınlatma dönüşümünün yapılması planlanmaktadır. [3]

## Atık su arıtma tarihçesi

İnsanlar yerleşik hayata geçmeye başladıkları ilk dönemlerde daha az topluluklardan oluşmaktaydı. Bu topluluklar ise temiz su kaynaklarına yakın bölgelerde yaşardı. Toplulukların küçük ve topluluk dışına ulaşmanın kolay olması nedeniyle insani atıklar genellikle toplum içerisinde olmaz ve dolayısıyla insanların atıklardan kurtulmak gibi planları olmazdı. İnsanlar yerleşik yaşam biçimini benimsemeye başladıktan sonra oluşan atıkların fazla olması nedeniyle çevre kirliliği sorunları baş göstermeye başladı. Oluşan bu çevre sorunları ile baş edebilmek amacıyla su mühendisliği alanına ilgi başladı. Su mühendisliği alanındaki ilk gelişmeler ise M.Ö 4000. yıllara dayanmaktadır. Hindistan'da bulunan Mohenco Daro kentinde ise tarihleri M.Ö 4500'lere dayanan kanalizasyon şebekesi, hamam ve helalara rastlanmaktadır. Nippur ve Roma'da bulunan drenaj kanalları ise antik devirde yapılmış büyük yapılar arasında yer almaktadır. [4] Ülkemiz sınırları içerisinde bulunan Efes ve Bergama antik kentlerinde ise yine milattan öncesine dayanan temiz su temini ve atık su bertaraf yöntemlerine dayanan yapılara rastlamak mümkündür.

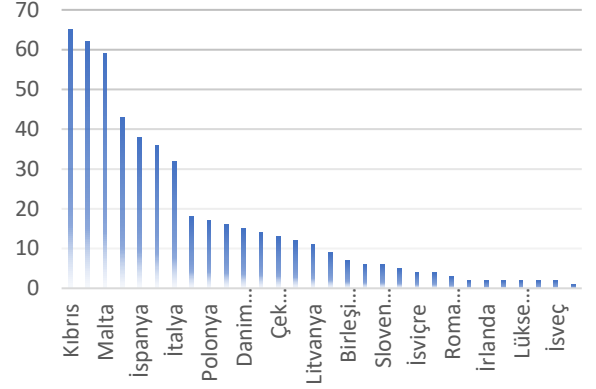
19. Yüzyılda atık suların ve çevre kirliliğinin incelenmesi için İngiltere'de bir komisyon oluşturuldu ve atık suların kirlenmesi yasaklandı. 1861 yılında ise atık su arıtma sistemlerinin ilerlemesini sağlayacak bir kanun yürürlüğe girdi ve bu suların kirlenmesi kanunen yasak oldu. 19. Yüzyılın sonlarına doğru Almanya'da bulunan Emscher nehrinin etrafı atıkların bu nehre akıtılmasından dolayı son derece kötü bir duruma gelmişti. Bu kötü durum ile baş edebilmek için 1904 yılında Almanya'da bir birlik kuruldu ve bu birliğe ise "Emscher Atık su Birliği" adı verildi. Türkiye'ye ise 1970'li yıllardan itibaren yurtdışı kaynaklı çeşitli arıtma sistemleri giriş yapmaya başladı. Sistemin anlaşılması, yerli çalışmalar ve çıkan çevre koruma kanunları ile kısa sürede atık su arıtma sistemlerinde önemli mesafeler kat edildi. [5]

## Su stresi endeksi

Dünya üzerinde Avrupa bölgesi, diğer bölgelere kıyasla çok büyük su kaynaklarını bünyesinde barındırır. Fakat

günümüzde suyun kalitesinde olan bozulmalar ve suyun hızlı bir şekilde azalması nedeniyle Avrupa ülkeleri de su stresine sahip ülkeler arasında yerini almaya başlamıştır.

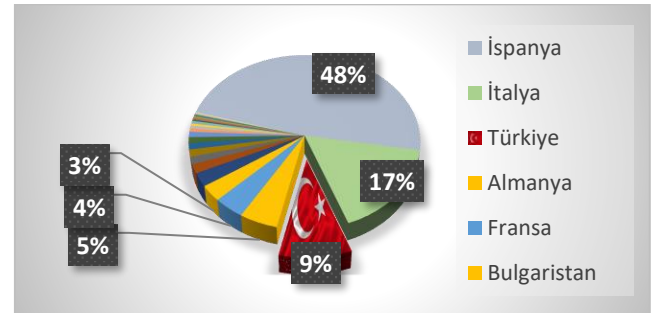
Dünya üzerindeki nüfusun %70'inden fazlasının yaşadığı Avrupa ülkelerinde, nüfusun yarısına yakını su stresi ile karşı karşıyadır. 2025 yılına gelindiğinde Dünya üzerinde 1.8 milyar insanın suya ulaşım sıkıntısı yaşayacağı öngörülmektedir. [6]



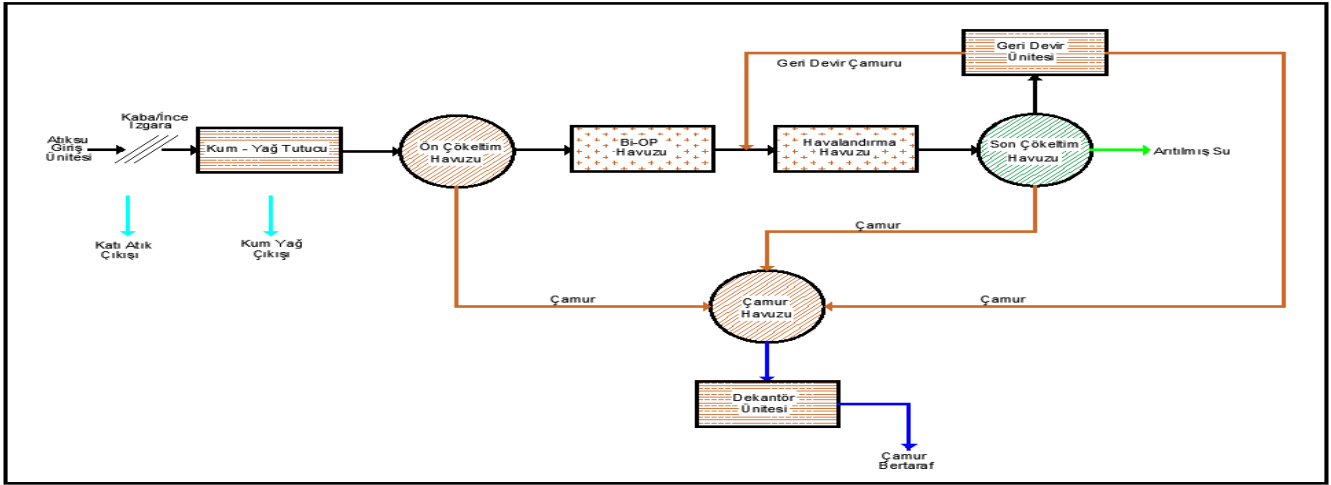
Şekil 1. Avrupa ülkelerinin su stresi endeksi

Avrupa ülkelerinin yaşadığı su stresi endeksi oranları Şekil 1'de görülmektedir. Su stresi endeksinin %0 - %10 arasında olması ülkenin su kıtlığı anlamında iyi durumda olduğunu göstermekte iken %10 - %20 arasında olması su tüketiminde gerekli önlemlerin alınması gerektiğini, bu oranın %20'den fazla olmasında ise alınacak önlemlerin çok daha acil olduğunu göstermektedir. [7] Yapılmış olan bu çalışmada ülkemizin durumu incelendiğinde Türkiye bu endeks çalışmasında %10 - %20 aralığında kalmaktadır.

