



# HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/humder>

## **Biyolojik Atıksu Arıtma Teknolojilerinin Maliyet Analizi-Kayseri İli Örneği**

*Cost Analysis of Biological Wastewater Treatment Technologies - Kayseri Province Example*

**Yazar(lar) (Author(s)):** Hazal DALGALI<sup>1</sup>, Merve OĞUZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0002-8332-0370

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0002-8388-1477

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Dalgalı H., Oğuz M., "Biyolojik Atıksu Arıtma Teknolojilerinin Maliyet Analizi-Kayseri İli Örneği", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(3): 152-160, (2022).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/humder/archive>



## Biyolojik Atıksu Arıtma Teknolojilerinin Maliyet Analizi-Kayseri İli Örneği

Hazal DALGALI<sup>1,\*</sup>, Merve OĞUZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, , 38280 Talas/KAYSERİ

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, , 38280 Talas/KAYSERİ

### Öz

Ülkemizde ve dünyada ciddi bir sorun teşkil eden su kirliliğinin kontrol altına alınması için kritik öneme sahip olan atıksu arıtma tesislerinin inşası ve işletilmesi oldukça büyük yatırımlar gerektirmektedir. Tesislerin verimli bir şekilde işletilmesi literatür bilgisi, personelin eğitimi ve doğru yönetimi, arıtma tesisi ekipman ve teçhizatlarının zamanında ve doğru bakımı, analiz raporları ve standartlara uygun olarak yapılan yorumlamalar ile mümkün olmaktadır. Diğer üretim süreçlerinde olduğu gibi arıtma tesislerinin sürecinde de enerji, personel, bakım ve onarım da dahil olmak üzere maliyet analizi oldukça geniş kapsamlıdır. Bu çalışmada, KASKİ İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde bulunan ünite, ekipman ve makinelerin avantaj ve dezavantajlarının belirlenmesi, maliyet hesabı olarak ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışmada, arıtma tesisi için gerekli her türlü ekipmanın, piyasa fiyatları baz alınarak maliyet belirlemeleri incelenmiştir. Tesis genelini kapsayan tüm maliyet ve alt başlıkları değerlendirilerek karşılaştırmaları yapılmıştır.

### Cost Analysis of Biological Wastewater Treatment Technologies-Kayseri Province Example

#### Abstract

In order to control water pollution, which is a serious problem in our country and in the world, the construction and operation of wastewater treatment plants, which are of critical importance, require significant investments. The efficient operation of the facilities is possible with the knowledge of the literature, the training and correct management of the personnel, the timely and correct maintenance of the treatment plant equipment, the analysis reports and the interpretations made in accordance with the standards. Cost analysis including energy, personnel and maintenance in the process of treatment plants is quite comprehensive, as in other production processes. In this study, it is aimed to determine the advantages and disadvantages of the units, equipment and machines in the KASKI Advanced Biological Wastewater Treatment Plant, and to calculate the initial investment and operating costs. Cost analyzes of all kinds of equipment required for the treatment plant were examined based on market prices. All costs and sub-headings covering the entire facility were evaluated and compared.

#### Makale Bilgisi

Başvuru: 25/07/2022

Yayın: 30/12/2022

#### Anahtar Kelimeler

Atıksu,  
Arıtma teknolojileri,  
Maliyet hesaplaması

#### Keywords

Wastewater,  
Treatment technologies,  
Cost analysis

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kentleşme ve sanayileşme ile birlikte kirlilik, çevre ve halk sağlığı açısından risk oluşturmaktadır. Atıksu arıtma tesisleri (AAT), biyolojik ve kimyasal kirlilikleri gidererek, çevre ve halk sağlığının korunmasında önemli bir rol oynamaktadır [1].

Evsel atıksular, arıtılmış suyun ve alıcı ortamların kullanım amaçları gözetilerek belirlenen deşarj standartlarını karşılayacak şekilde, uygun biyolojik ve kimyasal proseslerden geçirilir. Evsel atıksu arıtma tesislerinde tasarımın optimize edilmesi sadece nüfusa bağlı olarak değil aynı zamanda yapılacak arıtma tesisinin bulunduğu bölgedeki (sağlanacak deşarj standartlarına göre), mevcut kanal yapısına (birleşik ya

da ayrı sistem), endüstriyel deşarjların olup olmamasına ve özellikle arıtma tesisinden oluşacak çamur stabilizasyon ve susuzlaştırma metoduna göre de değişmektedir [2].