Kullanılmış bir suyu arıtma işleminden geçirerek yeniden kullanılabilir duruma getirilmesi birçok yerel yönetimin tercih ettiği bir durumdur. Fakat geri kazanılmış atık suların bir daha kullanım potansiyel yoktur. Bazı denklemler yardımıyla 2025 yılındaki atık suyun tekrardan kullanılabilirlik oranları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalardan birçok Avrupa ülkesinin yüksek bir potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir. Bu potansiyele en yüksek olduğu ülke 1,213 Mm<sup>3</sup>/yıl ile İspanya olmuştur. İspanya'yı yılda 418 Mm<sup>3</sup>/yıl ile İtalya 2. Sırada takip ederken, 234 Mm<sup>3</sup>/yıl ile ülkemiz Türkiye 3. Sırada yer almıştır. Daha sonra ise sırasıyla, Almanya 126 Mm<sup>3</sup>/yıl, Fransa 102 Mm<sup>3</sup>/yıl, Bulgaristan 74 Mm<sup>3</sup>/yıl ve Portekiz 64 Mm<sup>3</sup>/yıl ile takip etmektedir. Avrupa'da ülkelerinde 2025 yılında toplamda 2,516 Mm<sup>3</sup>/yıl atık suyun tekrardan kullanılabilereceği düşünülmektedir. Bu suyun ülkeler bazındaki oranları ise Şekil 2'de verilmiştir. [8]



Şekil 2. 2025 yılı için tahmin edilen atık su potansiyeli



Şekil 3. Atık su arıtma tesisinin genel çalışma prensibi

### Atık su arıtma tesislerinin genel çalışma prensibi

Evsel veya endüstriyel ortamlarda oluşan atık sular genel olarak arıtma işlemine tabi tutulduğu gibi herhangi bir arıtma işlemine uğramadan da deniz, göl, nehir vb. su kaynaklarına verilebilmektedir. Arıtma işlemine tabi tutulmayan atık suların çevre ile etkileşimi oldukça büyük tehlike arz etmektedir. Bu nedenle atık sular öncelikle atık su arıtma tesislerine gelerek belirli arıtma proseslerinden geçtikten sonra doğaya verilmesi gerekmektedir. Yapılan araştırmalarda anaerobik çamur çürütme ünitesi bulunan tesislerde açığa çıkan metan gazı ile tesisin ihtiyaç duyduğu enerjinin %25 ile %50 arasındaki bir kısmının karşılanabildiği gözlemlenebilmektedir. [9] Yapılan başka araştırma da ise karşılanabilecek enerji miktarının tesis yapısına göre değişebilmekle birlikte %2 ile %60 arasında olduğu tespit edilmiştir. [10]

Atık su arıtma tesisine giriş yapan ham su ilk olarak kaba ve ince ızgara ile içerisinde bulunan ve ızgaraya takılacak olan katı atıklarından arındırılır. Atık su buradan kum yağ tutucu ünitesine geçer, kum yağ tutucu ünite ünitenin fiziksel yapısı gereği kum tanecikçi, küçük çakıl taşları vb. maddeler ünitenin tabanına çökerken atık su içerisinde bulunan yağ su yüzeyine çıkmaktadır. Burada bir pompa yardımıyla tabanda bulunan kum tanecikleri sudan uzaklaştırılırken, ünite üzerinde bulunan bir sıyrıcı kol yardımıyla da su yüzeyinde bulunan yağ tabakası sudan uzaklaştırılmış olur. Bundan sonra ise atık su ön çökeltim havuzuna geçmekte ve burada çöken çamur, çamur havuzuna bir kademe daha arıtılmış olan atık su ise bi-op havuzlarına geçmiş olur. Bu havuzda gerekli biyolojik ve kimyasal proseslerini tamamlayan atık su uzun havalandırılmalı havuzlara geçer ve yine buradaki proseslerden sonra ise son çökeltim havuzuna geçmektedir. Son çökeltim havuzunda atık su içerisinde bulunan çamur, çamur havuzuna yönlendirilirken, arıtma işlemini tamamlayan arıtılmış su alıcı ortama deşarj edilir. Bir atık su arıtma tesisinin genel çalışma prensibini özetleyen görsel Şekil 3'de verilmiştir.

### Atık su arıtma çeşitleri

Kirletilmiş bir atık suyun niteliği evsel veya kimyasal olsun alıcı ortamlara bırakılmadan önce mutlaka arıtma işleminden geçirilmelidir. Önceden detaylı araştırmalar yapılarak ortaya çıkan veya çıkacak olan atık suyun özellikleri belirlenmeli buna göre yapılacak olan arıtma işleminin özellikleri

belirlenmelidir. Burada bilinmelidir ki evsel nitelikli atık su arıtma işlemleri ile kimyasal nitelikli atık su arıtma prosesleri ve kullanılan ekipmanları birbirinden farklıdır. Evlerden gelen biyolojik atıklardan oluşan suların arıtılmasında 4 ayrı yöntem uygulanmaktadır. Bunlar;

- Doğal Arıtma Yöntemi
- Fiziksel Arıtma Yöntemi
- Biyolojik Arıtma Yöntemi
- İleri Biyolojik Arıtma Yöntemi

Burada bulunan 4 arıtma yöntemi ile atık sular çevreye zarar vermeyecek hale getirilerek daha güvenli bir şekilde doğaya verilmektedir. Bu 4 arıtma sistemi içerisinde bulunan fiziksel arıtma, biyolojik arıtma ve ileri biyolojik arıtma sistemlerine ait teknikler Tablo 1'de verilmiştir.

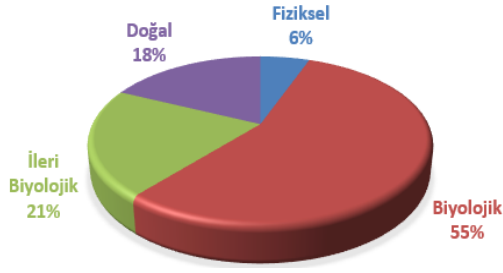
Tablo 1. Atık su arıtmada kullanılan sistem ve teknikler

Fiziksel Arıtma	Biyolojik Arıtma	İleri Biyolojik Arıtma
İnce ve Kaba Izgara	Aktif Çamur	Nitriikasyon + Denitrifikasyon
Elek	Damlatmalı Filtre	Yumaklaştırma + Çökeltme
Kum Yağ Tutucu	Biyodiskler	Filtrasyon
Filtreler	Havalandırılmalı Lagünler	MBR
Çökeltme Havuzu	Stabilizasyon Havuzları	Karbon Adsorpsiyonu
Dengeleme	Anaerobik Arıtma Doğal Arıtma	İyon Değişirme

### Türkiye'de atık su tesislerinin durumu

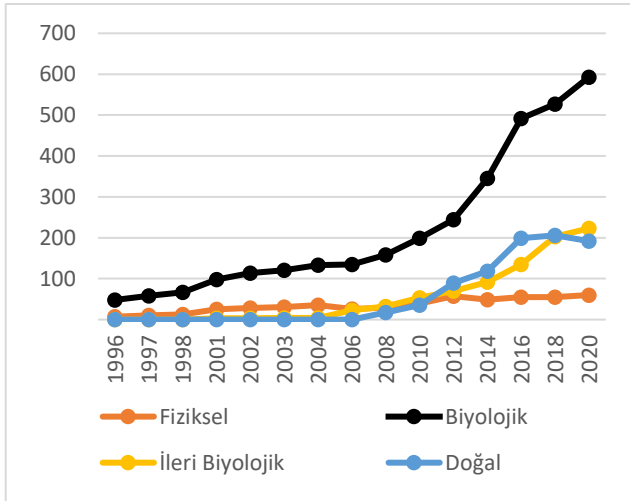
Türkiye'nin atık su arıtma tesisleri konusundaki son durumu, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 2021 yılı sonunda açıklanmıştır. Burada bulunan verilere göre

ülkemizde güncel olarak 1,068 adet atık su arıtma tesisi bulunmaktadır. Bu arıtma tesislerinden 60 adedi fiziksel, 593 adedi biyolojik, 223 adedi ileri biyolojik ve 192 adedi ise doğal arıtma tesisidir. Bu tesislerin yüzdelik dağılımdaki oranları Şekil 4’de verilmiştir. [11]



Şekil 4. Atık su arıtma tesisi çeşitleri dağılımı

Ülkemizde bulunan fiziksel, biyolojik, ileri biyolojik ve doğal arıtma tesislerinin 1996-2020 yılları arasındaki değişimi Şekil 5’de görülmektedir. Burada ileri biyolojik atık su arıtma tesisleri 2000’li yıllardan sonra başlasa da sağladığı fayda ve işletme kolaylığı açısından kısa sürede sayıları artmış ve mevcut durumda toplam arıtma tesisleri içerisinde oranı %21’e kavuşmuştur.



Şekil 5. Yıllara göre arıtma tesisi çeşitleri ve sayısı

## Materyal ve Metot

Çalışma boyunca yapılan araştırma ve incelemeler Gaziantep ili, Şahinbey ilçesinde bulunan Gaziantep merkez ileri biyolojik atık su arıtma tesisinde yapılmıştır. Bu tesis 2 etaptan oluşmakta olup 1. etap 200,000 m<sup>3</sup>/gün debisiyle 1999 yılı Kasım ayında devreye alınan biyolojik atık su arıtma tesisidir. 2. Etap ise 2020 yılında devreye alınan ve yine 200,000 m<sup>3</sup>/gün debisiyle hizmet veren ileri biyolojik atık su arıtma tesisidir. Tesise ait giriş debimetresinde anlık 7,000 – 8,500 m<sup>3</sup> /h arasında atık su girişi olduğu görülmektedir. Tesis günlük olarak yaklaşık 1,000,000 kişinin üretebileceği atık su miktarını artabilecek kapasitededir. Tesis ileri biyolojik arıtma tesisi olduğundan dolayı tesiste azot ve fosfor giderimi yapılan prosesler mevcuttur. Tesisin görseli Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Gaziantep ileri biyolojik atık su arıtma tesisi

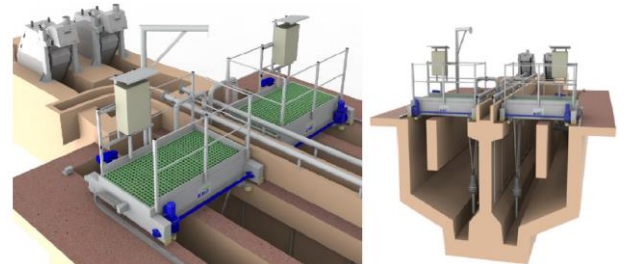
Araştırma sürecinde tesisin bütün ünitelerinin çalışma sistemleri incelenmiş ve enerji tasarrufu için yapılabilecek önlemler analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda tasarruf yöntemleri belirlenmiştir.

Tesis içerisinde 10 ayrı üniteden bulunmakta olup bunlar: giriş yapısı, kaba-ince ızgara, kum yağ tutucu havuzu, kum yağ tutucu blower, ön-son çöktürme havuzu, bio-p havuzu, havalandırma havuzu, havalandırma blower, geri devir ve dekantör üniteleridir. Bu üniteler ve işlevleri aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

Giriş yapısı, atık su arıtma tesisine suyun giriş yaptığı ünite. Bu ünite üzerinde 4 adet elektrikli vana ile kontrol edilen kapaklar ve giriş suyu debi ölçümü için kullanılan ultrasonik debimetre bulunmaktadır.

Kaba-ince ızgaralar, atık suyun tesise giriş yaptıktan sonra fiziksel arıtma işleminin başladığı ilk ünite. Kaba ızgarada 10-15 cm arasında olan katı cisimler sudan ayrıştırılırken, ince ızgarada 2-10 cm arasında olan katı cisimler atık sudan ayrıştırılmaktadır. Örneğin bu cisimler cam parçaları ve cam şişeler, metal parçaları ve metal kutular, tahta ve ağaç parçaları, poşetler, vb. olmaktadır. Bu ünite üzerinde 3 adet kaba ve 5 adet ince ızgara bulunmaktadır.