Atıksu karakterizasyonu, kirlenici maddelerin değerlendirilmesini sağlayan önemli ve anlamlı parametrelere dayanmaktadır. Atıksu karakteristiklerinin kombinasyonlarına bağlı olarak, çıkış suyu standardının gereksinimi arıtma hedefini belirlemiştir. Bu hedeflere ulaşılabilmesi için arıtma teknolojilerini ortaya koymuştur [3].

Teknolojinin hızlı gelişimi ve artan çevre bilinci, atıksu arıtma teknolojisine sebep olmuştur. Bu durum, atıksu arıtma tesislerinin işletme kalitesinin iyileştirilmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır. Dünya genelinde, ilgili kamu ve kuruluşların çevre bilinci her geçen gün artmakta ve ilgili çevre yasaları ve yönetmelikleri daha sıkı hale gelmektedir. Ayrıca dünya genelinde atıksu arıtma tesislerinin sayısı arttıkça arıtılmadan deşarj edilen atıksu miktarları da hızla artmaktadır [4].

Ülkemizde de şehirleşme sürecinin artmasıyla birlikte atıksu arıtma tesislerine olan ihtiyaç da bu doğrultuda artmaktadır. Atıksu arıtımında başarıya ulaşabilmek için; ‘doğru proje’, projeye uygun ‘kaliteli inşaat’ ve ‘iyi işletme’ bileşenlerinin her üçünün de birlikte yürütülmesi gerekmektedir. Bu üç bileşenin de bir araya gelmesi durumunda yasal mevzuata uygun, deşarj standartlarını sağlayabilen atıksu arıtma tesisleri elde edilir [5]. Ülkemizde atıksuyu arıtılarak deşarj edilen belediye nüfusu oranı %86’dır. Özellikle kanalizasyon şebekesi açısından arıtma tesisleri sayısı ve oranı artmış olsa da Türkiye, OECD ülkeleri arasında atıksu arıtma oranı açısından hala çok gerilerdedir [6].

Atıksu arıtma tesisleri projelendirilirken, enerjinin korunması ve enerji tasarrufu üzerinde durulmalıdır. Enerji konusunda iki kademeli bir yaklaşım uygulanabilir. Birinci yaklaşım, tesisin maliyetini ve karmaşıklığını arttırmadan enerji tasarrufu sağlayan pratik ve uygulanabilir bir yol seçmektir. Bunu yaparken teknolojide aşırıya kaçmamalı, proses ve ekipmanlar dikkatli seçilmeli ve iyi bir mühendislik ve mimarlık tasarımı gidilmelidir. İkinci yaklaşım, daha gelişmiş ekipman ve cihazları içeren proseslerde sadece daha fazla masraf analizine yoğunlaşmaktır [7].

AAT’lerinin tasarımı, inşaatı ve işletilmesinin temel amacı, atıksu kalitesinin iyileştirilerek mevzuatla belirlenen parametrelere ait değerlerin karşılanması sağlamaktır. İşletme faaliyetleri, AAT’nin istenen kalitede atıksu üretmesi ve mevzuatta verilen değerleri sağlaması için yeterli olmalıdır. AAT bakım faaliyetleri ise, sürdürülebilir işletme hedeflerine ulaşmak için ekipmanın düzenli ve verimli çalışmasını sağlamaya yönelik faaliyetler olmalıdır. Örneğin düşük sermaye maliyetine sahip küçük ve basit bir arıtma tesisi, yüksek işletme giderlerine sahip olabilir. Bu nedenle alternatif bir teknolojiye kıyasla toplam maliyeti daha yüksektir. Arıtma tesisinin tasarım kriterleri göz önünde bulundurularak daha iyi yönetilmesi ve işletilmesi için izleme ve bakım faaliyetleri yürütülmeli ve arıtma tesisinin bakımını yapan işletmeci, bu ünitelerin arızalanması durumunda ünite proseslerinden haberdar olmalıdır [8].