Kum yağ tutucu ünite, kaba ve ince ızgaralar ile büyük katı atıklardan ayrıştırılan suyun içerisinde bulunan küçük parçacıklı katı maddelerin ve su içerisinde ki yağın ayrıştırıldığı bölümdür. Ünite üzerinde 2 adet gezer köprü vardır ve bu her bir köprünün üzerinde 2 adet yağ sıyrıcı kol ile 2 adet kum pompası bulunur. Ünitenin yapısı gereği yağ burada yüzeyde kalırken, kum ünitenin tabanına çökmektedir. Gezer köprü üzerinde bulunan sıyrıcı kol ile sudaki yağ, yağ çukuruna dökülerek bertaraf edilirken, taban kısmındaki kum taneleri ise kum pompası yardımıyla sudan ayrıştırılır. Bu ünitenin genel yapısı Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Kum yağ tutucu ünite genel yapısı

Kum yağ tutucu blower, bina içerisinde kum yağ tutucu ünitenin oksijen ihtiyacını karşılamak üzere blower cihazları bulunmaktadır. Burada 4 adet asil ve 1 adet yedek olmak üzere toplamda 5 adet 18.5 kW gücünde blower bulunmaktadır. Kaba-ince ızgara, kum-yağ tutucu ünite ve kum yağ tutucu blower için görseller Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Kaba-ince ızgara, kum yağ tutucu ünite ve kum yağ tutucu blower üniteleri

Ön çökeltme havuzu fiziksel arıtma işleminin son basamağı olup burada atık su dinlendirilerek içerisinde bulunan çamurun tabana çökmesi ve buradan çamur havuzuna gönderilmesi adımları gerçekleşir. Çamurdan ayrıştırılan atık su ise bio-p havuzuna geçerek biyolojik arıtma işlemine tabi tutulur. Son çökeltme havuzunda ise biyolojik arıtma porselerini tamamlayan atık su içerisinde bulunan çamur, çamur havuzuna gönderilir. Çamurdan ayrıştırılan atık su ise alıcı ortama vermek üzere çıkış ünitesine gönderilir. Şekil 9’de ön çökeltme havuzu ünitesi verilmiştir.



Şekil 9. Ön çökeltme havuzu

Bio-p havuzu ileri arıtma prosesinin uygulandığı ileri biyolojik atık su arıtma tesislerinde bulunan bir ünite olup azot ve fosfor giderimi yapan bir ünedir. Bu üniteler tesis içerisinde 2 adet bulunmakta ve her ünite içerisinde 5.5 kW gücünde 3 karıştırıcı mikser bulunmaktadır.

Havalandırma havuzları oksijenli ve oksijensiz havalandırma havuzları olarak ikiye ayrılmaktadır. İncelenen tesiste 2 adet oksijenli havalandırma havuzu bulunmakta ve her havalandırma havuzunun içerisinde 7.5 kW gücünde 8 adet karıştırıcı mikser bulunmaktadır. Atık su içerisinde bulunan askıda katı madde, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) gibi maddelerin giderimi havalandırma havuzu aracılığıyla yapılmaktadır. Havalandırma havuzundaki bakteriler için oksijen ihtiyacı blower ünitesi tarafından karşılanmaktadır. Tesis içerisinde toplamda 2 ayrı blower ünitesi bulunmakta ve her bir ünite içerisinde 4 asil, 1 yedek olmak üzere toplamda 5 adet 450

kW gücüne sahip blower bulunmaktadır. Bu ünite tesis içerisinde en fazla güç sarfiyatı yapan bölümdür. Şekil 10’de blower üniteleri verilmiştir.



Şekil 10. Havalandırma havuzu mikseri ve havalandırma havuzu blower üniteleri

Geri devir ünitesi, atık su arıtma tesisi prosesinde bulunan ve son çökeltme havuzları vasıtasıyla çökeltilecek çamurun bio-p ve havalandırma havuzlarında tekrardan işlenmesi için gönderen pompaların bulunduğu bir bölümdür. Bu bölüm içerisinde ayrıca, son çökeltme havuzlarından gelen fazla çamur, fazla çamur pompaları yardımıyla çamur havuzuna gönderilmektedir. Bu ünite içerisinde 125 kW gücünde 5 adet geri devir pompası ve 15 kW gücünde 3 adet fazla çamur pompası bulunmaktadır.

Dekantör ünitesinde, sıvı kıvamında bulunan çamurun özel katkı maddeleri ile birleştirilerek dekantör içerisinde susuzlaştırma işlemi yapılmaktadır. Bu işlemler için dekantör ünitesinde 5 asil, 1 yedek olmak üzere toplamda 6 adet ünite bulunmaktadır. Her bir ünite ise 55 kW ve 18.5 kW gücünde 2 adet asenkron motor bulunmaktadır.

#### Mikro Hidroelektrik Santrali

Bu bölümde tesis içerisine kurulması planlanan mikro ölçekli hidroelektrik santrali için gerekli hesaplamalar yapılacaktır. Öncelikle tesis kapasitesini belirlemek amacıyla debi ve düşü hesaplamaları yapılacak olup sonrasında cebri boru, enerji potansiyeli ve türbin seçim hesaplamaları yapılacaktır.

Debi ve düşü hesaplaması için Şekil 11’de görülen ve tesisin giriş debimetresi değeri baz alınacaktır. Burada tesisin saatlik debisinin 7,065 m<sup>3</sup>/h olduğu görülmekte ve bu oranla günlük debi 169,577 m<sup>3</sup>/gün olmaktadır.



Şekil 11. Tesisin saat bazlı giriş debisi

Tesisin anlık debisi ise Denklem (1) ile hesaplanarak bulunmuştur.

$$s = \frac{Qd}{84.400} = \frac{170.000}{86.400} = 1,97 \text{ m}^3/\text{s} \quad (1)$$

Tesiste düşü ölçümü ise nivo yardımı ile yapılmış olup, cebri boru planlamasının yapıldığı son çökeltim havuzlarının üst kotu ile cebri boru bitiş noktası arasındaki yükseklik ise 0.62 metre olarak elde edilmiştir. Bu nedenle yapılacak araştırmalarda tesis düşü miktarı 0.62 metre olarak kabul edilmiştir.