Arıtma sistemleri seçilirken dikkat edilecek hususların başında maliyet, maliyet detaylandırıldığında ise ilk yatırım ve işletme gelmektedir. Yüzey sularındaki kirlenmenin denetim altına alınabilmesi büyük oranda atık su arıtım tesislerinin etkin yönetim ve işletimine bağlıdır. Arıtma tesislerinin kurulmasının yanında işletimi de çok önemlidir.(287002) ATT’ler, ilk yatırım ve işletme maliyetleri göz önüne alındığında yerel yönetimlere önemli finansal maliyetler gerektirmektedir. ATT’de işleme süreçlerinin ve tasarım kriterlerinin doğru seçimi, ilk yatırım ve işletme maliyetleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu doğrultuda atıksu arıtma tesislerinin tasarımında ham atıksuyun özellikleri ve deşarj edilen veya yeniden kullanılan suyun kalitesi arıtma prosesinin belirlenmesinde önemlidir [9]. Arazinin maliyet durumuna göre sistem seçilmelidir. Arazinin pahalı olduğu yerlerde yapıların yayılmasına değil yükseltilmesine gidilmelidir [10]. Arıtma tesislerinin boyutlandırılması ve arıtma tesisi maliyetlerinin hesap edilebilmesi için genel olarak arıtılacak atıksuyun miktarının bilinmesi gerekmektedir. Arıtılacak suyun arıtma tesisinin büyüklüğünü doğrudan etkilediği için atıksu arıtma maliyetine etki eden ana unsurdur [11].

Atıksu arıtma tesislerinin yüksek ilk yatırım maliyetlerinden dolayı doğru prosesin seçilmesi oldukça önemlidir. Öte yandan, AAT’nin ilk yatırım maliyeti süreç tarafından belirlenmekte, tesis başvuru süreci tamamlandıktan sonra yapılan metraj araştırması ile tahmini maliyet hesaplanmakta ve son anda AAT’nin ilk yatırım maliyeti görüntülenmektedir [12].

Tesislerin yatırımının olduğu kadar işletilmesi de oldukça zor ve maliyetlidir. Bu nedenle ekipman ve teçhizatların doğru yerde ve doğru sistemle kurulması, eğitilmiş ve deneyimli personeller tarafından

yönetilmeleri gerekmektedir. Atıksu arıtma tesislerindeki toplam maliyetlerin önemli bölümü işletme maliyetlerinden oluşmaktadır [9]. İşletme maliyeti, AAT'lerde çalışma sürecine girdikten sonra sistemlerin işletilmesi için ihtiyaç duydukları maliyetleri içermektedir. Bunlar; kimyasal madde ihtiyacı, enerji ihtiyacı, bakım-onarım, nakliye ve personeldir. Herhangi bir yerdeki su sızıntıları, elektrik arızaları, mekanik ekipman arızaları gibi olası kazalar tüm tesis için ciddi problemlere neden olabilmektedirler. İşletme faaliyetleri, AAT'nin istenen kalitede atıksu üretmesi ve mevzuatta verilen değerleri sağlaması için yeterli olmalıdır. [13]. Bu nedenle periyodik bakım ve kontroller çok önemlidir.

Bu çalışmada, KASKİ İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi örnek alınarak tesisin maliyeti ve maliyetini oluşturan kavramlar araştırılmıştır. Arıtma tesislerinin projelendirilmesinde arıtılan suyun standartlara uygun olması kadar atıksu arıtma tesislerinin işletme ve ilk yatırım maliyetleri de son derece önemlidir. Bu nedenle bir atıksu arıtma tesisinde ele alınması gereken maliyet unsurları KASKİ İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde planlanarak kullanılmış her bir sistemin toplam, ilk yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanarak incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Tesis, 134.055 m<sup>2</sup>'si çamur depolama alanı olmak üzere, 369.490 m<sup>2</sup> alan üzerine kurulmakta olup Kayseri ve civarında oluşan atıksuların tamamına yakınına toplamaktadır. Birinci aşamada 800.000 kişiye hizmet vermekte olan tesisin arıtma kapasitesi 110.000 m<sup>3</sup>/gündür. İkinci aşamada ise 1.400.000 kişiye hizmet vermekte olan tesis, 182.500 m<sup>3</sup>/gün atıksu arıtmaktadır.

Atıksu arıtma tesisi karbon gideriminin yanı sıra azot ve fosfor giderimini de gerçekleştirmektedir. Tesisten çıkan çamur çürütülmekte ve çürütülen çamurdan çıkan gaz, ısı ve elektrik enerjisi olarak tesis içerisinde kullanılmaktadır. Atıksu arıtma tesisinde ham çamur stabilize hale getirilirken biyogaz üretiminden sonra arıtma çamuru elde edilmektedir. Üretilen gaz (biyogaz) ile elektrik üretilmekte ve tesisin elektrik ihtiyacının bir kısmı buradan karşılanmaktadır. Elektrik üretilirken elde edilen ısı enerjisinden de kış aylarında tesisteki binaların ısıtılması sağlanmakta ve tesiste sürekli sıcak su kullanılmaktadır.

Tesisten çıkan arıtılmış su, çevre kirliliğine sebep olmayacak şekilde bertaraf edilerek Kızılırmak'a bağlanan Karasu Deresi'ne deşarj edilmektedir.

Kayseri İBAAT'nde bulunan üniteler;

- Kaba ızgara ve giriş pompa terfi istasyonu
- Kaba ve ince ızgaralar
- Havalandırılmalı kum ve yağ tutucu
- Ön çöktürme tankları
- Selektör ve Bio-P havuzu
- Havalandırma havuzları
- Son çöktürme tankları
- Geri devir pompa istasyonu
- Çamur yoğunlaştırma tankları
- Çamur çürütme tankı
- Biyogaz depolama tankı
- Gaz üniteleri
- Çamur susuzlaştırma ünitesi
- Çamur depolama ve kurutma sahası

### Izgara Ünitesi;

Izgara binasında 2+1 dizaynında ızgara kanalı bulunmaktadır. Her kanal için 1'er adet otomatik temizlemeli kaba ızgara (halatlı) ve basamaklı (step) ince ızgara yer almaktadır.

### **Havalandırılmalı Kum ve Yağ Tutucu;**

Atıksu içerisindeki kum ve yağın ayrılarak mekanik ekipmanların zarar görmesini önlemek amacıyla tesiste 4 adet havalandırılmalı kum ve yağ tutucu bulunmaktadır.

### **Ön Çöktürme Tankı;**

Tesiste 2 adet ön çöktürme tankı bulunmaktadır. Bu tanklar, 35,70 m çaplı dairesel tank olarak inşa edilmiş olup; merkezi giriş yapısı, döner sıyırıcı köprü ve çıkış savakları bulunmaktadır.

### **Bio-P Havuzu;**

Ön çöktürme tankından gelen su ile geri devir çamuru, bio-fosfor tankına girmeden karışmaktadır. Karışımın sağlanması için giriş yapısında dalgıç karıştırıcı yer almaktadır. Böylece atıksu, 4 adet dalgıç mikser bulunan selektör tankına iletilmektedir. Proses, anaerobik ortamda gerçekleştiği için havalandırma yoktur.

### **Havalandırma Havuzu;**

Havalandırma tankları oksidasyon hendeği şeklinde inşa edilmiştir. Atıksu ile çamurun karışması ve çamurun çökmesinin engellenmesi için karıştırıcılar bulunmaktadır. Havalandırmanın yapıldığı bölüm ile anoksik bölgede bulunan cihazlarda iki ayrı noktada havalandırma tanklarına verilecek havanın kontrolü yapılmaktadır. Oksik kısım, hava dağıtım boruları ve ince kabarcıklı Membran difüzörleri içeren bir havalandırma sistemi içermektedir. Gerekli olan hava blower istasyonundan sağlanmaktadır.

### **Son Çöktürme Tankı;**

Aktif çamurun giderilmesi ve kısmi olarak tesise geri beslenmesi amacıyla 4 adet son çöktürme tankı mevcuttur. Bu tanklar 59,4 m çaplı dairesel tank olarak inşa edilmiş olup merkezi giriş yapısı, döner sıyırıcı köprü ve çıkış savakları bulunmaktadır. Dalgıç pompalar yardımıyla çamurun bir kısmı geri devir çamuru olarak selektör tank giriş yapısına iletilirken, bir kısmı da fazla çamur olarak karışım tankına verilir.

### **Ön Çamur Yoğunlaştırıcı;**

Çamur, havuza bağlı karıştırıcı tarak ile karıştırılarak yer çekimi kuvveti ile %4 KM'den %7 KM yoğunluğuna ulaşır. Üste kalan su, taşkın savağı aracılığıyla bulanık toplama su tankına gönderilir.

### **Çamur Çürütme;**

Çamur yoğunlaştırıcıdan gelen ham çamur, bir çamur pompası yardımıyla ısı eşanjörüne verilir. Isı eşanjörü, giriş borusunda ön çamur ile çürümüş devir daim çamuru karıştırılır. Isı eşanjöründen çıkan çamur, çürütücü tanka pompalanır. Çamur çürütme, anaerobik bir fermentasyon prosesidir. Çürütücüye beslenen çamur yaklaşık 37 °C sıcaklığında oksijensiz bir ortamda çürütülür. Proses sürecinde organik maddelerin (uçucu katıların) ayrıştırılması gerçekleştirilir.