### Cebri boru hesaplamaları

Cebri boru et kalınlığı hesabı yapılırken ilk önce cebri boru içerisinde olması istenen maksimum hız olan 5 m/s değerinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. Bu kontrol için Denklem (2) kullanılacaktır.

$$V = 0.125\sqrt{2gHg} = 0.125\sqrt{2 \times 9,81 \times 0,62} = 0,43 \text{ m/s} \quad (2)$$

Bulunan değer 5 m/s değerinden düşük olduğu için cebri boru içerisinde istenen hız uygundur. Cebri boru et kalınlığını hesaplamak için ise Denklem (3) kullanılacaktır.

$$e = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4 \times 1,97}{3,14 \times 0,43}} = 2,41 \text{ mm} \quad (3)$$

2014 yılında yapılmış bir araştırmada Amerikan Makine Mühendisleri Birliği (ASME) tarafından son hesaplanan et kalınlığının Denklem (4) gibi düzenlenmesinin cebri borularda oluşacak deformasyonlara karşı direncin daha yüksek olacağı belirtilmiştir.[12]

$$e_{net} = (e \times 2,5) + 1,2 = (2,41 \times 2,5) + 1,2 = 7,22 \text{ mm} \quad (4)$$

Cebri boru çapının hesaplanması için ise Denklem (5) kullanılmış ve cebri boru yarıçapı belirlenmiştir.

$$D = \sqrt[7]{0,05 \times Q^3} = \sqrt[7]{0,05 \times 1,97^3} = 0,871 \text{ mm} \quad (5)$$

### Mikro HES için enerji potansiyeli hesaplamaları

Hidroelektrik santrallerinin teorik olarak yapılan enerji potansiyeli hesaplamaları için öncelikle suyun spesifik yoğunluğu, düşü ve debi miktarlarının bilinmesi gerekmektedir. Suyun spesifik yoğunluğu ( $\rho$ ) 998.21 kg/m<sup>3</sup>, yer çekimi ivmesi ( $g$ ) 9.82 m/s<sup>2</sup> kabul edilerek Denklem (6) ile yerine yazıldığında enerji potansiyeli bulunacaktır.

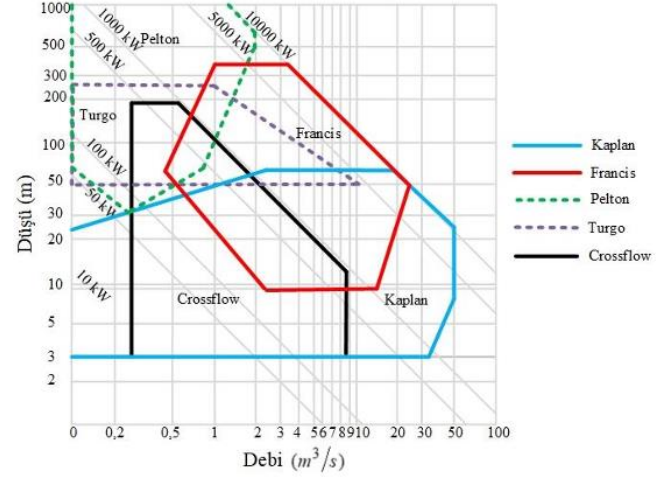
$$P_{hyd} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q = 998,21 \times 9,82 \times 0,62 \times 1,97 = 11.972 \text{ W} \quad (6)$$

Burada elde edilen değer türbin ve generatör verimi %100 kabul edildiğinde geçerlidir. Mikro ölçekli hidroelektrik santrallerinde kullanılan türbinlerde kayıp oranı %20 mertebelerinde generatörlerde ise kayıp oranı %15 mertebelerinde olduğundan bu hesaplama %20 türbin ve %15 generatör kayıpları düşüldüğünde net enerji potansiyelinin 8,140,96 W/sa olduğu hesaplanmaktadır. Tesisin net enerji potansiyeli günlük 195.38 kW, aylık 5,861 kW ve yıllık 70,332 kW olmaktadır.

### Türbin seçim hesaplamaları

Yıllık Türbin seçimindeki en önemli kriterler düşü ve debi miktarlarıdır. Araştırma ve inceleme yapılan tesis olan Gaziantep ileri biyolojik atık su arıtma tesisinde planlaması

yapılan mikro ölçekli hidroelektrik santrali için düşü miktarı 0.62 metre ve debi miktarı 1.97 m<sup>3</sup>/s olarak daha önceki hesaplamalarda tespit edilmişti. Bu değerler dikkate alınarak Şekil 12'de incelenecektir.

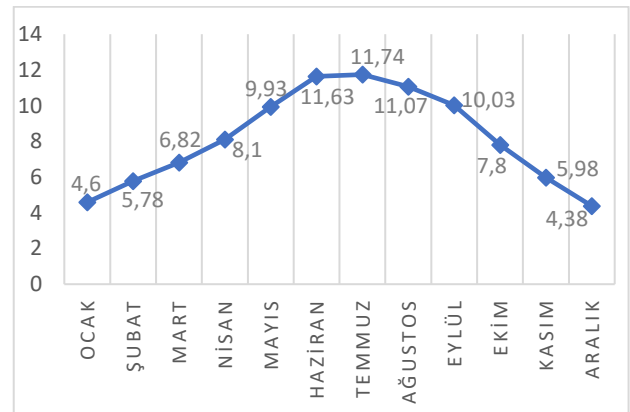


Şekil 12. Debi ve düşü miktarına göre türbin seçim grafiği (13)

Şekil 10'da verilen grafik detaylı olarak incelendiğinde en az düşü ile çalışmaya uygun olan Kaplan tip türbinlerin 3 metre ile 60 metre aralığında, Banki türbinlerin 3 metre ile 200 metre aralığında, Francis tip türbinlerin 10 ile 400 metre aralığında, Pelton tip türbinlerin 30 metre ile 1300 metre aralığında ve Turgo tip türbinlerin ise 50 ile 280 metre aralığında ki düşü miktarlarında çalışmaya uygun olduğu görülmektedir. İnceleme yapılan tesisin düşü miktarı ve debisi dikkate alındığında Kaplan ve Francis tip türbinlerin kullanımının uygun olduğu görülmektedir. Hesaplamalar bu 2 türbin üzerinden yapılacaktır.

### Aydınlatma sistemi

Gaziantep ileri biyolojik atık su arıtma tesisinde yapılan incelemede yüksek bina yapıları ve geniş alanlar nedeniyle yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürler kullanıldığı görülmüştür. Tesiste bulunan armatürlerin enerji hesaplamalarının yapılması için öncelikle Gaziantep ilinin yıllık ortalama güneş alma saatinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan Gaziantep ili güneşlenme süreleri Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 13. Debi ve düşü miktarına göre türbin seçim grafiği [13]

Şekil 12’de ki grafikten Gaziantep ilinin günlük ortalama güneşlenme süresinin 8.155 saat olduğu bulunmaktadır. Tesiste günde yaklaşık olarak 16 saat aydınlatma armatürlerinin açık olması gerekmektedir. Hesaplamalar 16 saat üzerinden yapılacaktır. Tesiste bulunan armatür tipleri, sayıları ve güçleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Tesiste kullanılan armatür tipleri ve sayıları

Bina	Armatür Tipi	Armatür Sayısı	Armatür Gücü(W)	Yıllık Sarfiyat (kWh)
Kum Yağ Tutucu Blower	HDK	6	250	8.760
Havalandırma Blower A	HDK	8	250	11.680
Havalandırma Blower A	U	38	36	7.989
Havalandırma Blower B	HDK	8	250	11.680
Havalandırma Blower B	U	38	36	7.989
Geri Devir	HDK	6	250	8.760
Geri Devir	U	10	36	2.102
Dekantör	HDK	6	250	8.760
Yol Aydınlatma	YBSB	132	150	115.632
Toplam			183.352	

Tesiste bulunan HDK ve YBSB armatürler gece saatlerinden itibaren sürekli çalışmakta iken U tipi armatürler sadece çalışma ihtiyaç anında devreye alınmaktadır. Bu nedenle U tipi armatürlerin kullanımı yaklaşık olarak %30 civarındadır. Bu nedenle tesisin yıllık enerji sarfiyatı 170,696 kWh olmaktadır.