### **Gaz Üniteleri;**

Çamur çürütme sırasında üretilen gaz, önce sıvı kirleticileri ayırmak için bir boru aracılığıyla kum filtresine verilir. Gaz, kalitesine ve miktarına bağlı olarak, gaz depolama tankında depolanır. Eğer depolanamayacak fazla biyogaz varsa, bu fazla gaz, gaz meşalesine gönderilir.

### Çamur Susuzlaştırma;

Çamur, önce suyun yer çekimi ile ayrıldığı süzücü kayışa beslenmektedir. Çamur keki çamur yüzeyinden devamlı olarak su akıtmaya sebep olan yastık bloklar yardımı ile sürekli olarak üst üste tekrar istiflenir. Yoğunlaştırılan çamur, sıyırıcı yardımı ile süzücü kayıştan boşaltılır ve daha sonra belt filtre prese gönderilir. Filtre pres sayesinde çamur, %20 KM'ye ulaştırılır ve kireç ilave edilerek %35 KM'ye de yükseltilebilir.

Bu çalışmada öncelikle KASKİ İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'ne ait bilgi ve veriler, arıtma tesisi yetkilileri ile görüşülerek ve literatür bilgi araştırması yapılarak elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, arıtma tesisinin maliyet performans etkilerini ortaya koymak üzere değerlendirilmiştir.

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Evsel atıksu arıtma tesislerinin maliyetini etkileyecek en önemli etkenler, AAT'nin ünitelerinin maliyetini değiştirecek olan, arıtılması gereken evsel atıksuların özelliği ve arıtılmış suyun tabi olacağı atıksu deşarj standardıdır. Ünite boyutlandırmalarından önce bu faktörlerin yani arıtılması gereken atıksuyun özelliklerinin ve miktarlarının bilinmesi önem kazanmaktadır [14].

Bir atıksu arıtma tesisinin maliyeti, yatırım ve işletme kalemlerinden oluşmaktadır. Proje verilerine göre ilk yatırım ve işletme maliyetinin toplamından oluşan maliyet hesaplanmaktadır.

Bu çalışmada Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi örnek alınarak; bir arıtma tesisinin ilk yatırım ve işletme maliyetleri belirlenmiştir. ATT için gerekli ekipmanların maliyetlerinin belirlenmesi için piyasa fiyatları uygulanmıştır. Bazı hesaplamalar 2019 yılı Eylül ayı kur fiyatlarına (1 Euro = 6,65 TL), bazılarında ise 2020 yılı Ekim ayı kur fiyatlarına (1 Euro = 9,75 TL) göre yapılmıştır. Ekipman maliyetleri arasında çeşitli pompaların, difüzörlerin ve sıhhi tesisatların elektrik bileşenleri vb. hesaplanmıştır.

#### İlk Yatırım

Atıksu arıtma tesislerinde ilk yatırım maliyetlerinin hesaplanmasında en önemli hususlardan biri kullanılacak ekipmanlara karar verilmesidir. Karşılaştırmalar yapılarak optimum çözüm seçilmelidir.

Kayseri İBAAT'nde faaliyet gösteren her bir ünitenin maliyetleri ayrı olarak değerlendirilmiştir. Atıksu arıtma tesisinde ihtiyaç duyulan ünite ekipmanlarının ilk yatırım maliyetleri Tablo 1'de gösterilmektedir. Tesis genelinde toplam ilk yatırım maliyeti € 3.393.696,78 olarak hesaplanmıştır. Üniteler içerisinde en yüksek yatırım maliyetine sahip olan ünite havalandırma ünitesidir ve ünitenin maliyeti genel toplamın %42,4'üne tekabül etmektedir.

**Tablo 1. KASKİ İBAAT Ünitelerin ekipman ilk yatırım maliyetleri**

ÜNİTE	MALİYET
Giriş pompa terfi istasyonu	€ 251.726,76
Izgara ünitesi	€ 449.624,06
Havalandırılmalı kum ve yağ tutucu ünitesi	€ 172.613,21
Ön çöktürme tankı	€ 115.811,18
Bio-P havuzu	€ 96.709,44
Havalandırma havuzu	€ 1.440.281,83
Dağıtım ve toplama yapısı	€ 18.300,13
Son çöktürme tankı	€ 252.239,14
Geri devir terfi istasyonu	€ 147.402,22
Ön çamur yoğunlaştırıcı	€ 291.435,65
Çamur çürütücü	€ 110.498,78
Son çamur yoğunlaştırıcı	€ 47.054,38
<b>Genel Toplam</b>	<b>€ 3.393.696,78</b>

## İşletme

Atıksu arıtma tesisinde işletme standartlarının uygun bir biçimde sağlanabilmesi için kimyasal madde kullanımı, enerji tüketimi, ekipman bakım ve onarımları, nakliye ve personel giderleri göz önünde bulundurulmalıdır.

- **Kimyasal madde;**

Kimyasal madde maliyeti, atıksu arıtma tesislerinde kullanılan polimerleri kapsamaktadır. KASKİ İBAAT'de çamur susuzlaştırma amacıyla kullanılan kimyasal madde polielektrolit'tir. Tesiste kullanılan kimyasal maddenin kg başına fiyatı € 2.08 olarak belirlenmiştir. Tesiste ortalama olarak polielektrolit miktarı ise 48.550 kg/ay'dır ve bu da toplamda € 100.984'ya denk gelmektedir.

- **Bakım – Onarım;**

Ekipmanların gerekli bakım ve onarımları zamanında yapılarak tesisin farklı bölümlerini de etkileyebilecek her türlü olumsuzlukların önüne geçilmesi ve sorunların çözülmesi son derece önemlidir. Bunun için her ünitenin ve makinaların kendi talimat ve kılavuzlarına uygun olarak bakım yapılması gerekmektedir. KASKİ İBAAT'nde periyodik olarak yapılan tüm bakım ve onarım maliyeti toplamda € 185.085,87 olarak hesaplanmıştır.

- **Enerji;**

Tesiste aylara göre ortalama üretilen enerji Tablo 2'de gösterilmektedir ve üretilen her bir enerjiye karşılık gelen enerji bedeli belirlenmiştir. Bir yılda toplam üretilen enerji 4.958.132 kW ve bedeli € 356.476,98 olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 2. KASKİ İBAAT Enerji üretimi (2019)**

Ay	Gün	Üretilen Enerji (KW)	Ortalama Birim Fiyat	Üretilen Enerji Bedeli
Ocak	31	454.934	0,701	€ 32.708,59
Şubat	28	311.063	0,701	€ 22.364,63
Mart	31	348.267	0,701	€ 25.039,50
Nisan	30	449.234	0,701	€ 32.298,77
Mayıs	31	416.153	0,701	€ 29.920,33
Haziran	30	387.020	0,701	€ 27.825,75
Temmuz	31	336.326	0,701	€ 24.180,98
Ağustos	31	384.972	0,701	€ 27.678,50
Eylül	30	380.143	0,701	€ 27.331,31
Ekim	31	446.317	0,701	€ 32.089,05
Kasım	30	507.013	0,701	€ 36.452,93
Aralık	31	536.690	0,701	€ 38.586,63
<b>TOPLAM</b>	<b>365</b>	<b>4.958.132</b>		<b>€ 356.476,98</b>

Tesiste aylara göre ortalama toplam tüketilen enerji ise Tablo 3'de gösterilmektedir. Tüketilen her bir enerjiye denk karşılık gelen fatura bedeli de belirlenmiştir. Bir yılda toplam tüketilen enerji 15.117.926 kWh ve bedeli € 644.231,89 olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 3. KASKİ İBAAT Enerji tüketimi (2019)**

Ay	Elektrik KEPSAŞ Toplam Tüketimi (kWh)	Toplam Üretilen Elektrik (kWh)	Toplam Tüketilen Elektrik (kWh)	Elektrik Fatura Bedeli
Ocak	798.978	454.934	1.254.240	€ 49.009,24
Şubat	786.476	311.063	1.098.145	€ 48.485,22
Mart	923.659	348.267	1.271.916	€ 57.240,98
Nisan	796.162	449.234	1.245.384	€ 51.965,29
Mayıs	730.248	416.153	1.145.614	€ 49.268,20
Haziran	825.601	387.020	1.212.621	€ 52.740,68
Temmuz	703.631	336.326	1.040.048	€ 44.644,43
Ağustos	645.897	384.972	1.030.869	€ 40.747,21
Eylül	947.855	380.143	1.327.998	€ 60.507,68
Ekim	1.075.095	446.317	1.521.412	€ 68.986,17
Kasım	949.253	507.013	1.478.390	€ 62.127,47
Aralık	954.599	536.690	1.491.289	€ 58.509,34
<b>Toplam</b>	<b>10.137.453</b>	<b>4.957.592</b>	<b>15.117.926</b>	<b>€ 644.231,89</b>

- **Nakliye;**

Tesiste nakliye sadece çamur susuzlaştırma ünitesinde ihtiyaç duyulmaktadır. Günlük ortalama 13 kamyon seferi gerçekleştirilmektedir. Her bir kamyon gidiş geliş 11 km yol kat etmektedir ve 25 tona kadar yük taşımaktadır. Tesisin toplam nakliye maliyeti yıllık € 92.346,05 olarak hesaplanmıştır.