Tesis içerisinde 150 W gücünde YBSB armatürden 132 adet, 36 W U tipi armatürden 86 adet ve 250 W HDK tip armatürden 34 adet bulunduğu görülmektedir. Bu armatür tipleri için 3 farklı üretim firması verilerinin ortalaması alınarak Tablo 3 elde edilmiştir.

Tablo 3. YBSB ve U Tipi Armatürlerin Ortalama Bilgileri

Armatür	Güç (W)	Işık Akısı (Lm)	Balast Kaybı (W)	Etkinlik Faktörü (Lm/W)	Kullanım Ömrü (h)
150 W YBSB	150	12.333	22	71,81	26.500
250 W YBSB	250	24.000	31	86,41	26.500
36 W U Tipi	36	2.467	4	61,67	11.000

### LED armatür analizi

Bu bölümde arıtma tesisinde mevcutta kullanılan 150 W ve 250 W yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürler ile 36 W

floresan armatürlerin ışık akısı karşılaştırması yapılmıştır ve mevcut sistemde kullanılan armatürler LED armatür ile değiştirildiğinde hangi güçte bir LED armatür kullanılacağı tespiti yapılmıştır. Yapılan bu tespitler yine 3 farklı firmanın ürettiği LED armatür verilerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Tablo 4’de mevcut armatürlerin LED armatür karşılıkları verilmiş ve bu değişimin yapılması sonucu elde edilecek enerji verimliliği tespiti bulunmaktadır.

Tablo 4. 150 W, 250 W ve 36 W Armatür Eşdeğeri LED Armatür Bilgileri

Armatür Tipi	Etken	YBSB	LED	Enerji Verimliliği
150 W YBSB Armatür İçin	Güç	172	106,67	37,98%
	Işık Akısı Etkinlik Faktörü	12.333	11.700	-5,13%
	Kullanım Ömrü	71,81	109,78	52,88%
250 W YBSB Armatür İçin	Güç	281	180	35,94%
	Işık Akısı Etkinlik Faktörü	24.000	23.387	-2,55%
	Kullanım Ömrü	86,41	129,93	50,36%
36 W U Tipi Armatür İçin	Güç	40	25	37,50%
	Işık Akısı Etkinlik Faktörü	2.467	2.433	-1,38%
	Kullanım Ömrü	61,67	97,33	57,82%

Tablodan yorumlandığı üzere ışık akısındaki önemsenmeyecek düzeyde olan %1-5 arasındaki bir düşüş göze alındığında güç olarak %35-38 arasında, kullanım ömrü olarak ise %103 ile %390 arasında bir enerji verimliliği elde edileceği görülmektedir.

### Bulgular ve Tartışma

Atık su arıtma tesisine yapılacak olan mikro HES ve tesis içerisinde bulunan aydınlatma elemanlarının günümüz teknolojisinin en tasarruflu yöntemi olan LED aydınlatma armatürlerini ile değiştirilmesinden elde edilecek olan enerji verimliliği, maliyet analizi ve amortisman süreleri tespiti yapılmıştır.

#### Mikro hidroelektrik santrali

Cebri boru yatırım maliyeti hesaplamalarındaki en büyük etken cebri borunun et kalınlığı ve çapıdır. Yapılan hesaplamalarda cebri boru et kalınlığının 7.22 mm ve çapının ise 1174 metreden az olmaması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır. Cebri boru kilogram hesabı için Denklem (7) ve Denklem (8) kullanılacaktır.

$$sG = (D - e_{net})x e_{net}x 0,0246615 \quad (7)$$

$$G = (1740 - 7,22)x 7,22 x 0,0246615 = 191,28 \text{ kg} \quad (8)$$

Denklem (7) ve Denklem (8) ile 1 metre cebri borunun 191.28 kilogram olduğu ve toplam kullanılacak olan 13.02 metre cebri boru için ise 2,490,47 kilogram cebri boru kullanılacağı

tespit edilmiştir. Cebri boru maliyet hesabı için Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yayımlanan birim fiyat tablosu analiz edilmiş ve burada 55.230.1029 poz numaralı “açıktaki cebri boru ve çelik mesnetleri” baz alınarak kilogram fiyatı 93.99 TL olduğu görülmektedir. Bu durumda cebri boru toplam maliyeti 234,079 TL olmaktadır.

Türbin yatırım maliyeti için kaplan ve francis tip türbinlerin tesis için uygun olduğu belirlenmiştir. Kaplan tip türbin için Denklem (9) ve francis tip türbin için ise Denklem (10) kullanılarak türbin maliyeti hesaplamaları yapılmıştır.

$$GC_{pr} = 31196 \times \frac{p_m^{0,42}}{h^{0,11}} = 31196 \times \frac{8,14^{0,42}}{0,62^{0,11}} = 79.332 \text{ €} \quad (9)$$

$$C_{pr} = 25698 \times \frac{p_m^{0,44}}{h^{0,18}} = 25698 \times \frac{8,14^{0,44}}{0,62^{0,18}} = 70.456 \text{ €} \quad (10)$$

Döviz kuru, Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası efektif satışı baz alınarak 1 Euro = 21.28 TL kabul edilmiştir. Bu durumda kaplan tip türbin için 1,688,185 TL, francis tip türbin için ise 1,499,303 TL yatırım maliyeti olduğu tespit edilmektedir.