- **Personel;**

KASKİ İBAAT’nde 365 gün 7/24 personel çalışmaktadır. Tesiste; 8 idari, 2 laboratuvar, 9 temizlik, 18 bakım ve onarım, 16 birim operatörü ve 4 kamyon şoförü olmak üzere 57 personel çalışmaktadır. Tesis genelinde toplam personel maliyeti yıllık € 666.512,74 olarak hesaplanmıştır.

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Atıksu arıtma tesislerinin tasarımında tesisin kurulduğu yerin uygun olup olmadığı, tesise gelen kirlilik yükü, tesisin deşarj noktası ve arıtılacak suyun kullanım amacı arıtma prosesine karar verilirken dikkat edilmesi gereken hususlardır. Bu hususların uygun bir şekilde belirlenmesi tesis maliyeti ile ilişkilidir.

Genel olarak bir inceleme yapıldığında arıtma tesislerinin inşasından başlayarak işletilmesine kadar olan süreçte en önemli husus maliyettir. Bunun yanı sıra tesislerde ünite bazlı olarak kullanılan ekipman ve makineler de dahil olmak üzere tasarım oldukça önemlidir. Kullanılacak olan ekipmanların adedi, sağlayacakları avantaj ve dezavantajları, sistemler ve arıtılan suyun deşarjı veya yeniden kazanılması için gerekli olan yöntemler ilk yatırım maliyetini büyük miktarda etkilemektedir.

Kayseri İBAAT’nde toplam ilk yatırım maliyeti € 3.393.696,78 olarak hesaplanmış ve en fazla maliyetin havalandırma ünitesinde, en aza sahip olanın ise dağıtım ve toplama yapısında olduğu belirlenmiştir.

Arıtma tesislerinde ekipman ve ünitelerin ilk yatırımları kadar enerji maliyeti de oldukça önem arz etmektedir. Kayseri İBAAT’nde toplam ilk yatırım enerji maliyeti € 2.030.075,19 olarak belirlenmiştir. Ünite bazlı olarak en fazla enerji tüketen çamur çürütme ünitesidir ve genel toplamın %5,52’sine, havalandırma ünitesi ise %3,44’üne karşılık gelmektedir. En fazla enerjinin ise %16,6 ile trafo ve blowerlar tarafından harcandığı görülmektedir.

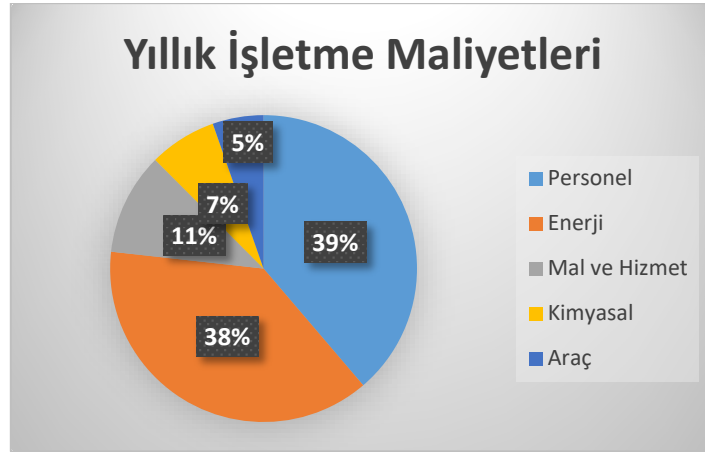


Tesisin işletme maliyetleri detaylandırıldığında ise kimyasal madde kullanımı, enerji tüketimi, bakım ve onarımın sağlanması, nakliye ve personel gibi alt başlıkları değerlendirilmiştir. Yapılan bu araştırmada elde edilen Kayseri İBAAT'nin yıllık işletme maliyet hesaplaması Tablo 4'de, hesaplamının yüzdelerle ifade olarak gösterimi ise Şekil 1'de gösterilmektedir.