Mikro ölçekli hidroelektrik santrali kurulumu için kontrol ve kumanda panoları, bakım ve onarım giderleri ve tesisi işletmek için kullanılacak malzemeler için işletme giderleri bulunmaktadır. Bu giderler ise Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Diğer maliyetler

Gider Kalemleri	Aylık Maliyet (TL)	Yıllık Maliyet (TL)	Toplam Maliyet (TL)
Kontrol ve Kumanda Panoları	2.200	26.400	264.000
Bakım Onarım Gideri	1.250	15.000	150.000
İşletme Maliyeti	1.050	12.600	126.000

Tablo 8. Değişim Sonucu LED armatür kar/zarar analizi

Parametre	150W YBSB	250W YBSB	36W Floresan	106,67 W LED	180 W LED	25 W LED
Kullanılan Güç (W)	150	250	36	106,67	180	25
Kullanım Bedeli (TL)	3,09	3,09	3,09	3,09	3,09	3,09
Kullanılan Saat	58.000	54.000	54.000	58.000	54.000	54.000
Toplam Güç Bedeli (TL)	26.883	41.715	6.007	19.117	30.035	4.172
Değişim/Alım Adedi	2,19	2,04	4,91	1	1	1
Değişim/Alım Ücreti (TL)	208,67	227	57,33	1.332	4.085	91,33
Toplam Değişim/Alım Bedeli (TL)	456,99	463,08	281,49	1.332	4.085	91,33
Genel Maliyet Toplamı (TL)	27.340	42.178	6.288	20.509	34.120	4.263

Elde edilen tüm bu veriler ile mikro ölçekli hidroelektrik santralının kaplan ve francis tip türbinler kullanılarak oluşan kurulum maliyeti ve 10 yıl içerisinde oluşacak diğer giderleri bulunmuştur. Bütün bu maliyetlerin amortisman süreleri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Kaplan ve francis tip türbin ile amortisman süreleri

Türbin Tipi	Yıllık Enerji Pot. (kWh)	Enerji Birim Fiyatı (TL)	Yıllık Enerji Verimliliği Tutarı (TL)	Kurulum Maliyeti (TL)	Amortisman Süresi (Yıl)
Kaplan Tip	70.332	3,09	217.325,9	2.213.864	10,19
Francis Tip	70.332	3,09	217.325,9	2.024.984	9,32

Tablo 6’da görüleceği üzere atık su arıtma tesisinin çıkış bölgesinde bulunan parshall savağı üzerine kurulacak olan mikro HES toplam maliyeti yaklaşık 2,024,984 TL olmakta ve kurulan bu hidroelektrik santralinden yıl içerisinde 217,325,9 TL kar edilmektedir. Yaklaşık olarak 9 yıl gibi bir süre içerisinde ise kurulan hidroelektrik santrali kendisini amorti etmektedir. Yapılacak olan tesisin kullanım ömrü en az 50 yıl olarak kabul edilmekte olup, geriye kalan 41 yıl tesis kendisini amorti etmiş şekilde çalışacaktır.

### LED Dönüşüm

LED dönüşüm yatırım maliyeti için öncelikle 150 W ve 250 W YBSB armatürler ile 36 W floresan armatürlerin eşdeğeri olan LED armatür araştırması yapılmıştır. Bu armatür tipleri için 3 farklı üretim firmasından fiyat alınmış ve bunların ortalaması ile hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 7. LED armatür ömründe değişim yapılacak diğer armatür adetleri

Armatür Tipi	LED Kullanım Ömrü	YBSB Armatür Kullanım Ömrü	Değişim Adedi
150 W YBSB	58.000	26.500	2,19
250 W YBSB	54.000	26.500	2,04
36 W Floresan	54.000	11.000	4,91

Ortalama fiyatlar sırasıyla 150 W, 250 W ve 36 W armatürler için 1,332 TL, 4,085 TL ve 91,33 TL’dir. Yine aynı armatürlerin ampul fiyatları ise aynı yöntemle hesaplanmış ve onlar ise yine sırasıyla 208,67 TL, 227 TL ve 57,33 TL olarak tespit edilmiştir.



LED armatür kullanım ömürleri içerisinde kaç adet yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürlerin ve floresan armatürlerin değiştirileceği Tablo 7’de verilmiştir.

LED armatür ortalama fiyatları, yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürlerin değişim ücretleri ve değişim adetleri bulunduktan sonra LED dönüşümün kullanım ömrü boyunca elde edilecek fayda zarar hesaplaması Tablo 8’da gösterilmiştir. Bu hesaplama ilk defa alınacak olan LED armatürler değişim/alım adedi, değişim/alım ücreti ve toplam değişim/alım bedeli satırlarına eklenerek toplam maliyete dahil edilmiştir.

Tablo 8’de 250 W gücündeki YBSB armatürün ömründeki toplam maliyeti 42,178 TL olmakta iken, 180 W gücündeki bir LED ile değiştirilmesi durumunda değişim maliyeti dahil toplam ömür maliyeti 34,120 TL olduğu görülmektedir. Bu hesaplamalar bütün armatür adetleri için yapıldığında bütün armatürler LED armatüre dönüştürülürse alım maliyeti dahil edilmesine rağmen LED ömrü sonunda 1,349,814 TL fayda sağlayacağı tespit edilmiştir. İlk değişim maliyeti ise Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. LED armatür ilk değişim maliyeti

Armatür Tipi	Adet	LED Armatür Birim Fiyatı (TL)	Toplam Dönüşüm Maliyeti (TL)
150 W YBSB	132	1.332	175.824
250 W YBSB	34	4.085	138.890
36 W U Tipi	86	91,33	7.854
Genel Toplam		322.568 TL	

LED aydınlatma dönüşümünün genel maliyeti 322,568 TL olarak hesaplanmıştır. Tablo 10’da ise LED aydınlatma dönüşümünün aylık sağlayacağı enerji tasarrufunun tutarı için gerekli çalışmalar yapılmıştır. Burada güncel enerji birim fiyatı 3.09 TL olarak kullanılmış olup daha önce ki hesaplamalarda sabit tutulan YBSB armatürler için kullanım süresi günlük 16 saat, U tipi armatürler için 16 saatlik gece süresinin %30’u alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 10. LED dönüşümün aylık net kar göstergesi

Armatür Tipi	Adet	YBSB&U Tipi Gücü (W)	LED Dönüşüm Gücü (W)	Güç Verimi (W)	Günlük Güç Verimi (W)	Aylık Güç Verimi (kW)	Enerji Birim Fiyatı (TL)	Aylık Enerji Tasarrufu Tutarı(TL)
150 W	132	172	106,6	65,33	137,98	4.139,4	3,09	12.791
250 W	34	281	180	101	54,94	1.648	3,09	5.092
36 W	86	40	25	15	6,19	185,76	3,09	574
Genel Toplam								18.457 TL

Tablo 10’dan ise LED dönüşümünün aylık net enerji tasarrufu 18,457 TL olduğu görülmektedir. Özet olarak 322,568 TL yatırım yapılarak aylık 18,457 TL tasarruf elde edilecektir. Yani 18 ay gibi bir süre içerisinde kendisini amorti edecektir. Kurulacak olan sistemin ömrü 9 yıl civarında olduğundan ulaşılan netice oldukça verimlidir.