**Tablo 4. Kayseri İBAAT Yıllık işletme maliyetleri**

Tesis Adı	Personel	Kimyasal	Enerji	Araç	Mal ve Hizmet
KASKİ İBAAT	€ 666.512,74	€122.313,31	€653.770,42	€ 92.346,05	€ 185.085,87

**Şekil 1. Kayseri İBAAT Yıllık işletme maliyeti yüzdelerle gösterimi**



Kayseri İBAAT'nde faaliyet gösteren tüm ekipman ve üniteler istenilen verimlerde performans göstermektedirler. Fakat çamur bertarafı hususunda yeterli ünite bulunmamaktadır. Tesise kurutma ve yakma üniteleri eklenmesi durumunda genel performansta artış gözlemlenmesi öngörülmüştür.

Tesiste çamurun bertarafı ile ortaya çıkan gazdan ısı ve elektrik enerjisi üretilmektedir. Üretilen enerji ile arıtma tesisinin enerji ihtiyacının %30'u karşılanmaktadır. Bu da tesis maliyetine kâr sağlamaktadır.

Arıtılan su Karasu Deresi'ne verilmektedir. Tesislerde suyun deşarj edilmesi yerine geri kazanılması mümkün olmaktadır. Fakat örnek alınan Kayseri İBAAT hizmet ettiği nüfus ve metrekare bakımından oldukça büyük olması nedeniyle deşarj yerine geri kazanımın gerçekleşmesi maliyetlerde artış göstermesine neden olacaktır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma Kaski İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (İBAAT) tarafından desteklenerek hazırlanmıştır.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ö. Özdemir, "İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde Sürdürülebilir İşletme İçin Revizyon ve Enerji Verimliliği: Malatya Örneği," *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, pp. 9-20, 2016.
- [2] Fakıoğlu, Malhun; Güven, Hüseyin; Öztürk, İzzet;, "Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı: Bilimsel Gerçekler, Psikolojik ve Dini Tereddütler," *Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi*, pp. 1-20, 2020.
- [3] Erdoğan, Argun Olcayto; Zengin, Gülsüm Emel; Orhon, Derin;, "Türkiye'de Evsel Atıksu Oluşum Miktarları ve Karakterizasyonu," *İTÜ Dergisi*, pp. 1-3, 2005.
- [4] R. Meral and F. Cavadzade, *Atıksu Arıtma Tesislerinin İşletilmesi*, Bakü, 2014.
- [5] Nas, Bilgehan; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Atıksu Arıtma Tesislerinde İşletme Sorunları ve Çözümleri*, Ankara: Selçuk Üniversitesi Basım Evi, 2017.
- [6] B. Nas and S. Turgut, "İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinin İlk Yatırım Maliyetlerinin Değerlendirilmesi," *Su ve Çevre Teknolojileri*, pp. 44-54, 2019.
- [7] İ. Öztürk, *Atıksu Mühendisliği*, İstanbul: İSKİ, 2017.
- [8] A. Durak, A. Özgüven and A. Demir Yetiş, "Van İli Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme Sorunları ve Çözüm Önerileri," *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, pp. 1448-1463, 2021.
- [9] S. Turgut, "Ülkemizdeki Evsel ve Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin İlk Yatırım ve İşletme Maliyetlerinin Farklı Arıtma Proseslerine Göre Değerlendirilmesi," *Yüksek Lisans Tezi*, Konya, 2019.
- [10] A. Samsunlu, *Atıksu Arıtma Tesisi Projelendirilmesi*, İstanbul: Birsen Yayınevi, 2010.
- [11] A. Toltar, *Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Maliyetlerine Etki Eden Faktörler ve Aralarındaki Bağlılıkların Araştırılması*, Gebze, 2006.
- [12] B. Nas and S. Turgut, "İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinin İlk Yatırım Maliyetlerinin Değerlendirilmesi," *Su ve Çevre Teknolojileri*, pp. 44-54, 2019.
- [13] A. Durak, A. Özgüven and A. Demir Yetiş, "Van İli Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme Sorunları ve Çözüm Önerileri," *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 10, no. 4, pp. 1448-1463, 2021.
- [14] F. Yamaç, *Evsel Atıksu Arıtma Tesisleri Maliyetlerine Etki Eden Faktörler ve Kişi/Maliyet Analizleri*, İller Bankası Anonim Şirketi, 2016.