## Sonuçlar

Enerji verimliliğinin belirlenmesi aşamasında ilk olarak tesis çıkış suyunun debisi 1.97 m<sup>3</sup>/s ve düşü miktarının 0.62 m olduğu belirlenerek diğer hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar ile mikro ölçekli hidroelektrik santralinde kullanılacak olan cebri boru çapı 0.871 m olmuş ve tesiste kaplan ve francis tip türbin kullanılmasının uygun olduğunun tespiti sağlanmıştır. Tüm bu veriler ile tesisin 8.14 kW/h bir elektrik enerjisi potansiyeline sahip olduğu bunun yıllık elektrik üretiminin ise 70,332 kW/yıl olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu elektrik üretiminin ise yıllık 217,825,9 TL getirisi olmaktadır. Kurulum maliyetleri ise cebri boru için 234.079 TL, kaplan tip türbin kullanılacaksa 1,688,185 TL, francis tip türbin kullanılacaksa 1,499,303 TL olduğu belirlenmiştir. Bunlara ilave olarak, kontrol ve kumanda panolarının imalatı ile bakım, onarım ve işletme maliyetleri hesaba katıldığında kaplan tip türbin için 2,213,864 TL ilk yatırım ve 1 yıllık bakım onarım ve işletme maliyeti ortaya çıkarırken francis tip türbin için 2,024,982 TL ilk yatırım ve 1 yıllık bakım onarım ve işletme maliyeti ortaya çıkmaktadır. İlk kurulum ve yıllık giderler hesaba katıldığında francis tip türbin kullanımının yaklaşık 9 yıl gibi bir sürede kendisini amorti edeceğine ulaşılmıştır. Hidroelektrik santrallerinin ortalama kullanım ömrü 50 yıl olarak bilindiğinden ulaşılan neticede yüksek dereceden enerji verimliliği sağlanmış olur.

Tesis içerisinde kullanılan ve LED dönüşümü planlanan yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürler ve floresan armatürler için öncelikle eşdeğer ışık akısına sahip LED armatür araştırması yapılmıştır. Burada 150 W, 250 W yüksek basınçlı sodyum buharlı armatür ve 36 W floresan armatürlerin eşdeğer ışık akısına sahip LED armatürler ile değiştirilmesinin toplam maliyetinin 322.568 TL olduğu tespit edilmiştir. Bu dönüşümün aylık getirisinin 18.457 TL olduğu yapılan hesaplamalarla tespit edilmiş ve yapılacak yatırıma 18 ay gibi bir sürede amorti edileceği ve ortalama LED kullanım ömrü 9 yıl olarak bilindiğinden ulaşılan neticede yüksek dereceden enerji verimliliği sağlanmış olur.

Anaerobik çamur çürütme için yapılan araştırmalar neticesinde tesis içerisinde yeterli alanın bulunmadığı, ilk yatırım ve işletme giderlerinin çok yüksek olduğu tespit

edilmiştir. Bu nedenle tesis içerisine ekstra anaerobik çamur çürütme prosesi için herhangi bir çalışma yapılmasına gerek duyulmadığı tespit edilmiştir. Anaerobik çamur çürütme ünitelerinin atık su arıtma tesisi planlama aşamasında iken karar verilerek ilk tesis kurulum anında kurulması daha uygun olacaktır.

Yapılan bütün araştırmalar neticesinde Gaziantep ileri biyolojik atık su arıtma tesisi için yapılacak olan enerji verimliliği çalışmaları neticesinde yıllık 142,010 kWh enerji tasarrufu sağlanacağı tespit edilmiştir. Bu tasarruf için yaklaşık kurulum maliyeti 2,347,550 TL olarak hesaplanmış ve bu yatırım ile yıllık 438,810 TL gelir elde edileceği sonucuna ulaşılmıştır.

### Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Yazar Katkıları

Araştırmacıardan Bayram DURMUŞ, makaleye konu olan proje fikrinin bulunmasında, gerekli saha analizlerinin ve ölçümlerinin yapılmasında ve makale yazım ile düzeninde görev almıştır. Araştırmacıardan Mustafa Mikail ÖZÇİLOğLU, başta danışmanlık hizmeti olmak üzere makaleye konu projenin araştırılmasında ve makale yazım ile düzeninde görev almıştır.

### Kaynaklar

- [1] İ. Gülsoy and İ. Kılıçaslan, “Kentsel atık su arıtma tesisinde tüketilen enerjinin kirlilik giderimine bağlı olarak incelenmesi,” *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (035), 29-46, 2018.
- [2] Ö. Özdemir, “İleri biyolojik atıksu arıtma tesisinde sürdürülebilir işletme için revizyon ve enerji verimliliği: Malatya örneği.” *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3 (5), 9-20, 2016.
- [3] Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ulusal enerji verimliliği eylem planı, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-verimliliği-ulusal-enerji-verimliliği-eylem-planı>, Erişim 20 Kasım 2023
- [4] S. Yıldız, O. Ö. Namal and M. Çekim, “Atık su arıtma teknolojilerindeki tarihsel gelişimler.” *Selçuk*

*Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 55-67,2013.  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/sujest/issue/23221/247958>

- [5] Anonim, “*Mikroorganizmalar ve atık su teknolojisine genel bir bakış.*” 1–30, 2018.
- [6] A. Gezer and A. Erdem, “Su stresi, su kıtlığı ve su tasarrufu hakkında halkın farkındalığının belirlenmesi: Akdeniz üniversitesi örnek çalışması.” *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4 (2), 113-122, 2018.
- [7] T. Wintgens, D. Bixio, C. Thoeve, P. Jeffrey, R. Hochstrat and T. Melin, “Reclamation and reuse of municipal wastewater in Europe.” *Aquarec*, 2006.
- [8] P. L. McCarty, J. Bae and J. Kim, “Domestic wastewater treatment as a net energy producer-can this be achieved.” *Environmental science and technology*, 45(17), 7100–7106, 2011.
- [9] D. Erkan, T. Yılmaz, A. Yücel, A. Yılmaz, A. Tel and D. Uçar, “Atık su arıtma tesislerinde enerji kazanımı için mikro ölçekte hidroelektrik santrallerin uygulanabilirliği.” *Harran üniversitesi mühendislik dergisi*, 3 (2), 1-6, 2018.
- [10] B.M. Karagözoğlu and Z. Yılmaz, “Atık su arıtma tesislerinde enerji tüketimiyle ilgili araştırma bulguları.” *Uluslararası kentsel su ve atıksu yönetimi sempozyumu*, Denizli, Türkiye 25-27 Ekim 2018.
- [11] Türkiye istatistik kurumu, Su ve atık su istatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-ve-Atıksu-Istatistikleri-2020-37197/>, Erişim 13 Kasım 2023.
- [12] E. Alimoğlu, Z. Bozkuş and A. M. Yanmaz, “Nehir tipi hidroelektrik santrallerin bilgisayar destekli ön tasarımı.” *Teknik Dergi*, 25(124), 2014.
- [13] M. S. Özdemir, A. Dalcı and C. Ocak, “Akarsu tipi hidroelektrik santraller ve bu santrallerde kullanılan türbin-generatörler.” *Mühendislik bilimleri ve araştırmaları dergisi*, 2(2), 69-75, 2020.  
<https://doi.org/10.46387/bjesr.798387>